



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

**Análisis de los plazos de construcción de edificios en Chile y su
relación con los métodos constructivos utilizados**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DANIELA VALENTINA RUANO PEÑA

PROFESOR GUIA:

Carlos Nolasco Aguilera Gutiérrez

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

William George Wragg Larco

Armando Gabriel Quezada Ortúzar

Santiago de Chile

Septiembre 2010

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.
POR: DANIELA RUANO PEÑA
FECHA: 6/09/2010
PROF. GUÍA: Sr. CARLOS AGUILERA GUTIÉRREZ

ANÁLISIS DE LOS PLAZOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS EN CHILE Y SU RELACIÓN CON LOS MÉTODOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS

Para la realización de un proyecto de construcción de edificio se pueden utilizar diferentes sistemas constructivos, los cuales son determinados por la empresa según costos y rendimientos. En nuestro país son poco utilizadas nuevas tecnologías y sistemas que permitirían acortar los plazos de construcción y reducir los costos de los proyectos, esto debido principalmente a la mayor inversión que implicaría utilizar nuevos sistemas, tanto por la tecnología empleada como por la mano de obra especializada necesaria, y en menor manera a la desconfianza y desinformación sobre estas nuevas técnicas constructivas.

El objetivo del presente trabajo de título es investigar el uso de diferentes métodos de construcción, tanto tradicionales como alternativos, destinados a la obra gruesa de edificios habitacionales de hormigón armado, y que permitan una mayor rapidez en el proceso de construcción. Para lograr esto, de cada sistema se describe su funcionamiento y ventajas, además de determinar los tiempos de ejecución y los costos asociados a cada uno.

Para llevar a cabo este estudio se realizaron visitas a diferentes obras de edificación en la ciudad de Santiago, donde se recopiló información sobre los procesos y sistemas asociados a la construcción de este tipo de obras. Además, se recibió la colaboración de diferentes empresas relacionadas a la construcción general de obras y empresas especializadas en las áreas tratadas como son el área de socializado, moldaje y postensado.

Finalmente, el presente trabajo expone comparaciones de rendimientos y costos de utilizar los distintos sistemas estudiados a través de simulaciones en las que fueron aplicados a la construcción de un edificio real, y donde se observó que todos los sistemas propuestos permiten una disminución en los plazos de construcción, la mayoría de estos implica costos más elevados que los tradicionales debido a la mejor tecnología empleada, sin embargo estos podrían ser compensados con el ahorro producto de una construcción más eficiente y a través de análisis más detallados incluyendo factores determinados durante la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera darles las gracias a todas las personas que con su ayuda y dedicación hicieron posible este trabajo.

Agradecimientos a todos los integrantes de la comisión, Carlos Aguilera, William Wragg y Armando Quezada, además del profesor David Campusano, por estar siempre presentes antes cualquier duda durante el último semestre y guiarme en este trabajo .

Finalmente, muchas gracias a mis amigos y familia por haberme apoyado durante toda mi carrera y en especial a mi padre por toda su ayuda durante este proceso.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	6
1.1 Aspectos Generales	6
1.2 Objetivos	8
1.3 Metodología	8
CAPÍTULO II	
LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS EN CHILE Y EN EL EXTERIOR	9
2.1 Introducción	9
2.2 Los edificios más altos dentro y fuera de Chile	10
2.3 Situación actual en Chile	11
2.4 Beneficios de la edificación en altura	14
2.5 La Tecnología en la construcción	15
CAPÍTULO III	
PROYECTO A ANALIZA	18
3.1 Características del proyecto a analizar	19
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	22
4.1 Introducción	22
4.2 Entibación y socialzado	24
4.3 Estructura	25
CAPÍTULO V	
SISTEMA DE ENTIBACIÓN Y SOCIALZADO	26
5.1 Sistema de pilas y pilotes	26
5.2 Muro berlinés	30
5.3 Pared moldeada o muro pantalla	21
5.4 Muros colgados o anclados	35
5.5 Sistema top down	37
5.6 Simulación teórica de los distintos sistemas de entibación	39
5.6.1 Datos de la obra	39
5.6.2 Consideraciones importantes	40
5.6.3 Simulación	41
5.6.4 Análisis de resultados	46
CAPITULO VI	
SISTEMAS DE MOLDAJE	47
6.1 Moldaje vertical	48
6.1.1 Moldajes tradicionales industrializados	48
6.1.2 Moldaje deslizante	50
6.1.3 Moldaje trepante y auto-trepante	52
6.2 Moldaje horizontal	55
6.2.1 Moldajes tradicionales industrializados	55
6.2.2 Moldajes tipo mesa	57
6.3 Otros tipos de moldaje	59
6.3.1 Moldaje tipo túnel	59

6.4 Simulación teórica de los distintos tipos de moldaje	
6.4.1 Datos de la Obra	60
6.4.2 Consideraciones importantes	61
6.4.3 Simulación	61
6.4.4 Análisis de resultados	64
CAPITULO VII	
ARMADURA	65
7.1 Método tradicional	66
7.2 Armadura industrializada	68
7.3 Armadura industrializada prefabricada	71
7.4 Simulación teórica de los distintos tipos de armadura	73
7.4.1 Datos de la obra	73
7.4.2 Consideraciones importantes	74
7.4.3 Simulación	75
7.4.4 Análisis de resultados	76
CAPITULO VIII	
HORMIGÓN	78
8.1 Hormigón premezclado tradicional	80
8.2 Hormigón con aditivo súper-plastificante	81
8.3 Sistema postensado de losas	86
8.3 Simulación teórica de las distintas alternativas de uso de hormigones	89
8.3.1 Datos de la obra	89
8.3.2 Consideraciones importantes	89
8.3.3 Simulación	90
8.3.4 Análisis de resultados	93
CAPITULO XIX	
MAQUINARIA	95
9.1 Colocación de hormigón	95
9.1.1 Bombas	96
9.2 Simulación teórica de los distintos sistemas de hormigonado	99
9.2.1 Datos de la obra	99
9.2.2 Consideraciones importantes	100
9.2.3 Simulación	101
9.2.4 Análisis de resultados	103
CAPITULO X	
RESUMEN DE RESULTADOS Y COMENTARIOS	
10.1 Tablas resúmenes	105
10.2 Comentarios sobre resultados	108
CAPITULO XI	
CONCLUSIONES	111
CAPITULO XII	
REFERENCIAS	114
CAPITULO XIII	
ANEXOS	116

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ASPECTOS GENERALES

El rápido crecimiento de la población de Santiago se ha visto traducido en un importante aumento de la construcción. La falta de espacios en las zonas residenciales para abastecer la demanda ha producido en los últimos años un crecimiento físico en altura, manteniendo a la ciudad en un constante proceso de renovación.

La alta demanda por parte de la población, ha hecho de la edificación una buena inversión, lo que ha generado la activación de una gran cantidad de empresas dedicadas al rubro, y por ende, una fuerte competencia en el mercado.

En esta actividad, el tiempo es un factor primordial, se busca entregar un servicio rápido y de calidad para satisfacer al cliente, y con costos que permitan generar utilidades suficientes a las empresas y accionistas. Los costos asociados a la construcción, no sólo están relacionados con los materiales, mano de obra, permisos, entre otros, sino también, en gran parte, con los tiempos de construcción, ya que al disminuir los plazos, se adelanta el inicio de la recuperación de la inversión y se disminuyen los gastos financieros y generales principalmente.

El escaso tiempo con el que cuentan las empresas constructoras para tomar decisiones relacionadas con cada proyecto, hace que éstas no sean necesariamente las óptimas, y las que minimicen de mejor manera los tiempos y costos.

Hoy en día, los avances tecnológicos en el área de la construcción han permitido una reducción importante en los tiempos, además de una mejora en la calidad de la construcción. Adquirir esta tecnología implica una inversión importante para las empresas, además de realizar capacitaciones del personal para su utilización, lo que hace que éstas no siempre estén dispuestas en adquirirlas.

Para toda empresa, y en este caso en particular, para una empresa constructora, la tecnología es un medio que permite conseguir el liderazgo del mercado a través de la calidad y confiabilidad de sus productos. Adquirir nueva tecnología trae cambios radicales asociados a fuertes inversiones, que a un largo plazo se ven compensadas, ya que permiten un ahorro de costos importante, no sólo por la

disminución de los plazos, sino también, por un ahorro en materiales, manos de obra, mantención y desgaste de maquinas, entre otras.

El presente trabajo consiste en analizar factores que inciden en los plazos de construcción de edificios de hormigón armado que se construyen en el país. La idea, es analizar los métodos constructivos actualmente utilizados y proponer soluciones alternativas que permitan disminuir los plazos. Para esto, se estudiarán algunos proyectos de edificios, de características similares y construidos en la ciudad de Santiago, con el objeto de encontrar un proyecto tipo sobre el cual poder simular los diferentes sistemas constructivos estudiados.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar los factores que inciden en los actuales plazos de construcción de edificios habitacionales de hormigón armado.

Objetivos Específicos

Proponer soluciones alternativas para disminuir los actuales plazos de construcción.

1.3 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la realización de este trabajo consistió en los siguientes puntos:

- 1- Recopilación de antecedentes y obtención de datos.
- 2- Elección de un edificio tipo que represente los sistemas constructivos más utilizado.
- 3- Analizar los métodos tradicionales de construcción de edificios.
- 4- Estudiar alternativas que permitan disminuir los plazos de construcción.
- 5- Realizar simulaciones al edificio tipo aplicando los sistemas alternativos investigados.

2. LA CONSTRUCCION DE EDIFICIOS EN CHILE Y EN EL EXTERIOR

2.1 INTRODUCCIÓN

La razón de la construcción de edificios surge con el fin de maximizar el aprovechamiento económico del suelo, el cual debido a la alta demanda en las grandes ciudades ha elevado significativamente su valor. Para las ciudades en general es muy importante la construcción en altura pues las densifican disminuyendo el área que cubren, lo que genera un gran ahorro en gastos fiscales y particulares en urbanización y servicios.

El origen de la construcción en altura se desarrolló en Estados Unidos a finales del siglo XIX, donde las obras no superaban los 6 pisos, sin embargo, a medida que fueron apareciendo nuevos avances en la tecnología éstas fueron rápidamente aumentando su altura. Hoy en día, la tecnología ha permitido que las alturas de los edificios estén sobre los 800 metros, con impresionantes velocidades de construcción.

En un comienzo, el hormigón no era un material competitivo y la construcción de los rascacielos en Estados Unidos se desarrolló con estructuras metálicas, pues en el caso del hormigón la sección de las columnas disminuía el área útil, las resistencias no superaban los 34 Mpa en los casos de hormigones de alta resistencia, y tampoco era aplicable el bombeo para su colocación, por lo que era antieconómico construir por sobre los 20 metros de altura. Sin embargo, hoy en día se pueden encontrar construcciones de hormigón de hasta 500 metros de altura, y se espera en un futuro, que este número siga aumentando.

En Chile, recién se están empezando a construir proyectos con alturas significativas, a pesar de estar aun muy lejos de la realidad de los países más desarrollados. En 1906 se construyó Ariztía, el primer rascacielos chileno y desde entonces este tipo de construcciones se ha mantenido constante en el tiempo, y la altura de las construcciones en aumento, sin embargo, la sismicidad del suelo chileno ha condicionado el diseño de las estructuras limitando el desarrollo de éstas.

Este capítulo busca dar una mirada general a la construcción de edificios de grandes alturas, y una más detallada, como objeto de este trabajo, a los edificios habitacionales de hormigón en Chile.

2.2 LOS EDIFICIOS MÁS ALTOS DENTRO Y FUERA DE CHILE

Las siguientes tablas muestran una lista con los cinco edificios más altos, en construcción o ya construidos, de Chile, Latinoamérica y el mundo.

Edificios más altos de Chile					
N°	Edificio	Ciudad	Altura (m)	Pisos	Año
1	Torre Gran Costanera	Santiago	300	70	2012
2	Titanium La Portada	Santiago	196	55	2010
3	Costanera Center Torre 2	Santiago	170	41	2012
4	Costanera Center Torre 1	Santiago	170	41	2012
5	Boulevard Kennedy	Santiago	140	40	1999

Tabla 2.1: Edificios más altos de Chile; Fuente: Elaboración propia.

Edificios más altos de Latinoamérica					
N°	Edificio	País	Altura (m)	Pisos	Año
1	Los Faros de Panamá	Panamá	346	84	2012
2	Torre Gran Costanera	Chile	300	70	2012
3	Trump Ocean Club International Hotel & Tower	Panamá	293	68	2010
4	Los Faros de Panamá (Torre Este y Oeste)	Panamá	290	84	2010
5	Torre Fundadores	México	290	70	2010

Tabla 2.2: Edificios más altos de Latinoamérica; Fuente: Elaboración propia.

Edificios más altos del mundo					
N°	Edificio	País	Altura (m)	Pisos	Año
1	Burj Khalifa	Emiratos Árabes Unidos	828	155	2010
2	Taipei 101	Taiwán	509	101	2004
3	Shanghai World Financial Center	China	492	101	2008
4	International Commerce Centre	China	484	118	2009
5	Torre Petronas	Malasia	452	88	1998

Tabla 2.3: Edificios más altos de Latinoamérica; Fuente: Elaboración propia.

Se recalca que ninguno de los proyectos chilenos antes mencionados corresponden a edificios habitacionales, si no, a oficinas, centros comerciales y hoteles. Mientras que en Latinoamérica y el mundo, varios son habitacionales, de hecho el proyecto más alto de Latinoamérica, Los Faros de Panamá, es un edificio residencial de hormigón armado, y está dentro de los tres edificios habitacionales más altos del mundo.

2.3 SITUACION ACTUAL DE LOS EDIFICIOS HABITACIONALES EN CHILE

Para conocer sobre la edificación en el país, se analizó la oferta de edificios habitacionales en la ciudad de Santiago y en algunas de las localidades más importantes de Chile. Para esto se utilizó como referencia el sitio web del Portal Inmobiliario, en la cual se encuentran presente la mayoría de las ofertas de este tipo, entre el 75% y el 80%.

Se analizaron las ofertas de departamentos nuevos, de 800 a 14.000 UF en el mes de mayo del año 2010, contando sólo en la ciudad de Santiago un total de 470 proyectos nuevos. Hay que considerar que la Región Metropolitana cuenta con 52 comunas, y que sólo en 24 de ellas se están construyendo edificios. En el gráfico 2.1 se detallan estas comunas.

El siguiente gráfico, muestra la distribución de las construcciones en la ciudad de Santiago. En él, sólo aparecen las comunas que presentan proyectos, las cuales equivalen al 46% del total.

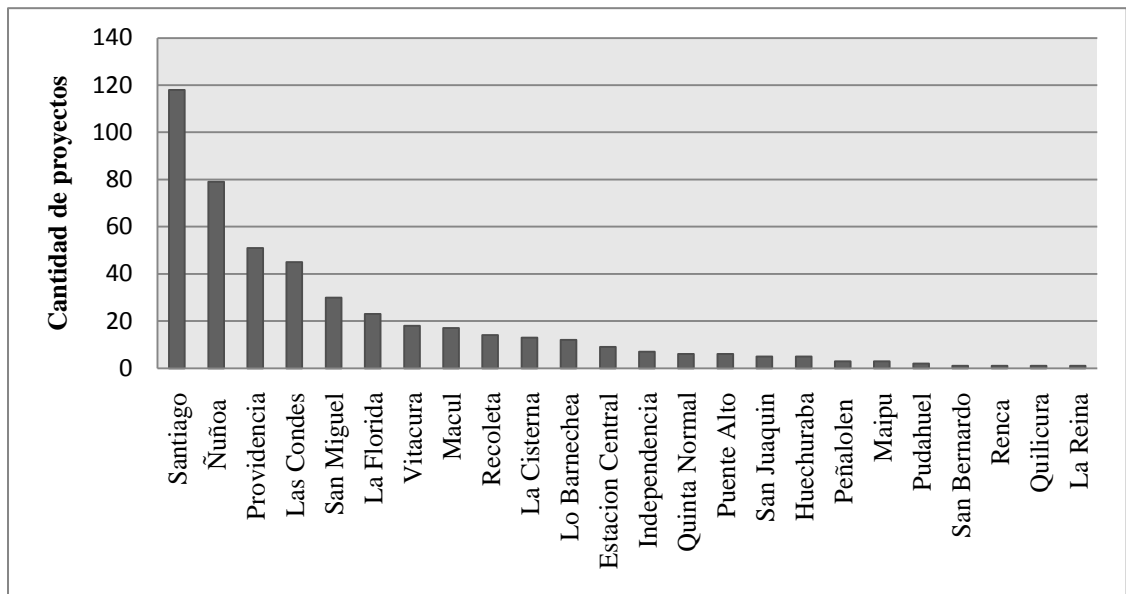


Gráfico 2.1: Proyectos por comuna; Fuente: elaboración propia.

Se analizaron 10 comunas y se realizó un análisis más detallado de las ofertas existentes. Estas comunas son: Santiago, Ñuñoa, Providencia, Las Condes, Vitacura, Puente Alto, Maipú, Macul, San Miguel y La Florida. Se contabilizaron un total de 347 proyectos, que equivalen al 74% del total de obras existentes en el sitio web. Se observa que no todas las comunas tienen edificios de grandes alturas, más aun, las dos comunas más pobladas de Santiago, Puente Alto y Maipú, tienen una cantidad de proyectos muy por debajo de las otras comunas. Además, presentan edificaciones de poca

altura y de bajo costo. Un panorama más general de lo que ocurre en Santiago, se expone en los siguientes gráficos.

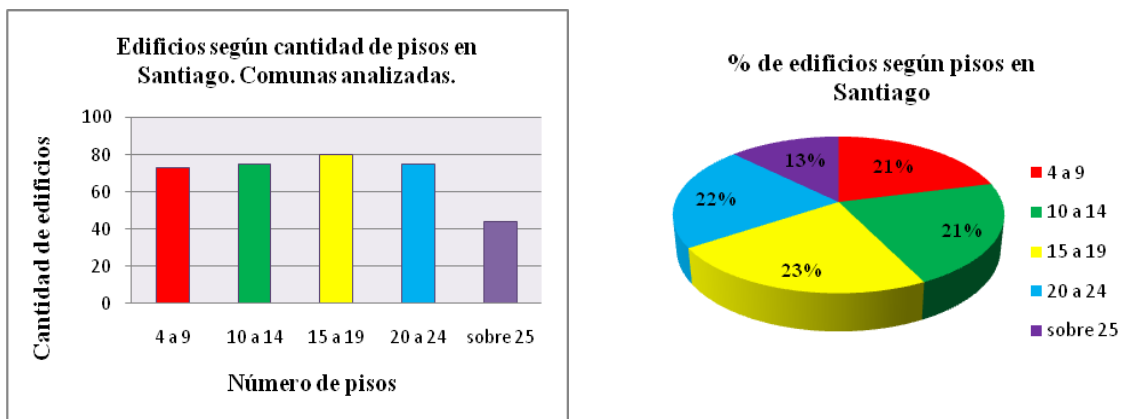


Gráfico 2.2 y 2.3: Edificios en la ciudad de Santiago; Fuente: Elaboración propia.

Según los gráficos anteriores el 35% de los proyectos actuales que se desarrollan en Santiago corresponden a edificios sobre los 20 pisos, y sólo siete construcciones superan los 30 pisos de altura.

Se realizó el mismo análisis anterior para diferentes zonas de Chile. La cantidad de proyectos es considerablemente menor que en la capital, sin embargo ha ido creciendo en el último tiempo. La siguiente tabla muestra los resultados de la investigación.

Ciudad	N° de proyectos	N° de pisos				
		4 a 9	10 a 14	15 a 19	20 a 24	Sobre 25
Viña del Mar	32	7	3	7	11	4
Concepción	12	3	5	2	2	0
Antofagasta	11	2	0	1	8	0
Temuco	3	1	2	0	0	0
Rancagua	2	0	1	0	1	0

Tabla 2.4: proyectos por región: Elaboración propia.

Existe un estudio similar al anterior realizado en junio del 2006 para un trabajo de titulación de la Universidad del Bio-Bio en Concepción (referencias). Éste muestra que para la fecha, según la misma página del Portal Inmobiliario, Chile registraba alrededor de 400 proyectos de edificación, donde 350 correspondían a la ciudad de Santiago, y se contabilizaron 167 empresas constructoras.

Las siguientes tablas muestran algunos datos de comparación entre los dos estudios.

Datos	2006	2010	Δ%
Cantidad de Proyectos	400	530	33%
Cantidad de Proyectos en Santiago	348	470	35%
Cantidad de Proyectos en Regiones	53	60	13%
Cantidad de empresas Constructoras	167	143	-14%

Tabla 2.5: Comparación estudio 2006-2010; Fuente: Elaboración propia.

Comuna	Proyectos 2006	Proyectos 2010	Δ%
Santiago	82	118	44%
Ñuñoa	45	79	76%
Providencia	41	51	24%
Las Condes	74	45	-39%
San Miguel	19	30	58%
La Florida	7	23	229%
Vitacura	24	18	-25%
Macul	5	17	240%
Recoleta	13	14	8%
La Cisterna	5	13	160%
Lo Barnechea	6	12	100%
Independencia	8	7	-13%
Quinta Normal	3	6	100%
Puente Alto	2	6	200%
San Joaquín	1	5	400%
Huechuraba	6	5	-17%
Peñalolén	1	3	200%

Tabla 2.6: Comparación estudio 2006-2010; Fuente: Elaboración propia.

pisos	Proyectos 2006	Proyectos 2010	Δ%
4 a 9	130	86	-34%
10 a 14	112	86	-23%
15 a 19	94	90	-4%
20 a 24	52	97	87%
sobre 25	10	44	340%

Tabla 2.7: Comparación estudio 2006-2010; Fuente: Elaboración propia.

En la última tabla se observa la fuerte disminución de los proyectos de menor altura, y por el contrario, un significativo aumento en los edificios por sobre los 20 pisos

2.4 BENEFICIOS DE LA EDIFICACIÓN EN ALTURA

La construcción en altura tiene el objetivo principal de obtener una gran cantidad de superficie útil en un espacio de suelo reducido, lo que a su vez trae otras ventajas asociadas, sin embargo las desventajas e inconvenientes no son menores. A continuación se detallan algunas ventajas y desventajas identificadas.

Principales ventajas:

- Se obtiene una amplia superficie útil en un reducido espacio de suelo.
- Permite densificar las ciudades disminuyendo el área que ocupan y ahorrando de esta manera importantes gastos de urbanización y servicio.
- En el caso de edificios de oficinas y comerciales, al permitir una concentración de personas y servicios en un área reducida, se logra que las empresas obtengan un mayor rendimiento.
- Permite que las ciudades no se extiendan en demasía, y crezcan a lo alto, lo que permite a la población acceder de manera más fácil y rápida a las diferentes zonas de la ciudad.
- Los edificios de grandes alturas otorgan prestigio a las ciudades, constituyen emblemas.

Principales desventajas:

- La alta concentración de la población implica grandes inversiones en la infraestructura de transporte e instalaciones de suministro de servicios básicos (agua, electricidad, comunicaciones, etc.). Sin embargo este costo puede ser compensado con él que significa una extensión en el área de construcciones.
- La alta concentración de personas en un mismo recinto puede afectar la convivencia.
- No existen sistemas externos que puedan combatir el fuego en caso de incendio en áreas de mucha altura.

2.5 LA TECNOLOGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN

En Chile como en el resto de los países, la construcción siempre ha estado influenciada por la economía del país y la inversión fiscal, mostrando un comportamiento cíclico, periodos de crecimiento y contracción de la inversión durante cada gobierno y según el periodo. Sin embargo entre los años 1986 y 1997, la construcción presentó un crecimiento continuo, lo que permitió una consolidación de la industria y en especial, el perfeccionamiento de los sistemas de edificación. Esto último consistió básicamente en la incorporación de maquinaria y elementos que mejoraron la productividad, como por ejemplo, el hormigón premezclado, el moldaje industrializado, el postensado de losas y tecnologías de información.

Hoy en día, la demanda de la sociedad por bienes y servicios no sólo ha aumentado, sino que también, se ha vuelto más exigente. Esto sumado a la búsqueda de la optimización de costos y tiempos, y a la alta competitividad en esta área, ha hecho que las empresas se esfuercen por encontrar formas de incorporar la tecnología en su trabajo.

Chile, presenta una baja inversión en investigación y desarrollo, por lo que no se puede esperar que produzca tecnología como otros países más desarrollados. Las universidades y centros de investigación son las únicas instituciones que gastan en esta materia, mientras, las empresas privadas no son muy partidarias de invertir en investigación, pero si, de consumir tecnología. “La tecnología no se crea, sino que se compra. Una tecnología comprada proporciona resultados en menor plazo que una desarrollada internamente. Además, la tecnología comprada está probada y por lo tanto tiene menor riesgo para la empresa” (*Nicolas Majluf S., Profesor Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Pontificia Universidad Católica de Chile*).

Según estudios, realizados por la Universidad Católica en 65 empresas, sólo el 1% del volumen operacional anual se invierte en innovación tecnológica. La evidencia muestra que los sistemas constructivos utilizados actualmente en Chile pueden mejorar, ya que, en muchos casos, las técnicas utilizadas son las mismas que hace 20 años. Las empresas se excusan diciendo que se requiere una alta inversión, sin embargo, no evalúan los beneficios que se pueden alcanzar. “El aprendizaje de nuevas técnicas es caro y predomina en la industria el costo de corto plazo. Por eso, hay una resistencia de los inversionistas en ser pioneros de los cambios por temor a la reacción del mercado” (*Pedro Araneda, Jefe de Proyectos de Arce y Recine*).

Una encuesta realizada por la Cámara Chilena de la Construcción, muestra entre otras cosas: las prioridades de las empresas; obstáculos para invertir en tecnología; mecanismos de transferencias de tecnología; necesidades y recomendaciones, entre otros. Algunos de los resultados se pueden ver en las siguientes tablas.

Priorización de oportunidades de mejoramiento tecnológico para obras de edificación	
Áreas	%
Oportunidad de calidad de diseños	13
Estandarización de los proyectos	10
Prefabricación, modulación y pre-armado	10
Comunicación entre ingeniería y construcción	9
Falta de mano de obra especializada	9
Falta de coordinación entre actividades	9
Adquisición de materiales apropiados	7
Falta de herramientas especializadas	3

Tabla 2.8: Encuesta realizada por la Cámara Chilena de la Construcción; Fuente: Revista BIT (1), 1994.

Obstáculos para la adopción de tecnología en la construcción	
Motivos	%
Costos como criterio principal en la adjudicación de propuestas	23
Falta de integración entre diseño y construcción	15
Falta de estandarización	15
Falta de incentivos a la innovación	14
Falta de mano de obra especializada	12
Mandantes conservadores	8
Desconocimiento de las tecnologías en el país	7
Otros	7

Tabla 2.9: Encuesta realizada por la Cámara Chilena de la Construcción; Fuente: Revista BIT (1), 1994.

Mecanismos de transferencia de tecnologías	
Actividad	%
Conferencias especializadas	18
Fomento a proyectos de investigación y desarrollo	16
Instituto chileno de la construcción	16
Incremento relación empresa-universidad	14
Creación de centros tecnológicos	12
Revistas tecnológicas	11
Viajes tecnológicos	10
Otros	6

Tabla 2.10: Encuesta realizada por la Cámara Chilena de la Construcción; Fuente: Revista BIT (1), 1994.

Según la Cámara Chilena de la Construcción, los resultados indican que existe un gran potencial para introducir tecnologías en el sector construcción del país, y que se debe iniciar una fuerte tendencia hacia la industrialización del sector, especialmente en la edificación.

Con la globalización económica se han incorporado empresas extranjeras en el campo de la construcción, con una gestión y eficiencia mucho mayor que la nacional, por lo que las empresas chilenas se verán en la obligación de innovar y dejar de ser tan conservadoras y temerosas ante las nuevas tecnologías. Esto sin generalizar en todas las áreas de la construcción, sino más bien dirigido a la parte constructiva de cada proyecto, ya que la parte de ingeniería estructural del país es bastante buena.

Las oportunidades están, pero no existen los incentivos. En muchas ocasiones se valora la minimización de costos por sobre la calidad, lo que claramente afectará la industria nacional en un mediano plazo. Es por esto necesario que exista una educación general tecnológica tanto en las empresas como en institutos y universidades, porque no sólo basta con incorporar tecnología a la industria, sino que también, hay que saber distinguirla y tener la capacidad de discernir entre la buena y la mala tecnología.

3. PROYECTO A ANALIZAR

Para el desarrollo de este trabajo se recopiló la información de diferentes proyectos de edificación. Estas obras se caracterizaron por ser todas de altura considerable para nuestro país, sobre 20 pisos, habitacionales y de hormigón armado.

Los datos recopilados permitieron obtener información general sobre los procesos, rendimientos y costos asociados a la construcción de la obra gruesa de un edificio.

