



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

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA EDIFICIOS DE
MEDIANA ALTURA CON ELEMENTOS DE HORMIGÓN PREFABRICADO.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

RENÉ NICOLÁS VALENZUELA ROSAS

PROFESOR GUÍA:
DAVID CAMPUSANO BROWN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE PULGAR ALLENDES
FERNANDO YAÑEZ URIBE

SANTIAGO DE CHILE
2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL
POR: RENÉ VALENZUELA ROSAS
FECHA: 20/12/2018
PROFESOR GUÍA: DAVID CAMPUSANO BROWN**

Santiago vive actualmente una situación en la cual la edificación en mediana altura ha ido avanzando sostenidamente, como se observa desde el 2011 al 2016 en donde se pasó de 96 a 193 proyectos de estas características según un estudio de la división inmobiliaria de la consultora BDO Finanzas Corporativas y Transacciones. Para la consultora esto ocurre por factores tanto externos, como lo han sido los planes reguladores municipales, como otros más de carácter interno de las constructoras e inmobiliarias donde se ha ido prefiriendo la construcción en mediana altura con nuevas tecnologías. Además, indican que esto ha venido acompañado de un interés cada vez más marcado por la utilización de elementos prefabricados de hormigón en estas construcciones, lo que podríamos entender como un avance en la industrialización de la construcción y, por ende, un aumento en productividad del sector.

El objetivo del presente trabajo es aplicar una comparación de sistemas constructivos prefabricados frente a sistemas constructivos in situ, para el caso concreto de un edificio de mediana altura destinado a viviendas sociales en la comuna de Recoleta.

El proyecto para la comparación fue entregado por la Inmobiliaria Popular de Recoleta, el fin es comparar el proyecto en términos de plazo y costos según sistemas constructivos, así como también en términos medioambientales agregando una visión de sostenibilidad a la construcción de edificios. La comparación se realizará sobre los costos y plazos de obra gruesa del edificio, tomando como supuesto que la instalación de faena y terminaciones en ambos casos sería igual.

El trabajo presenta una introducción a qué son los sistemas prefabricados, su uso estructural en Chile, empresas actuales dedicadas a la prefabricación de elementos estructurales, tipos de sistemas constructivos y sus diferencias, los requisitos medioambientales para la construcción, las características del proyecto que se va a analizar, la metodología para evaluar, resultados y análisis de la comparación y conclusiones sobre el uso de elementos de hormigón prefabricado para edificios de mediana altura destinados a viviendas sociales.

Dedicatoria

A mi mamá, que en paz descanse.

A quienes hoy ya no están en vida pero fueron parte importante de mi historia.

A todas las personas de mi familia que hicieron que sea hoy la persona que soy.

Agradecimientos

A mi hermana, por ser un apoyo incondicional durante estos 8 años.

A mis amigas y amigos, tanto quienes conocí dentro de la universidad como fuera de la universidad. Quienes me dieron el apoyo necesario en mis momentos más tristes y quienes estuvieron en mis momentos de mayor alegría durante este viaje.

A mis profesores David Campusano y Jorge Pulgar, por ser no sólo un apoyo en términos académicos para mi trabajo de título, sino además por ser un apoyo en términos profesionales y humanos para mi futuro como ingeniero.

A quienes conocí a través del escultismo, mi militancia política, los tiempos en la terraza, haciendo música, compartiendo alegrías y pasando las tristezas.

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
1.1.	Antecedentes generales	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.2.1.	Objetivo general	3
1.2.2.	Objetivos específicos.....	3
1.3.	Alcance de la evaluación	3
2.	Sistemas prefabricados	4
2.1.	Introducción.....	4
2.2.	Elementos prefabricados en el mundo.....	6
2.3.	Edificios prefabricados en Chile	10
2.4.	Necesidad de vivienda en Chile	12
2.5.	Mercado de elementos prefabricados en Chile	14
3.	Sistemas constructivos Prefabricados.....	15
3.1.	Introducción.....	15
3.2.	Marco legal y técnico para el uso de prefabricado.....	15
3.3.	Sistemas prefabricados	16
3.3.1	Sistemas estructurales de marcos	16
3.3.2	Sistemas estructurales de muros.....	17
3.4.	Uso sísmico.....	18
4.	Construcción de edificios sustentables	21
4.1.	Introducción.....	21
4.2.	Medidas de Mitigación	21
4.3.	Programas de fomento al cuidado ambiental	22
4.4.	Uso de prefabricado y la generación de residuos	23
4.5.	Métodos de evaluación.....	24
5.	Proyecto a evaluar para viviendas sociales	25
5.1.	Introducción.....	25
5.2	Características del edificio tipo.....	26
6.	Metodología de evaluación	28

6.1	Introducción	28
6.2	Entrevistas.....	28
6.3	Revisión bibliográfica	29
6.4	Evaluación.....	30
7.	Resultados y análisis.....	35
7.1	Prefabricado y su uso en Chile	35
7.2	Construcción prefabricada en el mundo	37
7.3	Plazo y Costo.....	38
7.4	Sostenibilidad.....	41
8.	Conclusiones.....	44
8.1	Factores económicos.....	44
8.2	Factores sociales	45
8.3	Factores ambientales.....	45
8.4	Proyecciones.....	46
9.	Bibliografía	47
10.	Anexos.....	a

Índice de Tablas

Tabla 2-1	Definición Prefabricación. Fuente: Elaboración propia.	4
Tabla 2-2	Definición de Industrialización. Fuente: Elaboración propia.	5
Tabla 2-3	Porcentaje de uso de prefabricado. Fuente: Thomas Linner et al., (2012).	6
Tabla 2-4	Significado Industrialización según país. Fuente: Wang Ning et al., (2010).....	7
Tabla 2-5	Cinco aspectos de la Industrialización. Fuente: Wang Ning et al., (2010).....	8
Tabla 2-6	Fabricantes actuales de elementos prefabricados en Chile	14
Tabla 5-1	Estudio de Cabida para edificio tipo escogido. Fuente: Elaboración propia..	26
Tabla 6-1	Valores de cubicación para los Sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia.	31
Tabla 6-2	Valores de materiales. Fuente: Manual de Precios de la Construcción online.	31
Tabla 6-3	Valor de metro cúbico de prefabricado. Fuente: David Campusano B.	32
Tabla 6-4	Proveedores de materiales y su ubicación . Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 6-5	Cantidad de viajes según sistema constructivo y material . Fuente: Elaboración propia.	33

Tabla 7-1 Características de sistemas prefabricados. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Tabla 7-2 Costo y Plazo del uso de Muro doble frente al tradicional en Suecia. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).....	38
Tabla 7-3 Rendimientos según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 7-4 Plazos para el proyecto de Recoleta según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 7-5 Costos en términos de UF por metro cuadrado según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 7-6 Valor en UF de levantar obra gruesa de proyecto de Recoleta según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 7-7 Porcentaje de costo en comparación al sistema tradicional según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 7-8 Cantidad de dióxido de carbono en base a kilómetros recorridos según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 7-9 Cantidad de residuos en metros cúbicos según sistema constructivo. Fuente: VICONSA y REGEMAC.....	43

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1-1 Programa Construye 2025 de CORFO. Fuente: CONSTRUYE 2025.....	2
Ilustración 2-1 Tecnología “BIG CANOPY” para levantar edificios de gran altura con elementos prefabricados. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).....	9
Ilustración 2-2 Comparación de productividad de tecnología “BIG CANOPY” con otros métodos de construcción. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).....	9
Ilustración 2-3 Ciclo de montaje de elementos prefabricados. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).....	10
Ilustración 2-4 Uniones de muros en sistema KPD. Fuente: Leónidas Zapata (1983). .	11
Ilustración 2-5 Unión viga-columna en sistema Structurapid Depetris. Fuente: Leónidas Zapata (1983).....	12
Ilustración 2-6 Requerimiento de vivienda en comunas críticas a nivel nacional, se toma de ejemplo Recoleta. Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2017.....	13
Ilustración 3-1 Ejemplo de conexión más usada en marcos viga-columna en Japón. Fuente: International Seminar on Design and Construction of Precast Structures in Seismic Regions, Chile 2015.....	17
Ilustración 3-2 Sistema de muros dobles. Fuente: ARQUITECTURA VERTIDA S.A.....	18
Ilustración 3-3 Conexiones del Sistema Constructivo “arquitectura vertida”. Fuente: POSTELÉCTRICA FABRICACIÓN S.A, España.....	19
Ilustración 3-4 Características de muros dobles para ensayos sísmicos. Fuente: Xiaonong Guo et al. (2015).....	20

Ilustración 4-1 Proyecto ECOBASE. Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico de la CChC.	23
Ilustración 4-2 Esquema de las etapas y procedimientos del Modelo de Operación. Fuente: Manual de Evaluación y Calificación versión 1, mayo 2014.	24
Ilustración 5-1 Proyecto de Inmobiliaria Popular de Recoleta. Fuente: EMOL.	25
Ilustración 5-2 Edificio tipo escogido, vista planta. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	27
Ilustración 5-3 Edificio tipo escogido, vista alzada. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	27
Ilustración 6-1 Curva de contratación para edificio de 22 pisos con sistema tradicional. Fuente: Daniela Ruano, 2010.	32
Ilustración 7-1 Porcentaje del contrato frente a sistema tradicional según aumento en costo de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 7-2 Ejes Estratégicos y Recursos Transversales del programa CONSTRUYE 2025. Fuente: CORFO.	43

Índice de Anexos

Anexo 1. Estudio de Cabida LOTE MZ6113. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	a
Anexo 2. Plano de Estudio de Cabida LOTE MZ 6113. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	b
Anexo 3. Estudio de Cabida LOTE A. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	c
Anexo 4. Plano de Estudio de Cabida LOTE A. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	d
Anexo 5. Estudio de Cabida LOTE B1. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	e
Anexo 6. Plano de Estudio de Cabida LOTE B1. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	f
Anexo 7. Estudio de Cabida Santa Bárbara n° 3985. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	g
Anexo 8. Plano de Estudios de Cabida Santa Bárbara n° 3985. Fuente: Municipalidad de Recoleta.	h
Anexo 9. Secuencia de Montaje Sistema Structurapid. Fuente: Leónidas Zapata (1983).	i
Anexo 10. Comportamiento de esfuerzos del muro KPD. Fuente: Leónidas Zapata (1983).	j
Anexo 11. Foto a fundación de Sistema TENSOCRET. Fuente: Elaboración propia.	k
Anexo 12. Foto a Sistema de NAVE de TENSOCRET. Fuente: Elaboración propia.	l
Anexo 13. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.	l
Anexo 14. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.	m

Anexo 15. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.....	m
Anexo 16. Plazo y costo de construcción con Muro Doble. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).....	n
Anexo 17. Plazo y costo de construcción con Muro en sitio. Fuente: Emina Deumic at al. (2010).....	o
Anexo 18. Comprensión de la industrialización en la construcción, según cada país. Fuente: W. Ning et al. (2010).	p
Anexo 19. Fotos de Sistema KPD. Fuente: Elaboración propia.....	q
Anexo 20. Distancia entre Planta MELÓN S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	q
Anexo 21. Distancia entre Planta TRALIX S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	r
Anexo 22. Distancia entre Planta BAUMAX S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	r
Anexo 23. Distancia entre Planta TENSOCRET S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	s
Anexo 24. Distancia entre ARMACERO S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	s
Anexo 25. Distancia entre SACK S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	t
Anexo 26. Distancia entre PRODALAM y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	t
Anexo 27. Distancia entre ASERCON SPA y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	u
Anexo 28. Distancia entre FORM SCAFF y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	u
Anexo 29. Distancia entre ULMA y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.....	v
Anexo 30. Transporte de muros dobles y en sitio, distancia y cantidad de viajes. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).....	v
Anexo 31. Diferencia en emisión de dióxido de carbono según método constructivo. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).	v
Anexo 32. Comparación entre Losa de Hormigón Tradicional y Losa de Hormigón Nevada TRALIX. Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico.....	w

1. Introducción

1.1. Antecedentes generales

Del informe “Balance de Vivienda Social y Entorno Urbano 2017” emitido por la Cámara Chilena de la Construcción (de ahora en adelante, CChC) se observa que el déficit habitacional concebido como número de familias carentes de una vivienda o con la necesidad de reemplazar la existente, se encuentra altamente concentrado en ciertas comunas del país como por ejemplo Estación Central, Pedro Aguirre Cerda, La Pintana, El Bosque, Recoleta, etc. Esto da cuenta de una necesidad habitacional que debe ser solucionada a través de programas de gobierno destinados a esto.

Dentro de las propuestas que hoy día existen para la necesidad de vivienda se encuentra la Inmobiliaria Popular de Recoleta donde, como se observa en el informe mencionado, la comuna se encuentra 5,1% más arriba que el promedio nacional y con un indicador de entorno urbano de 0,12 puntos por sobre el promedio nacional, lo que pone en evidencia la urgencia por soluciones habitacionales en la comuna.

En las iniciativas estatales para el sector construcción se encuentra el Programa Construye 2025 el cual es una estrategia nacional que tiene el objetivo de “transformar la forma de construir edificaciones en Chile, para mejorar la productividad de la industria de construcción en toda su cadena de valor y generar un cambio cultural en torno al valor de la sustentabilidad”, como aparece en su página de internet sobre el propósito de este programa.

Los ejes estratégicos del programa son: una industria más productiva; una industria que produce edificaciones sustentables; una industria que potencia innovación y uso de nuevas tecnologías; y una industria que desarrolla productos, servicios y talentos exportables. De donde podemos observar que, para el caso del uso de elementos prefabricados, se estaría avanzando con tres de los cuatro ejes estratégicos promoviendo un proceso constructivo más productivo, sustentable y de innovación tecnológica.

Helen Ipinza coordinadora del Programa Construye 2025 señala que existe “la necesidad de migrar nuestros procesos tradicionales a un estadio de mayor certidumbre y estándares, (y esto es) lo que se consigue con sistemas constructivos industrializados”, palabras entregadas para la revista EMB de octubre del 2017.

Citando a profesionales del área de la Arquitectura, el arquitecto Oscar Zacarelli Vender en su artículo “Industrialización sin Industria” plantea que existe la urgente necesidad de cambiar “la Construcción por Mano de Obra Artesanal, por sistemas Industrializados y Prefabricados, de Construcción por Montaje, acciones necesarias para elevar en la Construcción: la Productividad, la Innovación y la Sustentabilidad, acercándonos a los niveles de los países de la OCDE.”

La industrialización, para el caso de este trabajo de título, está enfocada en el uso de elementos prefabricados de hormigón para la construcción de edificios de mediana altura, lo que actualmente se viene desarrollando desde iniciativas privadas que utilizan diferentes métodos constructivos con algunos o todos los elementos estructurales hechos de forma industrial con hormigón armado.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación de los sistemas constructivos para edificios de mediana altura que utilicen elementos de hormigón prefabricado, esto a través de una comparación de plazos y costos de la realización de obra gruesa para un edificio diseñado por la Inmobiliaria Popular de Recoleta.

Para alcanzar el objetivo se hará una revisión a los actuales sistemas constructivos con elementos prefabricados de hormigón disponibles en Chile, se hará una comparación de costo y plazo de obra gruesa, además de una valorización en términos de sostenibilidad.



Ilustración 1-1 Programa Construye 2025 de CORFO. Fuente: CONSTRUYE 2025.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar los sistemas constructivos para edificios de mediana altura con elementos de hormigón prefabricado a través de una comparación de plazo y costos con los métodos tradicionales aplicado a un edificio de mediana altura destinado a viviendas sociales

1.2.2. Objetivos específicos

- Compilación de los diferentes métodos constructivos actuales para edificios de mediana altura con elementos de hormigón prefabricado.
- Establecer una metodología que permita comparar plazo y costos entre métodos constructivos a través de un edificio tipo de mediana altura.
- Comparar en términos de sostenibilidad los sistemas prefabricados e in situ.
- Dar una propuesta al estado actual en la necesidad de vivienda a través de la prefabricación de edificios de mediana altura.

1.3. Alcance de la evaluación

La evaluación fue aplicada para un edificio de mediana altura diseñado por la Inmobiliaria Popular de Recoleta con fin de arrendar viviendas sociales para suplir la necesidad de vivienda que se vive hoy en la comuna.

Las características del edificio para evaluar son:

- 5 pisos
- 45 viviendas
- 700 m² por cada piso

Para las cubicaciones y plazos se realizaron supuestos según información provista por profesionales de la construcción, el profesor guía de este trabajo y bibliografía asociada al tema. Para los costos se accedió a valores actualizados entregados por un programa para cálculo de precios unitarios.

Para la comparación en términos de sostenibilidad se realizó una revisión bibliográfica a los métodos que se aplican a la construcción en el mundo para certificar edificios, y las diferencias que existen entre sistemas prefabricados e in situ.

2. Sistemas prefabricados

2.1. Introducción

Los sistemas prefabricados forman parte de las nuevas tecnologías que se utilizan en el mundo al momento de construir edificaciones, esto debido a razones tanto de carácter ambiental al ser construcciones más limpias, como en términos de plazos de entrega debido al valor que toma la mano de obra en países del primer mundo.

En este capítulo se presentarán las razones por las que se escogió el prefabricado como sistema constructivo para viviendas sociales, su historia de uso en Chile, el uso del prefabricado en el mundo, la situación actual de vivienda, y las empresas que hoy hacen elementos estructurales prefabricados en Chile.

Para hablar de prefabricado y sus razones, es necesario primero definir qué entendemos por “Prefabricación” e “Industrialización”.

1.- Prefabricación

Para definir prefabricación se escogieron tres referencias de origen diferente para contrastar la información y poder extraer una idea fuerza que nos indique qué es prefabricar.

Tabla 2-1 Definición Prefabricación. Fuente: Elaboración propia.

Qué es Prefabricación	Referencia
Elementos estructurales moldeados en un lugar diferente de su ubicación final en la estructura.	ACI 318 (2014)
Significa dejar de concebir la obra como una elaboración de materias primas en el terreno y cambiar la forma de pensar y organizar, a una Construcción por Montaje.	Zacarelli Vender (2017)
a) El proceso de fabricación de los elementos, que constituyen el proyecto, generalmente en fábricas lejos de la obra.	Leónidas Zapata (1983)
b) El montaje de los elementos que, finalmente conformarán la estructura, generalmente lejos del lugar de fabricación.	Leónidas Zapata (1983)

De estas tres referencias podemos extraer que “Prefabricación” guarda directa relación con: montaje, fábricas, organización de la construcción, ausencia de moldajes y un factor económico implícito en su uso.

Cabe destacar que, para el caso particular de esta Memoria de Título, el material a estudiar es el hormigón armado por su capacidad comprobada para aguantar daño sísmico, esto sin desconocer otros elementos estructurales prefabricados como lo podrían ser con madera, acero, hormigón, etc.

2.- Industrialización

Para seguir hablando de prefabricación y su perspectiva a futuro, se hace necesario además entender en qué consiste la “Industrialización” en el contexto de la construcción, por qué se hace deseable para la prefabricación y cómo alcanzar un mayor nivel de esta en el país.

Tabla 2-2 Definición de Industrialización. Fuente: Elaboración propia.

