



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
CONSTRUIDOS CON PERFILES LIVIANOS DE ACERO. PLANTEAMIENTO DE
UN ESTUDIO EXPERIMENTAL.

LUIS FELIPE ARGOMEDO SUAZO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PROFESOR GUÍA:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA
VÍCTOR ÁGUILA OLAVE

CURSO: CI69F
SEMESTRE: PRIMAVERA 2007
SANTIAGO DE CHILE
JULIO 2008

Índice general

Título	Pág.
1 Introducción	7
2 Características de los elementos estructurados en perfiles livianos de acero	8
2.1 Muros y tabiques	9
2.2 Pisos y cielos	12
3 Normativas nacionales y extranjeras	14
3.1 Normas de ensayos de resistencia al fuego	14
3.1.1 NCH 935/1.Of97 Ensayo de resistencia al fuego	14
3.1.2 Norma ASTM E119 – 95	17
3.1.3 Norma ISO 834-1 – 1999	20
3.2 Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.)	22
4 Descripción general de estudio realizado en Japón a muros, tabiques y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos	27
4.1 Estructuración de tabiques	28
4.2 Estructuración de muros	28
4.3 Estructuración de pisos y cielos	29
4.4 Metodología	30
5 Revisión de antecedentes en Chile	31
5.1 Configuraciones de cielos ,tabiques y muros perimetrales utilizados	31
5.2 Ensayos de resistencia al fuego	31
6 Ensayos realizados	35
6.1 Tabique ensayado N° 1	35
6.2 Tabique ensayado N° 2	38
6.3 Muro ensayado N° 1	39
7 Resistencia al fuego de muros, tabiques y sistemas de piso y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos. Planteamiento de una investigación	42
7.1 Descripción general	42
7.2 Configuraciones de tabiques	44
7.3 Configuraciones de muros	45
7.4 Configuraciones de pisos y cielos	46
7.5 Metodología experimental	48

8	Resultados	51
9	Discusión, conclusión y recomendaciones	57
10	Bibliografía	60
	Anexos	61

Índice de figuras

Fig.	Título	Pag.
1	Panel típico estructurado en perfiles metálicos livianos	11
2	Estructuración de piso metálico liviano	12
3	Esquema general de una vivienda estructurada con perfiles metálicos livianos	13
4	Curva normal tiempo – temperatura NCh 935	15
5	Curva normal tiempo – temperatura ASTM E 119	18
6	Dimensiones de los perfiles C utilizados en los ensayos	27
7	Ejemplo de estructuración de muro	29
8	Ensayos de resistencia al fuego realizados por Cintac S.A.	33
9	Ensayos de resistencia al fuego realizados por El volcán S.A.	34
10	Detalle de tabique	36
11	Anclaje típico de placa a perfiles metálicos para tabiques	36
12	Detalle típico fin de tabique	37
13	Estructuración tabique N°2	39
14	Estructuración Muro N° 1	40
15	Anclaje típico de placa a perfiles metálicos para muros	41
16	Detalle típico fin de muro	41
17	Ejemplo de perfiles y dimensiones utilizados en el ensayo de un muro doble.	44
18	Diagrama de cargas utilizadas para tabiques y muros	50
19	Gráfico temperatura-tiempo probeta de ensayo N°1.	52
20	Tabique de ensayo N°1 próximo a ser ensayado.	52
21	Gráfico temperatura-tiempo ensayo N°2	54
22	Falla de tabique ensayo N°2	54
23	Gráfico temperatura-tiempo ensayo N°3	55
24	Muro de ensayo N°3 instalado en horno	56
25	Esquema de montaje de cargas en paneles.	56

Índice de tablas

Tabla	Título	Pag.
1	Datos curva normalizada tiempo-temperatura NCh 935	15
2	Datos curva normalizada ASTM E-119	17
3	Cuadro comparativo entre las normas citadas	21
4	Clasificación de edificios según superficie edificada	24
5	Clasificación de edificios según máximo de ocupantes	25
6	Clasificación de edificios según densidad de carga combustible.	25
7	Resistencia a fuego requerida para los elementos de construcción de edificios	26
8	Resistencia al fuego para elementos constructivos de una vivienda.	27
9	Dimensiones y nomenclatura perfiles C atiesados	32
10	Proyecto de ensayos de tabiques	38
11	Proyecto de ensayos a muros.	42
12	Proyecto de ensayo a pisos y cielos	43
13	Magnitud de cargas aplicadas en tabiques	45
14	Magnitud de carga para muros estructurados con perfiles 90CA085	47
15	Datos obtenidos de ensayo N°1.	51
16	Datos obtenidos de ensayo N°2	53
17	Datos obtenidos de ensayo N°3	55

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
CIVIL
POR: LUIS FELIPE ARGOMEDO SUAZO
FECHA: 24/07/2008
PROF. GUIA: FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

“COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
CONSTRUIDOS CON PERFILES LIVIANOS DE ACERO. PLANTEAMIENTO DER UN
ESTUDIO EXPERIMENTAL”

El siguiente trabajo de título tiene por objetivo el estudio de antecedentes y de metodologías para la evaluación del comportamiento al fuego de muros, tabiques y sistemas de pisos y cielos, estructurados con perfiles metálicos livianos bajo cargas normales de servicio, con un posterior planteamiento de un proyecto de investigación sobre influencia del diseño de estos elementos en su resistencia frente al fuego. Esto debido a la rápida aceptación que ha tenido en nuestro país el uso de este tipo de construcciones, especialmente en viviendas de hasta 2 pisos, motivado en gran parte por la facilidad y economía de su construcción.

El mayor problema de este sistema constructivo es el comportamiento al fuego de sus materiales , el cual al ser estructurado con perfiles livianos de acero (espesores menores a 1,6mm) presenta una resistencia al fuego muy pobre lo cual implica revestir con planchas que aseguren las resistencias mínimas normadas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, para este tipo de edificación.

Los ensayos preliminares (prototipos) realizados en este trabajo, para afinar la metodología del proyecto que se propone, se ciñeron a la normativa nacional vigente (NCh 935) tomando además en consideración las normas ISO 834 y ASTM 119; estos ensayos contemplaron la aplicación de una carga axial de servicio.

Finalmente, sobre la base de los antecedentes analizados y ensayos prototipo realizados, se definen las bases y el planteamiento de un proyecto de investigación para evaluar los distintos aspectos que comprende el diseño de muros, tabiques y sistemas de piso y cielo estructurados con perfiles metálicos livianos, que permitiría entregar alternativas de estructuración, de revestimientos y de fijaciones compatibles con los requerimientos de resistencia al fuego normales para viviendas.

A MIS PADRES QUE HAN DADO TODO POR MI.

1.-Introducción

1.1.- Generalidades

El siguiente trabajo de título tiene como objetivo el estudio general y actualizado de comportamiento al fuego de tabiques, muros y cielos estructurados con perfiles metálicos livianos (espesores menores a 1,6mm), con posterior planteamiento de una investigación siguiendo la misma línea de estudio.

En Chile el uso del sistema constructivo basado en perfiles metálicos livianos, ha ido ganando terreno rápidamente debido a la necesidad de contar con soluciones habitacionales más económicas.

Este sistema, como se mencionó anteriormente, está basado en los perfiles livianos de acero estructural galvanizado, conocidos internacionalmente como Light Gauge Steel Framing (LGSF).

Estos productos han logrado introducirse en Chile en todos los segmentos del mercado de la construcción, tanto habitacional como no habitacional, como por ejemplo: viviendas unifamiliares, edificios comerciales, edificios institucionales, etc., gracias a que cuentan con una completa familia de perfiles (Tabla N°9) adecuados a las modulaciones empleadas en el país. Sin embargo, aún no alcanza el nivel de uso y estandarización que poseen países desarrollados como EEUU o Japón.

En vista de lo anterior esta memoria busca impulsar el estudio sobre propiedades básicas para el buen uso de perfiles de acero liviano en la construcción de viviendas en Chile, entregando datos del comportamiento frente al fuego de los elementos resistentes de una vivienda en base a experiencias realizadas en otros países y proponiendo la metodología y recomendaciones para abordar estudios similares en Chile.

Comparativamente a otros sistemas constructivos se pueden mencionar una serie de ventajas que trae consigo la utilización de perfiles metálicos livianos en la construcción:

Aspectos estructurales.

Este tipo de sistema constructivo, con un diseño adecuado, es resistente a vientos y sismos. Las estructuras construidas poseen un excelente comportamiento ante un sismo, ya que por ser livianas generan un corte basal muy bajo y tienen la ventaja del uso de arrostros interiores a los muros que pueden soportar este tipo de sollicitación. Y en el caso de vientos fuertes, basta con diseñar buenos anclajes en los extremos de los muros.

Aspectos constructivos.

Las faenas húmedas disminuyen drásticamente comparadas con otros sistemas constructivos (albañilería, hormigón); Solamente se emplea en fundaciones, con lo cual se reducen los tiempos de construcción así como la mano de obra.

Las instalaciones se sitúan en el espacio existente entre las dos caras de revestimientos de tabiques. Las canalizaciones pasan por las aberturas dispuestas a ese fin en los montantes normales evitando una serie de faenas anexas a esa partida, comunes en otros sistemas constructivos.

La principal ventaja del sistema constructivo en perfilería metálica liviana es la posibilidad cierta de construir un sistema industrializado de viviendas, debido a la capacidad de prefabricar muros, cielos y tabiques, los cuales pueden ser despachados, ahorrando tiempo y mano de obra. Este proceso constructivo permite llevar un eficiente control de calidad, dejando en obra sólo las fundaciones, ensamblado, instalaciones y terminaciones.

Aspectos arquitectónicos

Todos los elementos del sistema son dimensionalmente estables, por lo que muros, pisos y cerchas permanecen siempre rectos, no se tuercen ni deforman en el tiempo, ni tampoco dependen, como otros materiales, de cambios de humedad que causan rajaduras, deformaciones y en general deterioro.

Por otra parte, un aspecto negativo de estos sistemas, es el comportamiento frente al fuego, de muros y cielos formados por perfiles metálicos livianos. En la actualidad los requerimientos de diseño frente al fuego de éstos elementos se rige esencialmente por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (de ahora en adelante OGUC) , la cual entrega la clasificación de éstos elementos según el tiempo que resiste a la acción del fuego estándar(FIG.3) , pero no da mayores detalles (tales como deflexión máxima ante la acción del fuego, resistencia etc.) ni requerimientos que deben cumplir éstos elementos , por ejemplo para nuestro caso en estructuras livianas de acero , más específicamente casas y/o construcciones similares.

Es por esto que con este trabajo de título se busca revisar y poner al día las bases y requerimientos generales que convendría introducir a los ensayos de muros y cielos formados por perfiles metálicos livianos frente al fuego , además de normalizar el uso de éstos elementos en estructuras livianas en Chile (casas o similares).

1.2 .- Objetivos

El objetivo de este trabajo de título es el estudio de comportamiento al fuego en muros, tabiques y cielos estructurados con perfiles metálicos livianos, con el posterior planteamiento de una investigación, además de regularizar el sistema de ensayos y los requerimientos mínimos que deben tener éstos .

Para evaluar las condicionantes implícitas en los ensayos, este trabajo de título se plantea realizar 3 experiencias de laboratorio, a modo ejemplo, las que incluyen 2 tabiques y 1 muro y así verificar técnicamente la propuesta de este trabajo.

Como aporte adicional está realizar una revisión de antecedentes de ensayos realizados en el Laboratorio de incendios del IDEM con las distintas configuraciones de perfiles y recubrimientos utilizados en tabiques o muros.

2.- Características de los elementos constructivos estructurados en perfiles livianos de acero

La calidad del acero con que se fabrican éstos perfiles corresponde a los estipulado por el código ASTM 653-94 grado 40, con tensión mínima de fluencia $F_y=2812 \text{ kgf/cm}^2$ y tensión mínima de rotura $F_u=3867 \text{ kgf/cm}^2$ (Ref. 7).

El revestimiento de protección anticorrosión es un galvanizado tipo G90, que corresponde a 38,5 micras de espesor de Zinc por ambas caras. Este grado de protección según códigos norteamericanos, es el adecuado para un ambiente agresivo (costero).

Las dimensiones de los perfiles son medidas exteriores y su espesor no contempla el baño de protección. El radio de curvatura plegado es 1,5 veces el espesor del perfil

2.1.- Paneles estructurados en perfiles livianos de acero.

2.1.1 Generalidades.

Los paneles estructurados en base a perfiles livianos de aceros, se conforman por pies derechos equidistantes, cuyos espaciamentos, en general, fluctuarán entre 400 y 600 mm. y por soleras superiores e inferiores.

Dependiendo de la función que cumplan dentro de la edificación, éstos serán clasificados como: paneles estructurales (Muros) o paneles no estructurales (tabiques).

2.1.2 Paneles No Estructurales.

Estos paneles se confeccionan a partir de las series 40 y/o 60 (Tabla N °9) como mínimo, y son revestidos por ambas caras con placas de yeso cartón u otro material no estructural de terminación. El anclaje mínimo de los paneles no estructurales (de ahora en adelante tabiques) debe ser mediante clavos Hilti con golilla, distanciados a no más de 600 mm y su fijación superior debe ser tal, de no inducirle cargas verticales, pero si asegurando su estabilidad lateral.

2.1.3 Paneles Estructurales.

Los paneles estructurales (de ahora en adelante muros) se pueden clasificar en dos tipos: los gravitacionales, que son aquellos que soportan cargas de peso propio y sobrecarga, y los de corte, que además de soportar las cargas gravitacionales, deben proporcionar la estabilidad lateral a la edificación y se caracterizan por poseer tensores interiores en forma de X.

Los muros gravitacionales, en general, son los dispuestos en el interior de la vivienda, mientras que los de corte corresponderán a los perimetrales, que además son capaces de soportar las cargas ya mencionadas (gravitacionales y laterales debido a la acción de un sismo o de viento, cargas que actúan en el plano o perpendicular al plano del panel respectivamente)

Dependiendo de las solicitaciones a que es sometida la edificación y de su estructuración, en algunos casos particulares, se da la necesidad de disponer muros de corte en su interior.

En general, en edificaciones de uno o dos pisos, estos muros se construyen en base a las series 90, 100 y en casos muy particulares, se utilizan las series mayores, todos éstos con espesores de hasta 1,6 mm.

DETALLE MURO PANEL MP1

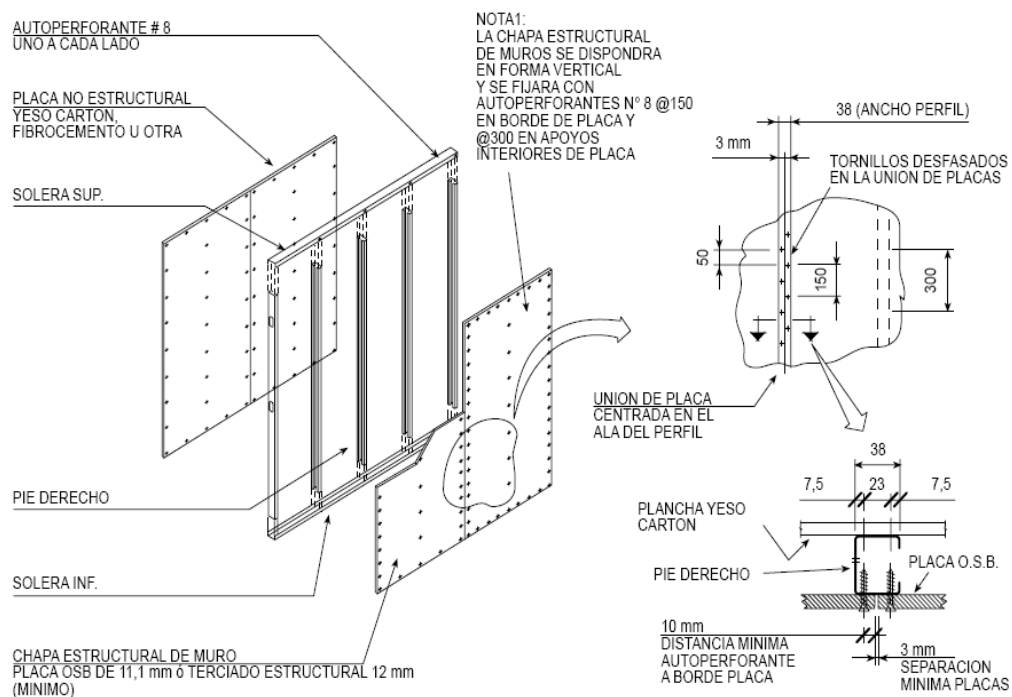


Figura 1: Muro o tabique típico estructurado en perfiles metálicos liviano

2.2 Pisos y cielos.

La estructuración de pisos y cielos, se encuentra constituido básicamente con envigados de piso, vigas maestras y contrachapados estructurales, éstos componentes adecuadamente vinculados entre sí y a los elementos soportante verticales constituyen un diafragma que tiene por objetivo absorber las cargas gravitacionales (peso propio y sobrecarga) por selección de sus componentes y las cargas dinámicas de viento y sismo distribuyéndolas a los elementos resistentes verticales.