A pesar de que las obras visitadas son propiedad de diferentes empresas, los sistemas constructivos empleados fueron los mismos, los que dentro de este trabajo se denominan “sistemas tradicionales”. Los distintos métodos observados en las visitas fueron los siguientes.

Etapa	Sistema Tradicional
Entibación y socialzado	Pilas y pilotes con anclajes
Tipo de moldaje	Moldaje industrializado
Colocación de armadura	Armadura doblada y cortada en fabrica y/o en obra
Elementos prefabricados	Sólo escaleras
Colocación de hormigón	Con grúa y bomba no estacionaria

Tabla 3.1: Sistemas de construcción tradicionales; Fuente: visitas a terreno.

El único edificio que mostró diferencias en el sistema de entibación y socialzado fue el visitado en la ciudad de Viña del Mar, que por el tipo de suelo arenoso debió realizar sus entibaciones a través de un sistema de muro berlinés, el cual se detalla más adelante.

Luego de las visitas se analizaron los datos entregados para escoger un proyecto en particular representativo con el fin de utilizarlo para un análisis más detallado a través de simulaciones donde se le aplicarán distintos sistemas constructivos. Esto, con el objetivo de poder hacer una comparación de tiempos y costos de métodos alternativos a los tradicionales.

El edificio tipo escogido es el que se detalla a continuación.

3.1 CARÁCTERÍSTICAS DEL PROYECTO A ANALIZAR

Nombre del edificio : Edificio Urbano Plus
Ubicación : Las Condes, Santiago, Chile.

Características generales de la obra según antecedentes proporcionados por la empresa constructora a cargo:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1.290m ²
Superficie subterráneo	2.700m ²
m² construidos (22 pisos y 6 subterráneos)	44.580
Altura subterráneo	2,975m
Inicio Obra	05/2008
Fin de la obra	07/2010
Fin Obra Gruesa	09/2009
Costos empresa de la construcción UF/m²	11,7



Tabla 3.2: Características generales de la obra; Fuente: Empresa a cargo.

Los gastos generales de este proyecto corresponden a 84.157 UF, lo que incluye el costo del diseño y cálculo del proyecto, los costos directos y los indirectos. Los gastos generales que importan en este trabajo son aquellos que varían al lograr disminuir el tiempo de construcción de la obra, según la empresa constructora a cargo este tipo de gasto tiene un valor mensual de aproximadamente 1.340 UF, por lo que se utilizará esta cifra para los diferentes análisis.

El proyecto contempla la construcción de seis subterráneos de bodegas y estacionamientos, los dos primeros pisos están destinados al comercio y a partir del tercer nivel hasta el 22 son departamentos. Existe un piso 23 para la recreación y finalmente un último piso de maquinas.

La construcción de la obra por parte de la empresa no contempló la excavación ni el sostenimiento del suelo. Esta partida fue realizada con anterioridad por otra empresa, siendo el terreno entregado excavado y entibado.

Los siguientes cuadros muestran datos sobre la construcción de la obra gruesa obtenidos en terreno.

Datos de rendimientos obtenidos en terreno, Edificio Urbano Plus		
Avance promedio máximo de la obra gruesa	4	pisos/mes
Rendimiento colocación moldaje muro	2,6	m ² /HH
Rendimiento colocación moldaje losa	2,42	m ² /HH
Rendimiento colocación armadura	177	Kg/HD
Tiempo de permanencia de moldaje en muro	1	días
Tiempo de permanencia de moldaje en losa (manteniendo alzaprimas)	4	días

Tabla 3.3: Rendimientos de procesos constructivos en la obra; Fuente: Visitas a terreno.

Datos de sistemas constructivos obtenidos en terreno, Edificio Urbano Plus	
Sistema de entibación y socialzado	Pilotes con anclaje
Sistema de moldaje	Moldaje industrializado
Sistema de armadura	Armadura industrial preparada en fabrica y armada en obra
Colocación de hormigón	Sistema grúa-capacho y bomba no estacionaria
Elementos prefabricados	Escaleras Grau

Tabla 3.4: Sistemas constructivos utilizados en la obra; Fuente: Visitas a terreno.

El siguiente gráfico muestra la dotación de trabajadores, o curva de contratación en la obra durante todo el proyecto a excepción de los primeros cuatro meses y los último dos.

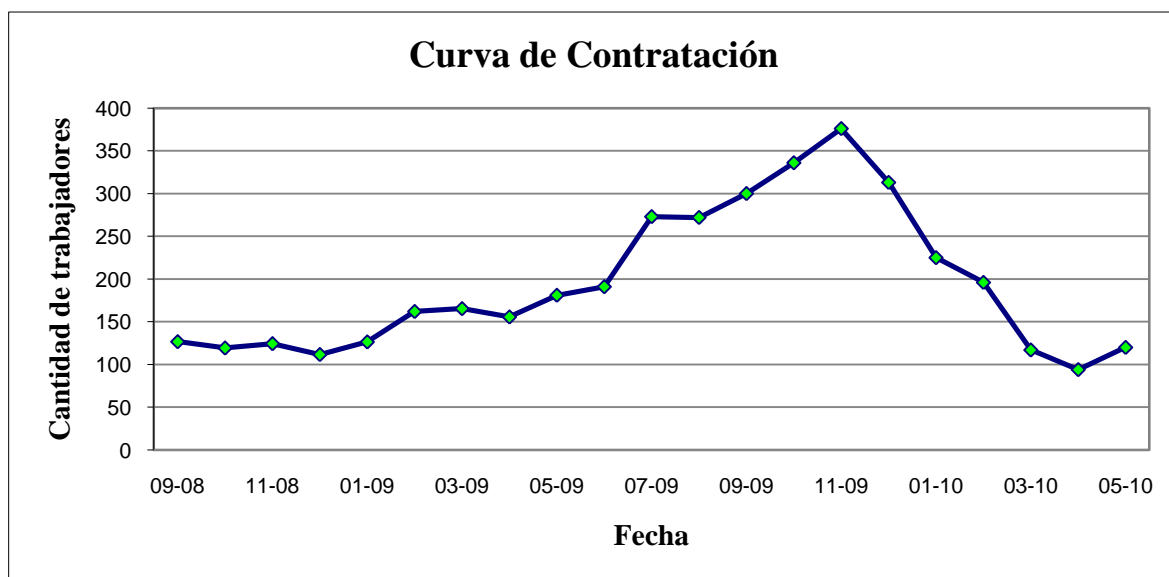


Gráfico 3.1: Dotación de trabajadores durante la obra; Fuente: Empresa a cargo.

La construcción se encuentra en la etapa de terminaciones, la cual se atrasó debido a daños menores post-terremoto.

Para las simulaciones realizadas se contaron con los siguientes datos proporcionados por la empresa constructora:

- Planos de cálculo.
- Cubicaciones de fierro y hormigón por piso.
- Valores del costo total para fierro, moldaje y hormigón.
- Tipos de hormigón utilizados.

Antes de analizar la implicancia de utilizar diferentes sistemas constructivos en esta obra, es necesario conocer más detalladamente en qué consisten los métodos utilizados y los sistemas alternativos considerados.

4. ANÁLISIS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

4.1 INTRODUCCIÓN

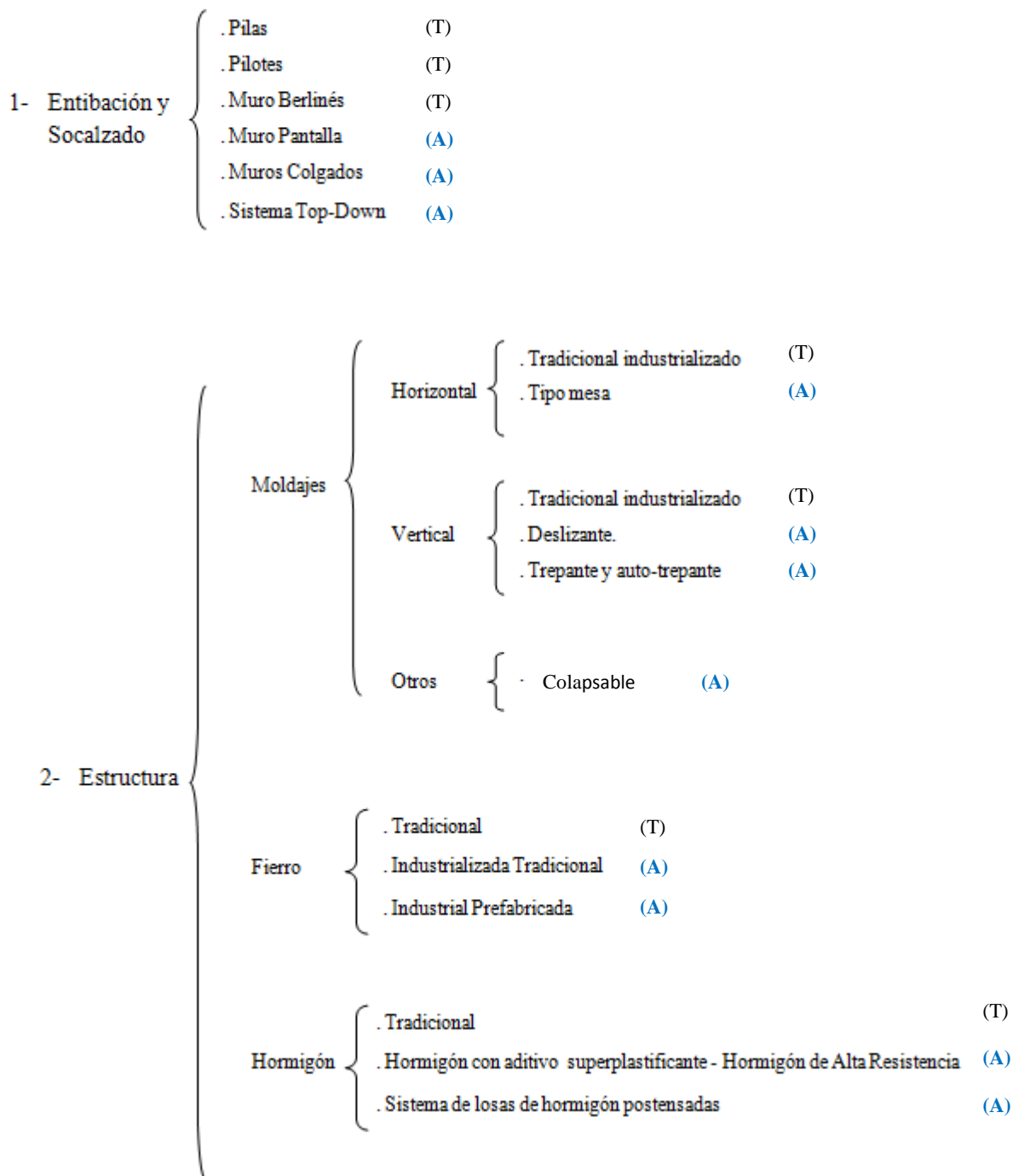
En este capítulo se muestra como se dividirá el trabajo, además de una pequeña introducción a los sistemas que se están utilizando hoy en la construcción de entibaciones y obra gruesa de edificios habitacionales de hormigón en Santiago, tanto métodos tradicionales como sistemas alternativos que permitan ahorros importantes en plazos debido a la mejor tecnología empleada. La idea es mostrar en qué consiste cada sistema, sus ventajas, rendimientos y costos, con el fin de poder conocer las nuevas alternativas y compararlas con las tradicionales.

La construcción de un edificio se puede dividir en tres grandes etapas, las que corresponden a: trabajos previos a la construcción, realización de la obra gruesa, y terminaciones. La obra gruesa es la que emplea la mayor parte del tiempo y de los costos destinados al proyecto. Para edificios de mediana altura en general, como los que hay en Chile, el costo de la obra gruesa y el tiempo que esta etapa ocupa es aproximadamente un 36% y 60% respectivamente del costo y tiempo total destinado al proyecto.

La obra gruesa es la estructura del edificio, y a pesar de que su construcción está limitada por el cálculo estructural del proyecto, quien determina finalmente el diseño y los tipos de materiales a utilizar, es la empresa encargada de la construcción la que decide que sistemas utilizar para su realización. Para esto, la empresa deberá evaluar los métodos constructivos disponibles y elegir el que cumpla con los requerimientos de plazos y costos.

La construcción de la obra gruesa de un edificio se dividirá a su vez en dos partes: entibaciones y socializado por un lado, y la estructura propiamente tal por el otro, la cual se encuentra dividida a su vez en cuatro bloques temáticos a analizar: moldaje, armadura, hormigón y maquinaria. Los sistemas constructivos utilizados en la estructura se expondrán según su área dentro del proyecto.

A continuación se presenta el orden esquemático que seguirá este trabajo, las partidas y sistemas constructivos tradicionales (T) y alternativos (A) investigados. Como fue mencionado anteriormente, la construcción de la obra gruesa de un edificio se dividirá en dos partes:



4.2 ENTIBACIÓN Y SOCIALZADO

Todos los edificios habitacionales altos en construcción tienen una cantidad considerable de subterráneos ya que deben contar con estacionamientos y bodegas. Se pudo observar en terreno, que en promedio los niveles de subterráneo de los edificios van entre 2 y 6. Para la construcción de toda esta etapa, que es la primera a construirse, es necesario previamente realizar las obras de entibación y socialzado correspondientes, con el fin de construir verticalmente de forma segura y utilizando de manera óptima el espacio.

La entibación se puede considerar como una protección para resistir los cortes del terreno que ofrece riesgos de desmoronarse. Por lo general consiste en una estructura vertical, empotrada en el terreno a cierta profundidad por debajo del nivel de excavación de modo de obtener un soporte para contrastar los empujes del terreno, del agua y de eventuales sobrecargas. Por otro lado, el socialzado es el refuerzo de la parte inferior de un edificio o muro, cuyo objetivo es el de evitar daños en su estructura. La alta densidad de construcciones en la ciudad y las grandes profundidades de excavación de los edificios actuales hacen que esta etapa sea bastante compleja, costosa y de grandes tiempos de construcción.

En Chile, más específicamente en Santiago, el sistema más utilizado para el sostenimiento de terrenos en los edificios con más de dos niveles de subterráneos es la pila y el pilote con anclajes, los cuales fueron vistos en todos los edificios visitados a excepción del ubicado en Viña del Mar, que por el tipo de suelo se realizó la entibación a través de un muro berlinés.

Los sistemas tradicionales y alternativos de entibaciones y socialzados considerados en este trabajo, que permiten una disminución de los plazos de construcción son los siguientes:

- | | |
|--|-------------|
| - Sistemas de Pilas y Pilotes | Tradicional |
| - Sistema de Muro Berlínés | Tradicional |
| - Sistema Muro Pantalla o Pared Moldeada | Alternativo |
| - Sistema de Muros Colgados | Alternativo |
| - Sistema Top-Down | Alternativo |

4.3 ESTRUCTURA

La estructura de una obra es básicamente su esqueleto y está destinada a cumplir una función dada, en este caso, la estructura de un edificio habitacional tiene la función de proporcionar la seguridad de las personas que en el habitarán, teniendo un comportamiento adecuado a las condiciones normales de servicio.

La construcción de la estructura de un edificio luego de haber realizado las fundaciones, entibaciones y socialzados correspondientes se divide en numerosos procesos importantes y dependientes unos de otros, en cuanto a que la existencia de un problema en cualquiera de éstos implica un estancamiento en los avances de la obra. Dentro de estos procesos se encuentran por ejemplo, la preparación e instalación del fierro, el montaje e instalación de los moldajes, la colocación del hormigón, por ejemplo.

Hoy en día, en Chile, la construcción de edificios habitacionales se encuentra bastante estandarizada, por lo que este tipo de procesos se realizan prácticamente de la misma manera en todas las obras. Sin embargo, con el tiempo se han ido incorporando nuevas tecnologías que han permitido la creación de sistemas y modos alternativos para realizar los procesos antes mencionados de manera más rápida y simple, disminuyendo los plazos y costos finales de la construcción.

En los siguientes capítulos se expondrá sobre los sistemas tradicionales y alternativos de construcción para edificios con el fin de hacer una comparación de rendimientos y costos entre ellos. Para esto se dividirá la estructura en distintos bloques o etapas relacionadas con los procesos asociados a la construcción. Las etapas son las siguientes.

- 1- Moldaje
- 2- Enfierradura
- 3- Hormigón
- 4- Equipos

Para los cálculos de rendimientos y costos se utilizaron valores obtenidos en las visitas y las entrevistas con empresas constructoras.

5. SISTEMAS DE ENTIBACION Y SOCIALZADO

5.1 SISTEMA DE PILAS Y PILOTES

Corresponden a uno de los métodos más utilizados para entibación y socialzado en el país, especialmente en la zona central, donde existen gravas con alta cohesión.

Este sistema Consiste en la construcción desde la superficie de columnas de hormigón armado, al borde de las excavaciones, las cuales se emplazan separadas entre ejes de 2m a 3,5m. El objetivo de las pilas y pilotes es sostener el terreno y las estructuras aledañas para permitir una construcción vertical segura. Una vez construidas todas las pilas se realiza la excavación masiva gracias al efecto arco generado entre los elementos, lo que da sostenimiento a las estructuras que rodean la obra. Las pilas, dependiendo de la profundidad y de la estructura pueden ser ancladas o apuntaladas.

La única diferencia entre pilas y pilotes es la manera en que se construyen, las pilas se hacen manualmente y los pilotes utilizan maquinaria especial lo que implica mayores costos pero también menos material, mano de obra y tiempo para su construcción.

Proceso constructivo para pilas:

- 1- *Marcar los emplazamientos de las pilas en el borde de la obra y numerarlas.*
- 2- *Realizar la excavación de las pilas impares. Para esto se utilizan hombres que se introducen en el suelo excavándolo, lo que hace de este procedimiento menos rápido y seguro que el sistema de pilotes donde se utiliza una máquina para la excavación.*
- 3- *Introducir la armadura y fijarla en su posición definitiva.*
- 4- *Hormigonar las pilas.*
- 5- *Transcurrida las 24 horas de hormigonadas las pilas impares se comienza con la excavación y posterior hormigonado de las pilas pares.*
- 6- *Una vez construidas todas las pilas se comienza con la excavación masiva del terreno. A medida que se va alcanzando la profundidad donde según los cálculos deben colocarse los anclajes o puntales para ciertos casos, se introducen los tensores y se realiza el postensado. (El mejor método son los tensores, pero invaden la propiedad privada del vecino, por lo que a veces es necesario colocar puntales).*
- 7- *Se protegen las paredes con lechada de cemento para evitar desprendimientos del terreno.*



Figura 5.1: Imagen de pilas ancladas edificio Vista Riesco II, Santiago; Fuente: Pilotes Terratest Mayo 2010.

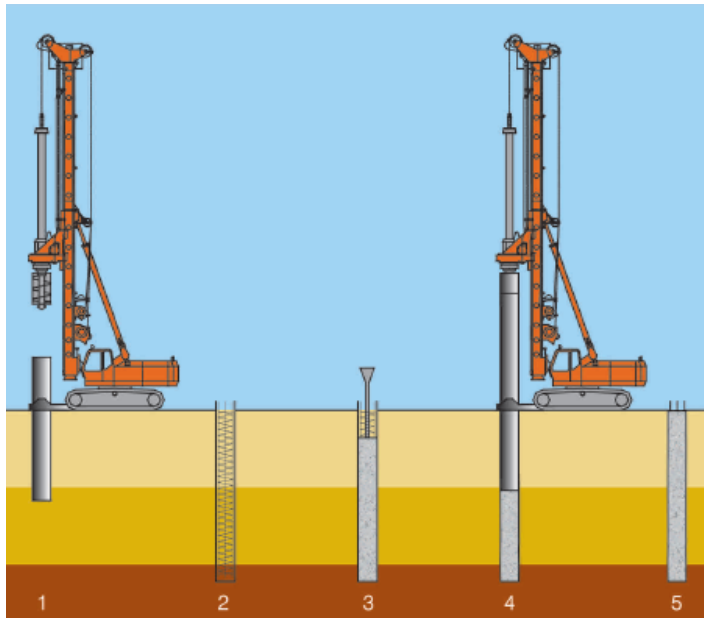
Proceso constructivo para pilotes:

- 1- *Realización de la excavación o perforación. Dependiendo del tipo de suelo se pueden utilizar camisas de acero recuperables o lodos tixotrópicos para mantener estables las paredes de la excavación, la cual puede ser realizada a través de una cuchara bivalva o a través de una hélice, el método en general es determinado por las características del terreno y por las condiciones particulares de la obra. Más adelante se ejemplifica uno de los casos.*
- 2- *Colocación de la armadura.*
- 3- *Colocación del hormigón mediante una tubería tremie. En el caso de que se haya usado lodo bentonítico o tixotrópico, el hormigón entra desplazándolo debido a la diferencia de densidades.*
- 4- *Extracción de la camisa de acero en el caso de que se haya utilizado.*
- 5- *Excavación del terreno, colocación de los tensores de anclaje y protección las paredes con lechada de cemento para evitar desprendimientos.*

Durante la excavación masiva del terreno, ya finalizados los pilotes, al alcanzar la altura indicada para la colocación de anclajes el proceso de excavación es detenido temporalmente. Se realizan las perforaciones de los pilotes y el terreno mediante maquinaria especial, se colocan los cables correspondientes y se inyecta la lechada. Transcurridos 2 a 3 días para que ésta haya alcanzado una resistencia adecuada se procede al tensado de los cables a través de una gata hidráulica y se estabiliza el anclaje con la utilización de una cuña. Luego, se retoma la excavación del terreno hasta alcanzar el próximo nivel de anclajes.

La siguiente figura muestra uno de los métodos más comunes de construcción de pilotes.

Método de Rotación con entubación recuperable:



- 1- Excavación con hélice o balde conteniendo las paredes de la perforación mediante una tubería metálica recuperable
- 2- Colocación de la armadura.
- 3- Hormigonado con tubo tremie.
- 4- Extracción simultanea de la tubería de revestimiento.
- 5- Pilote terminado

Tabla 5.2: Esquema de construcción de pilotes; Fuente: Pilotes Terratest.

Datos obtenidos en terreno y a través de la cooperación de la empresa Pilotes Terratest, permiten determinar los siguientes valores y costos de estos sistemas.

Resumen de costos asociados a la construcción de pilas ancladas			
Ítem	Descripción	Costo	Unidad
Anclajes ¹postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	2,30	UF/ml
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	3,5	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	50,0	UF
Pilas de hormigón armado	Provisión de Hormigón H30	2,0	UF/m ³
	Provisión y preparación de Armadura A63-42H	30,0	UF/ton
	ml de excavación	1,7	UF/ml
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	0,1	UF/m ³

Tabla 5.1: Resumen de costos del sistema de pilas ancladas; Fuente: Pilotes Terratest.

¹ Se denominan postensados temporales debido a que su utilidad tiene un tiempo limitado. En la construcción de un edificio el postensado de los anclajes de los pilotes sólo es útil los meses que dure la construcción de los subterráneos del edificio.

Resumen de rendimientos asociados a la construcción de pilas		
Ítem	Rendimiento	Unidad
Construcción de pilas	1,43	día
Excavación masiva	1.000	m ³ /día
Colocación de anclaje	50	ml/día

Tabla 5.2: Resumen de rendimientos del sistema de pilas ancladas; Fuente: Pilotes Terratest.

Resumen de costos asociados a la construcción de pilotes anclados			
Ítem	Descripción	Costo	Unidad
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	2,3	UF/ml
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	3,5	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	50,0	UF
Pilotes de hormigón armado	ml de excavación Pilote 1000mm	4,0	UF/ml
	Hora standby equipos Pilotaje (eventual)	6,0	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	300,0	UF
	Provisión y preparación de Armadura A63-42H	35,0	UF/ton
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	3,0	UF/ml
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	0,1	UF/m ³

Tabla 5.3: Resumen de costos del sistema de pilotes; Fuente: Pilotes Terratest.

Resumen de rendimientos asociados a la construcción de pilotes		
Ítem	Rendimiento	Unidad
Construcción de pilotes	30	ml/día
Excavación masiva	1.000	m ³ /día
Colocación de anclaje	50	ml/día

Tabla 5.4: Resumen de rendimientos del sistema de pilotes; Fuente: Pilotes Terratest.

Los costos antes descritos incluyen mano de obra, energía y retiro a botadero autorizado.

Los rendimientos para las pilas dependen del número de cuadrillas. Para el valor de la tabla se consideraron 10 cuadrillas de 2 obreros cada una trabajando 5 días a la semana. Esta última consideración fue estimada por la empresa especializada en la construcción de pilas y pilotes basada en las dimensiones de la obra a analizar en este trabajo y a experiencias anteriores. Utilizar una mayor cantidad de cuadrillas permitiría obtener menores tiempos de construcción, pero no se considerará esta opción debido a que los trabajadores difícilmente aceptarían ser contratados por tan poco tiempo.

La excavación masiva para ambos casos y la de pilotes considera sólo una maquina debido a problemas de espacio y congestión de los camiones tolva.

5.2 MURO BERLINÉS

Consiste en tablestacados fabricados in-situ con pilares de acero verticales de longitud igual a la altura de excavación más un empotramiento en el terreno denominado ficha.

Estos elementos se hincan en terreno cada 1,2m a 1,5m y se instalan entre ellos tablonces de pino de 2" x 10" a medida que avanza la excavación. La estabilidad del muro se logra colocando una o más líneas de anclajes o pernos inyectados, los cuales se ejecutan sobre una viga horizontal perimetral para permitir la repartición de las cargas en todos los perfiles.

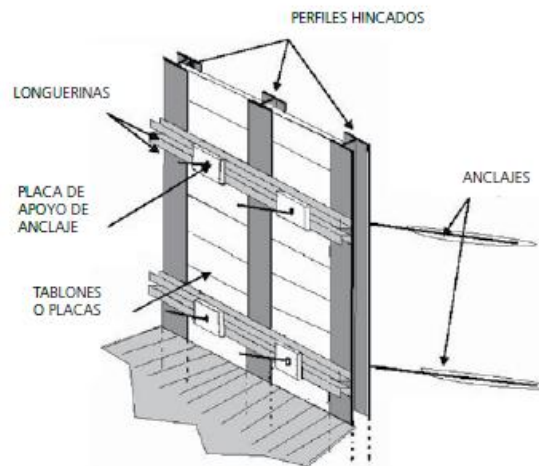


Figura 5.3: Esquema de un muro berlinés; Fuente: Revista BIT (55), Julio 2007.



Figura 5.4: Fotografía muro berlinés edificio Chacabuco; Fuente: Pilotes Terratest, Junio 2010.

El muro berlinés atirantado cuenta con aplicaciones variadas como entibación temporal, segura y económica para obras de pequeña y mediana envergadura en suelos compuestos por arena y finos. Se define como un muro flexible, de mayor deformabilidad que los muros pantallas y los pilotes, no aplicable para contener las napas subterráneas, en este caso se debe ejecutar un proceso de agotamiento de la napa detrás de la entibación.

5.3 PARED MOLDEADA O MURO PANTALLA

La pared moldeada o muro pantalla es un sistema que consiste en excavar una zanja en el terreno mediante la utilización de cucharas bivalvas, manteniendo la estabilidad de las paredes de la excavación utilizando lodos bentoníticos.

El espesor de este muro varía entre 0,4m a 0,8m según el proyecto lo requiera y con una profundidad igual a la excavación necesaria para la construcción de los subterráneos más una ficha o empotramiento. Dependiendo del terreno y la profundidad de excavación puede ser necesario anclar o apuntalar la pantalla en uno o más niveles a medida que progresa la excavación.

En un principio las pantallas se emplean exclusivamente para la construcción de cortinas impermeables en el terreno, y actualmente se utilizan como elementos estructurales definitivos que forman parte del edificio en estacionamientos subterráneos. A continuación se muestran algunas ventajas y desventajas de este sistema.

Principales ventajas:

- La pared moldeada se integra a la estructura final del edificio, ahorrando los costos de entibación y tiempo de ejecución de la obra gruesa.
- El muro se construye dentro de los deslindes de la propiedad, lo que permite ahorrar costos en permisos.
- No son necesarias las entibaciones.
- La ejecución es previa a la excavación y se efectúa desde la superficie del terreno.
- La descompresión del terreno es mínima al no existir la necesidad de excavación.
- Esta pared se puede construir en cualquier tipo de terreno, incluso en presencia de napas.
- No se requiere zapata de cimentación, basta con el empotramiento del muro.

Principales desventajas:

- Posibles derrumbes de las paredes debido a estratos más blandos.
- En terrenos muy duros se hace necesario el uso de trépano, aumentando así los costos.
- Posibles desviaciones en la excavación por la tendencia de las cucharas a desviarse o por el encuentro de un estrato más blando.

Proceso constructivo:

Para la construcción del muro pantalla, se debe ejecutar una zanja profunda sin entibación de las paredes. Para esto, primero se construye una zanja de poca profundidad en todo el perímetro de la excavación. Conteniendo el terreno en ambos lados de la zanja, se construyen unos pequeños muros guías que sirven para guiar la herramienta de perforación y también para que el nivel del lodo se sitúe dentro de la altura de los muros guías, impidiendo la inestabilidad del terreno.