Zacarelli Vender (2017)	Leónidas Zapata (1983)
a) Es dejar de pensar en Mano de Obra Artesanal, para pensar en Mano de Obra Industrial.	a) Normalización: de los productos finales.
b) Es no pensar en Construcción por Mano de Obra, sino en Construcción por Montaje.	b) Coordinación modular: de los proyectos y productos.
c) Es pensar en Producción en Serie, Repetitiva, en Obra (por Montaje) y en Fabricación.	c) Nivel tecnológico adecuado: desarrollo de investigaciones.
d) Es Programar la Obra en forma Seriada y Repetitiva (mediante cuadro vectorial = Programación Rítmica, fácil de entender, fácil de controlar y reprogramar).	d) Racionalización de recursos: asignación óptima de recursos.
e) Es incluir en el Proyecto, componentes Prefabricados, diseñados por Sus Profesionales, en forma especial, a la medida de cada proyecto, lo más terminados posible, destinados a facilitar y acelerar el Montaje.	
f) Es concebir los Gastos Generales de la Obra, de otra manera, incluyendo los costos de Prefabricación, llegando al final de la obra sin deuda de infraestructura, es decir: Amortización Cero.	

De ambos autores podemos concluir que la industrialización se vuelve clave para llevar la construcción nacional a mayores niveles de productividad, donde de forma más específica, la prefabricación de elementos constructivos es el paso necesario para avanzar a esta meta de mediano-largo plazo.

La industrialización de la construcción es visto no sólo como una necesidad de carácter económico en términos de plazo y costo, sino como un avance en los estándares de calidad del producto entregado.

Para Rocco Napoli, Jefe de Planta Construcción Modular de ECOMET, los beneficios de la construcción industrializada son, entre otros “la rapidez, la disminución de tiempo y mayor control en lo que a seguridad laboral se refiere, porque, por lo general, los procesos se realizan en lugares más controlados, como plantas industriales”, donde se pueden observar los mismos elementos antes mencionados.

2.2. Elementos prefabricados en el mundo

El estado de la industrialización en la construcción en países del primer mundo, y por ende la cantidad de prefabricado que se utiliza, es variable y depende de una multiplicidad de factores culturales, empresariales, económicos y tecnológicos. Como ejemplo en la Tabla 2-3 se pueden observar cuatro países y sus respectivos porcentajes de prefabricación en la construcción, donde podemos destacar a Austria como un ejemplo de alto nivel de prefabricación.

Tabla 2-3 Porcentaje de uso de prefabricado. Fuente: Thomas Linner et al., (2012).

País	Porcentaje de prefabricación en la Construcción
Alemania	15%
Austria	33%
Francia	5%
España	5%

Para hablar de cómo otros países han avanzado en la industrialización resulta necesario comprender lo que cada país entiende sobre qué es la industrialización en la construcción. Esto repercute directamente tanto en las políticas públicas como empresariales de cada país y cómo estos aplican lo que entienden por industrializar la construcción.

En la Tabla 2.4 se pueden observar diferentes visiones sobre la industrialización en la construcción según cada país, siendo Japón el país de mayor interés para este Trabajo de Título dada la alta cantidad de prefabricado que realiza, las innovaciones tecnológicas

asociadas al proceso de montaje y el nivel de personalización con el cual entregan las viviendas, siendo así un referente a nivel mundial en la prefabricación.

Todo esto puede ser observado con mayor detalle en el trabajo realizado por Thomas Linner y Thomas Bock llamado “Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry” (2012) donde hacen énfasis en los factores culturales, empresariales, la visión que se tiene de industrializar, el cómo llegaron a su estado del arte y un repaso a las cuatro industrias más grandes de prefabricado en Japón y la cantidad de viviendas que actualmente fabrican.

Tabla 2-4 Significado Industrialización según país. Fuente: Wang Ning et al., (2010).

País	Qué entienden por Industrializar la Construcción
Francia	Los principales componentes estructurales son universales, el producto y las herramientas son de producción socializada y suministro comercial, la planificación, diseño, producción, construcción, administración financiera y otros aspectos se trabajan integrados como uno sólo.
Inglaterra	Montaje en la instalación, mecanización y automatización, el plano a construir es conciso, el procedimiento de construcción es racional, la administración es altamente eficiente.
Hungría	La construcción industrializada utiliza nuevos materiales y técnicas de construcción y estructuras a gran escala prefabricadas de manera industrial, aumenta el grado de mecanización en la construcción, mejora la administración y organización de la construcción, ha tomado los requisitos de producción y construcción en el proceso de diseño.
Estados Unidos	Basado en el sistema constructivo y la generalización y estandarización de la producción, alcanzar producción a gran escala de forma masiva a través de la socialización masiva del producto.
Japón	Construcción industrializada requiere aplicar las maneras modernas de organizar la producción, los proyectos son largos y estables, podría darse garantía de la continuidad del proyecto. Podría alcanzarse una estandarización en la construcción, la producción entera en sus procesos se encuentra integrada, y está altamente organizada, podría reducirse el trabajo manual y los recursos humanos hasta el límite y alcanzar una combinación entre mecanización y producción.
Unión Soviética	Industrializar la construcción sería usar mecanización a gran escala y componentes prefabricados industrialmente, la construcción de un gran número de edificaciones a través de procesos repetitivos, mejorar la administración, y el diseño y la construcción trabajan como mano y guante.

De manera complementaria al estudio anterior, Wang Ning y Ji Yingbo en su trabajo “Analysis on Key Factors to Affect Construction Industrialization Development in China” (2010) ayudan a comprender qué entiende cada país por industrializar y cómo se debería

industrializar como un aprendizaje de lo anterior investigado, entregando como se observa en la Tabla 2-5, cinco aspectos fundamentales para comprender qué es industrializar la construcción.

Finalmente, como muestra del nivel de tecnología utilizada en la construcción prefabricada en Japón, se muestran imágenes del estudio realizado por Koji Hamada, Noriyuki Furuya, Yasuo Inoue y Tatsuya Wakisaka llamado Development of Automated Construction System for High-rise Reinforced Concrete Buildings (1998) sobre el uso del sistema "BIG CANOPY", una grúa utilizada por primera vez en 1995 con el fin de levantar un edificio prefabricado de 26 pisos en el área metropolitana de Tokyo.

Tabla 2-5 Cinco aspectos de la Industrialización. Fuente: Wang Ning et al., (2010).

Aspecto	Definición
Económico	Sistemas de inversión, mercado de la construcción, ganancia económica, urbanización, demanda de edificaciones, nivel económico
Tecnológico	Incluir tecnología constructiva, modo de construcción, construcción mecanizada, instalación de montaje, investigación en nuevas tecnologías, tecnología de prefabricación, producción en serie, herramientas mecanizadas, diseño estandarizado, consumo de recursos, características compartidas en materiales, componentes y maquinaria.
Administrativo	Introduciendo nivel administrativo del proyecto, escala de agencias, calificación del proyecto, iniciativas estructurales, calidad de empleo, organización científica y su administración, el entrenamiento de especialistas.
Legislativo y de Control	Control de estandarización del diseño, control de la estandarización de los materiales de construcción, control en la energía utilizada en la construcción, control de montaje, sistema uniforme de códigos de construcción, el sistema de producción, diseño y construcción, sistema de calidad y calificaciones, sistema de certificación de desempeño, control durante el préstamo, impuestos y subsidios, leyes de cuidado de la energía.
Otros	Organización industrial, estructura industrial, ambiente industrial.

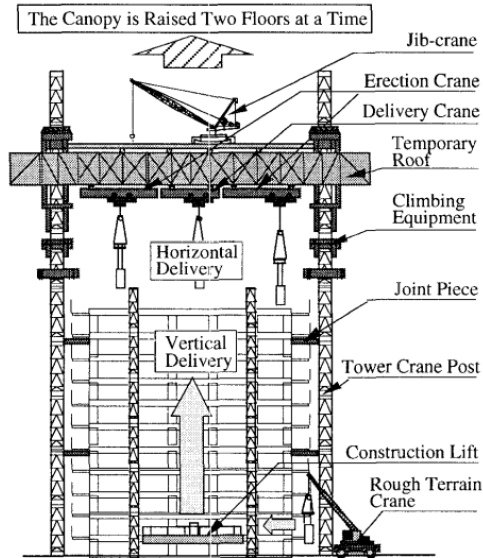


Figure 1: Parallel delivery system

Ilustración 2-1 Tecnología “BIG CANOPY” para levantar edificios de gran altura con elementos prefabricados. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).

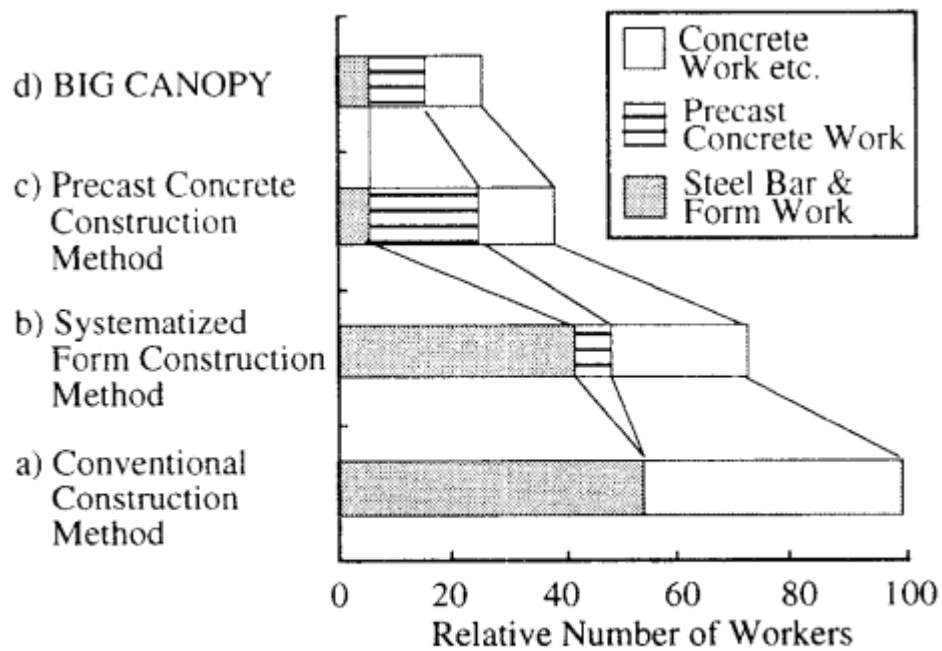


Figure 11: Productivity comparison among four construction methods

Ilustración 2-2 Comparación de productividad de tecnología “BIG CANOPY” con otros métodos de construcción. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).

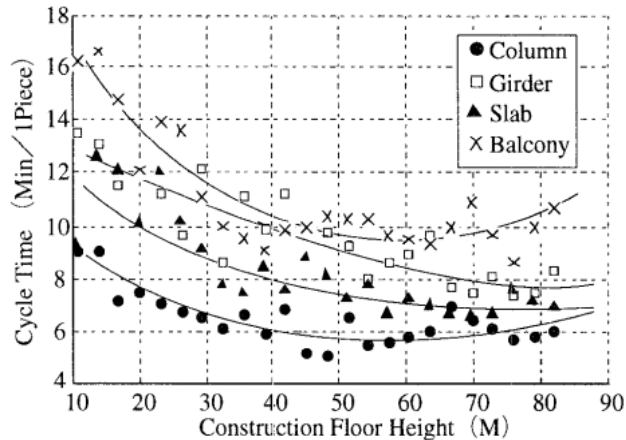


Figure 12: Cycle time of PC members

Ilustración 2-3 Ciclo de montaje de elementos prefabricados. Fuente: Koji Hamada et al., (1998).

2.3. Edificios prefabricados en Chile

El uso de prefabricado de hormigón armado no es algo nuevo en Chile, de las primeras experiencias en edificios para viviendas sociales hechas de elementos prefabricados de hormigón armado está el sistema KPD proveniente de una donación dada por la Unión Soviética a raíz del terremoto de 1971.

El Sistema KPD, que luego pasó a llamarse VEP (Viviendas Económicas Prefabricadas), utilizaba un sistema estructural cruzado, con muros longitudinales y transversales y uniones húmedas (hormigonadas in situ como lo indica la NCh2369-2003) que se pueden observar en la Ilustración 2-4.

El sistema correspondía a lo que se entiende por prefabricación cerrada, ya que los elementos eran producidos en la misma planta sin posibilidades de cambio posterior. El tiempo de ejecución para un conjunto de 4 bloques o más era de 37 días y el rendimiento de mano de obra en la obra gruesa era de 0,825 HD/m² (Hombre al día por metro cuadrado). La fabricación se consideraba fija, con una capacidad de 1.000 departamentos de entre 70 y 80 m² al año con dos turnos en la fábrica. La secuencia de montaje que utilizaba es la siguiente:

- 1° Construcción fundaciones in situ.
 - 2° Montaje paneles piso zócalo.
 - 3° Montaje Losas 1er piso.
 - 4° Montaje Muros 1er piso.
- Y así sucesivamente.

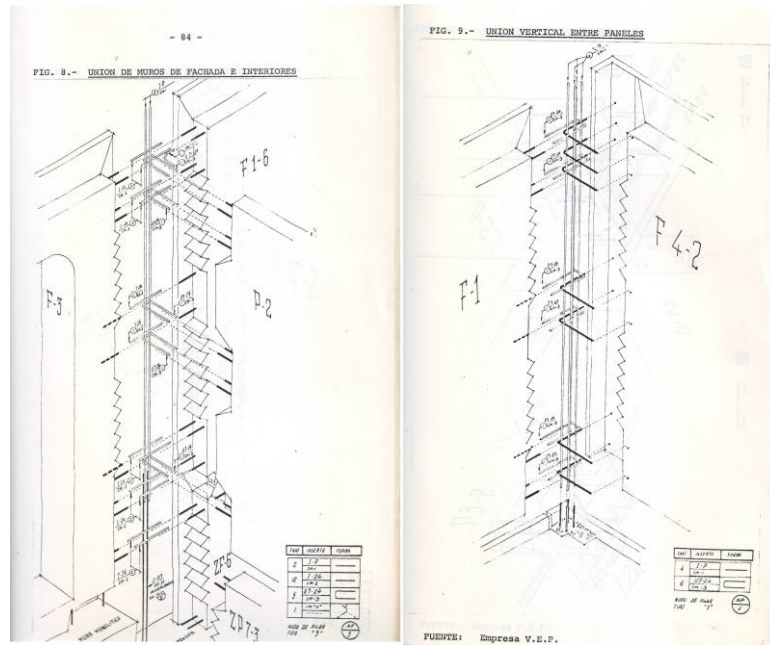


Ilustración 2-4 Uniones de muros en sistema KPD. Fuente: Leónidas Zapata (1983).

Además de edificios destinados a viviendas sociales, por la misma época se desarrollaron otros sistemas constructivos prefabricados fomentados por la CORFO con fines de abaratar costos y plazos frente a los sistemas tradicionales, de esto nacen los sistemas STRUCTURAPID DEPETRIS y SHAMI.

El sistema STRUCTURAPID DEPETRIS usaba un sistema estructural basado en marco rígido, pilares y vigas con uniones como se observan en la Ilustración 2-5. El sistema era de prefabricación abierta, con flexibilidad en el proceso, permitiendo la introducción de elementos no prefabricados en la planta.

El tiempo de ejecución de un bloque de 4 pisos y 4 departamento de 64,05 m² por piso era de 49 días (270 m² por piso) y el rendimiento de mano de obra en la obra gruesa era de 1,171 HD/m². La fabricación se podía considerar de dos formas: a pie de obra o móvil, esto ya que su proceso no requería de grandes instalaciones. A la fecha entregada por Leónidas Zapata (1983), el sistema logró construir 60.000 m². La secuencia de montaje que utilizaba es la siguiente:

- 1° Montaje de Pilares
- 2° Concreto de pilar
- 3° Colocación de vigas
- 4° Concreto de nudo pilar-viga
- 5° Colocación de losas o losetas apoyadas entre vigas
- 6° Concreto de sobrelosa, si es el caso.

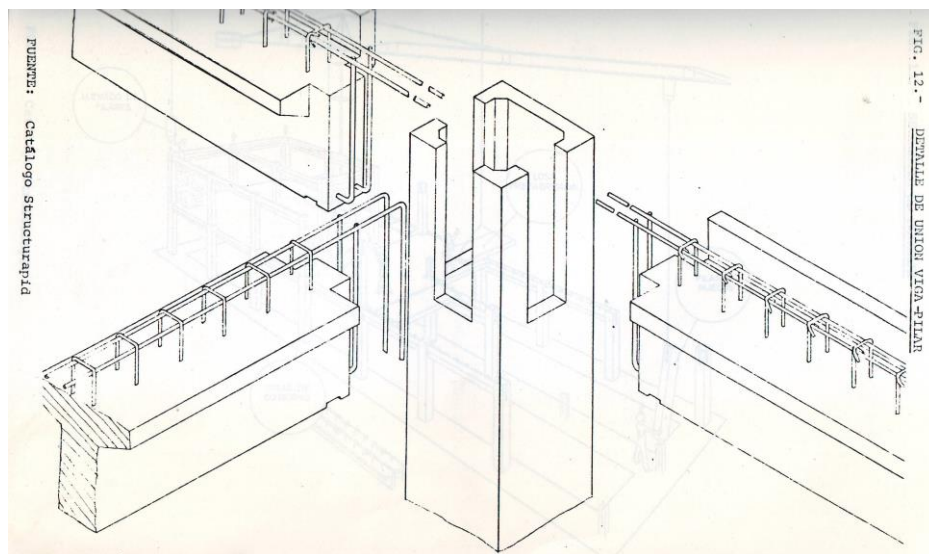


Ilustración 2-5 Unión viga-columna en sistema Structurapid Depetris. Fuente: Leónidas Zapata (1983).

2.4. Necesidad de vivienda en Chile

Para mostrar la necesidad de vivienda se cita el estudio “BALANCE DE VIVIENDA SOCIAL Y ENTORNO URBANO 2017” de la CChC que tiene como objetivo entregar información relevante para el perfeccionamiento de políticas públicas a través del dimensionamiento de requerimientos habitacionales, con énfasis en la población más vulnerable.

En el Capítulo 2 “Metodología para estimación de requerimientos habitacionales y caracterización urbana” se entregan los tres indicadores que permiten analizar los datos pertenecientes a la Encuesta CASEN 2015 desde donde se desarrolló el Informe de la CChC. Los indicadores son:

- a) Requerimientos Habitacionales por Deterioro (RHD)
- b) Nuevos Requerimientos Habitacionales (NRH)
- c) Indicador de Entorno Urbano

El mismo informe entrega como dato que al considerar un requerimiento habitacional neto podemos hablar de en promedio unas 3.107 unidades de déficit habitacional por comuna. Donde se observa en un 37% de las comunas que se sitúan sobre el promedio total, lo que implica que la distribución de unidades de vivienda está concentrada fuertemente en algunas comunas.

En la Ilustración 2-6 podemos observar las comunas seleccionadas en el Capítulo 4 del Informe, donde fueron seleccionadas bajo tres criterios:

- a) Se seleccionan todas aquellas comunas que concentran 50% de los requerimientos habitacionales totales, según número de viviendas requeridas o aquellas necesarias de reemplazo.
- b) Se seleccionan de este grupo, todas las comunas cuyo porcentaje de población carente, en términos habitacionales, respecto al total comunal, se encuentre sobre el promedio nacional (9,6%).
- c) Finalmente, se seleccionan de estas comunas todas aquellas cuyo valor promedio de los indicadores de entorno urbano se encuentren sobre la media nacional (0,15) o, en otras palabras, aquellas comunas cuya probabilidad conjunta de poseer un entorno urbano deficiente o carente está sobre el promedio nacional.