Los envigados de pisos se estructuran a partir de perfiles CA de las series 150, 200 y 250 (Tabla N°9), que permiten cubrir luces desde 2,5 m a 5m como elementos simplemente apoyados de uno o más tramos de continuidad.



Figura N°2: Estructuración de piso metálico liviano

ESQUEMA GENERAL VIVIENDA

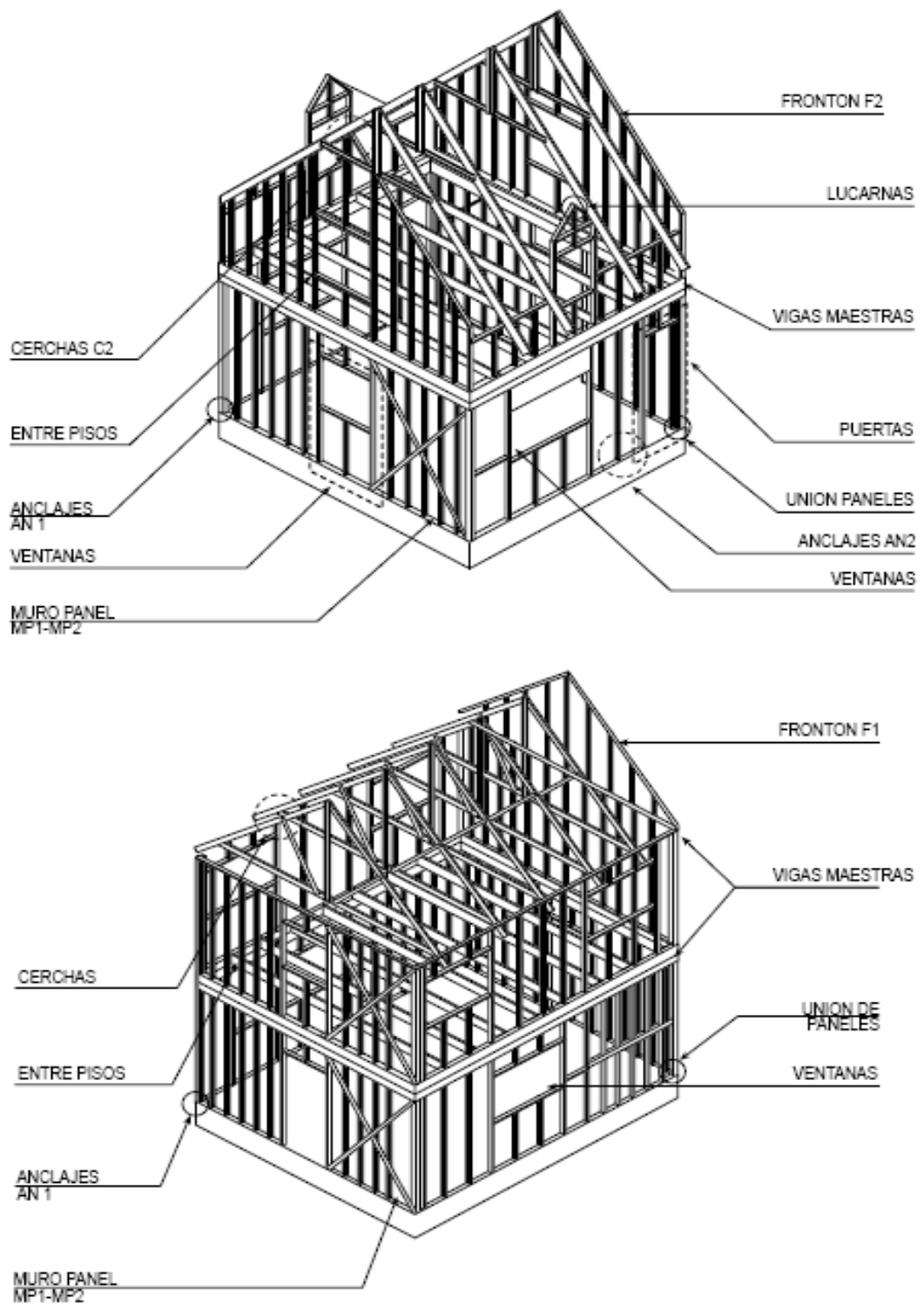


Figura N°3: Esquema general de tipologías de vivienda estructurada con perfiles metálicos livianos.

3 Normativas nacionales y extranjeras

3.1 Normas de ensayos de resistencia al fuego

En este capítulo se realiza una breve descripción de las normas de ensayos de resistencia al fuego actualmente vigentes.

3.1.1 Norma Chilena Nch 935/1 Of. 97 “Ensayo de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general”

3.1.1.1 Generalidades

Esta norma tiene por objeto establecer las condiciones de ensayo y los criterios generales que permiten determinar la resistencia al fuego de elementos de construcción en general.

Establece que la temperatura al interior del horno deberá ser controlada de manera que varíe en función del tiempo, de acuerdo a la fórmula:

$$T-T_0=345 \text{ Log } (8t + 1)$$

Donde:

t = es el tiempo expresado en minutos contado desde el inicio del ensayo

T = es la temperatura del horno en el instante t, medida en °C

To = es la temperatura inicial del horno, medida en °C, la que estará comprendida entre 0 y 40 °C.

En la tabla N°1 y fig. N°4 se expresa de forma gráfica y numéricamente esta ecuación para fines prácticos.

Tabla N°1: Datos curva normalizada tiempo-temperatura NCh 935/1.

Tiempo(min)	Elevación de la temperatura (T-To) en °C
0	0
1	329
2	425
3	482
4	524
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
150	1062
180	1090
240	1133
360	1194

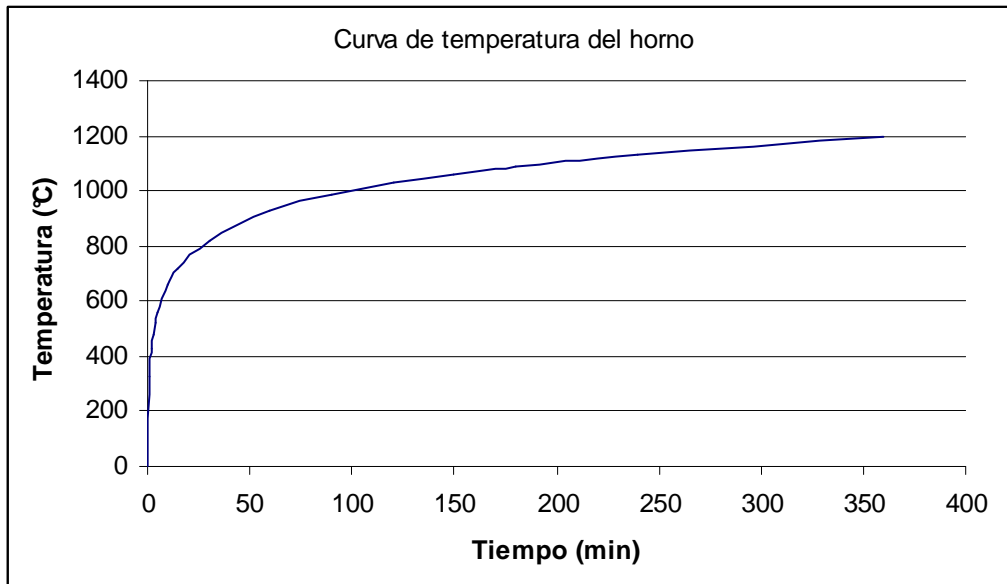


Figura N°4: Curva normal temperatura - tiempo NCh 935/1.

3.1.1.2 Características de los elementos bajo ensayo.

Los elementos a ensayar deberán tener su tamaño real , en caso de elementos verticales de gran tamaño las dimensiones mínimas serán de 2,0m x 2,2m.Los elementos de un tamaño real pero inferior a la boca del horno se montarán en un elemento auxiliar , como elemento de soporte de probetas , cuya resistencia al fuego sea superior a la del elemento bajo prueba.

3.1.1.3 Medición de la temperatura del horno

Se considera como temperatura del horno durante el ensayo de resistencia al fuego, la media de las temperaturas obtenidas, mediante pares termoeléctricos (termocuplas) dispuestos simétricamente en la cara expuesta al fuego del elemento ensayado.

El número de termocuplas no será menor que:

- Una por cada 1,5 m² de superficie, para elementos verticales u horizontales.
- Dos por cada metro de longitud, para vigas;
- Dos por cada metro de altura, para columnas.

En cualquier caso el número de termocuplas no será menor de cinco y deberán estar regularmente distribuidas en la cara expuesta al fuego.

3.1.1.4 Procedimiento operatorio

El elemento se debe ensayar en condiciones representativas de su funcionamiento en las estructuras de modo que el ensayo entregue información real sobre su comportamiento frente al fuego. Además a lo menos media hora antes del ensayo de resistencia al fuego al elemento se debe aplicar a una carga de prueba de la misma magnitud que su carga de cálculo (carga de servicio). Esta carga deberá mantenerse constante a lo largo del ensayo y se aplicara mediante pesos muertos o con gatos hidráulicos.

3.1.1.5 Duración del ensayo

La resistencia al fuego del elemento ensayado está determinada por alguno de las siguientes condiciones:

- La cara no expuesta al fuego alcanza una temperatura media igual o superior a 140°C, o la temperatura en algún punto del elemento alcanza o supera los 180°C.

- El elemento falla por deformación de modo que no puede seguir resistiendo la carga de ensayo.
- Formación de grietas o fisuras que permitan el traspaso de gases a través del elemento.
- Falla la estanqueidad al fuego del elemento ensayado, o sea se detecta llama por cara no expuesta al fuego durante 10s como mínimo.

3.1.2 Norma ASTM E 119 – 07” Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials”

3.1.2.1 Generalidades

Esta norma establece, como su nombre lo dice, la metodología estándar de los ensayos de elementos resistentes al fuego.

La curva de temperatura recomendada por esta norma es similar a la Nch 935 la que a su vez se desprende de la norma ISO 834 la cual es la norma internacional que rige los ensayos de elementos contra el fuego.

A continuación se muestra una tabla con los puntos de la curva de temperatura de la norma ASTM E 119- 07 tanto en °C como en °F, con su respectivo gráfico.

Tabla N°2: Datos curva normalizada ASTM E-119.

Tiempo(min)	Elevación de la temperatura (T-To) en °F	Elevación de la temperatura (T-To) en °C
5	1000	538
10	1300	704
30	1550	834
60	1700	927
120	1850	1010
240	2000	1093
480	2300	1260

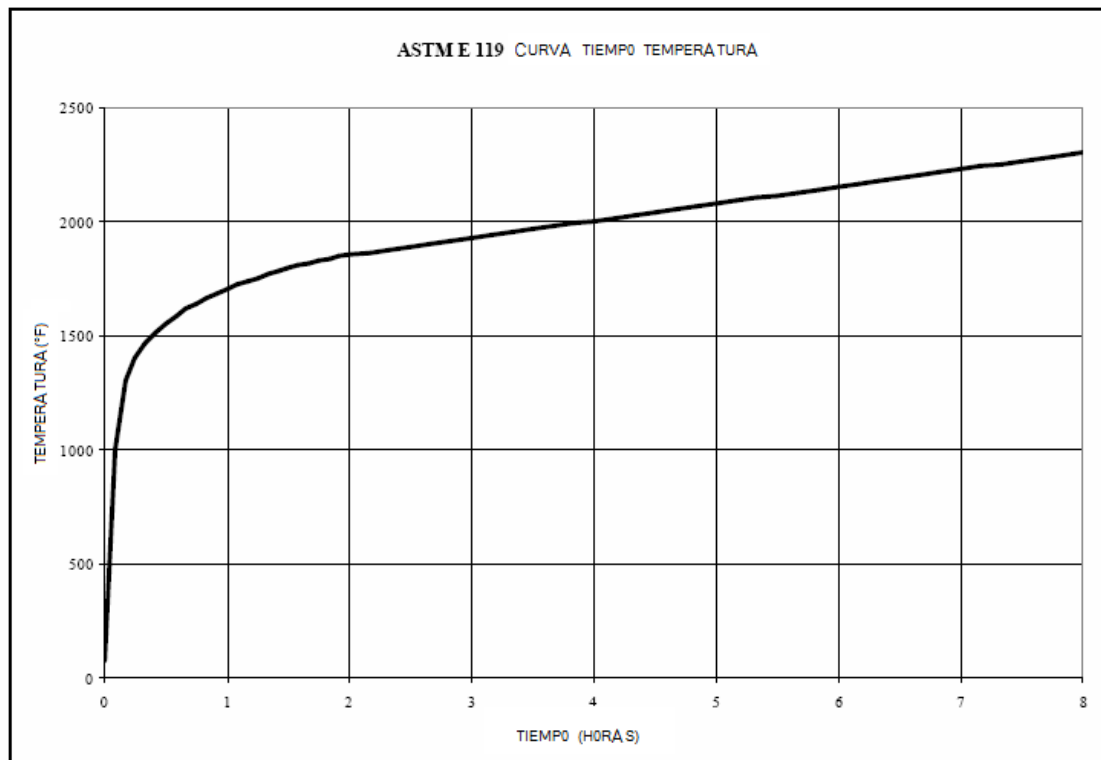


Figura N°5.: Curva normal temperatura-tiempo ASTM E-119.

3.1.2.2 Medición de temperatura en la cara expuesta al fuego

La temperatura medida en la cara expuesta al fuego se tomará como la temperatura promedio de no menos de 9 termocuplas para muros, tabiques, cielos y pisos y no menos de 8 termocuplas para columnas estructurales. Las termocuplas se dispondrán simétricamente, procurando no ubicarlas en juntas de placas o donde estén ubicados tornillos o clavos.

Las medidas de temperatura deberán ser tomadas en intervalos que no excedan los 5 min. durante las primeras 2 horas y luego los intervalos no podrán ser mayores de 10 min.

La tolerancia para la curva de temperatura obtenida en un ensayo particular dispone que el área bajo la curva tiempo-temperatura no podrá tener un porcentaje de diferencia mayor a 10% con respecto a la curva estándar (figura N°4) para test de menos de 1 hora de duración. Para tiempos entre 1 y 2 horas la tolerancia será de 7,5% de 5% para duración mayor a 2 horas.

3.1.2.3 Medición de la temperatura en la cara no expuesta al fuego

La temperatura en la cara no expuesta al fuego será medida por no menos de 9 termocuplas ubicadas simétricamente cuidando no coincidir con las juntas de placas y tornillos de fijación.

Las mediciones de temperatura no deberán exceder los 15 min. hasta que alguna termocupla alcance los 212 °F (100°C).

3.1.2.4 Sobre las probetas

Las probetas a ensayar deben tratar de representar el comportamiento frente al fuego en las condiciones de uso del elemento, esto es con similares dimensiones y construcción de las mismas además de aplicar una carga que alcance la resistencia de cálculo para el espécimen a ensayar (carga axial admisible). Esta carga se deberá aplicar por lo menos 30 min. antes de comenzar el ensayo. El área expuesta al fuego no será menor a 9 m², además su ancho o su largo no deben ser menor a 2,7m .El elemento a ensayar no estará restringido al movimiento en su eje vertical.

3.1.2.5 Duración del ensayo

El ensayo durará hasta alcanzar alguno de los siguientes criterios de falla del elemento:

- Pérdida de resistencia mecánica: La pieza colapsa por fatiga de material (inspección visual).
- Pérdida de estanqueidad de la probeta : Se observa llama por la cara no expuesta al fuego..
- Pérdida de aislación térmica de la probeta , la cual se determina por:

Temperatura media de la cara no expuesta supera los 139 °C +To y temperatura puntual supera los 180°C + To

3.1.3 Norma ISO 834 – 1 “Fire-resistance tests -- Elements of building construction”

3.1.3.1 Generalidades

Esta norma establece los parámetros internacionales estándar para la realización de ensayos frente al fuego de elementos de construcción.

La curva temperatura-tiempo recomendada por ésta, es utilizada por en la norma chilena Nch 935 (figura N°3), del mismo modo la mayor parte de las recomendaciones se basan en ésta norma.

En la cara expuesta al fuego el horno seguirá la curva temperatura – tiempo (figura N°3) recomendada por ISO 834 con una tolerancia de:

15% para $0 < t < 10$ min.

$15 - 0,5(t-10)$ % para $10 < t < 30$ min.

$5 - 0,083(t-30)$ % para $30 < t < 60$ min.

2,5 % para $t > 60$ min.

