



**Universidad  
Andrés Bello**

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de obras Civiles

Ingeniería en Construcción

**SISTEMA CONSTRUCTIVO EN BASE A PERFILES  
METÁLICOS Y HORMIGÓN LIVIANO**

Tesis de grado para optar al  
Título de Ingeniero Constructor

**JEAN PIERRE DEL PESO MERCADO**  
Profesor Guía: Aaron Guajardo Alvarez

Santiago – Chile

2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera agradecer a mi madre María Eugenia Mercado por el apoyo brindado durante esta etapa y por la constante insistencia a seguir adelante, a mi padre Aldo Del Peso, por el apoyo incondicional y por su respaldo técnico en este trabajo investigativo. A mi novia Carolina Nouvel, por ser mi fuente de paz y tranquilidad, por su apoyo y por ser mi cable a tierra.

Todo este esfuerzo está dedicado a ustedes, con la satisfacción de haber avanzado un peldaño más de la larga escalera al éxito.

## RESUMEN

Actualmente en Chile se utilizan como métodos convencionales de construcción, materiales como la albañilería, madera, hormigón armado, estructuras de metalcom, entre otros, siendo los procesos repetitivos y bien conocidos por el rubro.

La presente investigación mostrará un método constructivo utilizando dos materiales diferentes. Uno convencional como lo son los perfiles de acero: canales metálicas, y el otro es el panel de hormigón liviano con poliestireno expandido, un material antiguo, pero muy poco trabajado en nuestro país.

La investigación se plantea en 3 ítems donde en el primero se darán a conocer las características, usos, tipos y propiedades de los hormigones livianos, clasificándolos y centrándose en los hormigones livianos con poliestireno expandido. En la segunda fase se presentarán los tipos de construcciones a las cual este sistema constructivo apunta. En este segmento veremos todo lo referente a lo que son las construcciones prefabricadas de un piso, con un especial hincapié en las viviendas industrializadas. Se clasificarán y entenderán las diferencias entre unas y otras, y se explicará el por qué se adoptó este segmento de la construcción como enfoque. En la tercera parte se definirá el sistema constructivo en sí, partiendo por la definición de los paneles de hormigón liviano, sus características, dimensiones y dosificación. Por último, se estudiará el sistema constructivo, explicando paso a paso el correcto uso de éste y las herramientas y procesos necesarios para su ejecución.

Finalmente se presenta la conclusión donde se define la utilidad de este sistema constructivo, a qué sectores de la construcción se enfoca y los resultados de ensayos.

## **SUMMARY**

Chile currently used as conventional construction methods materials such as masonry, wood, reinforced concrete and steel framing, among others, being repetitive processes and well known to the sector.

This research shows a construction method using two different materials, one conventional as the steel: Metal channels, and the other is the lightweight concrete panel with expanded polystyrene, an ancient material but very little worked in our country.

The investigation raises in 3 items, where the first part will be announce the characteristics, uses, types and properties of lightweight concrete, classifying and focusing on lightweight concrete with expanded polystyrene. In the second phase the types of buildings to which this construction system aims will be presented. In this segment we will see everything about prefabricated buildings of one floor, with a special emphasis on industrialized housing (prefabricated houses). We will qualify and understand the differences between each other, and explain why this segment of construction was adopted. The third part will define the construction system itself, starting with the definition of lightweight concrete panels, their characteristics, size and dosage. Finally, we will study the construction system, explaining step by step the proper use of this and the tools and processes necessary for their implementation.

The conclusion will be present showing the usefulness of this constructive system and which sectors of the construction will be presented.

## ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2.- OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos	12
<b>3.- MARCO REFERENCIAL Hormigones livianos</b>	<b>13</b>
3.1. ANTECEDENTES DEL HORMIGÓN LIVIANO.	14
A. Clasificación del hormigón liviano.	15
A.1. <i>Hormigones gaseosos.</i>	15
A.2. <i>Hormigones de agregados livianos.</i>	16
A.3. <i>Hormigón cavernoso o sin finos pétreos.</i>	17
B. Propiedades de los hormigones livianos con áridos livianos.	17
C. Ventajas de los hormigones livianos.	18
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN LIVIANO	19
A. Peso específico aparente.	19
B. Resistencia.	19
C. Aislación térmica.	20
D. Retracciones.	21
E. Absorción de agua.	21
F. Resistencia al fuego.	22
G. Aislación acústica.	22
3.3. MATERIALES.	23
A. Áridos.	23
B. Cemento.	23
C. Agua.	24
D. Poliestireno expandido (EPS).	25
3.4. USO DEL HORMIGÓN LIVIANO	26
<b>4.- DESARROLLO DEL TEMA Construcciones Prefabricadas</b>	<b>27</b>
4.1. HISTORIA.	28
4.2. DEFINICIÓN DE LAS CASAS PREFABRICADAS.	29
4.3. CLASIFICACIÓN DE LAS CASAS PREFABRICADAS.	30
A. Construcciones industrializadas.	30
B. Construcciones modulares.	31

C. Construcciones prefabricadas.	33
4.4. TIPOS Y MATERIALES USUALES EN CONSTRUCCIONES	34
A. Madera.	34
B. Steel framing.	37
<i>B.1. Características Técnicas.</i>	38
<i>B.2. Ventajas del sistema.</i>	39
C. Paneles termoaislantes.	40
<i>C.1. Uso estructural</i>	40
<i>C.2. Uso en tabiquería.</i>	40
<i>C.3. Resistencia al fuego.</i>	44
<i>C.4. Losas.</i>	44
<i>C.5. Ventaja de los paneles.</i>	45
D. Paneles de hormigón liviano.	46
<i>D.1. Ventajas.</i>	47
<b>5.- EXPERIENCIA EN LABORATORIO Formulación de Panel Liviano.</b>	<b>48</b>
5.1. DOSIFICACIÓN.	49
A. Determinación de la resistencia media requerida (Fr).	49
B. Determinación del cono de Abrams.	52
C. Determinación de la relación agua/cemento (A/C).	53
D. Determinación del tamaño máximo del árido.	54
E. Determinación del agua de amasado.	55
F. Dosis de cemento.	56
G. Dosis de aire atrapado.	57
H. Dosis de áridos.	57
I. Características del panel.	60
5.2. ENSAYOS EN LABORATORIO.	61
A. Ensayo de esponjamiento de la arena.	61
B. Absorción y humedad de la arena.	62
C. Densidad de los áridos.	62
D. Densidad aparenten del poliestireno expandido.	63
E. Correcciones por dosificación.	63
F. Ensayos mecánicos.	66
G. Resultados de ensayos.	66
<i>G.1. Densidades.</i>	66
<i>G.2. Resistencias mecánicas.</i>	68
H. Ventajas del panel.	74
I. Desventajas.	74

<b>6.- PROPUESTA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO.</b>	<b>75</b>
6.1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.	76
A. Ventajas del sistema constructivo.	77
6.2. SISTEMA CONSTRUCTIVO.	78
A. Fundaciones y radier.	79
B. Muros.	80
<i>B.1.Solera inferior y superior.</i>	80
<i>B.2.Pilares y pies derechos.</i>	81
C. Paneles de hormigón liviano.	83
D. Estructura de techumbre.	83
E. Revestimientos y terminaciones.	84
<i>E.1.Revestimiento exterior.</i>	84
<i>E.2.Revestimiento interior.</i>	85
<i>E.3.Cielos.</i>	86
<i>E.4.Pinturas.</i>	86
F. Herramientas a utilizar.	86
<b>7.- CONCLUSIÓN.</b>	<b>87</b>
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>90</b>

# 1.- INTRODUCCIÓN

## **1. INTRODUCCIÓN**

En Chile y en el resto del mundo existe una gran variedad de sistemas y métodos constructivos, los cuales son diversos en cuanto a los materiales a utilizar y en su ejecución, pasando por distintas especialidades de mano de obra. Como fin, este estudio tiene la intención de mostrar un sistema constructivo alternativo a los ya convencionales, con un material poco utilizado en nuestro país como el hormigón liviano.

Dentro de los sistemas más comunes se encuentra la albañilería armada la cual “consiste en el arte de construir edificaciones u otras obras empleando, según los casos, piedra, ladrillo, cal, yeso, cemento u otros materiales semejantes” (Real academia española, 2015). La albañilería armada lleva refuerzos que consisten en tensores (como refuerzos verticales) y estribos (como refuerzos horizontales), refuerzos que van empotrados en los cimientos o en los pilares de la construcción, respectivamente. Suele preferirse la utilización de ladrillos industrializados, cuyo diseño estructural facilita la inserción de los tensores para darle mayor flexibilidad a la estructura.

También tenemos la madera, en donde la madera es un material con distinta elasticidad según la dirección de deformación. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año, formando anillos, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Usualmente la madera se trabaja con sistemas de armaduras los que consisten en una estructura formada por un conjunto de piezas lineales ensambladas entre sí, que se utiliza para soportar la cubierta inclinada de algunos edificios. La disposición de la cubierta a una, dos, tres o más aguas, influye en la característica de la armadura que debe sostenerla.

Por otro lado, encontramos la técnica constructiva del hormigón armado que “consiste en la utilización de hormigón reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armaduras. También se puede armar con fibras, tales como fibras plásticas, fibra de vidrio, fibras de acero o combinaciones de barras de acero con fibras dependiendo de los requerimientos a los que estará sometido” (Mattheiss, 1980). El hormigón armado se utiliza en edificios de todo tipo, caminos, puentes, presas, túneles y obras industriales. La utilización de fibras es muy común en la aplicación de hormigón proyectado o shotcrete, especialmente en túneles y obras civiles en general.

Estos tres sistemas son de los más comunes utilizados en nuestro país, habiendo muchos otros como lo es el sistema de metal liviano Metalcom o Steel framing utilizado con gran difusión en ampliaciones de viviendas y terminaciones de segundos pisos en nuestro país. Se puede apreciar que son muy diferentes unos de los otros, con distintos procedimientos, distintas herramientas a utilizar y con personal calificado para cada alcance.

Al igual que los métodos mencionados, el sistema constructivo de paneles de hormigón liviano con soporte en perfiles metálicos, mezcla todos los beneficios de las construcciones livianas otorgados por los paneles livianos, con el soporte estructural que otorgan los perfiles metálicos. De esta forma se pueden presenciar menores cargas muertas por peso propio de materiales en la edificación, lo que disminuye las solicitaciones a la hora de sismos, algo muy importante al momento de analizar la situación sísmica de nuestro país. Los paneles de hormigón liviano se ensamblan en perfiles metálicos tipo C, pudiendo crear muros de longitud y altura deseada según planos de arquitectura. Además estos bloques otorgan un beneficio en temas de aislación acústica y térmica como se observará en el estudio del presente sistema constructivo.

## 2.- OBJETIVOS

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- Desarrollar un sistema constructivo estándar para edificaciones prefabricadas livianas de un piso, en base a muros compuestos por paneles industrializados de hormigón liviano con poliestireno expandido y perfiles metálicos como soporte estructural.

### 2.2. Objetivos específicos

- Definir los tipos de hormigón liviano existentes y usos de éstos.
- Determinar la dosificación, características y procesos de producción de los paneles de hormigón liviano con poliestireno expandido.
- Clasificar los tipos de edificaciones prefabricadas al cual está enfocado este sistema de construcción.
- Explicar paso a paso el sistema constructivo, desarrollando un proyecto tipo de una construcción básica de un piso.

### 3.- MARCO REFERENCIAL

#### Hormigones livianos

## **1. ANTECEDENTES DEL HORMIGÓN LIVIANO.**

Los hormigones livianos se designan en la norma ACI 213R (1987) como aquellos que poseen una densidad en estado seco al aire menor a 1850 Kg/m<sup>3</sup>. Este hormigón tiene ventajas en los casos donde se desea obtener aislación térmica y en segundo plano acústica, y también donde se desea disminuir el peso muerto que actúa sobre los elementos estructurales resistentes, pudiendo utilizar fundaciones de menor tamaño, edificaciones de mayor altura y el desarrollo de prefabricación. Disminuyen las fuerzas sísmicas y presentan un mejor comportamiento térmico, el que se traduce como una menor deformabilidad ante cambios de temperatura.

Entre sus principales limitaciones podemos mencionar su baja resistencia mecánica y su alta retracción hidráulica, por lo que debe ser importante tener en cuenta estos aspectos al contemplar su uso.

“Las densidades requeridas en los hormigones livianos se obtienen mediante la incorporación de aire en el hormigón, el cual se puede introducir mediante dos maneras, a través de los áridos, empleando áridos liviano o directamente en la masa del hormigón” (Quezada, 2010).

## A. Clasificación del hormigón liviano.

Existe una gran variedad de productos y usos del hormigón liviano, los cuales se van clasificando tanto por el tipo de material a utilizar para la conformación de éste o por la técnica que se utiliza para realizar el producto.