Para la excavación de los paneles se utilizan cucharas bivalvas. Ésta se realiza por entrepaños de longitud limitada de 2,6m a 4,2m para los paneles primarios y de 5m a 7,2m para los secundarios. Los espesores pueden variar de 0,45m a 1,2m como máximo. A medida que se progresa en la excavación, se va agregando lodo bentonítico. Una vez terminada la perforación, se procede a la limpieza del fondo de la excavación de todo el material sedimentado por medio de la inyección de aire insuflado.

Luego se introduce el elemento junta en cada extremo del panel, el cual suele ser un tubo del mismo espesor del muro. Una vez colocados estos tubos se procede a la instalación de la armadura y su posterior hormigonado.

El hormigonado se realiza con la técnica de hormigón sumergido. Para ello se introduce dentro del panel un tubo tremie. Los hormigones empleados en este caso están generalmente dosificados con un gran contenido de cemento 350 Kg/m^3 a 400 Kg/m^3 , con una docilidad entre 14cm y 18cm de asiento en el cono de Abrams y una relación A/C de 0,6 a 0,65. Una vez endurecido el hormigón, se retiran los tubos juntas utilizando la misma grúa de perforación o por medio de gatos hidráulicos. En seguida se procede a la excavación del muro contiguo o secundario repitiendo la secuencia anterior.

Una vez completado el hormigonado, y retirado los tubos juntas, se demuelen 0,2m de la parte superior del muro para que queden al descubierto las armaduras del panel, las que se integran con los demás paneles por medio de una viga de amarre o de coronación que corre a lo largo de todo el muro pantalla.

Luego de construidos los paneles, se procede a excavar en función de la proximidad de estructuras, las características del suelo, y la presencia y profundidad del nivel freático. Este proceso puede realizarse en varias fases, con ayuda de una serie de anclajes en línea a diferentes alturas.

El siguiente esquema muestra la secuencia de construcción del muro pantalla alternado:

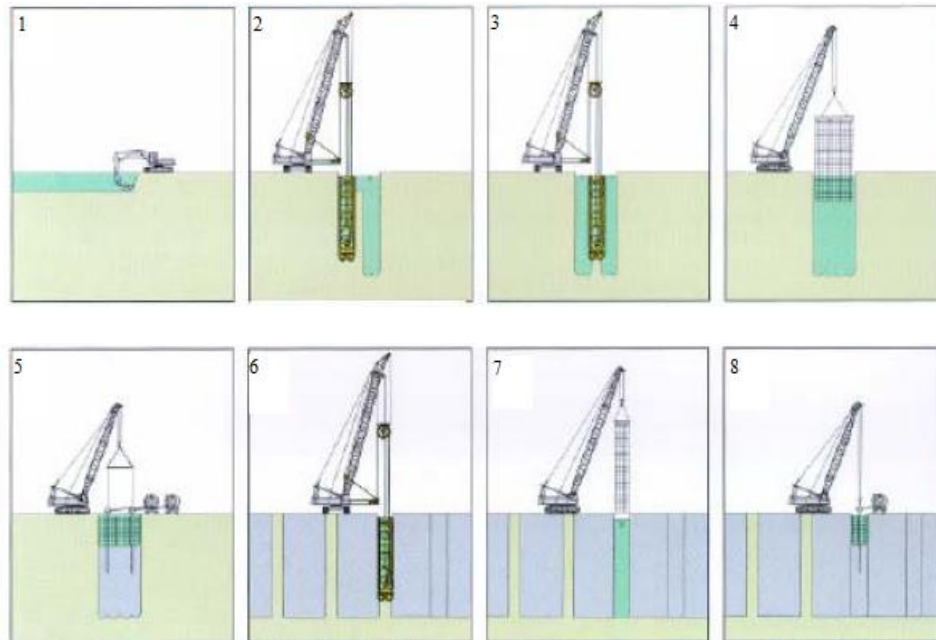


Figura 5.5: Construcción del muro pantalla; Fuente: Civilsolve Academy, Mayo 2008.

- 1- Pre excavación de muros guías.
- 2- Excavación del segmento primario, fase inicial.
- 3- Excavación del segmento primario, fase final.
- 4- Introducción de la armadura dentro del lodo.
- 5- Vaciado del hormigón, desplazamiento del lodo.
- 6- Excavación del segmento secundario.
- 7- Colocación de la armadura.
- 8- Vaciado del hormigón y desplazamiento del lodo.

Los valores de los costos y rendimientos asociados a la utilización de este sistema son los siguientes:

Resumen de costos asociados a la construcción del muro pantalla			
Ítem	Descripción	Costo	Unidad
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	2,3	UF/ml
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	3,5	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	50,0	UF
muro de hormigón armado	Ejecución Muro Pantalla espesor 60cm	3,5	UF/m ²
	Ejecución de Murete guía	3,0	UF/ml
	Hora standby equipos Pantalla (eventual)	9,0	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	650,0	UF
	Provisión y preparación de Armadura A63-42H	35,0	UF/ton
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	3,00	UF/m ³
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	0,1	UF/m ³

Tabla 5.5: Resumen de costos del sistema de muro pantalla; Fuente: Pilotes Terratest.

Resumen de rendimiento asociados a la construcción del muro pantalla		
Ítem	Rendimiento	Unidad
Construcción del muro pantalla	60	m ² /día
Excavación masiva	1.000	m ³ /día
Colocación de ánclale	50	ml/día

Tabla 5.6: Resumen de rendimientos del sistema de muro pantalla; Fuente: Pilotes Terratest.

Los costos antes descritos incluyen mano de obra, energía y retiro a botadero autorizado.

Se consideró un espesor de muro de 0,6m y la utilización de una sola máquina excavadora y perforadora.

5.4 MUROS COLGADOS O MUROS ANCLADOS

Este método, conocido también como “muros bajando”, se caracteriza por la rapidez para ejecutar muros perimetrales en subterráneos. Cuenta con interesantes ventajas, siendo la principal, permitir la ejecución de los muros perimetrales de los subterráneos en forma simultánea con la excavación.

La modalidad consiste básicamente en construir los subterráneos por etapas. En primer lugar se excava el terreno y luego se ejecutan los muros por la altura del subterráneo más un delta para el traslape de las armaduras verticales. Dichos tramos de muros se fijan al terreno con anclajes postensados. Una vez construida la línea de muros de todo el perímetro, se procede a excavar la etapa siguiente repitiendo la frecuencia. La descripción de la metodología de este sistema se esquematiza en la siguiente figura.

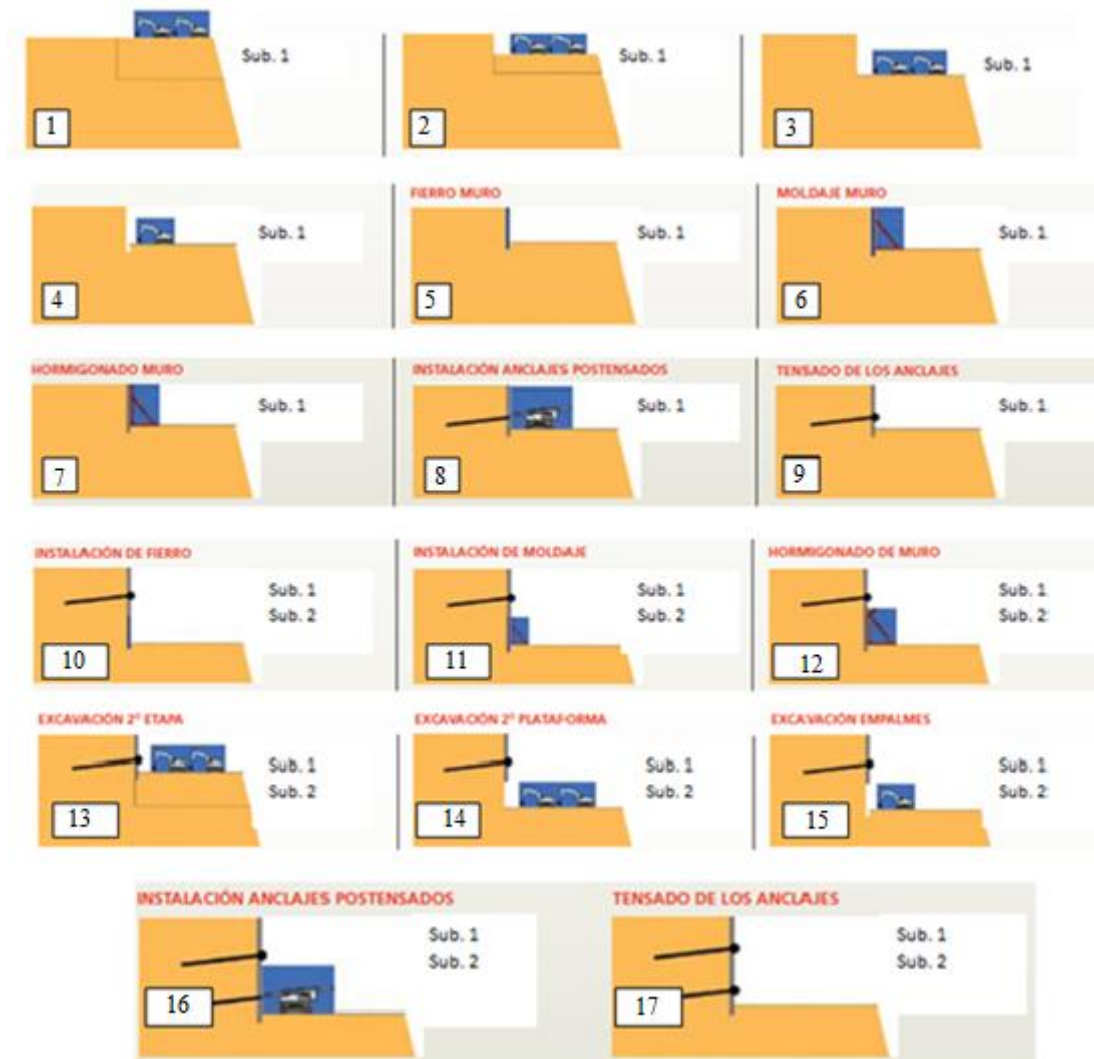


Figura 5.6: Construcción muros colgados; Fuente: Revista BIT (57), Noviembre 2007.

- 1- Se construyen los muros partiendo del subterráneo 1 hacia abajo.
- 2- Paralelamente se excavan las plataformas de trabajo y la excavación masiva central.
- 3- El sello de excavación de la primera plataforma será el fondo de losa del cielo del segundo subterráneo.
- 4- Una vez llegado al sello, se excava una zanja para dejar los fierros pasados de los muros para los empalmes verticales.
- 5- Una vez instalada la enfierradura, se llena con tierra hasta llegar al nivel del sello.
- 6- La disposición del moldaje, puede ser como un moldaje tradicional contra terreno.
- 7- Al hormigonar el muro, se cuidará que la presión no vuelque el muro.
- 8- Una vez descimbrado el moldaje, se procede a la perforación e instalación de los anclajes.
- 9- Una vez fraguado el mortero de inyección, se tensan los cables.
- 10- Se empieza con la excavación del segundo sello.
- 11- Se excava la zanja para los empalmes.
- 12- Se instala la enfierradura.
- 13- Se instala el moldaje. Se le incorpora una consola, la cual servirá de apoyo a las losas.
- 14- Se procede a hormigonar el muro.
- 15- Una vez descimbrado el moldaje, se perforan e instalan los anclajes.
- 16- Una vez fraguado el mortero de inyección, se tensan los cables.

Los valores de los costos y rendimientos asociados a la utilización de este sistema son los siguientes:

Resumen de costos asociados a la construcción del muro anclado			
Ítem	Descripción	Costo	Unidad
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	2,5	UF/ml
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	3,5	UF/hr
	Movilización y desmovilización de equipos	50,0	UF
Muro de hormigón armado	Arriendo y colocación de Moldaje muro contra terreno	0,94	UF/m2
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	3,0	UF/m3
	Provisión y preparación de Armadura A63-42H	35,0	UF/ton
	Sobreconsumo de Hormigón (10%)	2,0	UF/m3
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	0,15	UF/m3

Tabla 5.7: Resumen de costos del sistema de muro anclado; Fuente: Pilotes Terratest, Polpaico, EFCO.

Estos valores consideran un muro de 0,4m de espesor.

El rendimiento del muro colgado va a depender exclusivamente del proyecto ya que incluye la excavación del terreno, lo que se determinará más adelante.

5.5 SISTEMA TOP-DOWN

Esta técnica consiste en la construcción de forma simultánea de la subestructura y la superestructura, es decir, se construye en la parte superior e inferior del nivel del suelo al mismo tiempo.

En Europa este método se utiliza hace años en estructuras que poseen grandes subterráneos. El sistema Top-Down permite reducir de forma considerable los plazos de construcción, ya que logra independizar la construcción de la estructura subterránea “descender” y la superficial “ascender”.

La forma tradicional de construcción sigue la secuencia de excavar, entibar, construir fundaciones, construir los subterráneos, y después los pisos superiores. La secuencia de este método empieza por la construcción de pilotes, pilares, luego la losa de nivel basal y después, en forma simultánea avanza la obra hacia arriba y hacia abajo.

La primera diferencia con el método tradicional es que se empieza a construir primero hacia arriba y después hacia abajo. La segunda, es que las fundaciones tradicionales se reemplazan por pilotes perforados que pasan a ser los pilares de los subterráneos, y además son las fundaciones de todo el edificio. Los pilotes pasan a formar parte de la estructura definitiva del edificio como muros perimetrales y columnas centrales.

Proceso constructivo:

Primero se construyen los pilotes perimetrales y centrales, posteriormente se hormigona la losa y vigas de cielo directamente sobre el nivel del terreno. Luego de esto comienza la construcción simultánea e independiente de la parte superior e inferior de la estructura. Se repite el proceso ya descrito para cada subterráneo, excavando y hormigonando contra terreno y completando la estructura bajo la superficie de manera descendente.

Los pilares son hormigonados en terreno, se excava y se coloca una camisa metálica para evitar el desmoronamiento de la excavación. Una vez que se llega al nivel requerido, se coloca la armadura y se empieza a hormigonar, proceso durante el cual se extraen paulatinamente las camisas. Luego, contra el terreno se hormigona la primera losa, y se parte con la construcción hacia arriba.

En Chile, se aplicó este método por vez primera en el centro comercial Paseo San Bernardo en el año 2006.

El siguiente esquema muestra la secuencia que sigue este método:

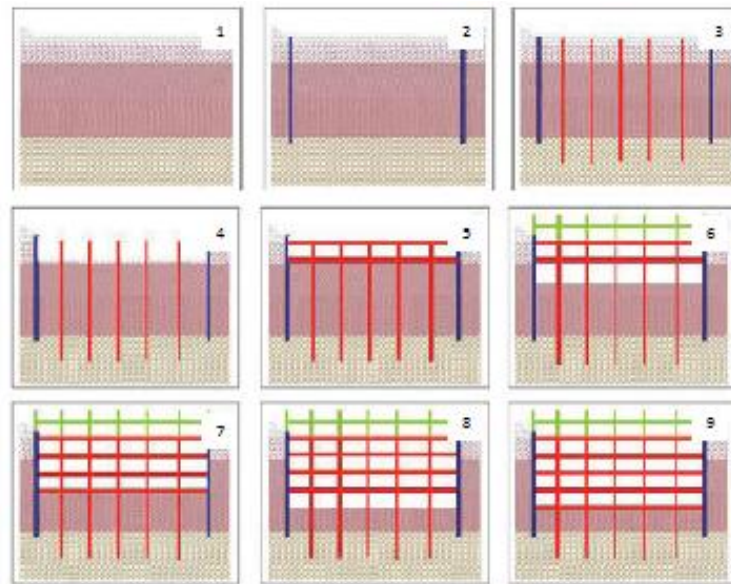


Figura 5.7: Método top-down; Fuente: Pilotes Terratest, Mayo 2010.

- 1- Preparación de la plataforma de trabajo.
- 2- Ejecución de los pilotes perimetrales.
- 3- Ejecución de los pilotes centrales de hormigón armado.
- 4- Excavación subterráneo 1.
- 5- Construcción subterráneo 1.
- 6- Excavación subterráneo 2,3 y comienzo de la estructura del primer nivel.
- 7- Construcción subterráneo 2,3 y continua en forma ascendente la construcción de las plantas superficiales.
- 8- Se repite la secuencia según la cantidad de subterráneos del edificio.



Figura 5.8: Método top-down; Fuente: Pilotes Terratest, Mayo 2010.

5.6 SIMULACIÓN TEÓRICA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE ENTIBACIÓN

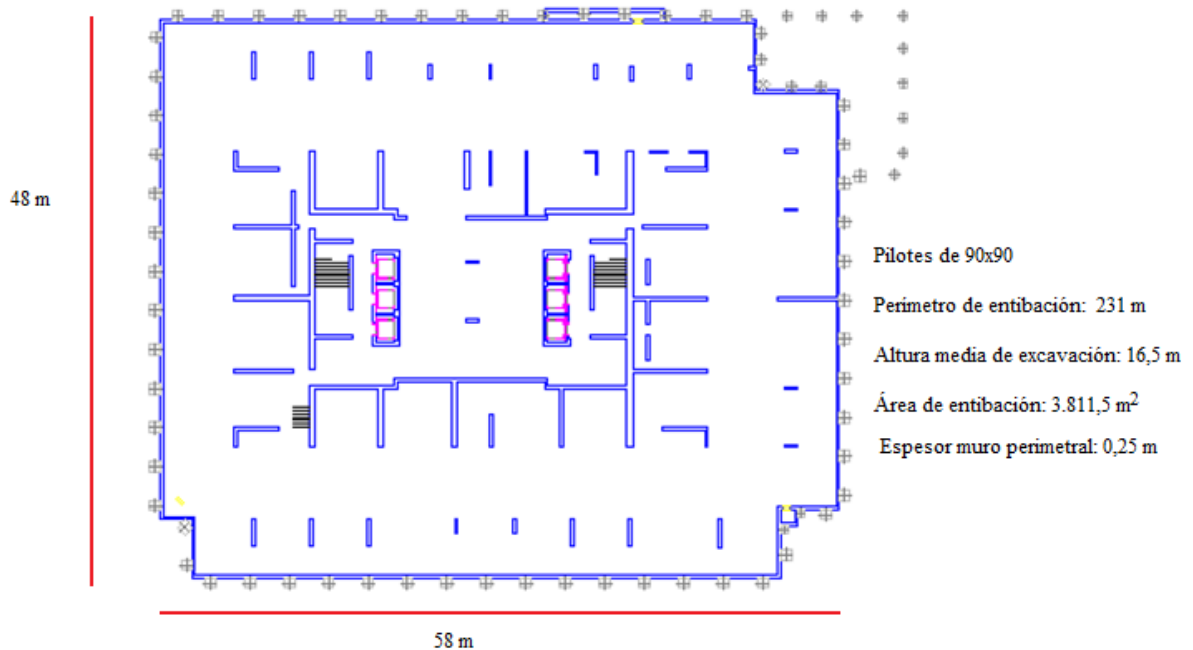
5.6.1 Datos de la obra

Para la realización de una simulación que permita comparar los métodos de entibación mencionados se utiliza el edificio tipo, seleccionado y detallado en el capítulo III. Las características generales de este proyecto son las siguientes:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos sobre nivel de suelo	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1.290m ²
Superficie subterráneo	2.700m ²
Gastos generales mensuales	1.340 UF

La obra fue realizada por la empresa Tecsa, sin embargo, las entibaciones fueron construidas por la empresa Pilotes Terratest y consistió en pilotes anclados en todo el perímetro del edificio. La siguiente figura muestra el plano con los pilotes y las dimensiones que se consideraron para la simulación.

Plano original de la obra de un subterráneo tipo.



5.6.2 Consideraciones importantes

Para poder aplicar cada modalidad de entibación al proyecto, se hicieron los siguientes supuestos para la realización de los cálculos:

- Se trabajan cinco días a la semana y cada día consta de 9 horas de trabajo.
- Al métodos de pilas y pilotes debió sumarse la construcción del muro perimetral para poder compararlos con los otros sistemas. Para esto se aplicaron los sistemas tradicionales de construcción descritos en este trabajo, es decir, armadura y moldaje vertical industrial tradicional, y colocación del hormigón con bomba. Los costos y rendimientos de estos sistemas se pueden ver más en detalle en los capítulos correspondientes.
- Para el largo de los anclajes se consideró el original del proyecto que corresponde a un total de 1.518 ml, sin embargo, para el caso especial de muros anclados este valor se obtiene multiplicando el perímetro de entibación por 10. Esto según el ingeniero de Terratest a cargo y basado en proyectos anteriores.
- Se consideró un espesor de 0,6m para el muro pantalla y de 0,4m para el muro anclado.
- El valor de la UF es de \$21.143 pesos, correspondiente al día 9 de junio del 2010.
- El costo empresa por enfierrador es de \$32.061 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- El costo empresa de un jornalero es de \$19.341 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- Para determinar la cantidad de fierro se consideró una cuantía de 125Kg/m³ de hormigón.

Debido a que el muro berlinés es una entibación no aplicada en la ciudad de Santiago por el tipo de suelo, no se realizará la simulación para este método.

En el caso del sistema top-down es necesario un cambio en el diseño del proyecto. Para su realización el edificio debe estar compuesto por pilotes en los subterráneos que continúen como columnas a los pisos superiores, es por esto que es un sistema destinado a la construcción de edificios de oficinas y sobre todo centros comerciales, donde prima una construcción lo más rápida posible. Por ejemplo, en la construcción del mall Paseo San Bernardo, este método permitió la inauguración del centro sin tener los subterráneos hechos, lo que permitió adelantar la activación del centro. Debido a esto y sumado al alto costo se considera poco óptimo y bastante complejo en cuanto al cambio del diseño aplicar este sistema a la construcción de un edificio habitacional, por lo que se decidió no realizar la simulación con su aplicación.

5.6.3 Simulación

Para lograr una comparación adecuada de todos los sistemas fue necesaria la construcción de las entibaciones incluyendo el muro perimetral de la estructura en los casos de pilas y pilotes. Para esto se realizó una simulación de la construcción de este muro con el fin de determinar el costo y tiempo extra que significa. Es por esto que se dividió la simulación en tres partes, la primera es la construcción independiente de un muro perimetral del subterráneo para el proyecto analizado con el fin de utilizar los resultados en el análisis de la construcción de pilas y pilotes, en la segunda parte se expone una tabla resumen de los costos asociados a la construcción de las entibaciones para cada uno de los sistemas, y finalmente la tercera parte muestra un resumen de los tiempos necesarios para la construcción de cada método. El detalle de los cálculos por sistema se puede observar en los anexos en las páginas 111-114

Parte 1: Construcción del muro perimetral del subterráneo del edificio analizado

Para poder obtener los datos necesarios y así comparar este sistema con los otros debemos agregarle el costo y tiempo de la construcción de los muros perimetrales de los 6 pisos de subterráneo de 0,25m de espesor.

Para determinar la cantidad de tiempo dedicado a la construcción de este muro se analiza en detalle la del primer subterráneo el cual se dividió en 4 frentes.

Cálculo del tiempo necesario para la construcción de 1/4 piso					
Cantidades de material		Rendimientos		Trabajadores	Rendimiento total
Fierro	1,4 ton	180 Kg/HD		8	0,98 Días
Moldaje	180,8 m ²	15 m ² /HD		7	1,72 Días
Hormigón	45,2 m ³	239 m ³ /D		9	0,2 Días

Tabla 5.8: Determinación del tiempo para la construcción del muro perimetral.

Con este sistema el rendimiento es de aproximadamente 8 días por piso, lo que significa un total de 48 días hábiles (o 2,4 meses) para la construcción del muro perimetral de todo el subterráneo.

Para determinar el costo de la construcción del muro perimetral se determinan los siguientes valores para ¼ de piso. En la sección anexos de este documento se puede ver el desglose para el cálculo de los diferentes costos.

Cálculo de costos para la construcción de 1/4 piso					
Costo material e instalación			Cantidad de material		Costo total UF
fierro	36,4	UF/ton	1,4	ton	51
Moldaje	1,067	UF/m ²	180,8	m ²	193
Hormigón	2,506	UF/m ³	45,2	m ³	113
Costo Tota					358 UF

Tabla 5.9: Resumen de costos para la construcción del muro perimetral.

Por lo tanto, considerando los 6 pisos, la construcción del muro perimetral de los subterráneos del edificio tiene un costo total extra de 8.580 UF y un plazo de construcción de 2,4 meses aproximadamente.

Hay que tener en cuenta que la construcción del muro para el uso de este análisis es teórico y sólo con el fin de poder comparar tiempos y costos de todos los métodos visto. En la realidad la realización de este muro va complementada con la de todo el subterráneo, o sea, con losas, vigas y muros al mismo tiempo, por lo que hacerlo de manera independiente puede generar errores en las determinaciones de los plazos.

Parte 2: Resumen de los costos asociados a cada método de entibación

Al aplicar los valores obtenidos asociados a cada sistema, las cantidades totales de material utilizado y las dimensiones de la obra, se determinaron los costos resumidos en las siguientes dos tablas. (La primera tabla no considera la construcción del muro perimetral para los casos de pilas y pilotes mientras que la segunda si la incluye, ver detalles en anexos pg. 111-114)

Ítem	Descripción	Cantidades				
		Un.	Pilas	Pilotes	Muro Pantalla	Muro Anclado
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	ml	1.518	1.518	1.518	2.310
	Hora standby equipos anclajes	hr	0	0	0	0
	Movilización de equipos	Glo.	1	1	1	3
Estructura de hormigón armado	Provisión de Hormigón H30	m ³	1.115	1.064	3.209	2.211
	Provisión y preparación de Armadura	ton	108	148	334,4	194
	Hora standby equipos Pilotaje	hr	-	0	0	0
	Movilización de equipos	Glo	-	1	1	-
	Ejecución Muro Pantalla espesor 60cm	m2	-	-	4.458	-
	Ejecución de Murete guía	ml	-	-	231	-

	ml de excavación	ml	1.313	1.313	-	-
	Arriendo y colocación de Moldaje muro ancl.	m2	-	-	-	3.811
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	m ³	45.936	45.936	45.936	45.936

Tabla 5.10: Resumen de cantidades utilizadas al aplicar cada sistema de entibación.

Ítem	Descripción	Valores totales UF			
		Pilas	Pilotes	Muro Pantalla	Muro Anclado
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	3.491	3.491	3.491	5.775
	Hora standby equipos anclajes	0	0	0	0
	Movilización de equipos	50	50	50	150
Estructura de hormigón armado	Provisión de Hormigón H30	2.230	3.191	9.629	6.251
	Provisión y preparación de Armadura	3.240	5.170	11.702	6.768
	Hora standby equipos Pilotaje	-	0	0	0
	Movilización de equipos	-	300	650	-
	Ejecución Muro Pantalla espesor 60cm	-	-	15.603	-
	Ejecución de Murete guía	-	-	693	-
	ml de excavación	2.232	5.252	-	-
	Arriendo y colocación de Moldaje muro anclado	-	-	-	3.578
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	4.812	4.812	4.812	6.890
Valor total sin muro perimetral		16.055	22.266		
Valor total con muro perimetral		24.635	30.846	46.631	29.412

Tabla 5.11: Resumen de costos de aplicar cada sistema de entibación.

Parte 3: Resumen de los tiempos necesarios para cada método

Para determinar el tiempo necesario para la construcción de cada tipo de entibación se utilizaron los valores asociados a los rendimientos expuestos con anterioridad en este capítulo y las cantidades observadas en la tabla anterior. La siguiente tabla muestra un resumen de los tiempos empleados para los sistemas de pilas, pilotes y muro pantalla. Para el caso del muro anclado fue necesario realizar una simulación independiente ya que éste se construye a medida que se va haciendo la excavación del terreno. (Detalles en anexos pg. 111-114)

Ítem	Tiempo total necesario días		
	Pilas	Pilotes	Muro Pantalla
Construcción estructura	53	41	74
Colocación anclaje	30	30	30
Excavación masiva	46	46	46
Construcción muro perimetral	48	48	0
Tiempo Total días sin incluir muro perimetral	99	87	
Tiempo Total días incluyendo muro perimetral	147	135	120

Tabla 5.12: Resumen de los tiempos necesarios de aplicar cada sistema de entibación.

Se considera que la colocación de anclaje y la excavación masiva pueden realizarse simultáneamente. En el caso especial del muro anclado se realiza una simulación aparte para determinar la duración de su construcción. Para esto se dividió el terreno en cuatro partes o frentes para optimizar el tiempo, y se realizaron seis etapas de excavaciones de 2,75m cada una correspondiente a la altura de un piso.