3.1.3.2 Características de los elementos a ensayar

Al igual que el resto de las normas estudiadas en este trabajo de título la norma ISO 834 recomienda ensayar probetas representativas y utilizadas en la práctica de modo de hacer un ensayo los más cercano a la realidad posible por lo que se deberán utilizar los mismos materiales y métodos constructivos que en terreno. Las dimensiones de las probetas no podrán ser menores a 2,7m de alto y de ancho.

3.1.3.2 Duración del ensayo

La duración del ensayo está determinada por la ocurrencia de alguno de los siguientes eventos.

- En la cara no expuesta al fuego la temperatura media supera los 140°C o la temperatura en algún punto de la probeta supera los 180 °C
- La probeta falla de modo que no puede seguir resistiendo la carga de ensayo.
- Formación de grietas o fisuras por donde los gases puedan pasar.
- Falta de estanqueidad de la pieza, o sea, que se observe una llama por la cara no expuesta al fuego durante 10s como mínimo.

A continuación se presenta un cuadro resumen, con las principales características de cada norma citada, en el que se puede apreciar las similitudes y diferencias entre éstas.

Tabla N°3: Cuadro comparativo entre las normas citadas.

	ISO 834-1-1999	ASTM E-119-2007	NCH 935-1-1997
Temperatura interior del horno	Según curva estándar tiempo-temperatura	Según curva estándar tiempo-temperatura	Según curva estándar tiempo-temperatura
Tolerancia de la temperatura interior del horno	±15% para $0 < t < 10$ min. ±15-0,5(t-10) % para $10 < t < 30$ min. ±5-0,083(t-30) % para $30 < t < 60$ min. ±2,5% para $t > 60$ min.	±10% para $0 < t < 60$ min. ±7,5% para $60 < t < 120$ min. ±5% para $t > 120$ min.	±15% para $0 < t < 10$ min. ±10% para $10 < t < 30$ min. ±5% para $t > 30$ min.
Termocuplas	Se dispondrán simétricamente en el elemento a ensayar en un número no inferior 9.	Se dispondrán simétricamente en el elemento a ensayar en un número no inferior a 9. Deberán estar contenidas en tubos de acero resistentes al fuego.	Se dispondrán 1 por cada 1,5 m ² , simétricamente en un número no inferior 5.
Cargas	El elemento a ensayar se someterá a una carga igual a la máxima admisible de diseño según la norma AISI 1996.	El elemento a ensayar se someterá a una carga igual a la máxima admisible de diseño a menos que se deje explícito un criterio para reducir la carga aplicada en el ensayo.	Se someterá a una carga que en las regiones críticas del elemento produzca tensiones de la misma magnitud que carga de cálculo (carga de servicio)
Dimensiones de las probetas	El área de la probeta no será menor a 9m ² , además el alto como el ancho no será menor a 2,7m.	El área de la probeta no será menor a 9m ² , además el alto como el ancho no será menor a 2,7m.	La probeta deberá tener las dimensiones reales de uso, si no es posible las dimensiones mínimas serán de 2 x 2,2m.
Criterios de falla.	Falla mecánica Pérdida de estanqueidad de la probeta T° media supera $T_0 + 140$ °C T° puntual supera 180° C	Falla mecánica Pérdida de estanqueidad de la probeta T° media supera $T_0 + 140$ °C T° puntual supera 180° C	Falla mecánica Pérdida de estanqueidad de la probeta T° media supera $T_0 + 140$ °C T° puntual supera 180° C
Condiciones de presión	Debe existir presión positiva en el horno (hacia exterior del horno).	No tiene restricciones de presión.	Debe existir presión positiva en el horno.

3.2 Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.)

3.2.1 Generalidades

La Ordenanza general de urbanismo y construcción, reglamenta la Ley General correspondiente, y regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, el proceso de urbanización, el proceso de construcción, y los estándares técnicos de diseño y de construcción exigibles en éstos.

En esta ordenanza dentro del título 4 “De la arquitectura” en el capítulo 3, se regulan las condiciones de seguridad en los edificios.

Se establece que “las disposiciones contenidas esta norma persiguen, como objetivo fundamental, que el diseño de los edificios asegure que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se facilite el salvamento de los ocupantes de los edificios en caso de incendio.
- Que se reduzca al mínimo, en cada edificio, el riesgo de incendio.
- Que se evite la propagación del fuego, tanto al resto del edificio como desde un edificio a otro.
- Que se facilite la extinción de los incendios”.

La ordenanza establece que el comportamiento al fuego de los materiales, elementos y componentes de la construcción se determinará de acuerdo con las siguientes normas o con las que las reemplacen:

- Normas generales, sobre prevención de incendio en edificios:
NCh 933 Terminología.
NCh 934 Clasificación de fuegos.
- Normas de resistencia al fuego:
NCh 935/1 Ensayo de resistencia al fuego - Parte 1: Elementos de

construcción general.

NCh 935/2 Ensaye de resistencia al fuego - Parte 2: Puertas y otros elementos de cierre.

NCh 2209 Ensaye del comportamiento al fuego de elementos de construcción vidriados.

- Normas sobre cargas combustibles en edificios:

NCh 1914/1 Ensaye de reacción al fuego - Parte 1: Determinación de la no combustibilidad de materiales de construcción.

NCh 1914/2 Ensaye de reacción al fuego - Parte 2: Determinación del calor de combustión de materiales en general.

NCh 1916 Determinación de cargas combustibles.

NCh 1993 Clasificación de los edificios según su carga combustible.

- Normas sobre comportamiento al fuego:

NCh 1974 Pinturas - Determinación del retardo al fuego.

NCh 1977 Determinación del comportamiento de revestimientos textiles a la acción de una llama.

NCh 1979 Determinación del comportamiento de telas a la acción de una llama.

- Normas sobre señalización en edificios:

NCh 2111 Señales de seguridad.

NCh 2189 Condiciones básicas.

No obstante lo dispuesto en el inciso anterior, habrá un "Listado Oficial de Comportamiento al Fuego", confeccionado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo o por la entidad que éste determine, en el cual se registrarán, mediante valores representativos, las cualidades frente a la acción del fuego de los materiales, elementos y componentes utilizados en la actividad de la construcción.

3.2.2 Requerimientos de resistencia al fuego.

La ordenanza clasifica los edificios en 4 tipos (a, b, c y d) según requerimientos de protección al fuego mediante las tablas 3, 4 y 5 según el destino del edificio. En la tabla N°3 se muestra la clasificación de los edificios según la superficie edificada, en la N°4 según el número de ocupantes del edificio y en la N°5 según la carga combustible del edificio.

Tabla N°4: Clasificación de edificios según superficie edificada.

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos							
		1	2	3	4	5	6	7 o más	
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	b	a	a
Hoteles o similares	Sobre 5.000	c	b	a	a	a	a	a	a
	sobre 1.500 y hasta 5.000	c	b	b	b	a	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	b	b	a	a	a	a
	hasta 500	d	c	b	b	a	a	a	a
Oficinas	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a	a
Museos	Sobre 1.500	c	c	b	b	b	a	a	a
	sobre 500 y hasta 1.500	c	c	c	b	b	b	a	a
	hasta 500	d	c	c	b	b	b	a	a
Salud(clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000	c	b	b	a	a	a	a	a
	Hasta 1.000	c	c	b	b	a	a	a	a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400	c	c	b	b	b	b	a	a
	Hasta 400	d	c	c	b	b	b	a	a
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500	b	a	a	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	a	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	c	b	b	a	a	a
Locales comerciales	Sobre 500	c	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 200 y hasta 500	c	c	b	b	a	a	a	a
	Hasta 200	d	c	b	b	b	a	a	a
Bibliotecas	Sobre 1.500	b	b	a	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.500	b	b	b	a	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	b	b	b	a	a	a	a
	Hasta 250	d	c	b	b	a	a	a	a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d	c	c	b	b	b	a	a
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d	c	c	c	b	b	a	a

Tabla N°5: Clasificación de edificios según máximo de ocupantes.

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS					
		1	2	3	4	5	6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Reuniones	Sobre 1.000	b	a	a	a	a	a
	Sobre 500 y hasta 1.000	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a
Docentes	Sobre 500	b	b	a	a	a	a
	Sobre 250 y hasta 500	c	c	b	b	a	a
	Hasta 250	d	d	c	c	b	a

Tabla N°6: Clasificación de edificios según densidad de carga combustible.

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS					
	Media (MJ/m ²)	Puntual Máxima (MJ/m ²)	1	2	3	4	5	6 ó más
	según NCh 1916	según NCh 1993						
Combustibles, lubricantes, aceites minerales y naturales.	Sobre 8.000	Sobre 24.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	b	a	a	a	a
	hasta 2.000	hasta 10.000	d	c	b	a	a	a
Establecimientos Industriales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	a	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	a	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	a	a	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	c	c	b	a	a
	sobre 500 y hasta 1.000	sobre 3.500 y hasta 6.000	d	d	c	c	b	a
hasta 500	hasta 3.500	d	d	d	c	c	a	
Supermercados y Centros Comerciales.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	a	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	c	c	b	b	a	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	c	c	b	b	a
hasta 1.000	hasta 6.000	d	d	c	c	b	a	
Establecimientos de bodegaje.	Sobre 16.000	Sobre 32.000	b	b	a	a	a	a
	sobre 8.000 y hasta 16.000	sobre 24.000 y hasta 32.000	c	b	b	a	a	a
	sobre 4.000 y hasta 8.000	sobre 16.000 y hasta 24.000	c	c	b	b	a	a
	sobre 2.000 y hasta 4.000	sobre 10.000 y hasta 16.000	d	c	c	b	b	a
	sobre 1.000 y hasta 2.000	sobre 6.000 y hasta 10.000	d	d	c	c	b	a
	sobre 500 y hasta 1.000	sobre 3.500 y hasta 6.000	d	d	d	c	c	a
hasta 500	hasta 3.500	d	d	d	d	c	a	

1MJ/m² = 238.85 k cal/m²

1 MJ = 0.053 kg madera equivalente de 4.000 k cal/kg

Una vez establecida la clasificación del edificio se ve la resistencia al fuego según el elemento que se desea analizar según la tabla N°4 , por ejemplo un muro corta fuego de un edificio tipo a debe resistir a lo menos 180 min. en un ensayo de resistencia al fuego (F-180).

Tabla N°7: Resistencia a fuego requerida para los elementos de construcción de edificios

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F- 30	F- 60	F-120	F- 60
b	F-150	F-120	F- 90	F- 90	F- 90	F- 15	F- 30	F- 90	F- 60
c	F-120	F- 90	F- 60	F- 60	F- 60	-	F- 15	F- 60	F- 30
d	F-120	F- 60	F- 60	F- 60	F- 30	-	-	F- 30	F- 15

Simbología:

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego.
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera.
- (3) Muros caja de ascensores.
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta).

Elementos soportantes verticales.

- (5) Muros no soportantes y tabiques.

Elementos verticales y horizontales

- (6) Escaleras
- (7) Elementos horizontales:

Elementos soportantes horizontales.

- (8) Techumbre incluido cielo falso.

Por ejemplo para lo que interesa en este trabajo de título, los elementos resistentes de una vivienda deben cumplir los requisitos mostrados en la tabla N°7.

Tabla N°8: Resistencia al fuego para elementos constructivos de una vivienda.

Elementos constructivos en viviendas	Resistencia al fuego	
	Vivienda tipo C	Vivienda tipo D
Muro cortafuego	F 120	F 120
Elementos soportantes verticales	F 30	F 60
Elementos soportantes horizontales	F 30	F 60
Techumbre	F 15	F 30

4.- Descripción general de estudio realizado en Japón a muros, tabiques y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos.

A continuación se presentan los antecedentes correspondientes a un estudio previo realizado en Japón para configuraciones de muros, tabiques y sistemas de piso y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos de acero (Ref. 1) cuyo objetivo fue estudiar la influencia de las placas de revestimiento en éstos elementos en su resistencia frente al fuego, este estudio será la base del planteamiento de investigación posterior de este trabajo.

Las secciones típicas de perfiles de acero para éstos elementos son los perfiles canal atiesados (lipped channel ,LC) ,cuyas especificaciones se muestran en la figura N°5.

Canal	H × A × C (mm)	
235LCW	235 × 50 × 20	
235LCN	235 × 40 × 20	
184LCW	184 × 50 × 20	
184LCN	184 × 40 × 20	
140LCW	140 × 50 × 12	
140LCN	140 × 40 × 12	
89LCN	89 × 40 × 12	

Figura N°6: Dimensiones de los perfiles C utilizados en los ensayos

El punto de fluencia del acero utilizado es 295 N/mm², el cual es mayor en 5% al del acero utilizado en Chile para estos elementos.

4.1.-Tabiques

El espesor utilizado para los perfiles de esos paneles es de 0,5mm, con perfiles 89LCN espaciados cada 500mm entre ejes, en ambas superficies del panel. Las dimensiones son de 2,7m de alto por 1,8 m de ancho .La separación entre tornillos es de 300mm para tornillos intermedios y 150 mm. en bordes (espaciamiento estándar).Para estos ensayos realizados en Japón se fijó una resistencia objetivo del tabique para su corroboración (F15 a F 120).

Para aumentar la resistencia de los tabiques se utilizaron distintas opciones tales como aumentar el espesor de las placas utilizadas, adherir más placas (doble recubrimiento) o disminuir la separación entre conectores. Entre las placas utilizadas en este estudio se encuentran: Placas de yeso cartón (resistentes al fuego y estándar) , placas de OSB y madera terciada .

4.2.-Muros estructurales

Se ensayaron 6 tipos de muros según resistencia objetivo, (RF entre 30 a 45 min.) .Las dimensiones de los elementos ensayados son 2,7 m de alto por 1,82m de ancho y están estructurados con perfiles de sección canal 89LCN de 0,8 mm. de espesor dispuestas cada 500mm .Las placas de revestimiento utilizadas son variadas (placa de madera, yeso-carón o madera estucada con fibrocemento) y son dispuestas dependiendo de la resistencia objetivo propuesta para cada ensayo. Los tornillos utilizados tienen un espaciamiento estándar: 300 mm en perfiles canal interiores y 150 mm en bordes. En la fig.6, se muestra el tipo de estructuración utilizada en muros.

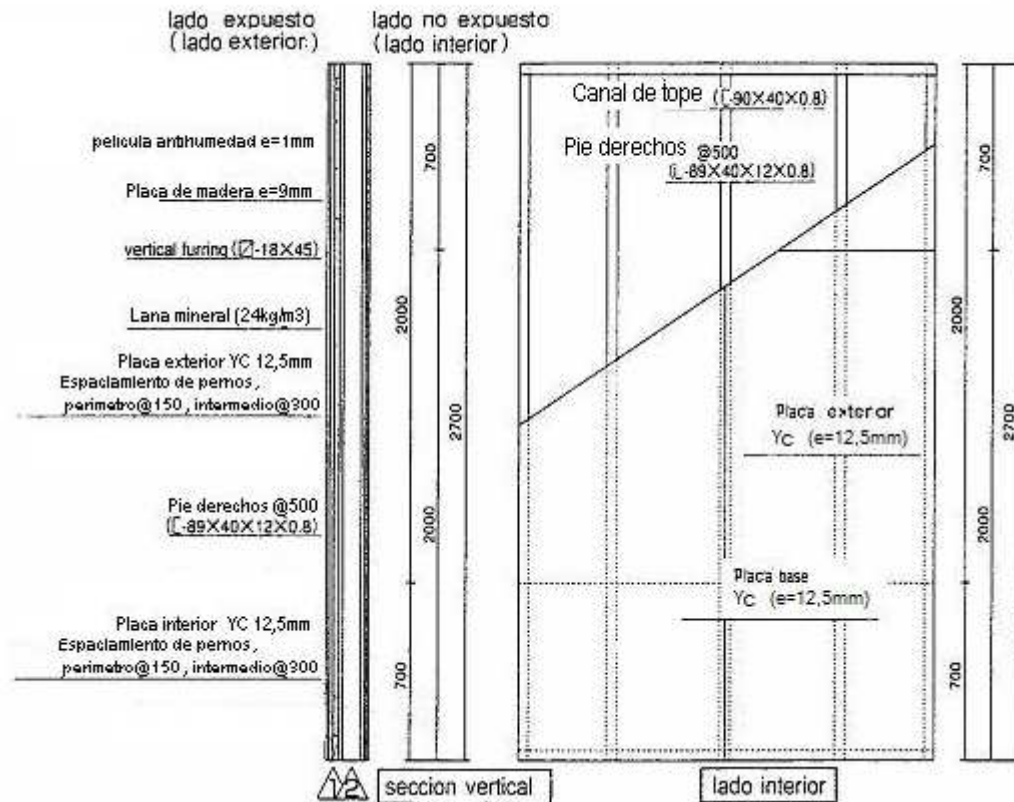


Figura N°7: Ejemplo de estructuración de muro.