Podemos clasificarlos principalmente en tres grupos:

- 1) Hormigón celular o gaseoso
- 2) Hormigón con agregados livianos
- 3) Hormigón cavernoso o sin finos pétreo

El hormigón liviano a su vez se puede clasificar según su uso:

- a. "Hormigón Liviano Estructural: Se clasifica en función de una resistencia mínima, una densidad en estado seco que generalmente no excede los  $1850 \text{ kg/m}^3$ .
- b. Hormigón usado en unidades de albañilería.
- c. Hormigón aislante: Se clasifica en función de su coeficiente de conductividad térmica, que debe estar por debajo de los  $0.3 \text{ J/m}^2/\text{s } ^\circ\text{C/m}$  y su densidad es más baja que para los hormigones livianos estructurales" (ESPOL, 2010).

### A.1. Hormigones gaseosos.

Los elementos esenciales que intervienen en su elaboración son: cemento, agua y una sustancia que produzca desprendimiento de gas. Los elementos a utilizar serán exclusivamente los nombrados cuando se quiera elaborar un hormigón de peso específico aparente seco muy reducido (del orden de  $500 \text{ kg/m}^3$ ).

Si se desea obtener un hormigón de mayor resistencia (y por ende menor capacidad aislante), la mezcla será cemento, agua, agente de activación, y arena fina, pudiendo agregar pétreos inertes livianos como piedra pómez, escorias, entre otros; cuya incorporación disminuye la cantidad necesaria de cemento por metro cubico, para una resistencia a la compresión determinada. Como agentes de activación, los mejores resultados han sido obtenidos con el polvo de aluminio, debido a que “el polvo de aluminio forma aluminatos con los compuestos alcalinos del cemento liberando hidrogeno. Sin embargo, no todo el gas producido queda retenido en la masa en forma de poros: una parte escapa a través de la pasta y otra reacciona una vez comenzado el endurecimiento del cemento, por lo cual escapa a través de las paredes” (F. M. Lea, Instituto técnico de la construcción y del cemento).

#### A.2. Hormigones de agregados livianos.

“Resultan de la sustitución de los agregados minerales ordinarios (densos) que se utilizan en la elaboración de hormigones comunes, por agregados livianos inorgánicos u orgánicos. La estructura que presentan estos hormigones es semejante a la de los hormigones ordinarios, pero contiene en su interior una gran cantidad de alveolos que ocupan un volumen considerable” (F. M. Lea, Instituto técnico de la construcción y del cemento). Estos hormigones presentan una distribución heterogénea de vacíos repartidos en los agregados.

Para que estos hormigones reúnan las características esenciales requeridas es indispensable que los agregados livianos estén repartidos de manera muy regular en la mezcla, que no estén apelmazados por el cemento y que no presenten una gran absorción de agua.

Los hormigones livianos con perlitas de poliestireno expandido se obtienen mezclando cemento, arena, agua y poliestireno expandido molido. Éstos se diferencian de otros tipos de hormigón liviano por las propiedades que le aportan las partículas de poliestireno expandido (EPS):

- Peso específico aparente muy bajo.
- Excelente aislamiento térmico.
- Escasa absorción de humedad.
- Buena resistencia mecánica.

#### A.3. Hormigón cavernoso o sin finos pétreos.

En estos hormigones se debe contener una cantidad mínima de finos. Se puede utilizar un árido grueso uniforme y parejo en toda la mezcla, debiendo utilizar la cantidad estrictamente necesaria de pasta de cemento para recubrir y unir entre sí los áridos. Las densidades obtenidas en este tipo de hormigones son más bien altas, pero su retracción hidráulica es baja.

#### B. Propiedades de los hormigones livianos con áridos livianos.

Las propiedades del hormigón con áridos livianos dependen en gran medida de la cantidad y propiedades del árido particular que se esté utilizando para aligerar el elemento, así como también de los otros componentes del hormigón (dosis de cemento, agua, granulometría), por lo que es posible inferir que el uso de un determinado árido liviano no define en sí las propiedades del hormigón. Con respecto a la durabilidad de los hormigones livianos, se puede señalar que en comparación con los hormigones convencionales son más susceptibles a los ataques agresivos externos y a los fenómenos de corrosión.

En cuanto a su retracción hidráulica, se puede señalar que su valor es aproximadamente el doble que en los hormigones convencionales.

C. Ventajas de los hormigones livianos.

- Baja densidad y conductividad térmica.
- Resistencias a la acción del hielo – deshielo y a la acción del fuego.
- Al ser más livianos tienen ventajas en cuanto a su transporte y montaje de elementos estructurales, lo que se traduce en economía.
- Aceptable aislamiento acústico.

## **2. CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN LIVIANO**

### **A. Peso específico aparente.**

Se puede elaborar un gran número de hormigones de este tipo con distintos pesos específicos que dependerán de la naturaleza y composición de los agregados, la adición y la proporción de arena, el tipo de cemento, los procedimientos de compactación, la cantidad de agua, entre otros. Las características de los hormigones de agregados livianos variarán debido a esto, teniendo oscilaciones entre los 350 kg/m<sup>3</sup> y los 1850 kg/m<sup>3</sup>.

### **B. Resistencia.**

La resistencia de los hormigones de agregados livianos varía con la resistencia propia del agregado. Se tiene una relación directa entre resistencia y peso específico del hormigón, por lo que a menor peso menor resistencia se obtendrá.

Los hormigones más resistentes en general serán los más compactos. Es así que los hormigones de agregados con granulometría variada tienen, en general, una resistencia menor que aquellos que resultan de una proporción racional de elementos gruesos y finos en el agregado. Por el contrario, cuando se desea un hormigón de muy bajo peso específico, siendo suficiente una reducida resistencia, deberán utilizarse lo menos compactos, que se lograrán mediante una compactación incompleta, con incorporación de aire o recurriendo a los agregados livianos.

Tabla 1: Cuadro de relación entre densidad y resistencia del hormigón.

Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Resistencia a la compresión [kgf/cm <sup>2</sup> ]
200	8
250	10
300	15
350	19

Departamento de mecánica aplicada y estructuras de la facultad de ciencias exactas ingeniería y agrimensura UNR.

### C. Aislación térmica.

El coeficiente de conductibilidad térmica de los hormigones de agregados livianos varía en relación directa con su peso específico. El término medio oscila alrededor de 0,2 kcal/mh°C para un peso específico aparente seco del orden de los 1200 kg/m<sup>3</sup>, es decir a 1/5 del que corresponde a los hormigones ordinarios, pero puede ser menor aún si se disminuye el peso específico.

Tabla 2: Relación entre densidad y conductividad térmica y acústica. Prueba a 500 hz en espesor de 5 cm.

Densidad [kgf/m <sup>3</sup> ]	Conductividad térmica [Kcal/mh°C]	Reducción de ruidos por pisada [db]
200	0.052	15
250	0.076	14
300	0.079	13
350	0.082	12.5

Departamento de mecánica aplicada y estructuras de la facultad de ciencias exactas ingeniería y agrimensura UNR.

#### D. Retracciones.

En términos generales se puede decir que la retracción de los hormigones de agregados livianos es dos veces superior a la de los hormigones ordinarios. Se atribuye el hecho a la mayor cantidad de agua de mezclado, y a la mayor porosidad de estos hormigones. “Después de una conservación durante 90 días al aire, con una humedad aproximada del 50%, la retracción puede alcanzar valores comprendidos entre 0,5 y 1 mm por metro pudiendo llegar hasta 1,5 a 1,7 mm por metro o más, según la granulometría y deformabilidad de los agregados, el tipo de cemento, la cantidad de agua de mezclado y el grado de compactación del hormigón” (F. M. Lea, Instituto técnico de la construcción y del cemento).

Se cuenta con que la relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión es bastante más elevada que la de los hormigones ordinarios, lo que junto con otros factores, permite a los hormigones de agregados livianos sufrir deformaciones de retracción sin fisuración. Es importante impedir que el comienzo del endurecimiento del hormigón se produzca muy rápidamente, para lo cual deberá mantenerse húmedo el hormigón durante un tiempo suficiente.

#### E. Absorción de agua.

Para poder comparar capacidades de absorción es necesario expresar en porcentajes de agua con relación al volumen aparente del hormigón y no con respecto al peso del mismo. El peso específico de los hormigones de agregados livianos varía entre límites muy amplios. Dichos valores oscilan entre 18% y 30% y, excepcionalmente, 40%. En los hormigones ordinarios la variación oscila entre 7,5% y 23%.

#### F. Resistencia al fuego.

En general se puede decir que todos los hormigones de agregados livianos ofrecen una buena resistencia al fuego. Dentro de ellos se destaca especialmente el hormigón de poliestireno expandido que constituye uno de los mejores materiales de protección contra la propagación del fuego ya que tiene características de auto extinguido.

#### G. Aislación acústica.

La existencia de cámaras de aire en la textura de los hormigones de agregados livianos como los por poliestireno expandido, hace que estos ofrezcan resistencia al paso del sonido. En el valor de la conductividad acústica influyen el peso específico del hormigón, la naturaleza del agregado y el proceso de fabricación, siendo posible encontrar a igual peso específico aparente seco valores muy diferentes.

### **3. MATERIALES.**

#### **A. Áridos.**

“Los áridos son los materiales pétreos compuestos de partículas duras, de forma y tamaño estable. Normalmente se dividen en dos fracciones: grava y arena” (Sanhueza, 2010). Éstos ocupan entre el 65 y 75% del volumen total del hormigón. La elección y control de los áridos debe tener especial cuidado, ya que de sus características dependerá la docilidad del hormigón fresco, la resistencia del hormigón endurecido, la durabilidad de las estructuras y la economía de las mezclas. Además, son el componente inerte del hormigón y tienen dos funciones principales:

- Proveer una masa de partículas apta para resistir la acción de cargas aplicadas, la abrasión, el paso de la humedad y la acción climática.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, y de los cambios de humedad de la pasta de cemento.

#### **B. Cemento.**

“Material pulverizado que con agua forma una pasta conglomerante que se endurece tanto en el agua como en el aire. Este reacciona químicamente con el agua, y no se descompone ni altera una vez endurecido” (Sanhueza, 2010). La pasta de cemento endurece tanto bajo agua como al aire, por lo que el cemento se define como un conglomerante hidráulico.

Éste tiene dos funciones principales:

- Llenar los vacíos entre partículas del árido, aglomerándolas. Cuando el hormigón está fresco hace las veces de lubricante y brinda cohesión a la mezcla. Al endurecer la pasta taponan los vacíos entre los granos de los áridos dando impermeabilidad al hormigón.
- Proporcionar resistencia al hormigón endurecido.

El endurecimiento del hormigón se adquiere en forma gradual y su capacidad de resistencia va dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura. El hormigón alcanza su resistencia de trabajo a los 28 días, por lo que es habitual que las exigencias de resistencia se especifiquen y verifiquen a esa edad.

### C. Agua.

Puede emplearse agua de cualquier origen siempre que cumplan con los requisitos que establece la norma Nch 1498, y que se indican a continuación:

- Ph 6 a 9,2.
- Sólidos en suspensión, ml/l máx. 2000.
- Sólidos disueltos, ml/l máx. 15.000.
- Materia orgánica, como oxígeno consumido, mg/l máximo 50.

En nuestro país, el agua potable de la red puede emplearse en el hormigón siempre que no se contamine antes de su uso. Cuando el abastecimiento de agua provenga de pozos o de canales, conviene analizar sistemáticamente esta agua para comprobar que no aumenta su salinidad en impurezas a lo largo del tiempo. Si hay dudas sobre la calidad del agua, debe recurrirse a un laboratorio especializado. Algunos tipos de aguas que no se pueden ocupar debido a que causan daño al hormigón son:

- 1) Aguas disolventes: Son aquellas que no contienen iones y actúan solamente sobre la cal libre, aumentando la porosidad del hormigón.
- 2) Aguas con contenido de CO<sub>2</sub>: también actúa sobre la cal libre produciendo carbonato de calcio y aumentando la porosidad del hormigón.
- 3) Aguas con contenidos de sulfatos: Esta agua reacciona generando agentes expansivos, provocando fisuras en el hormigón.

#### D. Poliestireno expandido (EPS).

“Es un polímero cuya base es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno” (Aramayo, Buncuga, & Forgione, 2003). El polímero se mezcla con agua y un agente de expansivo como el hidrocarburo pentano C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>. El poliestireno expandido es de origen artificial. Éste se pre-expande aumentando su volumen hasta 50 veces gracias a la acción del agente de expansión, dando lugar así a la perlita de poliestireno.