Comunas seleccionadas

Región	Comuna	NRH	RHD	Total de req. habitac.	% familias con req. habitac. respecto a población comunal	Indicador de entorno urbano
XV	Arica	4.411	2.724	7.135	11,50%	0,18
I	Iquique	4.177	3.479	7.656	11,00%	0,19
V	Valparaíso	4.609	7.485	12.094	11,90%	0,17
	Cerro Navia	5.307	2.984	8.291	17,80%	0,28
	Estación Central	4.393	2.332	6.725	17,40%	0,25
	Talagante	3.007	1.886	4.893	16,30%	0,28
RM	Pedro Aguirre Cerda	3.465	1.293	4.758	15,20%	0,25
	Melipilla	3.109	3.299	6.408	15,20%	0,19
	Recoleta	3.900	2.547	6.447	14,70%	0,27
	La Pintana	7.044	2.340	9.384	14,00%	0,35
	El Bosque	4.363	1.426	5.789	10,00%	0,23
VIII	Coronel	2.981	2.078	5.059	11,50%	0,18
	Los Ángeles	1.872	5.648	7.520	10,10%	0,16
Promedios a nivel nacional		1.655	1.452	3.107	9,60%	0,15

Fuente: CChC.

Ilustración 2-6 Requerimiento de vivienda en comunas críticas a nivel nacional, se toma de ejemplo Recoleta. Fuente: Cámara Chilena de la Construcción, 2017.

2.5. Mercado de elementos prefabricados en Chile

Según las necesidades que exige el sector de la construcción se han ido desarrollando diferentes empresas con soluciones prefabricadas: mobiliario público, tendido eléctrico, túneles, canales, salas de venta, naves industriales, etc. En la Tabla 2-6 se puede observar un listado de empresas que desarrollan soluciones prefabricadas.

La finalidad de mostrar el mercado de elementos prefabricados es la búsqueda de opciones actuales para desarrollar el proyecto descrito en la introducción y realizar una evaluación entre estos sistemas modernos prefabricados y los sistemas tradicionales in situ.

Como ejemplo de uso de sistemas prefabricados en viviendas sociales está de ejemplo en Temuco el condominio “Lomas de Javiera”, que consiste en 10 torres de 5 pisos cada uno, con una superficie total aproximada de 12.200 m². El proyecto se enmarca en el programa de subsidio habitacional extraordinario para viviendas de integración social decreto supremo D.S. 116 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU). En el anexo se pueden observar fotos tomadas durante su construcción.

Tabla 2-6 Fabricantes actuales de elementos prefabricados en Chile

Empresa	Elementos
BAUMAX	Muros, Losas
TENSOCRET	Vigas, Pilares, Losetas, Paneles.
HORMIPRET	Viguetas, Pre-losas, Losa alveolar, Postes pretensados.
HORMITEK	Obra gruesa, Urbanización, Gasfitería, Cierres perimetrales.
PREFAST	Escaleras, Fundaciones, Losetas, Muros, Pilares, Canaletas, Cámaras
INCRUSTA	Balcones, Escaleras, Ventanas.
ACONCRET	Soleras, Tapas, Pavimentos, Tubos, Cámaras, Colectores, etc.
PREANSA	Pilares, Vigas, Costaneras, Placas Alveolares, Paneles Fachada, Estructura Vial.
TENSACON	Pilares, Vigas, Losas Alveolares, Paneles, Pasarelas, Cepas para pasarelas, Infraestructura Vial, Naves Industriales.

3. Sistemas constructivos Prefabricados

3.1. Introducción

El objetivo de revisar los diferentes sistemas constructivos prefabricados es observar no sólo sus diferencias en términos técnicos, sino evaluar y tomar la mejor decisión dado estándares de calidad y sostenibilidad para viviendas sociales.

Además, dada la cantidad de viviendas necesarias, es importante tener una evaluación de carácter ambiental producto de los diferentes sistemas constructivos, sus diferencias y qué sistema vendría a ser el más acorde para reducir los impactos ambientales.

En este capítulo se muestra el marco legal y técnico para el uso de prefabricados, los sistemas constructivos prefabricados, sus diferencias, las razones que empujan a prefabricar los sistemas constructivos y su reacción frente a esfuerzos sísmicos.

3.2. Marco legal y técnico para el uso de prefabricado

Para hablar del uso de elementos prefabricados de hormigón en Chile debemos primero indicar cuál es el marco legal que regula las condiciones en las que se fabrican estos elementos, qué deben cumplir, cómo se deben diseñar y, por lo tanto, el mercado que debiese existir.

En primera instancia la NCh 2369-2003 en su apartado 9.2 “Estructuras Prefabricadas de Hormigón” indica los requisitos generales, las condiciones del diseño sísmico, las uniones y se referencia a la ACI 318-99 como guía para el diseño estructural. La norma indica que se debe diseñar de acuerdo con algunos de los siguientes criterios: Sistemas Gravitacionales, Sistemas prefabricados con conexiones húmedas, Sistemas prefabricados con conexiones dúctiles y Sistemas prefabricados con conexiones secas. Donde se destaca que en el apartado 9.2.1.2 de la norma dice que “los sistemas prefabricados con conexiones húmedas y conexiones dúctiles se deben diseñar utilizando las sollicitaciones sísmicas correspondientes a una estructura monolítica de hormigón armado.”.

Además de la normativa expuesta existe el “Código de Diseño de Hormigón Armado basado en el ACI 318-99” donde en su Capítulo 16 “Hormigón prefabricado” aborda el diseño de elementos, distribución de fuerzas entre elementos, integridad estructural, diseño de conexiones y apoyos, piezas embebidas después de la colocación del hormigón, marcas e identificación, manejo y evaluación de la resistencia. Además, el

Capítulo 17 “Elementos compuestos de hormigón sometidos a flexión” y Capítulo 18 “Hormigón pretensado” sirven como complementarios para el trabajo con elementos prefabricados de hormigón.

De ambos documentos se puede concluir que el uso de prefabricado en Chile, en particular su diseño frente a esfuerzos sísmicos como la condición limitante para su uso en viviendas, se encuentra determinado por el uso de conexiones húmedas que permitan mantener el monolitismo de los sistemas estructurales in situ y así facilitar una transición de sistemas tradicionales a industrializados.

3.3. Sistemas prefabricados

Para hablar de sistemas prefabricados es primero necesario describir los dos tipos de sistemas estructurales: sistemas de marcos y sistemas de muros.

3.3.1 Sistemas estructurales de marcos

La estructuración de un edificio prefabricado en base a marcos rígidos es la más próxima a la construcción in situ por la facilidad con la que se logra que la estructura se comporte de manera monolítica. Esto permite que sea posible una estructuración mixta con elementos in situ y prefabricados.

El sistema estructural de marcos se entiende como un sistema compuesto por: vigas, pilares y losas, donde se pueden complementar con elementos in situ como muros internos, balcones, etc.

Como se puede observar en el sistema STRUCTURAPID DEPETRIS, las uniones entre vigas y columnas son de carácter húmedo configurando así nudo rígidos y marcos en ambos sentidos, donde lo fundamental está en mantener el carácter monolítico de la estructura entre vigas, columnas y las losetas, procurando así un comportamiento frente a sismos.

Como ejemplo de sistemas modernos Fumio Watanabe expuso el 2015 en el seminario “Structural Design and Construction Practice of Precast Concrete Buildings in Japan” realizado en Chile, las conexiones que realizan, los cálculos realizados para comprobar su uso, ejemplos de montaje de elementos, etc. Dando a conocer un nivel de tecnología e ingeniería muy por sobre el estándar internacional.

Joint examples of frame system (Ductile connection 1)



Ilustración 3-1 Ejemplo de conexión más usada en marcos viga-columna en Japón.
Fuente: International Seminar on Design and Construction of Precast Structures in Seismic Regions, Chile 2015.

3.3.2 Sistemas estructurales de muros

La estructuración de un edificio a base de paneles prefabricados puede verse en base a:

- 1) Cargas verticales: sobrecargas, peso propio y cargas eventuales son soportadas por las losas de piso. Estas a su vez descansan en los muros, que las transmiten al suelo por medio de las fundaciones.
- 2) Los esfuerzos horizontales: cargas de viento, sismo, etc. Son tomados por los paneles verticales que transmiten las cargas a las losas y paneles transversales. Estos transmiten finalmente las cargas a las fundaciones. Estos transmiten finalmente las cargas a las fundaciones.

Ahora bien, para que funcionen los mecanismos descritos, es necesario que las uniones entre los elementos sean capaces de transferir fuerzas y disipar energía. Las uniones presentes en este tipo de estructura pueden agruparse así:

- a) Juntas hormigonadas in situ reforzadas con acero ordinario de construcción
- b) Juntas realizadas mediante soldadura de acero de las armaduras del elemento y fierros agregados, que posteriormente se verterá hormigón in situ.

Como ejemplo de estas uniones podemos mencionar el sistema KPD visto anteriormente, el cual utilizaba del tipo b), y en la actualidad podemos mirar el sistema BAUMAX el cual utiliza un tipo a).

Además, los sistemas de muros se dividen en paneles prefabricados macizos y muros doble o “Shell walls”, donde la diferencia radica el tamaño de los paneles, su peso y en las conexiones, siendo por ejemplo el sistema KPD de muros macizos donde sólo se vierte el hormigón en la conexión (Ilustración 2-4), y el sistema “Shell walls” donde se agrega armadura para las conexiones y se vierte la mitad del hormigón del muro in situ, la otra mitad del hormigón proviene de fábrica con parte de la armadura y algunas instalaciones ya dispuestas como se observa en la Ilustración 3-2.



Ilustración 3-2 Sistema de muros dobles. Fuente: ARQUITECTURA VERTIDA S.A.

3.4. Uso sísmico

De la experiencia vista para el terremoto de febrero del 2010 en los marcos prefabricados industriales como lo muestra Israel Garrido (2011), los principales daños observados fueron producto de los grandes desplazamientos a las que fueron sometido tanto sus conexiones, como sus elementos como podemos ver en las fotos del anexo.

De las conclusiones de Israel Garrido (2011) podemos destacar el hecho que el modelo estructural que mejor comportamiento tuvo frente a las exigencias de la NCh2369-2003 fue el con conexiones hormigonadas in situ, siendo este el único que cumplió con las deformaciones máximas permitidas.

Además, el daño visto en losetas prefabricadas dejó como lección la necesidad de hormigonar sobrelosas o capas de compresión de hormigón in situ con el fin de evitar daños y desplazamientos.

Respecto al muro doble prefabricado este tiene un comportamiento sísmico adecuado como lo corroboran Xiaonong Guo, Yongfeng LUO, Jian Li, Zhe Xiong, Lei Meng, Niancai Dong y Jun Zhang en su trabajo del 2015 titulado “Experimental Research on Seismic Behaviour of the Concrete-Filled Double-Steel-Plate Composite Wall” donde ensayaron 9 muros dobles (ve Ilustración 3-4) con una escala reducida de 1:2.5 bajo esfuerzo axial de compresión y ciclos de carga-descarga horizontal. Donde, de los ensayos realizados, se desprenden las siguientes conclusiones relevantes para este capítulo:

- a) La rigidez inicial y la capacidad portante del muro doble son sustancialmente altas. La rigidez incrementa con la disminución de la relación ancho-profundidad y el incremento en la proporción de la compresión axial. La capacidad última de carga es proporcional a la resistencia del material. La relación ancho-profundidad juega un rol clave en la capacidad de aguantar corte en el muro.
- b) A pesar de que el tamaño del espacio para la puerta reduce la rigidez inicial del muro con un cierto rango, este aumenta la ductilidad del elemento.

De la experiencia del uso de muros dobles en edificios prefabricados podemos mencionar los realizados en España por POSTELÉCTRICA FABRICACIÓN S.A enfocados en viviendas, la Torre de Radio y Televisión Yancheng en China de donde Xiaonong Guo et al. (2015) basaron su trabajo, y podemos citar el trabajo de Emina Deumic y Madeleine Hedin “Evaluation of Shell walls General Method” del 2010 donde entrega una evaluación de este uso de muros en un caso tipo para concluir las diferencias con los métodos tradicionales en términos de plazo y costo.

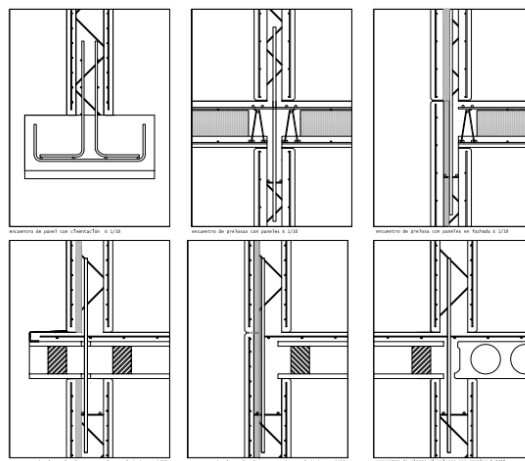


Ilustración 3-3 Conexiones del Sistema Constructivo “arquitectura vertida”. Fuente: POSTELÉCTRICA FABRICACIÓN S.A, España.

Specimen	H	T	B	t	Stiffener	Shear Connecting		Concrete	Axial compression ratio	Hole
						stud	bolt			
SCSW1	2160	120	1200	8	3	φ8@160	M8@160	C30	0.4	No
SCSW2	2160	120	1200	8	3	φ8@160	M8@160	No	0.25	No
SCSW3	2160	120	1200	8	3	No	No	C30	0.4	No
SCSW4	2160	120	1200	8	1	No	No	C30	0.4	No
SCSW5	2160	120	1200	8	3	φ8@160	M8@160	C30	0.25	880 × 320
SCSW6	3000	120	1200	8	3	φ8@160	M8@160	C30	0.4	No
SCSW7	3000	120	1200	6	3	φ8@160	M8@160	C30	0.25	No
SCSW8	2160	120	1200	6	3	φ8@160	M8@160	C30	0.25	No
SCSW9	2160	120	1200	8	3	φ8@160	M8@160	C50	0.25	No

Note: H, B and T signify the height, the width and the thickness of the wall, respectively; t is the thickness of the steel plate.

Ilustración 3-4 Características de muros dobles para ensayos sísmicos. Fuente: Xiaonong Guo et al. (2015)

Además, como se puede ver en las fotos en el anexo, los muros prefabricados del sistema KPD tuvieron daños mínimos o nulos posterior al terremoto de febrero del 2010, reforzando la idea de que el muro como elemento estructural, al tener menores desplazamientos, tiene un mejor comportamiento frente a esfuerzos sísmicos.

Esto permite concluir que, en busca de la menor cantidad de desplazamiento en los elementos estructurales, la mejor opción para levantar edificios con elementos prefabricados en Chile sería la de muros dobles con losetas unidas a los muros a través de sobrelosa hormigonada in situ.

4. Construcción de edificios sustentables

4.1. Introducción

Para evaluar un proyecto en términos de sustentabilidad no sólo basta una mirada económica, se debe incluir además una arista de carácter social y otra medioambiental. Esto es lo que se conoce como TRIPLE BOTTOM-LINE y sirve como herramienta para desarrollar indicadores para evaluar proyectos de todo tipo, siendo este caso específico la construcción de edificios de mediana altura destinados a viviendas sociales.

En este capítulo se muestra qué medidas se usan para mitigar los impactos ambientales en la construcción, programas de gobierno asociados a la sustentabilidad en la construcción, cómo cambia el impacto ambiental con una construcción prefabricada y métodos para evaluar impacto ambiental de construcciones.

4.2. Medidas de Mitigación

La emisión de contaminación a la atmosfera es un problema conocido dado sus efectos en el medio ambiente y en los seres vivos. A partir de este problema es que se han desarrollado diferentes medidas de mitigación de organismos privados y gubernamentales, como por ejemplo la Cámara Chilena de la Construcción con su “GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES PARA LA CONSTRUCCIÓN”, donde indica las actividades contaminantes y correspondientes medidas de mitigación.

La falta de control de las emisiones en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto provoca impactos al medio ambiente como: contaminación del aire, enfermedades respiratorias, contaminación del suelo, irritación de ojos y piel, etc. En la construcción las actividades de mayor generación de residuos son:

- 1) Demoliciones masivas
- 2) Excavaciones
- 3) Nivelación de terreno
- 4) Confección de enfierraduras
- 5) Instalación y descimbre de moldaje
- 6) Hormigonado
- 7) Descarachado de juntas de hormigón
- 8) Carga y descarga de camiones
- 9) Demolición de elementos aislados
- 10) Confección e instalación de estructuras metálicas

- 11) Instalación de tabiques y cielos de yeso cartón
- 12) Pulido de elementos metálicos
- 13) Pulido de superficies como piso de madera, baldosas y hormigón
- 14) Manipulación de sustancias peligrosas
- 15) Reutilización de instalaciones de faenas y cierres perimetrales
- 16) Almuerzo y colación del personal

Las medidas de mitigación que se proponen para estas actividades son:

- 1) Capacitación del personal
- 2) Optimizar cortes
- 3) Preparado de enfierradura fuera de obra
- 4) Prefabricado fuera de obra
- 5) Plan de cortes para utilización de planchas
- 6) Separación y clasificación de diferentes tipos de residuos
- 7) Disposición final de residuos de construcción
- 8) Disposición de residuos peligrosos en relleno de seguridad
- 9) Disposición de basuras domiciliarias
- 10) Proteger suelo en la manipulación de sustancias peligrosas
- 11) Entregar residuos reciclables
- 12) Reservar la capa vegetal
- 13) Programar los retiros de residuos

La guía además señala actividades de impacto ambiental y sus medidas de mitigación para casos como emisiones a la atmosfera, ruidos y relación con los vecinos.

4.3. Programas de fomento al cuidado ambiental

La promoción de fondos destinados a fomentar la construcción sustentable y el cuidado del medio ambiente tiene como objetivo disminuir el impacto ambiental producto de las emisiones y lo que se conoce como “huella de carbono equivalente anual”.

La huella de carbono equivalente es la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos de manera directa o indirecta por un individuo, organización, producto o servicio. La huella de carbono es una medida de desempeño ambiental, siendo a mayor huella de carbono peor desempeño, mayor impacto negativo sobre el clima.

El programa CONSTRUYE 2025 de CORFO tiene como uno de sus ejes estratégicos “Una industria que produce edificaciones sustentables”, donde el indicador que se propone es “en el año 2025, tener un 20% de edificaciones nuevas sustentables, un consumo energético residencial de 85 kWh/m²-año y, al 2030, reducir en un 30% las emisiones de CO₂ equivalente”.

Además, dentro de las iniciativas de este programa, se encuentra la “Gestión de residuos de la construcción” que, como su nombre lo indica, tiene por objetivo “Fortalecer las capacidades del mercado para hacer frente a la demanda de gestión de residuos de la construcción a nivel nacional, además de revisar y actualizar la legislación vigente referente a estos residuos”.

Por otro lado, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la CChC se encuentra desarrollando el proyecto “ECOBASE”, el cual pretende ser una plataforma de información ambiental para evaluar el ciclo de vida de productos como alimentos y asociados a la construcción. Esto tiene como objetivo mejorar la sostenibilidad y la competitividad de la industria de alimentos y construcción, para con el tiempo pasar a otros sectores industriales.



Ilustración 4-1 Proyecto ECOBASE. Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico de la CChC.

4.4. Uso de prefabricado y la generación de residuos

El uso de elementos prefabricados de hormigón, y la construcción industrializada en general, se asocia con la disminución en generación de residuos, emisión de huella de carbono, menores tiempos en la construcción y por ende menor intervención urbana.

Para el caso japonés como analiza Thomas Linner et al. (2012), la política pos segunda guerra mundial de “cero residuos” (zero-waste policy) fue una necesidad producto de la poca ayuda económica recibida, empujando su industria a encontrar maneras más

eficientes de producción. Esto llevó a analizar que el mayor residuo era producto de la “sobre producción”: un producto era hecho sin la demanda un consumidor.

En contraste con la construcción convencional, un mínimo de residuo es producido a través del proceso. Como se puede ver en las fotos del anexo, la industria japonesa desarrolló una producción altamente sofisticada en materia de control de circulación de recursos.