4.3.-Sistemas de pisos y cielos

Para este tipo de elementos se ensayaron 6 diseños distintos los cuales se clasifican según resistencia al fuego objetivo del espécimen (RF entre 15 a 60 minutos). Las dimensiones de estos elementos son: 2,95m de alto y 4,26m de largo. Los perfiles utilizados en su estructuración son perfiles canal (235LCN, 1mm de espesor) dispuestos cada 500 mm. Los elementos a ensayar contemplan revestimientos con una placa de madera (OSB) a la cual se le suman placas de yeso-cartón y yeso-cartón sin fibras orgánicas dependiendo de la resistencia objetivo que se requiera. Los tornillos utilizados se disponen a 100 mm en el perímetro del panel y 150mm en perfiles interiores para la cara expuesta al fuego, mientras que para la no expuesta, se disponen a 150 en el perímetro y 200 en el interior.

4.4 Metodología de ensayo

El método utilizado en estos ensayos corresponde al de la norma ISO 834 (ISO 1975). La carga aplicada equivale a la carga admisible de pandeo de la sección (para carga sostenida), la cual es de 34KN para tabiques y muros y 20,5KN para sistemas de piso y cielo.

El calor fue aplicado de un lado a otro en los tabiques y muros, mientras que para sistemas de pisos y cielos el calor fue aplicado de la cara inferior hacia la superior de la muestra. La temperatura fue medida sobre las secciones de acero (perfiles canal) sobre la superficie no expuesta al fuego y sobre los tornillos. La deformación fue medida axial y horizontalmente para muros y tabiques y para sistemas de cielo y pisos en la dirección vertical (deflexión).

Las temperaturas admisibles en las caras no expuestas de los elementos son las siguientes.

Temperatura máxima $180 + T_0$ (°C)

Temperatura promedio $140 + T_0$ (°C)

Donde T_0 es la temperatura inicial (°C)

La deformación admisible para muros y tabiques son las siguientes.

$$\delta_1 \leq h/100 = 27 \text{ mm}$$

$$v_1 \leq 3h/1000 = 8,1 \text{ mm / min}$$

donde δ_1 es la deformación admisible y v_1 es la velocidad de deformación.

Análogamente para sistemas de pisos y cielos se tiene:

$$\delta_2 \leq L_2/400 = 108,6 \text{ mm}$$

$$v_2 \leq L_2/9000 = 8 \text{ mm / min.}$$

5.- Revisión de antecedentes de ensayos de resistencia al fuego de paneles prefabricados con perfiles metálicos livianos en Chile

5.1. Configuraciones de cielos, tabiques y muros perimetrales.

En Chile la estructuración de tabiques y muros en perfiles metálicos livianos se realiza principalmente con perfiles C atiesados (pie derechos), cuyo rango varía entre los 40mm a 100mm de alma; En casos muy particulares se han utilizado perfiles mayores y siempre con espesores menores a 1,6mm.

Las soleras superior e inferior son de dimensiones compatibles con la dimensión del alma de los pie derechos, siendo 2mm más anchas.

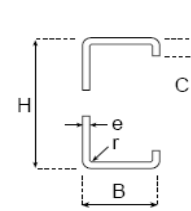
En cuanto a la separación entre pie derechos, ésta, en general, varía entre los 400mm a 600mm, y depende de los requerimientos de resistencia de tabiques o muros.

Las placas de recubrimiento de éstos elementos (y uno de los puntos principales de estudio en este trabajo de título) puede realizarse con distintas soluciones tales como: Placa de Yeso-cartón, placa de OSB, placa de madera aglomerada, placa de yeso-cartón RF (sin fibras minerales), etc.

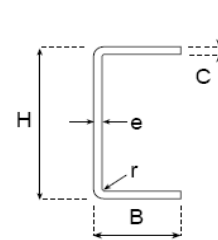
Para la estructuración de pisos y cielos en perfiles metálicos livianos se utilizan preferentemente perfiles C atiesados de las series 150 a 200 mm de alma, con espesores que van entre 0,85 a 1,6 mm y separación entre perfiles según requerimientos estructurales. Las terminaciones de estos elementos son, en general, en base a placas de madera u otro sistema que cumpla con la resistencia adecuada, pudiendo utilizarse similares soluciones que en los casos de tabiques y muros.

A continuación se presenta una tabla con los perfiles típicos utilizados en Chile para estructurar muros, tabiques y sistemas de pisos y cielos con perfiles metálicos livianos.

Tabla N°9: Series de perfiles metálicos livianos.



Nombre	Alma H(mm)	Ala B(mm)	Atiesador C(mm)	Espesor e(mm)	Peso (kg/m)	Nomenclatura	Aplicación
C 2x2x0,85	40	20	6	0,85	0,83	40CA085	Tabiques
C 2x3x0,85	60	38	6	0,85	0,96	60CA085	Tabiques
C 2x4x0,85	90	40	12	0,85	1,23	90CA085	Muros y tabiques
C 2x4x1,0	90	40	12	1,0	1,44	90CA10	Muros
C 2x5x0,85	100	50	12	0,85	1,32	100CA085	Muros
C 2x6x0,85	150	60	12	0,85	1,64	150CA085	Envigados de piso y cielos
C 2x6x1,0	150	60	12	1,0	1,94	150CA10	Envigados de piso y cielos
C 2x6x1,6	150	60	12	1,6	3,06	150CA16	Envigados de piso y cielos
C2x8x1,6	200	80	12	1,6	3,67	200CA16	Envigados de piso y cielos
C 2x10x1,6	250	100	15	1,6	4,64	250CA16	Envigados de piso y cielos



Nombre	Alma H(mm)	Ala B(mm)	Espesor e(mm)	Peso (kg/m)	Nomenclatura	Aplicación
U 2x2x0,85	42	25	0,85	0,58	42CO085	Solera perfil 40CA
U 2x3x0,85	62	25	0,85	0,72	62CO085	Solera perfil 60CA
U 2x4x0,85	92	30	0,85	1	92CO085	Solera perfil 90CA
U 2x4x1,0	92	30	1,0	1,17	92C10	Solera perfil 90CA
U 2x5x0,85	103	30	0,85	1,06	103CO085	Solera perfil 100CA
U 2x5x1	103	30	1,0	1,25	103C10	Solera perfil 100CA
U 2x6x1,0	153	30	1,0	1,65	153C10	Solera perfil 150CA
U 2x8x1,0	203	30	1,0	2,04	203C10	Solera perfil 200CA
U 2x10x10	253	30	1,0	2,41	253C10	Solera perfil 200CA

5.1.1 Antecedentes de ensayos realizados por IDIEM para distintas configuraciones de muros y techos y cielos en el período 2005-2008.

Rating	Duración (Minutos)	Solución	Configuración	Espesor (mm)	Uso
F-15	22	Murogal Especial Divisorio	YCN10+M60+YCN10	80	Tabique
F-30	54	Murogal Especial Divisorio	2(YCN10)+M90+2(YCN10)	130	Muro o tabique
F-60	79	Murogal Especial Divisorio	2(YCN15)+M90+2(YCN15)	150	Muro o tabique
F-60	64	Murogal Especial Divisorio	2(YCN10)+M60+2(YCN10)	100	Tabique
F-30	38	Murogal Especial Divisorio	YCN15+M90+YCN15	120	Muro o tabique
F-90	95	Murogal Especial Divisorio	2(YCN15)+M60+2(YCN15) (S/Aislacion)	120	Tabique
F-120	123	Murogal Especial Divisorio	2(YCN15)+M60+2(YCN15) (C/Aislacion)	120	Tabique
F-120	138	Murogal Especial Divisorio	2(YCF12.5)+M90+2(YCF12.5)	140	Muro o tabique
F-15	24	Murogal Especial Exterior	FC4+M60+YCN10	74	Tabique
F-30	39	Murogal Especial Exterior	FC5+M60+YCN15	80	Tabique
F-30	36	Murogal Especial Exterior	FC5+M90+YCN15	110	Muro o tabique
F-30	44	Murogal Especial Exterior	OSB10+90+YCN15	115	Muro o tabique
F-60	68	Murogal Especial Exterior	OSB10+M90+2YCN15	130	Muro o tabique
F-30	51	Murogal Especial Exterior	OSB10+M90+2YCN10	120	Muro o tabique
F-30	33	Techumbre y Cielo Metalcon	YCF12.5+35		Cielo o techumbre
F-15	22	Techumbre y Cielo Metalcon	YCN10+35		Cielo o techumbre
F-30	43	Murogal Especial Exterior	Tin FC+OSB 9+M60+1YCN 15 (C/Aislacion)	80	Tabique
F-15	21	Murogal Especial Exterior	OSB 9.5+M60+1YCN 8 (C/Aislacion)	90	Tabique

Tin FC	Tinglado Fibro Cemento
FC	Fibrocemento
YCN	Plancha de yeso cartón Normal
YCF	Plancha de yeso cartón resistente al fuego (RF)
OSB	Plancha aglomerada de madera
M90	Murogal montante de 90mm de alma
MA	Malla Acma
S/Aislacion	Sin aislación
C/Aislacion	Con aislación

Figura N°8: Ensayos de resistencia al fuego realizados para Cintac S.A.

RF	Configuración	Uso
F-15	YCN10+aislanglass R-118+YCN10	Cielo o techumbre
F-30	YCRF12,5+aislanglassR-122	Cielo o techumbre
F-15	YCN10*2x3" madera+YCN10	Tabique
F-30	YCN15+45x70" madera+YCN15	Tabique
F-30	YCN15+32x32" madera+YCN15	Tabique
F-30	YCN15+M40+YCN15	Tabique
F-30	YCN15+M60+YCN15	Tabique
F-60	YCN10+YCN15+M60+YCN15	Tabique
F-60	2YCN10 +M40+2YCN10	Tabique
F-60	YCN10+YCN15+M60+YCN15	Tabique
F-60	YCN10+YCN10+Celda hexagonal madera+2YCN10	Tabique
F-90	2YCRF12,5+M60+2YCRF12,5	Tabique
F-90	YCN15+2YCN 15+(32x32" madera)+YCN15	Tabique
F-120	2YCRF15+M60+2YCRF15	Tabique
F-180	3YCRF15+M60+3YCRF15	Tabique

Figura N°9: Ensayos de resistencia al fuego realizados para El volcán S.A.

5.1.2 Análisis de datos

Con los datos obtenidos de los ensayos realizados para las empresas Cintac y Volcán no es posible generar conclusiones certeras respecto a resistencia al fuego de tabiques o muros estructurados con perfiles livianos de acero por cuanto no son suficientes están realizados sin un patrón. Sin embargo se aprecian tendencias en éstos datos, entre las cuales se puede mencionar:

- La placa expuesta al fuego es la que determina principalmente la resistencia del elemento, ya que para similar configuración de placa expuesta al fuego y distinta en la cara no expuesta al fuego , las resistencias son similares.

- Los perfiles metálicos no influyen de gran manera en la resistencia al fuego del elemento.
- La separación entre tornillos de fijación no se especifica en los ensayos la cual debería ser igualmente una característica a considerar.
- El material comúnmente utilizado en estos ensayos son las placas de yeso-cartón (YC o YCRF) las cuales dispuestas de forma adecuada pueden proporcionar cualquier resistencia al fuego requerida.

6. Ensayos de prueba:

Generalidades:

Se llevarán a cabo 3 ensayos de resistencia frente al fuego de muros y tabiques estructurados con perfiles metálicos livianos, con el objetivo de poner a punto una metodología de ensayo considerando la aplicación de carga vertical.

6.1 Ensayo tabique N°1: Tabique estructurado en perfiles metálicos livianos.

6.1.1 Generalidades

Se desea conocer la resistencia al fuego de un tabique estructurado en base a perfiles metálicos livianos, destinado como elemento divisorio en edificios.

6.1.2 Características del tabique (probeta a ensayar)

Se contempla una estructuración formada por perfiles metálicos livianos, perfiles derechos de la serie C de 60x38x6x0.85 mm, montantes, distanciados entre ejes a 55 cm. de eje a eje con soleras (superior e inferior), de la serie U de 62x25x0.85 mm. Esta configuración está forrada por ambas caras con una plancha de yeso cartón estándar de 12,5mm de espesor atornillada a la estructura de acero. El espaciamiento de los tornillos es de 150 mm para perfiles de borde y 300 para perfiles interiores (Ver figura N °13). Tal configuración deja espacios libres en el interior del panel el cual no será ocupado. El espesor total del elemento es de 80 mm.

Las dimensiones de la probeta a ensayar son de 2,4 m de largo x 2,2 m de ancho y 80 mm de espesor, con un peso total aproximado de 24 Kg., considerando sólo perfiles metálicos.

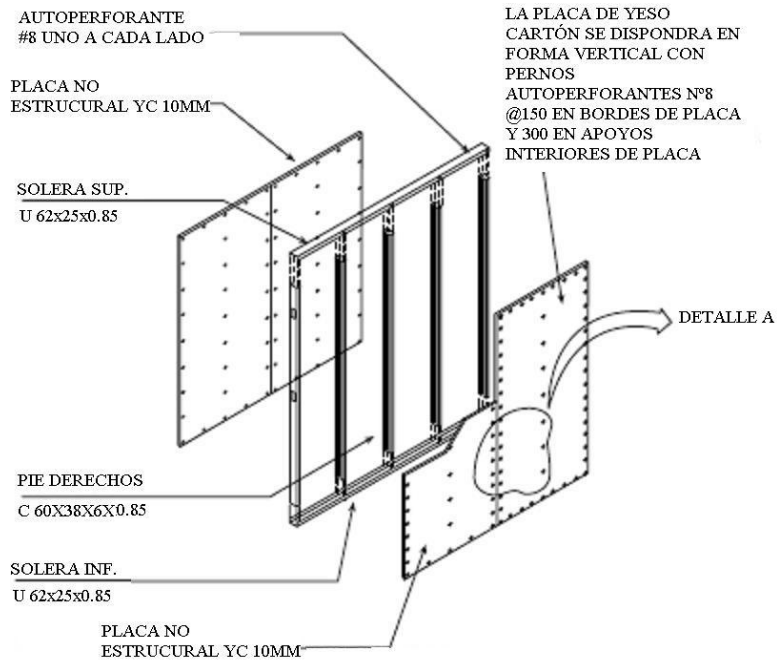


Figura N°10: Detalle de tabique

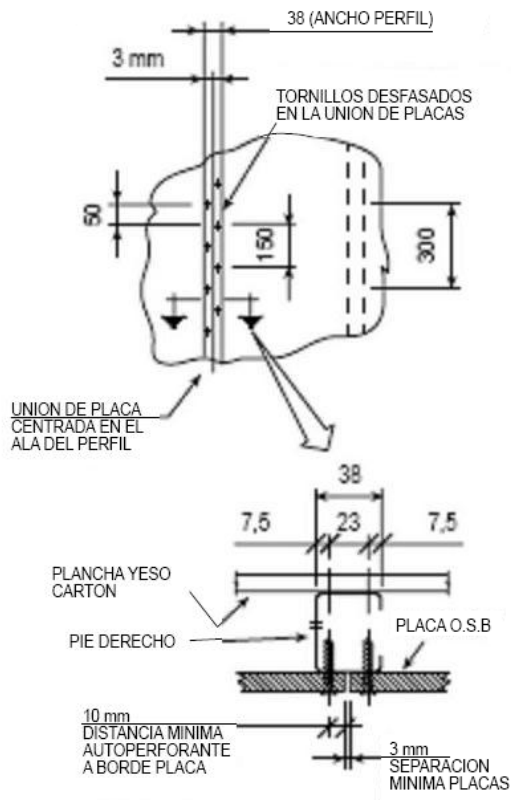


Figura N°11: Anclaje típico de placa de recubrimiento a perfiles metálicos para tabiques.

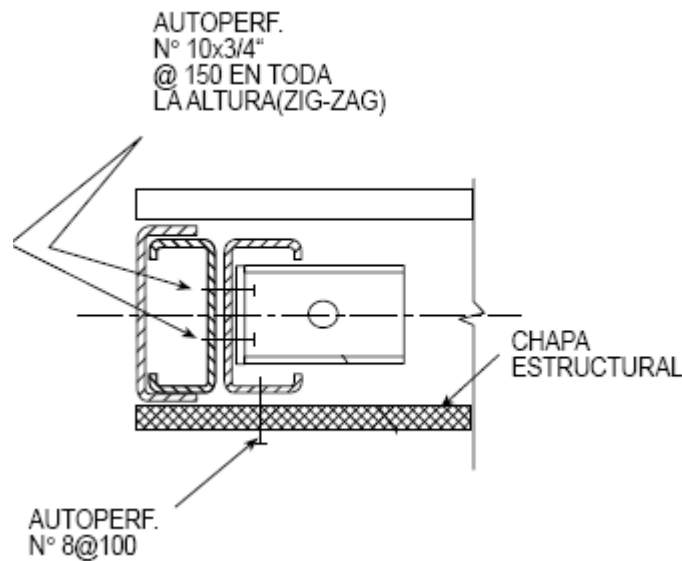


Figura N°12: Detalle típico fin de estructura de borde de tabique

6.1.2 Planchas de recubrimiento

En la estructuración del elemento anteriormente descrito se agregan las planchas de recubrimiento, las cuales son de vital importancia en el comportamiento frente al fuego en tabiques y muros estructurados en perfiles metálicos livianos.