#### **4. USO DEL HORMIGÓN LIVIANO**

Los hormigones livianos con poliestireno expandido tienen como características su reducido peso específico aparente y su buen comportamiento como aislante térmico. Como las resistencias de los hormigones livianos son satisfactorias para las funciones que están llamados a cumplir, es posible ejecutar construcciones livianas con apreciables resultados en cuanto a su economía y durabilidad. El reducido peso específico de los hormigones livianos es un factor en la economía del proyecto, ya que permite obtener secciones resistentes menores. Además, la elevada capacidad aislante los convierte en el material por excelencia, ya que une a las condiciones de higiene, durabilidad y protección ante agentes climáticos.

En cuanto a que tipo de hormigón liviano se va a utilizar, va a depender del problema a resolver. Las cualidades de resistencia y aislación térmica varían de un tipo a otro de hormigón liviano, pudiendo hacerse algunas indicaciones que orienten hacia una correcta elección del material.

Los posibles usos de estos hormigones son los siguientes:

- Monolítico (moldeado en el sitio): muros y tabiques; contrapisos y revestimientos aislantes; revoques ignífugos.
- Elementos pre-moldeados: bloques y placas para muros y tabiques; ladrillos para entrepisos y techos; revestimiento de conductos de humo.
- Aislación bajo pisos, elementos pre-moldeados: placas aislantes para tabiques, techos y entrapiso; bloques para muros.

## 4.- DESARROLLO DEL TEMA

### Construcciones Prefabricadas

## **1. HISTORIA.**

Fue después de la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos, que las casas prefabricadas modulares realmente empezaron a ir creciendo en popularidad. La casa prefabricada modular fue una manera rápida y barata para fortalecer una solución de vivienda conveniente en el periodo post guerra. En sus primeros años las casas prefabricadas modulares ganaron una reputación merecida. Mientras algunas personas estaban ansiosas por salir de sus casas prefabricadas para ir a casas convencionales mayores, otros habían aprendido a apreciar lo que estas casas tenían para ofrecer con relación a las casas estándar.

Los constructores de casas prefabricadas modulares fueron rápidos en responder a la creciente necesidad a lo largo de los años, y un nuevo estilo de casa prefabricada fue desenvuelto. Hoy estas casas son mayores, más espaciaosas y contienen prácticamente todos los recursos personalizados que uno esperaría en una casa convencional. Además de eso, así como una casa tradicional puede ser personalizada por el cliente, hoy día una casa prefabricada modular también puede ser fácilmente construida según las exigencias y especificaciones del proyecto y del cliente.

## **2. DEFINICIÓN DE LAS CASAS PREFABRICADAS.**

“Las casas prefabricadas son viviendas construidas a partir de secciones estandarizadas, que son fabricadas con antelación fuera de su lugar de emplazamiento, y posteriormente enviadas a su ubicación definitiva para su ensamblaje final” (Cifuentes, 2013). Son una alternativa hecha a medida, para quien posea un terreno, que ofrecen una gran variedad de opciones, ahorrando tiempo y dinero en comparación con los métodos de construcción tradicionales.

Las casas prefabricadas son construidas por secciones dentro y fuera de la obra, en fábricas controladas. El más reciente desenvolvimiento en la industria de estas construcciones es la opción de personalización, en donde el cliente personaliza el diseño según su gusto y exigencia. Las secciones son transportadas a la zona de construcción para ser montadas en la cimentación pre-existente. Éstas son construidas por pedido en grandes cantidades, logrando que los constructores ahorren en el costo de los materiales utilizados. Puesto que los módulos de las casas prefabricadas son construidos en una línea de montaje en ambientes cerrados, no hay retrasos debido a situaciones climáticas desfavorables, siendo por ende los costos del trabajo uniformes. Finalmente los constructores de estas casas pasan esas economías a sus clientes.

### **3. CLASIFICACIÓN DE LAS CASAS PREFABRICADAS.**

Dentro de las casas prefabricadas existe una subdivisión o clasificación según sea su procedencia constructiva. Es así que existen las casas industrializadas, modulares y prefabricadas. A continuación definiremos cada una de ellas.

#### **A. Construcciones industrializadas.**

Las casas industrializadas son todas aquellas que se realizan en obra, pero cuyos materiales son hechos de forma industrializada. Se tiende a confundir casas industrializadas con casas prefabricadas. Las prefabricadas se hacen usualmente por partes, con procesos y elementos fabricados en fábricas y que luego se ensamblan en el lugar de construcción. Por otro lado, se acota el término casa industrializada a aquella que con partes industrializadas y estandarizadas, se construye por completo en el sitio donde se levanta. Por ejemplo recurriendo al sistema de metal liviano conocido como Steel Framing o Metalcom, casas tipo Covintec (paneles de hormigón liviano), sistema de paneles livianos SIP, entre otros, serían casos de construcción industrializada.

## B. Construcciones modulares.

Las casas modulares cobran forma gracias a unidades estandarizadas de una edificación, que al combinarse permiten completar la edificación. Cada módulo independiente contiene cuartos propios de una vivienda como lo son baños, cocinas, dormitorios, entre otros, que se realizan por separados en una fábrica y luego estos módulos son ensamblados en terreno. En una vivienda básica un módulo puede abarcar toda una pequeña casa.

Las casas modulares sirven como soluciones de vivienda en especial para casas vacacionales. Las ventajas principales de las casas modulares están dadas por los costos bajos controlados, y la rapidez de ejecución de las obras.

Casas modulares es una de las modalidades de productos de la industria de prefabricadas. Los módulos se pueden construir en una fábrica, como si se tratara de bienes muebles para luego despachar a destino, en donde con un sistema ágil de montaje es posible levantar una casa en menos tiempo que lo usual, incluso en un día. La idea asociada con el concepto de casas modulares es la de unidades funcionales que se ensamblan, combinan, y superponen, para construir una casa. Se pueden fabricar con unidades que se almacenan con el tiempo que sea necesario en depósitos, como si fueran mercaderías comunes, y es posible exportar módulos en contenedores, accediendo así al mercado internacional. Este sistema sirve inmuebles (casas fijas) o como casas móviles, desarmables y transportables.

Las casas modulares se construyen en una fábrica o planta, en un ambiente protegido de las inclemencias del tiempo y de los rayos sol, a partir de piezas o partes estandarizadas. Se ensamblan las partes que llevan instalaciones de servicios y sencillamente se conectan a las bocas dispuestas en el lote.

Las casas modulares se van haciendo en una cadena de montaje, y se trasladan cuando están terminados los módulos. Estas viviendas tienen el aspecto y dan la impresión propia de una casa tradicional, además, se construyen para cumplir con los requisitos dictados por los consumidores, en donde la personalización por sobre la estandarización ocupa un papel muy importante en esta industria.

Una desventaja que enfrentan las casas modulares es el problema de acceso al lugar de destino final. Por caso, hay ocasiones en que una casa modular de gran tamaño sobre un camión no puede ser trasladada por calles angostas.

### C. Construcciones prefabricadas.

Las viviendas prefabricadas se construyen por partes en fábricas (muros con ventanas y puertas incluidas, muros separadores, piso, cielo, entre otros). Se trasladan en camiones y se ensamblan en el sitio. Requieren de un radier o fundaciones, el cual es de construcción convencional, y es necesario realizar las instalaciones para su funcionamiento (instalaciones sanitarias, cableado de energía eléctrica, y líneas de gas). Se tienen ventajas en el precio y tiempo de construcción, que son algo inferior al de la casa convencional, mientras que la duración de una vivienda prefabricada de calidad es similar al de las casas de madera o concreto, estimando una vida media de 50 años.

En la historia de esta industria, el gran impulso fue dado por la oferta de kits para construir viviendas. Las casas en kits se vendieron en Estados Unidos por la empresa Sears en la primera mitad del siglo pasado. Los kits permitieron la auto-construcción, tarea que ayudó a varias familias a contar con su casa propia de buena calidad. Estos kits implican una sistematización completa de la construcción que facilita la autoconstrucción o la edificación en tiempo muy breve, con lo que el cliente siguiendo instrucciones del manual, puede levantar su casa sin mayor problema, tal cual como uno arma un mueble.

#### **4. TIPOS Y MATERIALES USUALES EN CONSTRUCCIONES INDUSTRIALIZADAS.**

##### **A. Madera.**

La madera es un material con distinta elasticidad según la dirección de deformación. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año, formando anillos, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para distintas finalidades y distintas áreas:

- Fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel.
- Alimentar el fuego, en este caso se denomina leña y es una de las formas más simples de biomasa.
- Menaje: vajillas, cuberterías.
- Ingeniería, construcción y carpintería.
- Medicina.
- Medios de transporte: barcos, carruajes.

Las características de la madera varían según la especie del árbol y origen. Aun así hay algunas características cualitativas comunes a casi todas las maderas. En cuanto a resistencia podemos decir que ésta en el eje axial es de 20 a 200 veces mayor que en el eje transversal.

Tiene un comportamiento higroscópico, pudiendo absorber humedad tanto del ambiente como en caso de inmersión en agua. La polaridad de la madera le hace afín con otros productos polares como agua, barnices, pegamentos con base de agua, entre otros.

Su densidad varía notablemente entre especies. Una vez secas, hay especies que apenas alcanzan los 300 kg/m<sup>3</sup> mientras que otras llegan a los 1200 kg/m<sup>3</sup>. No obstante la densidad habitual de la mayoría de especies se encuentra entre los 500 y los 800 kg/m<sup>3</sup> (peso seco).

Hoy en día existen exclusivos modelos presentados por gran cantidad de empresas dedicadas a construcciones prefabricadas, las cuales presentan mayores posibilidades de revestimientos interiores, exteriores, techumbre, y pisos. En Chile, las empresas se preocupan mucho por la Normativa Térmica según la zona del país es que se encuentre, dando mayor relevancia a zonas de vivienda como cielos, muros y piso. En el mercado nacional existen viviendas entregadas como instaladas y otras como llave en mano. A continuación se presentan las características básicas que tienen:

#### Caso 1: Viviendas Instaladas.

- Base de hormigón o pilotes impregnados.
- Tabiquería en madera pino bruto 2x3"
- Filtro en muros perimetrales y techo.
- Muros exteriores revestidos en madera de pino, gravilla o vinil sidyng.
- Ventanas con vidrios en madera de pino o aluminio según elección.
- Puertas interiores de terciado moldeadas.
- Quincallería (chapas, bisagras y picaportes).
- Muros exteriores e interiores forro por una cara.
- Cielo en madera de pino o volcánita (optativo vigas a la vista)
- Puerta exterior en madera de pino.
- Alcantarillado interior.
- Techo, fibrocemento ondulado, zinc, teja asfáltica, etc.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> (Urbina, 2014)

## Caso 2: Viviendas llave en mano.

- Base de hormigón o pilotes impregnados.
- Tabiquería en madera de pino bruto 2x3"
- Filtro en muros perimetrales y techo.
- Lana de vidrio de 50 milímetros.
- Muros exteriores en madera de pino diseño media luna, gravillada o vinil sidyng color elección.
- Muros interiores revestimiento volcanita o madera de pino.
- Instalación eléctrica con automático y diferencial.
- Gasfitería en cañerías de cobre. (Gas, agua fría y caliente).
- Artefactos en baño y cocina.
- Cerámicos en baño y cocina piso y muros. (Color a elección)
- Cielo en madera de pino o volcanita. (optativo vigas a la vista)
- Ventanas de corredera en aluminio.
- Puerta exterior en madera de pino.
- Puertas interiores moldeadas.
- Quincallería. (chapas, bisagras y picaportes)
- Grifería.
- Teja asfáltica color a elección.
- Revestimiento pisos, alfombra, cerámicos, piso flotante.
- Planos de arquitectura.<sup>2</sup>

La mayoría de estas empresas se preocupan por cumplir la normativa térmica vigente y también en tener los estándares de calidad y seguridad ante situaciones de incendios y movimientos sísmicos que son frecuentes en nuestro país.

---

<sup>2</sup> (Urbina, 2014)

Una forma común de comercializar este tipo de viviendas es mediante los Kits industrializados. Como hablamos anteriormente, estos consisten y se basan en la autoconstrucción por parte del cliente y consiste en que éste compra el kit el cual viene pre-armado con todas sus partes e instrucciones técnicas de armado listas para ser ensambladas por el propio cliente en el lugar deseado.