4.5. Métodos de evaluación

Existen diferentes certificaciones de construcción sustentable, algunas son: Certificación Edificio Sustentable (CES), Certificación LEED, Calificación energética del MINVU, Certificación Passive House Institute, etc.

El sistema “Certificación Edificio Sustentable” está hecho para evaluar, calificar y certificar edificios de uso público. El sistema se compone de dos partes:

- Evaluación y Calificación, en base a un conjunto de requerimientos obligatorios y voluntarios, metodologías de cálculo, escalas, ponderaciones y umbrales, contenidos en una guía o “Manual de Evaluación y Calificación”.
- Certificación, en base a un conjunto de procedimientos, protocolos y reglamentos, y en general todos los elementos necesarios para que el sistema pueda operar.

Esta certificación tiene un alcance acotado en su versión actual, destinado a edificios de máximo 5.000 m² de uso público para: educación, salud, servicios y social. Siendo, por ejemplo, para el caso de este trabajo un edificio con fines sociales habitacionales.



Ilustración 4-2 Esquema de las etapas y procedimientos del Modelo de Operación.
Fuente: Manual de Evaluación y Calificación versión 1, mayo 2014.

5. Proyecto a evaluar para viviendas sociales

5.1. Introducción

En este capítulo se presenta el edificio que se escogió para evaluar la construcción de viviendas sociales con elementos prefabricados de hormigón armado, las principales características del edificio y los criterios para escoger qué proyecto evaluar.

Recoleta se encuentra dentro de las comunas con mayor déficit habitacional en Chile como lo muestra el estudio de la CChC antes mencionado en el Capítulo 2 de este trabajo, esto es abordado por la municipalidad a través de su iniciativa de Inmobiliaria Popular la cual tiene como objetivo entregar arriendos a precios accesibles a familias que estén postulando a subsidios habitacionales.

Para este trabajo de título se tuvo acceso a cuatro proyectos de edificios que la municipalidad de Recoleta se encuentra evaluando construir, con terrenos ya comprados, estudios de cabida realizados y con diseños en proceso. De todos los edificios se escogió el de mayor altura, mayor cantidad de viviendas y mayor superficie, y que cumple con la definición de un edificio de altura media.



Ilustración 5-1 Proyecto de Inmobiliaria Popular de Recoleta. Fuente: EMOL.

5.2 Características del edificio tipo

Los criterios para escoger uno de los cuatro proyectos fue: la mayor superficie construible, la mayor altura y la mayor cantidad de viviendas. Todo esto mientras se cumpliera el criterio de ser un edificio de mediana altura.

El proyecto escogido, de los cuatro presentados por la municipalidad de Recoleta y que se encuentran en el anexo, está ubicado entre las calles Leonor Osorio y Justicia Social en la comuna ya mencionada, abarcando una superficie predial de 2215 m² y una superficie construible de 3513,55 m² correspondiente a 5 pisos de 702,71 m² cada uno.

La edificación considera un total de 45 viviendas, siendo cada una de 55 m² y diseñadas con una capacidad para 4 personas. Esto nos entrega una densidad de 818,18 habitantes por hectárea, cumpliendo con la densidad máxima de 1200 habitantes por hectárea.

Tiene una altura de 15 metros máximo con cinco pisos de altura, cumpliendo así la característica de edificio de mediana altura y, por lo tanto, diseñado sin elevador.

Para concluir, la información a la que se tuvo acceso se encuentra todavía en desarrollo por parte de la municipalidad, por lo que a partir del estudio de cabida escogido es que se realiza la evaluación con elementos prefabricados tomando en consideración las características expuestas y resumidas en la Tabla 5-1.

En las Ilustraciones 5-2 y 5-3 se presentan la vista plata y alzada del estudio de cabida, dando así una idea de cómo se vería en principio la construcción.

Tabla 5-1 Estudio de Cabida para edificio tipo escogido. Fuente: Elaboración propia.

Densidad	818,18 HAB/HA
Sup. Predial	2215,00 m ²
Sup. Const.	3513,55 m ²
Sup. 1° piso	702,71 m ²
Altura	15,0 m

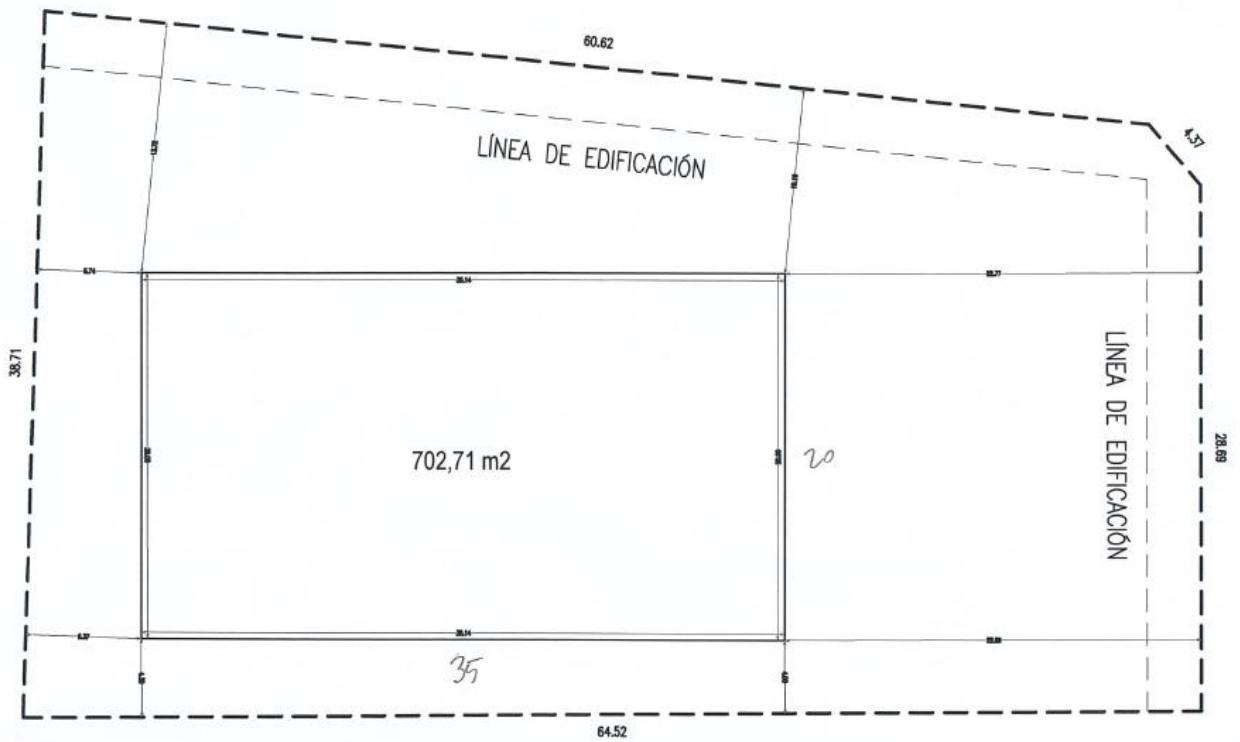


Ilustración 5-2 Edificio tipo escogido, vista planta. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

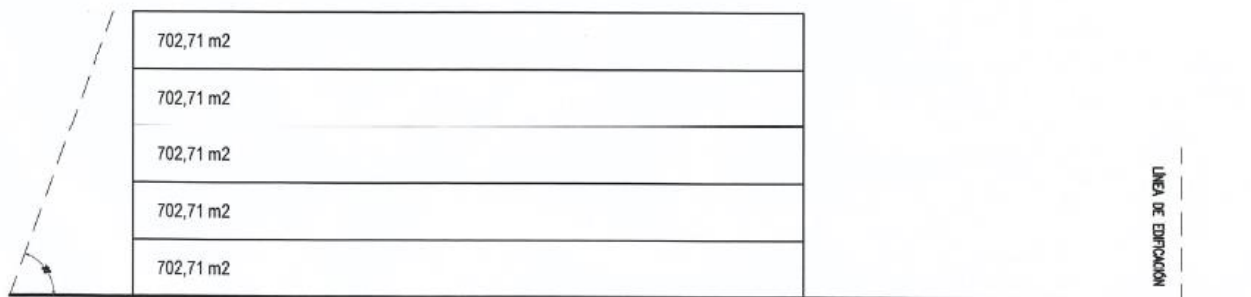


Ilustración 5-3 Edificio tipo escogido, vista alzada. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

6. Metodología de evaluación

6.1 Introducción

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para llevar a cabo la evaluación propuesta, las fuentes de información y los supuestos que se aplicaron.

Para realizar la evaluación al edificio escogido se aplicó la visión de Triple Bottom-Line expuesta en el capítulo 4 de este trabajo de título. Esto contemplaría realizar:

- Evaluación técnica de costos y plazos de construcción para sistemas prefabricados de muro y marco.
- Evaluación técnica de costos y plazos de construcción para sistemas tradicionales de muro y marco.
- Evaluación de carácter social a la incidencia de una construcción.
- Evaluación de carácter ambiental a la incidencia de una construcción.

Además de presentar otros factores que inciden para evaluar entre sistemas constructivos como, por ejemplo: seguridad del cumplimiento, calidad en la construcción, productividad, etc.

6.2 Entrevistas

Para obtener información que permita comparar los sistemas constructivos prefabricados tanto entre sistemas prefabricados como con los métodos tradicionales se diseñó la siguiente entrevista enfocada en profesionales asociados a la construcción.

El objetivo es tener un valor promedio para el costo y plazo de la obra gruesa edificaciones de mediana altura en Santiago, que estén en el rango de la descripción del edificio tipo escogido (5 pisos, 700 m² de planta), recabar comentarios respecto a las ventajas/desventajas del uso de prefabricado que estén relacionados a su transporte, planificación, experiencias, etc.

- 1) ¿Ha utilizado elementos estructurales prefabricados de hormigón en sus construcciones de mediana altura? De ser así, ¿Qué elementos usó, y qué beneficios pudo observar en su uso? De no ser así, ¿Qué razones tiene para no usar elementos prefabricados?
- 2) ¿Podría dar un aproximado de su rendimiento pisos/mes en levantar un edificio de mediana altura (5 pisos) con métodos tradicionales (sin prefabricado)? Como

ejemplo según la CChC en Chile se construye en promedio 2 pisos al mes con una planta de 1.000 m².

- 3) ¿Podría dar el aproximado en costo de levantar un edificio de mediana altura (5 pisos y 700m² de superficie, 9 departamentos por planta)? Con dimensiones aproximadas basta y sobra, no tiene porqué ser un detalle de todo el costo.
- 4) ¿Qué considera usted que hace falta en Chile para utilizar mayor cantidad de elementos prefabricados en la construcción de edificios de mediana altura?

6.3 Revisión bibliográfica

Para dar sustento a las entrevistas y descripción de sistemas se realizó una revisión bibliográfica a trabajos anteriores, tanto en Chile como en el mundo, que permitieran obtener una comparación de cómo se observa el uso de prefabricado en el mundo, así como su aplicación práctica para la construcción de viviendas de clase media como para soluciones habitacionales sociales, plazos y costos, ventajas y desventajas, etc,

Respecto al caso chileno la mayor referencia es el trabajo realizado por Leónidas Zapata (1983), donde logra describir con mucho detalle la situación económica del momento, así como las capacidades y potencialidades de construir con prefabricado y los sistemas presentes en ese momento. El trabajo entrega rendimientos, características estructurales y comentarios respecto a su uso sísmico en Chile.

Se revisó también el trabajo de Israel Garrido (2011), el cual aporta comentarios respecto al uso de elementos estructurales prefabricados frente a esfuerzos sísmicos y comentarios del cómo mejorar su rendimiento frente a estos eventos.

Para tener datos de sistemas tradicionales en Chile se citó el trabajo de Daniela Ruano (2010) el cual entrega costos y plazos asociados a la construcción de un edificio tipo de 22 pisos, lo cual sirve como referencia al momento de comparar sistemas constructivos.

En el caso internacional se citó el trabajo realizado por Emina Deumic et al. (2010) donde hicieron una evaluación del uso de muros dobles prefabricados en Suecia realizando entrevistas, revisión bibliográfica y utilizando datos de plazo y costo, entregando así una comparación entre sistemas tradicionales y prefabricados.

También se realizó una revisión al trabajo de Thomas Linner et al. (2012) donde entregan detalles de cómo Japón, país ya visto como uno de los referentes más importantes del prefabricado, industrializó su construcción a través de sistemas prefabricados, las características y ventajas que presentan estos sistemas en ese país.

Finalmente, se revisó el trabajo hecho por Yong Feng LUO et al. (2015) donde entregan argumentos técnicos para el uso de muros dobles prefabricados como elementos estructurales que soportan esfuerzos sísmicos, siendo esto algo fundamental para el caso chileno dada la exigencia normativa.

6.4 Evaluación

Para realizar una evaluación de plazos y costos de construcción se realizó una comparación entre los siguientes sistemas: marco in situ, marco prefabricado, muro in situ, muro prefabricado de módulo pequeño y muro doble prefabricado.

La evaluación técnica se fundamenta en revisión a bibliografía y experiencias de costo y plazos para todos los sistemas mencionados.

La evaluación social y de carácter ambiental se basa en bibliografía del tema y comentarios de profesionales del área de la construcción.

6.4.1 Costo

La estimación de costos para construir un edificio se puede dividir en 3 grandes partidas: Obra gruesa (excavación, fundaciones, estructura), Instalaciones (eléctricas, sanitarias, calefacción, aire acondicionado, etc.) y Terminaciones. Dada la información recabada lo que se comparó es el costo y plazo de realizar la estructura de la obra gruesa.

El costo de la estructura de la obra gruesa se evaluó utilizando valores de cubicaciones entregados tanto por bibliografía como basado en experiencia de profesionales. Los valores usados se muestran en la Tabla 6-1.

El valor de los elementos prefabricados fue dado a partir de la experiencia de profesionales en su uso, como se puede observar en la Tabla 6-2.

Para los valores de hormigón, acero y moldaje se utilizó el “Manual de Precios de la Construcción online, Ex – Ondac” el cual entrega valores actualizados y permite resolver la tarea de costear proyectos de construcción. Los valores usados se pueden ver en la Tabla 6-2 y las imágenes del manual de donde se sacó estos valores se encuentran en el anexo.

Para el sistema prefabricado de marco y muro doble se consideró que la mitad de la cubicación de hormigón y acero corresponde a prefabricado, esto ya que los elementos que se montan in situ deben ser hormigonados de forma tal que se asegure el

monolitismo de la estructura. Esto tiene como consecuencia que, al cubicar la estructura, la mitad del hormigón que se tiene en cuenta vaya en forma de elemento prefabricado y la otra mitad se aplique in situ como se puede observar en las ilustraciones correspondientes al sistema STRUCTURAPID DEPETRIS y ARQUITECTURA VERTIDA vistos anteriormente.

En el caso del sistema de muro prefabricado de módulo pequeño se consideró que 70% del hormigón corresponde a hormigón prefabricado, siendo el 30% restante lo correspondiente a lo que se hormigona in situ para mantener el monolitismo de la estructura como se puede observar en las ilustraciones correspondientes al sistema KPD visto anteriormente.

La estimación de gastos generales, en base a bibliografía y experiencia profesional, se tomó como 30% para sistemas tradicionales y 20% para sistemas prefabricados.

Además, se realizó una comparación entre sistemas prefabricados y tradicionales en base al aumento del costo en la mano de obra, siendo este tomado en cuenta como un 35% del costo para los sistemas tradicionales y en el caso del prefabricado haciendo variar a través de un factor el valor de montaje. Los factores que se usaron fueron: 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5, esto tomando en consideración que, en países como Estados Unidos o Inglaterra, el valor de mano de obra es al menos 2 veces mayor que acá en Chile.

Tabla 6-1 Valores de cubicación para los Sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia.

Sistemas Constructivos	Hormigón [m3/m2]	Acero [kg/m2]	Moldaje [m2/m2]
Marco in situ	0,25	30,00	2,50
Marco Prefabricado	0,25	30,00	1,00
Muro in situ	0,30	25,00	2,50
Muro Prefabricado de módulo pequeño	0,30	30,00	0,00
Muro Doble Prefabricado	0,30	25,00	0,00

Tabla 6-2 Valores de materiales. Fuente: Manual de Precios de la Construcción online.

Item	Hormigón [UF/m3]	Acero [UF/kg]	Moldaje [UF/m2]
Costo	3,55	0,03	0,38

Tabla 6-3 Valor de metro cúbico de prefabricado. Fuente: David Campusano B.

UF/m3 de prefabricado de H° armado UF	Elemento prefabricado	Transporte	Montaje
	18,5	2,5	5

6.4.2 Plazo

Para la estimación de plazo en sistemas tradicionales se utilizó la información entregada por la CChC (2013) y Daniela Ruano (2010), donde se pudo estimar un rendimiento para la construcción de la estructura.

Para Daniela Ruano (2010), el edificio analizado alcanzó un rendimiento de 5.160 m² al mes en su mejor momento, con un promedio de 200 trabajadores al mes sacado de su curva de contratación (ver Ilustración 6-1).

Para la estimación de plazo en sistemas prefabricados se acudió a valores entregados por Leónidas Zapata (1983), Emina Deumic et al. (2010) y David Campusano B. En calidad de profesional con experiencia en el uso de elementos prefabricados.

Para realizar una comparación de plazo se tomó un supuesto de contratación de 7 cuadrillas de 4 trabajadores cada una, para un total de 28 trabajadores. Esto permite estimar en similares condiciones de contratación para ambas construcciones.

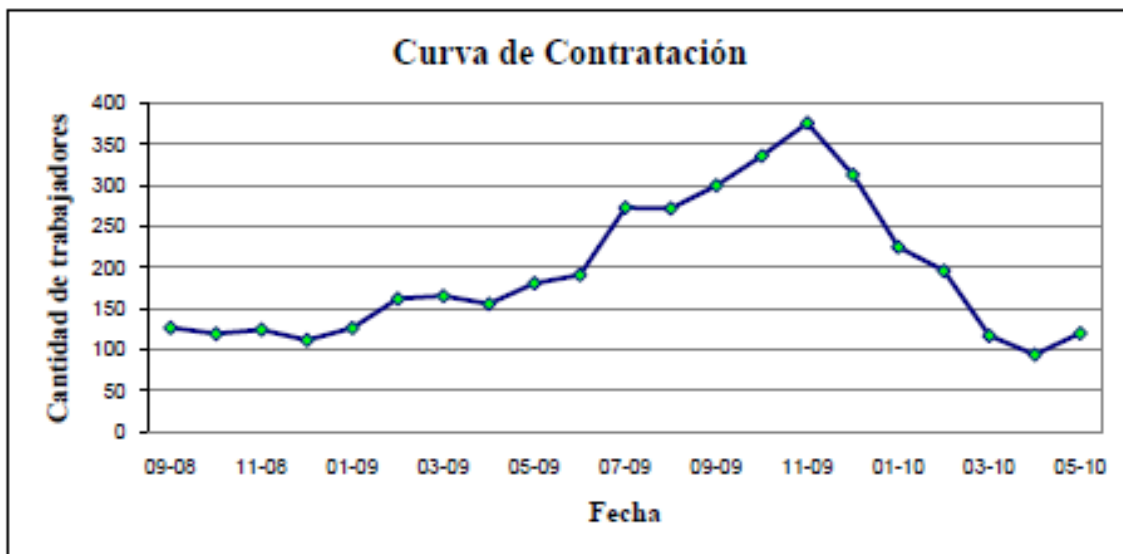


Ilustración 6-1 Curva de contratación para edificio de 22 pisos con sistema tradicional.

Fuente: Daniela Ruano, 2010.