Específicamente para este tabique se contempla el uso de una placa de yeso-cartón (RF) (12,5mm) por cada lado del tabique cuya resistencia objetivo es de 30 min.

6.1.3 Metodología

Luego de tener la probeta estructurada según los requerimientos indicados anteriormente se procede a la instalación de éste en el horno.

La carga utilizada se resume en la tabla N°12, la cual se logra mediante cargas distribuidas descritas anteriormente en la figura N°11. Cabe destacar que la carga aplicada es un 80% de la carga máxima admisible para cada perfil de los montantes.

Tabla N°10: Magnitud de cargas aplicadas en tabiques

Cargas en tabiques estructurados con perfiles 60CA085			
Elemento	Peso (kgf/m)	L(m)	P total (kgf)
Viga IPE 240	30,7	3,8	117
HN 20x20	75,4	1,9	143
Viga Hormigon			384
			644 kgf
L tabique	Carga dist.(kgf/m)	N adm.60CA085(kgf)	Carga por pie derecho
2,2	293	218	176
		Ocupación del perfil	81 %

6.2 Ensayo tabique N°2: Tabique estructurado en perfiles metálicos livianos.

6.2.1 Finalidad

Se desea conocer la resistencia al fuego de un tabique estructurado en base a perfiles metálicos livianos, destinado como elemento divisorio en edificios.

6.2.2 Características del elemento de construcción

El elemento está formado por perfiles metálicos livianos, pie derechos de la serie C de 60x38x6x0.85 mm, Murogal montante, distanciados entre ejes a 55 cm. de eje a eje coronados por 2 soleras (superior e inferior), de la serie U de 62x25x0.85 mm. Esta configuración está forrada en ambas caras con dos planchas de yeso cartón estándar de 12,5mm de espesor atornillada a la estructura de acero. El espaciamiento de los tornillos es de 150 mm para perfiles exteriores y 300 para perfiles interiores (Ver figura N °17). Tal configuración deja espacios libres en el panel el cual no será ocupado. El espesor total del elemento será de 80 mm.

La probeta a ensayar será de 2,4 m de largo x 2,2 m de ancho y 80 mm de espesor. El peso total de elemento será 24,4 Kg. aproximadamente, considerando sólo perfiles metálicos.

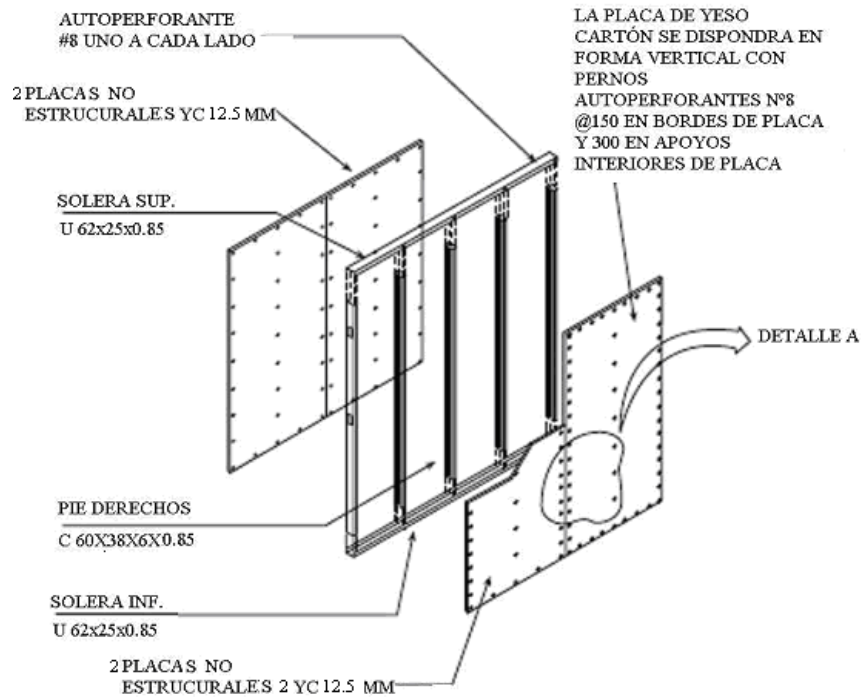


Figura N°13: Estructuración tabique N°2

6.2.3 Metodología:

Análogamente a la probeta anterior, una vez instalada la probeta en el horno, se procede a cargar el tabique N° 2 con el mismo esquema y magnitud de cargas del tabique anterior. (Las cargas para todos los tabiques será la misma debido a la utilización de los mismos perfiles y configuración en su estructuración).

6.3 Ensayo muro N°1: Muro estructurado en perfiles metálicos livianos.

6.3.1 Finalidad

Se desea conocer la resistencia al fuego de un muro estructurado en base a perfiles metálicos livianos, destinado como muro perimetral en viviendas o muro divisorio en edificios.

6.3.2 Características del elemento de construcción

El elemento está formado por perfiles metálicos livianos, pie derechos de la serie C de 90x38x6x0.85 mm, Murogal montante, distanciados entre ejes a 55 cm. de eje a eje coronados por 2 soleras (superior e inferior), de la serie U de 92x25x0.85 mm.

Esta configuración está forrada en la cara exterior con una plancha de yeso cartón estándar de 12,5mm de espesor atornillada a la estructura de acero, en la cara expuesta al fuego se contempla el uso de placa OSB (9mm), placa duraboard 6mm, lana mineral 25mm, fieltro volcán 10/40

El espaciamiento de los tornillos es de 150 mm para juntas y bordes y 300 para perfiles interiores (Ver figura N°17). Tal configuración deja espacios libres en el panel el cual no será ocupado. El espesor total del elemento será de 150 mm.

La probeta a ensayar será de 2,4 m de largo x 2,2 m de ancho y 80 mm de espesor. El peso total de elemento será 24,4 Kg. aproximadamente, considerando sólo perfiles metálicos.

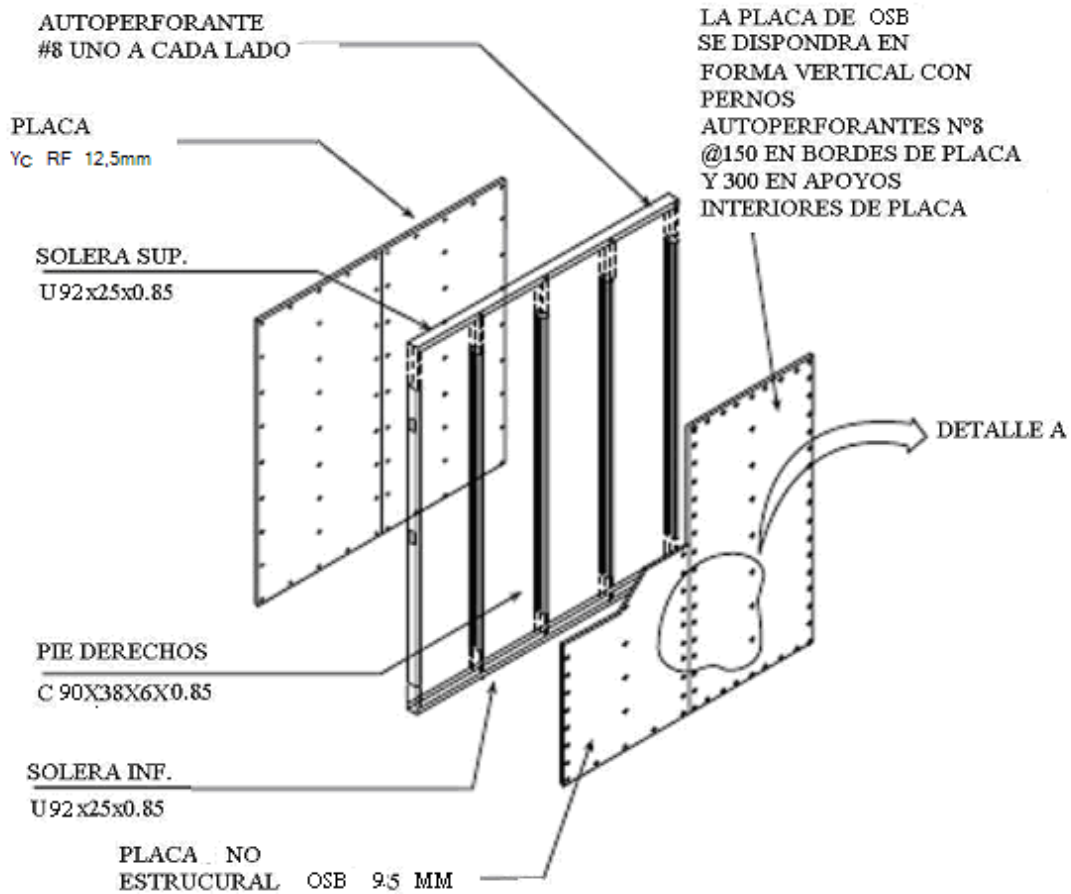


Figura N° 14: Estructuración Muro N° 1

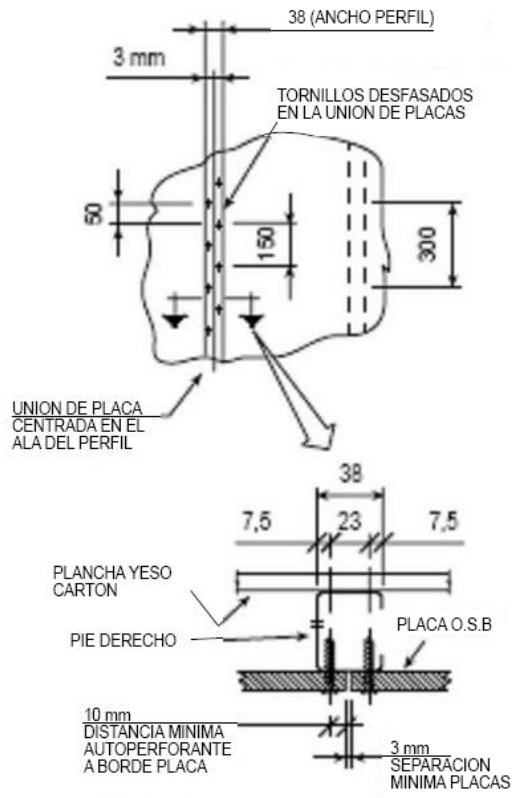


Figura N°15: Anclaje típico de placa a perfiles metálicos para muros

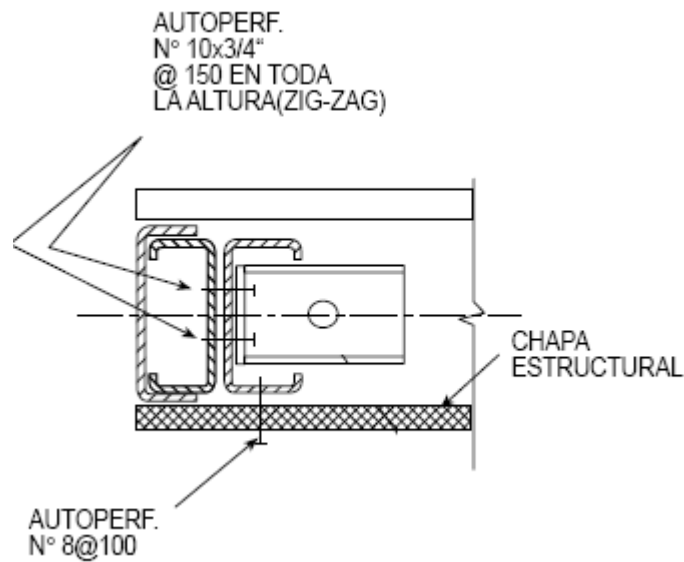


Figura N°16: Detalle típico fin de muro

6.3.3 Metodología:

Una vez instalada la probeta en el horno, se chequea la correcta posición y verticalidad de la misma procediendo a tapar con un mortero en base a yeso el espacio entre la probeta y el horno. Luego de esto se carga la probeta con el esquema mostrado en la figura N°11. Para muros se utilizará una carga total de servicio de 800 kg, agregando a la configuración utilizada para cargar tabiques, pesos (discos de acero) en los extremos de la viga de carga, con lo cual se obtiene una ocupación del perfil de 53% (ver tabla N°11).

Luego de tener aseguradas las cargas, se procede a chequear los equipos de laboratorio (horno, computadores, termocuplas y pirómetro) y se da comienzo al ensayo, tomando nota sobre las condiciones de humedad y temperatura iniciales.

Tabla N°11: Magnitud de carga para muros estructurados con perfiles 90CA085

Cargas en muros estructurados con perfiles 90CA085			
Elemento	Peso (kg/m)	Largo (m)	Peso total (kg)
Viga IPE 240	30,7	3,8	117
HN 20x20	75,4	1,9	143
Viga hormigón			384
Pesos extremos			150
Largo probeta (m)	Carga total(kg/m)	Carga admisible (kg)	Carga por pie derecho(kg)
2,2	361	412	217
		Ocupación del perfil	53 %

7.- Resistencia al fuego de muros, tabiques y sistemas de piso y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos. Planteamiento de una investigación.

7.1 Generalidades:

Considerando la necesidad de desarrollar investigación sobre comportamiento al fuego de distintos elementos de construcción estructurados con perfiles metálicos livianos y diferentes tipologías de revestimiento, en este punto se describen las bases de un proyecto específico para evaluar la influencia de la estructuración y de las placas de revestimiento utilizadas en la construcción de viviendas con perfiles livianos de acero, en su resistencia al fuego.

Los ensayos se realizan conforme a la norma chilena NCh 935 aplicando una carga axial de servicio, a cual será un 80% de la carga axial máxima admisible para tabiques y un 55% para los muros.

7.2 Tabiques

Las probetas de tabiques propuestas a ensayar son 28, realizando para cada una de las 9 configuraciones de tabiques (tabiques del 1 al 9) 2 ensayos con cara de servicio y 2 con carga última según proceda en la tabla N°12. Los tabiques tendrán una RF objetivo según:

Tabique 1 (T1): F-15, tabiques 1 al 6 F-30 y tabiques 7 al 9 F-60, según NCh 935 of.97. Se construirán probetas de 2,2m de ancho por 2,4m de alto, estructuradas con perfiles metálicos de sección C 60x38x6x0,85 espaciados a 55cm, éstas serán cubiertas con placas de yeso-cartón normal o resistente al fuego (YC o YCRF, espesores variables, ver tabla N°12) sujetos mediante tornillos cabeza de trompeta 3,51mm diámetro. La separación de éstos tornillos será la típica, 150mm para las juntas de placas y bordes del tabique y de 300mm para fijaciones interiores. Ésta será la separación estándar de los tornillos y de no haber referencia a la separación de los tornillos se asumirá separación estándar.

Tabla N°12: Proyecto de ensayos de tabiques

Especificaciones de estructuración de tabiques						
RF	Tabique*	Lado sometido a fuego		Lado exterior		Carga
		Material, espesor	Espaciamiento tornillos	Material, espesor	Espaciamiento tornillos	
15	T1	YC;12,5mm	150/300	YC;12,5mm	150/300	Servicio Última
30	T2	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	Servicio
	T3	PE;YC:12,5mm	150/300	PE;YC:12,5mm	150/300	Servicio Última
		PB;YC :12,5mm	150/300	PB;YC :12,5mm	150/300	
	T4	PE;YC:12,5mm	100/150	PE;YC:12,5mm	100/150	Servicio
		PB;YC :12,5mm	150/200	PB;YC :12,5mm	150/200	
T5	PE;YC:12,5mm	150/300	PE;YC:12,5mm	150/300	Servicio Última	
	PB1;YC :12,5mm PB2;OSB :9mm	150/300 150/300	PB1;YC :12,5mm PB2;OSB :9mm	150/300 150/300		
T6 (Doble)	PE;YC:12,5mm	150/300	PE;YC:12,5mm	150/300	Servicio	
	PB;YC :12,5mm RI:LM (24kg/m3):5mm I: OSB:9mm	150/300 150/300	PB;YC :12,5mm RI:LM (24kg/m3):5mm I: OSB:9mm	150/300 150/300		
60	T7	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	Servicio Última
		PB;YC(RF) :12,5mm	150/300	PB;YC(RF) :12,5mm	150/300	
	T8	PE;YC(RF):12,5mm	100/150	PE;YC(RF):12,5mm	100/150	Servicio
PB;YC(RF) :12,5mm		150/200	PB;YC(RF) :12,5mm	150/200		
T9 (Doble)	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	PE;YC(RF):12,5mm	150/300	Servicio Última	
	PB;YC(RF) :12,5mm RI:LM (24kg/m3):5mm I: OSB:9mm	150/300 150/300	PB;YC(RF) :12,5mm RI:LM (24kg/m3):5mm I: OSB:9mm	150/300 150/300		

* Se deben realizar 2 ensayos con cada configuración de tabique

El tabique 1 (T1) se estructuró con 1 placa de yeso-cartón estándar (YC) 12,5mm por cada lado y su resistencia objetivo es de al menos 15 min. (F-15). Tabique 2 (T2) posee 2 placas YC (RF) 12,5mm por cada lado y su resistencia objetivo es de más de 30 min. (F30). Tabique 3 se estructura con la misma configuración de tabique 2 pero se cambia la separación estándar de tornillos por 150/200 (150mm de separación para fijación de juntas y bordes y 200mm para intermedios) para la placa base del tabique y 100/150 para la placa expuesta al fuego. Tabique 4 cambia las dobles placas de yeso-cartón estándar por yeso-cartón resistente al fuego (YCRF). Tabique 5 una placa de OSB 9mm es adherida como placa base a las 2 placas YC por los 2 lados, resistencia objetivo F 30. Tabique 6 es doble con doble YC, 12,5mm, por lados exteriores y 2 placas OSB 9mm interior, resistencia objetivo F 45. Tabique 7 utiliza 2 placas de YCRF por cada lado, la placa base de 15mm y placa exterior de 12,5mm (F 60). Tabique 8 similar a T7 con separación de tornillos de 150/200 para placa exterior y 100/150 para placa base. Tabique 9 es un tabique doble con doble placa YCRF de 12,5 mm por cada lado y placa interior 2 OSB 9mm. El espacio interior se rellena con lana mineral densidad 24kg/m³ (Ver figura N° 10).