La construcción cuenta con cinco etapas: Excavación (E), armado (A), colocación de moldaje (M), colocación de hormigón (H) e instalación del anclaje (AC).

Considerando lo anterior se determinaron los tiempos de ejecución de cada etapa de la construcción por frente y por piso como se indica a continuación.

Rendimientos por frente y por piso			
Etapas	Cantidad	Rendimiento por día	Rendimiento total
E	1.914,0 m ³	650 m ³ /D	2,94 días
A	9.403,4 kg	180 Kg/HD	2,80 días
M	158,8 m ²	15 m ² /HD	2,11 días
H	89,2 m ³	230 m ³ /D	0,33 días
AC	96,3 ml	50 ml/D	1,93 días

Tabla 5.13: Resumen de tiempos para aplicar el sistema de muro anclado.

Para obtener la cantidad de días utilizados en la construcción se realizó una programación rítmica, para lo cual se aumentaron un la cantidad de días necesarios por etapa de manera más conservadora.

Los datos considerados para cada etapa y la programación son las siguientes.

Datos considerados para a programación						
Etapas	A	E	M	H	AC	unidad
Rendimiento	3	3	2,2	0,5	2	días

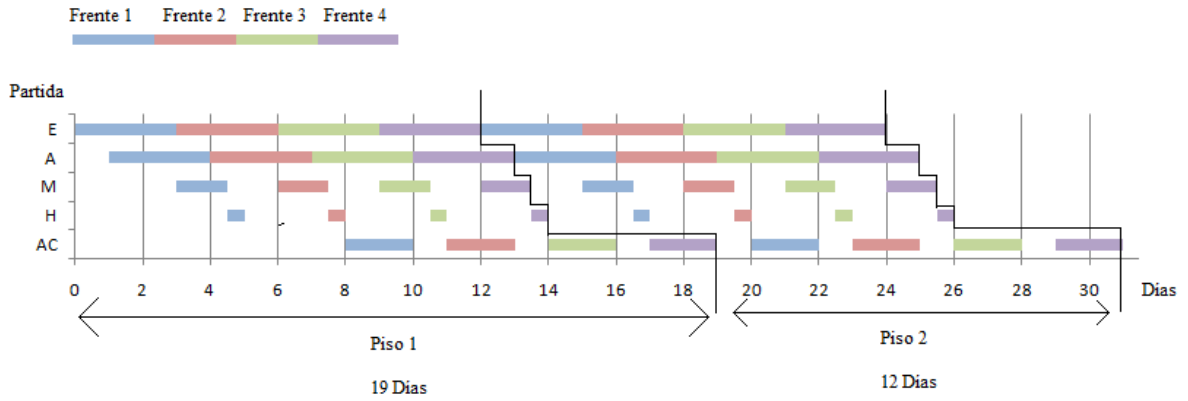


Figura 5.9: Programación para determinar el avance de construcción del muro anclado.

Finalmente se obtiene un plazo de construcción con este sistema de 79 días o 4 meses.

De manera resumida se obtienen los siguientes resultados.

Resumen de rendimientos y costos de construir entibaciones y muro perimetral		
Sistema	Plazo de construcción mes	Costo UF
Pilas sin muro perimetral	4,9	16.055
Pilas con muro	7,3	24.635
Pilotes sin muro perimetral	4,4	22.266
Pilotes con muro	6,7	30.846
Muro pantalla	6	46.631
Muro anclado	4	29.412

Tabla 5.14: Resumen de costos y tiempos de aplicar los distintos sistemas de entibaciones.

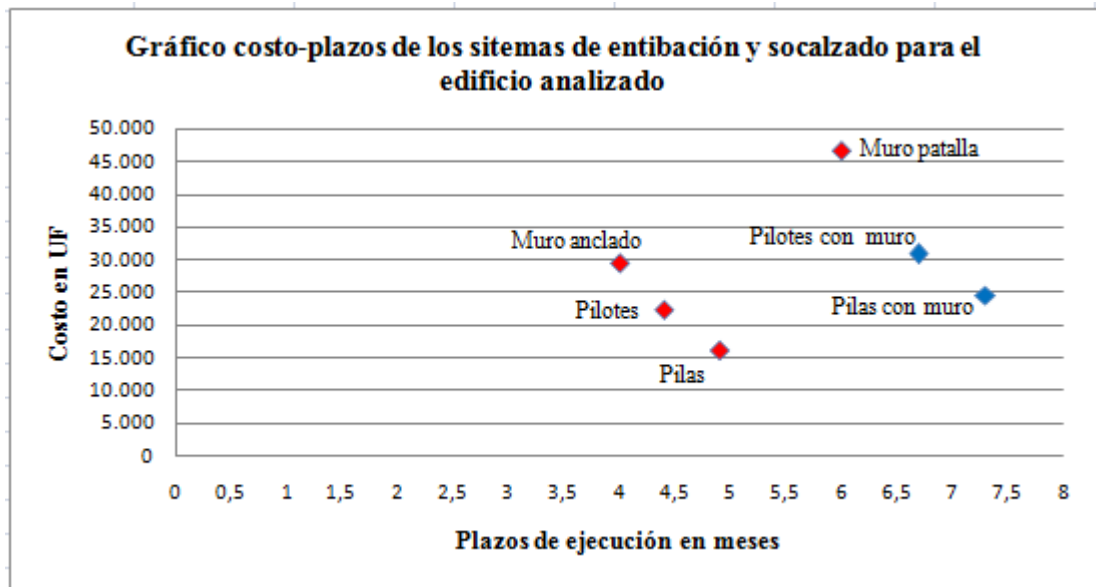


Gráfico 1: Tiempos y costos de los diferentes sistemas de entibación sin incluir el muro perimetral del subterráneo.

5.6.4 Análisis de resultados

Para este proyecto en general la realización de las entibaciones con pilotes permitió reducir los plazos de entrega en 0,5 meses con respecto a las pilas, sin embargo el costo es bastante superior debido a la tecnología empleada en las maquinas de excavación de los pilotes a pesar de necesitar menos mano de obra.

Si analizamos el ahorro obtenido por disminuir el plazo lo más probable es que no compense la diferencia de los valores finales, sin embargo a medida que los costos de la mano de obra suban estas diferencias irán disminuyendo.

En el caso del muro pantalla el plazo de construcción es superior al real compuesto por pilotes, y con un costo considerablemente más alto. Esto nos da a entender que su utilización sólo se da en casos especiales donde es imposible la construcción de pilas o pilotes debido a algún problema en el terreno como por ejemplo la presencia de agua. La diferencia en los costos está principalmente en la cantidad de material destinada al muro, ya que el muro perimetral con este método es de 0,6m mientras él construido sin este sistema es de sólo 0,25m.

Finalmente, el sistema que se considera óptimo en cuanto a ahorro de plazos y costos para la realización de entibaciones y muro perimetral es él de muro anclado, el cual permite la construcción en el menor tiempo posible y con un costo más bajo que los pilotes.

El único problema de implementar este último sistema es la necesidad de tener listo el proyecto para su ejecución. La construcción de pilas y pilotes permiten adelantar trabajo mientras se terminan los cálculos de la obra y fue esta la razón dada por la empresa a cargo para el caso analizado. La inmobiliaria no lo tenía terminado, sin embargo adelantó la construcción haciendo las entibaciones con pilotes, lo que permitió contar con 4 meses más para terminar de completar el proyecto.

Por lo tanto, en el caso de tener un proyecto listo para su construcción el mejor sistema para realizar las entibaciones incluyendo el muro perimetral de los subterráneos es el de muros anclados, el cual permite una reducción del casi un 10% de plazo en comparación al sistema de pilotes, sin considerar que el muro anclado permite la construcción simultanea con la excavación del muro perimetral del edificio.

6. SISTEMAS DE MOLDAJE

El moldaje o encofrado es fundamental en una obra y tiene la misión de moldear el hormigón, dándole la geometría y textura durante el periodo de fraguado y endurecimiento inicial.

Los moldaje se pueden dividir en dos tipos según el sentido del elemento que se quiera hormigonar: los moldajes verticales, para muros y columnas; y los moldajes horizontales, para losas y vigas. Dentro de estos tipos de encofrado existen diferentes alternativas según el material, accesorios, forma de transporte, tamaño, entre otras.

Inicialmente se utilizaban moldajes de madera, creados en la misma obra por los trabajadores, este sistema se sigue empleando en construcciones de obras más bien pequeñas debido a la corta vida útil que tienen, o en obras industriales donde son necesarias formas especiales, por lo que no serán incluidos en esta parte del trabajo.

A continuación se expone un resumen de los sistemas de moldajes tradicionales industrializados, y, otros sistemas de encofrado menos utilizados en Chile, pero que sin embargo permiten un ahorro de tiempo significativo debido a sus altos rendimientos. Los sistemas considerados en este trabajo son los siguientes:

Moldaje Vertical:

- | | |
|---------------------------------------|-------------|
| - Moldaje Industrializado Tradicional | Tradicional |
| - Moldaje Deslizante | Alternativo |
| - Moldaje Trepante y Auto-Trepante | Alternativo |

Moldaje Horizontal:

- | | |
|---------------------------------------|-------------|
| - Moldaje Industrializado Tradicional | Tradicional |
| - Moldaje tipo Mesa | Alternativo |

Moldaje Horizontal y Vertical:

- | | |
|--------------------------------------|-------------|
| - Moldaje industrializado Colapsable | Alternativo |
|--------------------------------------|-------------|

6.1 MOLDAJE VERTICAL

6.1.1 Moldajes tradicionales industrializados

Los sistemas de moldajes tradicionales industrializados pueden ser una mezcla entre acero y madera o simplemente sólo de acero. Este sistema está compuesto, por lo general, por paneles de acero y un tablero que es la base en contacto con el hormigón.

Una vez instalado, ese sistema es apuntalado para nivelarlo. Al ser retirado, es necesario limpiarlo, y cada cierto tiempo los tableros deben ser reemplazados debido a su deterioro.

Principales ventajas:

- 1- Rápido de instalar.
- 2- Según la placa o tablero que se utilice, permite buenas terminaciones, lo que se traduce en un ahorro económico por la disminución del estuco.
- 3- Disminución de la mano de obra.
- 4- Disminución de la cantidad de basura que se encuentra en la obra.
- 5- Buena relación precio/calidad, sobre todo para pequeñas empresas.

Encofrado vertical:

El encofrado vertical tradicional consta de la unión de diversos paneles unitarios modulares, los cuales se conectan hasta conseguir el conjunto deseado en largo y alto, incluyendo plataformas de trabajo, accesos, etc. Por lo general, los paneles son montados en el suelo y transportados a través de una grúa o un elevador al lugar donde van a ser utilizados.

La siguiente figura muestra un ejemplo general de un encofrado vertical ya montado.

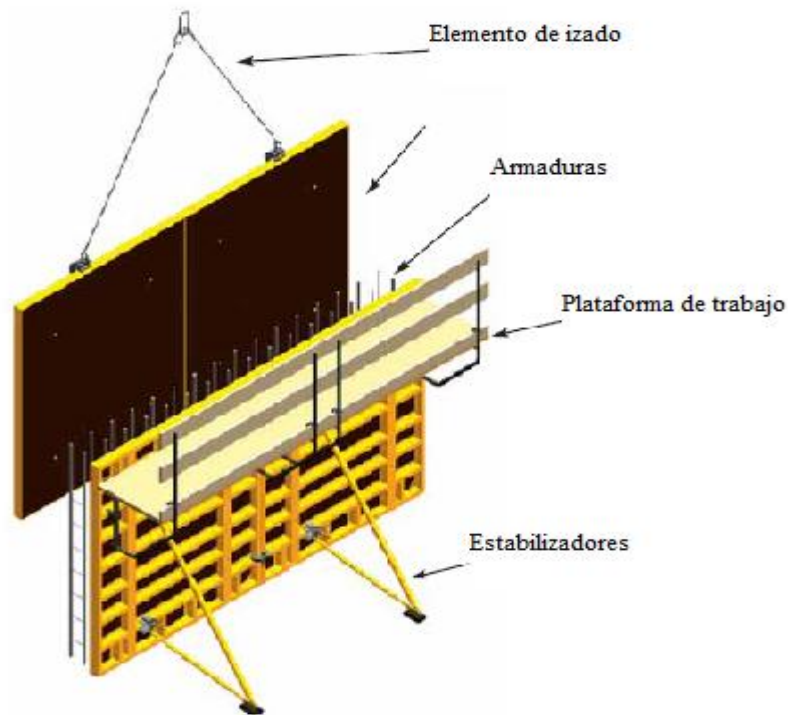


Figura 6.1: Encofrado vertical tradicional; Fuente: Guía práctica de encofrados OSLAN, p 84.

El sistema de encofrado vertical de está compuesto por grandes paneles de diferentes dimensiones, más una grapa de regulación, la cual permite la unión de los paneles y elimina la necesidad de alineadores.

La superficie máxima que se puede alcanzar con la unión de los paneles es de 39m^2 , que equivalen a juntar seis paneles de $2,7\text{m} \times 24\text{m}$, los cuales son transportados en una sola pieza.

Para aplomar y estabilizar el moldaje se utilizan puntales que van rotulados a la losa. Para unir las caras paralelas de los paneles, y así evitar que estos se abran debido a la presión del hormigón, se utilizan barras de anclaje, las cuales son retiradas una vez realizado el descimbre.

La placa que va en contacto con el hormigón, es un tablero con recubrimiento fenólico, compuesto por madera contrachapada cubierta por un elemento plástico para evitar la humedad, y la cual tiene una vida útil de aproximadamente 50 usos.



Figura 6.2 y 6.3: Encofrado y Apuntalamiento encofrado ORMA; Fuente: ULMA, Junio 2010.

La siguiente tabla muestra el rendimiento y el costo de este sistema.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado tradicional industrializado vertical		
Rendimiento	m ² /HD	15
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,22
Costo Compra	UF/m ²	3,59
Avance por piso	Días/piso	7 a 10
Avance por mes	Pisos/mes	3

Tabla 6.1: Rendimiento y costo moldaje tradicional vertical; Fuente: Memoria 2 (referencias) y datos obtenidos en terreno.

Todos los datos anteriores y siguientes a exponer en esta sección consideran una jornada de 9 horas y un número específico de trabajadores por cuadrilla según lo observado en terreno y lo consultado a empresas. Para el cálculo del costo de la mano de obra se utilizó, para esta tabla y para todas las que viene a continuación, los valores de cada tipo de trabajador obtenidos en una empresa constructora. Esta tabla se puede ver en los anexos, sin embargo son datos privados por lo que se omitirá la fuente.

6.1.2 Moldaje deslizante

El moldaje deslizante fue desarrollado por Estados Unidos a principios del siglo 20, permite una construcción de gran rapidez y calidad. En Chile tuvo su aparición a mediados del siglo pasado.

Este sistema permite construir elementos verticales de forma continua a través de un único encofrado elevado mediante gatos hidráulicos a velocidades que van entre los 15cm/h y los 30cm/h, lo que puede significar un avance de hasta 7m en la vertical por día.

El método consiste en la utilización de un solo moldaje, que varía entre los 0.9m y los 1.2m de alto, construido a nivel de la fundación o inicio del deslizado, y que recorre todo el perímetro y muros interiores de la estructura. Cada cierto tramo se coloca un arnés metálico encargado de soportar y afirmar el encofrado, compuesto por dos patas y dos travesaños que sujetan el gato hidráulico, el cual se desplaza sobre una barra apoyada sobre los cimientos o sobre el hormigón endurecido, lo que permite la elevación del sistema. Una vez vertido el hormigón, a medida que va endureciendo, el moldaje se va elevando constantemente permitiendo un hormigonado rápido, uniforme y continuo.



Figura 6.4: Encofrado deslizante

Principales ventajas:

- Al ser un proceso continuo, no se producen juntas frías, lo que permite una mayor resistencia final de la estructura y un ahorro en morteros y epóxicos.
- Disminución en los tiempos de hormigonado, mano de obra y materiales, lo que a su vez permite una reducción en los costos totales de la obra.
- Terminaciones lisas, de buena calidad y fáciles de tratar.
- Una vez utilizados, los elementos que componen el sistema no sufren grandes daños, por lo que se pueden reutilizar después de una buena limpieza.
- Se hace posible la construcción de estructuras de gran altura sin la utilización de andamios.

Principales desventajas:

- Es necesario la presencia de técnicos experimentados y mano de obra calificada.
- No es recomendado utilizar este sistema en la construcción de muros muy delgados (menores a 15cm) para que el molde no arrastre al hormigón debido a que la fuerza de roce entre el moldaje y el hormigón sea mayor que el peso de este último.

La siguiente tabla muestra el costo aproximados de este sistema. Hay que considerar para esta y las próximas tablas, que los valores no son exactos y dependen de muchos factores, entre ellos la altura del edificio ya que este sistema va disminuyendo su costo a medida que crece la altura.

Rendimientos y costos del sistema deslizante		
Costo arriendo	UF/m ²	0,19
Avance por piso	días/piso	2 a 3
Avance por mes	pisos/mes	8

Tabla 6.3: Rendimiento y costo moldaje deslizante; Fuente: Memoria 1 (Referencias).

El valor del arriendo sólo considera el sistema deslizante y no los paneles de maderas, pernos, latón y clavos. Al agregar estos factores al valor de este sistema, habría que sumarle a la tabla anterior 1,66 UF por metro lineal de altura. Dato obtenido de la memoria 1 (ver referencias), y cuyo detalle se puede observar en la sección anexos.

De la misma manera, este sistema tiene un valor asociado a la mano de obra necesaria para su funcionamiento, la cual fue determinada en el documento ya mencionado. El costo calculado fue de 0,7 UF por metro lineal de altura y el detalle se puede observar en la sección anexos.

6.1.3 Moldaje trepante y auto-trepante

Los moldajes trepantes son encofrados constituidos por los mismos paneles que los moldajes tradicionales, los cuales van anclados al muro ya hormigonado mediante pernos de anclaje. Su uso implica necesariamente una grúa, por lo que nació el sistema auto-trepante, el cual tiene la capacidad de autoelevarse, lo que mejora el rendimiento del hormigonado.

Este sistema de moldajes, aumenta significativamente la eficiencia, y se destaca por ser un sistema seguro, rápido, y con una gran capacidad de adaptación a las diferentes geometrías de los proyectos.

El encofrado autotrepante está compuesto por encofrados autopropulsados a través de gatas hidráulicas que le permiten al encofrado autoelevarse guiado por rieles hasta la siguiente posición de vaciado a una velocidad de 200mm por minuto, pudiendo alcanzar ciclos de avance de entre 3 y 7 días por piso. Es utilizado básicamente para la construcción de edificios de gran altura, ya que permite independizar el encofrado de la grúa, y utiliza cualquier tipo de placas, incluso los paneles tradicionales.

Las figuras a continuación muestran este tipo de sistema y sus componentes.



Figura 6.5: Moldaje autotrepantes;
Fuente: Peri, Mayo 2010.

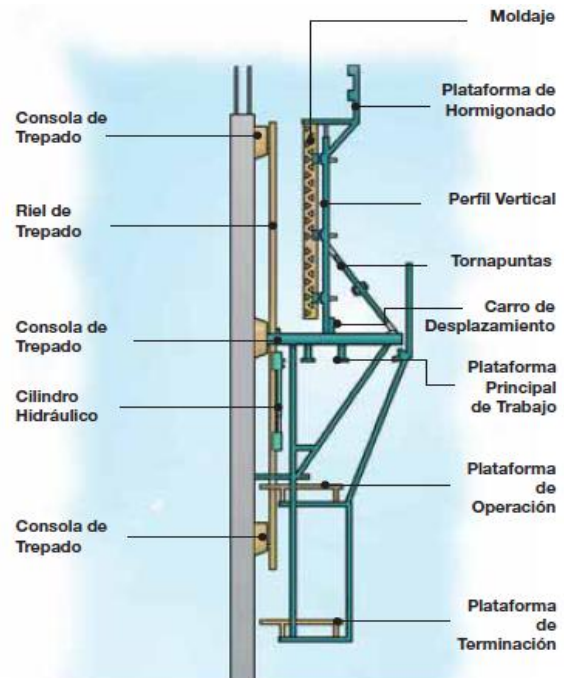


Figura 6.6: Moldaje autotrepante;
Fuente: Manual de Moldajes, Cámara Chilena de la Construcción, Mayo 2010.

Principales ventajas:

- Gran rapidez y seguridad en la construcción en altura, elevando la productividad.
- La trepa, encofrado y desencofrado no requieren la utilización de grúa.
- Las plataformas de trabajo resisten una gran cantidad de carga.
- Se puede acceder a los muros libremente desde arriba, de modo que la armadura puede colocarse con facilidad.
- Permite mejores terminaciones.
- Adaptable a distintas geometrías.
- Ahorro de costos por la menor mano de obra necesaria.

Hay que considerar que para la utilización de este sistema de encofrado es necesario un hormigón especial, ya que, la velocidad del ciclo de hormigonado que se alcanza implica un descimbre a las 24 horas de ser colocado, por lo que éste debe tener una resistencia mínima en poco tiempo. Para cumplir esto se pueden utilizar hormigones de alta resistencia o aditivos acelerante, los cuales claramente implican un mayor costo en la construcción del edificio.

La siguiente tabla muestra el rendimiento y el costo de estos sistemas.

Rendimientos y costos del sistema trepante		
Rendimiento	m ² /HD	10 a 20
Costo arriendo	UF/m ²	0,24
Avance por piso	días/piso	4
Avance por mes	pisos/mes	4 a 5

Tabla 6.4: Rendimiento y costo moldaje trepante; Fuente: Memoria I (Referencias).

Rendimientos y costos del sistema autotrepante		
Rendimiento	m ² /HD	25 a 40
Costo arriendo	UF/m alt. Edif.	0,34
Avance por piso	días/piso	3 a 4
Avance por mes	pisos/mes	6

Tabla 6.5.: Rendimiento y costo autotrepante; Fuente: Memoria I (Referencias).

6.2 MOLDAJE HORIZONTAL

6.2.1 Moldajes tradicionales industrializados

En general, este tipo de moldaje está compuesto por tres grupos fundamentales de elementos:

- Una estructura vertical compuesta por elementos encargados de transportar las cargas transmitidas por la estructura horizontal a la losa inferior.
- Una estructura horizontal compuesta por vigas encargadas de trasladar las cargas transmitidas por la superficie encofrante a la estructura vertical.
- Una superficie encofrante compuesta por paneles que trasladan las cargas transmitidas por el peso de los elementos de la losa superior, aun no fraguado, a la estructura horizontal.

Por ejemplo en el caso de la empresa ULMA, el encofrado horizontal se denomina BTM, y está compuesto por vigas protegidas en sus extremos con tapas, y recubierta por una protección galvánica contra la oxidación. Además cuenta con trípode que permite aplomar el puntal rápidamente.

La siguiente figura muestra una imagen de este sistema.



Figura 6.7: Encofrado horizontal BTM; Fuente: ULMA, Junio 2010.

Es un método de moldaje, rápido y sencillo, que se adapta a todo tipo de espacios, de pocos componentes y fácil aplicación.

La siguiente tabla muestra el rendimiento y el costo de este tipo de sistema en general, obtenidos de visitas a terreno y manuales.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado tradicional industrializado horizontal		
Rendimiento de instalación	m ² /HD	15
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,25
Costo Compra	UF/m ²	2,57

Tabla 6.6: Rendimiento y costo moldaje tradicional horizontal; Fuente: Apunte Andrés Nahmias y datos obtenidos en terreno.

Para el caso de la empresa EFCO, este tipo de encofrado para losas se denomina EFCO DECK y tiene los siguientes rendimientos y costos.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado tradicional industrializado horizontal EFCO DECK		
Rendimiento de instalación	m ² /HD	15
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,16

Tabla 6.7: Rendimiento y costo moldaje tradicional horizontal; Fuente: Empresa EFCO.

El valor del costo anterior sólo considera la parte metálica del moldaje, los paneles no están incluidos. Al agregar la colocación de paneles de terciado los valores serían los siguientes.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado tradicional industrializado horizontal EFCO DECK		
Rendimiento de instalación	m ² /HD	15
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,311

Tabla 6.8: Rendimiento y costo moldaje tradicional horizontal; Fuente: Empresa EFCO.



Figura 6.8: Encofrado horizontal EFCO DECK; Fuente: EFCO, Junio 2010.

6.2.2 Moldajes tipo Mesa o “Cerchas Voladoras”

Este sistema está basado en encofrados de losa ensamblados. El moldaje está formado por una estructura de aluminio, forrada en placa de terciado y consiste en una mesa conocidas como “cercha voladora” la cual se nivela a través de tornillos en sus patas. Para su colocación y descimbre es fundamental el uso de una grúa ya que las unidades modulares se ensamblan en el suelo y luego se izan al lugar del vaciado, a diferencia de los sistemas de apuntalamiento convencionales que deben ser armados en el mismo sitio del vaciado.

Su costo de adquisición es elevado dado que la estructura de aluminio y su reutilización es enorme, con la excepción de la placa de terciado, la que debe ser reemplazada luego de 12 a 20 usos.

Para el caso particular de EFCO, este tipo de encofrado se denomina sistema E-Z DECK y es lo último en tecnología con lo que cuenta la empresa para soportes de losa y sistema de apuntalamiento.



Figura 6.9: Encofrado horizontal EFCO E-Z DECK; Fuente: EFCO, Junio 2010.

El sistema permite reducir el número de postes y vigas de encofrados, y tiene la ventaja que puede extenderse más allá de la configuración rectangular de una torre de cuatro postes simplemente variando la longitud de las vigas, lo que lo hace óptimo para la construcción de voladizos.

La siguiente tabla muestra el rendimiento y el costo de este sistema.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado horizontal tipo mesa para alturas entre 2,4m y 3,5m		
Rendimiento de instalación	m ² /HD	20
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,137

Tabla 6.9: Rendimiento y costo moldaje E-Z DECK; Fuente: Empresa EFCO.

El valor del costo anterior sólo considera la parte metálica del moldaje, los paneles no están incluidos. Al agregar la colocación de paneles de terciado los valores serían los siguientes.

Rendimientos y costos promedios del sistema de encofrado horizontal tipo mesa para alturas entre 2,4m y 3,5m		
Rendimiento de instalación	m ² /HD	20
Costo arriendo	UF/m ² /mes	0,288

Tabla 6.10: Rendimiento y costo moldaje E-Z DECK; Fuente: Empresa EFCO

6.3 OTROS TIPOS DE MOLDAJES

6.3.1 Moldaje Colapsable

Los moldajes tipo túneles son encofrados metálicos, forrados con una plancha de fierro de 5mm a 6mm de espesor. La ventaja principal es que se realiza la instalación simultánea tanto del muro como de la losa formando un túnel, lo que permite una gran rapidez de avance (Se ha podido alcanzar una ejecución de hasta 2 pisos por semana).

Para su colocación y descimbre es indispensable el uso de grúa, y su empleo está limitado a edificios diseñados para este tipo de moldaje y que sean repetitivos. Si bien su costo de adquisición es mayor a otros sistemas, la cantidad de usos que se le puede dar es bastante grande.



Figura 6.8: Encofrado tipo túnel

Las dos mayores empresas que fabrican este tipo de moldaje son Outinord y Symons.

6.4 SIMULACIÓN TEÓRICA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE MOLDAJE

6.4.1 Datos de la obra

Para la realización de una simulación que permita comparar los diferentes tipos de moldajes mencionados se utiliza el edificio tipo, seleccionado y detallado en el capítulo III. Las características generales de este proyecto son las siguientes:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos sobre nivel de suelo	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1.290m ²
Superficie subterráneo	2.700m ²
Gastos generales mensuales	1.340 UF

En la construcción de este proyecto, el tipo de moldaje utilizado es el considerado como tradicional, tanto para elementos verticales como horizontales.

Para disminuir lo más posible los tiempos muertos dentro de la obra, el piso se divide en tres partes de similares dimensiones formando ciclos de construcción, de esta manera por ejemplo, mientras se hormigona la zona 3 se está instalando el moldaje en la zona 2 y la armadura en la zona 1.

La cantidad de moldaje utilizada en la construcción de este proyecto se puede observar en la siguiente tabla.

Cantidad en m² de moldaje utilizado en toda la obra según el elemento						
Elemento	Vigas	Escaleras	Fundación	Muros y pilares	Losas	TOTAL
m² de moldaje	1.677	1.299	209	53.184	33.325	89.694
% del total	1,9%	1,4%	0,2%	59,3%	37,2%	100,0%

Tabla 6.12: Resumen de cantidad de moldaje utilizado en la construcción del edificio.

Los rendimientos reales, obtenidos a través del ingeniero a cargo de la obra, de la colocación de moldaje fueron aproximadamente de 24 m²/HD para muros y de 22 m²/HD para losas.