6.4.3 Ambiental

Para evaluar en términos ambientales la construcción se realizó un cálculo de huella de carbono a partir del transporte de materiales y su dióxido de carbono producido. El valor se basa a partir del trabajo de Emina Deumic et al. (2010) donde se establece una cantidad de 6,5 kg de CO₂ por cada milla de transporte, siendo por lo tanto 4,04 kg de CO₂ por cada kilómetro de transporte de material.

Para entregar una aproximación a la cantidad de carbono producto de cada sistema constructivo se buscó la ubicación de diferentes proveedores de hormigón, acero y moldajes como se muestra en la tabla 6-4, la distancia que tienen hasta el proyecto de recoleta y se estimó una cantidad de viajes por material según sistema constructivo como se muestra en la tabla 6-5.

Tabla 6-4 Proveedores de materiales y su ubicación . Fuente: Elaboración propia.

Proveedor	Material	Ubicación	Distancia [km]
MELON	Hormigón	San Bernardo	25,4
TRALIX	Hormigón prefabricado	San Bernardo	26
BAUMAX	Hormigón prefabricado	Lampa	30,2
TENSOCRET	Hormigón prefabricado	Quilicura	10,1
ASERCON SPA	Moldaje	San Bernardo	33,6
FORM SCAFF	Moldaje	San Bernardo	22,7
ULMA	Moldaje	Pudahuel	25,3
PRODALAM	Acero	Renca	5,5
ARMACERO	Acero	Lampa	32,8
SACK	Acero	Quilicura	12,7

Tabla 6-5 Cantidad de viajes según sistema constructivo y material . Fuente: Elaboración propia.

Camiones	Hormigón	Acero	Moldaje
Marco in situ	146	70	38
Marco Prefabricado	146	70	15
Muro in situ	175	58	38
Muro Prefabricado de módulo pequeño	175	70	-
Muro Doble Prefabricado	175	58	-

Finalmente, se hizo una comparación en la producción de residuos según sistemas constructivos con datos entregados por REGEMAC y VICONSA en función de los metros construidos.

Se realizó también una revisión bibliográfica a la experiencia internacional con uso de elementos prefabricados y su relación con los residuos en obra.

6.4.4 Seguridad del cumplimiento

El control de cumplimiento de un proyecto está enfocado en verificar que los resultados y los entregables del proyecto cumplan con las especificaciones técnicas, normativas, estándares y requisitos especificados.

Las tres dimensiones de calidad que se verifican para la seguridad del cumplimiento son:

- a) Ingeniería: Revisión de planos y documentos de diseño, consistencia en base de datos, cantidad de materiales y órdenes de compra.
- b) Adquisiciones: Revisión de calidad del proveedor, inspección técnica de acuerdo al proyecto y reparación de defectos (no conformidades).
- c) Construcción: Cumplimiento de tolerancias, cumplimiento de especificaciones y reparación de defectos (no conformidades).

A estas tres dimensiones se les hace comentarios a partir de la bibliografía existente y experiencia de profesionales asociados a la construcción con prefabricado.

6.4.5 Social

En términos sociales el proyecto que se está evaluando debe ser estudiado en tres dimensiones:

- Tiempo de entrega
- Intervención urbana
- Calidad

Siendo la última dimensión verificada en el apartado 6.4.4 como “Seguridad del cumplimiento”, la dimensión de tiempo de entrega vista en 6.4.2 como “Plazos” y finalmente la intervención urbana es revisada en función de bibliografía y experiencia de profesionales asociados a la construcción.

7. Resultados y análisis

7.1 Prefabricado y su uso en Chile

En Chile el uso del prefabricado para levantar edificios todavía no llega a ser masivo, habiendo una reducida cantidad de proyectos que hayan sido o estén siendo levantados de forma completa bajo estos sistemas.

Para el caso de viviendas sociales se puede mencionar el proyecto “Lomas de Javiera” ubicado en Temuco, el cual contempla 10 torres de 5 pisos cada una, con una superficie total construida de 12.200 m². El proyecto se enmarca en el programa de subsidio habitacional extraordinario para viviendas de integración social decreto supremo D.S. 116 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU).

En el sector privado podemos mencionar la construcción del edificio “Céntrico Chillán” de 5 pisos de altura y 16 departamentos de entre 40 y 60 m². El proyecto se encuentra a la fecha en desarrollo, teniendo ya lista su obra gruesa con tiempos de entrega según sus desarrolladores previos a lo presupuestado. El sistema constructivo que se utilizó fue desarrollado por BAUMAX, compuesto con muros dobles y losas prefabricadas.

Respecto a los sistemas constructivos prefabricados que en Chile se usan, este trabajo de título se enfoca en dos: BAUMAX y TENSOCRET. Se hizo el intento de contactar a MOMENTA, pero esta se retiró del mercado volviéndose una empresa a la cual no se pudo contactar en ninguna instancia por lo cual la única información de esta a la que se pudo acceder es la que existe en la revista EMB y la que hay en la web del MINVU de su proyecto “Lomas de Javiera”.

Sobre los sistemas constructivos de BAUMAX y TENSOCRET, basado en la metodología de Leónidas Zapata (1983), se realizó una detallada descripción de ambas opciones como se puede ver en la Tabla 7-1, comparando sus diferencias en términos estructurales, fabricación, montaje, etc. La información fue adquirida por una visita a la planta de BAUMAX e información de TENSOCRET ubicada en su catálogo.

Para las losas se tomó información entregada por la CDT del sistema TRALIX de bovedillas, así como también el sistema de losas alveolares de HORMIPRET desde su página web. Para ambos sistemas constructivos (marcos y muros) se consideró el uso de losas prefabricadas o alveolares, por lo cual para la comparación esto fue indiferente en términos de plazo y costo de la construcción.

Tabla 7-1 Características de sistemas prefabricados. Fuente: Elaboración Propia.

Característica	TECNOCRET	BAUMAX
Sistema estructural	Marco Rígido	Grandes Paneles
Tipos de elementos producidos	Pilares, Vigas entrepiso portantes, Losetas nervadas, Vigas de techo pretensadas, Vigas puntal pretensadas, Costaneras pretensadas, Paneles industriales, Paneles Antepecho	Losas, Muros dobles, Muros macizos.
Tipo de prefabricación	Abierto con elementos pre y post tensados	Abierto con muros dobles
Fabricación de elementos	Fabricación fija	Fabricación fija
Materiales usados	Acero A63-42H en la enfierradura; Malla electro soldada de AT 56-50H, hormigón H30 y H40.	Hormigón MELÓN con dosis IDIEM, mallas electro soldadas
Estructura tipo	Tipología de PISOS (edificaciones) o NAVES (galpones industriales)	Casas de 1 o 2 pisos, Edificios de 5 pisos
Características de los elementos	Vigas entrepiso: máximo 12m de largo, 60cm de alto y 60cm de ancho	Elementos con sistema de anclaje para izaje
	Losetas nervadas: máximo 10-12m de largo, 5cm de espesor, 12,5cm de ancho	Elementos con sistema de anclaje para alza primado
	Pilares: máximo 25-27m de alto, 12cm de ancho y 10cm de profundidad	Muros de aprox. 3,5 toneladas
	Paneles industriales: máximo 14m de alto, 2,6m de ancho y 25cm de espesor	
Montaje de los elementos	Uniones húmedas in situ	Sistema de unión de muros con cable trenzado y grouting, Unión a losas con grouting

7.2 Construcción prefabricada en el mundo

Las ventajas que han llevado a los países del primer mundo a industrializar sus construcciones a través de sistemas prefabricados, como podemos ver en los trabajos de Thomas Linner (2012) y Emina Deumic (2010), responde a las siguientes dimensiones fundamentales:

- **Políticas de Zero-Waste (cero residuos):** el prefabricado como sistema constructivo promueve la alta sofisticación industrial en términos de circulación de recursos. Además de la fabricación en planta, la cantidad de residuos en obra se reduce bruscamente al haber pérdida prácticamente nula de materiales al transformar la construcción al ejercicio de montar elementos.
- **Producción orientada a la calidad:** entregar viviendas de un alto estándar es una de las claves del mercado japonés de prefabricado, donde el alto nivel de involucramiento que tiene el usuario previo a la compra es fundamental. La automatización de la producción japonesa se encuentra en la búsqueda de una cadena 100% libre de errores que haga aumentar la confiabilidad.
- **Despliegue rápido en sitio:** en la última etapa en la fábrica, los elementos prefabricados se empacan de manera tal que sean transportadas al lugar dónde serán levantados, todo de forma seriada y medida. Luego de recibido el paquete, en el sitio trabajadores calificados (ni Toyota ni Suzuki contratan trabajadores de “bajo costo”) levantan los elementos en un plazo de un mes aproximadamente. Este método permite disminuir los errores al mínimo y entregar una vivienda de calidad.

De manera complementaría se presenta la Tabla 7-2 donde Emina Deumic (2010) concluye que en términos de costos el prefabricado de muros dobles es marginalmente superior al sistema tradicional en sitio. La diferencia importante puede ser observada en términos de tiempo donde se reduce a la mitad las horas de construcción de muros en comparación al sistema tradicional.

Cabe mencionar que el sueldo mínimo para trabajadores de la construcción en Suecia es de unos \$15.000 pesos la hora y trabajando 160 horas al mes serían unos \$2.400.000, por lo que considerar esto es importante para comparar el hecho que estén tan cerca los precios de construir prefabricado con el sistema en sitio.

Tabla 7-2 Costo y Plazo del uso de Muro doble frente al tradicional en Suecia. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).

	Muro in situ	Muro doble
Cubicación	1469 m2	1466 m2
Costo directo	3024 UF	4127 UF
Costo indirecto	3680 UF	2963 UF
Gastos generales	919 UF	832 UF
Costo total	7623 UF	7922 UF
Tiempo	2239 horas	1003 horas

7.3 Plazo y Costo

En este apartado se entregan valores para la comparación, se separan los resultados según plazo y costo.

Se debe acotar que el sistema “muro in situ” no fue estudiado su plazo por falta de información asociada al rendimiento.

En el anexo se adjuntan las fuentes tanto para rendimientos y costos directos.

7.3.1 Plazos

Se desarrollaron valores para “Hombre día por metro cuadrado” basado en los antecedentes ya expuestos, para luego llevar estos valores al proyecto de Recoleta y realizar una comparación en términos de tiempo de construcción de obra gruesa.

De los resultados expuestos en las tablas 7.3 y 7.4 podemos mencionar que:

- El muro doble es el sistema con menor tiempo de construcción.
- El marco prefabricado presenta un plazo mayor que el sistema tradicional, esto se debe a que el rendimiento está desactualizado (1983). Este plazo debiese ser reducido con una información actualizada.
- El sistema tradicional presenta valores de más de 1 piso al mes, lo que se encuentra dentro del rango que la CChC entrega como promedio chileno.
- El marco prefabricado de módulo pequeño, a pesar de que hoy no tiene exponentes que produzcan estos elementos como lo fue el KPD, sigue siendo un sistema eficiente frente al tradicional.

Tabla 7-3 Rendimientos según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.

Sistema constructivo	HD/m2
Marco tradicional 22 pisos	0,969
Marco prefabricado	1,171
Muro prefabricado de módulo pequeño	0,825
Muro doble prefabricado	0,619

Tabla 7-4 Plazos para el proyecto de Recoleta según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.

Sistema constructivo	Plazo en meses de obra gruesa Recoleta
Marco tradicional 22 pisos	4,8
Marco prefabricado	5,9
Muro prefabricado de módulo pequeño	4,1
Muro doble prefabricado	3,1

7.3.2 Costos

Se desarrollaron valores para “UF por metro cuadrado” basado en los antecedentes de cubicaciones ya expuestos, para luego llevar estos valores al proyecto de Recoleta y realizar una comparación en términos de costo directo de construcción de obra gruesa.

De los resultados expuestos en las tablas 7-5, 7-6 y 7-7 podemos mencionar que:

- El valor de marco y muro en sitio resultan similares a pesar de tener cubicaciones diferentes.
- El muro prefabricado de módulo pequeño tiene un valor muy similar al muro doble, pero a medida que aumenta el costo de la mano de obra el muro doble se vuelve más atractivo económicamente.
- De los sistemas de marcos prefabricados es el más económico de los sistemas prefabricados, llegando a ser incluso un 12% mayor que el sistema tradicional cuando aumenta a 2,5 veces el costo de mano de obra.
- A medida que aumenta el costo en la mano de obra, los valores se acercan más a lo que se ve en la experiencia internacional japonesa o sueca.
- El sistema tradicional, a medida que aumenta el costo en mano de obra, aumenta de un 17% a 52%.
- El sistema prefabricado de muro doble, aumenta de un 11% a un 33%.

De forma complementaria se grafican los valores de la Tabla 7-7 en la Ilustración 7-1, permitiendo así observar el comportamiento según aumento en el costo de la mano de obra.

Tabla 7-5 Costos en términos de UF por metro cuadrado según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

Sistemas Constructivos/ Valor m2	UF/m2 x 1,0	UF/m2 x 1,5	UF/m2 x 2,0	UF/m2 x 2,5
Marco in situ	3,17	3,73	4,28	4,84
Marco Prefabricado	4,46	4,99	5,51	6,03
Muro in situ	3,18	3,73	4,29	4,85
Muro Prefabricado de módulo pequeño	4,90	5,55	6,21	6,86
Muro Doble Prefabricado	4,91	5,46	6,02	6,57

Tabla 7-6 Valor en UF de levantar obra gruesa de proyecto de Recoleta según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

Sistemas Constructivos/ Contrato	Contrato Recoleta UF x 1,0	Contrato Recoleta UF x 1,5	Contrato Recoleta UF x 2,0	Contrato Recoleta UF x 2,5
Marco in situ	14863,10	17464,14	20065,19	22666,23
Marco Prefabricado	18925,27	21150,18	23375,09	25600,00
Muro in situ	14889,65	17495,34	20101,03	22706,72
Muro Prefabricado de módulo pequeño	20787,74	23560,75	26333,77	29106,79
Muro Doble Prefabricado	20839,27	23181,73	25524,19	27866,64

Tabla 7-7 Porcentaje de costo en comparación al sistema tradicional según sistema constructivo y según ponderador de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

	% Contrato frente a marco in situ x 1,0	% Contrato frente a marco in situ x 1,5	% Contrato frente a marco in situ x 2,0	% Contrato frente a marco in situ x 2,5
Marco Prefabricado	27,3%	21,1%	16,5%	12,9%
Muro in situ	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Muro Prefabricado de módulo pequeño	39,9%	34,9%	31,2%	28,4%
Muro Doble Prefabricado	40,2%	32,7%	27,2%	22,9%

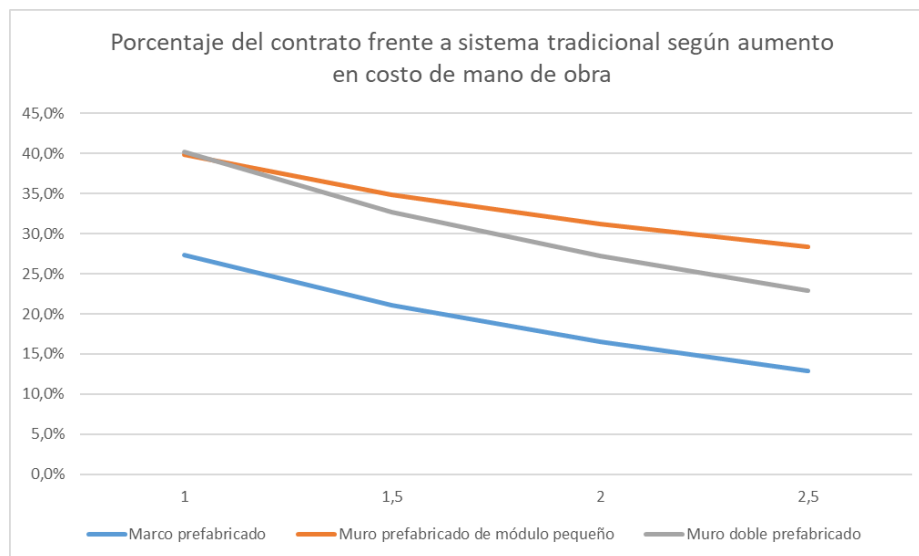


Ilustración 7-1 Porcentaje del contrato frente a sistema tradicional según aumento en costo de mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

7.4 Sostenibilidad

El programa CONSTRUYE 2025 tiene diversos Ejes Estratégicos como se puede ver en la Ilustración 7-2, en donde el Eje Ambiental tiene como indicador el reducir en 30% la huella de carbono equivalente.

A partir de las cubicaciones de materiales y las distancias recorridas según cada sistema, se entregan valores de emisión de dióxido de carbono equivalente y un porcentaje de comparación con el método tradicional de marco en sitio en la tabla 7-8.

Respecto al manejo de residuos en obra que propone CORFO, la experiencia indica que en Chile la falta de datos ha sido un factor importante para que tanto la CDT, la CTeC y CONSTRUYE 2025 no tengan certeza de cuanto porcentaje de los residuos totales corresponde a construcción.

Las estimaciones que se manejan hablan de entre un 23-34% de la basura total correspondería a residuos de obra, lo que sería por debajo del valor internacional (30-40%). Además, la empresa VICONSA elaboró un cálculo de residuos según metro construido de obra, siendo este valor 0,26 m³ por m² de construcción bajo sistemas tradicionales.

La empresa REGEMAC, dedicada al movimiento de residuos de construcción, entrega un valor de 0,138 m³ por m² para construcciones en altura (más de 4 pisos) y 0,250 m³ por m² para extensiones de viviendas, lo que sirve para comparar un rango posible de residuos producto de la construcción.

En la Tabla 7-9 se entregan estimaciones de residuos según sistemas constructivos, esto calculado en función del porcentaje de hormigón en sitio que corresponde a cada sistema y que el prefabricado al ser todo montado en obra, sus residuos asociados al hormigón pueden considerarse marginales.

De los valores obtenidos para el carbono equivalente y los residuos en obra se puede decir que:

- El sistema de marco prefabricado es el que menos emite dióxido de carbono equivalente por concepto de transporte de materiales, siendo una reducción mayor al 30% que está buscando CORFO.
- El muro doble prefabricado representa un aumento del 6% frente al marco in situ, y una reducción del 9% frente al muro in situ.
- El prefabricado significa una reducción de al menos un 50% de los residuos que hoy día se estima que se generan en obra, además de representar una mejor gestión de estos tanto durante la obra como en el proceso de demolición de las estructuras.
- La construcción con elementos prefabricados significa una mejor gestión y control de los residuos producidos en obra y planta, lo que representa uno de los objetivos hoy existentes en CORFO dada la falta de información disponible para elaborar políticas correspondientes.

Tabla 7-8 Cantidad de dióxido de carbono en base a kilómetros recorridos según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.

Sistemas Constructivos	Kilómetros recorridos	Toneladas de CO2	% frente marco in situ
Marco in situ	4.940	20	
Marco Prefabricado	2.702	11	55%
Muro in situ	5.617	23	114%
Muro Doble Prefabricado	5.225	21	106%

Tabla 7-9 Cantidad de residuos en metros cúbicos según sistema constructivo. Fuente: VICONSA y REGEMAC.

Sistemas Constructivos	Residuos según VICONSA [m3]	Residuos según REGEMAC [m3]
Marco in situ	910	483
Marco Prefabricado	455	242
Muro in situ	910	483
Muro Doble Prefabricado	455	242



Ilustración 7-2 Ejes Estratégicos y Recursos Transversales del programa CONSTRUYE 2025. Fuente: CORFO.