Los distintos tipos de configuraciones utilizados en los ensayos son con el objetivo de obtener datos que permitan comparar las soluciones y entregar conclusiones sobre el comportamiento al fuego de los elementos según tipo de placa, espaciamiento de tornillos o influencia de lo perfiles metálicos livianos.

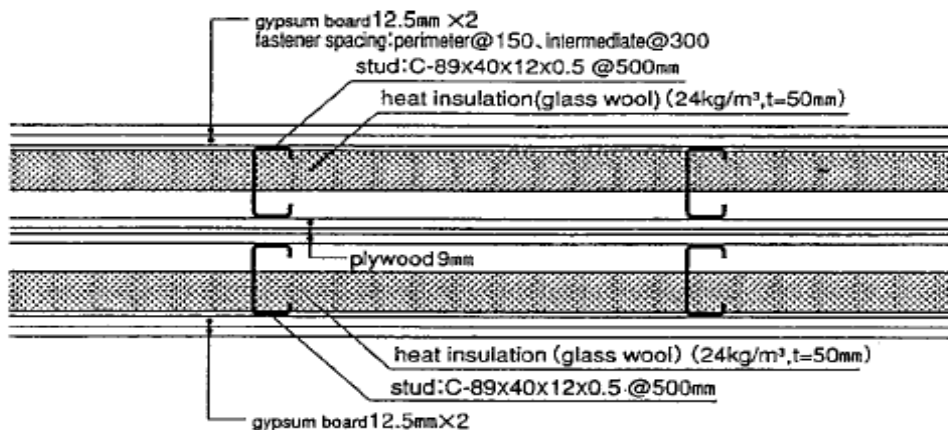


Figura N°17: Ejemplo de perfiles y dimensiones utilizados en el ensayo de un muro doble.

7.3 Muros

Las probetas de ensayo a muros son 20, siendo RF objetivo 30 minutos. Éstas son de 2,2m de ancho por 2,4m de alto y están estructuradas con perfiles C 90x38x15x0,85 espaciados 55cm entre sus ejes. Los muros, por ser utilizados generalmente como muros perimetrales se ensayarán con terminaciones típicas de sellado y cubierta de juntas de modo de representar fidedignamente las condiciones reales a las que estará sometido el muro al momento de ensayarlos.

Tabla N°13: Proyecto de ensayos a muros.

Especificaciones de estructuración de muros						
Lado sometido a fuego				Lado exterior		
RF	Muro*	Material , espesor	Espaciamiento tornillos	Material , espesor	Espaciamiento tornillos	Carga
30	M1	YC(RF);12,5mm RI: LM	150/300	PE.OSB:9mm	150/300	Servicio Última
	M2	YC(RF);12,5mm RI: LM	150/300	PE.TE:9mm	150/300 150/300	Servicio
	M3	PE.TE:9mm RI: LM	150/300	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	100/150 150/200	Servicio Última
	M4	PE.OSB:9mm RI: LM	150/300	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio
	M5	PE.MDF:9mm RI: LM	150/300	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio Última
	M6	PE.MDF:9mm RI: LM	150/300	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio

* Se deben realizar 2 ensayos con cada configuración de muro

Nomenclatura:

D.O: Duración objetivo del elemento (min.)

YC: Yeso- Cartón

PE: Placa exterior

PB: Placa base

RI: Recubrimiento interior.

LM: Lana mineral.

I: Interior

TE: Terciado Estructural

MA: Madera aglomerada

EP: Espuma de polietileno

Para muro 1, de resistencia objetivo F-30, se utiliza una placa de YCRF por el lado de exposición al fuego y una placa de OSB 9mm interior más una placa de fibrocemento 6mm. Además un relleno interior de lana de vidrio (40 kg./m³), 80 mm. espesor se ubica entre las placas. Muro 2 tiene similar configuración a M1 con la salvedad que se utilizan 2 placas YC interiores. Muro 3 posee placa exterior OSB 9mm y 2 placas YC 12,5mm interiores. De relleno se utiliza en vez de lana de vidrio, espuma de polietileno 25mm. Muro 4 similar a M3, se reemplaza OSB 9mm por placa de terciado estructural (TE) 9mm. Muro 5 utiliza en vez de placa TE de muro 4 una placa de madera de mediana densidad (MDF) 9mm. Finalmente para muro 6 se utiliza una placa de madera aglomerada 9mm.

7.4 Sistemas de piso y cielos.

Las probetas a ensayar de sistemas de piso y cielos estructurados con perfiles metálicos livianos son 20, las cuales se clasifican según su resistencia al fuego en 6 tipos: Probeta de cielo 1 (C1): F 15, C2 30, C3, C4 y C5 serán F30 y C6 se proyecta como F60.

Las dimensiones de las probetas son de 3m de ancho por 4m de largo disponiendo de 12 m² de superficie. En general, una placa de terciado estructural es atornillada a la cara no expuesta al fuego (piso) sobre perfiles C 150x40x12x1 mm espaciados a 500mm entre ejes, bajo los cuales se dispone de una placa YC u otra similar dependiendo de la resistencia objetivo planeada para la probeta en particular. El espaciamiento entre perno es para la cara expuesta al fuego de 100mm para bordes y juntas de placas y de 150mm para fijación normal, mientras que para la cara no expuesta al fuego la separación entre tornillo será de 150 para bordes y juntas y de 200 para fijación normal.

Tabla N°14: Proyecto de ensayo a pisos y cielos.

Especificaciones de estructuración de pisos y cielos						
Lado sometido a fuego				Lado exterior		
RF	Probeta*	Material , espesor	Espaciamiento tornillos	Material , espesor	Espaciamiento tornillos	Carga
15	C1	PE.OSB:9mm RI: LM	100/150 150/200	YC;12,5mm	150/300	Servicio Última
30	C2	PE.TE:9mm RI: LM	100/150 150/200	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio
	C3	PE.TE:9mm RI: LM	100/150 150/200	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	100/150 150/200	Servicio Última
	C4	PE.OSB:9mm RI: LM	100/150 150/200	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio
	C5	PE.MDF:9mm RI: LM	100/150 150/200	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio Última
60	C6	PE.CWB:9mm RI: LM	100/150 150/200	PE;YC:12,5mm PB;YC 12,5mm	150/300 150/300	Servicio

* Se deben realizar 2 ensayos con cada configuración de piso-cielo

Para probeta C1(RF15) una placa TE 12mm fue adherida al piso (cara no expuesta al fuego), mientras que para cubierta de cielo se utilizan 2 placas YC 9,5mm.La probeta C2 se proyecta como F 30 , por lo que para piso se utiliza una placa YC 12,5mm sobre la placa TE 12mm.Para cielo s utiliza como placa base YC 9,5mm la cual se cubre con otra placa YC 12,5mm como placa exterior.

Probeta C3 se proyecta como F45 con cubierta de piso similar a C2 y cubierta de cielos placas YCRF 12,5mm.C4 tiene las mismas características de la probeta C2 y se refuerza su resistencia frente al fuego rellenando el espacio interior (entre placas) con lana mineral (40kg/m2) 50mm.C5 posee características anti sonido, para el piso se utiliza una placa de madera aglomerada con superficie de cemento (CWB) 18mm puesta sobre una placa TE 15mm.Para cielo se utilizan 2 placas YC, la placa base de 15m y placa exterior de 12,5mm.

7.5 Metodología Experimental

7.5.1 Generalidades:

Tanto el trabajo experimental como la confección de las probetas se llevará a cabo íntegramente en el Laboratorio de Incendios de IDIEM, ubicado en la región Metropolitana comuna de Cerrillos. Los perfiles metálicos livianos utilizados en la confección de las probetas de ejemplo fueron aportados en su totalidad por CINTAC S.A. y las placas de yeso cartón utilizadas como cubierta fueron provistas por la empresa EL VOLCÁN S.A. se recomienda en una futura continuación de este estudio utilizar placas y perfiles similares a los anteriores en función de mantener la mayor cantidad de variables controladas tanto en tipos de materiales utilizados, maquinaria etc.

Para cada ensayo se realizará un informe siguiendo las recomendaciones de la norma NCh 935 el cual indicará la metodología utilizada, en particular la carga aplicada de cada probeta.

7.5.2 Normas referenciales.

El estudio en general se basa en las recomendaciones de la norma NCh 935/1 Of.97 “Prevención de incendio en edificios – Ensayos de resistencia al fuego – Parte 1: Elementos de construcción en general.” Además se utilizan algunas recomendaciones de las normas ISO 843 y la norma ASTM E119 las cuales se detallan con posterioridad.

7.5.3 Confección de probetas:

La confección de las probetas a ensayar se realizará meticulosamente cuidando cumplir con las especificaciones requeridas para cada ensayo, entre los cuales destacan: designación de los perfiles metálicos utilizados, separación requerida de éstos, material y espesor de las placas utilizadas de cubierta, material de relleno interior y separación de los tornillos de fijación.

7.5.4 Procedimientos generales de ensayos:

Una vez construida la probeta se procede a su instalación en el horno. Comprobada la correcta ubicación de la probeta se procede a tapar las oberturas entre esta y el horno con un mortero en base a yeso. Luego se aplica la carga requerida (Ref. 7 y anexo II) dependiendo del tipo de probeta (muro, tabique o cielo-piso) siendo ésta la carga axial admisible por pie derecho del elemento de estructuración, minorado por un factor de 0.8 (carga de servicio).

Con los puntos mencionados anteriormente completos se procede a calibrar los instrumentos (termocuplas, deformímetros) para poner en funcionamiento el horno. La prueba se realizará siguiendo la curva de temperatura-tiempo indicada en la NCh 935. La temperatura se medirá a través de termocuplas ubicadas en la cara no-expuesta al fuego; Además se medirá la deformación de las probetas (deformación vertical para muros y tabiques y horizontal para sistemas piso-cielo), con éstos datos se procederá a confeccionar una tabla deformación-tiempo la cual se incluirá en el informe de ensayo. Finalmente se registra el tiempo en el cual se produce la falla de la probeta (según criterios NCh 935).

7.5.5 Cargas aplicadas:

Para el caso de muros y tabiques estructurados en perfiles metálicos livianos de acero las cargas utilizadas serán las cargas de servicio (carga axial) para cada montante (obtenidas mediante la recomendación del fabricante , en este caso CINTAC S.A. , Ref. 7) , la cual se logrará mediante cargas distribuidas sobre el tabique o muro , más cargas puntuales ubicados a los extremos de una viga de carga utilizada (figura N°11) y dependerá del distanciamiento entre montantes la magnitud de la carga a aplicar.

En el caso de tabiques se aplicará una carga total de servicio de 650 kg en total y en muros 800 kg. (fig.18), las cuales se adoptaron tomando como referencia la carga axial máxima para los pie derechos utilizados (55% de la carga máxima para C90x085 y 80% para C60x,85).

Del mismo modo para el caso de techos y cielos, se aplicará una carga distribuida de modo de alcanzar la carga admisible(flexión) para cada perfil, cuidando por sobre todo la seguridad y factibilidad de los montajes a utilizar.

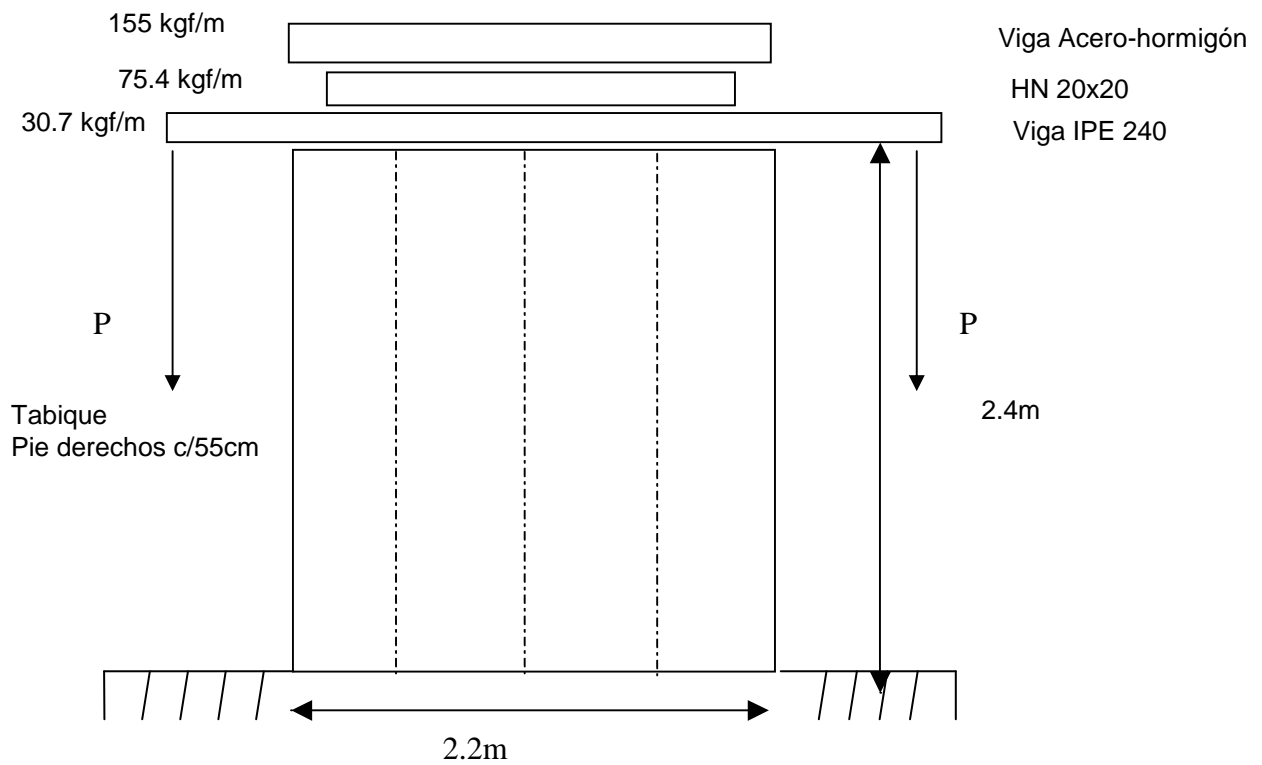


Figura N°18: Diagrama de cargas utilizadas para tabiques y muros

En esta figura se muestra la aplicación de la carga vertical en la probeta la cual se logró mediante pesos muertos con vigas de carga hasta lograr el peso total requerido para tabiques (650 kgf en total). Para subir esta carga en el caso de muros, se aplicó adicionalmente pesos muertos a los costados de las vigas de carga logrando un peso total de 800 kgf (75 Kg. por cada lado).

8. Resultados experimentales

8.1 Ensayo N°1

En resumen, el ensayo N°1 consta de una probeta con 1 placa YC (RF) 12,5mm por ambos lados y perfiles 60CA085 (espaciados a 55 cm.) que conforman la estructura del tabique, el cual tuvo un peso de 129 kgf. La carga aplicada fue de 650 kgf con una ocupación del perfil 60CA085 de 80%. Con estos parámetros se procede a ensayar la muestra obteniéndose una resistencia al fuego de 40 minutos (F30) tal como se esperaba. Esta falla se produjo por alcanzar una temperatura puntual mayor a $180^{\circ}+T^{\circ}$ inicial.