#### B. Steel framing.

“Steel Framing es un sistema constructivo que utiliza una estructura de perfiles de acero, recubierto por multicapas aislantes y decorativas, que otorgan la terminación de las paredes. Básicamente es un sistema constructivo compuesto por perfiles de acero galvanizado para distintas aplicaciones estructurales, tabiques divisorios y construcción de cielos” (Espacio & confort, 2013). Las propiedades y ventajas del sistema Metalcom permiten una solución constructiva tipo modular y de fácil ampliación. Se caracteriza por menor tiempo de ejecución de obra, diseños ilimitados, eficiencia en la construcción por la estandarización de tareas, estética y ahorro de energía. Este sistema constituye un sistema estructural formado por marcos (frame), referido a una forma de construcción con columnas y vigas en una grilla rectangular que soporta los techos, paredes (paneles) y pisos del edificio a construirse. Principalmente se usa este sistema constructivo para edificaciones livianas, ya que no necesita equipos ni maquinaria pesada para su uso, y es flexible, dado que permite cualquier tipo de terminación exterior e interior.

La dimensión de la habitación está dado por los perfiles colocados horizontalmente que van atornillados a otros verticales espaciados a una distancia estándar. Si bien el concepto de estructura de marcos se aplica también al utilizado para las construcciones medias y pesadas, se denomina especialmente como Steel framing al elaborado con perfiles delgados (Light gauge steel framing) conformados en frío a partir de chapa galvanizada. Este último recubrimiento (zinc, a veces unido al aluminio) previene la oxidación y la corrosión.

#### B.1. Características Técnicas.

- Resistencia mecánica: Cuenta con una elevada relación resistencia/peso, y los valores de tensiones de fluencia y rotura son garantizados por los productores, lo que se mantienen independientes de la humedad ambiente y de las condiciones de mantenimiento.
- Incombustibilidad: la estructura de acero es incombustible, constituyendo un elemento adicional a la seguridad ante el fuego de la vivienda.
- Versatilidad: Puede ser cortado sin dificultad en obra con herramientas usuales en la construcción. Se encuentran disponibles en el mercado gran variedad de tornillos y conectores para materializar las uniones tanto de los miembros estructurales entre sí como de éstos con la base de fundación.
- Durabilidad: por su recubrimiento de zinc, el acero galvanizado por inmersión en caliente brinda prolongada vida útil a la estructura, haciéndola además absolutamente resistente a la acción de termitas, hongos y roedores.

- Protección ambiental: es completamente reciclable permitiendo su reutilización cuando la vivienda deba ser demolida.
- Disponibilidad: El acero liviano galvanizado se encuentra hoy disponible en el mercado en todas las formas necesarias para materializar una estructura de vivienda. Estos perfiles son provistos cortados en medidas estándar o a pedido.
- Economía: Los precios del acero galvanizado hacen de este material una opción muy conveniente para estructuras de viviendas industrializadas.

#### B.2. Ventajas del sistema.

- Menor tiempo de ejecución.
- Aislamiento acústico y térmico de alto rendimiento.
- Mayor facilidad en las instalaciones de electricidad, sanitarios, sistemas de calefacción y aire acondicionado.
- Ahorro de energía en los sistemas de climatización.
- Mejor rendimiento térmico en climas severos.

### C. Paneles termoaislantes.

Los muros termo-aislantes se definen como un panel de mortero armado con un alma de poliestireno expandido. El poliestireno expandido EPS, que se ubica en el eje neutro del panel, aporta la aislación térmica y reduce el peso propio final en promedio a solo 120 kg/m<sup>2</sup>. El EPS ondulado, al actuar como moldaje del mortero proyectado, da como resultado un mortero con mayor capacidad estructural por su morfología pilarizada y con altos rangos de aislación acústica respecto a una solución plana. Junto a la malla de acero estructural, los paneles traen incorporado metal desplegado para controlar las fisuras por retracción del mortero y mejorar la adherencia del primer revoque de mortero fresco.

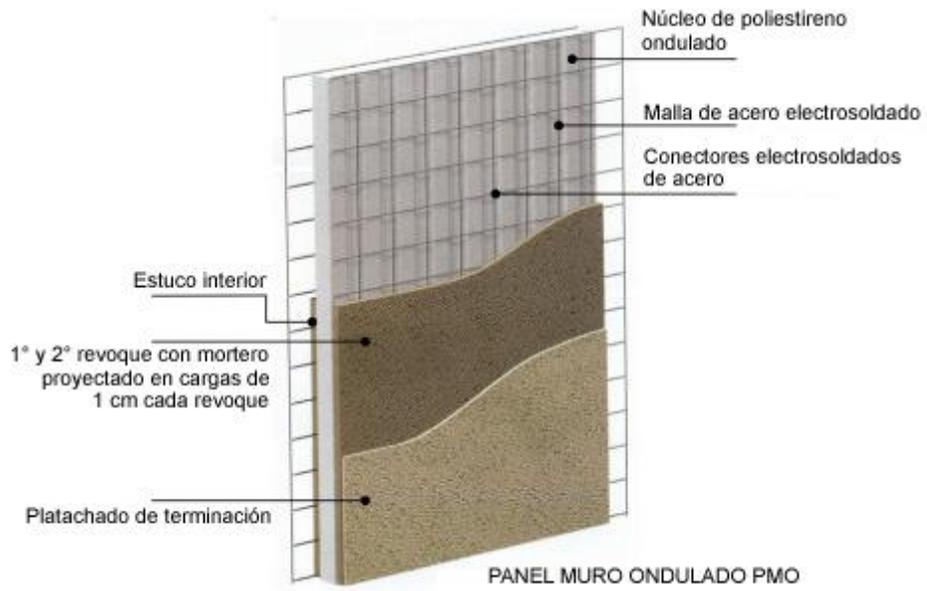
#### C.1. Uso estructural

“El uso estructural de este panel considera un espesor de poliestireno mínimo de 50 mm con un acabado promedio de 30 mm por cara (aprox. 20 mm sobre la malla) con características estructurales de al menos 80 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia típica a compresión. El panel muro se utiliza en construcciones de 2 pisos como máximo” (Monoplac, 2014).

#### C.2. Uso en tabiquería.

“El panel para tabiquería es igual que el estructural, pero considera un espesor de poliestireno mínimo de 25 mm” (Monoplac, 2014).

Figura 1: Esquema muro Monoplac.



*Monoplac.*

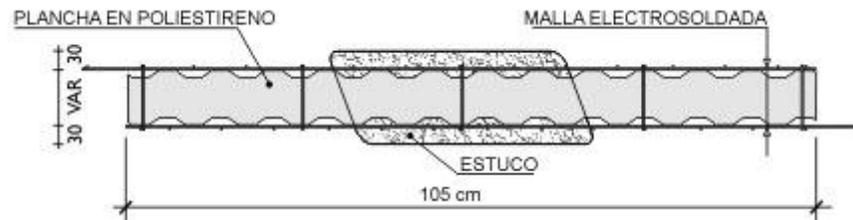
### C.3. Especificaciones técnicas.

Tabla 3: Especificaciones técnicas panel.

Modelo	Espesor (mm)			Transmitancia térmica (w/m <sup>2</sup> °K)	Zona térmica
	Aislapol	Mallas	Estucado		
PMO - 45	25	45	80	1,26	1 a la 5
PMO - 70	50	70	110	0,73	1 a la 6
PMO - 110	90	110	150	0,43	1 a la 7
PMO - 160	140	160	200	0,29	1 a la 7

*Monoplac*

Figura 2: Esquema Paneles Monoplac.



*Monoplac.*

### Características del muro:

- Medidas: 105 cm x 250 cm
- Núcleo ondulado de poliestireno expandido de espesor según modelo panel, en densidad 10 kg/m<sup>3</sup>.
- Doble malla electrosoldada de acero estriado AT56-H con retícula 15 x 15 cm, calibre 4 mm en formato de 120 x 250 cm y conectores electrosoldados del mismo calibre. Ambas mallas quedan separadas según modelo de panel.
- Metal desplegado por ambas caras del Aislapol, bajo la malla estructural de acero.
- Mortero estructural de 3 cm de espesor por cara en dosificación por volumen de 1:3,5, tamiz N° 5 (tamaño máximo del árido 4 mm), con fibra aditiva incorporada en el mortero (600 gramos por m<sup>3</sup> de mortero) para controlar fisuras por retracción hidráulica.
- Paños interiores que consulten pintura: se recomienda encamisar los paños con malla de fibra de vidrio alcalino resistente, adheridas al estuco con la 1<sup>o</sup> mano de pasta muro. Se requiere un total de tres manos de pasta muro.
- Paños exteriores que consulten pintura: se recomiendan pinturas elastoméricas texturadas ó si se consulta pintura lisa, se puede aplicar pasta exterior acrílica para recibir pintura.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> (Monoplac, 2014)

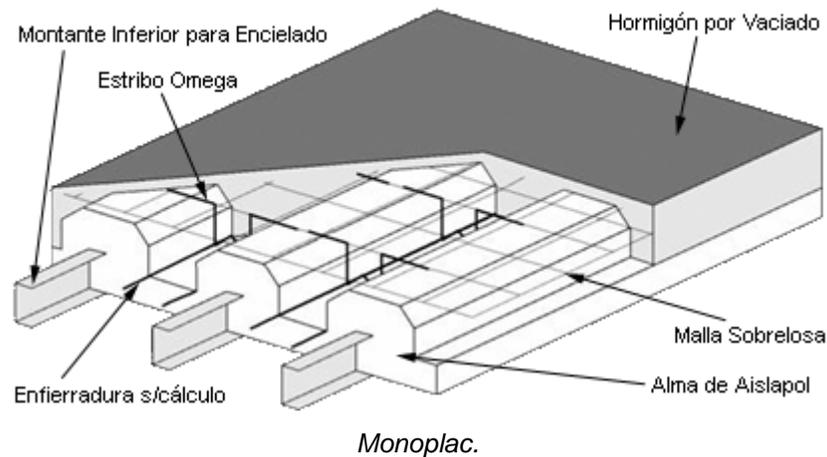
#### C.4. Resistencia al fuego.

Respecto al comportamiento al fuego, de aplicarse este panel como muro cortafuego F-120, requiere un mínimo en alma de Aislapol de 50 mm con 4 cm de estuco por cara (certificado IDIEM N° 411.210).

#### C.5. Losas.

El panel de fábrica consiste en una placa de poliestireno expandido EPS auto-extinguible que actúa como encofrado térmico y que ya trae incorporada en su cara superior una malla electrosoldada para la sobrelosa y perfiles pre-embutidos en su cara inferior para fijación de cielo.

*Figura 3: Dibujo esquema de Losa.*



La morfología del EPS permite la colocación de armadura de refuerzo en las viguetas, las cuales al recibir hormigón por vaciado configuran una losa unidireccional de hormigón nervado.

#### C.6. Ventaja de los paneles.

- Elevados rangos de aislación termo-acústicas.
- Elevados rangos de resistencia al fuego.
- Fácil traslado y rápido montaje.
- Elevada capacidad estructural, gran durabilidad y resistencia al impacto.
- No requiere de mano de obra especializada.
- Una reducción en los costos y tiempos de ejecución.
- Apto para combinar y mimetizar con sistemas tradicionales.
- En muros, se incorpora desde fábrica metal desplegado para una mejor adherencia del 1° revoque y control de micro fisuras.
- El panel muro trae incorporada la malla de traslape para la unión de paneles.
- En losas su cara inferior permite una solución de faena seca, sin estuco.
- Ahorro en cemento y partes estructurales, por ser más liviana la obra terminada.
- Versatilidad total de diseño y arquitectura.
- Recibe cualquier tipo de acabado tradicional en base a cemento.
- Ahorro hasta de un 65% de la energía necesaria para acondicionar los ambientes construidos.
- Fácil y rápido montaje de instalaciones eléctricas, sanitarias, etc.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> (Monoplac, 2014)

#### D. Paneles de hormigón liviano.

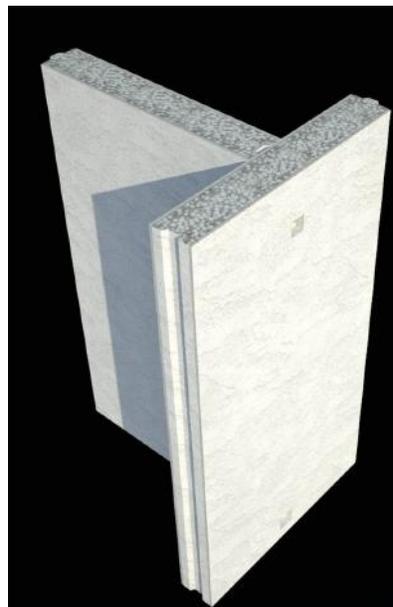
Este tipo de panel está conformado por dos placas de fibrocemento adheridas firmemente a un núcleo de concreto liviano. Mediante un proceso industrial automatizado, se logra un producto de gran capacidad estructural, de aislación térmica, acústica, impermeabilidad e incombustibilidad cumpliendo satisfactoriamente las exigencias normativas. Los paneles se pueden utilizar para la construcción de tabiques, pisos y separadores de ambientes principalmente.