6.4.2 Consideraciones importantes

Para poder aplicar cada sistema de moldaje al proyecto, se hicieron los siguientes supuestos para la realización de los cálculos:

- El costo empresa por trabajador es de \$19.341 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- Los cálculos realizados no consideraron las fundaciones del edificio.
- El día de trabajo consta de 9 hora diarias y el mes de 24 días hábiles.
- El valor de la UF considerado es de \$21.143 pesos, correspondiente al día 9 de junio del 2010.
- El valor del dólar considerado es de \$520 pesos. Esto debido a que los costos entregados por la empresa EFCO se encuentran en esta moneda.
- Los valores de rendimientos de colocación y costos utilizados corresponden a los expuestos en las tablas anteriores según cada sistema alternativo y al real determinado en obra para los sistemas tradicionales.
- Para el caso de los sistemas de encofrados horizontales se consideraron cuadrillas de 10 personas para el sistema tradicional, 14 personas para el sistema trepante, y 7 personas para el autotrepante.
- En el caso de los sistemas de encofrado horizontal se consideró que tanto el tradicional como el tipo mesa son elevados para su colocación a través del uso de una grúa.
- El valor utilizado para el uso de la grúa se encuentra determinado en el capítulo IX.

6.4.3 Simulación

a) Sistema de moldaje vertical

Al ser la estructura un edificio habitacional con una gran cantidad de muros interiores y una superficie de muro perimetral pequeño debido a la gran cantidad de ventanas, los sistemas alternativos analizados sólo serán aplicados en los muros interiores principales y los de la caja de ascensores y escaleras para poder compararlos entre sí en cuanto a tiempos y costos.

La siguiente tabla muestra la cantidad de m^2 de moldaje para muros entre el piso 1 y el 22, con una altura total de 56,1m.

m² de moldaje para muros y pilares		
Muro perimetral	Muro caja de ascensores	Muros interiores principales
2.122	9.360	12.488

Tabla 6.13: Cantidad de moldaje de muros del edificio por área.

Al costo de arriendo de cada sistema se le debe agregar el valor de la mano de obra y el de la utilización de la grúa. En este caso existen dos grúas las cuales están dedicadas al traslado de materiales y hormigonado. Si consideramos que el 30% del tiempo de una sola grúa está destinado al moldaje vertical para estos muros, los costos asociados a cada sistema considerando mano de obra y utilización de grúa son los siguientes.

Moldaje	Costo arriendo UF	Costo mano de obra UF	Costo Grúa UF	Costo total UF
Tradicional	4.807	1.610	505	6.921
Deslizante	4.669	117	0	4.786
Trepante	5.243	1.503	358	7.104
Autotrepante	7.428	563	0	7.992

Tabla 6.14: Costos asociados a cada sistema de moldaje para el muro del edificio.

Considerando los rendimientos de cada sistema se expone la siguiente tabla con el resumen de tiempos y costos asociados a cada uno para la construcción de los muros verticales analizados.

Moldaje	Costo total del sistema UF	días total destinado a la construcción de los muros verticales analizados	Cantidad de meses destinados a la construcción de muros
Tradicional	6.921	199	8,3
Deslizante	4.786	75	3,1
Trepante	7.104	149	6,2
Autotrepante	7.992	99	4,1

Tabla 6.15: Resumen de costos tiempos según la utilización de cada sistema de moldaje vertical

No es posible determinar la reducción del plazo total de la obra ya que no están considerados algunos muros interiores ni el muro perimetral del edificio, los cuales equivalen al 27% del total de muros.

b) Sistema de moldaje horizontal

Para los moldajes horizontales se realizó una simulación que permitiera comparar el sistema real utilizado, correspondiente al tradicional, con el sistema alternativo que en este caso es el encofrado tipo mesa.

Utilizando cuadrillas de 10 trabajadores para los niveles superiores y de 25 para los subterráneos, se determinaron los siguientes valores de costos y rendimientos para un piso tipo según el sistema de moldaje. El detalle de los cálculos se pueden observar en los anexos.

Determinación de los tiempos y costos de colocación de moldaje tradicional por piso			
	Unidad	Piso tipo, nivel 10	Piso tipo, subterráneo -2
Cantidad de moldaje para losa	m ²	596,33	3.218,66
Tiempo total destinado a la colocación	días	3,98	8,58
Costo total de arriendo e instalación	UF	222	1.197

Tabla 6.16: Resumen de los tiempos asociados a la colocación de moldaje tradicional.

Determinación de los tiempos y costos de colocación de moldaje tipo mesa por piso			
	Unidad	Piso tipo, nivel 10	Piso tipo, subterránea -2
Cantidad de moldaje para losa	m ²	596,33	3.218,66
Tiempo total destinado a la colocación	días	2,98	6,44
Costo total	UF	199	1.074

Tabla 6.17: Resumen de los tiempos asociados a la colocación de moldaje tipo mesa.

Se observa que, para el caso del moldaje tipo mesa, tanto los plazos como los costos disminuyen con respecto al moldaje tradicional en alrededor un 10%.

Realizando el mismo cálculo anterior para cada piso del edificio se determinaron los siguientes tiempos necesarios para la instalación de moldaje.

Tiempo y costo relacionado con la colocación de moldaje para losa				
	Unidad	Tiempo necesario en subterráneos	Tiempo necesario en pisos superiores	Costo total UF
Moldaje tradicional	días	124	93	12.386
Moldaje tipo mesa	días	98	73	11.121
Diferencia	días	-26	-19	- 1.265

Tabla 6.18: Resumen de los tiempos y costos asociados a la colocación de moldaje para los diferentes sistemas.

Se observa que la cantidad necesaria de días para la colocación de moldaje en losas utilizando el sistema de mesas, disminuye en un 20% con respecto a la utilización de moldaje tradicional y el costo en un 10%.

6.4.4 Análisis de resultados

En la simulación de los sistemas de moldaje vertical, no fue posible aplicar los sistemas analizados a todo el edificio ya que este se compone de una gran cantidad de muros interiores y muy poca superficie de muro perimetral.

Los sistemas de moldaje deslizante, trepante y autotrepante logran disminuir de manera importante el tiempo destinado a esta partida con respecto a la utilización del sistema tradicional. El moldaje deslizante es el que permitió una mayor disminución en los tiempos y costos de la construcción de los muros analizados, alrededor de un 62% y un 31% respectivamente. Esto gracias a su funcionamiento continuo y baja necesidad de mano de obra.

Los sistemas trepante y autotrepante también logran disminuir el tiempo de construcción, sin embargo, también implican un costo mayor. Para poder analizar si es conveniente económicamente la utilización de estos sistemas en el edificio analizado habría que determinar la reducción del plazo de construcción total por el hecho de haber ahorrado tiempo en la construcción de los muros verticales principales. Para esto es necesario un análisis más detallado ya que el edificio está compuesto por muros interiores que no fueron considerados, por lo que no es un cálculo directo.

Para el caso de los moldajes horizontales para losas, se observa que la utilización del sistema de mesa permite disminuir los tiempos y costos. El tiempo necesario para la colocación del encofrado es menor en aproximadamente un 20%, por lo que para este trabajo se considera un sistema alternativo para reducir plazos.

También hay que considerar que los moldajes tipo mesa son más adecuados que los moldajes tradicionales para construcciones muy altas, ya que permiten una mayor seguridad para el trabajador al no tener que montar el sistema en el lugar de vaciado.

7. ARMADURA

En la construcción de edificios, la preparación e instalación del fierro es un proceso que implica tiempo y mano de obra especializada. Es importante que este proceso sea programado y continuo con el fin de no atrasar la colocación del encofrado y el vaciado del hormigón

En Chile, a diferencia de los países europeos, aún se utiliza el método tradicional, que consiste en preparar este material en obra, lo que obliga a las empresas constructoras a disponer de amplios espacios libres, mayores riesgos de costos debido a los errores en la gestión de compra o en la fabricación, pérdidas materiales por el mal dimensionamiento o aprovechamiento de los largos disponibles, necesidad de mano de obra especializada, y un mayor costo financiero al tener que comprar el acero en forma anticipada.

En los países más desarrollados, la preparación de la armadura es en su mayoría industrializada, el acero es cortado y doblado por empresas especializadas y luego transportados a la obra listo para su instalación. Muchas veces, este tipo de empresas también incluyen en sus servicios el armado, permitiendo un aumento importante en el rendimiento y una reducción de costos y mano de obra para la empresa.

Según un sondeo realizado en la Región Metropolitana, sólo un 30% de las empresas constructoras está utilizando el sistema industrializado de fabricación de armaduras, principalmente grandes empresas y en obras de gran magnitud.

Los sistemas de preparación e instalación de armadura considerados en este trabajo y que permiten disminuir los tiempos dedicados a esta partida, son los siguientes:

- | | |
|--|-------------|
| - Sistema Tradicional de Preparación e Instalación | Tradicional |
| - Sistema de Armadura Industrializada | Tradicional |
| - Sistema de Armadura Industrializada Prefabricada | Alternativa |

7.1 MÉTODO TRADICIONAL

El método tradicional para fabricar armadura tiene varias etapas. Primero, la compra del acero, el cual es adquirido en rollos y barras según el diámetro requerido. Luego, la preparación del material, lo que incluye el estirado, la limpieza, el corte y el doblado. Finalmente, la instalación de la armadura en la obra. Hoy en día todo el fierro es comprado a los distribuidores en barras quienes realizan el estirado de los rollos.



Figura 7.1 y 7.2: Acero en rollo y en barra; Fuente: cap.cl, Junio 2010.

El doblado puede ser manual o con maquinas. El proceso manual se hace en bancos especiales, los cuales tienen perforaciones donde son instalados unos bulones de acero de diferentes tamaños con el fin de definir los diámetros de curvatura deseados, sin embargo lo más utilizado en obras de edificación es el doblado con maquinaria especializada.

Finalmente, el acero listo es instalado en la obra misma utilizando amarras con alambres para fijar las barras entre sí, los empalmes traslapados y los estribos a las barras.

Un análisis realizado a tres edificios en el país permitió determinar el rendimiento aproximado de la mano de obra directa de cada uno de los procesos de fabricación de la armadura (no se considera el proceso de instalación). Los datos se pueden ver en la siguiente tabla.

Rendimientos de Mano de Obra Directa para la fabricación de armadura en obra		
Actividad	Diámetro mm	Rendimiento HH/ton
Enderezado de rollos	8, 10 y 12	24,4
Enderezado de barras	8 a 32	9,4
Limpieza del acero	8 a 32	9
Corte y Doblado	8 a 32	32,1
Total Mano de Obra	8 a 32	36

Tabla 7.1: Rendimiento Mano de Obra directa en la fabricación de armaduras en edificios con método tradicional; Fuente: Manual de armaduras para refuerzos para hormigón, Gerdau AZA, página 91.

El costo para la empresa constructora y el rendimiento asociado a utilizar esta modalidad de armadura se pueden observar en la siguiente tabla.

Costo y rendimiento asociado la fabricación e instalación de armadura tradicional	
Rendimiento de instalación Kg/HD	Costo total \$/ton
150	784

Tabla 7.2: Costos y rendimiento asociados a la fabricación e instalación de armaduras con método tradicional; Fuente: Datos recopilados en terreno y memoria 2 (Referencias).

El detalle de los factores considerados para determinar el valor del costo de esta modalidad y las que siguen se muestra más adelante en la parte de simulación.

7.2 ARMADURA INDUSTRIALIZADA

La adquisición del acero industrializado por parte de las empresas constructoras implica un mayor costo de éste, sin embargo, el ahorro en los plazos de ejecución, espacio, mano de obra y materiales logran que esta inversión se compense rápidamente.

Los procesos a seguir para la preparación de la armadura son los mismos que para el método tradicional, con la diferencia, que se realizan en una empresa dedicada a este rubro con máquinas automáticas industriales de alta tecnología y mano de obra especializada, lo que permite una gran productividad, además de una alta calidad del material.

El rendimiento para la fabricación de la armadura utilizando el método industrializado se presenta en la siguiente tabla:

Fabricación de Armaduras Método Industrializado		
Descripción	Unidad	Producción
Capacidad Instalada (equipos y maquinaria)	ton/H	3,6 a 5,8
Plantel Promedio de Operarios	HH/ton	3,1
Soporte Técnico Profesionales de Producción	HH/ton	0,9 a 1,2

Tabla 7.3: Rendimiento Mano de Obra directa en la fabricación de armaduras en edificios con método tradicional; Fuente: Manual de armaduras para refuerzos para hormigón, Gerdau AZA, página 91.



Figura 7.3: Fabricación industrial de armadura; Fuente: armacero.cl, Junio 2010.

Principales ventajas:

- Fabricación controlada de armaduras de primera calidad.
- Optimización de espacio físico de la obra.
- Mano de obra calificada.
- Posibilidad de fabricación diaria ininterrumpida.
- Menor riesgo de accidente de los trabajadores en obra.
- Ahorro en el costo de la mano de obra directa.
- Material disponible en el momento requerido según programa.
- Eliminación de las pérdidas por cortes o mal aprovechamiento.
- Entrega en paquetes individualizados que facilitan el armado.
- Mayor capacidad de respuesta y flexibilidad en las entregas.
- Asistencia técnica en obra.
- Menor inversión en obra por máquinas de bajo rendimiento.
- Mínima incertidumbre de cumplimientos por factores climáticos (lluvia).
- Elimina la posibilidad de pérdidas de material debido a hurtos.
- Mayor rapidez en el proceso de armado.
- Reducción de los costos financieros.

El costo de la partida de fierro deberá comprender el costo por adquisición, la preparación (corte, doblado) e instalación. Es por ello que dependiendo de la modalidad que se utilice, por subcontrato o por casa, se deberá hacer un estudio para determinar su costo total.

En el caso que se subcontrate el fierro, se hará un contrato a precio unitario por su compra, doblado y colocación. Los valores varían de un momento a otro, a veces de gran manera, por lo que el comprar este material de manera anticipada puede perjudicar o beneficiar a la empresa económicamente. Los valores que se muestran a continuación corresponden a los costos del acero en diferentes épocas con el fin de mostrar la sensibilidad del precio del material en Chile.

Ítem	Época			
	abr-06	sep-07	sep-08	jul-10
Costo del acero \$/Kg	360	425	900	440

Tabla 7.4: Costos de armadura industrializada; Fuente: Apuntes A. Nahmias y datos obtenidos en terreno.

El costo para la empresa constructora y el rendimiento asociado a utilizar esta modalidad de armadura, se pueden observar en la siguiente tabla.

Costo y rendimiento asociado la fabricación e instalación de armadura industrial	
Rendimiento de instalación Kg/HD	Costo total \$/ton
180	769

Tabla 7.5: Resumen de costos y rendimientos asociados a la fabricación e instalación de armaduras en edificios con método industrializado; Fuente: Datos recopilados en terreno y tablas anteriores.

7.3 ARMADURA INDUSTRIALIZADA PREFABRICADA

Se llamará armadura prefabricada a aquella que llega a la obra ya montada, o sea, preparada y armada en forma de canastillos lista para ser ubicada en los moldajes para su hormigonado.



Figura 7.4: Armadura prefabricada para muro; Fuente: memoria 2 (referencias)



Figura 7.5: Armaduras para columnas, vigas y fundaciones prefabricadas; Fuente: memoria 2 (referencias)

Este tipo de armaduras industriales pueden ser usadas en prácticamente todos los elementos de un edificio. Pueden ser aplicadas en zapatas, cimentaciones especiales, vigas, pilares, muros, losas escaleras y elementos prefabricados.

Principales ventajas:

- Reduce los tiempos de construcción.
- Aumento en los rendimientos de preparación y colocación de la armadura.
- Reducción de los tiempos de grúa al transportar los canastillos ya armados.
- No se necesita disponer de grandes espacios para la preparación y almacenado de los fierros.
- Se elimina la incertidumbre y los atrasos que puede generar esta partida, ya que los plazos están previamente definidos y ya no dependen de la mano de obra y maquinaria de la empresa constructora.
- Es independiente de las condiciones climáticas adversas que puedan existir.

- Elimina los costos asociados a las pérdidas de material debido a errores humanos.

Principales desventajas:

- La principal desventaja de este sistema está asociado al transporte de la armadura. Hay que considerar los tamaños máximos de los canastillos para que puedan ser transportados en camiones a la obra. Además, el espacio que ocupa el canastillo en el camión es mucho mayor que si hubiera estado desarmado, por lo que este sistema implica mayores costos de transporte.
- No permite modificaciones a última hora de los planos, cualquier cambio debe ser avisado con anticipación a la empresa de armado.
- No existe experiencia de la mano de obra para este tipo de sistema, lo que puede generar ciertos atrasos en un comienzo.
- Es necesario la utilización de mayor cantidad de material debido a que los canastillos se hacen por piso, por lo que las barras utilizadas son más cortas, lo que implica mayor longitud de empalme.
- Debido a la mayor cantidad de material utilizado, el peso de la estructura aumenta. Esta mayor cantidad de acero utilizado está asociado a:
 - o Mayor utilización del material en la fabricación. Las unidades de montaje se diseñan por piso, por lo cual se utilizan fierros más cortos y con esto mayor material para hacer los empalmes, ya que están empalmando el 100% de las barras en el mismo lugar, por lo cual el ACI 318 exige que este empalme sea más largo.
 - o Material adicional para rigidizar canastillos. Al levantar los elementos terminados con la grúa, estos tienen que ir con refuerzos para que los canastillos se mantengan firme y no sufran deformaciones por el movimiento.

Finalmente se expone una tabla resumen de costo y rendimiento para este proceso. Hay que considerar que los rendimientos van a depender del tipo de elemento y la ubicación dentro de la obra, sin embargo este cuadro muestra valores aproximados con el que se pueden calcular en una primera instancia presupuestos y plazos, con el fin de generar una idea de este sistema y poder compararlo con los anteriores.

Costo y rendimiento asociado la fabricación e instalación de armadura Prefabricada	
Rendimiento de instalación Kg/HD	Costo total \$/ton
250	783

Tabla 7.6: Resumen de costos y rendimientos asociados a la fabricación e instalación de armaduras en edificios con método industrializado; Fuente: Resultados de simulación y memoria 2 (Referencias).

7.4 SIMULACIÓN TEÓRICA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE ARMADURA

7.4.1 Datos de la obra

Para la realización de una simulación que permita comparar los tres métodos de armado mencionados se utiliza el edificio tipo, seleccionado y detallado en el capítulo III. Las características generales de este proyecto son las siguientes:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos sobre nivel de suelo	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1290m ²
Superficie subterráneo	2700m ²
Gastos generales mensuales	1.340 UF

La armadura utilizada en la construcción de este edificio es industrializada tradicional, el acero fue cortado y doblado en una fábrica para posteriormente ser trasladado a la obra para su armado e instalación.

Para disminuir lo más posible los tiempos muertos dentro de la obra, el piso se divide en tres partes de similares dimensiones formando ciclos de construcción, de esta manera por ejemplo, mientras se hormigona la zona 3 se está instalando el moldaje en la zona 2 y la armadura en la zona 1.

La cantidad de fierro utilizado en este proyecto se observa en la siguiente tabla.

Cantidad en Kg. de fierro utilizado en toda la obra según el elemento								
Elemento	Fundación	Viga de fundación	Muros	Pilares	Vigas	Losas	Escaleras	TOTAL
Kg	33.919	1.884	610.284	43.253	133.778	559.624	22.928	1.405.670
% del total	2,4%	0,1%	43,4%	3,1%	9,5%	39,8%	1,6%	100,0%

Tabla 7.7: Resumen de las cantidades de fierro utilizadas para la construcción del edificio.

Las escaleras fueron elementos prefabricados y adquiridos ya listos para su instalación, por lo que el acero utilizado no fue considerado en la simulación para el cálculo del rendimiento de colocación.

7.4.2 Consideraciones importantes

Para poder aplicar cada modalidad de armadura al proyecto, se hicieron los siguientes supuestos para la realización de los cálculos:

- Para el sistema tradicional la pérdida es del 5% del material.
- Para los dos sistemas industrializados las pérdidas de material son del 2%.
- El día de trabajo consta de 9 horas y el mes de 24 días hábiles.
- El acero es adquirido por la empresa constructora en todos los casos.
- Los cálculos no consideran el fierro utilizado en las fundaciones y escaleras.
- El valor de la UF es de \$21.143 pesos, correspondiente al día 9 de junio del 2010.
- El costo empresa por enfierrador de \$32.061 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- La cuadrilla es de 25 enfierradores para cada caso.
- Se llamará “armadura T” a la instalada a través del sistema tradicional de preparado y armado en obra, ” armadura I” a la armadura industrializada tradicional preparada en fabrica y armada e instalada en obra, y por último, “armadura P” a la industrializada prefabricada preparada y armada en fabrica.
- El costo del transporte de 25 toneladas de fierro es de 120.000 pesos dentro de la ciudad de Santiago.
- El volumen ocupado por la armadura prefabricada es dos veces el ocupado por el fierro sin ningún tipo de preparación y 1,6 veces el ocupado por el fierro industrial preparado en la fábrica.
- Los valores de rendimientos de colocación utilizados corresponden a los expuestos en las tablas anteriores según cada sistema de armadura.
- El cálculo para determinar el costo final por implementar cada sistema de armado se encuentra detallado en la siguiente tabla.

Tabla de costos según modalidad \$/Kg			
Ítem	Armadura T	Armadura I	Armadura P
Fierro	440	440	440
Corte y preparación colocación	98	130	186
Perdidas de material	214	160	107
Transporte y manipulación	22	8,8	8,8
Total	10	12	20
	784 \$/Kg	769 \$/Kg	783 \$/Kg

Tabla 7.8: Determinación de los costos asociados a cada sistema de armadura para la empresa constructora.

7.4.3 Simulación

Antes de calcular los costos y plazos del edificio asociados a cada modalidad de armadura es necesario tener clara la cantidad de fierro a instalar. En el caso de la armadura tradicional y la industrializada este valor no varía, sin embargo al utilizar armadura prefabricada la cantidad de material aumenta debido a la necesidad de darle mayor rigidez al canastillo y a las mayores longitudes de empalme, lo que se encuentra explicado en las desventajas de este sistema.

Para calcular la cantidad de material extra debido a la prefabricación de la armadura se determinaron factores por los que se debe multiplicar la cuantía original según el elemento que se desee armar. Estos factores se determinaron comparando armaduras tradicionales y prefabricadas para distintos elementos, no son valores exactos y pueden tener variaciones dependiendo del tipo de material a utilizar, el diámetro y largo de las barras o la ubicación de éstas. Sin embargo permiten un cálculo aproximado para comparar las diferentes modalidades. La determinación de los valores de los factores se encuentra en la sección anexos, y los resultados son los siguientes:

Índices Kg fierro según modalidad				
Elemento	Muro	Pilar	Viga	Losa
Armadura T	1	1	1	1
Armadura I	1	1	1	1
Armadura P	1,099	1,178	1,126	1,1

Tabla 7.9: Índices determinados para el cálculo de la cantidad de fierro por sistema de armadura.

Utilizando estos datos se determinó la cantidad de fierro extra utilizada en las armaduras prefabricadas para cada piso por separado. Los detalles de cómo se realizó el cálculo se puede observar con mayor detalle en la parte de anexos, pg. 116-117.

Finalmente es posible determinar los tiempos y costos asociados al armado del edificio para cada modalidad. Los datos finales obtenidos son los siguientes:

Resumen de rendimientos y costos totales del edificio según sistema				
Ítem	Caso real (armadura I)	Caso prefabricado	Diferencia	Unidad
Peso Fe	1.346.940	1.487.875	140.936	Kg
Tiempo destinado	299	238	- 61	días
Costos	48.985	55.104	6.119	UF

Tabla 7.10: Resumen de tiempos y costos destinados a la colocación de armadura para el sistema prefabricado.

Resumen de rendimientos y costos totales del edificio según sistema				
Ítem	Caso real (armadura I)	Caso Tradicional	Diferencia	Unidad
Peso Fe	1.346.940	1.346.940	0	Kg
Tiempo destinado	299	359	60	días
Costos	48.985	49.929	944	UF

Tabla 7.11: Resumen de tiempos y costos destinados a la colocación de armadura para el sistema tradicional.

Sin embargo, el ahorro de tiempo final al utilizar prefabricados no se puede obtener simplemente sumando la diferencia de días de todos los pisos debido a que no es factible traspasar este ahorro al ciclo de construcción en un 100%. Por ejemplo, al disminuir el tiempo de colocación de la armadura es necesario que aumente la cantidad de mano de obra para la instalación de moldaje y que se agreguen aditivos al hormigón para que alcance mayores resistencias iniciales, y así evitar los tiempos muertos debido a la mayor rapidez del armado. Esto implica mayores costos para el proyecto que no se consideraron en el análisis y es por esto que para poder determinar aproximadamente en cuanto se logra disminuir el plazo total de construcción es necesario un análisis más detallado incorporando todo los procesos relacionados.

7.4.4 Análisis de resultados

Al realizar la simulación, se observa que si se hubiese realizado el armado del edificio con el sistema tradicional se hubieran necesitado 60 días hábiles extras destinados a la colocación de la armadura y 944 UF más, atrasando el proyecto y aumentando sus costos. Hay que considerar que a las 944 UF se deben sumar todos los costos asociados a tener la construcción de la obra funcionando todo ese tiempo extra, como por ejemplo los gastos generales, los gastos financieros, los gastos por la utilización de las grúas, entre otros.

En el caso de que el armado se hubiese realizado con el sistema de prefabricados se hubiera logrado una disminución de 61 días hábiles, y un aumento del costo en 6.119 UF. Lo importante es ver si reducir el tiempo de construcción del edificio debido a la utilización de este tipo de armadura permite un ahorro económico que supere este valor. Si nos ponemos en el caso más favorable e ideal de que el plazo total se viera reducido en la misma cantidad de días ahorrados por la utilización de armadura prefabricada, es decir, 2,5 meses, la suma de los valores ahorrados asociados a los costos generales y arriendo de las grúas no superarían los 4.350 UF, por lo que realizar la construcción completa con este sistema es poco rentable a no ser que se tengan otros intereses de por medio para realizar la obra en un menor tiempo.

Hay que considerar que este análisis se realizó en un momento dado con costos específicos para un periodo determinado, hoy hubiera sido mejor construir este edificio con armadura industrializada tradicional. Sin embargo si estos valores cambiaran es posible que el sistema más óptimo fuese otro. Por ejemplo al realizar esta simulación con un valor del fierro de 700 \$/Kg, la diferencia entre los costos de utilizar el sistema industrializado y el prefabricado superaría las 7.877 UF, por lo que se deduce que si el valor del fierro aumenta mucho, este último sistema se vuelve aun más caro de utilizar.

Otra simulación que se realizó fue variando los precios de la mano de obra. Si se disminuye el costo empresa del enfierrador a \$20.000 pesos mensuales la diferencia entre los costos de utilizar el sistema industrial y el prefabricado aumentaría a 6.993 UF, mientras que la diferencia entre los costos de utilizar sistema industrial y tradicional disminuiría a 90 UF. Por el contrario si aumentáramos el costo de la mano de obra a \$40.000 pesos mensuales la primera diferencia disminuye a 5.545 UF y la segunda aumenta a 1.506 UF.

La siguiente tabla muestra un esquema de estos sucesos considerando todos los supuestos de la simulación para el edificio analizado.

Diferencias entre los costos de utilizar distintos sistemas de armadura			
Sí:		Entonces:	
Precio del fierro	Precio de la M.O.	Δ costo Armadura I y P	Δ costo Armadura I y T
Aumenta	Se mantiene	Aumenta	Aumenta
Disminuye	Se mantiene	Disminuye	Disminuye
Se mantiene	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Se mantiene	Disminuye	Aumenta	Disminuye

Tabla 7.12: Comportamiento de las diferencias de costos de cada sistema según el precio del fierro y la mano de obra.

Si consideramos que el aumento en el costo de la mano de obra es un hecho en nuestro país y que el valor del fierro se mantendrá relativamente bajo, se puede deducir que la utilización de armadura prefabricada se irá transformando en un sistema óptimo para construir este tipo de edificaciones.

8. HORMIGÓN

El hormigón es un material pétreo y artificial obtenido de la mezcla proporcionada de cemento, agua y áridos. En ciertas ocasiones se le añade a esta mezcla otras sustancias llamadas aditivos que permiten modificar y mejorar algunas propiedades del material.

Al ser fabricado en estado plástico, es necesario la utilización de moldes que sostengan al hormigón mientras este alcanza una resistencia suficiente para autoportarse, lo que impone ciertas restricciones, pero a su vez, el hecho de ser moldeable permite la libertad en la elección de las formas que uno quiera darle a este material, lo cual se puede considerar como una gran ventaja.

El hormigón presenta una serie de ventajas sobre otros materiales de construcción, lo que indudablemente justifica su empleo tan difundido. Entre otras se pueden mencionar las siguientes:

1. Al endurecer adquiere resistencia.
2. Debido a su plasticidad, se le puede dar cualquier forma.
3. Se moldea a temperatura normal, no necesita calor.
4. No se corroe, y resiste diversas condiciones ambientales, lo que le genera una gran durabilidad.
5. Es resistente al fuego, por lo menos hasta 400°C de temperatura.
6. Los materiales que se emplean en su fabricación son fáciles de encontrar y de bajo costo.