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de temperatura cada 5 minutos mediante un pirómetro infrarrojo el cual registra temperatura promedio y máxima puntual.

Tabla N°15: Datos obtenidos de ensayo N°1.

Datos tabique 1		
TIEMPO minutos	Cara No expuesta (°C)	
	Promedio	Puntual
0	16	16
5	26	29
10	51	54
15	62	65
20	66	69
25	71	78
30	84	91
35	97	110
40	120	200

Cabe destacar que la deformación máxima del perfil fue de 20mm justo antes de alcanzar la falla, deformación que está dentro de los rango admisibles ($L/100 = 22\text{mm}$). A continuación se muestra un gráfico Temperatura v/s tiempo con los datos obtenidos.

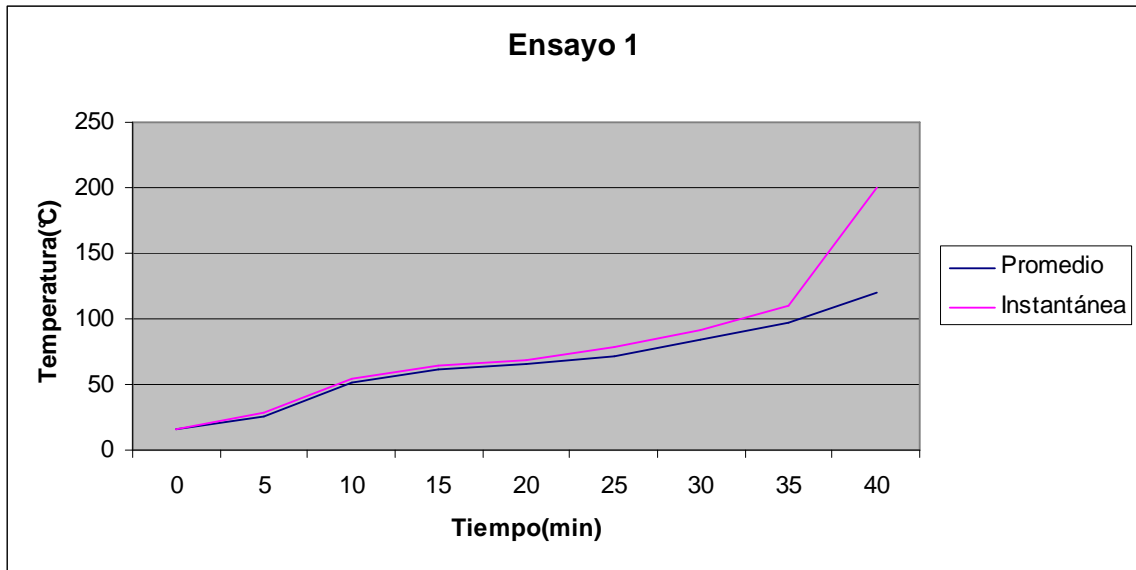


Figura N°19: Gráfico temperatura-tiempo probeta de ensayo N°1.



Figura N°20: Tabique de ensayo N°1 próximo a ser ensayado.

8.2 Ensayo N°2

El ensayo N°2 consiste de una probeta estructurada con perfiles 60CA85 espaciados 55cm la cual es cubierta por 2 placas YC (RF) tanto por el lado expuesto como por el no expuesto al fuego. La resistencia al fuego que se obtuvo para este panel fue de 80 minutos (F 60) y la falla se produjo por superar la temperatura puntual admisible de $180^{\circ}+T^{\circ}$ inicial.

A continuación se muestra una tabla resumen con las temperaturas puntuales y promedios de esta muestra.

Tabla N°16: Datos obtenidos de ensayo N°2.

Datos tabique 2		
TIEMPO minutos	Cara No expuesta (°C)	
	Promedio	Puntual
0	18	18
5	23	24
10	23	24
15	27	28
20	33	34
25	39	42
30	44	48
40	57	60
50	64	68
60	72	77
70	81	93
80	139	198

La deformación máxima para este tabique fue de 50mm, a los 60 minutos de comenzado el ensayo, superando la deformación admisible ($L/100=220\text{mm}$).

A continuación se muestra un gráfico temperatura v/s tiempo para el tabique del ensayo N°2.

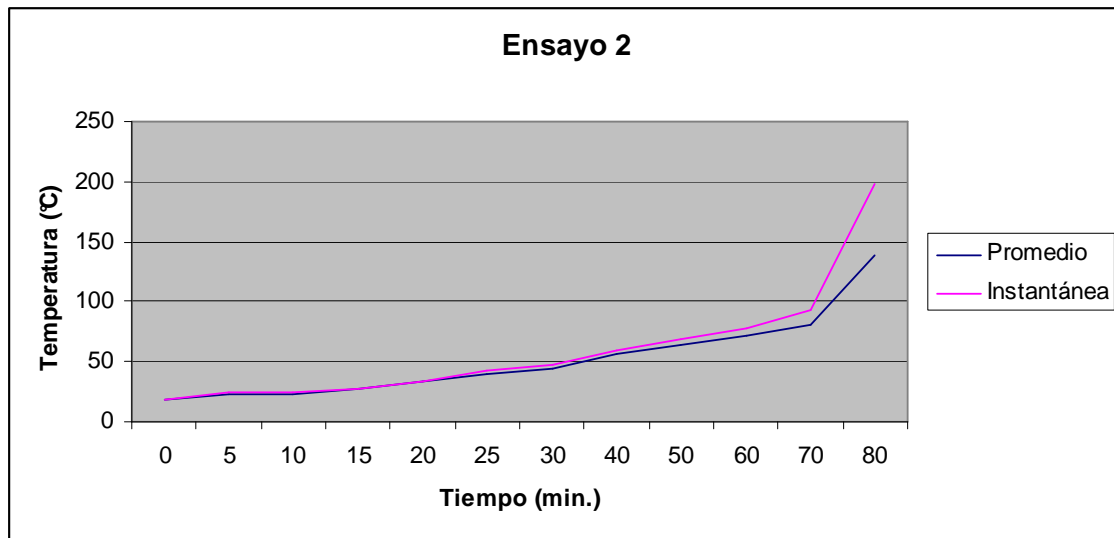


Figura N°21: Gráfico temperatura-tiempo ensayo N°2



Figura N°22: Falla de tabique ensayo N°2.

8.3 Ensayo N°3

Para el ensayo N°3 se estructuró un muro con perfiles 90CA085 espaciados 55cm. La placa expuesta al fuego consistió de YC (RF) 12,5mm y la cara no expuesta al fuego de una placa OSB 9,5mm. La carga total aplicada fue 794kgf alcanzada mediante pesos muertos, con lo cual se logró un porcentaje de ocupación de cada perfil de 53%.

La resistencia alcanzada por esta probeta fue de 37 minutos (F30) tal como se tenía proyectado. La deformación alcanzada por la muestra fue de 20mm momentos antes de alcanzar la falla (temperatura puntual superó los $180^{\circ} + T^{\circ}$ inicial).

A continuación se muestra una tabla resumen con los datos de temperatura puntal y promedio del ensayo N°3.

Tabla N°17: Datos obtenidos de ensayo N°3.

Datos Muro 1		
TIEMPO minutos	Cara No expuesta (°C)	
	Promedio	Puntual
0	16	16
5	23	24
10	26	28
15	31	36
20	41	44
25	44	50
30	48	51
35	58	81
37	83	199

A continuación se muestra el gráfico temperatura-tiempo para este ensayo.

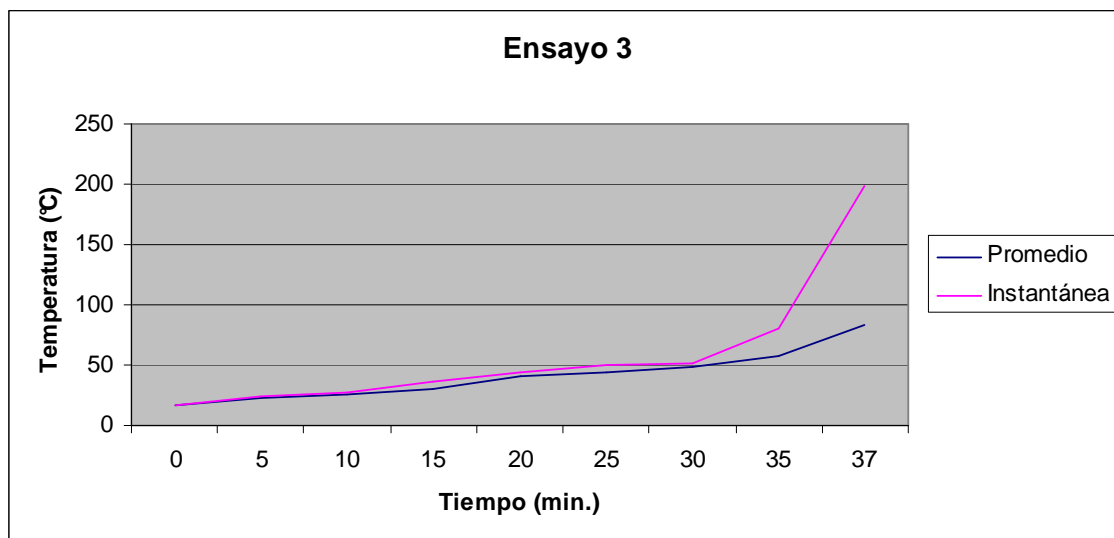


Figura N°23: Gráfico temperatura-tiempo ensayo N°3



Figura 24: Muro de ensayo N°3 instalado en horno.



Figura N° 25 : Esquema de montaje de cargas en paneles.

9 Discusión, conclusión y recomendaciones.

9.1 Discusión

Al finalizar este trabajo de título se logró generar un proyecto de ensayos de resistencia al fuego de muros , tabiques y sistemas de piso y cielos estructurados en perfiles metálicos livianos de acero , esto con el objetivo de generar un estudio que compile las experiencias realizadas con anterioridad y cumpla con la normativas chilena de resistencia al fuego (Ref. D) agregando la carga de servicio en estos ensayos, la cual es una recomendación de las normas internacionales (Ref. E y F) con lo que se estandarizan las pruebas realizadas en este estudio .El objetivo básico del proyecto es demostrar que el comportamiento al fuego de las probetas radica principalmente en las planchas de recubrimiento y separación de los tornillos de fijación de los elementos y además comparar las experiencias de ensayos con carga con los ensayos sin carga realizados con anterioridad en IDIEM .Para esto se mantiene fijo el tipo de perfil de cada elemento así como su separación.

Dentro del proyecto de ensayos frente al fuego se decidió realizar 3 experiencias, debido a los tiempos con que se contaba para adquirir materiales , montajes de cargas y presentación de resultados, por lo que este trabajo de título sigue abierto para quien pudiera continuar realizando las experiencias restantes y poder obtener conclusiones certeras del mayor número de ensayos posibles.

Al analizar los resultados obtenidos de los 3 ensayos se obtuvo:

Ensayo 1: YC RF 12,5mm + M60 + YC RF 12, 5 mm.

Duración 40 min. , F 30.

Ensayo 2: 2 YC RF 12,5 mm + M60 + 2 YC RF 12,5mm

Duración 80 min. F 60

Ensayo 3: YC RF 12,5mm + M90 + OSB 9,5mm.

Duración 37 min. F 30.

9.2 Conclusiones

En base a estos ensayos preliminares se puede concluir:

- Comparado con ensayos sin carga, la duración frente al fuego de los tabiques o muros con carga es menor, no logrando establecer un porcentaje que cuantifique esta pérdida de resistencia al fuego.
- El comportamiento al fuego de éstos elementos está determinado fundamentalmente por las planchas de recubrimiento utilizadas (material , espesor) , también se puede observar que el comportamiento al fuego depende en mayor proporción de la o las planchas utilizadas en la cara expuesta al fuego y en menor medida de la plancha utilizada en la cara opuesta al fuego. Este punto se hace más evidente a medida que los tabiques o muros alcanzan mayor tiempo en el horno, ya que una vez que cae la placa expuesta al fuego la duración del tabique es mínima comparada con la duración total del ensayo.
- Los perfiles de acero liviano al poseer una gran conductividad térmica no aportan significativamente a la resistencia al fuego de los tabiques o muros independiente del espaciamiento o tipo de perfil utilizado comparados con las placas de revestimiento.
- La deformación producida en los elementos no controla los ensayos, ya que estos fallaron por superar la temperatura máxima puntual admisible.
- Tabiques y muros cumplen con los requisitos de la O.G.U.C

9.3 Recomendaciones

Cabe destacar que aún queda mucho por hacer en el campo del comportamiento al fuego de los elementos estructurados en perfiles metálicos livianos.

Dados los avances en el cálculo de estos elementos, la utilización cada vez más intensiva de los ingenieros y la adquisición de experiencia en los constructores, se proyecta un fuerte crecimiento de este sistema constructivo por lo que el estudio al fuego se hace imprescindible siendo que es una debilidad fundamental de todos los elementos de acero , más aún en espesores bajos (0,5mm a 1,6mm) , es por esto que urge la necesidad avanzar en la metodología de ensayos actuales , buscando por sobre todo entregar resultados certeros y cercanos a la necesidad de protección al fuego de los edificios.

Como recomendaciones a los ensayos realizados se puede destacar:

- Instalación de un sistema de carga automático a las probetas
- Apoyo continuo bajo las probetas de modo de repartir adecuadamente las cargas.
- Medición automática de la deformación de las probetas.
- Disminución de la vibración de las probetas.
- Evitar que las probetas se humedezcan.

Para finalizar se recomienda proseguir con el estudio de los distintos materiales de placas de recubrimiento de modo de obtener resultados y conclusiones a partir de varios ensayos con los cuales se podrían evacuar resultados definitivos y representativos de su comportamiento al fuego.

10 Bibliografía (Referencias).

- 1).-Fire Resistance of Walls and Floors using Light-Gauge Steel Shapes
Y. Sakumoto; T. Hirakawa; H. Masuda y K. Nakamura. JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE
- 2) Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.
- 3) Residential steel framing: Fire and acoustic details. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research
- 4) NCH 935/1.Of97 Ensayo de resistencia al fuego.
- 5) Norma ASTM E119 – 95. Fire tests of building construction and materials
- 6) Norma ISO 834-1. Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction
- 7) Manual de diseño Metalcon, Cintac S.A.
- 8) NCh 933 Comportamiento al fuego: Terminología.
- 9) Building ,construction and fire : material and construction methods , Steven M. Cramer PhD , university of Winsconsin - Madison

Anexos

I.- Productos utilizados en la protección al fuego de muros, tabiques y sistemas de pisos y cielos estructurados con perfiles metálicos livianos

La preocupación en Chile por la protección pasiva contra el fuego en edificios, nace en 1975 a partir del incendio del Edificio Joelma de Sao Paulo, Brasil, de treinta pisos, donde murieron 185 personas.

A partir del incendio de la Torre Santa María en marzo de 1981, se agrega un capítulo en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción denominado: «De las Condiciones de Seguridad Contra Incendios».

Con la entrada en vigencia de esta nueva normativa de resistencia al fuego, las empresas e industrias, principalmente, han desarrollado nuevos productos y soluciones constructivas para cumplir con dichas exigencias. Productos que no sólo son de origen nacional sino que muchos de ellos tienen su origen en Estados Unidos o Europa.

I.1 El fibrocemento

Fabricado a partir de mezclas cementicias y fibras, es usado en la construcción de tabiques, dada su facilidad de instalación y bajo espesor. Actualmente han sido modificadas algunas de sus materias primas, lo que ha permitido un mejor desarrollo tecnológico.

I.2 Yeso cartón

El yeso cartón también es un producto de mediados del siglo pasado, sin embargo ha tenido cambios en el proceso de fabricación muy importantes como la incorporación de fibras que le otorgan una mayor resistencia mecánica. Hoy se puede distinguir un yeso cartón RF de uno estándar.

I.3 Paneles estucados

Con la construcción de edificios en altura, fue necesario crear paneles livianos resistentes al fuego. Dentro de este tipo de paneles, están los de viruta de madera aglomerada con cemento, utilizada en nuestro país durante unas tres décadas aproximadamente. Otro tipo de panel estucado de desarrollo en los últimos años ha sido el compuesto en su alma por una plancha de poliestireno expandido abrazada por ambos lados por una malla de acero galvanizado electrosoldada cuya morfología esta diseñada para recibir una capa de mortero estructural.

I.4 Revestimientos intumescentes

A partir de mediados de 1990 se introducen al mercado los primeros productos intumescentes los cuales son capaces de proteger contra el fuego elementos estructurales de acero. Probablemente sean estos los primeros en dar un cambio radical en el uso de productos alternativos a los ya conocidos para proteger estructuras metálicas y que incorporaron tecnologías antes no conocidas en Chile.

I.5 Productos Ignífugos

Se utilizan para retardar el inicio de la combustión de productos combustibles, tales como madera y textiles cuando estos se someten a la acción de una llama incipiente.