Los Paneles de hormigón liviano corresponden al concepto mundialmente conocido como Light concrete panel, son elementos modulares conformados por dos placas que pueden ser de Fibrocemento u otro material similar, firmemente adheridas a un núcleo de concreto, EPS y adhesivos, componentes que a través de un proceso industrial de fabricación bajo condiciones de estricto control y severas normas, se transforman en un elemento sólido, homogéneo, de alta resistencia mecánica y gran capacidad de aislación térmica. Es decir, en el sentido práctico, los Paneles de hormigón liviano incorporan en un sólo producto la estructura, la cubierta y la aislación térmica, acústica y a la humedad, y se entrega listo para ser instalado en forma fácil y rápida. Las medidas de estos paneles están de los 60, 90 y 120 mm de espesor, mientras que tienen 2,44 metros de alto y 0,61 metros de ancho. Según su espesor se tienen que los paneles pesan entre 54, 80 y 107 kg respectivamente lo que hace que tengan 36, 54 y 72 kg/m<sup>2</sup>.

#### D.1. Ventajas.

- Menor plazo de ejecución: Con los paneles se ahorra tiempos de construcción, lo que se traduce en mayor rentabilidad de las obras y proyectos.
- Belleza arquitectónica: Las caras del panel vienen con las superficies lisas y listas para recibir cualquier tipo de revestimiento.
- Alta calidad: Los elementos prefabricados de concreto, al ser producidos en plantas especializadas y en condiciones de laboratorio, garantizan una mayor calidad que otros sistemas constructivos.
- Bajo mantenimiento: Los paneles de hormigón liviano están realizados con un estricto control de calidad para evitar la mantención sin necesidad de incorporar procesos constructivos adicionales. Dada su superficie alisada, no requiere otros elementos para la nivelación e incorporación de revestimientos.
- Fácil instalación la cual puede ser otorgada por la empresa proveedora.<sup>5</sup>

*Figura 4: Panel tipo Fast Work.*



*Comintecc.*

---

<sup>5</sup> (Comintecc, 2014)

## **5.- EXPERIENCIA EN LABORATORIO**

### **Formulación de Panel Liviano.**

## 1. DOSIFICACIÓN.

### A. Determinación de la resistencia media requerida (Fr).

Se determinó un hormigón patrón con una resistencia especificada H25 a los 28 días (250 kgf/cm<sup>2</sup>) según la tabla mostrada a continuación:

Tabla 4: Elección del grado de hormigón.

Grados de Hormigón	Solicitud y Exposición	Elementos Estructurales		
		En masa	Armados	Pretensados
H5	Elementos poco solicitados y sin peligro de heladas	Cimientos corridos, emplantillados, etc.	-	-
H10	Elementos poco solicitados y con peligro de heladas	Muros de contención, radieres.	-	-
H15 – H20	Elementos medianamente solicitados y con peligro de heladas	Elementos corrientes de la construcción, pavimentos, prefabricados		
H20 – H35	Elementos altamente solicitados con o sin peligro de heladas	-	Elementos especiales de la construcción, prefabricados en taller	

NCh170 of.85.

Según el recuadro nuestro hormigón entra principalmente en la categoría H15-H20 (prefabricados), pero sabiendo que será un hormigón liviano con poliestireno expandido, y que por ende se disminuye su resistencia mecánica, se decidió optar por un hormigón patrón H25.

Se determinó un 80% de nivel de confianza y se obtuvo el factor estadístico t de student mediante la siguiente tabla:

Tabla N°5: Factor estadístico t

<b>Nivel de Confianza (1 - % defectuosos)</b>	<b>t</b>	<b>Normas</b>
95 %	1,645	DIN - BSI - ACI NCh
90 %	1,282	
85 %	1,036	
80 %	0,842	NCh (pavimentos)

NCh170 of.85.

Además se determinó la desviación estándar s. Dado que es un elemento prefabricado, las condiciones de ejecución son buenas ya que son en ambiente más controlado, por lo que se tomó como valor s = 5 MPa.

Tabla N°6: Valor "s" estimado para la resistencia a la compresión.

Condiciones de ejecución	s ( MPa )		Definición de las condiciones
	< H-15	> H-15	
<b>Regulares</b>	<b>8,0</b>	<b>----</b>	Control Deficiente
<b>Medias</b>	<b>6,0</b>	<b>7,0</b>	Dosificación en volumen
<b>Buenas</b>	<b>4,0</b>	<b>5,0</b>	Dosificación en peso o volumen controlado, control permanente
<b>Muy Buenas</b>	<b>3,0</b>	<b>4,0</b>	Dosificación en peso, laboratorio en faena, control permanente

NCh170 of.85.

Con estos datos se calculó la resistencia media requerida (fr) según las tablas de la NCh170 presentadas a continuación:

$$Fr = Fc + s*t.$$

Fr= Resistencia media requerida de dosificación.

Fc = Resistencia característica.

t = Factor estadístico de un nivel de confianza (t de student).

s = Estimación de la desviación estándar.

$$Fr = 250 + 0,842*50 = 292,1 \text{ Kgf/cm}^2.$$

## B. Determinación del cono de Abrams.

La determinación del cono se realizó tomando en cuenta que es un elemento prefabricado, por ende se escogió un valor entre 0 a 2 centímetros según la siguiente tabla:

Tabla N°7: Asentamiento de cono recomendado según tipo de estructura y técnica de construcción.

Tipo de estructura y técnica de construcción	Asentamiento en cm*	
	Mínimo	Máximo
Hormigón sin armar, ej. elementos de fundación *	2	7-8
Hormigón armado *:	4	10
• Muros armados de fundación y zapatas **	4	8
• Losas, vigas y muros armados **	5	10
• Columnas **	5	10
Pavimentos *	0-2	5
Construcción pesada en masa **	2	5
Elementos prefabricados	0	2
Transporte por grúa y capacho	4-5	6-8
Transporte por canoas (vaciado directo del mixer)	6-8	8-10
Hormigón bombeado	7-8	10-12
Hormigón bajo agua	15	--

(\*) NCh 170 Of.85 Asentamientos de cono para compactación por vibración.

En situaciones excepcionales se podrá emplear apisonado manual, en cuyo caso, ambos límites de la tabla se deben aumentar en 4 cm.

En los casos que se evite la segregación y se asegure la obtención de un hormigón compacto, mediante el uso de aditivos o de tecnologías especiales de transporte y colocación, se podrán emplear docilidades distintas de las indicadas en la Tabla 11.

(\*\*) Zabaleta: Se puede incrementar en 2 cm., cuando no se utilizan vibradores de alta frecuencia.

Nch 170 Of.85.

### C. Determinación de la relación agua/cemento (A/C).

Con la obtención de nuestra resistencia media requerida, podemos determinar la razón A/C, la cual fue escogida por nuestra frecuencia media requerida calculada anteriormente  $f_r=29,2$  MPa con cemento grado corriente, y se obtiene una relación A/C = 0,5 mediante la siguiente tabla que muestra una correlación por condición de resistencia:

*Tabla N°8: Razón agua cemento para resistencia media requerida.*

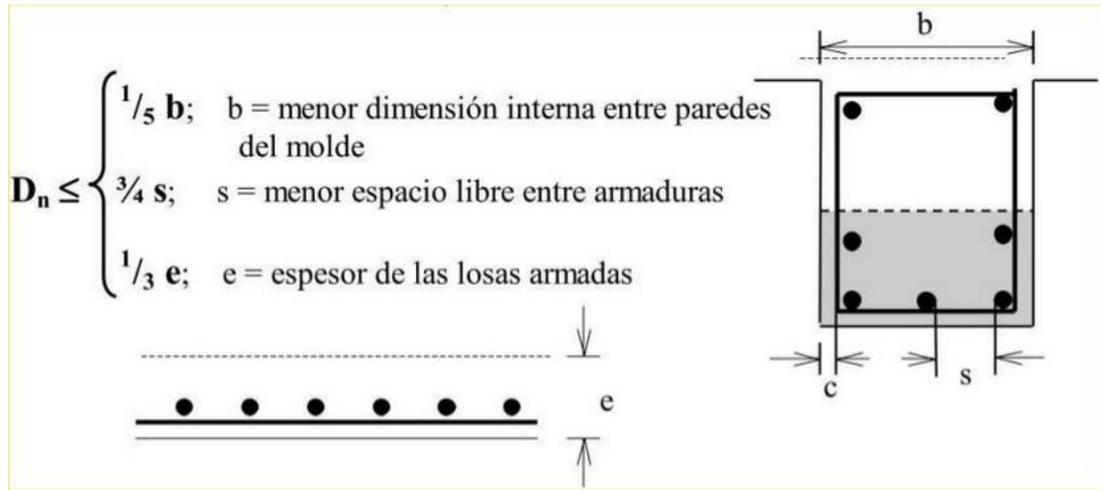
Razón agua-cemento en masa	Resistencia media requerida, $f_r$ , MPa	
	Cemento grado corriente	Cemento grado alta resistencia
0,45	34	43
0,50	29	36
0,55	25	31
0,60	21	26
0,65	18	23
0,70	16	20
0,75	14	17
0,80	12	15
0,85	10	13

*NCh170 of.85.*

D. Determinación del tamaño máximo del árido.

Se determinó el tamaño máximo del árido mediante el siguiente sistema:

Figura 5: Determinación del tamaño máximo.



NCh 170 Of.85.

En donde se presentan los siguientes valores:

Tabla N°9: Determinación árido máximo en panel.

Dimensión	Unidad	Valor	Resultado	Resultado mm
b	mts	0,2	0,040	40
s	mts	0,03	0,023	22,5
e	mts	0,07	0,023	23,3

Elaboración propia.

Tabla N°10: Tamaño máximo recomendado.

Dimensión Mínima de la Sección (cm)	Tamaño Máximo Recomendado en [mm.]			
	Muros armados, vigas y pilares	Muros sin armadura	Losas muy armadas	Losa débilmente armada o sin armadura.
6 - 12	10 - 20	20	20 - 25	20 - 40
12 - 30	20 - 40	40	25 - 40	40 - 75
30 - 70	40 - 75	75	40 - 75	- 75
> 70	40 - 75	150	40 - 75	75 - 150

NCh170 Of.85.

En un principio se contempló un panel de 2 metros de largo, con 0,2 metros de alto y 0,07 metros de ancho. La dimensión mínima del panel es el espesor de éste con 7 centímetros. Este panel se está desarrollando para muros prefabricados livianos, por lo que cabe en la categoría de la tabla anterior del tamaño máximo del árido entre 20 centímetros en la sección muros sin armadura.

#### E. Determinación del agua de amasado.

La determinación del agua de amasado depende de varios factores. Para hormigones corrientes según esta norma, se toma en cuenta el tamaño máximo del árido y la docilidad del hormigón según el descenso del cono de Abrams. Se puede estimar la cantidad de agua de amasado según la siguiente tabla:

Tabla N°11: Determinación del agua de amasado.

Tamaño máximo nominal [mm]	Docilidad según descenso de cono [cm]				
	0 - 2	3 - 5	6 - 9	10 - 15	16
63	135	145	155	165	170
50	145	155	165	175	180
40	150	160	170	180	185
25	170	180	190	200	205
20	175	185	195	205	210
12	185	200	210	220	230
10	190	205	215	230	240

NCh170 Of.85.

Según la tabla se obtiene para un tamaño máximo de 20 mm y una docilidad entre 0 - 2 cm, una cantidad de 175 litros de agua. Esta tabla considera los áridos en estado saturado superficialmente secos (sss), por lo que al momento de realizar las pruebas se deben hacer las correcciones pertinentes por absorción y humedad de los áridos.

#### F. Dosis de cemento.

Determinada la razón A/C anteriormente, la dosis de cemento se da por la fórmula:

$$C = \frac{A}{A/C} = \frac{175}{0,5} = 350 \text{ kg de cemento.}$$

### G. Dosis de aire atrapado.

El aire atrapado también depende del tamaño del árido utilizado, obteniéndose que mientras menor es el tamaño del árido, mayor es el aire atrapado. El aire se determinó según la siguiente tabla, obteniéndose el valor de 20 litros.

*Tabla N°12: Volumen medio de aire atrapado.*

<b>Tamaño máximo nominal [mm]</b>	<b>Volumen medio de aire atrapado [m<sup>3</sup>]</b>
63	0,003
50	0,005
40	0,010
25	0,015
20	0,020
12	0,025
10	0,030

*NCh170 Of.85.*

### H. Dosis de áridos.

La determinación de los áridos depende del tamaño máximo de éstos y del módulo de finura de la arena. Se estimó un módulo de finura de 2,60 mientras se realiza este ensayo en laboratorio, obteniéndose 640 litros de árido grueso.

Tabla N°13: Determinación del volumen del árido grueso.