Dentro de la partida de hormigón se pueden distinguir 4 procesos fundamentales: La fabricación, el colocado, la compactación y el curado del hormigón. Estas cuatro acciones son las responsables de obtener un material de buena calidad, sin embargo, en la construcción de un edificio, el tiempo que utiliza el hormigón en adquirir una resistencia suficiente para autoportarse sin mayores deformaciones y soportar la estructura hacia arriba, es sin duda la mayor limitante de los plazos en el proceso de la construcción de la obra gruesa.

La tecnología ha permitido la creación de diferentes alternativas que buscan disminuir los tiempos destinados a la partida del hormigón, haciendo que su colocado sea más rápido y que alcance en un menor tiempo la resistencia necesaria para poder seguir con la construcción de la obra.

Lo tradicionalmente utilizado en la construcción de edificios habitacionales en Chile y las alternativas consideradas en este trabajo con respecto a la partida de hormigón que permiten disminuir los tiempos destinados son las siguientes:

- Hormigón premezclado tradicional Tradicional
- Hormigón con superplastificante Alternativa
 - Hormigón de alto desempeño
 - Hormigón de alta resistencia inicial
- Hormigón postensado Alternativa

8.1 HORMIGÓN PREMEZCLADO TRADICIONAL

En un comienzo, el hormigón era fabricado en obra por la misma empresa constructora, sin embargo hoy en día este material es por lo general comprado premezclado y transportado a las obras en camiones mixer. En este último caso la fabricación del hormigón se realiza en una planta especialmente diseñada, y las dosificaciones son en peso. Además, estas plantas cuentan con máquinas inscriptoras que registran con exactitud el peso del cemento, de los áridos y su grado de humedad. Este control permite optimizar el uso especialmente del cemento y obtener un hormigón confiable de acuerdo a lo solicitado por la empresa constructora.

Los hormigones usualmente utilizados en la edificación y los costos asociados se pueden ver en la siguiente tabla.

Costos de los hormigones usualmente utilizados en la edificación	
Tipo Hormigón	Valor UF/m ³
HN 25-90-40-06	1,75 + IVA
HN 30-90-40-06	1,92 + IVA
HN 35-90-40-06	2,09 + IVA
HN 40-90-40-06	2,25 + IVA
HN 45-90-40-06	2,42 + IVA
HB 25-90-20-10	1,93 + IVA
HB 30-90-20-10	2,09 + IVA
HB 35-90-20-10	2,24 + IVA
HB 40-90-20-10	2,40 + IVA
HB 45-90-20-10	2,55 + IVA

Tabla 8.1: Costos de hormigones para la edificación; Fuente: Premezclados Reay Mix.

Por lo general e idealmente, en la construcción de edificios el tiempo entre el hormigonado de un elemento y su descimbre es de cuatro días para las losas y de uno para los muros, permitiendo así un avance promedio de entre tres y cuatro pisos al mes, todo lo anterior considerando que se mantiene alzaprizada la losa después de retirar el moldaje.

8.2 HORMIGÓN CON ADITIVO SÚPER-PLASTIFICANTE

Los aditivos para el hormigón presentan un buen crecimiento ya que permiten mejorar las propiedades de éste, aspecto que resulta conveniente desde el punto de vista técnico y económico. Su uso está destinado a producir hormigones más trabajables, de mejor terminación, resistentes, durables e impermeables. Tienen un efecto sobre la trabajabilidad y comportamiento reológico de la mezcla fresca y sobre las propiedades mecánicas de la mezcla endurecida.

Los superplastificantes son una evolución de los aditivos reductores de agua, los cuales son absorbidos por las partículas del cemento y originan en la superficie una carga eléctrica del mismo signo, lo que finalmente provoca que las partículas se repelan unas de otras produciéndose la defloculación, lo que lleva a que se hidraten más granos de cemento y se produzca una reducción de los esfuerzos internos en la mezcla, permitiendo una mayor trabajabilidad del hormigón.

Los hormigones fluidos obtenidos con este aditivo pueden ser colocados con gran facilidad ya que son prácticamente autonivelantes, por lo que se reduce el trabajo de colocación y se minimiza la necesidad de vibrar.

Principales ventajas:

- Un mayor asentamiento de cono (el doble) con la misma cantidad de agua. (mayor fluidez)
- Hormigón de alta resistencia inicial y final al reducir la cantidad de agua y manteniendo el cono original, lo que permitiría avanzar más rápidamente en la construcción debido a la reducción del tiempo para que la losa obtenga la resistencia necesaria.
- Calidad homogénea, mínima segregación y exudación.
- Disminución de retracción y fisuración.
- Facilidad de colocación y mayor rendimiento de la faena de hormigonado.
- Mayor calidad en la textura final de los elementos.
- Eliminación de la formación de nidos, segregación del hormigón e imperfecciones superficiales.
- Según un estudio realizado por la CDT, los hormigones con mayores conos como los que se obtienen con este tipo de aditivo permiten un aumento del rendimiento de las cuadrillas de hormigonado en un 10,4% (unidad en m³/h) con respecto a un hormigón normal.

Los siguientes dos gráficos muestran las propiedades mejoradas de este tipo de hormigón con respecto a uno normal.

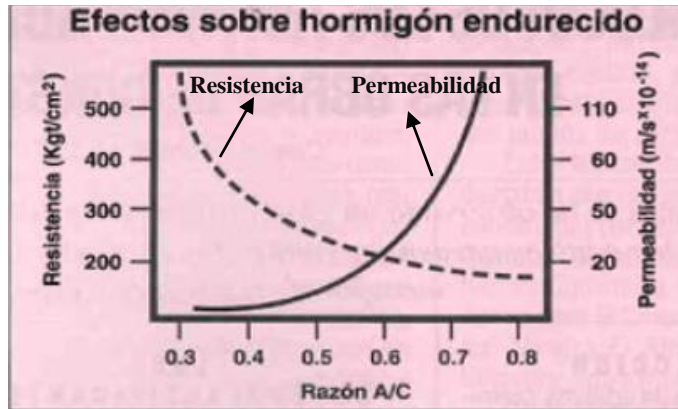


Gráfico 8.1: Hormigón con aditivo superplastificante; Fuente: Revista BIT



Gráfico 8.2: Hormigón con aditivo superplastificante, comparación; Fuente: Revista BIT.

En el primer gráfico se observan dos efectos importantes logrados con estos aditivos en los hormigones en estado endurecido, al bajar considerablemente la razón A/C de la mezcla. Se genera un aumento de las resistencias mecánicas iniciales y finales, y se reduce la permeabilidad final del hormigón endurecido.

En el segundo gráfico se ve el efecto de estos aditivos en las resistencias mecánicas con respecto a un hormigón patrón.

Hay dos hormigones en particular que se pueden generar con este tipo de aditivos, uno es un hormigón de alta resistencia inicial con la capacidad de obtener su resistencia especificada a los tres días, y el otro es el hormigón denominado de alto desempeño que es aquel que logra grandes

resistencias iniciales y finales. Ambos tipos de material permiten reducciones importantes en los plazos de construcción.

Hormigón de alto desempeño

El HPR u hormigón de alto desempeño, es un tipo de hormigón que busca alcanzar mayor durabilidad, menor retracción, más impermeabilidad, y mayor facilidad en los procesos de colocación, lo que ayudaría a disminuir los tiempos de construcción.

El concreto de alta resistencia (CAR) es aquel que alcanza una resistencia característica superior a los 50 Mpa, y puede considerarse un tipo de concreto de alto desempeño. Este material, además de tener una mayor resistencia, tiene una mayor durabilidad.

Principales ventajas:

- Secciones de las columnas más reducidas.
- Su módulo de deformación es más elevado, lo que reduce la deformabilidad de las estructuras.
- Se logra tener una alta $f'c$ (resistencia a la compresión) a las 24 h.
- El peso global de la estructura es inferior, lo que permite una reducción en la cimentación.
- El plazo de ejecución de la obra se ve reducido al permitir menor tiempo de encofrado o la puesta en compresión para el pretensado debido a las altas resistencias a edades tempranas.
- Usado en losas permite remoción temprana de la cimbra y elimina el re-apuntalamiento (Hecho que se practica a menudo pero que sin embargo es poco conveniente debido a la falta de conocimiento del comportamiento de la deformación en la losa una vez realizado este proceso).
- La fluidez de la mezcla facilita la puesta en obra o en los talleres de prefabricación.
- La reducida viscosidad permite el bombeo a grandes alturas.
- Optimiza el mantenimiento y transporte de los elementos prefabricados.
- Aumento de la vida útil del edificio debido a su débil porosidad que lo protege de un posible ataque del medio.
- Reducción de escurrimiento plástico con relación a los hormigones usuales.
- Permite reducir la cantidad de acero de refuerzo según el proyecto.

La ventaja del hormigón normal frente al CAR es que presenta un mejor conocimiento tecnológico y un precio unitario inferior.

El siguiente gráfico muestra una comparación de la resistencia a la compresión a diferentes días entre el hormigón de alta resistencia y el normal.

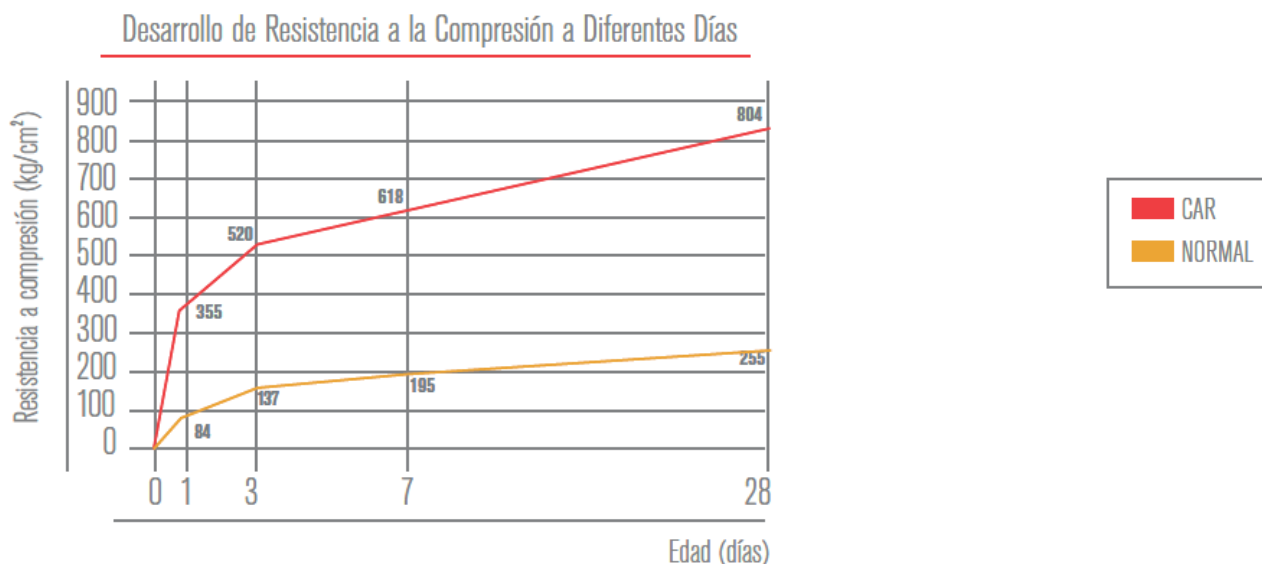


Gráfico 8.3: Resistencia a la compresión del hormigón de alta resistencia; Fuente: Cemex cementos.

Considerando que los moldajes actuales permiten sacar el encofrado sin dejar de apuntalar la losa eliminando el riesgo de que ésta se deforme, este tipo de hormigón permitiría reducir el tiempo entre el hormigonado de la losa y su descimbre de 4 hasta 1/2 día, por lo que el avance de construcción, si se programa bien la obra, aumentaría de manera significativa. Sin embargo el costo de utilizar este material es muy alto por lo que no es económicamente beneficioso. La diferencia del costo entre utilizar un hormigón típico y uno de alta resistencia es bastante alta. La siguiente tabla muestra un ejemplo de la diferencia de los valores.

Tipo de hormigón	Costo UF/m3	Tiempo para descimbre de losas manteniendo alzaprimas
HB 35-90-20-10	2,09 + IVA	4 días
HB 60	3,92 + IVA	<1 día

Tabla 8.2: Costos y plazos de hormigones; Fuente: Empresa constructora.

Este tipo de hormigón no es utilizado en obras de edificación con el objetivo de disminuir los plazos, si no que para poder reducir la cantidad de material a usar disminuyendo las dimensiones de los elementos y optimizando el espacio en estructuras de mucha altura.

Hormigones de alta resistencia inicial

Este tipo de hormigones se caracterizan por obtener de forma anticipada la resistencia especificada. Por ejemplo un hormigón HB 30 R3 es aquel que alcanza una resistencia a la compresión de 30 Mpa a los tres días. Esto gracias a la utilización de aditivos súper-plasticantes y acelerante.

La siguiente tabla muestra los costos de este tipo de hormigón en comparación con el normalmente utilizado.

Tipo de hormigón	Costo UF/m ³	Tiempo para descimbre de losas manteniendo alzaprimas
HB 35-90-20-10	2,24 + IVA	4 días
HB 40 R3 con aditivo S-P	3,36 + IVA	1 día

Tabla 8.3: Costos y plazos de hormigones; Fuente: Empresa constructora.

El siguiente gráfico muestra la curva de resistencia de este tipo de hormigones.

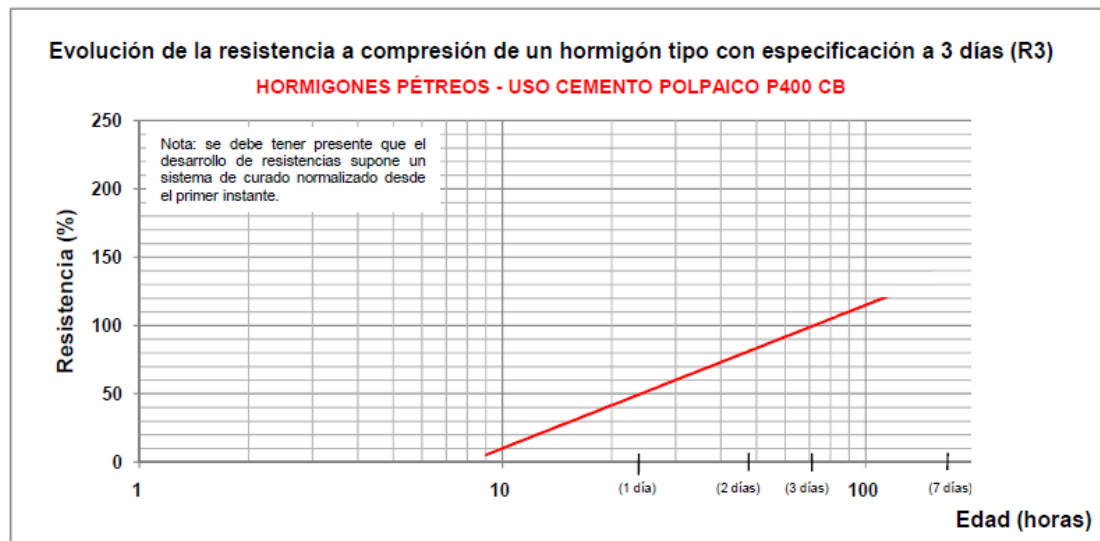


Gráfico 8.4: Resistencia a la compresión del hormigón R3; Fuente: Polpaico.

Se observa que al primer día la resistencia alcanzada es del 50% de la especificada, lo que permitiría a una losa hormigonada con HB 40 R3 ser descimbrada, manteniéndola alzaprimada, al primer día con una resistencia a la compresión de 20 Mpa.

8.3 SISTEMA POSTENSADO DE LOSAS

El postensado es un mecanismo que permite aprovechar los materiales en su mejor forma logrando optimizar el sistema. Este método permite construir de forma segura y económica.

Las losas postensadas son losas hormigonadas in-situ, realizadas generalmente con torones (agrupaciones de alambre de acero de alta resistencia), los cuales son colocados al mismo tiempo o de manera posterior que el refuerzo tradicional y tensados unos días después.

El refuerzo postensado se puede aplicar de dos maneras. La primera es sin la utilización de adherencia, donde los torones son protegidos contra la corrosión con grasa o cera y recubiertos por un ducto de polietileno de alta densidad. La segunda forma es con la utilización de adherencia, donde los torones vienen dentro de un ducto metálico el cual se inyecta con una lechada de cemento después de la tensión.

Principales ventajas:

- Disminución de los plazos de ejecución de la obra gruesa debido a rápidos y eficientes programas de construcción. El sistema de moldaje se puede quitar inmediatamente después de tensar.
- Ahorro en hormigón, acero, mano de obra y moldajes.
- Facilidad para la colocación de instalaciones.
- Mayor separación entre apoyos, lo que permite optimizar el espacio.
- Las losas planas permiten mayor altura libre de entrepisos y construir mayor cantidad de pisos en una altura determinada.
- Al ser losas más ligeras, se pueden obtener columnas más esbeltas.
- Reducción de las juntas constructivas.
- Aumento de la vida útil de la obra.
- Bajos requerimientos de mantenimiento

Procedimiento constructivo:

- 1. Comienza con la instalación de los moldajes. Este procedimiento se simplifica ya que por lo general no se cuenta con vigas.*
- 2. Una vez iniciada la instalación del moldaje, se empieza con la de la enfierradura y los cables de postensado simultáneamente.*
- 3. Se hormigona la losa de manera tradicional.*
- 4. Una vez alcanzada la resistencia (3 días) se procede al postensado.*
- 5. Se retira el moldaje en su totalidad.*
- 6. Se corta el cable sobrante y se rellena con mortero.*

El reticulado mínimo utilizado es de 8x8 metros, y el capitel de los pilares es por lo general de 0,16m. Las losas construidas con este sistema son de entre 0,16m a 0,18m de espesor, las cuales tienen del orden de 12 Kg/m² de armadura en barras y entre 3,5 a 5 Kg/m² de cable inyectado (los 5 son para casos en que los cables se tensan con camiones). Se hacen paños de 30x30 donde se demoran dos días después de instalado los moldajes en preparar todo, esto es cable, sillas o calugas el y anclajes.

El cable ingresa a la obra cortado y los anclajes puestos, lo que permite un proceso más rápido. Para esto es necesaria una cuadrilla de aproximadamente 8 trabajadores.

Este tipo de losas está destinado a edificios de oficinas, centros comerciales y subterráneos donde se pueden tener plantas libres con pilares y una mínima cantidad de muros. El problema de realizar este sistema donde exista una alta densidad muros es que esto implica dimensiones más pequeñas para las losas lo que finaliza provocando grietas excesivas debido a la retracción del hormigón utilizado para el postensado.

En edificios habitacionales no es común ver losas postensadas en los pisos de departamentos ya que el tener plantas libres implicaría la utilización de mucha tabiquería para la división de los espacios, lo que no es del gusto general de las personas. Sin embargo, para la construcción de subterráneos este método puede resultar adecuado ya que estos generalmente son utilizados para estacionamientos, por lo que pueden estar compuestos por columnas en vez de muros.

Para que las losas puedan ser postensadas al tercer día es necesaria la utilización de hormigón con alta resistencia inicial. Lo utilizado generalmente es un hormigón HB35 que tenga la propiedad de adquirir

al tercer día una resistencia a la compresión de 21 Mpa, lo que permitiría el postensado y posterior descimbre de la losa.

Por lo tanto este sistema permite reducir costos en materiales y mano de obra, sin embargo, produce un aumento de estos debido a la utilización de un hormigón más caro y al proceso de postensado propiamente tal.

En cuanto a los tiempos, también lograría reducir los plazos ya que utilizarlo permite eliminar la construcción de vigas, además del ahorro de tiempo por la menor cantidad de hormigón, fierro y moldaje a colocar.

Gracias a la colaboración de la empresa CSP (compañía sudamericana de postensado) se determinaron costos y rendimientos asociados a este sistema los cuales se exponen en la siguiente tabla.

Costos asociados al sistema		
HB35 con un R3 de 21 Mpa	2,3	UF/m3
Postensado	0,5	UF/m2

Tabla 8.5: Costos para postensado de losas; Fuente: Empresa CSP.

El postensado incluye la mano de obra, cable, sillas, anclajes y el tensado.

Además de todo lo anterior hay que analizar la diferencia de costos y plazos por construir pilares en vez de muros o de disminuir la cantidad de estos últimos, lo que va a depender de cada proyecto en particular.

8.4 SIMULACIÓN TEÓRICA DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS DE USOS DE HORMIGONES

8.4.1 Datos de la obra

Para la realización de una simulación que permita comparar los tres métodos de armado mencionados se utiliza el edificio tipo, seleccionado y detallado en el capítulo III. Las características generales de este proyecto son las siguientes:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos sobre nivel de suelo	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1.290m ²
Superficie subterráneo	2.700m ²
Gastos generales mensuales	1.340 UF

La construcción del edificio no incluyó utilización de hormigones de alta resistencia ni losas postensadas en ningún piso.

Para disminuir lo más posible los tiempos muertos dentro de la obra, el piso se divide en tres partes de similares dimensiones formando ciclos de construcción, de esta manera por ejemplo, mientras se hormigona la zona 3 se está instalando el moldaje en la zona 2 y la armadura en la zona 1. De esta manera la construcción logró tener un avance promedio de 4 pisos por mes a partir del piso 3.

8.4.2 Consideraciones importantes

Para poder aplicar cada alternativa al proyecto, se hicieron los siguientes supuestos para la realización de los cálculos:

- Para facilitar los cálculos se utilizó un HN 35-90-40-06 y un HB 35-90-20-10 para el caso tradicional, y un HB 35 R3 para el caso de utilizar hormigón de alta resistencia inicial.
- El día de trabajo consta de 9 hora diarias y el mes de 24 días hábiles.
- El costo empresa del enfierrador es de \$32.061 pesos y el del jornalero de \$19.341 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- El valor de la UF considerado es de 21.143 pesos, correspondiente al día 9 de junio del 2010.

- Los moldajes utilizados son del tipo tradicional industrializado. Los rendimientos y costos son los determinados en el capítulo V.
- La armadura del edificio corresponde a armadura industrial tradicional, preparada en fábrica y armada en la obra. Los rendimientos y costos asociados a este tipo de armadura es la determinada en el capítulo de VI.
- Se consideró que no se puede superar la cantidad de 1 trabajador cada 9m² en un mismo piso.
- Debido al alto costo del hormigón de alto resistencia y a que la finalidad de disminuir los tiempos de logra de igual manera con el hormigón R3, se decidió realizar la simulación sólo con este último tipo.
- El costo de los hormigones a utilizar son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tipo de hormigón	Costo UF/m3
HB35 R28	2,24 + IVA
HB40 R3	3,36 + IVA
HB60 R28	3,92 + IVA

Tabla 8.6: Costos de los diferentes tipos de hormigones a utilizar; Fuente: Polpaico.

8.4.3 Simulación

a) Hormigón con superplastificante (caso analizado a partir del piso 3).

Se realiza la simulación a partir del piso 3 ya que desde este nivel los pisos son similares y la construcción se comporta de manera rápida y continua en el tiempo, donde los rendimientos por piso son altos y similares a diferencia de los subterráneos y los primeros niveles donde la construcción es mucho más lenta y los tiempos bastante distintos entre un piso y otro.

Antes de realizar la simulación analizaremos de manera general el caso real de la obra. Para los datos considerados y expuestos en el detalle del proyecto se realizó una programación rítmica que permitió simular el avance promedio real de la obra. Los datos calculados para esto fueron los siguientes.

Datos para la realización de la programación rítmica	
Piso tipo considerado	10
Superficie total	1.290 m ²
División por piso	3

Tabla 8.7: Datos para la realización de la programación rítmica para el caso de utilizar hormigón tradicional.

Partida	Tiempo días	Mano de Obra
Armado	2	26
Moldaje	2	13
Hormigonado	0,5	9
Total		48
Máximo		48

Tabla 8.8: Tiempo destinado a cada partida para el caso de utilizar hormigón tradicional.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de programación simplificada que permite un avance de 4 pisos al mes según las características del proyecto. Esta rapidez de avance se considera por lo general muy ideal y poco realista, sin embargo lo importante de esta simulación no es el tiempo utilizado por cada sistema, sino la diferencia de éste.

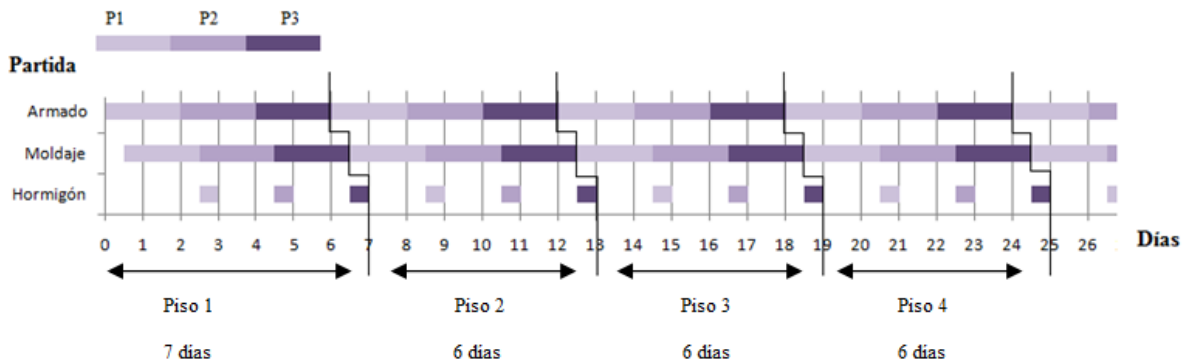


Figura 8.1: Programación para determinar el avance de construcción por mes utilizando hormigón normal.

P1, P2, y P3 son las distintas partes en las que fue dividido el piso para optimizar el tiempo de los procesos. El avance es de 4 pisos al mes si se consideran seis días de trabajo a la semana o de 3,3 pisos al mes si se consideran sólo cinco días a la semana.

Al utilizar hormigones con aditivos superplastificantes el tiempo mínimo para el descimbre de losas se puede reducir a un día, por lo que es necesario hacer un nuevo análisis para determinar una programación que optimice los tiempos. Para esto fue necesario hacer otra partición del piso y aumentar la cantidad de mano de obra con el fin de aumentar la velocidad de los otros procesos. Los datos calculados para esto fueron los siguientes.

Datos para la realización de la programación rítmica	
Piso tipo considerado	10
Superficie total	1.290 m ²
División por piso	2

Tabla 8.9: Datos para la realización de la programación rítmica para el caso de utilizar hormigón con aditivos.

Partida	Tiempo días	Mano de Obra
Armado	2	39
Moldaje	2	19
Hormigonado	0,6	10
Total		68
Máximo		72

Tabla 8.10: Tiempo destinado a cada partida para el caso de utilizar hormigón con aditivos.

En la siguiente figura se muestra la programación rítmica al utilizar este tipo de hormigón.

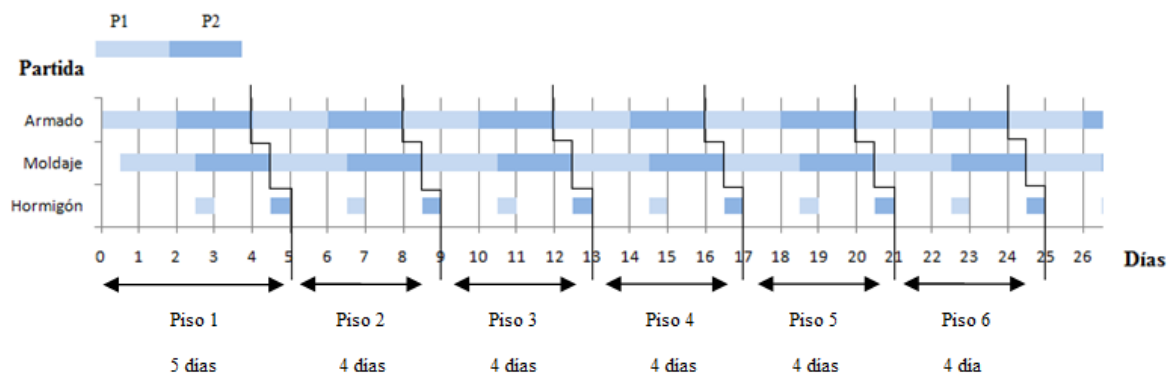


Figura 8.2: Programación para determinar el avance de construcción por mes utilizando hormigón con aditivos.

El avance es de 6 pisos al mes si se consideran 6 días de trabajo a la semana o de 5 pisos al mes si se consideran sólo 5 días a la semana.

El costo extra que implica la utilización del hormigón de alta resistencia inicial está asociado principalmente al mayor precio de este material y al costo extra diario por la mayor cantidad de mano de obra. La siguiente tabla muestra una comparación de estos valores con respecto al caso real. El hormigón fue reemplazo sólo para la construcción de los elementos horizontales del edificio. El detalle se puede ver en la sección anexos.

Comparación de costos para los 20 pisos considerados				
	Caso Real HB35	Caso con aditivo HB40	Diferencia	Unidad
Plazo de construcción	5	3,3	1,7	meses
Costo del hormigón	5.805	8.708	2.903	UF
Costo todos los trabajadores	7.113	6.788	- 325	UF
Costo extra			2.578	UF

Tabla 8.11: Resumen de tiempos y costos al aplicar los dos tipos de hormigones.

Es posible disminuir más aún el tiempo entre el hormigonado y el descimbre utilizando hormigones de alto desempeño, sin embargo no sólo hay que considerar que el costo es muy elevado, además el hecho de que disminuya tanto el tiempo de este proceso implicaría un aumento significativo en la mano de obra para apurar los procesos de armado y colocación de moldaje, lo que además de generar costos extras haría sobrepasar la cantidad máxima de trabajadores por piso, afectando la productividad de estos y haciendo de la construcción un lugar inseguro. Es por esto que sólo se realizó la simulación con hormigón de alta resistencia inicial y no con hormigón de alto desempeño.

b) Losas postensadas

Por las razones explicadas durante este capítulo las losas postensadas no se aplican en edificios habitacionales ni en subterráneos con muros debido a los problemas que se pueden generar por la retracción del hormigón. Por lo que se analizó la posibilidad de realizar este sistema en la parte del subterráneo que no pertenece a la prolongación de la estructura hacia arriba.

Al revisar los planos se observó que las losas de los estacionamientos no superan los 18 cm y que la cantidad de vigas es mínima, por lo que realizar en este sector losas postensadas en vez de las tradicionales no significaría un mayor beneficio debido a que no es posible reducir mucho los materiales utilizados, sin embargo produciría un mayor costo, por lo que se decidió que no es aplicable en este edificio en particular.

8.4.4 Análisis de resultados

Caso hormigones de alta resistencia inicial

En este caso, al reemplazar el hormigón utilizado por un hormigón de alta resistencia inicial entre los pisos 3 y 22 se podría lograr una disminución del plazo de construcción de hasta 1,7 meses, con un costo extra de 2.578 UF.

Este aumento en el costo es exclusivamente debido al mayor precio del hormigón con aditivo ya que se puede observar que a pesar de aumentar la mano de obra, para apurar los otros procesos, el costo final asociado a ésta disminuyó debido a los días menos trabajados.

A pesar de reducir el plazo de construcción, la diferencia de costos es alta. El valor ahorrado asociado a los gastos generales bordearía las 2.300 UF, lo que sumado al ahorro de las grúas torres compensarían el costo extra por utilizar este tipo de hormigón.

Sin embargo aplicar hormigones con altas resistencias iniciales en losas de edificios habitacionales tiene sus problemas técnicos que se deben considerar a la hora de analizar esta alternativa. El hecho de que exista mucho muro limita el proceso de retracción del hormigón, el cual es mayor para este tipo de hormigones, ocasionando fisuras y grietas en la losa. Por lo que es necesario evaluar el diseño del proyecto y analizar la distribución de los muros dentro del piso.

En cuanto utilizar hormigones de alta resistencia o desempeño para disminuir más aún los tiempos para el descimbre, se llegó a la conclusión que es poco óptimo aplicado a la construcción de un edificio. Si utilizáramos este tipo de hormigón el costo extra superaría las 10.000 UF para el caso analizado, además, al disminuir más estos tiempos no se generaría una disminución del plazo total debido a la imposibilidad de aumentar la rapidez de los otros procesos considerados en el camino crítico de la construcción como los son la colocación del fierro y del moldaje.

9. EQUIPOS

9.1 COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

En el proceso de transporte y colocación del hormigón las bombas hidráulicas están siendo las más utilizadas, por lo menos en lo que se refiere a la construcción de edificios, sin embargo, por años e incluso hasta hoy, existen empresas que utilizan el típico método del capacho movilizado por una grúa, que si bien es de menor costo, es mucho menos eficiente e implica un bajo nivel de seguridad para los trabajadores.



Figura 9.1: Sistema grúa-capacho; Fuente: Revista Tecnología y Construcción (032), Junio 2010.

Si bien el sistema grúa-capacho es el más tradicional, no es un método aplicable para la edificación en altura debido a las siguientes razones:

- Con la altura, este método reduce su rendimiento ya que los tiempos de ciclos de carga y descarga aumentan con el número de pisos. Además de que esta demora puede significar un deterioro en la calidad del hormigón por una permanencia excesiva del camión mixer en la obra.
- Es una operación riesgosa en comparación a los sistemas más modernos.
- Necesita la utilización de la grúa para funcionar, lo que hace más lento la construcción debido a que ésta es necesaria para el transporte de los otros materiales.

A pesar de los puntos en contra, este sistema es el más conocido por los trabajadores y con el cual mejor se manejan, pero debido a su baja productividad, el método de la grúa-capacho está siendo reemplazado por otros sistemas más seguros y eficientes como los elevadores y las bombas hidráulicas.

9.1.1 Bombas

Como una explicación muy general, la bomba de hormigón es una maquina hidráulica que se utiliza para incrementar la presión de la mezcla añadiendo energía al sistema con el fin de moverla de una zona de menor altitud a una de mayor altitud.

Las bombas ya pasaron a ser un método tradicional en la construcción de edificios en altura. Han permitido simplificar el procedimiento de hormigonado haciéndolo mucho más rápido y eficiente que los métodos anteriores a ellas, además que permiten reducir la cantidad de mano de obra y los tiempos usados por las grúas para este proceso. A pesar de que implican un mayor costo en lo que se refiere a arriendo de maquinaria y tipo de hormigón a usar, éste se compensa rápidamente por su buen rendimiento reduciendo los costos finales de la obra.

Existen distintos tipos de bombas para hormigones dependiendo del tipo de trabajo que se desee realizar y la altura a la que se quiera llegar. Para la construcción de obras de edificación se tienen dos tipos de bombas, las estacionarias y las no estacionarias. La bomba estacionaria es transportada y dejada en el lugar donde es descargado el hormigón de los camiones. Consiste en una tubería con abrazaderas, juntas, codos y una manguera o pluma estacionaria que permite la distribución y colocación del hormigón. Por otro lado, la bomba no estacionaria o bomba pluma viene con el transporte incluido, o sea, está montada sobre un camión y compuesta por brazos que se pueden extender varios metros de distancia.

Las bombas no estacionarias son más fáciles de manejar, pero a diferencia de las estacionarias tienen una altura de llegada limitada. Hasta ahora, lo máximo de alcance que tiene una de estas bombas es de 63 metros. Sin embargo, la eficiencia y eficacia técnica va a depender, entre otras cosas del tipo de hormigón que se utilice (relación agua-cemento, ductilidad, tamaño máximo de árido, entre otros.), y de las tuberías (longitud, trazado, número de codos, perdidas de carga por fricción y singularidades.).



Figura 9.2: Bomba Pluma; Fuente: Putzmeister Ibérica S.A.

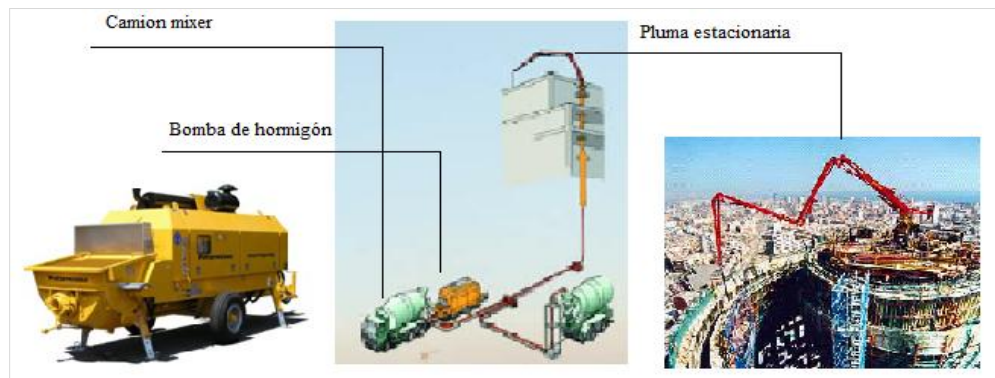


Figura 9.3: Bomba estacionaria; Fuente: Putzmeister Ibérica S.A.

Principales ventajas:

- Una sola bomba es suficiente para transportar todo el hormigón estructural que pueda necesitar una obra.
- Es exclusivo para el hormigón, por lo que no interfiere con otro medio de transporte de materiales en la obra.
- Coloca el hormigón de forma continua, lo que eleva la productividad de la cuadrilla de hormigonado.
- Define la calidad del hormigón, pues, para que la mezcla circule por la tubería debe cumplir con ciertos requisitos tecnológicos (comenzando por una cantidad mínima de cemento y curva granulométrica determinada de los agregados) propios de las mezclas de buena calidad.
- La velocidad de trabajo reduce el tiempo de inmovilización del hormigón ya mezclado hasta su colocación final.
- Evita la contaminación de la mezcla con otros materiales o agua.
- Es a veces el único medio para llegar a lugares inaccesibles o para atravesar zonas que no se quieren alterar.
- Permite descargar hormigón bajo el agua sin segregación.
- Permite hormigonar techos de túneles.
- Permite entregas de volúmenes de hormigón muy superiores a los de cualquier otro medio
- El hormigón bombeable es más dócil y fácil de trabajar.
- Minimiza el riesgo de accidentes laborales y se emplea menos personal.
- La operación de la bomba puede hacerse por control remoto, con cable o inalámbrica por tele-radio-comando.
- Reduce costos de hormigonado en especial en la cantidad de horas-hombre por su elevado rendimiento.

La siguiente tabla muestra una comparación de los rendimientos promedios entre los métodos de colocación del hormigón con bomba estacionaria, bomba no estacionaria y el método más tradicional que es el de grúa torre con baldo o capacho.

Método	Cantidad de trabajadores	Rendimiento HH/m³
Torre fija con pluma y balde	10	0,91
Bomba estacionaria	9	0,32
Bomba no estacionaria	9	0,26

Tabla 9.1: Rendimiento mano de obra de métodos de colocación de hormigón; Fuente: Revista Cemento.

La siguiente tabla muestra una comparación de los costos medios entre los métodos anteriores. Aquí se incluye tanto el arriendo de la maquinaria y accesorios como el costo de los operadores. Los detalles de cómo se determinó este costo se pueden observar más adelante en la parte de simulación.

Método	Unidad	Costo arriendo
Torre fija con pluma y balde	UF + UF/m ³	209 + 0,194
Bomba estacionaria	UF + UF/m ³	2,4 + 0,177
Bomba no estacionaria	UF/m ³	0,375

Tabla 9.2: Costos asociados a la utilización de los distintos métodos de hormigonado; Fuente: Elaboración propia en base a catálogos de maquinas.

Hay que considerar que la utilización del sistema de bombas para la colocación de hormigón tiene un costo extra correspondiente al mayor valor del hormigón bombeable con respecto al normal, el cual se considerará más adelante.

9.2 SIMULACIÓN TEÓRICA DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE HORMIGONADO

9.2.1 Datos de la obra

Para la realización de una simulación que permita comparar los tres métodos de colocación del hormigón mencionados se utiliza el edificio tipo, seleccionado y detallado en el capítulo III. Las características generales de este proyecto son las siguientes:

Altura sobre suelo	60,1m
Número de pisos sobre nivel de suelo	22
Subterráneos	6
Superficie planta tipo	1.290m ²
Superficie subterráneo	2.700m ²
Gastos generales mensuales	1.340 UF

En la construcción de este proyecto la colocación del hormigón fue a través de los sistemas grúa-capacho y bomba estacionaria dependiendo del elemento a hormigonar y su posición. Para esto se contaba con dos grúas torres con el fin de destinar una sólo al proceso de hormigonado.

Para disminuir lo más posible los tiempos muertos dentro de la obra, el piso se divide en tres partes de similares dimensiones formando ciclos de construcción, de esta manera por ejemplo, mientras se hormigona la zona 3 se está instalando el moldaje en la zona 2 y la armadura en la zona 1.

La cantidad de hormigón normal y bombeable utilizada en la construcción de este proyecto se puede observar en la siguiente tabla.

Cantidad de hormigón normal y bombeable utilizado			
	Hormigón normal	Hormigón bombeable	Total
Cantidad m3	8.283	7.119	15.402
% del total	54%	46%	100%

Tabla 9.3: Cantidad de hormigón normal y bombeable utilizado en la construcción del edificio.

9.2.2 Consideraciones importantes

Para poder aplicar cada modalidad de hormigonado al proyecto, se hicieron los siguientes supuestos para la realización de los cálculos:

- El costo empresa por hormigonero es de \$19.341 pesos diarios incluyendo leyes sociales.
- Los cálculos realizados no consideraron las fundaciones del edificio.
- El día de trabajo consta de 9 hora diarias y el mes de 24 días hábiles.
- El hormigonado con grúa-capacho y el con bomba pueden ser simultáneos.
- Para facilitar el cálculo del costo asociado al valor del hormigón se consideró que el hormigón normal corresponde a un HN 35-90-40-06 y el hormigón bombeable a un HB 35-90-20-10.
- El valor de la UF considerado es de \$21.143 pesos, correspondiente al día 9 de junio del 2010.
- Los valores de rendimientos de colocación y costos utilizados corresponden a los expuestos en las tablas anteriores según cada sistema.
- Las cuadrillas de hormigoneros son de 10 trabajadores para el sistema con grúa-capacho y 9 trabajadores para los sistemas con bomba.
- Se llamará HN al hormigón normal y HB al bombeable.
- Se llamarán sistemas con grúa-capacho, bomba no estacionaria y bomba estacionaria como GC, BNE y BE respectivamente.

Al costo final de la grúa se le restó el valor fijo por el montaje ya que este se realiza independiente del sistema de colocación del hormigón. Además, se incluyó al costo de la bomba el valor de la mano de obra y el debido al cambio de un HN por un HB. Este último dato se calculó comparando el costo de ambos hormigones y determinando que el HB es un 7,18% más caro que el HN para una resistencia de 35 Mpa. Por lo tanto los valores finales del costo por sistema son los siguientes.

Método	Costo total	Unidad
Torre fija con pluma y balde	0,194	UF/m ³
Bomba estacionaria	0,380	UF/m ³
Bomba no estacionaria	0,526	UF/m ³

Tabla 9.4: Costos asociados a la utilización de los distintos métodos de hormigonado.

El detalle del cálculo de estos valores se puede ver en la sección anexos.

9.2.3 Simulación

Para poder realizar la simulación del edificio es necesario primero determinar las cantidades de hormigón normal y de hormigón bombeable utilizadas por piso. Con estos datos es posible determinar el tiempo utilizado en la colocación del hormigón tomando en cuenta que ambos sistemas pueden ser realizados simultáneamente, por lo que el tiempo final se consideró el más alto entre las dos modalidades. Para ejemplificar lo realizado se expone una tabla correspondiente a los cálculos realizados para 1/3 del piso 10 en el caso real de hormigonado.

Resumen de rendimiento y costo del hormigonado en 1/3 del piso 10					
Hormigón	m³	HH necesarias	Trabajadores	Tiempo en días	Costo hormigonado UF
HN	54,06	49,15	10	0,546	9,57
HB	48,70	12,52	9	0,155	18,51
Total	102,76	61,67	19	0,546	28,07

Tabla 9.5: Resumen de rendimientos y costos del hormigonado según el tipo de hormigón por 1/3 de piso.

En el caso hipotético que todo hubiera sido hormigonado por un solo tipo de sistema, con el de grúa capacho o con los de bomba, los resultados serían los siguientes.

Rendimientos y costos según método de hormigonado para 1/3 del piso 10		
Sistema	Rendimiento días	Costo hormigonado UF
Torre fija con pluma y balde	1,04	18,19
Bomba estacionaria	0,46	39,05
Bomba no estacionaria	0,33	54,07
Sistema real usado	0,546	28,07

Tabla 9.6: Costos asociados a la utilización de los distintos métodos de hormigonado por 1/3 de piso.

Realizando este mismo proceso para cada uno de los pisos se logró determinar la cantidad total de días utilizados por cada sistema de colocación del hormigón para la construcción del edificio.

Resumen de rendimientos y costos totales del edificio según sistema					
Ítem	Caso real	Sistema G-C	Sistema BE	Sistema BNE	Unidad
Tiempo destinado al hormigonado	75	147	65	45	días
Costos	4.019	2.574	5.526	7.652	UF

Tabla 9.7: Resumen de rendimientos Costos asociados a la utilización de los distintos métodos de hormigonado

Sin embargo, lo más usual es mezclar el sistema de grúa-capacho con el de bombas. El siguiente gráfico muestra como variarían los costos según los días destinados a la colocación de hormigón, los cuales van disminuyendo debido al reemplazo del sistema grúa-capacho por el de bomba estacionaria o no estacionaria. Para realizar este cálculo se fueron reemplazando de a poco las cantidades reales de hormigón normal por hormigón bombeable para determinar cómo varían los tiempos y costos destinados a esta partida.

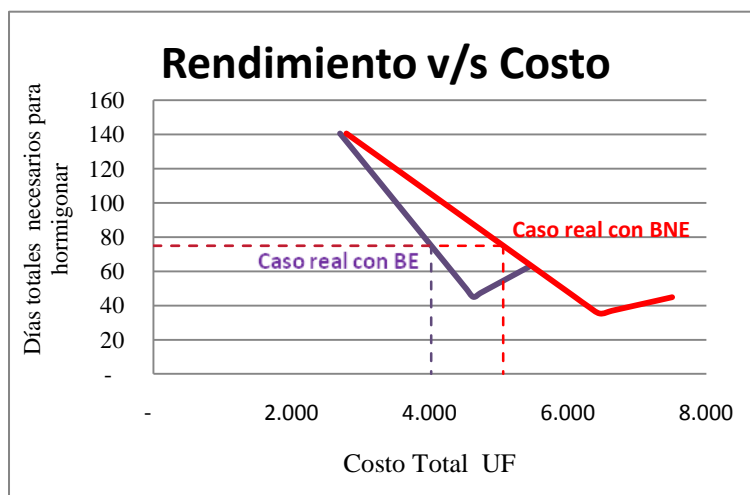


Gráfico 9.1: Rendimiento v/s costos de ir mezclando los sistemas de hormigonado; Fuente: elaboración propia.

La línea morada representa la disminución de plazos y aumento de costos en el caso de ir reemplazando hormigón normal por bombeable utilizando una bomba estacionaria, y la línea roja en el caso de que fuese una bomba no estacionaria. En este caso, la línea morada representa el caso real del proyecto y la roja un caso hipotético en el que la bomba utilizada fuese no estacionaria.

Se observa que existe un punto a partir del cual tanto los costos como los días destinados a la hormigonado aumentan. Este punto corresponde al caso en que la colocación del hormigón normal destinado a la obra demora lo mismo que la colocación de hormigón bombeable. Estas cantidades de hormigones son las que nos permiten reducir de mejor manera los días destinados a hormigonar. La siguiente tabla muestra un resumen de estos valores.

Caso para reducir al máximo los tiempos de hormigonado para sistema GC y sistema BNE			
	Caso real	Caso optimo para reducir plazos con BNE	Unidad
HN	7.424	3.424	m ³
HB	7.119	11.119	m ³
Costo	4.019	6.631	UF
Días destinados a hormigonar	75	35	Días
Diferencia de costos	2.611		UF

Tabla 9.8: Caso óptimo de utilización de sistemas de hormigonado con bomba no estacionaria.

Caso para reducir al máximo los tiempos de hormigonado para sistema GC y sistema BE			
	Caso real	Caso optimo para reducir plazos con BE	Unidad
HN	7.424	4.424	m3
HB	7.119	10.119	m3
Costo	4.019	4.628	UF
Días destinados a hormigonar	75	45	Días
Diferencia de costos	609		UF

Tabla 9.9: Caso óptimo de utilización de sistemas de hormigonado con bomba estacionaria.

9.2.4 Análisis de resultados

Al realizar la simulación de los métodos constructivos utilizados para la colocación del hormigón en un edificio, se observa que la mezcla del uso de grúa y de bomba para la colocación del hormigón permite optimizar los tiempos y los plazos, sin embargo, las cantidades de material utilizados por cada sistema deben ser debidamente determinados.

En el caso real, si se hubiera realizado la colocación de hormigón según las cantidades óptimas propuestas, se podrían haber disminuido los tiempos destinados a este proceso en 30 días con un costo extra de 609 UF. No es posible considerar que esta cantidad de días menos pueda ser traspasada directamente a una reducción del plazo total de construcción. Para determinar esto es necesario realizar una nueva programación que permita conectar todos los procesos de manera de reducir los tiempos muertos generados y determinar la cantidad de días totales en las que se lograría reducir el plazo. Esta reducción permitiría además una mayor rapidez en los otros procesos debido a las horas disponibles de la grúa destinada al hormigonado para trasladar otros materiales como fierro y moldaje.

Por otro lado se observa que el uso de una bomba no estacionaria permite ahorros un poco mayores de tiempo que la estacionaria, sin embargo el costo aumenta de manera considerable por lo que en casos de edificaciones en altura no es el sistema más apropiado.

10. RESUMEN DE RESULTADOS Y COMENTARIOS

10.1 TABLAS DE RESUMENES

En este capítulo se exponen los resultados finales de aplicar los sistemas analizados en la construcción de la obra gruesa del edificio escogido, además de recomendaciones asociadas a cada caso.

a) Sistemas de entibación y socialzado

Resumen de resultados para la construcción de las entibaciones, sin considerar el muro perimetral para del edificio el caso de pilas y pilotes, para los 6 subterráneos.

Resumen de rendimientos y costos de construir entibaciones y muro perimetral		
Sistema	Plazo de construcción mes	Costo total UF
Pilas	5	16.055
Pilotes	4,4	22.266
Muro pantalla	6	46.631
Muro anclado	4	29.412

Tabla 10.1: Resumen de resultados para sistemas de entibaciones y socialzado.

A pesar de que las pilas son el método más barato de socialzado, su implementación no fue considerada como una alternativa debido a la gran profundidad de excavación del proyecto analizado, por lo que sólo se expone en la tabla anterior a modo de comparación.

b) Sistema de moldajes verticales

Resumen de resultados para la construcción de los muros verticales principales del edificio entre los pisos 1 y 22 correspondientes al 73% total de muros.

Moldaje	Costo total del sistema UF	días total destinado a la construcción de los muros verticales analizados	Cantidad de meses destinados a la construcción de muros
Tradicional	6.921	199	8,3
Deslizante	4.786	75	3,1
Trepante	7.104	149	6,2
Autotrepante	7.992	99	4,1

Tabla 10.2: Resumen de resultados para sistemas de moldaje vertical.

c) Sistema de moldajes Horizontales

Resumen de resultados para la construcción del edificio considerando los 6 subterráneos, los 22 pisos de departamentos, el piso de entretención y el de maquinas. No se consideran las fundaciones ni las entibaciones.

Tiempo y costo relacionado con la colocación de moldaje para losa				
	Unidad	Tiempo necesario en subterráneos	Tiempo necesario en pisos superiores	Costo total UF
Moldaje tradicional	días	124	93	12.386
Moldaje tipo mesa	días	98	73	11.121
Diferencia	días	-26	-19	- 1.265

Tabla 10.3: Resumen de resultados para sistemas de moldaje horizontal.

d) Sistema de armadura

Resumen de resultados para la construcción del edificio considerando los 6 subterráneos, los 22 pisos de departamentos, el piso de entretención y el de maquinas. No se consideran las fundaciones ni las entibaciones.

Resumen de rendimientos y costos al utilizar diferentes sistemas de armadura		
Sistema	Días destinados a la colocación de la armadura	Costo del proceso UF
Tradicional	359	49.929
Industrializado	299	48.985
Prefabricado	238	55.104

Tabla 10.4: Resumen de resultados para sistemas de armaduras.

e) Tipo de hormigón

Resumen de resultados para la construcción del edificio considerando los 20 pisos situados entre el nivel 3 y el 22.

Resumen de rendimientos y costos al utilizar hormigón con súper-plastificante en losas y vigas		
Tipo de hormigón	Plazo de construcción mes	Costo del proceso UF
Hormigón HB 35 normal	5,0	12.918
Hormigón HB 40 con aditivo	3,3	15.496

Tabla 10.5: Resumen de resultados para distintos tipos de hormigón.

f) Sistema de hormigonado

Resumen de resultados para la construcción del edificio considerando los 6 subterráneos, los 22 pisos de departamentos, el piso de entretenimiento y el de maquinas. No se consideran las fundaciones. Aquí se muestran los resultados óptimos obtenidos al mezclar el sistema de grúa con los de bomba.

Resumen de rendimientos y costos al utilizar diferentes sistemas de armadura		
Sistema	Días destinados a la colocación del hormigón	Costo del proceso UF
Caso real	75	4.019
Caso óptimo con bomba estacionaria	45	4.628
Caso óptimo con bomba no estacionaria	35	6.631

Tabla 10.6: Resumen de resultados para sistemas de hormigonado.

10.2 COMENTARIOS SOBRE RESULTADOS

Los valores anteriores se consideran exclusivos del edificio analizado, sin embargo, los resultados obtenidos se pueden generalizar al resto de los edificios habitacionales debido a que entre uno y otro no existen mayores diferencias en cuando a diseños y sistemas constructivos utilizados. A continuación se realizan ciertas observaciones para cada caso estudiado.

Es importante considerar que los valores usados son los recopilados a través de las empresas y no siempre expresan la realidad, sino que son más bien teóricos. En muchos resultados la importancia no está en el costo y tiempo final al emplear cierto sistema, sino en la diferencia de estos factores al utilizar los diferentes métodos investigados.

a) Sistemas de entibación y socialzado

En el proyecto estudiado la entibación se realizó mediante pilotes, sin embargo hubiera sido más adecuado la realización de este proceso mediante el sistema de muros anclados. Este último sistema hubiera permitido disminuir el plazo en 0,4 meses a un costo un poco más elevado que con la ventaja de que el muro perimetral del edificio se construye simultáneamente con la excavación, lo que se traduce en un ahorro de tiempo y costo mayor al anterior una vez finalizada la construcción. Si bien los pilotes permiten adelantar la construcción mientras se termina de completar el proyecto, es posible, si se hubiera esperado a tenerlo listo y haber ejecutado el sistema de muros anclados, haber disminuido los plazos y costos de esta partida, sin embargo para esto es necesario conocer en detalle el atraso del proyecto en esta época.

Finalmente se considera el sistema de muro anclado como el sistema óptimo para la entibación y construcción del muro perimetral del subterráneo.

b) Sistemas de moldaje

El uso de sistemas de moldajes verticales se encuentra muy limitado por el diseño del proyecto. Al ser un edificio habitacional con una gran cantidad de muros internos y ventanales en la parte perimetral no es posible la aplicación de todos los sistemas analizados en todos los muros verticales del edificio.

Se considera, para el proyecto estudiado que el sistema deslizante es el más apropiado para la construcción de los muros verticales principales, ya que permite una disminución del 62% del tiempo

destinado a la construcción del muro con un menor costo. Sin embargo, para el resto del edificio el moldaje tradicional es el más competente por su fácil adaptabilidad y manejo.

Para el caso de sistemas de moldaje horizontales para losa, el hecho de haber utilizado moldajes tipo mesa en vez del sistema tradicional hubiera permitido una disminución en los costos y plazos de construcción en aproximadamente un 10% y un 20% respectivamente.

Por lo tanto, se considera que el sistema alternativo utilizado en el proyecto analizado es el más apropiado en cuanto a ahorro de tiempo y costo.

c) Sistemas de armadura

El costo de utilizar armadura prefabricada para todo el edificio es muy alto con respecto a la utilización de la armadura tradicional industrial a pesar de que se podrían lograr algunos meses menos de construcción, por lo que no se recomienda el reemplazo total de la armadura tradicional industrial por la prefabricada. Sin embargo, es posible que utilizarla para ciertos elementos o a ciertas alturas resulte beneficioso. Para esto habría que realizar un estudio más detallado de los rendimientos de instalación de fierro por elemento y altura de colocación.

Finalmente se considera que para el caso estudiado el tipo de armadura utilizada fue la más adecuada.

d) Utilización de hormigón de alta resistencia

Reemplazar el hormigón tradicional por hormigón con alta resistencia inicial en las losas permite una reducción significativa en los plazos a un costo no muy alto. Es necesario un mayor análisis para ver si es conveniente económicamente según el tipo de edificio. Para este proyecto en particular se considera adecuado utilizar este tipo de hormigón en el caso que se desee adelantar la entrega del proyecto un par de meses, sin embargo es necesario tomar las medidas para que no se produzcan grietas en la losa debido a la presencia de muros, lo que puede implicar gastos y tiempo extra, además se debe mantener alzaprimada la losa una vez retirado el moldaje para que esta no se deforme.

En cuanto a hormigones de alta resistencia que permitan disminuir más aun los tiempos, se considera poco apropiada su utilización para este hecho, ya que la construcción de una obra consiste en varios procesos dependientes unos de otros que no pueden ver apresurada de mayor manera su ejecución debido al límite de espacio, materiales, maquinaria y mano de obra, por lo que adelantar el alcance de

la resistencia del hormigón no permitiría adelantar más los plazos de lo ya analizado y aumentaría los costos de manera incompensable.

e) Sistema de losas postensadas

Para el caso particular de este edificio no se recomienda la utilización de losas postensadas debido a la alta presencia de muros en el subterráneo y niveles superiores. Tampoco se recomienda la utilización de este sistema en los sectores del subterráneo que no coinciden con la estructura del edificio debido al poco espesor de losa y la cantidad reducida de vigas. En el caso de un edificio con espesores de 20cm y con presencia de vigas en sus subterráneos se recomienda el uso de losas postensadas en estas áreas ya que permitiría ahorros en costo, tiempo y espacio.

f) Colocación del hormigón

Luego de ver los resultados, la técnica más recomendada y eficiente para la colocación del hormigón es utilizar los sistemas grúa-capacho y bomba estacionaria. Para lo cual es importante determinar bien el hormigón colocado con cada método ya que existen cantidades óptimas que minimizan los costos y horas utilizadas para este proceso.

Con respecto al proyecto analizado a pesar de que utilizaron esta mezcla de sistemas, hubiera sido posible disminuir la cantidad de tiempo destinado al hormigonado si se hubiera utilizado más la bomba y menos la grúa con una diferencia de costos de sólo 600 UF. O sea, considerando los gastos generales y el arriendo de grúas es necesario que la cantidad de tiempo ahorrado permita una disminución de 9 días en los plazos finales para que el costo extra se compense.

11. CONCLUSIONES

Finalizando este trabajo se puede concluir que los factores que demoran los procesos constructivos no son pocos ni independientes unos de otros. La lentitud de cada una de las etapas de una construcción está relacionada, entre otras cosas, con una mala programación de la obra y con la falta de conocimiento de técnicas alternativas a las tradicionalmente usadas por el hecho de que implicarían un aumento en los costos del proyecto. Lo que generará una disminución de los plazos de construcción es básicamente una mayor continuidad en y entre los métodos utilizados, además de procesos más automáticos, rápidos, de calidad y de fácil manejo, aspectos que se están logrando de apoco con los nuevos avances y con la industrialización de los procesos constructivos.

Para la construcción de obras en general, existen muchos sistemas alternativos a los que se utilizan normalmente y que permiten reducir los plazos. En el caso de edificios, todos los sistemas alternativos analizados en este trabajo logran disminuir los tiempos de construcción gracias a la tecnología empleada, la cual les permite aumentar los rendimientos, ahorrar en materiales y mejorar la seguridad de los trabajadores, además de disminuir la cantidad de mano de obra y los gastos de mantención, sin embargo es ésta misma la que hace que aumenten los costos, por lo que hay que entrar a analizar si es conveniente económicamente usar estos sistemas.

Los sistemas constructivos son óptimos según el proyecto a construir. No todos los métodos estudiados, que permiten reducir tiempo, espacio y costo son aplicables a edificios habitacionales. El hecho de que éstos tengan una gran cantidad de muros y vigas hace que no sean aplicables sistemas como el de losas postensadas, algunos sistemas de moldajes, o el método top-down, los cuales sí son utilizados en edificios de oficinas y centros comerciales. Seguramente esta ha sido una de las principales razones por las que algunas empresas han construido edificios habitacionales con plantas libres y más tabiquería, sin embargo este diseño se aleja un poco del deseo del cliente, lo que hace que estos edificios no sean del gusto general de las personas para vivir. Por otro lado, existen proyectos donde prima el tiempo ante los costos, como centros comerciales, de salud o de emergencias, los cuales en casos generan mayores beneficios, sociales o económicos, al ser construidos de manera más rápida.

El objetivo de una constructora será siempre la de disminuir los costos y mejorar la eficiencia y calidad de sus trabajos junto a proporcionar una mayor seguridad a los trabajadores en obra. La tecnología seguirá logrando aumentar los rendimientos de los procesos constructivos disminuyendo los plazos,

pero en el caso de un edificio el espacio que se tiene y las alturas que se están alcanzando limitan esta reducción del tiempo. Por ejemplo, en el caso del hormigón, es posible lograr que este alcance altas resistencias a muy temprana edad utilizando aditivos, pero para que esto permita reducir de manera importante el plazo de la obra sería necesario aumentar de tal manera la cantidad de trabajadores para apurar los procesos de armado, colocación de moldaje y descimbre, que la productividad y seguridad de la obra se verían reducidas debidos a la falta de espacio.

Hay que considerar que el tratamiento del hormigón una vez colocado es uno de los factores que más toma tiempo dentro de la construcción de un edificio, y por lo realizado durante este trabajo, donde se exponen los límites de este material y de los aditivos para aumentar la rapidez del proceso de tratado, aún falta desarrollo en la tecnología del hormigón para mejorar su comportamiento. Esto, ya que fue posible observar que su uso en sistemas como el de losas postensadas está limitado por el diseño y el espacio de la obra debido a que en plantas muy pequeñas la retracción del material con aditivos produce una gran cantidad de grietas, por lo que al mejorar este problema será posible que el uso de esta técnica pueda extenderse a cualquier tipo de edificio, incluyendo los habitacionales. Por lo que se concluye que la tecnología del hormigón, y materiales en general, también es importante para una disminución en los plazos, y no sólo las tecnologías asociadas a maquinarias más modernas.

Si bien la tecnología ha ayudado a disminuir los plazos de construcción, también influye una buena programación y análisis de los procesos a utilizar. Es así, como en el caso de la construcción de entibaciones y muro perimetral del subterráneo se observó que el método más eficiente para el proyecto estudiado es el sistema de muros anclados, el cual no implica el uso de alta tecnología pero sí un cambio en el sentido de la construcción utilizando las mismas herramientas. Por otro lado, en la colocación del hormigón, las tecnologías asociadas a las bombas se utilizan en prácticamente todos los edificios en altura, sin embargo es posible optimizar el sistema realizando una buena programación y análisis del proceso de hormigonado como el que se realizó en este trabajo y que permitió, utilizando los mismo métodos empleados, disminuir el tiempo destinado a este proceso.

Al estudiar los distintos sistemas constructivos se observó reiteradamente que los métodos alternativos permiten disminuir la cantidad de mano de obra. El hecho de que en este país el costo de ésta sea relativamente bajo, ha provocado que las empresas prefieran la utilización de sistemas tradicionales ya que son más económicos, sin considerar el ahorro que se podría generar en el presupuesto total del proyecto si se emplearan los sistemas alternativos. Por lo tanto, el aumento del costo de la mano de obra provocará una preferencia por los sistemas más modernos e industrializados, ya que éstos permitirán un ahorro significativo en los costos debido a la disminución de trabajadores, hecho que

hoy se ve reflejado en los países más desarrollados. Hay que considerar por otro lado que también el costo de los materiales es determinante al elegir algunos sistemas constructivos, por ejemplo se observó en el caso del acero la impresionante variación en su valor de un año a otro, la cual, dependiendo de la magnitud puede implicar cambios en las decisiones de los procesos a utilizar, en este caso si el precio del acero aumenta demasiado el sistema de armado industrial prefabricado visto durante este trabajo resulta poco viable económicamente debido a que este tipo de armadura necesita una mayor cantidad de fierro que la tradicional. Es por esto importante un buen análisis, no sólo del proyecto en sí, sino que además del comportamiento económico de todos los factores que rodean el campo de la construcción.

Sistemas que permiten disminuir los plazos existen. Las tecnologías investigadas en este trabajo son seguras y ya están siendo aplicadas en el país por algunas empresas constructoras con buenos resultados. El costo de utilizarlas es mayor, sin embargo este puede ser compensado por el ahorro provocado al disminuir la cantidad de tiempo que lleva la construcción del proyecto. Es necesario darse el espacio para conocer las alternativas existentes y hacer un buen análisis de las ventajas de aplicarlas en algún proyecto en particular.

12. REFERENCIAS

- 1- MADRID M., G. Concreto, ¿Qué dicen los oráculos? En: Simposio Internacional Ingeniería Mundo XII, abril 28 al 30 de 1994, Cali. Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC. Colombia. 10p.
- 2- BESOMI M., Marco. Comparación técnica y económica entre moldajes auto trepantes y otros tipos de moldajes especializados para su uso en construcción de edificios. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2009. 148p. (memoria 1)
- 3- ACEVEDO D., Catherine. Evaluación técnico económica del uso de armaduras prefabricadas en Chile. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2009. 85. (memoria 2)
- 4- MUÑOZ Sanhueza, Felipe Eduardo. Propuesta de un modelo de apoyo para la selección de grúas torre en la construcción habitacional en altura. Memoria para optar al título de ingeniero civil industrial. Concepción, Chile. Universidad del Bio-Bio, Facultad de ingeniería, 2006. 165p.
- 5- RONDON S.M, Carlos. Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón, Fabricación – Instalación – Protección. Edición 1. Julio 2005. 293p.
- 6- CAMARERO V., VERASTEGUI R., PUENTE J. y CASLA J. Guía práctica de encofrados. OSLAN, Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. Organismo Autónomo del Gobierno Vasco. Mayo 2007. 200p.
- 7- NAHMIAS, Andrés. Apunte Curso Proyecto de Construcción de Edificios. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2009.
- 8- PENADÉS M., José. Construcción industrializada de edificios. Informes de la construcción. 53(478): 31p. Abril 2002. España.
- 9- MENDOZA, Gregorio B. Prefabricados de concreto: El futuro apenas empieza. Revista construcción y tecnología. Instituto mexicano del cemento y del concreto. Abril 2008.
- 10- Cámara Chile de la Construcción. “Manual de Moldajes”. Marzo 2008. 24p.
- 11- CASARES, Marcelo. Muros bajando, la tecnología subiendo. Revista BIT. (57): 116-117, Noviembre 2007.
- 12- MALDONADO, Daniela. Rascacielos chilenos. Revista BIT. (63): 20-27, Noviembre 2008.

- 13- HERNAN DE SOLMINIHAC. Acercándonos hacia una estrategia para nuestro sector, Identificación de las necesidades tecnológicas del sector construcción. Revista BIT. (1): 11-15, Abril 1994.
- 14- MAJLUF S. Nicolás. La tecnología como fundamento de la rentabilidad en la empresa. Revista BIT. (16): 9-10, Diciembre 1999.
- 15- OTAEGUI T., María Teresa. Cemento y hormigón, conceptos innovadores. Revista BIT. (53): 60-68, Marzo 2007.
- 16- PRESA S., Jesús L. Nuevos materiales y tecnologías en construcción, análisis de las tendencias. Revista de obras públicas. (): 21-25, Mayo 1991.
- 17- RAMIREZ F., Claudia. Construcción: Carrera contra el tiempo. Revista BIT. (55): 16-25, Julio 2007.
- 18- RAMIREZ F., Claudia. Megatorres en Santiago: Camino al cielo. Revista BIT. (53): 14-19, Mayo 2007.
- 19- ALVAREZ A., Consuelo. Sostenimiento de tierra, excavaciones seguras. Revista BIT. (55): 48-54, Julio 2007.
- 20- CHAPPLE C, Paula. Sistema Top-Down en mall Paseo San Bernardo, Innovación arriba y abajo. Revista BIT. (65): 48-51, Marzo 2009.
- 21- Comité Técnico AFADI. Tecnología de los aditivos superplastificantes en las obras de construcción. Revista BIT. (6): 51-52, Noviembre 1996.
- 22- Instituto del cemento Portland Argentino. Ventajas del hormigón bombeado. Revista Cemento. (1), Noviembre 1994.
- 23- Se construye.com. Como lograr una mayor productividad en colocación de hormigón en altura. Revista de tecnología y construcción. (032), Junio 2010.

Páginas web:

- 24- http://www.cemexmexico.com/co/co_ca_ar.html
- 25- <http://www.putzmeister.com>
- 26- <http://www.gcampesa.com>
- 27- <http://www.scribd.com/doc/25269565/Guia-practica-de-encofrados>
- 28- <http://www.armacero.cl/inicio.html>

13. ANEXOS

13.1 Entibaciones y socializados

- **Datos necesarios para el cálculo de costos de construir un muro perimetral para los sistemas de pilas y pilotes**

Fierro	Costo armado industrial	769	\$/Kg
	Rendimiento	200	
Moldaje para muro contra terreno	Arriendo	0,6	\$/m ² /mes
	Duración de la obra	1,2	meses
	Rendimiento colocación	15	m ² /HD
	Mano de obra	0,915	UF/HD
Hormigón	Bomba	0,38	UF/m ³
	Costo hormigón	2,09	UF/m ³
	Rendimiento colocación	40	m ³ /h
	Mano de obra	0,915	UF/HD

- **Determinación de costos y rendimientos para la construcción de pilas**

Al aplicar los valores obtenidos asociados a este sistema, las cantidades totales de material utilizado y las dimensiones de la obra, se determinaron los siguientes costos y rendimientos

Resumen de costos asociados a la construcción de pilas					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo Total UF
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	ml	1.518	2,3	3.491
	Hora standby equipos anclajes	hr	0	4	0
	Movilización de equipos	Glo.	1	50	50
Pilas de hormigón armado	Provisión de Hormigón H30	m ³	1.115	2	2.230
	Provisión y preparación de Armadura	ton	108	30	3.240
	ml de excavación	ml	1.313	2	2.232
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	m ³	45.936	0,1	4.812
TOTAL					16.055 UF

Resumen de rendimiento asociados a la construcción de pilas ancladas			
Ítem	Rendimiento por día	Cantidad	Rendimiento total en días
Construcción pila	0,43 pilas	75	53
Colocación anclaje	50 ml	1.518	30
Excavación masiva	1000 m ³	45.936	46
Total			99

Si sumamos estos datos a los resultados obtenidos por la construcción de las pilas tendríamos los siguientes valores.

Resumen de rendimiento y costo de construir pilas y muro perimetral		
Rendimiento días	Rendimiento meses	Costo UF
147	7,3	24.635

- **Determinación de costos y rendimientos para la construcción de pilotes**

Al aplicar los valores obtenidos asociados a este sistema, las cantidades totales de material utilizado y las dimensiones de la obra, se determinaron los siguientes costos y rendimientos.

Resumen de costos asociados a la construcción de pilotes anclados					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo total UF
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	ml	1.518	2	3.491
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	hr	0	3,5	0
	Movilización y desmovilización de equipos	Glo	1,	50	50
Pilotes de hormigón armado	ml de excavación Pilote 1000mm	ml	1.313	4	5.252
	Hora standby equipos Pilotaje (eventual)	hr	0	6	0
	Movilización y desmovilización de equipos	Glo	1	300	300
	Provisión y preparación de Armadura	ton	148	35	5.170
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	ml	1.064	3,0	3.191
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	m ³	45.936	0,1	4812
Total					22.266 UF

Resumen de rendimiento asociados a la construcción de pilotes ancladas			
Ítem	Rendimiento por día	Cantidad	Rendimiento total en días
Construcción pilote	30 ml	1.238	41
Colocación anclaje	50 ml	1.518	30
Excavación masiva	1.000 m ³	45.936	46
Total			87

Se considera que la colocación de anclaje y la excavación masiva pueden realizarse simultáneamente.

Si sumamos estos datos a los resultados obtenidos por la construcción del muro perimetral calculado anteriormente, se obtienen los siguientes valores.

Resumen de rendimiento y costo de construir pilotes y muro perimetral		
Rendimiento días	Rendimiento meses	Costo UF
135	6,7	30.846

- **Determinación de costos y rendimientos para la construcción del Muro Pantalla**

Al aplicar los valores obtenidos asociados a este sistema, las cantidades totales de material utilizado y las dimensiones de la obra, se determinaron los siguientes costos y rendimientos.

Resumen de costos asociados a la construcción del muro pantalla					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Valor total UF
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	ml	1.518	2,3	3.491
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	hr	0	3,5	0
	Movilización y desmovilización de equipos	Glo	1	50	50
Muro de hormigón armado	Ejecución Muro Pantalla espesor 60cm	m ²	4.458	3,5	15.603
	Ejecución de Murete guía	ml	231	3,0	693,0
	Hora standby equipos Pantalla (eventual)	hr	0	9,0	0
	Movilización y desmovilización de equipos	Glo	1,00	650	650
	Provisión y preparación de Armadura	ton	334,4	35	11.702
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	m ³	3.209	3	9.629
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	m ³	45.936	0,1	4.812,3
Total					46.631 UF

Resumen de rendimiento asociados a la construcción de pilas ancladas			
Ítem	Rendimiento por día	Cantidad	Rendimiento total en días
Construcción muro pantalla	60 m ²	4.458	74
Colocación anclaje	50 ml	1.518	30
Excavación masiva	1.000 m ³	45.936	46
Total			120

Se considera que la colocación de anclaje y la excavación masiva pueden realizarse simultáneamente.

De manera resumida se obtiene que:

Resumen de rendimiento y costo de construir con muro pantalla		
Rendimiento días	Rendimiento meses	Costo UF
120	6	46.631

Tabla 5.18: Resumen de costos y tiempos de aplicar el sistema de de muro pantalla.

- **Determinación de costos y rendimientos para la construcción del Muro Anclado**

Al aplicar los valores obtenidos asociados a este sistema, las cantidades totales de material utilizado y las dimensiones de la obra, se determinaron los siguientes costos y rendimientos.

Resumen de costos asociados a la construcción del muro anclado					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Costo total UF
Anclajes postensados temporales	ml de anclajes postensados temporales	ml	2.310	2,5	5.775
	Hora standby equipos anclajes (eventual)	hr	0	3,5	0
	Movilización y desmovilización de equipos	Glo.	3	50	150
Muro de hormigón armado	arriendo y colocación de Moldaje muro	m ²	3.811	0,94	3.578
	Provisión de Hormigón H30 (90)-20-18	m ³	1.830	3	5.489
	Provisión y preparación de Armadura	ton	194	35	6.768
	Sobreconsumo de Hormigón (10)	m ³	381	2	762
Excavación masiva	Excavación en Grava de Santiago	m ³	45.936	0,15	6.890
Total					29.412 UF

Resumen de rendimiento y costo de construir con muro anclado		
Rendimiento días	Rendimiento meses	Costo UF
79	4	29.412

Tabla 5.21: Resumen de costos y tiempos de aplicar el sistema de de muro anclado.

13.2 Moldajes

- **Determinación de los rendimientos y costos de utilizar los distintos tipos de moldaje para losa.**

Determinación de los tiempos de colocación de moldaje tradicional por piso			
	Unidad	Piso tipo, nivel 10	Piso tipo, subterráneo -2
Cantidad de moldaje para losa	m ²	596,33	3218,66
Rendimiento real	m ² /HD	15	15
Costo asociado al arriendo	UF/m ²	0,311	0,311
Cuadrilla	un.	10	25
Costo asociado a la mano de obra	UF/HD	0,91	0,91
Tiempo total destinado a la colocación	días	3,98	8,58
Costo total	UF	221	1.197

Determinación de los tiempos de colocación de moldaje tipo mesa por piso			
	Unidad	Piso tipo, nivel 10	Piso tipo, subterráneo -2
Cantidad de moldaje para losa	m ²	596,33	3218,66
Rendimiento real	m ² /HD	20	20
Costo asociado al arriendo	UF/m ²	0,288	0,288
Cuadrilla	un.	10	25
Costo de la mano de obra	UF/HD	0,91	0,91
Costo total de la mano de obra	UF	9,15	22,87
Tiempo total destinado a la colocación	días	2,98	6,44
Costo total	UF	199,02	1.074,19

- **Determinación del costo del sistema de moldaje deslizante**

Material	Cantidad	P. U.	Costo total UF/m
Madera elaborada	2,5 Planchas/m	0,13 UF/planchas	0,33
Madera bruta	5 Planchas/m	0,08 UF/planchas	0,4
Pernos	8 unidades/m	0,07 UF/unidad	0,56
Latón	1,1 m/m	0,1 UF/m	0,11
Clavos	0,5 Hg/m	0,02 UF/Kg	0,01
M.O.	1	0,25 UF/m	0,25
TOTAL	1,66 UF/m		

Fuente: Memoria I (ver referencias).

Mano de obra	Cantidad	P.U	Unidad	Costo total UF/m
Armado	1	0,3	UF/m	0,3
Desarme	1	0,15	UF/m	0,15
Plataforma	1	0,15	UF/m	0,15
Colocación gatos	1	0,1	UF/m	0,1
TOTAL	0,7 UF/m			

Fuente: Memoria 1 (ver referencias).

13.3 Enfierradura

- Determinación de índices para cálculo de Kg de fierro según modalidad

Para mostrar un ejemplo de cómo se estimaron estos índices tomaremos el caso de una viga normal V25/80 y otra prefabricada. Los datos fueron obtenidos de la memoria 2 (Referencias).

Resumen cubicación vigas				
Tipo de barra	Convencional		Prefabricado	
	Unidad cm	Total cm	Unidad cm	Total cm
Barra negativa (φ25)	350	1.400	320	1.280
Barra empalme (φ25)			190	760
Barra negativa (φ18)	300	1.200	270	1.080
Barra empalme (φ18)			150	600
Barra negativa (φ16)	550	1.100	550	1.100
Barra positiva (φ25)	1.178	2.356	970	1.940
Barra empalme (φ25)			190	380
Barra longitudinal (φ8)	970	5.820	970	5.820
Estribos (φ8)	220	13.200	220	13.200

Fuente: Memoria 2 (ver referencias).

Resumen pesos vigas				
	Convencional		Prefabricado	
	Largo m	Peso Kg	Largo m	Peso Kg
Total φ8	190,2	75,13	190,2	75,13
Total φ16	11	17,38	11	17,38
Total φ18	12	24	16,8	33,6
Total φ25	37,56	144,61	43,6	167,86
Total		261,12		293,97
Δ %			1,126	

- **Determinación de Kg de fierro para el proyecto analizado**

Para ejemplificar el proceso se muestra el cálculo para 1/3 del piso 10:

Kg de fierro según tipo de armadura en 1/3 del piso 10					
Elemento	Muro	Pilar	Viga	Losa	Total
Armadura T	4.267	492	1.292	3.338	9.389
Armadura I (caso real)	4.267	492	1.292	3.338	9.389
Armadura P	4.689	580	1.455	3.672	10.396

Luego, se determinó el tiempo utilizado en el armado según cada sistema, y el costo asociado para 1/3 del piso 10.

Tabla resumen de Rendimientos y costos por sistema en 1/3 del piso 10				
sistema	N° M.O.	Kg de fierro	Rendimiento en días	Costo UF
Armadura T	25	9.389	2,50	348
Armadura I (caso real)	25	9.389	2,09	341
Armadura P	25	10.396	1,66	385

Realizando este cálculo para cada piso entero, es posible determinar los tiempos y costos asociados al armado del edificio para cada modalidad. Los datos finales obtenidos son los siguientes:

Resumen de rendimientos y costos totales del edificio según sistema				
Ítem	Caso real (armadura I)	Caso prefabricado	Diferencia	Unidad
Peso Fe	1.346.940	1.487.875	140.936	Kg
Tiempo destinado	299	238	- 61	días
Costos	48.985	55.104	6.119	UF

Resumen de rendimientos y costos totales del edificio según sistema				
Ítem	Caso real (armadura I)	Caso Tradicional	Diferencia	Unidad
Peso Fe	1.346.940	1.346.940	0	Kg
Tiempo destinado	299	359	60	días
Costos	48.985	49.929	944	UF

13.4 Cálculo del costo y rendimiento al utilizar hormigón de alta resistencia inicial

Caso HB 35

piso tipo	10
Superficie total	1290 m²
división	3

Cubicaciones por división		
Fierro	28.168	Kg
Moldaje vigas y losas	646	m ²
Moldaje Muros y pilares	1.162	m ²
Hormigón normal	162	m ³
Hormigón bombeable	146	m ³

Rendimientos considerados		
Fierro	180	Kg/HD
Moldajes vigas y losas	20	m ² /HD
Moldaje Muros y pilares	27	m ² /HD
Hormigonado normal	110	m ³ /D
Hormigonado bombeable	280	m ³ /D

Partida	Tiempo días	Mano de Obra
Armado	2	26
Moldaje	2	13
Hormigonado	0,5	9
Total		39
Máximo		48
Avance	4 pisos/mes	

Caso HB 40 con aditivo

piso tipo	10
Superficie total	1290 m²
división	2

Cubicaciones por división		
Fierro	28.168	Kg
Moldaje vigas y losas	646	m ²
Moldaje Muros y pilares	1.162	m ²
Hormigón normal	162	m ³
Hormigón bombeable	146	m ³

Rendimientos considerados		
Fierro	180	Kg/HD
Moldajes vigas y losas	20	m ² /HD
Moldaje Muros y pilares	27	m ² /HD
Hormigonado normal	110	m ³ /D
Hormigonado bombeable	280	m ³ /D

Partida	Tiempo días	Mano de Obra
Armado	2	35
Moldaje	2	19
Hormigonado	0,7	10
Total		64
Máximo		72
Avance	6 pisos/mes	

Cantidades de hormigón para los 20 pisos:

Tipo de hormigón	Cantidad total		P. U.	
HB 35	2.591	m ³	2,24	UF/m ³
HB 40 con aditivos	2.591	m ³	3,36	UF/m ³
Trabajadores	10	trabajadores	0,915	UF/HD

Comparación de costos para los 20 pisos considerados				
	Caso Real	Caso con aditivo	Diferencia	Unidad
Plazo de construcción	5	3,3	1,7	meses
Costo del hormigón para losas y vigas	5.805	8.708	2.903	UF
Costo trabajadores	7.113	6.788	1.174	UF

13.5 Cálculo de los costos de grúa y bomba para la colocación de hormigón

Valores asociados a la grúa Portain MC-85 con capacho incluido		
Ítem	Unidad	Valor
Arriendo grúa torre por	UF/mes	100
Costo operador grúa	UF/mes	35
Arriendo capacho por mes	UF/mes	3
Arriendo tronco intermedio de 3	UF/mes	3
Arriostramiento y telescopaje	UF/mes	60
Montaje a autonomía máxima	UF	60
Desmontaje	UF	60
Flete a la obra	UF	19
Grúa auxiliar para carga, descarga y montaje	UF	70

Tipo de costo grúa	Valor	
Costo fijo por instalaciones y transporte	281,52	UF
Costo mensual por arriendo, mantención y operador	208,00	UF/mes

Valores asociados a una Bomba estacionaria BSA 1406 D		
Ítem	Unidad	Valor
Arriendo Maquina con tuberías y operador	UF/m3	0,19
Transporte del equipo	UF	2,4
Viático	UF/mes	10

Método	Cantidad de trabajadores	Rendimiento HH/m³
Torre fija con pluma y balde	10	0,91
Bomba estacionaria	9	0,36
Bomba no estacionaria	9	0,26

Método	Unidad	Costo arriendo
Torre fija con pluma y balde	UF + UF/mes	209 + 201
Bomba estacionaria	UF + UF/mes	2,4 + 0,140
Bomba no estacionaria	UF/m ³	0,35

Método	Unidad	Costo mano de obra
Torre fija con pluma y balde	UF/m ³	0,092
Bomba estacionaria	UF/m ³	0,037
Bomba no estacionaria	UF/m ³	0,026

Método	Costo total	Unidad
Torre fija con pluma y balde	209 + 201 + 0,092	UF + UF/mes + UF/m ³
Bomba estacionaria	2,4 + 0,227	UF + UF/m ³
Bomba no estacionaria	0,376	UF/m ³

Para determinar el costo extra por utilizar hormigón bombeable se consideraron los siguientes costos de hormigones:

Costos de los hormigones usualmente utilizados en la edificación	
Tipo Hormigón	Valor UF/m³
HN 30-90-40-06	1,92 + IVA
HN 35-90-40-06	2,09 + IVA
HN 40-90-40-06	2,25 + IVA
HN 45-90-40-06	2,42 + IVA
HB 25-90-20-10	1,93 + IVA
HB 30-90-20-10	2,09 + IVA
HB 35-90-20-10	2,24 + IVA
HB 40-90-20-10	2,40 + IVA
HB 45-90-20-10	2,55 + IVA

Diferencia de costos entre hormigón normal y bombeable	
%	Tipo de hormigón
10,29	H25
8,85	H30
7,18	H35
6,67	H40
5,37	H45

Aplicando esta diferencia se obtienen los siguientes valores finales cada sistema:

Método	Costo total	Unidad
Torre fija con pluma y balde	0,177	UF/m ³
Bomba estacionaria	0,380	UF/m ³
Bomba no estacionaria	0,526	UF/m ³