I.6 Mortero proyectado

Este producto constituido principalmente por fibras y aditivos cementicios de aspecto rugoso, se ha incorporado al país en la última década como solución contra el fuego en estructuras metálicas de acero.

I.7 Placas de fibrosilicato

Producto de última generación, consiste en una placa dimensionada con la particularidad de poder usarse tanto en soluciones de tabiques y estructuras metálicas. Su particular característica de pertenecer a la familia de los refractarios le permite trabajar a temperaturas de 1200oC.

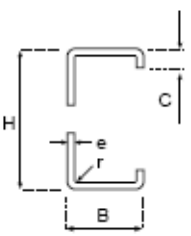
I.8 Hormigón celular

El hormigón celular autoclavado es un producto de última generación compuesto principalmente por arena, cal, cemento, yeso, agentes expansivos y agua, capaz de entregar buenas propiedades de resistencia al fuego en soluciones de tabiques.

I.9 Selladores intumescentes

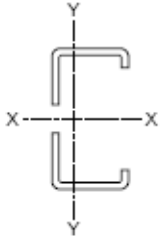
Productos intumescentes de gran aplicación en el sellado de pasadas eléctricas, pasadas de tuberías de PVC, tuberías metálicas, tratamientos de juntas de dilatación y todo tipo de aberturas dejadas en losas o muros. Estos productos son capaces de mantener la compartimentación de los recintos entregando resistencias al fuego hasta 180 minutos o más.

II.-Cargas axiales y momentos admisibles para perfiles metálicos livianos según norma AISI 1996.



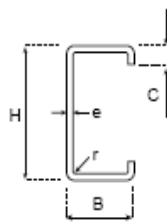
CARGAS AXIALES

P_x^F P_y^F



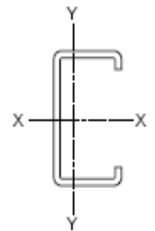
NOMBRE		C 2x4x0,85p		C 2x4x1,0p		C 2x5x0,85p	
H	[mm]	90		90		100	
B	[mm]	38		38		40	
C	[mm]	12		12		12	
e	[mm]	0,85		1,0		0,85	
PESO	[kgf/m]	1,23		1,44		1,32	
Pmáx	[kgf]	1410		1710		1440	
Cargas	[kgf]	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F
LONGITUD, KL [M], SEGÚN EJES X X' E Y Y'	0,50	1360	1370	1680	1690	1390	1410
	0,75	1280	1320	1630	1660	1330	1360
	1,00	1170	1240	1450	1570	1230	1290
	1,25	1020	1140	1240	1400	1100	1200
	1,50	801	999	984	1200	922	1060
	1,75	618	<u>802</u>	764	<u>963</u>	715	<u>894</u>
	2,00	497	631	618	758	573	707
	2,25	411	511	515	614	473	573
	2,50	348	423	439	508	400	476
	2,75	301	357	378	427	345	402
	3,00	264		330		302	345
	3,25	233		293		268	
	3,50	208		263		241	
	3,75	187		239		218	
	4,00	170		220		199	
	4,25	156		203		182	
	4,50	<u>144</u>		<u>189</u>		168	
	4,75	134		177		155	
	5,00	126		167		<u>145</u>	
	5,25	118		158		135	
5,50	112		151		127		
5,75	106		144		120		
6,00	101		138		114		
6,25	96,7		132		109		
6,50	92,7		128		104		
6,75	89,1		123		100		
7,00	85,9		119		95,7		
PROPIEDADES							
A	[cm ²]	1,28		1,49		1,40	
I_x	[cm ⁴]	19,9		23,2		26,3	
I_y	[cm ⁴]	2,76		3,19		3,31	
i_x/i_y		2,69		2,69		2,82	
\bar{y}	[cm]	1,47		1,46		1,54	

- NOTAS:
- Las líneas horizontales indican $KL/i = C_e$
 - Se omiten los valores para $KL/i > 200$



CARGAS AXIALES

$$P_x^F P_y^F$$



NOMBRE		C 2x2x0,85		C 2x3x0,85		C 2x4x0,85		C 2x4x1,0		C 2x5x0,85	
H	[mm]	40		60		90		90		100	
B	[mm]	38		38		38		38		40	
C	[mm]	8		6		12		12		12	
e	[mm]	0,85		0,85		0,85		1,0		0,85	
PESO	[kgf/m]	0,83		0,96		1,23		1,44		1,32	
Pmáx	[kgf/m]	1220		1270		1586		1953		1614	
Cargas	[kgf]	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F	P_x^F	P_y^F
LONGITUD, KL [M], SEGÚN EJES X-X E Y-Y	0,50	1050	1190	1180	1240	1520	1540	1920	1930	1560	1570
	0,75	826	1140	1060	1190	1440	1490	1840	1890	1490	1520
	1,00	515	1080	900	1120	1320	1400	1660	1780	1380	1440
	1,25	347	984	674	1030	1150	1280	1420	1600	1230	1340
	1,50	255	<u>868</u>	503	<u>923</u>	914	<u>1130</u>	1140	<u>1380</u>	1040	1200
	1,75	200	715	386	780	714	917	893	1120	817	<u>1010</u>
	2,00	<u>164</u>	557	309	626	578	729	728	889	660	809
	2,25	139	440	256	507	482	596	611	727	549	662
	2,50	120	356	218	412	412	498	524	607	468	554
	2,75	107	295	<u>189</u>	341	358	423	458	514	405	471
	3,00	95,9		168		315		403		356	407
	3,25	87,4		151		282		357		318	
	3,50			137		253		320		286	
	3,75			126		228		291		260	
	4,00			117		207		266		238	
	4,25			109		190		<u>246</u>		218	
4,50			103		175		229		200		
4,75			96,9		163		215		<u>185</u>		
					152		202		173		
					143		191		162		
					135		182		152		
5,00					128		174		143		
					122		166		136		
					117		160		129		
					112		154		124		
					107		148		118		
					103		143		114		
PROPIEDADES											
A	[cm ²]	1,07		1,21		1,57		1,83		1,69	
I _x	[cm ⁴]	3,10		7,51		20,2		23,5		26,6	
I _y	[cm ⁴]	2,12		2,24		3,26		3,78		3,81	
i _x /i _y		1,21		1,83		2,49		2,49		2,64	
i _y	[cm]	1,40		1,36		1,44		1,43		1,50	
j _x o	[cm,cm]	3,92	-3,47	4,11	-2,98	5,01	-3,02	5,00	-3,00	5,47	-3,08
i _o /j		1,05		1,02		0,979		0,975		0,958	

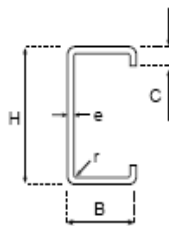
NOTAS:

- Las líneas horizontales indican $KL/i = C_e$
- Se omiten los valores para $KL/i > 200$

NOMBRE		C 2x2x0,85	C 2x3x0,85	C 2x4x0,85	C 2x4x1,0	C 2x5x0,85
H	[mm]	40	60	90	90	100
B	[mm]	38	38	38	38	40
C	[mm]	8	6	12	12	12
e	[mm]	0,85	0,85	0,85	1,0	0,85
PESO	[kgf/m]	0,83	0,96	1,23	1,44	1,32
M _{máx}	[kgf-cm]	2140	3570	7110	8410	8330
LONGITUD, KL [M], SEGÚN Ejes X-X E Y-Y	0,50	2070	3480	6940	8270	8150
	0,75	2030	3370	6730	8100	7920
	1,00	1940	3210	6430	7810	7600
	1,25	1840	3010	6040	7270	7170
	1,50	1720	2690	5560	6610	6650
	1,75	1560	2490	5000	5860	6030
	2,00	1440	2210	4280	5020	5310
	2,25	1260	1840	3480	4110	4390
	2,50	1080	1540	2860	3390	3590
	2,75	931	1310	2400	2850	3000
	3,00	817	1130			2560
3,25	727					
3,50	654					
L ₂₀₀		127	189	269	268	300
PROPIEDADES						
W	[cm ³]	1,55	2,56	4,48	5,22	5,32
V	[kgf]	350	481	411	667	369
R _v	[kgf]	136	151	170	224	175
R ₁₀	[kgf]	207	198	183	241	178
P _v	[kgf]	212	233	278	358	292
P ₁₀	[kgf]	332	321	304	390	298
h	[cm]	36,6	56,6	86,6	86,0	96,6
M _y	[kgf-cm]	1590	1630	1992	2358	2147

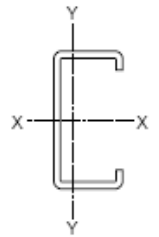
NOTAS:

- Se omiten los valores de M^a inferiores a 0,3 M_{máx}.
- L₂₀₀ en centímetros (obtenido por vigas simplemente apoyadas)



CARGAS AXIALES

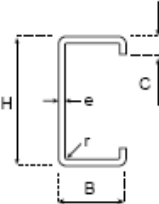
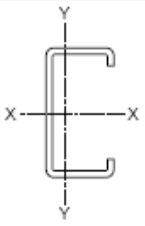
$$P_x^{FT} \quad P_y^F$$



NOMBRE		C 2x6x0,85		C 2x6x1,0		C 2x6x1,6		C 2x8x1,6		C 2x10x1,6	
H	[mm]	150		150		150		200		250	
B	[mm]	40		40		40		40		50	
C	[mm]	12		12		12		12		15	
e	[mm]	0,85		1,0		1,6		1,6		1,6	
PESO	[kgf/m]	1,64		1,94		3,06		3,67		4,64	
P máx	[kgf]	1632		1997		4030		4093		4678	
Cargas	[kgf]	P_x^{FT}	P_y^F	P_x^{FT}	P_y^F	P_x^{FT}	P_y^F	P_x^{FT}	P_y^F	P_x^{FT}	P_y^F
LONGITUD, KL [M], SEGÚN EJES X-X E Y-Y	0,50	1590	1590	1950	1940	3890	3880	3960	3930	4620	4600
	0,75	1530	1530	1880	1880	3720	3690	3800	3710	4520	4460
	1,00	1450	1440	1830	1820	3490	3420	3580	3410	4360	4240
	1,25	1340	1320	1710	1670	3190	3070	3300	3020	4140	3960
	1,50	1210	<u>1170</u>	1510	<u>1440</u>	2840	<u>2640</u>	2950	<u>2520</u>	3880	3610
	1,75	1020	950	1270	1170	2440	2110	2550	1990	3570	<u>3180</u>
	2,00	823	760	1030	935	2030	1700	2120	1620	3210	2680
	2,25	683	626	857	772	1720	1410	1800	1350	2810	2220
	2,50	579	526	731	650	1500	1180	1560	1140	2400	1880
	2,75	501	451	635	557	1330	1010	1370	983	2080	1620
	3,00	440		560		1190		1230	857	1840	1410
	3,25	391		500		1080		1110	754	1640	1250
	3,50	351		451		993		1010	669	1480	
	3,75	318		411		919		933	598	1340	
	4,00	291		377		858		866	532	1230	
	4,25	267		348		799		809	472	1130	
	4,50	247		324		748		761	421	1050	
	4,75	230		302		705		719	378	980	
	5,00	215		284		668		682	341	919	
	5,25	202		268		636		650	309	864	
5,50	191		254		608		622	282	817		
5,75	180		241		584		597	258	774		
6,00	171		230		562		575	237	737		
6,25	163		220		543		554	218	703		
6,50	156		211		526		533	202	672		
6,75	149		<u>202</u>		<u>511</u>		514	187	<u>645</u>		
7,00	143		194		497		497	174	620		
PROPIEDADES											
A	[cm ²]	2,11		2,47		3,90		4,70		5,91	
I_x	[cm ⁴]	68,8		80,3		124		250		495	
I_y	[cm ⁴]	4,31		4,99		7,50		8,07		16,3	
i_x/i_y		4,00		4,01		4,08		5,57		5,51	
i_y	[cm]	1,43		1,42		1,39		1,31		1,66	
$j_x \times_o$	[cm, [cm]	8,11	-2,61	8,12	-2,59	8,14	-2,52	12,3	-2,19	15,3	-2,78
i_x/j		0,793		0,791		0,779		0,628		0,634	

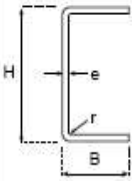
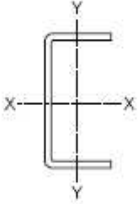
NOTAS:

- Las líneas horizontales indican $KL/i = C_e$
- Se omiten los valores para $KL/i > 200$

		MOMENTO ADMISIBLE M⁺ [kgf-cm]				
NOMBRE		C 2x6x0,85	C 2x6x1,0	C 2x6x1,6	C 2x8x1,6	C2x10x1,6
H	[mm]	150	150	150	200	250
B	[mm]	40	40	40	40	50
C	[mm]	12	12	12	12	15
e	[mm]	0,85	1,0	1,6	1,6	1,6
PESO	[kgf/m]	1,64	1,94	3,06	3,67	4,64
M _{máx}	[kgf-cm]	13600	17000	28000	42200	66400
LONGITUD, KL [M], SEGÚN EJES X-X E Y-Y	0,50	13300	16600	27200	40900	65400
	0,75	13100	16100	26200	39300	64000
	1,00	12700	15500	24800	37100	61800
	1,25	12100	14800	23000	34300	59000
	1,50	11300	13600	21000	30900	55500
	1,75	10200	12000	18600	26900	51400
	2,00	8730	10200	15900	22500	46700
	2,25	7050	8240	13000	18000	41600
	2,50	5750	6730	10700	14800	35800
	2,75	4780	5610	9050		29900
	3,00					25300
3,25					21700	
L ₂₀₀		462	448	437	583	731
PROPIEDADES						
W	[cm ³]	9,17	10,7	16,6	25,0	39,6
V	[kgf]	243	397	1655	1228	976
R _n	[kgf]	192	258	581	630	665
R ₁₀	[kgf]	154	209	497	463	429
P _n	[kgf]	349	451	933	1063	1174
P ₁₀	[kgf]	270	354	772	734	696
h	[cm]	146,6	146,0	143,6	193,6	243,6
M _y	[kgf-cm]	2164	2572	4109	4145	6510

NOTAS:

- Se omiten los valores de M⁺ inferiores a 0,3 M_{máx}
- L₂₀₀ en centímetros (obtenido por vigas simplemente apoyadas)

 <p style="text-align: center;">CARGAS AXIALES P_x^f, P_y^f [kgf]</p>					 <p style="text-align: center;">MOMENTO ADMISIBLE M^* [kgf-cm]</p>						
NOMBRE		U 2x2x0,85		U 2x3x0,85		NOMENCLATURA		U 2x2x0,85		U 2x3x0,85	
H	[mm]	42		62		H	[mm]	42		62	
B	[mm]	25		25		B	[mm]	25		25	
e	[mm]	0,85		0,85		e	[mm]	0,85		0,85	
PESO	[kgf/m]	0,58		0,72		PESO	[kgf/m]	0,58		0,72	
Pmáx	[kgf]	414		507		Mmáx	[kgf-cm]	1260		2200	
Cargas	[kgf]	P_x^f	P_y^f	P_x^f	P_y^f						
LONGTUD. KL [M] SEGÚN EES XX E Y-Y	0,50	414	414	507	507	LONGTUD. KL [M] SEGÚN EES XX E Y-Y	0,50	1150	2010		
	0,75	414	414	507	507		0,75	1040	1780		
	1,00	307	414	451	476		1,00	886	1470		
	1,25	241	306	355	350		1,25	713	1110		
	1,50	202	225	289	258		1,50	573	861		
	1,75	175		244			1,75	480	701		
	2,00	155		211			2,00	415			
	2,25	140		188							
	2,50	128		170							
	2,75	119		157							
	3,00	110		147							
	3,25	103		139							
	3,50			132							
	3,75			126							
	4,00			121							
4,25			117								
4,50			112								
4,75			109								
PROPIEDADES					PROPIEDADES						
A	[cm ²]	0,758		0,928		W	cm ³	1,06	1,75		
I_x	[cm ⁴]	2,22		5,44		V	[kgf]	369	482		
I_y	[cm ⁴]	0,494		0,557		R_h	[kgf]	92,9	108		
i_x/i_y		2,12		3,12		R_{i0}	[kgf]	158	153		
i_y	[cm]	0,807		0,775		P_h	[kgf]	214	236		
j_x0	[cm/cm]	2,65	-1,65	3,46	-1,43	P_{i0}	[kgf]	331	320		
i_x/j		0,949		0,843		h	[cm]	38,6	58,6		
						M_y	kgf-cm	115	103		

NOTAS:

- Las líneas horizontales indican $KL/i = C_e$
- Se omiten los valores para $KL/i > 200$

NOTAS:

- Se omiten los valores de M^* inferiores a $0,3 M_{máx}$
- L_{200} en centímetros (obtenido por vigas simplemente apoyadas)