Tamaño máximo del árido [mm.]	Volumen aparente seco compactado de árido grueso * para Módulo de Finura de la Arena de:			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	500 (460)	480 (440)	460 (420)	440 (400)
12,5	590 (550)	570 (530)	550 (510)	530 (490)
20	660 (650)	640 (630)	620 (610)	600 (590)
25	710 (700)	690 (680)	670 (660)	650 (640)
40	750 (760)	730 (740)	710 (720)	690 (700)
50	780 (790)	760 (770)	740 (750)	720 (730)
75	820 (840)	800 (820)	780 (800)	760 (780)
150	870 (900)	850 (880)	830 (860)	810 (840)

\* Entre paréntesis valores propuestos por Zabaleta.

NCh170 Of.85.

Las dosis finales de áridos se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$C + W + U + G + A = 1 \text{ m}^3$$

Donde:

C: Volumen real de cemento en m<sup>3</sup>, que es igual a la masa del cemento en kg dividido por la densidad real del cemento en kg/m<sup>3</sup>.

W: Volumen de agua de amasado en m<sup>3</sup> necesario para la docilidad requerida.

U: Volumen de aire atrapado.

G: Volumen de grava de m<sup>3</sup>, que es igual a la masa de la grava en kg dividida por la densidad real de la grava en kg/m<sup>3</sup> en sss.

A: Volumen real de la arena en m<sup>3</sup>, que es igual a la masa de la arena en kg dividida por la densidad real de la arena en kg/m<sup>3</sup> (sss).

Tabla N°14: Volumen absoluto sin arena.

1 M <sup>3</sup>	VOLUMEN relat. (Lts)	Densidad aparente	PESO (kg)	Densidad real	VOL. ABSOLUTO (lts)
GRAVILLA	640,00	1,70	1088,00	2,65	410,57
AGUA	175,00	1,00	175,00	1,00	175,00
CEMENTO	283,30	1,20	349,96	3,05	111,46
AIRE	20,00	-	-	-	20,00
Total					717,03

Elaboración propia.

Se debe tomar en laboratorio las verdaderas densidades aparentes y reales de los áridos para corregir posteriormente los cálculos para la dosificación final. El cálculo final queda:

$$717,03 + A = 1000$$

$$A = 282,97 \text{ litros.}$$

Por lo tanto la dosificación final del hormigón patrón para 1 m<sup>3</sup> es la siguiente:

Tabla N°15: Dosificación final hormigón patrón.

1 M <sup>3</sup>	VOLUMEN relat. (Lts)	Densidad aparente	PESO (kg)	Densidad real	VOL. ABSOLUTO (lts)
GRAVILLA	640,00	1,70	1088,00	2,65	408
AGUA	175,00	1,00	175,00	1,00	175,00
CEMENTO	291,0	1,20	349,2	3,05	114,49
AIRE	20,00	-	-	-	20,00
Arena	465,53	1,55	721,57	2,55	282,97
Total	1583,83		2324,53		1000,00

Elaboración propia.

Se puede ver que teóricamente el hormigón tiene una densidad de 2.325 Kg/m<sup>3</sup>. A esta dosificación absoluta, se le reemplazará el árido grueso por poliestireno expandido quedando la dosificación de la siguiente forma.

*Tabla N°16: Dosificación hormigón liviano con EPS.*

1 M <sup>3</sup>	VOLUMEN relat. (Lts)	Densidad aparente	PESO (kg)	Densidad real	VOL. ABSOLUTO (lts)
EPS	827,42	0,01	8,27	0,02	408,00
AGUA	175,00	1,00	175,00	1,00	175,00
CEMENTO	291,00	1,20	349,20	3,05	114,49
AIRE	20,00	-	-	-	20,00
Arena	465,53	1,55	721,57	2,55	282,97
Total	1778,96		1254,05		1000,46

*Elaboración propia.*

Se puede ver que la densidad del hormigón bajo a 1254 Kg/m<sup>3</sup>. Es esta la dosificación con la que se trabajará, teniendo una relación A/C = 0,5285.

### I. Características del panel.

El panel liviano de hormigón, cuenta con una densidad aproximada de 1300 kg/m<sup>3</sup>, el cual se puede ir disminuyendo hasta 800 kg/m<sup>3</sup>, según sea el uso y requerimiento que éste tenga. Está compuesto por cemento portland corriente, arena fina (o bajo malla #4), poliestireno expandido reciclado y agua. Una dosificación tipo es la siguiente:

- EPS: 827 litros aparentes.
- Agua: 200 litros.
- Cemento: 370 kg.
- Arena: 448 litros aparentes.

## 2. ENSAYOS EN LABORATORIO.

### A. Ensayo de esponjamiento de la arena.

Se realizó el ensayo de determinación del esponjamiento de la arena, el cual consistió en lo siguiente:

- Se sumergió un volumen inicial de aproximadamente 500 ml de arena húmeda ( $V_i$ ).
- Se agito fuertemente la probeta para expulsar las burbujas de aire y se dejó asentar de 2 a 3 minutos asegurando que la arena se asiente en forma compacta sin dejar huecos.
- Se midió y registró el volumen final de la arena ( $V_f$ ), luego el esponjamiento estará dado por la expresión que se presenta a continuación:

$$\frac{V_i - V_f}{V_f} * 100\%$$

Los resultados expresados fueron los siguientes:

- Volumen inicial: 500 ml de arena.
- Volumen final con agua: 390 ml de arena.

$$\frac{500-390}{500} * 100\% = 22\%$$

## B. Absorción y humedad de la arena.

El porcentaje de absorción de la arena se realizó mediante el ensayo de la norma NCH 1239 Of. 77 que se determina de la siguiente manera:

$$\text{Abs} = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100\%$$

Donde:

Abs = Absorción.

Ms = Masa de la muestra de arena en estado seco en gramos.

Msss = Masa de la muestra saturada superficialmente seca en gramos

Los resultados fueron:

- Absorción arena: 1,5%
- % Humedad arena: 5%

## C. Densidad de los áridos.

Este ensayo se realizó según la norma Nch 1239 of. 77 para las arenas. Debemos dejar claro que los áridos utilizados serán los mismos en todas las mezclas, y que la dosificación utilizada en el hormigón patrón no será alterada, sólo se reemplazara el árido grueso.

#### D. Densidad aparente del poliestireno expandido.

Se realizó el ensayo de densidad aparente del EPS de 3 mm, mediante la norma NCh 1239 of 77. Se obtuvo que el peso del cilindro con EPS es de 0,18 kg, por lo tanto:

$$\text{Densidad EPS 3 mm} = \frac{0,18 \text{ kg}}{15,8 \text{ lts}} = 0,01139 \text{ Kg/dm}^3.$$

#### E. Correcciones por dosificación.

Se ajustó la dosificación por correcciones de humedad y esponjamiento. Se tiene un volumen original de arena de 465,53 litros aparentes que equivalen a 721,65 kg. El ajuste a la corrección sería:

$$721,57 * 1,05 = 757,65 \text{ kg}$$

$$5\% - 1,5\% = 3,5\% * 721,57 = 25,25 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mesclado: } 185 - 25,25 = 159 \text{ litros de agua.}$$

La dosificación realizada se hizo mediante la norma NCH170, la cual está hecha para hormigones corrientes. Por ende, se realizaron las primeras muestras de ensayos en las cuales se comprobó que con ésta dosificación queda demasiado seco el material viéndose afectado por segregación. Se reajusto el agua según el cono obtenido, variando también la cantidad de cemento para mantener igual la relación A/C.

*Figura 6: Ensayo de cono.*



*Elaboración propia. Laboratorio de hormigón Unab.*

Es así que se llegó a la siguiente dosificación ajustada por cono:

*Tabla N° 17: Correcciones por dosificación.*

1 M³	VOLUMEN relat. (Lts)	Densidad aparente	PESO (kg)	Densidad real	VOL. ABSOLUTO (Lts)
EPS	827,00	0,01	9,42	0,02	400,00
AGUA	200,00	1,00	200,00	1,00	200,00
CEMENTO	315,00	1,20	378,00	3,05	123,93
AIRE	20,00	-	-	-	20,00
Arena	448,47	1,48	663,73	2,59	256,07
Total	1810,47		1251,15		1000,00

*Elaboración propia.*

Para luego realizar la dosificación final por esponjamiento y humedad:

*Tabla N° 18: Correcciones por dosificación.*

1 M³	Volumen relat. (Lts)	Peso Kg	Corrección por humedad	Final	Esponjamiento	Final	Cantidad 14,175 lts	Uni
EPS	827,42	9,42	-	827,4	-	827,42	10,89	Lts
Agua	200,00	200	-23,23	176,7	-	176,77	2,33	Lts
Cemento	315,00	378,00	-	378,0	-	378,00	4,98	Kg
Aire	20,00	-	-	-	-	20,00	0,26	Lts
Arena	448,47	663,73	+33,19	696,9	1,22	850,24	11,19	Kg

*Elaboración propia.*

## F. Ensayos mecánicos.

Se realizaron ensayos de resistencia mecánica. El ensayo contiene la dosificación mostrada anteriormente, utilizando perlitas de poliestireno expandido molido de granulometría 3 milímetros. Fue realizado según la NCh1017 Of.75. para la cubeta de 15x15x15 centímetros, la cual fue compactada mediante mesa vibradora del laboratorio, al cual se sometió a vibrado por 30 segundos. Además, se agregó agua para obtener mayor docilidad, quedando una cantidad final de agua para 1 m<sup>3</sup> de 209,7 litros por m<sup>3</sup>.

## G. Resultados de ensayos.

### G.1. Densidades.

Se realizaron las siguientes muestras en laboratorio para obtener un modelo de hormigón ligero y con la mayor resistencia mecánica posible. Se midieron las dimensiones reales de las probetas y se pesaron, obteniendo los siguientes resultados con las siguientes observaciones:

*Tabla N°19: Densidad de las probetas de hormigón liviano.*

N°	Ítem	Detalle	Volumen m <sup>3</sup>	Peso Kg	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Promedio densidad.
1	C1	Muestra con EPS molido y compactado por mesa vibradora	0,00354047	4,54	1282,32	1325,37
2	C2		0,00336816	4,4	1306,35	
3	C3		0,00348845	4,84	1387,44	

*Elaboración propia.*

Tabla N°20: Observaciones de probetas de Hormigón liviano.

Muestra	Observaciones
C	Se aumentó el agua en 280 ml quedando una cantidad de 2,76 litros. Se obtuvo un cono de 1,5 cm. Se colocó el cemento en último lugar en betonera y no se generaron grumos de arena. Se vibró 30 segundos.

*Elaboración propia.*

A los 3 días de hormigonar la muestra se sacó del molde, y se dejó fraguando bajo agua hasta el día 28. Posteriormente se midió la muestra y se pesó como se grafica en la imagen.

Figura 7: Toma de peso de muestra.



*Elaboración propia. Laboratorio de hormigón Unab.*

## G.2. Resistencias mecánicas.

Se realizaron los ensayos a compresión al día 28 según la norma NCh1037.

*Tabla N° 21: Resistencias a la compresión.*

Muestra	Resultado (KN)
C1	85
C2	95
C3	110

*Elaboración propia.*

Se llevó la muestra a la prensa para medir su resistencia como se muestra en la imagen:

*Figura 8: Ensayo a la compresión.*



*Elaboración propia. Laboratorio de hormigón Unab.*

## 1. FABRICACIÓN DEL PANEL

Se cuenta con 2 moldes tipo. El primero está conformado por un cuadrado de 50x50 centímetros, con un espesor de 9 cm. Éste consta con una terminación tipo pirámide hacia el exterior, con un alto de 2 centímetros, el cual solo se contempla como detalle estético. Se tiene un segundo molde de similares características pero con dimensiones de 50x100 cm, con el mismo espesor anterior, lo que hace que fueran dos bloques unidos.

Figura 9: Molde de paneles de hormigón liviano.



Elaboración propia.

En primera instancia se debe contar para el desarrollo del proceso una cancha que esté limpia y lisa para que se deposite el producto de hormigón y se deje fraguar el tiempo necesario (curado al aire). Esta cancha pueda estar hecha por un hormigón pobre ya que no requiere de soportar mayores cargas que el peso de los productos de hormigón.

Los equipos y herramientas a utilizar para el proceso de producción son las mismas que para la creación de prefabricados de hormigón tradicional como lo es una betonera para la mezcla del hormigón, mesa vibradora para la compactación de éste, moldes según sea el producto a fabricar y burrito para transporte de postes y placas. Se tienen otros elementos menores como palas, platacha, brochetas y desmoldantes.