8. Conclusiones

8.1 Factores económicos

Finalizando este trabajo se puede concluir respecto a lo económico de construir con prefabricado:

- Los sistemas prefabricados, ya sean de muros o marcos, se observan con un costo de obra gruesa de un 20-30% más caro que los sistemas tradicionales, lo que es compensado con un ahorro de 40% en tiempo de construcción para el caso de muro doble.
- Los sistemas prefabricados se comportan mejor cuando aumenta el costo de la mano de obra, aumentando en un menor porcentaje, a diferencia de los sistemas tradicionales. Esto es importante de analizar para el sector de construcción que, en búsqueda de industrializarse, requiere de mayor especialización de sus trabajadores como lo es en la experiencia internacional.
- Para el caso japonés, los sistemas prefabricados son vistos como un mercado “high-end” o de “alto estándar” y para clase media, lo que habla de productos de calidad e, incluso, entregando un servicio completo de garantía de la estructura que puede ir de 10 a 20 o 30 años.
- En el análisis sueco el prefabricado muestra un valor mayor frente al sistema tradicional, lo que se compensa con una construcción en la mitad del tiempo. Esto nos entrega un sustento para afirmar que, a pesar de que se vea un mayor costo en la obra gruesa, el tiempo que se ahorra compensa esta situación.
- La experiencia de profesionales afirma que los sistemas tradicionales presentan mayores imprevistos que en los sistemas prefabricados, lo que se traduce en: pérdidas de material, tiempos muertos, atrasos en la entrega.

Se concluye que, según lo evaluado económicamente, la construcción prefabricada de viviendas sociales representa una oportunidad de: entregar en menor tiempo y con mayor seguridad del plazo; de realizar una construcción de calidad y bajo estándares internacionales; y que el mayor costo en obra gruesa se ve compensado en una obra de calidad y con tiempos seguros de entrega.

8.2 Factores sociales

Respecto a lo social en la construcción de prefabricado podemos decir que:

- Que se disminuyan los tiempos de construcción representa una mejoría en términos de contaminación acústica, polvo en suspensión y cantidad de camiones en circulación para quienes viven en los alrededores de la obra.
- La seguridad en los plazos de entrega representa una mejora frente a los sistemas tradicionales, tomando en consideración la necesidad habitacional que hoy vive Chile.
- Prefabricar la construcción implica mayor planificación en la seguridad de la obra y una disminución en los accidentes laborales.

Se puede concluir que una construcción industrializada no sólo tiene una dimensión económica de mejoras, sino también una de beneficios sociales ligados a la menor intervención urbana, mejoras en la seguridad laboral y, frente a la alta necesidad de viviendas en comunas como Recoleta, una construcción que se realiza en plazos seguros y con tiempos menores.

8.3 Factores ambientales

Se puede concluir sobre sostenibilidad que:

- La construcción prefabricada logra disminuir los residuos en al menos un 50% frente a los sistemas tradicionales, lo que aporta tanto en gestión de residuos de construcción como en menores costos asociados a esto.
- Para la situación actual, el movimiento de camiones para construir con marcos prefabricados en Recoleta representa una disminución del 45% en la huella de carbono frente a los sistemas tradicionales y el traslado de elementos de muro prefabricados representa un porcentaje bastante cercano al producido hoy por sistemas tradicionales.
- Industrializar la construcción no sólo mejora la gestión de residuos en obra, además la mejora en términos de control al prefabricar los elementos en planta.

Queda todavía integrar las plantas de prefabricado de manera que las distancias mejoren, esto en perspectiva a lo que hoy generan como dióxido de carbono equivalente al medio ambiente sus largas distancias, además de una mayor cantidad de datos que permitan estimar mejor la cantidad de contaminación. Lo mismo sucede con los residuos de construcción donde, a nivel mundial, estos representan casi un 40% de todo lo que

se desecha, haciendo urgente un mejor control y gestión de estos a través de la industrialización de todo el proceso constructivo desde la planta hasta la obra.

8.4 Proyecciones

Las mejoras que se proyectan a través de lo expuesto serían:

- Una mejor respuesta del costo de obra gruesa frente al aumento en el pago a trabajadores.
- Una mejor gestión de residuos y una reducción en la huella de carbón, sujeto a mejoras en las tecnologías y posición de las plantas de prefabricado.
- Mejores tiempos de entrega en una situación crítica de viviendas sociales.
- Aumento en la calidad de la construcción en factores como seguridad en plazos, costos, seguridad laboral, terminaciones, etc.
- Menor intervención urbana (ruidos, polvo, desplazamiento de camiones, etc.) dada la disminución en los tiempos de construcción.

La construcción de edificios con elementos prefabricados, ya sea destinados a viviendas sociales o de “high-end market”, se proyecta como una mejora en las tres dimensiones que se evalúan desde una construcción sustentable.

Esto hace que el prefabricado se vuelva una opción de construcción atractiva en la medida que se castiguen a través de normativas: la mala gestión de residuos, los plazos incumplidos, la intervención urbana prolongada, etc. Tal y cómo el programa CONSTRUYE 2025 se encuentra gestionando a través de sus ejes estratégicos.

Entre las opciones de sistemas prefabricados se observan pros y contras como:

- El sistema de marco es el sistema prefabricado más económico y el de menor producción de dióxido de carbono equivalente, pero el con mayor riesgos sísmicos asociadas dada la experiencia del 2010.
- El sistema de muros dobles es un sistema seguro en términos sísmicos y, a pesar de aumentar el costo en comparación al sistema de marco, sus plazos de entrega son menores que este.
- La mayor debilidad observada del sistema de muros dobles es su producción de dióxido de carbono equivalente, lo que puede ser mejorado a través de la construcción de una planta en la zona de San Bernardo o zona sur de Santiago.

9. Bibliografía

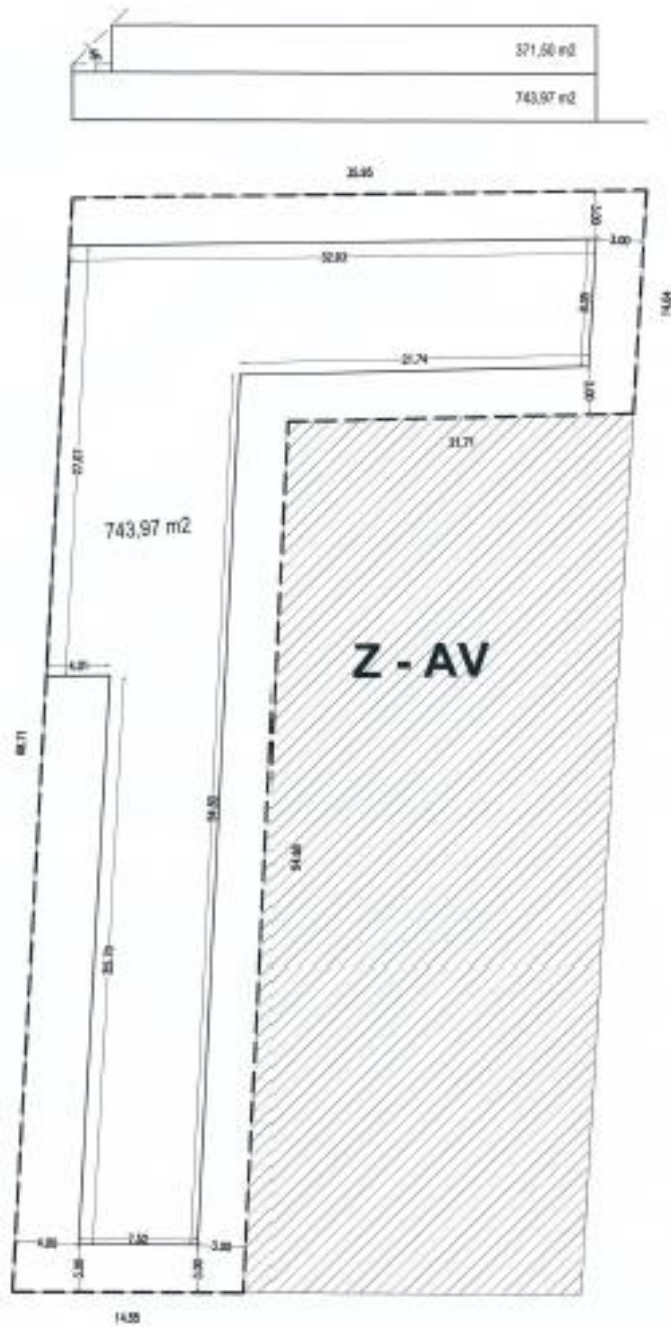
- [1] O. Zacarelli, «Industrialización sin Industria» Santiago, Chile, 2017.
- [2] L. Zapata, «Evolución de la prefabricación de viviendas de mediana altura en Chile» Santiago, Chile, 1983.
- [3] T. Linner et al. «Evolution of large-scale industrialisation and service innovation in Japanese prefabrication industry» Munich, Alemania, 2012.
- [4] W. Ning et al. «Analysis on key factors to affect construction industrialization development in China» Xi'an, China, 2010.
- [5] K. Hamada et al. «Development of automated construction system for high-rise reinforced concrete buildings» Kiyose, Japan, 1998.
- [6] F. Watanabe «Structural Design and Construction Practice of Precast Concrete Buildings in Japan» Santiago, Chile, 2015.
- [7] Corporación de Desarrollo Tecnológico «Análisis de la productividad en Obras de Edificaciones en Chile» Santiago, Chile, 2011.
- [8] D. Ruano «Análisis de los plazos de construcción de edificios en Chile y su relación con los métodos constructivos utilizados» Santiago, Chile, 2010.
- [9] E. Deumic et al. «Evaluation of double walls as a construction method» Vaxjo, Suecia, 2010.
- [10] I. Garrido «Estudio de Daños en Estructuras Industriales Prefabricadas de Hormigón Armado a Consecuencia del Terremoto del 27 de febrero del 2010» Santiago, Chile, 2011.
- [11] Cámara Chilena de la Construcción «Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Construcción» Santiago, Chile, 2014.
- [12] Comisión de Diseño Estructural en Hormigón Armado y Albañilerías «Código de Diseño de Hormigón Armado. Basado en el ACI 318-95» Santiago, Chile, 2000.
- [13] Norma Chilena Oficial «Diseño Sísmico de estructuras e instalaciones industriales NCh 2369.Of2003» Santiago, Chile, 2003.
- [14] POSTELÉCTRICA FABRICACIÓN S.A «SISTEMA CONSTRUCTIVO arquitectura vertida» Palencia, España, 2010.

- [15] PREFABRICADOS ESTRUCTURALES S.A «CATÁLOGO Sistema Tensocret» Santiago, Chile, 2014.
- [16] Y. LUO et al. «Experimental Research on Seismic Behaviour of the Concrete-Filled Double-Steel-Plate Composite Wall» Shangai, China, 2015.
- [17] Cámara Chilena de la Construcción «BALANCE DE VIVIENDA SOCIAL Y ENTORNO URBANO 2017» Santiago, Chile, 2017.
- [18] Certificado Edificación Sustentable «Manual de Herramientas de Evaluación y Cálculo, versión 1» Santiago, Chile, 2014.

10. Anexos

ESTUDIO DE CABIDA /AV. ZAPADORES Nº1105																																									
<table border="1"> <tr> <td>LOTE</td> <td>SUPERFICIE</td> </tr> <tr> <td>MZ 6113</td> <td>1291,31</td> </tr> </table>	LOTE	SUPERFICIE	MZ 6113	1291,31	<table border="1"> <tr> <td>PRC 2005</td> </tr> <tr> <td>ZONA U-H EB1</td> </tr> </table>	PRC 2005	ZONA U-H EB1																																		
LOTE	SUPERFICIE																																								
MZ 6113	1291,31																																								
PRC 2005																																									
ZONA U-H EB1																																									
USO PERMITIDO	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO ESCALA VECINAL																																								
USOS RESTRINGIDOS	EQUIPAMIENTO DE ESCALA COMUNAL (20M)																																								
	TRANSPORTE TIPO B Y C																																								
USOS PROHIBIDOS	EQUIPAMIENTO ESCALA INTERCOMUNAL, ACTIVIDADES																																								
	PERODUCTIVA, ALMACENAMIENTO																																								
	TRANSPORTE TIPO A Y GARAJES.																																								
	LOS NO EXPRESAMENTE PERMITIDOS																																								
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CONDICIONES NORMATIVAS</th> </tr> <tr> <td>DENSIDAD MÁXIMA</td> <td>450 hab/ha</td> </tr> <tr> <td>SUP. PREDIAL MÍNIMA</td> <td>160 m²</td> </tr> <tr> <td>COEF. MÁX. CONST.</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO</td> <td>A: 0,6</td> </tr> <tr> <td>ALTURA MÁXIMA</td> <td>A: 9 m</td> </tr> </table>	CONDICIONES NORMATIVAS		DENSIDAD MÁXIMA	450 hab/ha	SUP. PREDIAL MÍNIMA	160 m ²	COEF. MÁX. CONST.	1,0	COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO	A: 0,6	ALTURA MÁXIMA	A: 9 m	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">PROYECTO / CABIDA</th> </tr> <tr> <td>DENSIDAD</td> <td>430,77 HAB/HA</td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>SUP. PREDIAL</td> <td>1291,31 m²</td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>SUP. CONST</td> <td>1115,47 m²</td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>SUP. 1ER PISO</td> <td>743,97 m²</td> <td>CUMPLE</td> </tr> <tr> <td>ALTURA</td> <td>6,0 m</td> <td>CUMPLE</td> </tr> </table>	PROYECTO / CABIDA			DENSIDAD	430,77 HAB/HA	CUMPLE	SUP. PREDIAL	1291,31 m ²	CUMPLE	SUP. CONST	1115,47 m ²	CUMPLE	SUP. 1ER PISO	743,97 m ²	CUMPLE	ALTURA	6,0 m	CUMPLE										
CONDICIONES NORMATIVAS																																									
DENSIDAD MÁXIMA	450 hab/ha																																								
SUP. PREDIAL MÍNIMA	160 m ²																																								
COEF. MÁX. CONST.	1,0																																								
COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO	A: 0,6																																								
ALTURA MÁXIMA	A: 9 m																																								
PROYECTO / CABIDA																																									
DENSIDAD	430,77 HAB/HA	CUMPLE																																							
SUP. PREDIAL	1291,31 m ²	CUMPLE																																							
SUP. CONST	1115,47 m ²	CUMPLE																																							
SUP. 1ER PISO	743,97 m ²	CUMPLE																																							
ALTURA	6,0 m	CUMPLE																																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="4">CÁLCULOS DE VIVIENDA</th> </tr> <tr> <td></td> <td>TOTAL CONST.</td> <td>COEF.</td> <td>M2</td> </tr> <tr> <td>CIRCULACIONES</td> <td>1115,47</td> <td>0,3</td> <td>334,641</td> </tr> <tr> <td>VIVIENDAS</td> <td>1115,47</td> <td>334,641</td> <td>780,829</td> </tr> <tr> <td></td> <td>M2</td> <td>M2 VIVIENDA</td> <td>UNIDADES</td> </tr> <tr> <td>UNIDAD DE VIVIENDAS</td> <td>780,829</td> <td>55</td> <td>14,20</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VIVIENDAS</td> <td>HAB.</td> <td>TOTAL HAB.</td> </tr> <tr> <td>HABITANTES</td> <td>14</td> <td>4</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td></td> <td>HAB.</td> <td>HA.</td> <td>HAB/HA</td> </tr> <tr> <td>DENSIDAD</td> <td>56</td> <td>0,13</td> <td>430,77</td> </tr> </table>		CÁLCULOS DE VIVIENDA					TOTAL CONST.	COEF.	M2	CIRCULACIONES	1115,47	0,3	334,641	VIVIENDAS	1115,47	334,641	780,829		M2	M2 VIVIENDA	UNIDADES	UNIDAD DE VIVIENDAS	780,829	55	14,20		VIVIENDAS	HAB.	TOTAL HAB.	HABITANTES	14	4	56		HAB.	HA.	HAB/HA	DENSIDAD	56	0,13	430,77
CÁLCULOS DE VIVIENDA																																									
	TOTAL CONST.	COEF.	M2																																						
CIRCULACIONES	1115,47	0,3	334,641																																						
VIVIENDAS	1115,47	334,641	780,829																																						
	M2	M2 VIVIENDA	UNIDADES																																						
UNIDAD DE VIVIENDAS	780,829	55	14,20																																						
	VIVIENDAS	HAB.	TOTAL HAB.																																						
HABITANTES	14	4	56																																						
	HAB.	HA.	HAB/HA																																						
DENSIDAD	56	0,13	430,77																																						

Anexo 1. Estudio de Cabida LOTE MZ6113. Fuente: Municipalidad de Recoleta.



LOTE MZ 6113

Anexo 2. Plano de Estudio de Cabida LOTE MZ 6113. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

ESTUDIO DE CABIDA / CALLE JUSTICIA SOCIAL - LEONOR OSÓRIO S/N

LOTE A	SUPERFICIE 2215,00
-----------	-----------------------

PRC 2005 ZONA E-M1 ÁREA EDIF. MEDIA
--

USO PERMITIDO
USOS RESTRINGIDOS
USOS PROHIBIDOS

VIVIENDA, EQUIPAMIENTO ESCALA VECINAL
EQUIPAMIENTO DE ESCALA COMUNAL (20M)
TRANSPORTE TIPO B Y C
EQUIPAMIENTO ESCALA INTERCOMUNAL, ACTIVIDADES
PERODUCTIVA, ALMACENAMIENTO
TRANSPORTE TIPO A Y GARAJES.
LOS NO EXPRESAMENTE PERMITIDOS

*Area 80.000.000 / Depto.
⇒ ≈ 4.000 millones el edificio*

CONDICIONES NORMATIVAS

DENSIDAD MÁXIMA	1200 hab/ha
SUP. PREDIAL MÍNIMA	600 m ²
COEF. MÁX. CONST.	1,6
COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO	A: 0,4
ALTURA MÁXIMA	A: 20 m

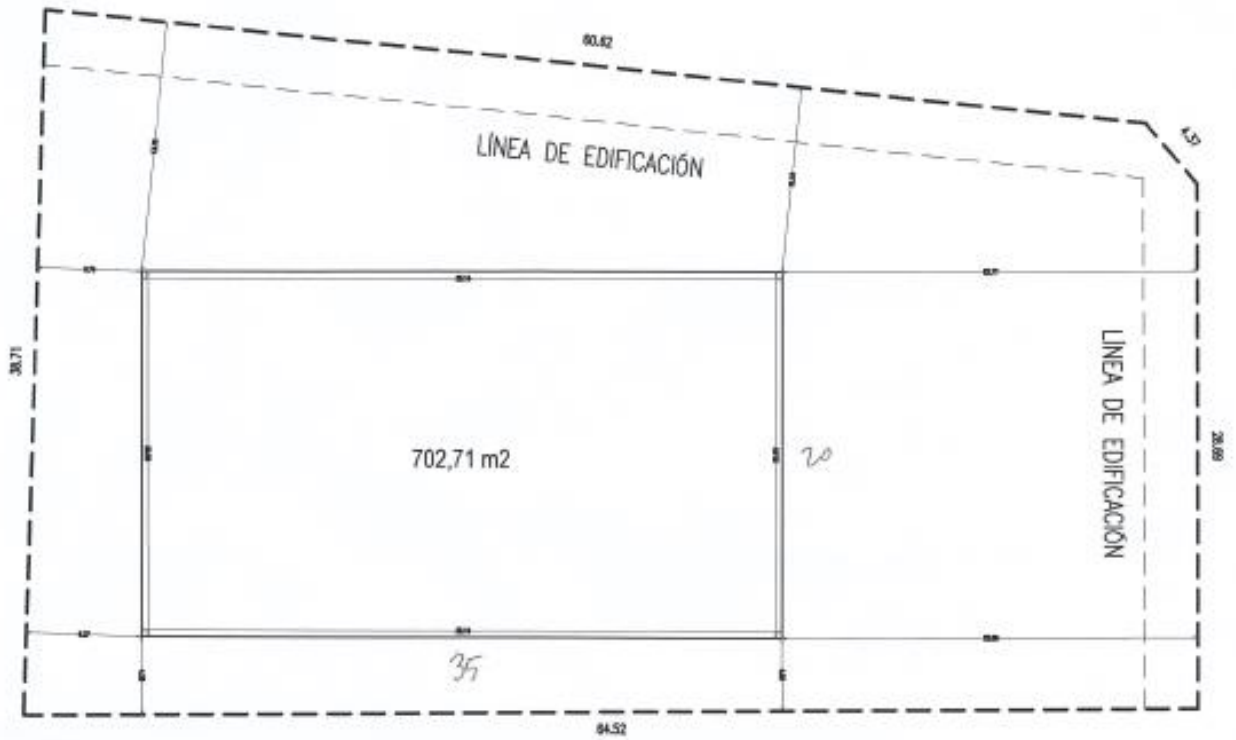
PROYECTO / CABIDA

DENSIDAD	818,18 HAB/HA	CUMPLE
SUP. PREDIAL	2215,00 m ²	CUMPLE
SUP. CONST	3513,55 m ²	CUMPLE
SUP. 1ER PISO	702,71 m ²	CUMPLE
ALTURA	15,0 m	CUMPLE

CÁLCULOS DE VIVIENDA

	TOTAL CONST.	COEF.	M2
CIRCULACIONES	3513,55	0,3	1054,065
VIVIENDAS	3513,55	1054,065	2459,485
	M2	M2 VIVIENDA	UNIDADES
UNIDAD DE VIVIENDAS	2459,485	55	44,72
	VIVIENDAS	HAB.	TOTAL HAB.
HABITANTES	45	4	180
	HAB.	HA.	HAB/HA
DENSIDAD	180	0,22	818,18

Anexo 3. Estudio de Cabida LOTE A. Fuente: Municipalidad de Recoleta.



LOTE A

Anexo 4. Plano de Estudio de Cabida LOTE A. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

ESTUDIO DE CABIDA / CALLE JUSTICIA SOCIAL - LEONOR OSORIO S/N

LOTE B1	SUPERFICIE 873,85
------------	----------------------

PRC 2005 ZONA U-H PREF. VIVIENDA

USO PERMITIDO	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO ESCALA VECINAL
USOS RESTRINGIDOS	EQUIPAMIENTO DE ESCALA COMUNAL (20M) TRANSPORTE TIPO B Y C
USOS PROHIBIDOS	EQUIPAMIENTO ESCALA INTERCOMUNAL, ACTIVIDADES PERODUCTIVA, ALMACENAMIENTO TRANSPORTE TIPO A Y GARAJES. LOS NO EXPRESAMENTE PERMITIDOS

CONDICIONES NORMATIVAS

DENSIDAD MÁXIMA	1200 hab/ha
SUP. PREDIAL MÍNIMA	600 m ²
COEF. MÁX. CONST.	1,6
COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO	A: 0,4
ALTURA MÁXIMA	A: 20 m

PROYECTO / CABIDA

DENSIDAD	781,61 HAB/HA	CUMPLE
SUP. PREDIAL	873,85 m ²	CUMPLE
SUP. CONST	1327,73 m ²	CUMPLE
SUP. 1ER PISO	334,78 m ²	CUMPLE
ALTURA	12,0 m	CUMPLE

CÁLCULOS DE VIVIENDA

	TOTAL CONST.	COEF.	M2
CIRCULACIONES	1327,73	0,3	398,319
VIVIENDAS	1327,73	398,319	929,411
UNIDAD DE VIVIENDAS	M2 929,411	M2 VIVIENDA 55	UNIDADES 16,90
HABITANTES	VIVIENDAS 17	HAB. 4	TOTAL HAB. 68
DENSIDAD	HAB. 68	HA. 0,087	HAB/HA 781,61

Anexo 5. Estudio de Cabida LOTE B1. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

ESTUDIO DE CABIDA / SANTA BÁRBARA Nº3985

LOTE	SUPERFICIE
	277,29

PRC 2005
ZONA U-H

USO PERMITIDO	VIVIENDA, EQUIPAMIENTO ESCALA VECINAL
USOS RESTRINGIDOS	EQUIPAMIENTO DE ESCALA COMUNAL (20M) TRANSPORTE TIPO B Y C
USOS PROHIBIDOS	EQUIPAMIENTO ESCALA INTERCOMUNAL, ACTIVIDADES PERODUCTIVA, ALMACENAMIENTO TRANSPORTE TIPO A Y GARAJES. LOS NO EXPRESAMENTE PERMITIDOS

CONDICIONES NORMATIVAS

DENSIDAD MÁXIMA	450 hab/ha
SUP. PREDIAL MÍNIMA	160 m ²
COEF. MÁX. CONST.	1,0
COEF. MÁX. OCUP. DE SUELO	A: 0,6
ALTURA MÁXIMA	A: 9 m

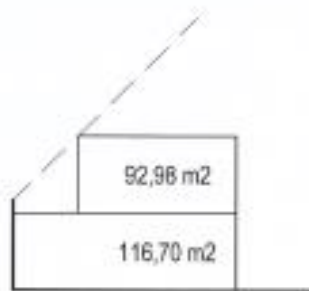
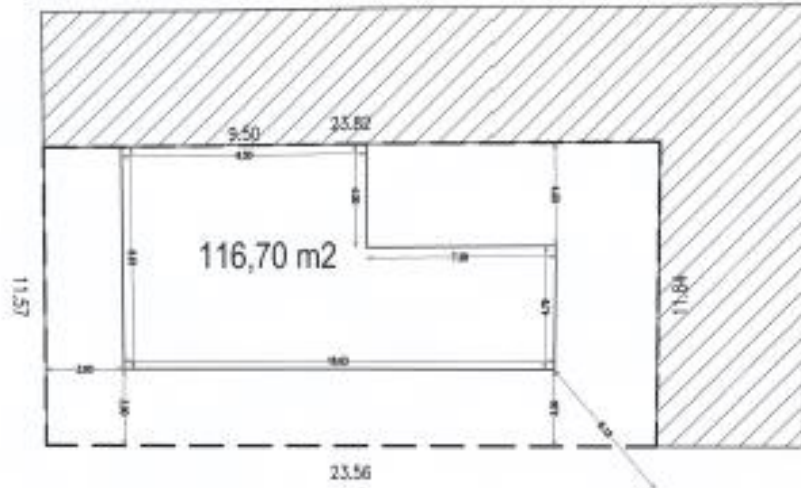
PROYECTO / CABIDA

DENSIDAD	425,57 HAB/HA	CUMPLE
SUP. PREDIAL	277,29 m ²	CUMPLE
SUP. CONST	209,68 m ²	CUMPLE
SUP. 1ER PISO	116,70 m ²	CUMPLE
ALTURA	6,0 m	CUMPLE

CÁLCULOS DE VIVIENDA

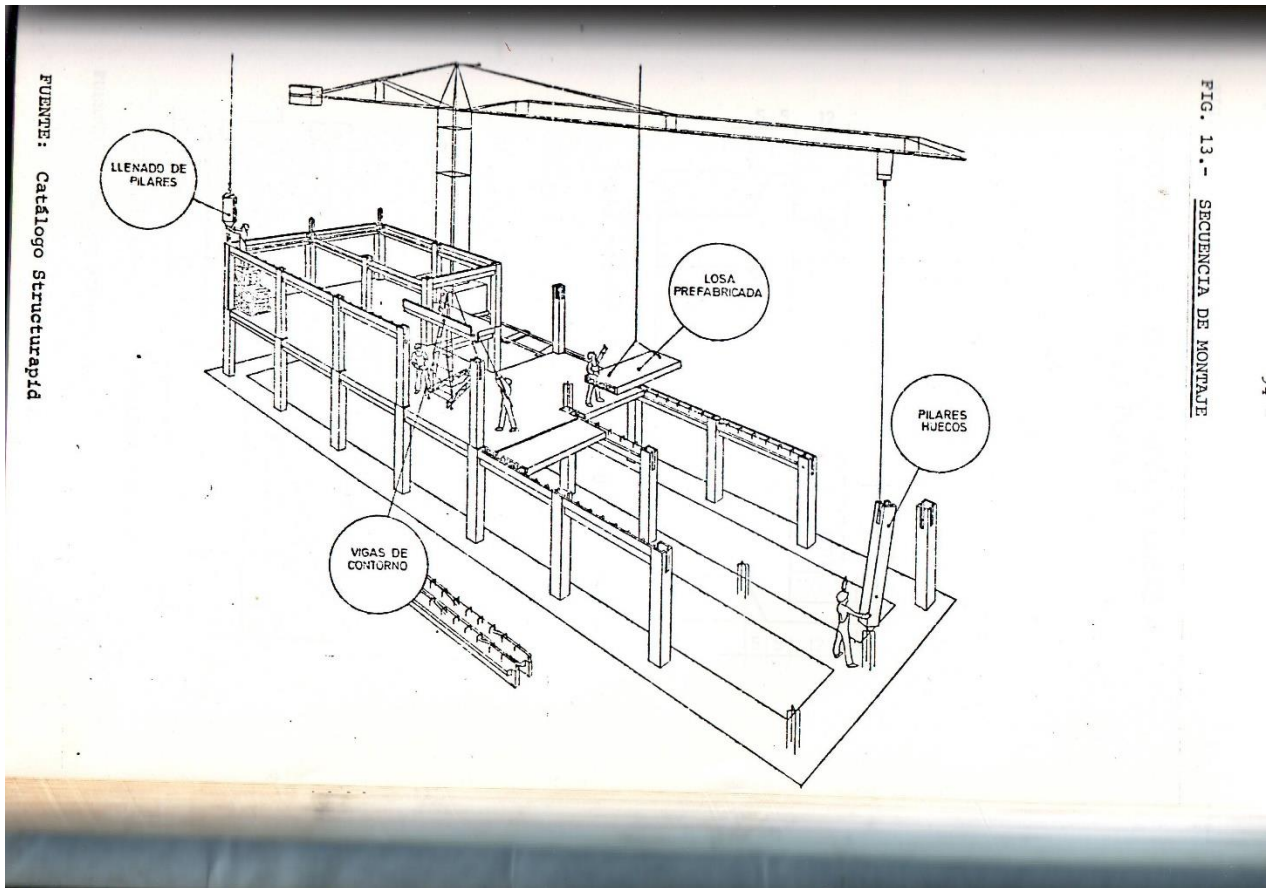
	TOTAL CONST.	COEF.	M2
CIRCULACIONES	209,68	0,3	62,904
VIVIENDAS	209,68	62,904	146,776
	M2	M2 VIVIENDA	UNIDADES
UNIDAD DE VIVIENDAS	146,776	55	2,67
	VIVIENDAS	HAB.	TOTAL HAB.
HABITANTES	3	4	12
	HAB.	HA.	HAB/HA
DENSIDAD	12	0,028	428,57

Anexo 7. Estudio de Cabida Santa Bárbara n° 3985. Fuente: Municipalidad de Recoleta.

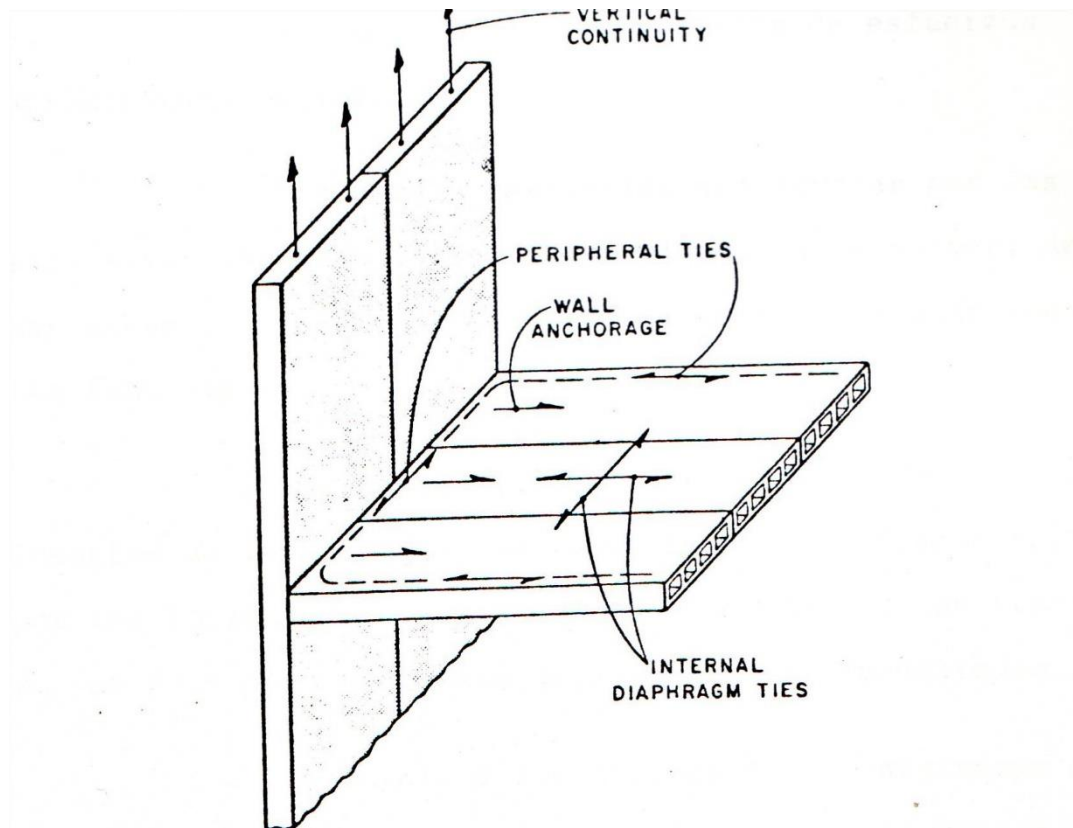


SANTA BÁRBARA N°3985

Anexo 8. Plano de Estudios de Cabida Santa Bárbara n° 3985. Fuente: Municipalidad de Recoleta.



Anexo 9. Secuencia de Montaje Sistema Structurapid. Fuente: Leónidas Zapata (1983).



Anexo 10. Comportamiento de esfuerzos del muro KPD. Fuente: Leónidas Zapata (1983).



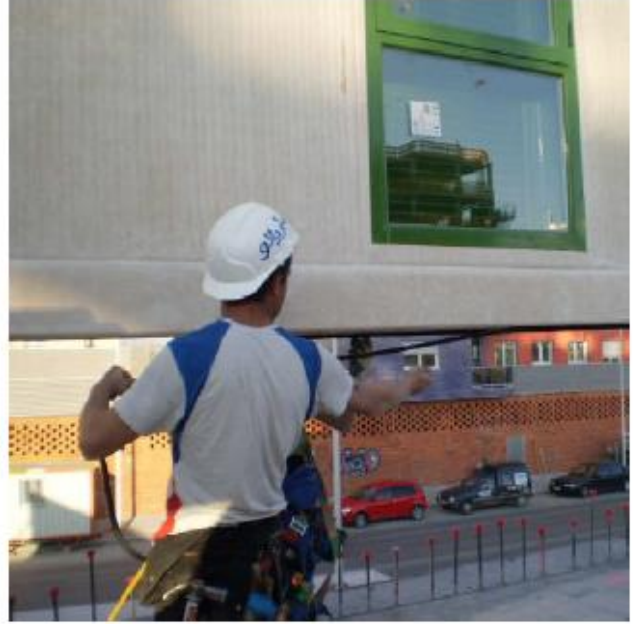
Anexo 11. Foto a fundación de Sistema TENSOCRET. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 12. Foto a Sistema de NAVE de TENSOCRET. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 13. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.



Anexo 14. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.



Anexo 15. Imágenes de montaje de Sistema arquitectura vertida. Fuente: POSTELÉCTRICA S.A.

Time and cost estimate for the shell walls			
	Amt / Unit	Work	Cost
<u>DIRECT COSTS</u>			
walls			
concrete walls	1456 m ²	679 hours	1,556,986 kr
Amount:		679 hours	1,556,986 kr
<u>INDIRECT COSTS</u>			
Expenses			
Crane	280 hours	280 hours	95200 kr
Crane	1 piece		409 620 SEK
concrete pump	1 piece		17 700 SEK
Machinery, tools and safety equipment	679 hours		17 664 SEK
Property Supplement, personnel cabins and temporary installations		44 hours	666 640 SEK
Amount:		324 hours	1,196,714 SEK
Location Organization			
supervisor 2	7.3 months		336 347 SEK
Amount:			336 347 SEK
GRAND TOTAL:		1003 hours	3,090,047 SEK

Anexo 16. Plazo y costo de construcción con Muro Doble. Fuente: Emina Deumic et al. (2010)

Time and Cost situ WALL			
	Amt / Unit	Work	Cost
<u>DIRECT COSTS</u>			
walls			
concrete walls	1469 m ²	1756 hours	1,221,184 kr
Amount:		1756 hours	1,221,184 kr
<u>INDIRECT COSTS</u>			
Expenses			
Crane	400 hours	400 hours	136 000 SEK
Crane	1 piece		644 200 SEK
concrete pump	1 piece		37 000 SEK
Machinery, tools and safety equipment	1756 hours		46 666 SEK
Property Supplement, personnel cabins and temporary installations		83 hours	723 326 SEK
Amount:		483 hours	1,486,182 kr
Location Organization			
supervisor 2	8 months		371 142 SEK
Amount:			371 142 SEK
GRAND TOTAL:		2239 hours	3,078,508 SEK

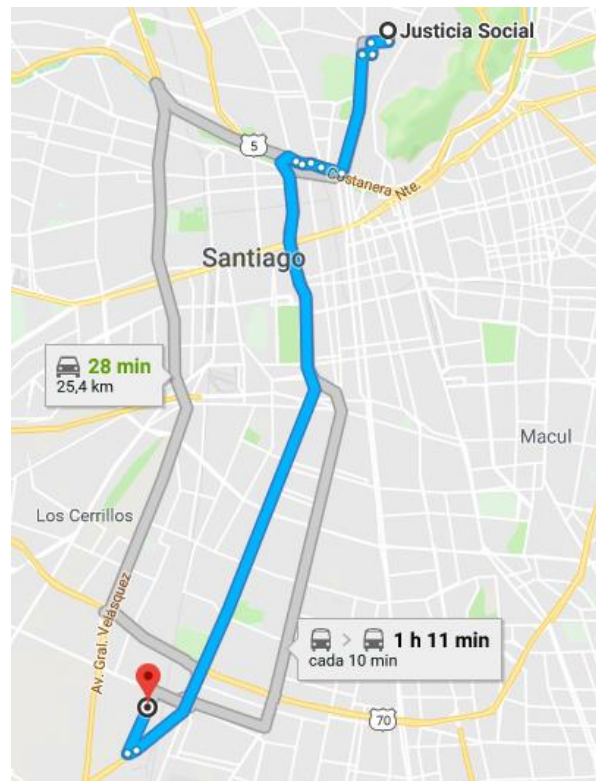
Anexo 17. Plazo y costo de construcción con Muro en sitio. Fuente: Emina Deumic at al. (2010).