*Figura 10: Betonera 500 litros.*



*Empresa Bibrapo E.I.R.L.*

*Figura 11: Mesa vibradora 3.000 rpm.*



*Empresa Bibrapo E.I.R.L.*

El proceso constructivo se puede separar en segmentos. Estas actividades son básicamente las etapas en las cuales pasa el producto para estar terminado. Los enumeraremos a continuación:

1. Se prepara el hormigón en betonera de 500 litros. El orden utilizado puede variar, pero se obtuvieron mejores resultados colocando en última instancia el cemento, ya que así no provocaba grumos.
2. Moldes metálicos de los paneles, se colocan sobre mesas vibratoras, los cuales se llenan con el hormigón.
3. Se coloca el riel de moldaje y se pasa la platacha para un mejor acabado o terminación. Se dejan vibrar entre 1 a 2 minutos.
4. Posteriormente se lleva a cancha y se desmolda.

5. Desmoldante: Mezcla de parafina con aceite. Se aplica con brocha cada vez que se realiza una pieza.
6. Se fragua durante 7 días, con 3 riegos al día.

El poliestireno expandido se obtiene del reciclaje utilizando planchas de poliestireno expandido o más conocidas como planchas de “Plumavit”. Estas pasan mediante una máquina trituradora, la cual recibe el poliestireno expandido y lo tritura dejándolo en perlititas de 3 mm aproximadamente. Se ilustra a continuación una imagen de la trituradora utilizada.

*Figura 12: Máquina trituradora.*



*Empresa Bibrapo E.I.R.L.*

La función principal de este panel ligero es la de aprovechar al máximo su peso aligerado y sus cualidades térmicas y acústicas. Los paneles se ensamblarán unos con otros mediante mortero de pega, y se encajan en los perfiles metálicos en las esquinas y pies derechos.

*Figura 13: Panel de 50 x 50 cm.*



*Elaboración propia.*

*Figura 14: Panel de 100 x 50 cm.*



*Elaboración propia.*

#### A. Ventajas del panel.

- Disminución del tiempo de construcción. Se tienen precedentes que la construcción con paneles prefabricados se puede tardar hasta 2 meses menos que las construcciones tradicionales, lo que se traduce en una mayor rentabilidad en las obras.
- Posee poliestireno expandido en su interior lo que aumenta las cualidades térmicas y acústicas del panel, debido a las ya conocidas propiedades que tiene el poliestireno expandido.
- Al tener muros más delgados, aporta mayor espacio útil a la propiedad en su interior.
- Presenta buena resistencia al fuego, y no emitiendo gases tóxicos.
- Posee buena maniobrabilidad debido a su bajo peso.
- No requiere de herramientas especiales para su aplicación.
- No requiere de grúas para su montaje.
- Es flexible para múltiples diseños.

#### B. Desventajas.

- Panel tiene baja tolerancia a la penetración.
- Es un panel no estructural (baja resistencia mecánica).
- Requiere de otros materiales para completar su función.

## 6.- PROPUESTA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO.

## 1. DEFINICIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO.

El presente sistema constructivo se fundamenta en paneles de hormigón liviano con poliestireno expandido (EPS), en la cual por un lado es completamente liso (cara interior) y por la otra cara tiene relieve con fines estéticos. Los paneles están dispuestos para recibir en obra la terminación interior y exterior que se le quiera dar.

Esta combinación de materiales con enfoque en el poliestireno (EPS), mejora notoriamente la relación peso/resistencia y permite industrializar procesos constructivos desde fábrica, mejorando el control de calidad y los tiempos de ejecución.

El sistema se basa en estructuras metálicas basadas en canales C principalmente, las que pueden ser aplicadas estructuralmente en construcciones de un piso. Sus paneles permiten desarrollar en la vivienda muros y tabiques, pudiéndose combinar con otro tipo de estructuras como las albañilerías, hormigón armado, madera, y estructuras metálicas por sobre todo.

*Tabla N°22: Dimensiones del panel.*

Paneles	Unidad	Espesor	
		60 mm	90 mm
Alto	mm	500	500
Ancho	mm	1000	1000
Peso	Kg	37,5	56,25
	Kg/m <sup>2</sup>	75	112,5

*Elaboración propia.*

#### A. Ventajas del sistema constructivo.

- Elevados rangos de aislación termo-acústicas.
- Elevados rangos de resistencia al fuego.
- Fácil traslado y rápido montaje.
- Elevada capacidad estructural, gran durabilidad y resistencia al impacto.
- No requiere de mano de obra especializada.
- Una reducción en los costos y tiempos de ejecución.
- Apto para combinar con sistemas tradicionales.
- Ahorro en cimiento y partes estructurales, por ser más liviana la obra terminada.
- Versatilidad de diseño y arquitectura.
- Recibe cualquier tipo de acabado tradicional en base a cemento.
- Ahorro de la energía necesaria para acondicionar los ambientes construidos.
- Fácil y rápido montaje de instalaciones eléctricas, sanitarias, etc.
- Protege el medio ambiente
- Es impermeable
- Liviano y fácil de instalar
- Aislante acústico
- Amplias posibilidades de uso
- Aislante térmico
- Superficie interior lisa y exterior con decoración pudiendo ser a pedido
- Menor plazo de ejecución en obra
- Bajo mantenimiento

## **2. SISTEMA CONSTRUCTIVO.**

El sistema constructivo con los paneles anteriormente detallados consiste en un sistema similar al de steel framing o metalcom en Chile, el cual tiene marcos de acero conformado por perfiles C metálico de dimensiones variables según sea muro divisorio, exterior, vigas o pilares. Estos perfiles metálicos irán unidos entre sí mediante tornillos autoperforantes. El sistema de encaje de los perfiles será acorde a que perfil nos referimos. Es así que los pies derechos de un muro se irán abriendo levemente sus alas para que calcen los perfiles de una misma dimensión, para luego ser fijados con tornillos autoperforantes. Por otra parte, en los encuentros de muros (esquinas), se utilizara un perfil cuadrado para unir éstos encuentros. Los tornillos autoperforantes le dan la ventaja de que una vez cumplido el ciclo de vida de la construcción, estos pueden ser removidos, pudiendo ser reciclados los materiales con facilidad. También se pueden realizar ampliaciones, modificaciones o desmontar elementos con mayor facilidad ya que son estructuras de fácil montaje.

#### A. Fundaciones y radier.

El sistema constructivo presentado no requiere necesariamente de una fundación en específico, ya sea fundaciones aisladas, corridas, o sobre un radier. El terreno debe ser replanteado según plano de estructura, con utilización de crucetas niveladas según ejes en ambos sentidos.

Las excavaciones se ejecutarán de acuerdo a plano de fundaciones en cuanto a profundidad y sección. El fondo de las excavaciones deberá ubicarse dentro del terreno apto para fundar, quedar perfectamente horizontal y limpio en los niveles que se indique. Los costados deberán ejecutarse perfectamente a plomo. Según sea el caso de fundación, se podrá emplear polietileno en film de 0,2 milímetros con traslapos de 0,50 metros e irán en todas las caras de hormigón de las fundaciones en contacto directo con el terreno natural y/o con rellenos compactados.

El sistema se adapta perfectamente tanto a pilares como a radieres. En el caso de los pilares de sobrecimiento, se utilizará una viga metálica en doble T, la cual irá adherida a los pilares mediante perno de anclaje. Sobre esta viga se ensamblarán las soleras inferiores de los muros ya sea con tornillos o con soldadura. En el caso de las fundaciones corridas, vigas de sobrecimiento o simplemente radieres, se utilizarán pernos de anclaje para ensamblar la solera inferior a estos elementos.

## B. Muros.

### B.1. Solera inferior y superior.

Se tendrá como solera inferior una base de perfil C metálica de dimensiones 100x40x3 o 70x40x2 según ancho del muro (muro perimetral exterior o tabique interior), plegada a la fundación o radier mediante perno de anclaje. En cada extremo irán pilares los cuales conformarán el marco de los muros en conjunto con la solera superior.

La solera superior será fijada a los pilares y pies derechos del muro mediante tornillo autoperforante. Una vez colocado todos los paneles de hormigón en todos los muros, tanto interiores como exteriores, se procede a realizar el ensamble de la solera superior que es igual a la solera inferior, pero invertida, es decir, con la abertura hacia abajo. Esta solera funciona como cadena que amarra todo el perímetro y además recibe los esfuerzos de la estructura de techumbre. La solera superior será ensamblada con tornillo autoperforante cada un metro, es decir, en cada montante habrá una unión a la solera. Se utilizarán los mismos tornillos que en los casos anteriores.

## B.2. Pilares y pies derechos.

Se inicia la unión de pilares cuadrados de dimensiones 100x100x3 acorde a la canal C, mediante tornillo autoperforante de 3/4" con dos tornillos en la parte inferior y dos tornillos en la parte superior, y con tornillos en forma de zigzag cada 20 centímetros durante la zona media del pilar. Esta unión viene pre-hecha de fábrica, por lo que el pilar viene listo para ser instalado. La instalación de los pilares del muro será con la misma canal C 100/40/3 ocupada en soleras superiores e inferiores, siendo éstos de 2,55 metros de alto en todas las intersecciones de ejes de los muros y pies derechos.

Los pilares van unidos a la solera inferior y superior por medio de la canal C. Estas se abren brevemente en la zona inferior para que se puedan doblar los bordes y quepan o calcen dentro de la solera metálica C inferior y puedan ser unidos.

Estos extremos irán unidos mediante tornillo autoperforantes. Entre medio irán pies derechos a 1 metro de distancia uno del otro con holgura de 1 centímetro, quedando la estructura de forma similar a la de Metalcom. Es en estos espacios de 1 metro en donde se ensamblarán los bloques de hormigón liviano desde arriba hacia abajo, encajando perfectamente en la ranura de los perfiles metálicos C. El muro consta de las siguientes características:

- Medidas panel de hormigón: 1,00 x 0,5 metros.
- Pies derechos: Tendrán una distancia de separación de 1 metro entre ellos, los cuales consisten en dos perfiles C plegados con tornillos autoperforantes, de tal forma que cada perfil quede abierto en el sentido

opuesto al perfil plegado. Además, en muros extensos con largo superior a 3 metros, se colocarán tirantes o diagonales con la finalidad de otorgar mayor refuerzo estructural a la estructura metálica.

- Se utilizará un mortero de pega, pudiendo ser Bekron en polvo, para sellar las uniones entre paneles en los extremos superior e inferior de cada uno de éstos, resaltando que estos extremos tienen uniones machihembradas.
- Se utilizará un adhesivo epóxico para sellar los encuentros entre el panel y los carriles de estructura metálica.
- Intersección entre muros: En una esquina (intersección entre muros), ya sea en forma de L o cruz, existirá un pilar cuadrado, al cual serán unidos los perfiles C de cada extremo del muro mediante los mismos tornillos autoperforantes.
- Puertas y ventanas: Se realizarán los cortes a los perfiles según la altura necesaria de cada puerta o ventana que se requiere. Para esto, se reforzará con perfiles U el contorno del elemento y se dejará el espacio preparado para la instalación de puertas y ventanas.
- Solera superior: Finalmente se montará una solera superior con perfil C sobre todo el perímetro de los muros. Esta solera cumplirá la función de transmitir las cargas y esfuerzos de la vivienda hacia los pilares y estos a la fundación. La solera superior se ensamblará de igual manera que los demás elementos.

### C. Paneles de hormigón liviano.

Entre los pilares con distancia de 1 metro, se insertan los paneles de hormigón liviano de 1,00 x 0,5 metros, unidos por mortero de pega Bekron. En lugares donde van puertas y ventanas se contempla un marco metálico en todo el perímetro de esta. Este marco será realizado con los mismos perfiles utilizados tanto en pilares como soleras. La altura de los muros serán de 2,55 metros por lo que se colocaran 5 paneles. El espesor del mortero de pega será de 1 cm. por cada capa. Se deben sellar las uniones de paneles con los perfiles metálicos, tanto en pilares como en soleras superior e inferior con silicona Sikasil – AC para sellos exteriores.

### D. Estructura de techumbre.

- Se montará sobre la solera superior una pieza especial metálica con forma de U y que tendrá el largo del ancho de la solera superior, es decir el ancho del muro. En estas piezas se montaran las costaneras de la techumbre, y serán las encargadas de fijar su posición en dicho lugar y controlar el pandeo principalmente.
- Las costaneras serán ensambladas mediante tornillos, cuya especificación dependerá del material a utilizar en éstas (madera u otro material).
- La estructura de techumbre puede ser realizada de madera, metálicas u otro material, dando prioridad a estructuras ligeras y que se acomoden a la arquitectura del proyecto.

La estructura de techumbre tendrá cerchas de distribución a 1 metro, los cuales serán, por ejemplo, 2 frontones y 6 cerchas en techumbres a dos aguas. Estos irán unidos o montados sobre la solera superior, mediante platina de metálica que toma la forma de la cercha (forma en U), atornillada a la solera superior mediante 4 tornillos autoperforantes. La platina en U tendrá dimensiones del ancho de la cercha y largo de la solera superior.

Se consideran tres corridas de cadenas entre cerchas más una corrida de arrostriamiento al centro de las cerchas, uniéndolas entre ellas. Se considera colocación de costanera en pino de 1x4" a una distancia de 30 centímetros. Sobre la costanera se atornilla plancha OSB de 11,1 mm, dejando una dilatación de 5 mm entre sí. Se instalará un fieltro de 15 lb cubriendo toda la cubierta de OSB, con traslape de 50 centímetros. Sobre este, se coloca teja asfáltica con clavo terrano y sobre el caballete irá la misma teja asfáltica. A su vez los frontones y alerones irán forrados.

#### E. Revestimientos y terminaciones.

##### E.1. Revestimiento exterior.

Debido a la existencia de variedad de diseños en la cara exterior del panel, gracias a su superficie plana o con relieve, se le puede dar la terminación exterior acorde al proyecto a ejecutar. Todos los muros y elementos verticales exteriores de paneles de hormigón liviano, irán en hormigón a la vista, pudiéndose dar la terminación deseada en pintura látex exterior, granito o lo que se estime en plano de arquitectura.

## E.2. Revestimiento interior.

Serán utilizadas planchas de yeso-cartón tipo Poligyp o Volcapol las cuales serán unidas por el adhesivo recomendado por el fabricante. La plancha de yeso-cartón es de 15 mm la cual viene con una plancha de poliestireno expandido de 20 mm, lo que da una solución a los puentes térmicos producidos por los pilares de los muros. En las juntas de unión de las planchas yeso-cartón se utilizara una huincha de 50 milímetros y se repasa con un compuesto de material para juntas pudiendo ser macilla mágica.

Por ende los paños interiores serán completamente lisos para dar la terminación con Volcopanel, Poligyp o similar. Este panel recubrirá el muro otorgándole mayor aislación térmica y actuará frente a los puentes térmicos provocados por los pies derechos de la estructura metálica.

Figura 15: Panel tipo Poligyp.



Fuente: Empresa Romeral

En los muros de baño y cocina deberán ser revestidos con mortero en proporciones de 1:3, quedando nivelado y homogéneo el muro. El revestimiento puede ser con cerámica adherida al muro con Bekron.

### E.3. Cielos.

Listoneado de pino de 3x1" en plancha de yeso-cartón de 10 mm, teniendo en las uniones de las planchas una solución similar a la de los muros con huincha o cinta de 50 milímetros y retape. Las planchas irán adheridas a los listones con tornillo para yeso-cartón de 1" cada 20 centímetros.

### E.4. Pinturas.

Se deberá colocar pintura anticorrosiva en una mano a las estructuras metálicas, la cual vendrá con la pintura lista de fábrica. Una vez instalada la estructura se utilizará esmalte para hierro en dos manos.

### F. Herramientas a utilizar.

La mayoría son herramientas comunes y corrientes que se utilizan en obra. Al ser paneles ligeros, no se requiere de maquinaria pesada ni grúas para ser montado.

- Taladro para concreto y acero
- Brocas para concreto y acero
- Sierra eléctrica para cortar acero y paneles de hormigón
- Regla con nivel y plomo
- Recipiente para mezcla de mortero
- Espátula para aplicar mortero
- Martillo de goma
- Barra de acero de 1 metro de largo
- Cinta trazadora
- Cinta de medir
- Cuñas
- Alargador de electricidad
- Elementos de seguridad en general

## 7.- CONCLUSIÓN.

## **7. CONCLUSIÓN.**

Como se pudo apreciar, el hormigón liviano tiene variados productos los cuales serán utilizados según la función que deba cumplir este material. En el caso de nuestro panel liviano cumple funciones como divisor de espacios interiores, entregar confort térmico y acústico y proteger de la intemperie en muros perimetrales, dando una alternativa a los métodos convencionales de construcción. Este sistema constructivo está orientado a construcciones de un piso de altura, pudiendo interactuar con facilidad con otros materiales tales como madera, albañilería y concreto. Se define como un sistema de viviendas industrializadas, ya que gran parte de los materiales utilizados vienen pre-armados de fábrica, como los encuentros de los muros, marcos de ventanas y puertas, y en ocasiones muros completos; además, de que el panel está conformado en un proceso industrializado, estandarizado y bajo condiciones controladas.

El panel más grande se definió con medidas de 100 x 50, mientras que el más pequeño es de 50 x 50 centímetros con espesores de 90 y 60 milímetros en ambos casos. El espesor del panel va a depender de si es un muro interior o muro exterior. Su hormigón tiene una resistencia a la compresión aproximada de 96 kilo-newton, lo que sería semejante a un hormigón clase H10, en cuanto a su resistencia mecánica. Su dosificación está comprendida por 827 litros de poliestireno expandido en perlitas de 3 milímetros, 200 litros de agua, 378 kilos de cemento corriente y 448 litros de arena.

El sistema constructivo está basado en perfiles C metálicos con dimensiones acorde al ancho y largo del muro. Los perfiles se unen entre sí mediante tornillos autoperforantes, pudiendo ser ensambladas estas uniones en fábrica y llegar a montar a terreno. Las soleras se unen por medio de pernos de anclaje al radier, por lo que un muro completo se puede adherir al radier a la hora de montar la construcción. Los paneles encajan perfectamente en la abertura del perfil metálico, uniéndose unos a otros mediante mortero de pega. Además se utiliza un sellado de silicona para la unión entre paneles y perfiles metálicos con el fin de sellar estos encuentros.

El sistema no representa problemas para las terminaciones interiores debido a su terminado liso. Se recomienda la utilización de paneles de yeso cartón adheridos a plancha de poliestireno expandido (tipo poligyp), para luego dar la terminación que se estime conveniente. Para los muros perimetrales, se tiene un modelo del lado exterior con relieve y se puede realizar la terminación deseada.

Finalmente el sistema apunta a construcciones de un piso tipo bodegas, casetas, baños, refugios, entre otros, pudiendo utilizarse para extensiones u ampliaciones en segundo piso, en construcciones sólidas en primer piso.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ACI 213R-03. (2015). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete* .
- Alvarez, L. E. (2004). *Hormigón de aserrín*. Valdivia.
- Aramayo, G., Buncuga, V., & Forgione, F. (2003). *Hormigones con agregados livianos*.
- Asociación Chilena del Poliestireno Expandido. *El poliestireno expandido y la reglamentación termica en la construcción*.
- Bolivar, O. G. *Dosificación de Mesclas de Jormigón. Método ACI 211.1, Weymouth, Fuller, Bolomey, Faury*.
- Cifuentes, Y. (2013). *Agrupación de vivienda nueva: célula vecinal*. Bogota.
- Comintecc. (2010). *Paneles de Hormigón Liviano de Alta Tecnología*. Santiago.
- Departament de mecánica aplicada y Estructuras. Facultad de ciencias exactas ingeniería y agrimensura. U.N.R. (2003). *Hormigones con agregados livianos*.
- Ensemblecorp. (2012). *Industrializing the Architecture. Catálogo, productos, viviendas*.
- Espacio & confort. (2013). *Arquitectura + decoración* .
- Espol. (2010). *Hormigones livianos*. Guayaquil.
- Espol, Fcultad de ingeniería en ciencias de la tierra, (2010). *Hormigones Livianos*.
- F. M. Lea, Instituto técnico de la construcción y del cemento. *Hormigones ligeros*.
- Hormigón, I. C. (1988). *Manual del hormigón*. Santiago.
- Idea. (2007). *Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*. España.

- Instituto nacional de normalización. (1979). *NCH0163 Of.1979: Aridos para morteros y hormigones - Requisitos generales*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1976). *NCh0164 Of.1976: Arido para morteros y hormigones - Extracción y preparación de muestras*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1985). *NCh0170 Of.1985: Hormigón - Requisitos generales*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1018 Of.1977: Hormigón - Preparación de mezclas de prueba en laboratorio*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1974). *NCh1019 Of.1974: Construcción - Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1037 Of.1977: Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1984). *NCh1070 Of.1984: Asilación térmica - Poliestireno expandido - Requisitos*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1117 Of.1977: Arido para morteros y hormigones - Determinación de la densidad aparente*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1117 Of.1977: Aridos para morteros y hormigones - Determinación de la densidad real y neta y absorción de agua de las gravas*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1223 Of.1977: Arido para mortero y hormigones - Determinación del material fino menor a 0,080 mm*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1239 Of.1977: Arido para mortero y hormigones - Determinación de las densidades real y neta y absorción de agua de las arenas*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1977). *NCh1326 Of.1977: Arido para morteros y hormigones - Determinación de huecos*. Chile.

- Instituto nacional de normalización. (1979). *NCh1515 Of.79: Mecánica de suelos - Determinación de la humedad*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1979). *NCh1574 Of.1979: Hormigón - Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido del aire del hormigón fresco*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (2009). *NCh165 Of.2009: Aridos para morteros y hormigones - Tamizado y determinación de la granulometría*. Chile.
- Instituto nacional de normalización. (1989). *NCh1998 Of.1989: Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica*. Chile.
- José Penadés Martí, I. d. *Construcción industrializada de edificios*.
- Laboratorio de Ingeniería en Construcción, UNAB. (2011). *Apuntes: vocabulario del hormigón*.
- Laboratorio de Ingeniería en Construcción, UNAB. (2011). *Hormigón y Mortero liviano*.
- Laboratorio de Ingeniería en Construcción, UNAB. (2011). *Requisitos a cumplir por áridos en distintas granulometrías*.
- Laboratorio de Ingeniería en Construcción, UNAB. (2011). *Sistemas de dosificación*.
- Laboratorio de Ingeniería en Construcción, UNAB. (2011). *Cálculo de módulo de finura del árido*.
- Laboratorio de Tecnología del Hormigón, UNAB. (2011). *Corrección por esponjamiento para dosificación en volumen*.
- Laboratorio de Tecnología del Hormigón, UNAB. (2011). *Determinación de humedad de los áridos*.
- Mattheiss, J. (1980). *Hormigón armado, hormigón armado aligerado, hormigón pretensado*.
- Monoplac. (2011). *Manual técnico, sistema constructivo Monoplac, antisísmico y aislante termoacústico*.

- Novoa, J. A. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. Madrid.
- Pizarro, G. C. (2010). *Guía cálculo sacos de cemento*. Santiago.
- Quezada, G. E. (2010). *Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano con 10%, 20%, 30%, 40% y 50% en volúmen de perlas de Aislapol*. VALDIVIA.
- Quezada, G. R. (2010). *Determinación de la resistencia, densidad aparente y docilidad de un hormigón liviano*. Valdivia.
- Real academia española. (2015). *Diccionario de la lengua española*.
- Salas, J. *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*. .
- Sanhueza, M. (2010). *Área de hormigón, Ministerio de obras públicas*. Chile.
- UNAB. (2010). *Guía general para presentación y entrega de tesis de pregrado, magíster y doctorado*. Santiago.

## **REFERENCIA ELECTRÓNICA.**

- Basf. (2014). *Basf*. Obtenido de [http://www.basf.cl/sac/web/chile/es\\_ES/styropor/index](http://www.basf.cl/sac/web/chile/es_ES/styropor/index)
- Builderpack. (2014). *Casas Modulares*. Obtenido de <http://www.builderpack.cl/>
- Casas América. (2014). *Casas América*. Obtenido de <http://www.casasamerica.cl/index.htm>
- Construkit. (2014). *Concstrukit*. Obtenido de <http://www.construkit.cl/>
- IDIEM. (2014). *Clemente Santillana*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/ClementeSantillana/dosificacion-de-hormigones>
- Urbina, C. (Agosto de 2014). *www.casasurbina.cl*. Recuperado el 2014, de <http://www.casasurbina.cl/index.php>
- Zorrilla, H. H. (2014). *Blog de arquitectura*. Obtenido de <http://blog.arquitecturadecasas.info/2009/11/casas-prefabricadas.html>
- Zorrilla, H. H. (2014). *Blog de arquitectura*. Obtenido de <http://blog.arquitecturadecasas.info/2012/02/las-casas-industrializadas.html>
- Zorrilla, H. H. (2014). *Blog de Arquitectura*. Obtenido de <http://blog.arquitecturadecasas.info/2010/07/casas-modulares-informacion.html>
- Rucantu, C. (2014). *Rucantu*. Obtenido de <http://www.rucantu.cl/>
- Panel, G. (2014). *Green Panel*. Obtenido de <http://greenpanelcr.com/paneles-de-concreto-liviano/>
- Mundo Seco. (2014). *Mundo seco*. Obtenido de <http://www.mundoseco.com.ar/steelframe.asp>