England	construction installation assembly, mechanization and automation, the construction plan is concise, the procedure of construction is rationae, the management is highly sfficient.
Hungary	Construction industrialization use the new materials and construction techniques and factory prefabricated large-scale structures, improve the degree of constrection mechanization, improve the management and construction organization, it has taken the requirements of production and construction into the design progress.
America	Based on the construction sustem, components system and the generalization and standardization of production , achieve large-scale mass production of construction by socialized mass production method.
Japan	Construction industrialization require to applicate the modern industrial ways of organizing production in construction industry, the project is large and stable, it could guarantee the continuity of production. It could achieve the construction standardization, the entire production processes at all stages are integrated, and it is highly organized, it could reduce manual labor and human resources as much as possible and achieve a combination of mechanization and production
Soviet Union	construction industrialization will use large-scale mechanization and the factory prefabricated components, constructed large number buildings by the repetitive process,improve the management, and the design and construction work hand in glove.

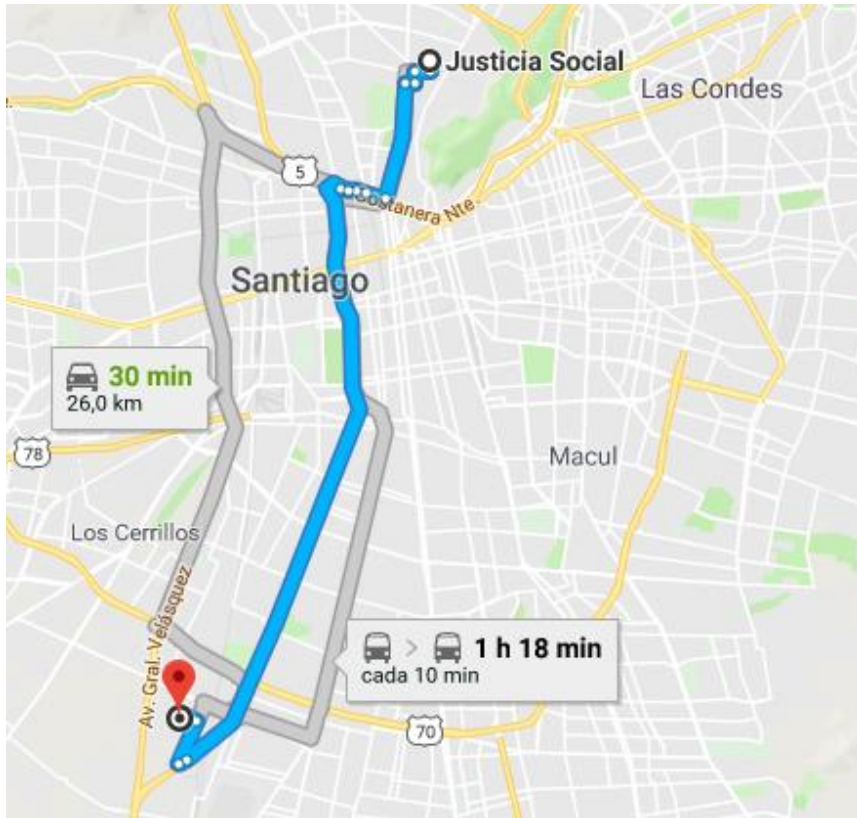
Anexo 18. Comprensión de la industrialización en la construcción, según cada país. Fuente: W. Ning et al. (2010).



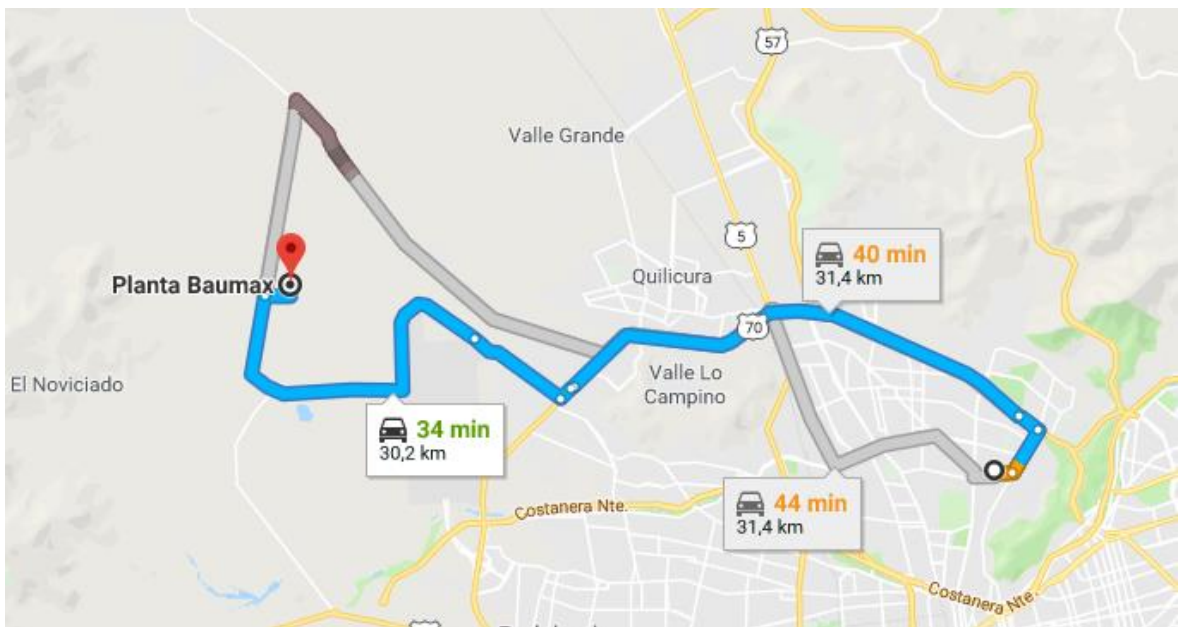
Anexo 19. Fotos de Sistema KPD. Fuente: Elaboración propia.



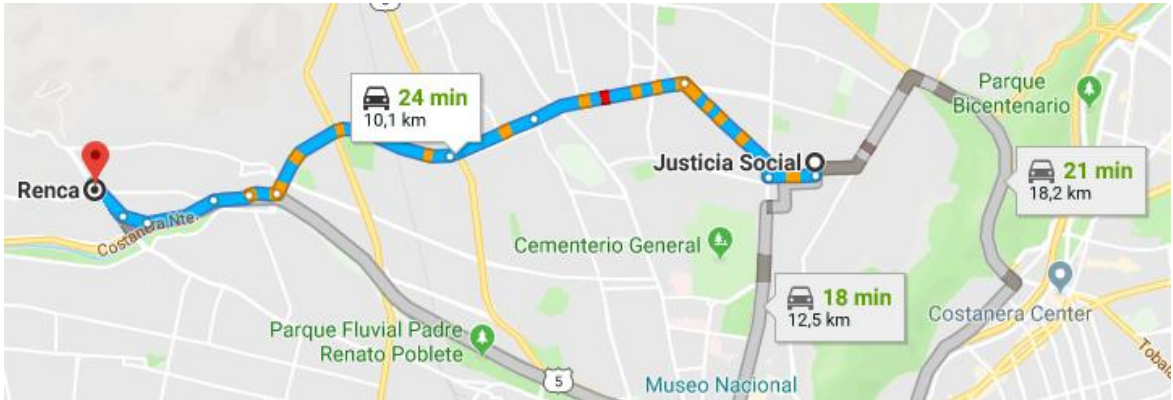
Anexo 20. Distancia entre Planta MELÓN S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



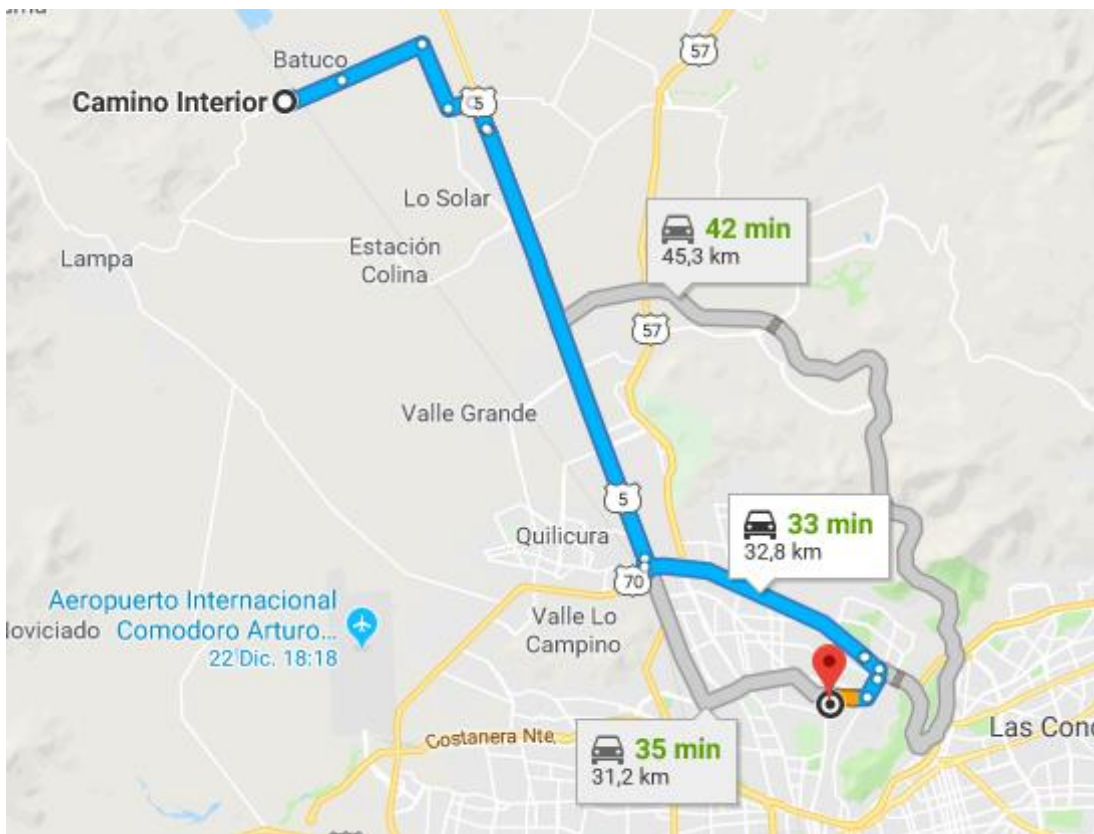
Anexo 21. Distancia entre Planta TRALIX S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



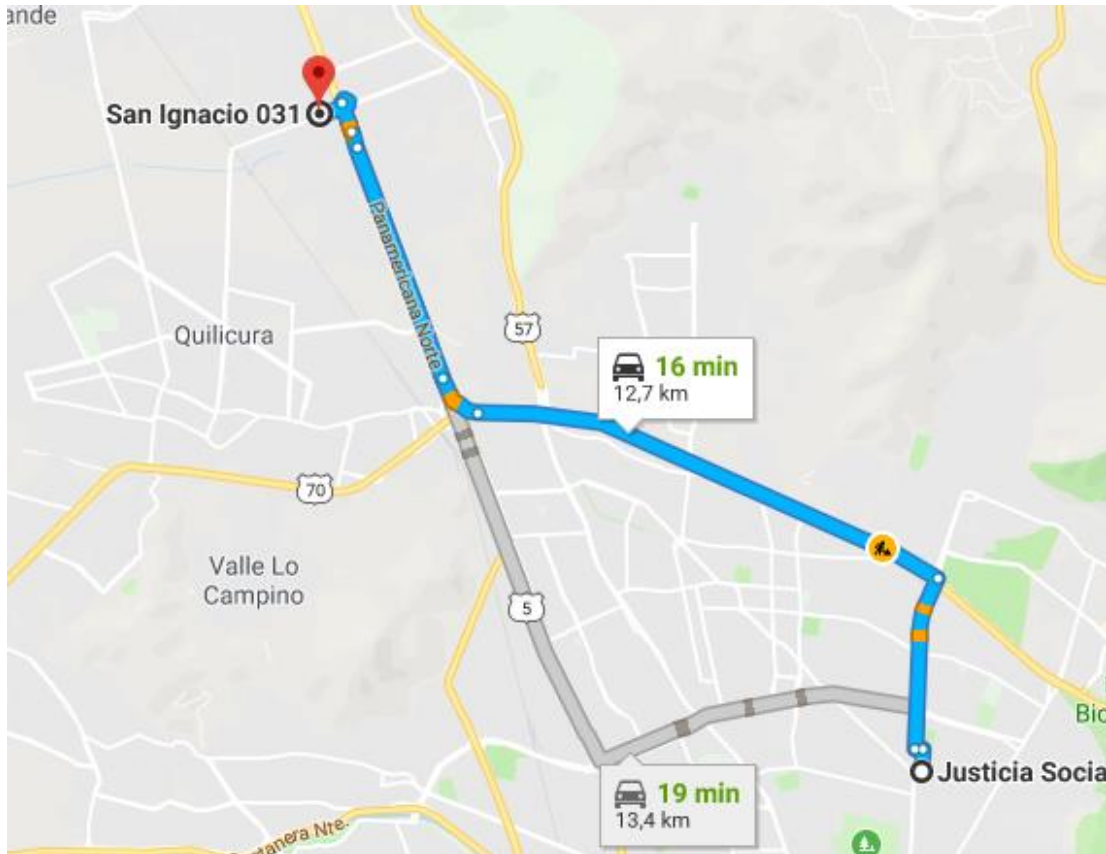
Anexo 22. Distancia entre Planta BAUMAX S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



Anexo 23. Distancia entre Planta TENSOCRET S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



Anexo 24. Distancia entre ARMACERO S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



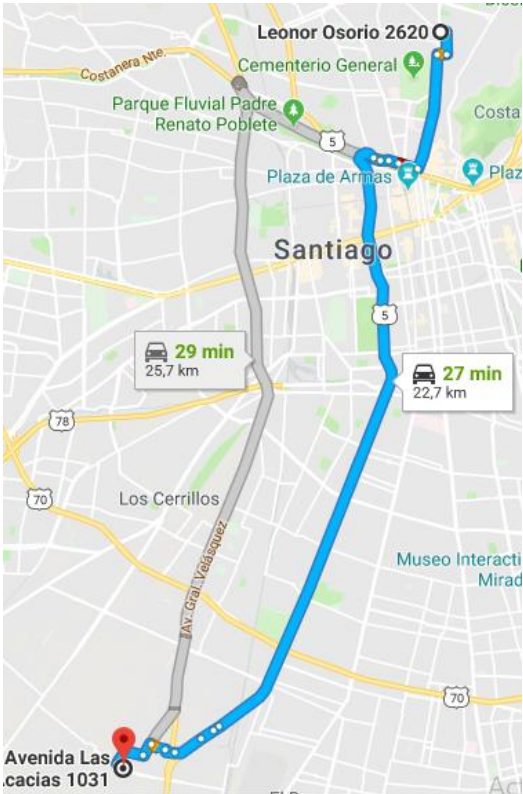
Anexo 25. Distancia entre SACK S.A y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



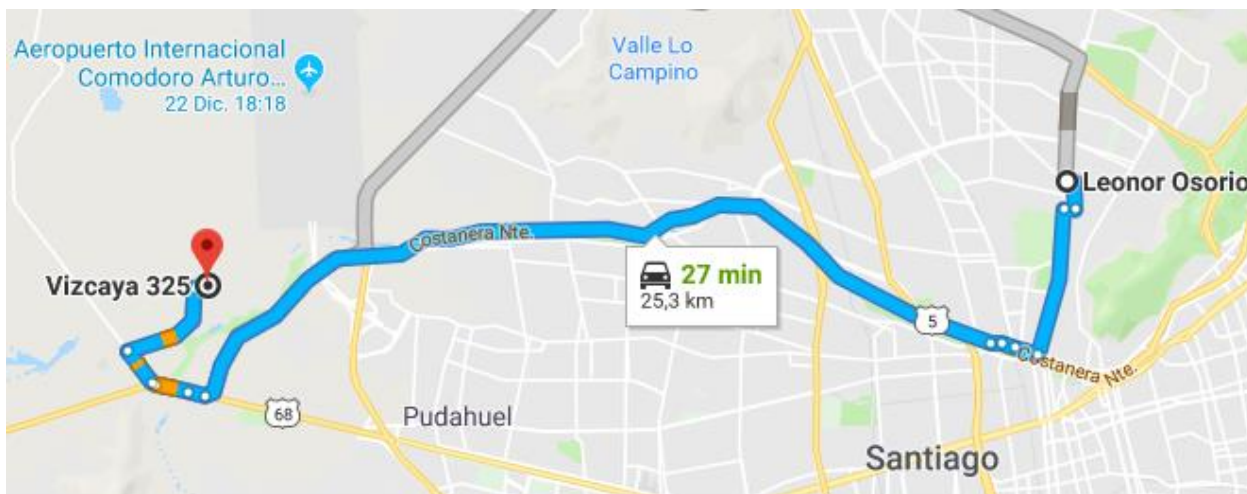
Anexo 26. Distancia entre PRODALAM y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



Anexo 27. Distancia entre ASERCON SPA y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



Anexo 28. Distancia entre FORM SCAFF y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.



Anexo 29. Distancia entre ULMA y proyecto de Recoleta. Fuente: Google maps, elaboración propia.

shell Walls			
	Departure - Destination	Distance in mil	Number of transport (round trip)
Shell Walls + flat slabs	Katrineholm - Vaxjo	31	58
concrete Casting	Rappe (Växjö) - House N, Växjö	0.9	162
TOTALLY		31.9	220

Table 6. Transport for shell walls and flat concrete base incl. concreting [19,31,46].

Location Molded walls			
	Departure - Destination	Distance in mil	Number of transport (round trip)
Concreting walls	Rappe (Växjö) - House N, Växjö	0.9	82
Concreting floors	Rappe (Växjö) - House N, Växjö	0.9	112
TOTALLY		1.8	194

Table 7. Transportation for concrete casting of walls and floors [19,31,46].

Anexo 30. Transporte de muros dobles y en sitio, distancia y cantidad de viajes. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).

Transportation Difference			
construction Method	Total shipments	Total mil	Carbon dioxide emissions
Shell Walls + flat slabs	220	7018	47 tons
<u>Location molded walls + beams</u>	194	349.2	2,3 tons

Table 8. Transport Difference between the shell walls and cast on site to house N.

Anexo 31. Diferencia en emisión de dióxido de carbono según método constructivo. Fuente: Emina Deumic et al. (2010).

Comparación entre Losa de Hormigón Tradicional y Losa de Hormigón Nervada TRALIX

Especificaciones	Losa de Hormigón Tradicional (espesor 12 cm)	Losa de Hormigón Nervada TRALIX (espesor 16 cm)
Moldaje	2.75" madera/m ²	0" madera/m ²
Alzaprimas (puntales y vigas)	37.2" madera/m ²	5.6" madera/m ²
Acero en obra	5.5 kg/m ² (fe con doble z)	2.7 kg/m ² (suples rectos)
Hormigón en obra	0.12 m ³ /m ²	0.062 m ³ /m ²
Enlucido		-
Punereo	100 golpes/m ²	0 golpes/m ²
Yeso	30000 cm ² /m ²	10000 cm ² /m ²
Rendimiento mano de obra	Aprox. 20 m ² /día	Sobre 120 m ² /día
Especialización mano de obra	Carpintero + Enfierrador especializados	Ninguna
Imprevistos (pérdidas, materiales menores)	Mínimo del 6%	Menos del 2%
Peso propio	300 kg/m ²	275 kg/m ²
Nota: Todos estos datos corresponden a experiencias de Terreno.		
Transmitancia térmica	8.7 kcal/m ² h °C (1)	4.1 kcal/m ² h °C (1)
Resistencia al Fuego	Recubrimiento 20 mm; F-60 (2)	Recubrimiento 20 mm; F-120
Acústica	67 dB (3)	67 – 78 dB

Anexo 32. Comparación entre Losa de Hormigón Tradicional y Losa de Hormigón Nervada TRALIX. Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico.