



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL**

ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD CON IMPLEMENTACIÓN DE IMPRESORAS 3D PARA OBRA GRUESA EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DESARROLLADOS EN CHILE.

Por

Sebastián Tomey Azua

**Tesis para optar al grado de licenciado en ciencias de la
construcción y al Título de Ingeniero Constructor**

Profesor Guía: Uriel Padilla Carreño

Julio, 2023

INDICE

Tabla de contenido

ÍNDICE DE IMÁGENES	6
1. CAPITULO 1: GENERALIDADES	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.1.2 CONSTRUCCIÓN CON IMPRESORAS 3D	7
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
1.2.2 VARIABLES DEL PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1OBJETIVO GENERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.3.4.1 Ventajas	15
1.3.4.2 Limitaciones	15
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 IMPRESIÓN 3D	19
2.2 NORMATIVA CHILENA	23
2.3 IMPRESIÓN 3D EN EL MUNDO.....	24
2.4 PROYECCIONES DE LA CONSTRUCCIÓN 3 D EN CHILE.....	33
2.4.1 Impresión 3d para viviendas de emergencia	34
2.4.2 CONTEXTO EN CHILE.....	39
2.5 LA TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D	42
2.5.1 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN LA IMPRESIÓN 3D.....	45
2.5.2 HORMIGON IMPRESO	46
2.5.3 Propiedades básicas.....	46

2.5.4 Características de la mezcla.....	46
2.5.5 PRIMER SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D: CONTOUR CRAFTING	47
2.5.6 MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PROCESO	49
2.5.7 PROCESO DE IMPRESIÓN.....	52
2.5.8 INSTALACIONES	54
2.5.9 ADHESIÓN ENTRE CAPAS.....	55
2.5.10 CONCRETE PRINTING	57
2.5.11 D-SHAPE.....	57
2.5.11 APLICACIONES.....	58
2.6 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EMPRESAS EXTRANJERAS	60
CAPITULO 3	63
3.1 DESCRIPCIÓN	63
3.2 FASES DE TRABAJO	64
3.2.1 Investigación.....	64
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	67
CAPUTULO 4.....	68
4.1 DATOS DE EXPERIENCIAS DE VIVIENDAS EN 3 D.....	68
4.2 IMPRESIÓN 3D EN CHILE “BauMax”	71
4.2 ENTREVISTAS	75
4.2.1 UN ESPECIALISTA DE ONEMI DE VALPARAÍSO	75
4.2.2 UN ESPECIALISTA DE DESAFÍO LEVANTEMOS CHILE.....	80
4.2.3UN PROFESIONAL ESPECIALISTA.....	82
4.3 ANALISIS PORTER Y CANVAS	86
4.3.1 ANÁLISIS PORTER.....	86
4.3.2 ANÁLISIS CANVAS	87
4.4 ESTUDIO ECONOMICO	90
4.4.1 TIEMPOS Y COSTOS DE LOS PROYECTOS CONSTRUIDOS CON LA AYUDA DE LAS IMPRESORAS 3D.....	90
Comparación de impresoras 3D	90
4.5 Selección de impresora.....	99
4.6 TIEMPOS Y COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE UNA VIVIENDA CON LA IMPRESORA 3D SELECCIONADA	101
4.7 CRONOGRAMAS DEL PROYECTO	105

4.8 PRESUPUESTOS DEL PROYECTO.....	111
4.9 ANÁLISIS Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA.	114
4.9.1 ASPECTOS TÉCNICOS Y LEGALES	115
4.9.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	116
4.9.3 SUELDO DE TRABAJADORES	117
4.9.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	118
4.10 Estimación de unidades a producir:	120
4.11 ESTRUCTURA DE COSTOS.....	125
4.11.1 COSTOS DE IMPREVISTOS	125
4.12 FLUJOS DE CAJA	125
4.12.1 Financiamiento de 25% respecto al total de la inversión.	126
4.12.2 Financiamiento de 50% respecto al total de la inversión.	128
4.12.3 Financiamiento de 75% respecto al total de la inversión.	129
4.13 ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE CAJA	131
CAPITULO 5	132
5.1 ANÁLISIS.....	132
5.1.1 INFORME PROGRAMACION	132
5.1.2 PROGRAMACION GENERAL.....	133
METODOS CONSTRUCTIVOS.....	133
5.2 METODO DE IMPRESIÓN 3D	133
5.2.1 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.....	134
5.2.2 VINCULACION DE ACTIVIDADES.....	134
5.2.3 RUTA CRITICA.....	135
5.3 METODO DE HORMIGON ARMADO.....	137
5.3.1 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.....	137
5.3.2 VINCULACION DE ACTIVIDADES.....	138
5.3.4 RUTA CRITICA.....	139
5.4 METODO DE ALBAÑILERIA ARMADA	141
5.4.1 SECUENCIA GENERAL.....	141
5.4.2 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.....	141
5.4.3 VINCULACION DE ACTIVIDADES.....	142
5.4.4 RUTA CRITICA.....	143

5.5 METODO DE TABIQUERIA VULCOMETAL	145
5.5.1 SECUENCIA GENERAL.....	145
5.5.2 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.....	145
5.5.3 VINCULACION DE ACTIVIDADES.....	146
5.5.4RUTA CRITICA.....	147
5.6 CUADRO COMPARATIVO	149
5.7 COSTOS	150
5.7.1 HORMIGÓN ARMADO	152
5.7.2 ALBAÑILERÍA ARMADA.....	153
5.7.3 TABIQUERÍA METALCOM	154
5.8 Resumen y comparación de los sistemas de construcción analizados.....	156
CAPITULO 6 DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	159
6.1 CÓMO SE RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS.....	159
6.2. CONCLUSIONES.....	161
7. BIBLIOGRAFÍA	163
7.1 ANEXOS	167

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Figura 1.1: Primera casa construida en 3D.</i>	8
Figura 1.2: Casa construida en 3D	9
Figura 2.1: Construcción militar	27
Figura 2.2: Sillón urbano impreso con plástico	28
Figura 2.3 : Puente Oudezijds Achterburgwal	30
Figura 2.4: Impresora 3D de hormigón en Chile	31
Figura 2.5: Vivienda de emergencia básica entregada en Chile.	36
Figura 2.6: Esquema de una máquina de impresión 3D en hormigón	42
Figura 2.7: Impresión capa de hormigón en 3 D.	48
Figura 2.8: Sistema completo de la boquilla extrusora.	49
Figura 2.10 : Pórtico de carriles	50
Figura 2.12: Impresora de Apis Cor	51
Figura 2.12 : Impresora Cazza X1	52
Figura 2.13 . Extrusión de bordes de muro	52
Figura 2.14: Llenado del núcleo del elemento	53
Figura 2.15: Instalaciones eléctricas	54
Figura 2.16. Módulos y aplicación de la armadura.	55
Figura 2.17. Capas intermedias	56
Figura 2.18: Boquilla extrusora sin paletas	57
Figura 2.19: 3D monolito en UK.	58
Figura 2.20: Vivienda 3D impresa por Winsun	62
Figura 4: Plano de vivienda BauMax 120m2	73
Figura 4.1. Construcción de vivienda Baumax	73
Figura 4: Modelo DBOD2 de 5 módulos	91
Figura 4.1 Ilustración de capas de muro y aislación	94
Figura 4.2: Empresa para la cotización de envío de impresora	95
Figura 4.3: Costos de transporte	95
Figura 4.4 Costos de transporte Impresora de EE.UU. a Chile	96

1. CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los grandes avances tecnológicos de la humanidad han logrado facilitar muchas de las tareas de las personas y han hecho posibles actividades que en algún momento se creían imposibles. Un avance tecnológico presente hoy en día es la impresora 3D, la cual tiene como fin obtener cualquier objeto físico mediante materiales en capas sobre la base de un modelo digital, reconociendo que todos estos procesos de impresión requieren software, hardware y materiales para trabajar juntos

Es por todo lo anteriormente descrito, que esta investigación se enfocará en la realización de viviendas utilizando la modalidad 3D a modo de buscar una posible alternativa de construcción automatizada, más rápida y limpia. En este sentido, este proyecto también podría permitir su uso en términos de ayuda social a modo de trabajar con entidades gubernamentales para dar solución rápida ante estos casos fortuitos, lo cual será analizado en términos económicos para ver su viabilidad.

1.1.2 CONSTRUCCIÓN CON IMPRESORAS 3D

La primera impresora 3D fue inventada en 1984 y en los últimos años se ha convertido en una de las tecnologías de más rápido crecimiento, aunque al principio fue muy complejo y costoso. Con el paso del tiempo esta actividad se convirtió parte de la vida cotidiana y con un uso más frecuente en el área industrial. Este avance tecnológico ha permitido un aumento exponencial de la productividad en numerosas

industrias, menos en la industria de la construcción que se ha estancado debido a la escasez de la mano de obra calificada para el trabajo operativo en todo el mundo, es por esto que las impresoras de gran formato 3D se están adaptando e implementando en los sistemas constructivos de varios proyectos de construcción como lo son las viviendas.

En 2004, el Profesor BehrokhKhoshnevis de la Universidad de Carolina del Sur construyó el primer muro mediante impresión 3D. Era el nacimiento de la construcción a partir de impresoras 3D (Rubio, 2020).

Para la industria de la construcción el material más utilizado es el hormigón, el cual ya está disponible para ser utilizado mediante las impresoras 3D, debe ser extruido en un estado húmedo, debe ser autoportante, debe tener cierto grado de resistencia. (Shipper, 2017).

Hace un par de años, una familia francesa (Souza, 2019) se convirtió en la primera familia en el mundo en vivir en una casa impresa en 3D. (Véase **Figura1.1**). Hace unos años esto parecía un sueño lejano. Sin embargo, esta nueva tecnología se ha desarrollado rápidamente y aparece como una posible contribución a la crisis de la vivienda en todo el mundo y, específicamente para la construcción de viviendas de emergencia para casos como los descritos en los antecedentes (1.1.1.)

Según Rubio (2020), “

“Las impresoras 3D se utilizan para crear prótesis, personalizar platos en restaurantes o fabricar maquillaje de forma instantánea. También para imprimir juguetes, esculturas o tumores en 3D para ensayar las operaciones con más riesgo para los niños. Esta tecnología, que ha tenido un fuerte impacto en ámbitos como la medicina o la alimentación, incluso ha revolucionado la ingeniería con la construcción de puentes, viviendas y otras infraestructuras”.

Figura 1.1: Primera casa construida en 3D.



Figura 1.1: Primera casa habitable de una planta y 60 metros cuadrados, Souza (2019).

Esta tecnología se ha estado desarrollando y ha tenido numerosas aplicaciones. Uno de los rubros que se enfocó en ella, ha sido la construcción. Según la bibliografía revisada hasta el momento, no existiría aún experiencia de construcción en 3D realizada en el territorio chileno, ni alguna experiencia que esté proyectada o en curso de realización

Ante esto surge la interrogante: ¿El desarrollo a gran escala de esta nueva técnica de construcción será factible para la realidad chilena?

En este estudio se analizará algunos de los casos a nivel mundial en donde se haya utilizado con éxito esta tecnología. Luego de ello, se analizó la factibilidad para aplicar esta innovación, nacida de la computación y de la impresión 3D, en el caso de la construcción de viviendas, enfocado en la ciudad de Valparaíso y sus requerimientos de constructibilidad.

La siguiente figura 1.2 muestra una casa construida con la tecnología 3D en 24 horas en su obra gruesa y 120 con terminaciones, lo que constituye un tiempo muy atractivo para la construcción de viviendas de emergencia.

Figura 1.2: Casa construida en 3D



Figura 1.2 Primera casa construida con impresora 3d en menos de 120 horas con todas sus terminaciones en Holanda. Tomado de “La primera casa impresa en 3D en su totalidad está en Holanda” por María Tapia, 2021, <https://www.expansion.com/fueradeserie>.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todos los proyectos de construcción en Chile permanentemente se ven involucrados en dificultades relacionadas con los tiempos y los costos planteados para su ejecución. Es difícil controlar el buen desempeño y rendimiento de los proyectos de construcción debido a la gran cantidad de variables que se ven involucrados, por esto, es determinante estudiar los factores generadores de costos extras y retrasos en los tiempos de ejecución.

Los factores que inciden en los tiempos de construcción de proyectos son algunos como los problemas climáticos, incumplimientos y problemas con sub-contratistas, problemas legislativos, cambios en el contrato, escasez de mano de obra, mano de obra mal calificada, falta de comunicación entre las partes del proyecto entre otros. (Lozano Serna et al. 2018)

Los factores que afectan los costos en proyectos de construcción son algunos de los mencionados anteriormente, también se deben incluir otros como los incumplimientos de pagos, supervisión y dirección inadecuada en el proyecto, baja productividad de los trabajadores, cambios en diseños, mala ejecución de los presupuestos y cambios en el alcance del proyecto por parte del contratista.

Se puede concluir que con ideas de implementación innovadoras como la de impresoras 3D se evitarán desastres provocados por condiciones climáticas, escasez de trabajadores, mano de obra no calificada, falta de comunicación entre los participantes del proyecto, conflictos laborales, huelgas, la baja productividad de los trabajadores, etc. Esto no ocurrirá en el nuevo proceso, porque la impresora de gran formato va a reemplazar estos factores, lo que ayuda a ahorrar tiempo y costos del proyecto.

Sin embargo, no se tiene conocimiento sobre la factibilidad de utilización de la tecnología 3D tanto en lo que se refiere a su resistencia a fenómenos adversos para el caso de Chile, como lo relativo a su durabilidad y sus costos. Esto constituye uno de los inconvenientes importantes de esta investigación.

1.2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué impactos de costos y tiempos se pueden lograr en partidas de obra gruesa de construcción de viviendas en Chile con las impresoras 3D de gran formato en comparación a metodologías constructivas tradicionales?

1.2.2 VARIABLES DEL PROBLEMA

El nivel de desarrollo del país donde se implementará esta tecnológica es una variable importante que debe ser considerada junto al nivel cultural y organizacional de las empresas de construcción presentes en el mercado.

Las normas sismo resistentes de Chile junto con el reglamento legal y técnico deben ser respetadas y consideradas a la hora de implementar esta impresora en 3D, porque se debe tener en consideración la integridad y la vida de las comunidades y usuarios. (Jackson y Wojcik)

La impresora usa como tintas materiales pesados. El hormigón y mezclas de base cementicia derivadas son ejemplos de esto, donde dichos materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas necesarias; Resistencia, fluidez, consistencia, estabilidad y reología. Para que la vida útil de este elemento no se vea afectado ni alterado, y que además garantice el correcto funcionamiento de la herramienta tecnológica en el país.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las ventajas de tiempos y costos que se obtienen en la construcción de viviendas unifamiliares con la utilización del sistema de impresión 3D desarrollados en Chile.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar mediante las empresas que implementan esta ayuda tecnológica las ventajas y desventajas encontradas en los proyectos de construcción.
- Comparar y determinar que impresora 3d se utilizara.
- Determinar la viabilidad económica con la implementación de la impresora 3D seleccionada.
- Calcular los costos y tiempos de implementación en obra gruesa con impresoras 3D.
- Comparar tiempos y costos proyectos de construcción empleando impresoras 3d de gran formato con metodologías tradicionales en sus etapas de obra gruesa.

-

1.3.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación según se ha descrito se limita al estudio en el caso de Chile y no podría ser aplicado en otras regiones del mundo. Por otra parte, la investigación se realizó en base a los conocimientos en construcción 3D disponibles en la actualidad en nuestro país; por lo que no se puede considerar válida en un tiempo futuro relativamente corto, en la medida en que el avance vertiginoso de la tecnología hace que los conocimientos actuales en construcción 3D será completamente obsoleto dentro de los próximos años y toda extrapolación, resultaría inoperante.

En cuanto a las limitaciones de esta investigación, se puede indicar el poco acceso a información que se tiene, dado que esta modalidad de construcción innovadora a nivel nacional aún no se aplica ni hay empresas en el mercado donde consultar. En este sentido, es que este estudio será un aporte para darle relevancia a este tipo de construcción y ver su viabilidad como alternativa para aplicarla a nuestra realidad.

Esta investigación académica abarcará la implementación de esta herramienta para la construcción de viviendas 77 m² aproximadamente.

El periodo de tiempo para la recolección de datos y realización de la investigación pues este solo comprende una duración de un año a partir de agosto de 2021

1.3.4.1 Ventajas

- Versatilidad: Una única impresora de gran formato puede crear distintos modelos sin tener que hacer cambio de maquinaria.

- La complejidad de la fabricación es indiferente: En un proceso mediante impresión 3D, objetos simples o complejos requieren el mismo esfuerzo

- Inmediatez: Una idea arquitectónica puede materializarse en tan solo unas horas.

- Flexibilidad: Creación de prototipos y comprobar si funcionan.

- Reducción de costos, optimización de materiales, proceso controlado y muy preciso

- Sostenible y ecológico: Minimiza la generación de residuos y alta duración de maquinaria.

- Personalización: Libertad de diseño, ya que con la construcción aditiva es posible crear todo tipo de figuras poco comunes en la construcción. Creación de nuevos productos y modificación de existentes.

- Nuevo mercado: Las aplicaciones y usos de la impresión 3D ha abierto un nuevo mercado laboral.

- Margen de mejora. Se trata de una tecnología en proceso de mejora, en unos años se perfeccionará y sus ventajas serán mayores.

1.3.4.2 Limitaciones

- Menor creación de puestos de trabajo: Mano de obra sustituida por impresoras.

- Limitación de materiales: Cada impresora 3D puede utilizar un único material o un grupo reducido de ellos, por lo que se requieren diferentes impresoras para diferentes materiales.

- Tamaño: Limitaciones según maquinarias utilizadas.

- Contaminación: Se debe tener precaución con materiales como el plástico que deben ser reemplazados por materiales más respetuosos con el medio ambiente

1.4 JUSTIFICACIÓN

En los últimos años se ha estudiado la posibilidad de utilizar las impresoras de gran formato para la construcción de viviendas enteras, que utilizan un hormigón especial como “tinta”, abriendo un nuevo mundo de posibilidades para los arquitectos de todo el mundo.

Estos nuevos diseños eliminan las restricciones de los diseños tipos dando la capacidad de utilizar las formas curvilíneas, y sin limitaciones a las formas rectilíneas. (Sakin y KIROGLU 2017). Gracias a este método la utilización de moldajes es casi nula, solo se utilizan para la elaboración del tejado.

Esta propuesta se desarrolla con el fin de conocer las grandes ventajas que genera la innovadora idea de la implementación del sistema de impresión 3D en el mundo de la construcción, con respecto a tiempos, costos, la oportunidad de diseñar un proyecto de acuerdo con las necesidades de un lugar en particular o del cliente, la incorporación de diferentes materiales y la densidad de este de acuerdo con una óptima combinación de resistencia y demás propiedades. (Keating, 2016)

Los beneficios encontrados en proyectos donde se han implementado las impresoras 3D son el uso correcto de la cantidad de material, la capacidad de crear formas complejas, formas personalizadas a la necesidad de los usuarios, la generación de geometrías complejas con costos controlados, la reducción del trabajo humano arduo (la automatización y la robótica ayudan a los trabajadores), el aumento de la creatividad de los arquitectos y la optimización de las propiedades acústicas o térmicas del edificio (Furet, Poullain y Garnier 2019).

Otras ventajas encontradas con la innovadora implementación de las impresoras 3D en proyectos de construcción son: “la reducción de los costos de construcción mediante la eliminación de encofrado, la reducción de las tasas de lesiones mediante la eliminación de trabajos peligrosos (por ejemplo, trabajando en alturas), que daría lugar a un mayor nivel de seguridad en la construcción, la creación de gama alta, los trabajos de base tecnológica, la reducción del tiempo de la construcción operando a una velocidad constante, reducir al mínimo la posibilidad

de errores por deposición de material precisa, el aumento de la sostenibilidad en la construcción mediante la reducción de mermas de encofrado y el aumento de la libertad arquitectónica, lo que permitiría mayor sofisticación CATed diseñada para propósitos estructurales y estéticos .(SANJAYAN y NEMATOLLAHI,2018)

La innovación tecnológica es el motivante primordial para desarrollar este proyecto , ya que se podrán contribuir y adquirir nuevos conocimientos acerca del uso de las impresoras 3D de gran escala en la construcción, cuyos resultados podrán estructurar en una propuesta, ya que se demostraría que la utilización de estos dispositivos ayuda a optimizar recursos, tales como reducir los tiempos de ejecución, aumentar la rentabilidad de los proyectos, disminuir las pérdidas de materiales, entre otros.

Las diferentes oportunidades que nos brinda la implementación de las máquinas impresoras 3D de gran formato cerrarían bastantes brechas económicas, además se podrían usar en casos de emergencias, ya que esta máquina es portátil, pues su sistema está compuesto por un vehículo con orugas el cual transporta los brazos mecánicos, su funcionamiento se puede dar por energía eléctrica o con paneles solares, además los tiempos de ejecución oscilarían entre las 14 y 25 horas dependiendo del proyecto a ejecutar. (KEATING, 2016)

Teniendo los costos, tiempos, rendimientos, ubicaciones y modelos en un solo lugar, ayuda a que las empresas constructoras sean más eficientes y rentables, sus proyectos más atractivos y duraderos para competir a nivel tanto nacional como internacional.

En el desarrollo del proyecto se visualizarán tablas comparativas con procesos y subprocesos de cada metodología constructiva, también las diferencias económicas dada por la sustitución de procesos constructivos

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 IMPRESIÓN 3D

EL proceso constructivo de la impresión 3D se realiza por medio de una máquina capaz de realizar impresiones de figuras con volumen a través de un sistema de extrusión de hormigón por capas, tanto de ancho, largo y alto, a partir de cualquier diseño hecho por medio de computadores utilizando CAD.

Según Papanek (1971), sin duda, el precursor de esta modalidad para construir; “la impresión de construcciones hace referencia a varias tecnologías que utilizan la impresión 3D como una forma de construir edificios”. Estas tecnologías mencionadas en el cuadro metodológico se analizan a detalle.

Las ventajas que potencialmente presenta este proceso se sitúan en los siguientes niveles:

- construcción más rápida,
- costes de trabajo más bajos y
- producción de menor residuos.

El precursor, Papanek (1971) plantea que

“La impresión 3D a gran escala puede ser conveniente para la construcción de estructuras extraterrestres en la luna u otros planetas donde las condiciones medioambientales son menos adecuadas para las prácticas de construcción de trabajo humano intensivo”.

En efecto, diversas publicaciones citadas por García (2020) identifican diferentes sistemas de construcción con impresión en 3D, agrupadas en tres técnicas, a saber:

- Impresión de concreto,
- Elaboración de contornos,
- impresión D-Shape, con aplicaciones en arquitectura, arte, u obras públicas.

Estas tres técnicas, enunciadas en García (2020), consisten, en general,

“en la deposición de mezclas fluidas de rápido endurecimiento, en cordones horizontales que se añaden verticalmente presenta el uso de diferentes tecnologías de construcción impresa en 3D, y describe algunas experiencias, comentando los eventuales beneficios para generar formas no tradicionales y reducir tiempos y costos de ejecución, además de discutir los desafíos de pérdida de trabajadores y riesgos”.

García (2020) analizó diversos procedimientos de fabricación “aditiva” utilizados para elaborar elementos arquitectónicos, “destacando su potencial para diseños de forma libre, variabilidad, personalización, complejidad, optimización, eliminación de necesidades de montaje y el uso de diversos materiales de impresión”.

Según Reyes (2018), que preconiza el uso de hormigón, específicamente de hormigón impreso

“Las impresoras 3D no pueden utilizar cualquier material, estos dependen del tipo de impresora y los objetivos que se quieran resolver, pero existe una gran variedad, que pueden ser desde el plástico, hasta metales, gomas, maderas, caucho, arenisca, entre otros, aunque cada año otros materiales se están investigando y apareciendo en el mercado”.

La ventaja de los tres principales procesos mencionados anteriormente (García, 2020), a la vez que sus ventajas y limitaciones, se relacionan con la reducción de desechos, la integración digital, la reducción de mano de obra, el aumento de la velocidad de construcción y la industrialización y los costos.

Todos estos aspectos y las características de esta tecnología hacen que se reconozca diferentes estrategias e implicancias, como “la optimización de la producción o desempeño ya sea en obra o en fabrica” (García, 2020).

Reyes (2018) plantea el uso de hormigón, planteando que

“Existen diferentes impresoras 3D en hormigón, de diferentes materiales, estructuras, piezas, tamaños, motores, etc. Sin embargo, el funcionamiento a modo general es similar en la mayoría. Este se realiza en tres etapas principales: preparación de los datos, preparación del hormigón y la impresión del objeto o estructura. Preparación de datos: En esta etapa, al igual que una impresora 3D convencional, comienza con un archivo de diseño 3D digital que se crea utilizando herramientas CAD, donde el diseño en CAD se corta en capas con las dimensiones deseadas y posteriormente se genera el recorrido de la impresión para cada capa, con ciertos parámetros y técnicas de impresión. Preparación del hormigón: La preparación del hormigón implica mezclar los componentes de este, regido por el diseño de mezcla previamente establecido y luego introducir la mezcla fresca al sistema de suministro. Impresión del objeto o estructura: Una vez en el sistema de suministro, este es transportado en tuberías o mangueras al sistema de extrusión utilizando algún método de transporte (p.ej. bomba de desplazamiento positivo), en donde el hormigón fresco es extruido capa por capa para crear el objeto deseado, controlado por el sistema de movimiento”.

Las diferentes impresoras se basan en un mismo principio, que consta de recopilación y preparación de datos para preparar el proyecto, preparación o compra del hormigón dependiendo de la zona y proveedores y finalmente con la ejecución del proyecto imprimiendo con la maquina extrusora de hormigón.

2.2 NORMATIVA CHILENA

Las normas de construcción en Chile son aquellas elaboradas y aprobadas por el Instituto Nacional de Normalización – INN, de cumplimiento obligatorio, por estar mencionadas en el Decreto Supremo N° 47 del MINVU – Ordenanza General de Urbanismos y Construcciones, o en el Decreto Supremo N°10 del MINVU, que crea el Registro Oficial de Laboratorios de Control Técnico de Calidad de Construcción

Las Normativas de protección antisísmica En cualquier lugar de Chile, antes de comenzar a edificar se requiere una autorización que valide el cumplimiento de las normativas. Las normas Nch.433(2012) y la Nch.2369(2017), estandarizan las metodologías y los procedimientos de construcción antisísmica de estructuras e instalaciones industriales.

En Chile los aditivos para ser utilizados en los hormigones rigen por la NCh 170 y ASTM – 494. Sin embargo, existen en el mercado una serie de productos no clasificados dentro de esta norma que son muy importantes y ampliamente empleados.

La norma ASTM 494-92 requiere que los aditivos de Tipo B retarden el fraguado inicial por lo menos una hora, pero no más de 3 ½ horas, en comparación con una mezcla de control. Se permite que la resistencia a la compresión de tres días en adelante sea 10% menos que la resistencia de control.

Esto es importante para este proceso ya que se necesitan fraguados en tiempos cortos

Se utilizan con el objeto de modificar las propiedades del hormigono mortero, ya sea en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido, para hacerlo más adecuado según el trabajo o exigencia dada y para que cumpla los requisitos

y especificaciones particulares de cada tipo de estructura. Las características logradas mediante el uso de aditivos, que en muchos casos no se pueden lograr por otros métodos o en forma tan económica. (Kosmatka, Kerkhoff y Panarese 2002)

2.3 IMPRESIÓN 3D EN EL MUNDO

El constante y permanente desarrollo de las tecnologías de fabricación aditiva han hecho, cada vez más, posible la construcción de viviendas por medio de impresoras 3D las que, incluso, han llegado a ser capaces de producir edificios estructurales.

Según Clarke (2018)

“Este avance tecnológico ha logrado introducir un nuevo concepto en construcción barata y rápida, la empresa china ShanghaiWinSunDecorationDesignEngineering Co, ha construido 10 casas en un día”.

Rubio (2020) plantea que

“Una de las principales ventajas de las impresoras 3D es la rapidez a la hora de crear nuevas viviendas. Ya hay proyectos que han demostrado la posibilidad de construir una casa en menos de 24 horas. Por ejemplo, la empresa Apis Cor ha fabricado su primera vivienda impresa de bajo coste en la ciudad rusa de Stupino en sólo un día. Se trata de una casa de 38 metros cuadrados cuya construcción ha costado unos 10.000 dólares”.

Lo anterior arroja un precio por metro cuadrado de 263 dólares, lo que está, como se verá, muy por debajo de los costos de otras viviendas de construcción tradicional.

A su vez la fuente citada Rubio (2020) indica que, en diferentes lugares, tanto de Europa oriental como de China que habla de la construcción de grandes edificios. Por ejemplo, la autora cita a la empresa china WinSun que ha levantado un bloque de cinco pisos, mientras que empresas de Singapur proyectan la construcción por vía de impresora 3D de rascacielos.

La misma autora cita los barrios donde viven los más desfavorecidos de los diferentes países de América Latina, ya sea que se les llama “chabolas”, “fabelas”, “villas miserias”, “cantegriles”, “callampas” o “campamentos”, los que son “incapaces de soportar fuertes tormentas u otras inclemencias climáticas”. (Rubio, 2020)

La autora plantea que

“Esto podría cambiar gracias a las impresoras 3D. La compañía tecnológica Icon, la organización sin ánimo de lucro New Story y los diseñadores de Fuseproject se han aliado para levantar un pueblo completo impreso en 3D”.(Rubio, 2020)

Junto al enorme problema de la construcción de viviendas de emergencia que se constata en la gran mayoría de los países del mundo la construcción con impresión 3D no sólo permitiría reducir los dramáticos tiempos de espera, sino que, además, reducir la falta de viviendas que se puede fácilmente verificar en la gran mayoría de las urbes del mundo, incluyendo las capitales más desarrolladas de la tierra (Clarke, 2018).

El objetivo de dichas proyecciones, a pesar de que, según la autora, (Clarke, 2018) aún se desconocen muchos detalles, es “cambiar estas chabolas y chamizos de la población por construcciones más estables y por un precio mucho menor de lo que costaría una vivienda tradicional”. Según la autora, “estas nuevas casas darían cobijo a 400 personas de una población de América Latina cuyo nombre no se ha hecho aún público”. Los realizadores de la iniciativa han asegurado que ya se han involucrado con la comunidad beneficiaria para continuar con su desarrollo. Sin duda, lo anterior permite pensar en extraordinarias perspectivas para uno de los

programas más complejos de la humanidad, tanto diacrónico como sincrónico; es decir, la vivienda de las familias, problema que no ha logrado ser resuelto en ninguno de los países de la Tierra, ni siquiera en aquellos que han obtenido el máximo grado de desarrollo.

Otra aplicación de esta modalidad de construcción en la que se ha trabajado es la construcción de barracones para fuerzas armadas, principalmente el ejército. En efecto, las impresoras 3D permiten “la fabricación de infraestructuras sin necesidad de movilizar mucha mano de obra y, además, pueden trabajar sin descanso”. (Rubio, 2020), lo que permite rápida instalación, al abrigo, de tropas y vehículos necesarios para operaciones de ejercicios o de combate.

Rubio (2020) informa que

“El Cuerpo de Marines de los Estados Unidos (MCSC) ha creado con una impresora un prototipo de cuartel o barraca de hormigón de unos 46 metros cuadrados en apenas 40 horas. Normalmente este tipo de trabajo sería realizado por 10 marines que construyen cuarteles en madera en máximo 48 horas”.

La siguiente figura 1.3 muestra una de las primeras construcciones militares realizadas por el ejército de Estados Unidos con impresión 3 D.

Figura 2.1: Construcción militar



Figura 2.1: Construcción realizada con impresora 3D para las fuerzas armadas en EE. UU., 2019, www.elespañol.com.

Se vislumbra que esta tecnología podría ser usada, también, en entornos humanitarios para ayudar a ubicar o reubicar a personas más rápidamente. En muchos países, entre los que se sitúa Chile, hay aún gran urgencia en la construcción de viviendas, dado la importante cantidad de personas y familias víctimas de incendios y catástrofes naturales.

Otra utilización, a título de ejemplo, con la que se ha obtenido resultados con la impresión 3D, es el equipamiento de las ciudades o mobiliario urbano.

Según Rubio (2020)

“Una empresa está utilizándola para convertir los residuos plásticos en muebles urbanos. El proyecto, llamado “imprime tu ciudad”, nació de

la colaboración entre The New Raw y Coca-Cola. Sus dos impulsores consideran que siempre se ha hecho un mal uso del plástico, ya que los usuarios lo usan y lo tiran sin aprovechar su durabilidad.

Entre los resultados obtenidos hay bancos, macetas y cubos de basura. La impresión de cada objeto de mobiliario urbano tarda unas 12 horas en imprimirse y se realiza con unos 100 kilogramos de plástico, en promedio.

Figura 2.2: Sillón urbano impreso con plástico



Figura 2.2: Sillón impreso en 3D para uso público, tomado de [“Construcciones en 3D que revolucionan la ingeniería • Sacyr”](#), por Rubio, 2020.

En el caso de Chile, según lo que se ha visto en las informaciones en general, sin que haya una referencia específica, se ha comenzado la recopilación de plásticos por algunos Punto Limpio del norte y de la Región Metropolitana para realizar pruebas relativas a la utilización de estos residuos en la construcción de partes de viviendas.

Finalmente, como último ejemplo del presente Estado del Arte, se señala la construcción con impresión en 3D de puentes de hormigón o de acero inoxidable, el primero en Shanghai, China y el segundo en la ciudad de Ámsterdam en los Países Bajos.

Al respecto Rubio (2020) señala que

“China cuenta con el puente de hormigón impreso en 3D más largo del mundo. Mide 26,3 metros de largo y 3,6 de ancho, está en Shanghái y ha sido diseñado por el profesor XuWeiguo, de la Universidad de Tsinghua. Antes de construir el puente de manera definitiva, los expertos hicieron un prototipo que fue sometido a diversas pruebas. El modelo final se realizó con dos impresoras 3D en 450 horas, es decir, unos 18 días.

Existe otros puentes construidos con la tecnología de la impresión 3D, como el puente de 12 metros de largo de acero inoxidable que fuera construido para cruzar los canales del centro de la ciudad de Amsterdam. Se trata del Oudezijds Achterburgwal.

La siguiente imagen 5 muestra el puente del Oudezijds Achterburgwal construido con el método de la impresión en 3D en la ciudad de Amsterdam, en Holanda.

Figura 2.3 : Puente Oudezijds Achterburgwal



Figura 2.3: Primer puente impreso del mundo en países bajos, tomado de “Ámsterdam el primer puente impreso en 3D del mundo”, por Alba Castillo, 2020.

Para el caso específico de Chile, existe una empresa chilena de construcción robotizada de hormigón que logra hacer 4 casas en un solo día gracias a la tecnología de impresión en 3 D. Se trata de Baumax, startup que forma parte del programa Construye 2025 de Corfo, “que busca mejorar la productividad y eficiencia de la construcción en Chile”. (Fernández, 2016)

Según Fernández (2016)

“BauMax produce casas de hormigón por bloques prefabricados, incluyendo los elementos para las conexiones eléctricas y sanitarias, las que luego se ensamblan en terreno, optimizando el tiempo de montaje.

Sus materiales y tecnología son traídos desde Alemania, pero el desarrollo de la ingeniería estructural se hace en Chile acomodándolo a nuestra naturaleza sísmica, y la capacidad inicial anual de construcción es de 1.500 casas de 120m², es decir se pueden construir hasta 4 casas en un solo día.

Esto se compara en el desarrollo de esta tesis con sistemas constructivos tradicionales.

Esta tecnología incipiente, reduce los tiempos de construcción en un 30% en comparación a los trabajos de albañilería, lo que corresponde a 2 UF por m², y la mano de obra en un 50%.

Pablo Kuhlenthal, gerente general de la empresa, declaró a Fernández (2016) que

"en el corto plazo hay reducción en el número de empleo, pero en el largo plazo las personas que dejan de trabajar en construcción se reubican y la economía en su totalidad se ve beneficiada. Lo mismo que pasó con la imprenta, los trenes, los autos".

Sin embargo, este precedente chileno difiere de los objetivos del presente estudio, en la medida en que la metodología de BauMax busca una solución para el problema habitacional chileno con construcción prefabricada fuera de la obra, lo que implica un proceso de transporte a la obra, mientras que el presente estudio intenta presentar mejoras para la construcción "in situ" de viviendas.

Figura 2.4: Impresora 3D de hormigón en Chile



Figura 2.4: Impresora 3D de la empresa BauMax para elementos prefabricados en Chile, tomado de "Impresora 3D de hormigón en Chile construye casas en un solo día", por Macarena Fernández, 2016.

La impresión 3D se establece en el mundo como un posible sistema sustituto para las formas de construcción tradicional, mejorando rendimientos, condiciones de trabajo y quitando el error humano de la ecuación.

Según García (2020), citando literatura pertinente al tema

“La construcción impresa en 3D es una nueva tecnología constructiva que ha ganado presencia en los últimos años gracias a la difusión de experiencias llevadas a cabo en diversas partes del mundo, como las expuestas por Ghafar (2018)); Ma (2018) y Perkins (2015). Estas experiencias muestran el uso de distintos equipos automatizados para ejecutar elementos constructivos o edificaciones pequeñas mediante fabricación aditiva a través de extrusión del material; los ejecutores y documentos mencionan diversos beneficios posibles de esta tecnología para la industria de la construcción en la reducción de tiempos y costos, así como en la promoción de una industrialización personalizada.

Otros investigadores sobre el tema estudiado como Hager (2016), mencionan las condiciones de trabajo, y comentan las eventuales ventajas que proporciona esta tecnología, especialmente en lo que se refiere a los bajos costos, compatibilidad ambiental, la reducción de desechos, los accidentes laborales y los tiempos de trabajo, entre otros. Todos ellos son considerados factores importantes para la construcción de viviendas de emergencia.

Labonnote (2016) presentó una revisión de unos 165 artículos científicos relacionados con la construcción impresa en 3D, que rinde cuenta de experimentos con diversos materiales, diversas tecnologías, diversas propuestas de diseño de edificios y aplicaciones. El autor plantea “diferencias entre su uso en construcciones en entornos riesgosos y comunes”. En esta revisión, presenta resúmenes de algunas “experiencias y requerimientos de procesos de diseño arquitectónico usando esta tecnología”.

Por su parte Wangler (2016) se especializa, esencialmente, en la descripción detallada de la fabricación aditiva con hormigón y brazos robóticos, a la vez que identifica las ventajas y los desafíos técnicos de esta nueva modalidad de construcción.

A su vez, Anjum (2017) estudia las posibilidades de esta modalidad de construcción impresa en 3D en el caso de la India, por medio de una encuesta a 186 profesionales, buscando identificar “conocimiento creciente y amplias expectativas como también las principales ventajas, pero escaso desarrollo de regulaciones y material técnico como la principal desventaja”.

Finalmente, Duballet (2017) clasifica los sistemas de impresión 3D según su tamaño y condiciones de trabajo, incluyendo grandes sistemas de grúas y brazos robóticos para trabajar en y fuera de la obra.

García (2020) indica

“Respecto a las tecnologías impresión, la mayoría de los estudios describe procesos de deposición de material con sistemas robóticos (33%), o soportados por grúas (15%), mientras que el resto presenta otras configuraciones, como robots suspendidos por cables o sistemas de múltiples robots. Finalmente, 53% de los documentos son artículos publicados en revistas indexadas, destacando “Automation in Construction” como la principal revista con contribuciones en este tema, y 41% de los documentos son presentados en conferencias, especialmente ISARC y “Robots in Architecture”, mientras que el porcentaje restante corresponde a tesis de posgrado e informes técnicos”.

2.4 PROYECCIONES DE LA CONSTRUCCIÓN 3 D EN CHILE

En el caso del presente estudio, se considera como contexto el caso de la construcción de viviendas en Chile con una nueva tecnología.

2.4.1 Impresión 3d para viviendas de emergencia

En Chile, en 2018, existía una carencia habitacional del orden de 500 mil, lo que representa más de dos millones y medio de habitantes; es decir, alrededor del 14% de la población; sin vivienda o sin vivienda con lo mínimo necesario para subsistir. Además, se debe considerar aquellas personas que quedan sin vivienda por causa de un hecho fortuito como un incendio o una catástrofe natural como es el caso de terremotos, inundaciones, tsunamis o vientos, entre otros.

Sin duda, la lista de las ciudades más afectadas por la carencia de viviendas en Chile comienza con la Región Metropolitana con una carencia de 314.448 viviendas; seguido por regiones como Valparaíso con una carencia de 72.489 viviendas, Coquimbo con 66.648 viviendas y Concepción con 61.021 viviendas, según Cámara Chilena de la Construcción (2019).

Actualmente en 2023 el déficit habitacional sigue en constante aumento debido a la crisis sanitaria mundial, en la cual muchas industrias disminuyeron su producción. Llegando a la cifra de 650 mil; lo que representa un incremento del déficit del 66% en siete años.

Por su parte, según ONEMI (2020)

“La vivienda de emergencia tiene como propósito dar solución en el corto plazo y de forma temporal al problema de habitabilidad de una o más personas a raíz de un evento catastrófico que inhabilita su hogar. Por décadas conocida como “mediagua”, se caracterizó por ser una construcción ligera, de montaje y transporte rápido y adaptable a diferentes tipos de suelo”.

Además, indica ONEMI (2020) que en el caso preciso del incendio de Valparaíso que destruyó, en el año 2014, miles de viviendas, “se pudo constatar que el modelo de solución habitacional existente hasta ese momento no era suficiente”.

Por lo anterior se realizaron nuevas propuestas de mejoramiento para mejorar, tanto en calidad como en tiempo de construcción y costos de la vivienda de emergencia, entre las cuales “se consideraba la entrega de un “Kit de Mejoramiento”, que incluía material para el revestimiento las casas por su interior, con el objeto de favorecer su aislación y pintura, aumentando así, la durabilidad del material exterior.

Adicionalmente, según ONEMI (2020) se implementó un “Kit Sanitario” con el objeto de buscar soluciones sanitarias según los diferentes casos que se pudieron observar en el lugar de la catástrofe. Todas estas fueron esbozos de soluciones de última hora, que sin duda no significaron una verdadera ayuda a los damnificados y víctimas del incendio.

Sin embargo, agrega ONEMI (2020)

“para poder avanzar sustancialmente se requería la redefinición de las viviendas de emergencia, según las condiciones actuales del país. Es así que se inició un proceso de modernización que ha derivado en el desarrollo de estándares con requerimiento técnicos mínimos para la vivienda de emergencia las cuales incluyen una instalación eléctrica básica y pueden o no incluir una solución de baño. Si bien estos requerimientos avanzan en el mejoramiento de la calidad respecto de las soluciones tradicionales, lo más importante es que instaura el concepto de “estándar de calidad” por sobre la definición de costos. Los nuevos estándares disponen de suficientes espacios vitales cubiertos, mínimo 4,5 m² por persona los cuales ofrecen confort térmico, una buena ventilación y protección contra los rigores del clima y garantizan la privacidad, la seguridad y la salud, permitiendo al mismo tiempo realizar las actividades domésticas esenciales y de apoyo a los medios de subsistencia”.

Por tratarse de una vivienda pública de emergencia entregada junto a los kits señalados, no se pudo llegar a conocer el costo por metro cuadrado de estas viviendas de emergencia experimentales que fueron distribuidas en este caso.

Sin embargo, se pudo constataren Garay (2015) que

“se define la vivienda de emergencia, como aquella cuyo valor no excede el equivalente en pesos de 30 UF, puestas en la bodega de la ONEMI. Si el tamaño de la familia afectada excede las cinco personas, se agregan 5 UF (aprox. US\$225) por cada persona que exceda dicho número.

Figura 2.5: Vivienda de emergencia básica entregada en Chile.



Figura 2.5: Viviendas de 4.5m² por persona entregadas a damnificados del incendio en Valparaíso en 2014, tomado de <https://www.onemi.gov.cl/viviendas-de-emergencia/>, por ONEMI, 2015.

De tal manera, según indica Villavicencio (2014) la impresión 3D no sólo ha sido y “probado ser una herramienta rápida y eficaz para la elaboración de distintos artículos, desde zapatos hasta muebles” y recientemente este tipo de construcción ha probado sus virtudes en el ámbito de la construcción y, específicamente, en el ámbito de la construcción de viviendas de emergencia que permitan la entrega de viviendas a damnificados de diferentes tipos de catástrofe, lo que pone generalmente en dificultades a las autoridades competentes por la rapidez que exige la solución.

La autora, Villavicencio (2014) señala que la construcción 3D permite no sólo entregar una vivienda a damnificados de algún tipo de catástrofe, sino que además permite seriamente proporcionarle, en las condiciones que fije la autoridad, una vivienda cuya longevidad podría convertirla en la vivienda definitiva del individuo.

Recientemente, distintos despachos comenzaron a potencializar sus virtudes adentrándose en el mundo de la construcción.

Agrega Villavicencio (2014)

El proceso es a gran escala, automático y en sitio, lo que facilita y agiliza el proceso, reduciendo el desperdicio de material y energía durante la obra. No se limita a una propiedad, pueden edificarse condominios o edificios de hasta 2,000 m² en menos de 24 horas, incluyendo instalaciones.

En su análisis, la autora señala que es posible con una impresora 3D construir en el mismo lugar de la construcción, aunque cuando la situación lo permite, como en el siguiente caso en Shangai, se demostró la eficacia de la construcción en taller puesto que

“la empresa WinSunDecorationDesignEngineering Co construyó 10 viviendas en el mismo tiempo récord. La diferencia es básicamente que, contrario al modelo anterior, las paredes de cada una de las casas de 150 m² (15 metros de largo por 10 de ancho y 6 de alto) fueron elaboradas en taller y posteriormente, ensambladas en el sitio”. (Villavicencio, 2014).

Según indica la autora

“Adicional a la rapidez constructiva, la gran innovación de WinSun es el uso de material reciclado de otras construcciones combinado con

concreto, lo que minimiza el impacto ambiental y reduce significativamente los costos totales (32 dólares por m²)". (Villavicencio, 2014)

De manera que, en los términos enunciados, la tecnología de impresión 3D aplicada a la construcción resulta ser idónea en casos de necesidades de viviendas de emergencia, en la medida en que las víctimas de situaciones entre las que se destacan guerras o desastres naturales. Así, los damnificados podrían “recuperar su patrimonio en un tiempo realmente corto, en lugar de recibir tiendas provisionales y tener que esperar meses para disponer de una vivienda digna”. (Villavicencio, 2014). Se hace relevante lo planteado por Villavicencio (2014) en la medida en que entrega soporte teórico que permite mejor evaluar cada opción estudiada.

El ahorro, tanto económico como de tiempo se debe, fundamentalmente al hecho de que no hay necesidad de transportar materiales al lugar, el que generalmente presenta características de difícil acceso y, por otra parte, no se requiere de recursos humanos para la construcción, de manera que estos esfuerzos se pueden enfocar directamente en la reconstrucción de la infraestructura local, ya sea eléctrica, hidrosanitaria, urbana o de telecomunicaciones, entre otras, necesidades adyacentes a la construcción.

Según indica García (2020) y según las publicaciones estudiadas, se constata diversas experiencias y desafíos técnicos, en el caso de Chile, con una amplia variedad de “líneas de desarrollo y poca vinculación entre ellas”, además de una vasta diversidad de beneficios potenciales para el caso de las construcciones de emergencia.

Lo anterior denota el surgimiento de una nueva tecnología destinada gradualmente a decantar nuevos procedimientos, aplicaciones y ventajas precisas.

Indica García (2020)

“Los casos revisados exponen la factibilidad de las técnicas usadas, la capacidad productiva y el interés público en esta tecnología.

Sin embargo, se reportan iniciativas muy específicas que no sugieren todavía una introducción significativa de esta tecnología en el sector de la construcción. En relación con las posibilidades de esta tecnología en Chile y las motivaciones de los profesionales en la construcción impresa en 3D, se reconoce una correlación relevante con sus capacidades predichas respecto a las posibilidades de un aumento en la productividad, al reducir tiempos y recursos, junto con la digitalización y control de los procesos, o las posibilidades de mejorar la sustentabilidad de los materiales, las actividades constructivas y los edificios al disminuir el consumo energético. No obstante, dadas las condiciones actuales de esta tecnología, se requiere de una inversión substancial en investigación. Un interés particular se reconoce en la elaboración de muros envolventes para vivienda con mejor desempeño térmico, además de resolver los aspectos sismorresistentes y su integración con procesos de construcción locales para definir sistemas constructivos apropiados para el contexto chileno. La introducción de nuevas tecnologías, como la construcción impresa en 3D, deben incorporar la participación académica, comercial y estatal, junto con diferentes disciplinas, como robótica, ingeniería estructural, arquitectura y construcción, entre otros, enfocados en logros específicos para los edificios”.

2.4.2 CONTEXTO EN CHILE

En relación con la industria de la construcción en Chile, es importante considerar, según García (2020) que

“el país está caracterizado por su ubicación en el borde suroeste de Latinoamérica, con un clima más templado que el resto de los países de la región. Muestra una estabilidad política en las últimas cuatro décadas,

lo que ha facilitado un crecimiento económico continuo para su relativamente pequeña población (actualmente, alrededor de 17 millones de habitantes). El país ha sido reconocido por su desarrollo económico ejemplar, a pesar de sus grandes diferencias sociales y débil producción interna. La estrategia prematura de liberalización y apertura a mercados globales desde 1980 ha producido una profunda transformación económica, principalmente, aumentando los servicios y la exportación de productos básicos, en su mayoría de los sectores mineros, pesqueros, agrícolas y forestales”.

El sector de la construcción en Chile ha tenido uno de los roles más importantes en el desarrollo y el crecimiento del país desde hace ya más de cincuenta años. El sector de la construcción en Chile, “involucra alrededor de un 8% de los empleos y del producto interno bruto, con un monto anual de, aproximadamente, 37 billones de dólares, de los cuales 35% corresponde a edificios”. (García, 2020)

El desarrollo de programas de viviendas ha generado una amplia gama de instrumentos financieros, que han motivado la participación de un número importante de compañías constructoras. Dichas iniciativas permitieron cubrir la demanda de viviendas, con cerca de 150.000 unidades por año.

Por su parte, según García (2020)

La infraestructura pública y privada también ha sido dirigida por la combinación de esfuerzos estatales y privados con programas en curso de obras civiles, educacionales y recintos hospitalarios.

Agrega García (2020) en relación con los datos cuantitativos de la construcción en Chile

En edificios, el material predominante es el hormigón (53%), con alrededor de 10.000.000 m² por año, en estructuras monolíticas,

incluyendo vigas, columnas, fundaciones y pisos reforzados con barras de acero, debido a las condiciones sísmicas del país. La estructura de los edificios involucra alrededor de un 43% del presupuesto en edificaciones de gran altura, y un 30% en las de baja altura.

El impacto ambiental de la construcción en Chile es más grande en la operación de los edificios, seguido por la energía contenida en los materiales, donde los productos estructurales representan cerca del 80%, mientras que la ejecución se reduce. La ocupación de los edificios consume alrededor del 25% de la energía nacional y genera 35% de las emisiones y residuos (aprox. 20 millones de toneladas de CO₂ por año). En particular, las viviendas tienen un alto consumo de operación (aproximadamente 150 kWh/m² por año), dada las necesidades de calefacción, producto del bajo desempeño térmico e infiltraciones de las envolventes verticales.

La productividad del sector de la construcción nacional se estima en aproximadamente 35.000 dólares/año por trabajador (equivalente al 50% de la productividad del mismo sector en Estados Unidos), sin ningún crecimiento en las últimas dos décadas, mientras que el resto de los sectores avanza 1,7% al año. Esta deficiencia se adjudica a la falta de capacitación, estandarización, planificación, e integración del sector, además de la baja inversión en investigación e innovación, con un uso reducido de tecnologías digitales, prefabricación y energías renovables.

Con el objeto de contrarrestar lo anterior, se ha propuesto diferentes pautas nacionales para reducir el consumo de materiales y la generación de residuos, incluyendo soluciones prefabricadas para viviendas sociales y manejo de presupuestos, junto a la introducción de energías renovables (CORFO, 2016)

Según García (2020) se ha emprendido “diversas acciones de normalización de procedimientos y condiciones constructivas” desde los años ochenta y noventa; gracias al implemento de “regulaciones sobre el control térmico de las viviendas y

estudios de la sustentabilidad de edificios, motivados por el creciente costo y las deficiencias de los recursos energéticos nacionales”.

Además, se han fomentado acuerdos entre universidades y compañías privadas para promover la instalación de nuevos centros tecnológicos, motivando así la introducción de la construcción impresa en 3D, entre otras capacidades experimentales (CORFO, 2014).

2.5 LA TECNOLOGÍA DE LA IMPRESIÓN 3D

El estudio de la impresión 3D en hormigón se basa considerando el material impreso, la forma o geometría del elemento, las fuerzas que son aplicadas y la técnica o estrategia de impresión. Estos son los principales componentes que intervienen en este nuevo método de construcción, los cuales están estrechamente relacionados y conectados.

A continuación, la Figura 1.8 muestra el esquema de una máquina de impresión 3D en hormigón.

Figura 2.6: Esquema de una máquina de impresión 3D en hormigón

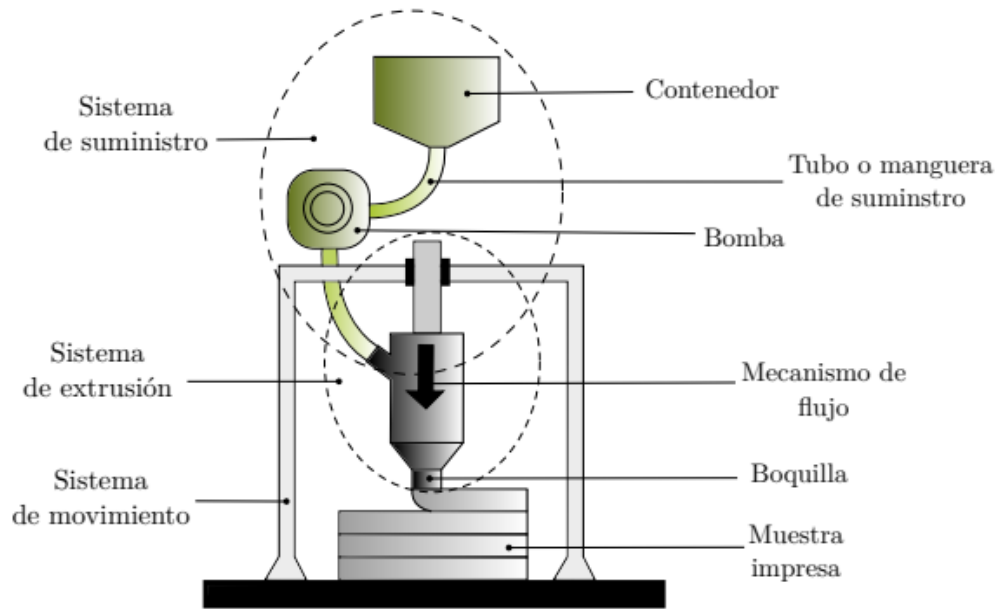


Figura 2.6: Esquema sistema extrusor de impresora 3D, tomado de “Estudio de las características del hormigón para su uso en una máquina de impresión”, por Hugo Reyes, 2018.

Para el diseño de la mezcla se considera “agua, arena, un cemento CEM I 52.5, cenizas volantes, humo de sílice y como aditivos se utilizan superplastificantes y retardadores para aumentar la trabajabilidad y la resistencia”. Para reforzar esta mezcla se utiliza una “fibra de polipropileno de 12 mm de longitud y 0.18 mm de diámetro”. (Reyes, 2018)

Para tal efecto, Reyes (2018) considera que la “mezcla óptima” tiene una “relación de arena-aglutinante 3:2 con 1.2 kg/m³ de fibras”. Según el autor, el aglutinante consiste en un “70 % de cemento, 20 % de cenizas volantes y un 10 % de humo de sílice, con una relación aglutinante-agua de 0.26”. Por otra parte, se considera, además, un superplastificante y un “retardador con dosificaciones de 1 % y 0.5 % en peso del aglutinante, de manera que el tiempo abierto se extiende a 100 minutos”. Finalmente, las muestras mostraron una densidad de 2350 kg/m³. (Reyes, 2018).

El espesor de un piso de hormigón, por ejemplo, depende del terreno en el que se coloca, del tipo de piso y de los usos para el que estará destinado, pero normalmente oscila entre los 5 y 10 centímetros. También se recomienda un

espesor de 10 centímetros para los muros de la construcción, así como para el soporte de la techumbre.

Según lo estudiado para el presente Marco Tecnológico, queda claro que la tecnología de la impresión 3 D permite alcanzar la fabricación de este tipo de hormigón para el piso, los muros y la loza de la techumbre.

En el desarrollo de la presente investigación se expondrá de manera más exhaustiva las diferentes opciones de fabricación del hormigón, aunque, según la literatura consultada, todo permite pensar que la fabricación del hormigón en la obra misma parece ser la mejor opción.

2.5.1 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS EN LA IMPRESIÓN 3D

La automatización es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con mínima o nula intervención del ser humano utilizados para optimizar y mejorar un proceso

El prototipado rápido es un proceso industrial que permite crear un modelo tridimensional exacto de un producto mediante un programa tipo CAD. Este modelo puede ser utilizado a nivel estético para poder hacer estudios de mercado o servir en el proceso de diseño y fabricación para poder realizar pruebas funcionales antes de comenzar la fabricación final del producto.

Esta técnica consiste en la creación de modelos creados con sistemas CAD mediante la adición de material en diferentes capas, en contraposición a los sistemas CNC que se sirven de brocas para transformar un bloque macizo en un modelo tridimensional mediante la eliminación de material.

Se asegura una excelente calidad ya que el proceso en ambiente controlado (tecnologías BIM: diseño, construcción y operación de proyectos en línea a través de modelos 3D), robotizado y gestionado por personal capacitado, asegura calidad superior en los productos entregados y sin margen de error.

Esta técnica está en constante evolución, por esto los fabricantes siguen investigando alrededor de los materiales disponibles. El material principal es de tipo granular debido a la posibilidad teórica de generar cualquier forma, aunque también encontramos materiales líquidos con resinas y materiales sólidos en forma de láminas y alambres.

2.5.2 HORMIGON IMPRESO

La industria de la construcción ha sido conocida por ser una de las industrias que menos ha evolucionado a nivel técnico y de automatización. En la búsqueda de esta evolución técnica se ha puesto la mira en las técnicas del prototipado rápido aplicadas en otras industrias.

Esta automatización presente otros sectores ha llevado a solucionar diversos problemas enfocados en la disminución de costes y de tiempo de manufacturación, dando a su vez una gran libertad a la hora de diseñar.

2.5.3 Propiedades básicas

Para poder utilizar el hormigón para la impresión 3D este debe cumplir una serie de requisitos:

- Poder ser impreso: El material debe tener una fluidez suficiente para poder ser extruido a través de la boquilla.
- Poder ser bombeado: El material debe tener una consistencia suficiente para poder circular hasta la boquilla de extrusión.
- Resistencia a corto plazo: El material debe tener una resistencia suficiente para poder mantener su forma y aguantar su peso y el del material superior sin deformarse.
- Tiempo de trabajo: El material debe mantener las características anteriores durante un tiempo determinado.

2.5.4 Características de la mezcla

Como en las técnicas comentadas con anterioridad, existe gran variedad de dosificaciones que pueden emplearse para desarrollar la técnica de impresión 3D; pero de forma general, es importante:

- Utilizar relaciones Agua/ Cemento bajas, entre 0,20-0,25. -Incorporar aditivos super-plastificantes, que suplan la poca cantidad de agua empleada y aditivos aceleradores de fraguado para obtener resistencias iniciales elevadas y controlar la

consistencia y viscosidad. Pero estas mezclas deben de cumplir características principales, tales como:

- La bombeabilidad o facilidad y fiabilidad con la que el material se desplaza a través del sistema o máquina creada, sin producir atascamientos ni problemas que impidan la deposición del material.

- La imprimibilidad o viabilidad del material al depositarse, sobre la anterior capa extrusionada, mediante el dispositivo o boquilla utilizado. -La edificabilidad o resistencia del material depositado en deformación bajo carga, es decir la fuerza de cada una de las capas extrusionadas, conforme se incorporan el resto de las capas sobre la misma.

- El tiempo abierto, es decir el periodo de tiempo en el que las propiedades descritas anteriormente permanecen dentro de las tolerancias marcadas. Por todo ello, es imprescindible controlar los tiempos de fraguado de las mezclas, las resistencias iniciales, así como la consistencia y viscosidad adecuada para evitar problemas en la maquinaria empleada y también para asegurar la resistencia del elemento conforme va aumentando en tamaño, garantizando capa a capa esta resistencia y capacidad para soportar la inmediata carga colocada.

Se requiere que el bombeo de material tenga un caudal constante, por lo que se utilizan bombas de cavidad progresiva lo cual limita el tamaño máximo de áridos utilizados a 3 o 4 mm

2.5.5 PRIMER SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D: CONTOUR CRAFTING

Esta tecnología de fabricación se basa en la investigación efectuada por el director de Manufacturing Engineering Graduate Program e ingeniero BehrokhKhosnevis y su posterior patente.

Estas investigaciones trataban de conseguir la automatización de los procesos constructivos en la industria de la construcción, basándose para ello en los sistemas de prototipado rápido utilizados en medicina.

El contour crafting se basa en la fabricación por capas “Layerbylayer” para generar mediante ordenador elementos y controlar su impresión y fabricación. Esta tecnología permite la creación de elementos cuyos acabados superficiales pueden ser planos o de cualquier forma mientras que se puedan diseñar unas paletas para replicarlo

Figura 2.7: Impresión capa de hormigón en 3 D.

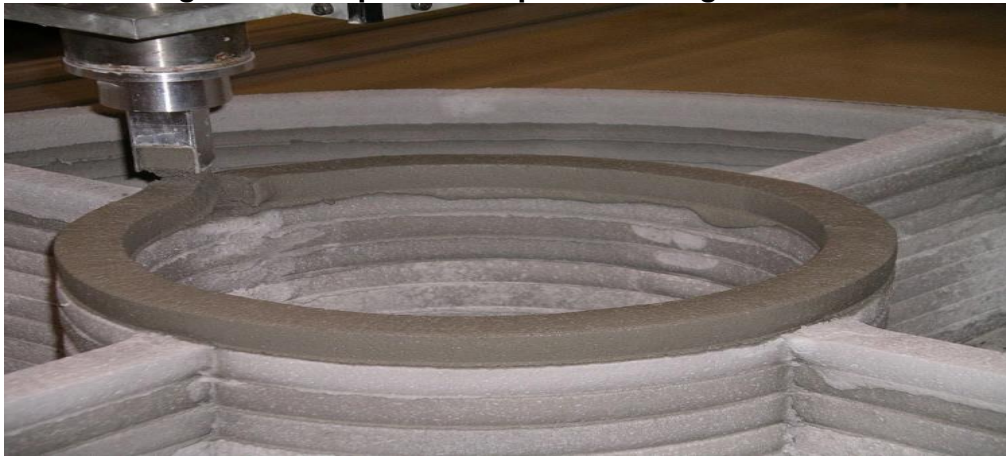


Figura 2.7. Boquilla extrusora depositando una capa de hormigón, tomado de “3d printing expo”, <https://www.3dprintingexpo.ie/>, 2019.

2.5.6 MAQUINARIA UTILIZADA EN EL PROCESO

La herramienta utilizada para la impresión consta de un sistema de extrusión que se complementa con dos paletas direccionales que permiten crear superficies lisas en elementos rectos y curvos.

El sistema completo consta de los siguientes elementos: (Imagen 10)

- Una tolva para almacenar el material.
- Una boquilla extrusora. (Imagen 11)
- Dos paletas paralelas entre sí, que, quitándolas, el método sería concrete printing)
- Ordenador para el control de las paletas

Figura 2.8: Sistema completo de la boquilla extrusora.

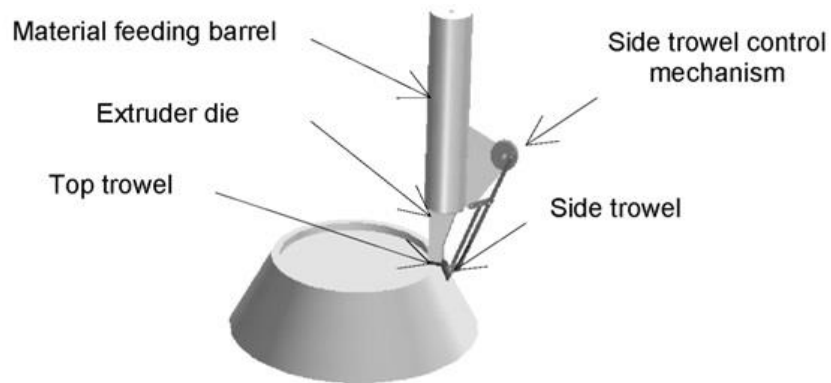


Figura 2.8: Detalle del sistema extrusor, tomado de, Azukotech.com, 2019.

En la figura 2.8 se observan los siguientes componentes :

- 1: MATERIAL FEEDING BARREL (BARRIL DE ALIMENTACIÓN DE MATERIAL)
- 2: Extruder die (Troquel extrusor)
- 3: Top trowel (Paleta o llana superior)
- 4: Side trowel (paleta o llana leteral)

En la figura 2.9 se muestra la impresión de capas internas en un muro de hormigón realizado por tecnología 3D, utilizando una paleta doble para cambiar la terminación que otorga la impresora.

Figura 2.9 Boquilla extrusora



Figura 2.9: boquilla extrusora con paleta de terminación lisa tomado de Azukotech.com, 2020

Esta configuración, de la que se habla, es un esquema que puede adaptarse a las exigencias del proyecto ya que este sistema puede ser montado de diferentes formas.

En elementos de grandes dimensiones la maquinaria puede acoplarse en un sistema de pórtico como el utilizado por la empresa valenciana Bemore 3D en el que el pórtico permite mover la boquilla extrusora de manera vertical y horizontal; mientras este se mueve sobre unos carriles. (Figura 2.10)

Figura 2.10: Pórtico de carriles



Figura 2.10: Impresora 3D con sistema de pórticos y cabezal móvil, tomado de www.elcomunicador.com , 2018.

Para otras necesidades la máquina puede incorporarse a un brazo telescópico que simula los movimientos que puede realizar un humano gracias al sistema de 6 ejes en el que se basan. Este tipo de maquinaria permite su recolocación en el solar donde se esté ejecutando el edificio mediante una grúa móvil como la impresora creada por la empresa rusa Apis Cor House (Figura 2.11) o se puede colocar sobre orugas para aumentar la autonomía de la impresora como ocurre con el robot Cazza X1(Figura 2.12)

Figura 2.12: Impresora de Apis Cor



Figura 2.12: Impresora 3d trabajando en Rusia, tomado de www.archive.curbed.com , (2017).

Figura 2.12: Impresora Cazza X1



Figura 2.12. Impresora 3d móvil con sistema de oruga, tomado de www.3dnatives.com, (2020).

Este acercamiento a la utilización de robots que puedan desplazarse por ellos mismos podrá llevar a una automatización mayor que permitiría poder utilizar una mayor cantidad de equipos que puedan construir de manera simultánea un mismo proyecto de mayor envergadura.

2.5.7 PROCESO DE IMPRESIÓN

El contour crafting es una tecnología basada en dos procesos independientes que deben unirse.

1. Proceso de extrusión: Este consta en la creación de los bordes exteriores de la estructura utilizando la boquilla que tenía acoplada las dos paletas que ayudan a dar un acabado liso. La orientación de estas paletas permite la creación de superficies inclinadas e incluso cúpulas. (Imagen 15)

Figura 2.13. Extrusión de bordes de muro



Figura 2.13: impresora 3d realizando esquinas en muros con relleno, tomado de <https://www.archdaily.pe/pe/02-357233/en-detalle-sistema-de-impresion-3d-construccion-por-contornos/53607667c07a80d43c0000b4>, por Enzo Vergara ,(2014).

2. Proceso de llenado: este consta en la creación del núcleo de las paredes. Este proceso se hace tras realizar cada capa, de forma que el material se vierte dentro de los bordes. (Figura 2.14)

Figura 2.14: Llenado del núcleo del elemento.



Figura 2.14: Impresora realizando rellenos interiores, tomado de <http://cort.as/-M5Ps>, 2018

El hecho de que esto sean dos procesos independientes permite que puedan ser de materiales distintos lo cual puede ser beneficioso dependiendo del clima en

el que se encuentre la construcción. Esto es controlado mediante un ordenador que permite variar la dosificación y cantidad de hormigón que se coloca en cada zona.

2.5.8 INSTALACIONES

El sistema Layerbylayer permite la colocación automática de instalaciones dentro del propio muro. En cuanto a la instalación eléctrica se utilizan unos módulos de un material no conductor que contiene un elemento conductor. Estos módulos tienen un sistema machihembrado que permite que un robot pueda colocarlos y unirlos. Además, estos módulos pueden crearse con un machihembrado en un lateral para poder conectar módulos que tengan acceso desde las paredes como enchufes o contadores.

Figura 2.15: Instalaciones eléctricas

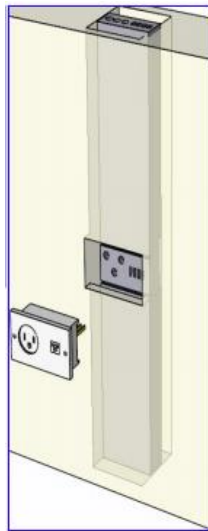


Figura 2.15: Instalaciones eléctricas posterior a impresión de muros, tomado de <http://cort.as/-M57g>, por Behrokh Khoshnevis,(2004)

Con relación a las instalaciones de fontanería la forma de actuar es muy similar a las instalaciones eléctricas, cada determinado número de capas de hormigón un sistema robotizado coloca una tubería junto a otro segmento que ya esté instalado.

2.5.9 ADHESIÓN ENTRE CAPAS

Uno de los problemas de esta tecnología se basa en su construcción Layerbylayer ya que a priori puede parecer que esas capas no se pueden unir y la estructura puede colapsar por ello.

No obstante, hoy en día hay dos formas de afrontar este problema.

1. Armadura de refuerzo Mediante la utilización de un robot es posible la colocación de armaduras entre cada capa. Este método se basa en un sistema modular de 3 piezas que se introduce en la capa inferior y posteriormente la impresora coloca material encima.

Figura 2.16. Módulos y aplicación de la armadura.

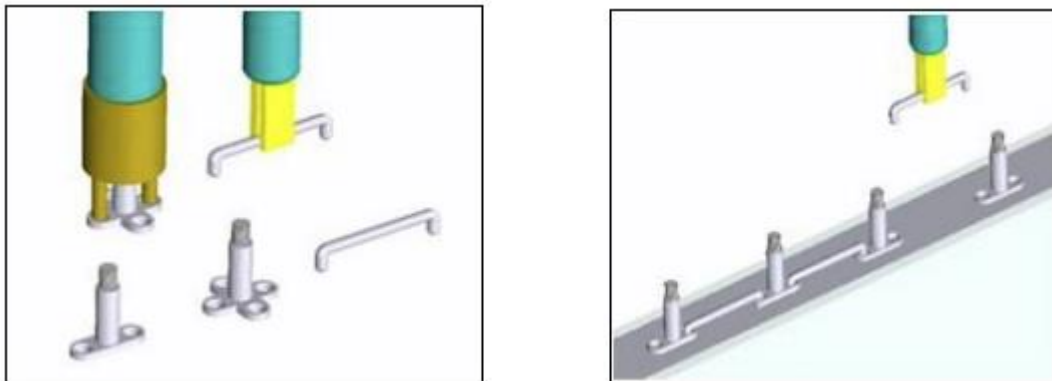


Figura 2.16: instalación de módulos para unir armaduras en el hormigón impreso, tomado de <http://cort.as/-M57g>, (2004)

Este sistema también permite la creación de mallas tridimensionales para la creación de elementos macizos de mayor espesor como podrían ser pilares.

2. Refuerzo mediante fibras Las posibilidades de tener boquillas de un tamaño relativamente grande permiten que durante la impresión del hormigón este

pueda contener una cantidad de fibras mayor que permita la unión de las diferentes capas.

3. Aplicación de capas intermedias Los investigadores de la Swinburne University of Technology Taylor Marchment, Jay Sanjayan y Ming Xia estudiaron posibles métodos para reforzar las uniones entre capas mediante morteros. El problema fundamental reside en una de las bases del hormigón impreso, el fraguado rápido, lo que dificulta la adhesión entre las capas. (Imagen 19)

Figura 2.17. Capas intermedias

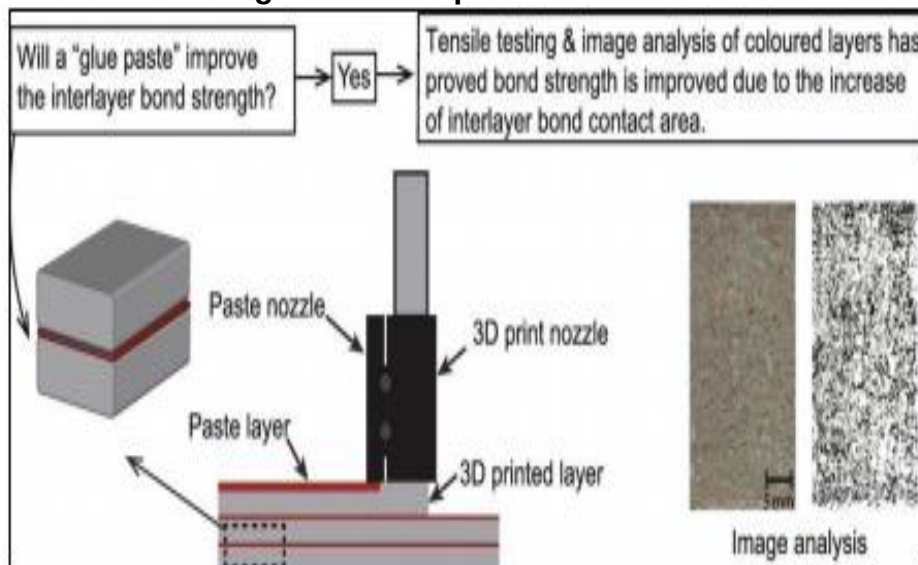


Figura 2.17: Pegamento para la adhesión entre capas complementario a los aditivos de la mezcla, tomado de [http://cort.as/-M57g.\(2020\).](http://cort.as/-M57g.(2020).)

2.5.10 CONCRETE PRINTING

El concrete printing es otra tecnología actual de impresión 3D en hormigón desarrollada por el grupo inglés de investigación “Rapid Manufacturing Research Group” de la Loughborough University.

Esta tecnología consiste en una técnica similar al Contour Crafting diferenciándose de ésta en la composición del material cementicio utilizado y en la ausencia de paletas en la boquilla del extrusor. (Figura 2.18)

Figura 2.18: Boquilla extrusora sin paletas

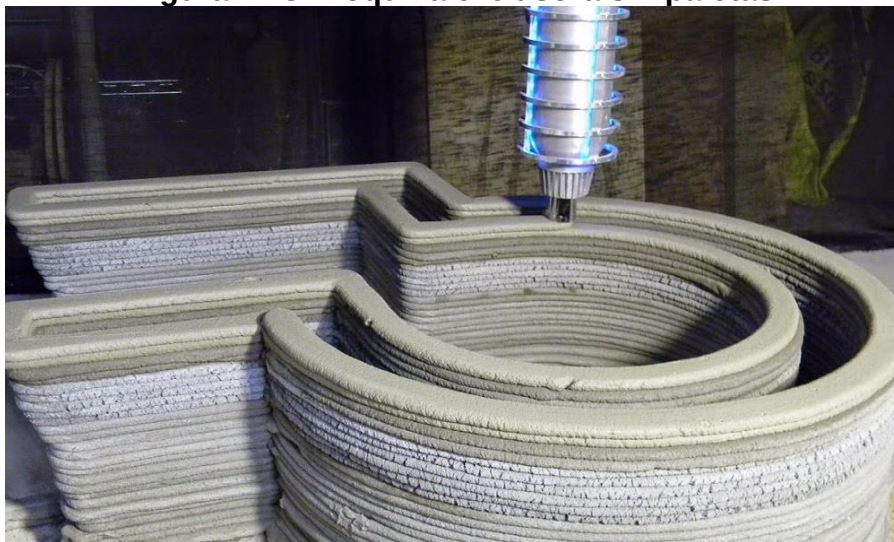


Figura 2.18: Extrusión de hormigón por capas sin paletas y terminación curva, tomado de <https://www.sculpteo.com/>, (2021).

2.5.11 D-SHAPE

Esta tecnología permite la creación de elementos de cualquier forma o tamaño, de una o varias piezas sin el uso de moldes.

La principal diferencia con las otras tecnologías reside en el material utilizado en la impresión, en contraposición a la impresión de un material premezclado, en

esta tecnología se utiliza una mezcla seca obtenida de forma natural del proceso de desalinización del agua marina, sobre esta se inyecta un catalizador inorgánico que no es tóxico y tiene una alta resistencia a tensión. La posibilidad de crear cualquier forma que aporta esta tecnología suple las deficiencias que presentan los materiales que encontramos en la industria de la construcción, materiales de un costo alto y que aumentan la complejidad de obras con formas orgánicas obligando a hacer encofrados y andamiajes especiales. (Figura 2.19).

Figura 2.19: 3D monolito en UK.



Figura 2.19: Monolito impreso 3D en Inglaterra utilizando el sistema D. Shape, tomado de <http://3dprintetbyggeri.dk/>, (2019)

2.5.11 APLICACIONES

Hoy en día la tecnología “concrete printing” y “contour crafting” permiten una aplicación relativamente simple. Hay diversos beneficios en utilizar el concrete printing como los tiempos de construcción reducidos y el reducido coste material. Son estas características las que han facilitado su uso en estas aplicaciones:

- Construcción: dentro de un vecindario en el que hay diferentes viviendas con diferentes diseños esta tecnología permite la construcción automática y continuada de las viviendas. Dentro de esta industria estos métodos aportan dos ventajas que hacen que esta tecnología pueda utilizarse de forma óptima:
- Flexibilidad en el diseño: Este proceso permite que los arquitectos puedan proyectar geometrías poco comunes y que con las técnicas actuales serían muy costosas y difíciles de construir.
- Gran variedad de materiales: Se pueden utilizar diversos materiales tanto para la parte externa como para la parte interna. El material que se imprime y la cantidad se controla mediante un computador. (Montiel, 2019)

El siguiente cuadro sinóptico, elaborado por Montiel (2019) indica las principales características de cada método presentado por el autor.

Tabla 2. Cuadro sinóptico sistemas de impresión 3D

CARACTERÍSTICAS	Contour Crafting	Concrete Printing	D-Shape
PROCESO	Extrusión	Extrusión	Impresión 3D
USO DE MOLDE	Si (en boquilla)	No	No
MEZCLA-MATERIALES	Material cementicio	Material cementicio	Mezcla seca y catalizador
DIAM.BOQUILLA	15 mm	9-20 mm	0,15 mm
NUM.BOQUILLAS	1	1	6300
GROSOR DE LA CAPA	13 mm	6-25 mm	4-6 mm
REFUERZO	Si	Si	No
TAMAÑO IMPRESIÓN	➤ 1 m	➤ 1 m	➤ 1 m
VENTAJAS	Superficie lisa con llana	Altas resistencias	Altas resistencias
INCONVENIENTES	Proceso adicional de moldeo previo	Dimensiones de impresión limitadas a 5,4mx4,4mx5,4m	Proceso lento, superficies ásperas, dimensión de impresión limitada al marco de la impresora, eliminación del material no utilizado

Fuente: Montiel, (2019)

2.6 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EMPRESAS EXTRANJERAS

Las experiencias donde se utiliza este método en el mundo dan grandes expectativas para el futuro de la construcción aditiva automatizada, como se enuncia en los siguientes párrafos.

Según EU (2021), se considera, para el costeo, un proyecto realizado en Rusia por la empresa Apis Cor de ese país. Dicha empresa se ha especializado en el desarrollo de una impresora 3D para construcción de edificios con impresión de las partes en el terreno de la obra, es decir, sin transporte entre el lugar de fabricación y el lugar de montaje de la obra.

En el caso de Chile, ya se utilizó tecnologías rusas de prefabricado para la construcción de edificios. Es el caso de la empresa KPD en la región de Valparaíso, en el inicio de la década de los 70. A pesar de que algunas construcciones realizadas a partir de esta tecnología se encuentran aún “habitables” no se concluyó la experiencia, en la medida en que la planta fue cerrada por razones políticas.

Esta tecnología, Apis Cor, con el objeto de “demostrar el potencial y las habilidades de su impresora 3D de construcción móvil”, se construyó experimentalmente una casa de 410 pies cuadrados. La casa impresa en 3D le costó a la compañía, según EU (2021) “aproximadamente US\$ 10,150(\$8.130.962 Clp), una cantidad increíblemente baja para construir una casa”. Esto implica un costo por metro cuadrado de 263(\$210.684Clp) dólares por metro cuadrado construido.

Según la citada publicación, la siguiente es una lista más detallada de costos:

- Fundación: US\$ 277- 221899,16 Clp
- Paredes: US\$ 1.624- 1300953,92Clp
- Piso y techo: US\$ 2.434- 1949828,72Clp
- Cableado: US\$ 242- 193861,36Clp
- Ventanas y puertas: US\$ 3.548- 2842,23Clp
- Acabado exterior: US\$ 831- 665697,48Clp
- Acabado interior (incluido techo suspendido): US\$ 1.178- 943672,24Clp

Otro ejemplo es el de Winsun, una empresa con sede en Shanghái Fue un éxito en 2014 donde imprimieron en 3D 10 casas en un día.

Para lograr esto, Winsun utilizó grandes impresoras 3D de hormigón, de 10 metros de ancho y 6,6 metros de alto. La compañía estimó que cada casa impresa en 3D costaba \$ 4,800(\$3.845.184 Clp). Según *Greguricén* 2019, para ser 2014 son costos increíblemente bajos y que pueden seguir reduciéndose con el paso de los años y la mejora tecnológica. (<http://www.winsun3d.com/En/About>).

Aunque las casas impresas en 3D de Winsun no son tan refinadas, atrajeron mucho interés público. El proyecto definitivamente contribuyó al creciente número de casas impresas en 3D y al desarrollo de las máquinas que las fabrican.

Winsun también es conocido por producir uno de los edificios impresos en 3D más avanzados hasta la fecha. La siguiente figura 2.20, muestra una vivienda.

Figura 2.20: Vivienda 3D impresa por Winsun



Figura 2.20: Vivienda construida por Winsun, tomado de <http://www.winsun3d.com/En/Abouten>, 2019

En el sitio de la constructora china se constata que el precio de la construcción, realizada en 2014, de la imagen es de US\$ 4.800.

Otra empresa, WASP (World'sAdvancedSaving Project), en 2018 construyó una vivienda de 10 metros cuadrados por US\$900 sólo contando la obra gruesa, y afirman que los costos no deberían aumentar mucho dado los materiales básicos que se utilizarían en las terminaciones. (<https://borgenproject.org>)

Lo que hace pensar que, en general, en este estudio los costos de una vivienda se sitúan cerca de los costos que se aplica en esta metodología constructiva.

Durante el desarrollo del presente estudio, se realizará cálculos de costo específico para el caso de Chile estudiado en el presente trabajo.

Finalmente, con el objeto de concluir con un análisis comercial estratégico sobre las posibilidades de este modo de construcción se procedió a realizar un análisis PORTER y un análisis CANVAS.

CAPITULO 3

3.1 DESCRIPCIÓN

El presente estudio de investigación se realizó con un enfoque mixto, aunque es fundamentalmente cuantitativo por el hecho de tratarse de un estudio que busca determinar la factibilidad tanto desde el punto de vista ingenieril como financiero de la construcción con impresión 3D en Chile.

Se trata de un estudio exploratorio puesto que según los datos obtenidos de la literatura disponible no parece haber investigaciones anteriores, al menos en Chile.

Por otra parte, es de carácter no experimental puesto que el investigador no manipula variables, sino que estudia desde el exterior, con participación de especialistas, el fenómeno con el objeto de desarrollar conclusiones que aporten conocimiento al problema.

Según lo planteado, se continua con el estudio de las diferentes impresoras repertoriadas, para determinar aquel sistema que mejor se aplica a las necesidades del lugar. Se ha planteado por el momento utilizar una impresora con grúa puente. Una vez determinado el proceso, se procederá al cálculo de los recursos necesarios; como equipo, maquinaria y flujos de procesos.

Se dimensionó el tamaño del recurso humano necesario para la realización del proyecto, considerando los requerimientos de personal necesarios para la implementación, así como las habilidades y competencias requeridos.

3.2 FASES DE TRABAJO

3.2.1 Investigación

En primer lugar, se consultaron documentos disponibles, tanto en Chile como en otras naciones del mundo, específicamente de países en donde ya se ha procedido a con esta tecnología, aunque sea a nivel experimental y especialmente en países que presenten situaciones similares a la del caso de Chile.

Se investigó en diferentes bases de datos, como Sciencedirect, artículos y revistas sobre la construcción a nivel mundial con implementación de la impresora de gran formato 3D.

En segundo lugar, se procederá a entrevistar a tres especialistas en la construcción de viviendas y específicamente, de ser posible con el método de la impresión 3D.

Los tres especialistas serán escogidos de la siguiente manera:

- Un especialista de ONEMI de Valparaíso
- Un especialista de desafío levantemos Chile
- Un profesional especialista

Dichas entrevistas serán en profundidad y con preguntas abiertas; sin límites ni de tiempo ni de temáticas. Durante la conversación se procederá a obtener

información sobre los fundamentos científicos, técnicos y financieros del proceso de diseño y de la construcción, seguido de una conversación centrada en los costos operativos y finalmente, los aspectos cualitativos de la experiencia tanto para el entrevistado como para los moradores de estas viviendas y la comunidad en general.

Las entrevistas serán integralmente grabadas en un aparato celular y luego transcritas para ser incluida en uno de los anexos del presente trabajo de investigación, con el objeto de fundamentar los resultados y conclusiones expuestas.

En tercer lugar, se procederá al estudio de los diseños existentes de viviendas; con todos sus elementos, planos, descripciones, listado de materiales y costos necesarios para la realización considerando la utilización de una grúa puente.

Luego de recopilados los datos obtenidos de los documentos consultados, de las entrevistas y de la planificación del diseño de una construcción de vivienda impresa en 3D; estos serán ordenados en un mapa semántico, de estilo Atlas Ti, que será la herramienta de análisis de datos y resultados que permita obtener los resultados correspondientes a las preguntas de investigación y los objetivos del presente trabajo de investigación, con el objeto de validar o rechazar la y así generar las conclusiones y/o sugerencias que puedan servir para futuras investigaciones o aplicación a nivel industrial de esta tecnología a modo de resolver de mejor manera la demanda habitacional de urgencia que se produce luego de una catástrofe local.

Una vez enunciados, según lo indicado, los resultados, se procederá a redactar las conclusiones, las que se presentarán ordenadas según cada uno de los objetivos específicos de la investigación.

Preguntas entrevistas en profundidad.

Los tres especialistas serán escogidos de la siguiente manera:

- Un especialista de ONEMI de Valparaíso
- Un especialista de desafío levantemos Chile
- Un especialista académico ([Etiqueta: Construcción - Portal de Actualidad Universidad del Bío-Bío \(ubiobio.cl\)](#))

Dichas entrevistas serán en profundidad y con preguntas abiertas; sin límites ni de tiempo ni de temáticas. Durante la conversación se procederá a obtener información sobre los fundamentos científicos, ingenieriles y financieros del proceso de diseño y de la construcción, seguido de una conversación centrada en los costos operativos y finalmente, los aspectos cualitativos de la experiencia tanto para el entrevistado como para los moradores de estas viviendas y la comunidad en general.

En la fase final se realizará un análisis de costos y tiempos en dos maneras:

-Flujo de caja y cálculo de costos para saber a qué cantidad de viviendas se recupera la inversión de la impresora 3D

- Comparación de obra gruesa de la impresora 3d con métodos de construcción tradicionales.00

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos necesarios, según lo enunciado se procederá a la realización de un análisis semántico para los elementos obtenidos en la literatura y aquellos resultantes de las entrevistas, con el objeto de alinear los conocimientos planteados en los objetivos.

Acto seguido, se procederá, a la planificación de un prototipo que se base en los conocimientos adquiridos durante la investigación. Dicha planificación permitirá establecer las conclusiones y la validación de la hipótesis.

Se realizará una evaluación financiera con su flujo de caja, los plazos, la inversión necesaria, los ingresos, los gastos y los factores tributarios. Luego de esto se calculará el VAN y el TIR del proyecto.

Para finalizar se realizará una matriz comparativa entre la metodología con impresoras 3d de gran formato y sistemas de construcción tradicional.

CAPITULO 4.

Como se anunció en la metodología del presente trabajo, se procede en la investigación, en primer lugar, a la recopilación de datos de experiencias de construcción, con el método de la impresión en 3D, de viviendas, en otros países (China, Rusia, Alemania, EE. UU., entre otros.) de diferentes latitudes y longitudes en el mundo. Para posteriormente realizar un análisis económico y comparativo del sistema de estudio.

4.1 DATOS DE EXPERIENCIAS DE VIVIENDAS EN 3 D

Para la recopilación de datos necesarios para los objetivos del presente estudio, se procedió a consultar documentos disponibles, fundamentalmente a través de internet, tanto en Chile como en el resto del mundo, específicamente de países en donde ya se ha procedido a construir viviendas de este tipo, aunque sea a nivel experimental y especialmente en países que presenten problemáticas similares a la del caso de Chile.

De tal manera, según indica Villavicencio (2014) la impresión 3D no sólo ha sido y “probado ser una herramienta rápida y eficaz para la elaboración de distintos artículos, desde zapatos hasta muebles” y recientemente este tipo de construcción ha probado sus virtudes en el ámbito de la construcción.

La construcción 3D no sólo permite entregar una vivienda a damnificados de algún tipo de catástrofe, sino que además permite seriamente proporcionarle, en las condiciones que fije la autoridad, una vivienda cuya longevidad podría convertirla en la vivienda definitiva del individuo.

Recientemente, distintos despachos comenzaron a potencializar sus virtudes adentrándose en el mundo de la construcción como es el caso de la empresa BauMax que se menciona posteriormente en esta tesis.

A diferencia del sistema utilizado por la empresa chilena, con una impresora 3D se puede construir en el mismo lugar de la construcción, aunque cuando la situación lo permite, como en el siguiente caso en Shanghái, se demostró la eficacia de la construcción en taller puesto que la empresa WinSun Decoration Design Engineering Co construyó 10 viviendas en tiempo récord. La diferencia es básicamente que, contrario al modelo anterior, las paredes de cada una de las casas de 150 m² (15 metros de largo por 10 de ancho y 6 de alto) fueron elaboradas en taller y posteriormente, ensambladas en el sitio

Según indica la autora

“Adicional a la rapidez constructiva, la gran innovación de WinSun es el uso de material reciclado de otras construcciones combinado con concreto, lo que minimiza el impacto ambiental y reduce significativamente los costos totales (32 dólares por m²)”. (Villavicencio, 2014)

De manera que, en los términos enunciados, la tecnología de impresión 3D aplicada a la construcción resulta ser idónea en casos de necesidades de viviendas en poco tiempo, en la medida en que las víctimas de situaciones entre las que se destacan guerras o desastres naturales. Así, los damnificados podrían “recuperar su patrimonio en un tiempo realmente corto, en lugar de recibir tiendas provisionales y tener que esperar meses para disponer de una vivienda digna”. (Villavicencio, 2014). Se hace relevante lo planteado en la medida que entrega soporte teórico que permite mejor evaluar cada opción estudiada.

El ahorro, tanto económico como de tiempo se debe, fundamentalmente al hecho de que no hay necesidad de transportar materiales al lugar, el que generalmente presenta características de difícil acceso y, por otra parte, no se

requiere de recursos humanos para la construcción, de manera que estos esfuerzos se pueden enfocar directamente en la reconstrucción de la infraestructura local, ya sea eléctrica, hidrosanitaria, urbana o de telecomunicaciones, entre otras, necesidades adyacentes a la construcción.

Según las publicaciones estudiadas, se constata diversas experiencias y desafíos técnicos, en el caso de Chile, con una amplia variedad de líneas de desarrollo y poca vinculación entre ellas, además de una vasta diversidad de beneficios potenciales para el caso de las construcciones que se necesitan a corto plazo.

Lo anterior denota el surgimiento de una nueva tecnología destinada gradualmente a decantar nuevos procedimientos, aplicaciones y ventajas precisas.

Indica García (2020)

“Los casos revisados exponen la factibilidad de las técnicas usadas, la capacidad productiva y el interés público en esta tecnología. Sin embargo, se reportan iniciativas muy específicas que no sugieren todavía una introducción significativa de esta tecnología en el sector de la construcción. En relación con las posibilidades de esta tecnología en Chile y las motivaciones de los profesionales en la construcción impresa en 3D, se reconoce una correlación relevante con sus capacidades predichas respecto a las posibilidades de un aumento en la productividad, al reducir tiempos y recursos, junto con la digitalización y control de los procesos, o las posibilidades de mejorar la sustentabilidad de los materiales, las actividades constructivas y los edificios al disminuir el consumo energético. No obstante, dadas las condiciones actuales de esta tecnología, se requiere de una inversión substancial en investigación. Un interés particular se reconoce en la elaboración de muros envolventes para vivienda con mejor desempeño térmico, además de resolver los aspectos sismorresistentes y su integración con procesos de construcción locales para definir sistemas constructivos apropiados para el contexto chileno. La introducción de nuevas

tecnologías, como la construcción impresa en 3D, deben incorporar la participación académica, comercial y estatal, junto con diferentes disciplinas, como robótica, ingeniería estructural, arquitectura y construcción, entre otros, enfocados en logros específicos para los edificios”.

4.2 IMPRESIÓN 3D EN CHILE “BauMax”

En el caso de Chile, existe una empresa, BauMax, que produce casas de hormigón por bloques prefabricados, incluyendo los elementos para las conexiones eléctricas y sanitarias, las que luego se ensamblan en terreno, optimizando el tiempo de montaje. Este modelo chileno, a pesar de ser, por ahora prefabricado, permite opciones de trabajo en terreno en la medida es que es posible montar la impresora en terreno y reducir considerablemente evitar así el transporte de los elementos impresos.

BauMax importa desde Alemania los materiales y la tecnología, aunque el desarrollo de la ingeniería estructural se hace en Chile, buscando adaptarla a la naturaleza sísmica del país.

La capacidad anual de construcción, prevista en el proyecto BauMax es de 1.500 casas de 120m², o sea que es posible construir hasta cuatro casas en un solo día.

Todo arquitecto, constructora o propietario aspira a lograr una casa que sea “duradera y resistente, de materiales de buena calidad, espacios amplios, bien aprovechados y finas terminaciones. Lograrlo en el menor tiempo posible, es lo que quieren todos. Y lograrlo en un solo día, un sueño”. (Fernández, 2016).

Agrega Fernández (2016)

Bueno, esto ya es una realidad. La empresa chilena de construcción BauMax desarrolló un proyecto pionero en Latinoamérica

que pretende cambiar la industria inmobiliaria. ¿Cómo? Con viviendas de hormigón por bloques, contruidos con un sistema robotizado en 3D, que permite terminar y entregar casas de 120 m² y excelente calidad, en menos de 24 horas. Su lema: "Construcción robotizada en hormigón que genera ahorros, reduce plazos y asegura calidad".

En el mundo cada vez, paulatinamente, se está haciendo más común la tecnología de impresión 3D para la construcción de casas, como China, por ejemplo y ahora Chile se une a esta vanguardia.

Esta alternativa aparece como una verdadera solución al problema inmobiliario chileno, debido al encarecimiento de las edificaciones; que ha afectado la economía y el desarrollo social. Por esta razón, CORFO lo ha incorporado como parte del programa "Transforma", en su capítulo "Construye 2025", que busca mejorar, a nivel nacional, la productividad, la eficiencia y la sustentabilidad en la industria de la construcción, fijando claramente una meta concreta: "reducir en un 20% los costos de producción de las edificaciones, aumentar en un 20% las edificaciones sustentables y disminuir en un 30% las emisiones de CO₂ en Chile, de aquí al 2030".

De manera que "BauMax imprime casas de hormigón por bloques prefabricados, incluyendo los elementos para las conexiones eléctricas y sanitarias, las que luego se ensamblan en terreno, optimizando el tiempo de montaje" (Fernández, 2016).

Figura 4: Plano de vivienda BauMax 120m2

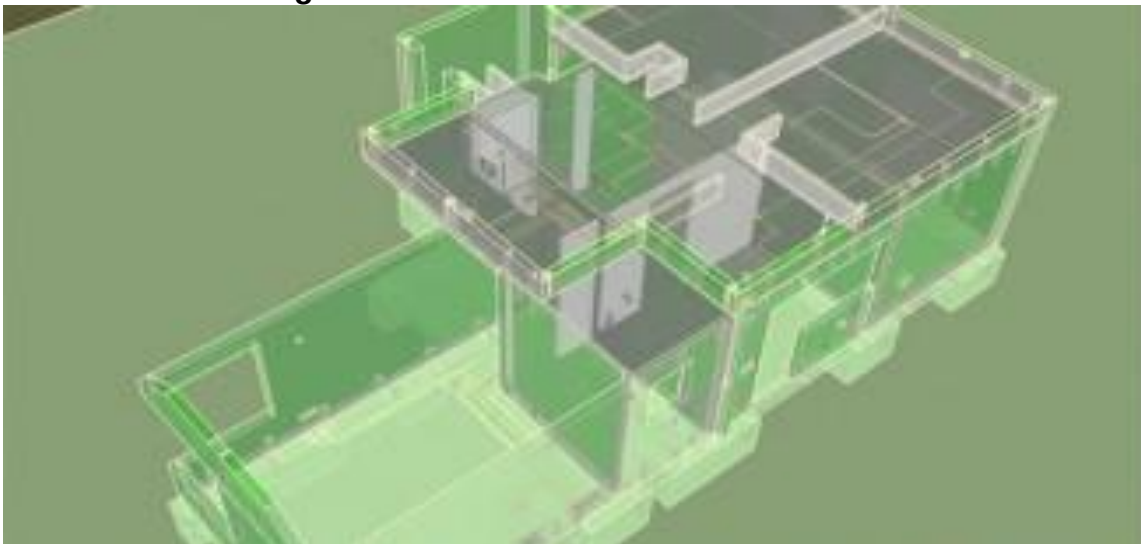


Figura 4 Planos de vivienda prefabricada por la empresa BauMax en 2017, donde se muestra la preparación de un proyecto para su visualización previa,

<http://baumax.cl/#proyectos> , 2017

Figura 4.1: Construcción de vivienda BauMax



Figura 4.1 Instalación paneles prefabricados con impresión 3D, <http://baumax.cl/>, 2021

4.2 ENTREVISTAS

Según lo indicado en la metodología, se procedió a entrevistar a tres especialistas en la construcción de viviendas de emergencia. Un especialista de ONEMI de Valparaíso, un especialista de Desafío Levantemos Chile y un especialista académico en temas de viviendas 3 D.

Dichas entrevistas se realizaron en profundidad y con preguntas abiertas; sin poner límites ni de tiempo ni de temáticas; con el objeto de obtener información sobre los fundamentos científicos, ingenieriles y financieros del proceso de diseño y de la construcción, seguido de una conversación centrada en los costos operativos y finalmente, los aspectos cualitativos de la experiencia tanto para el entrevistado como para los moradores de estas viviendas y la comunidad en general.

4.2.1 UN ESPECIALISTA DE ONEMI DE VALPARAÍSO

Se procedió entonces a entrevistar a un funcionario de ONEMI de Valparaíso, quien después de haber escuchado la lectura del consentimiento informado, reproducido en Anexo, solicitó que se mantenga su nombre y cargo como incógnito. Considerando los criterios de la ética de la investigación científica, se accedió a su solicitud, por lo que no se divulga ni su identidad ni su cargo, indicando solamente que el entrevistado ocupa un cargo de confianza de la SEREMIA (hoy denominada Senapred) de gobierno de la Región de Valparaíso.

Dada la solicitud del entrevistado de no revelar ni su nombre ni su cargo, la grabación de la entrevista fue transcrita y detallada a continuación. Sin embargo, no podrá ser divulgada la grabación, la que queda en el registro de audios como soporte técnico de la investigación, sin poder ser auditada por otras personas.

La siguiente es la transcripción del audio de la entrevista.

Entrevistador: Buenas tardes

Entrevistado: Buenas tarde, ¿cómo esta?

Entrevistador: Gracias por aceptar responder a esta breve entrevista, que servirá para una investigación que estoy realizando en la Universidad de Valparaíso. Antes de comenzar, le ruego que pueda leer el consentimiento informado y darme su acuerdo. Por otra parte, he tomado nota de su solicitud de permanecer en el anonimato. Me comprometo a no revelar ni su nombre ni su cargo. Sólo diré que trabaja en el área de las viviendas de emergencia y que su cargo es de la confianza del SEREMI de gobierno de la Región de Valparaíso.

Entrevistado: Así es... Bien... he leído el consentimiento y doy mi acuerdo.

Entrevistador: Como describiría usted las viviendas de emergencia que en la actualidad se entrega, tras una catástrofe, en Chile.

Entrevistado: Si se considera las nuevas mejoras sustanciales que se han incorporaron a las viviendas que están siendo entregadas en las últimas emergencias, ONEMI ha logrado establecer un nuevo prototipo de vivienda para casos de emergencia que constituye lo que hemos denominado una solución integral, puesto que los nuevos modelos disponibles incluyen un baño y, además, instalación eléctrica.

Entrevistador: ¿Estas nuevas viviendas ya están operativas en todo el país?

Entrevistado: No. Por el momento estas nuevas viviendas han sido inauguradas en el sur del país; Región de los Lagos; para ser más específico. Se entregó a 15 familias damnificadas por un sistema frontal. Se trata de una estructura modular de 18 metros cuadrados, con aislación de Smart panel, baño interior con ducha y ventanas de termo panel e instalación eléctrica. Esto responde a nuestra búsqueda constante de entregar una mejor solución a las personas, golpeadas por algún evento natural adverso.

Entrevistador: ¿Cuánto tiempo requiere la construcción de estas viviendas?

Entrevistado: Estas viviendas pueden ser levantadas en tres días, de promedio, con la participación de una cuadrilla de cuatro personas, sobre todo, gracias a sus características modulares. Además, son reutilizables y, por el hecho de cumplir con la normativa del SERVIU, pueden llegar, con el tiempo a ser ampliadas.

Entrevistador: ¿Qué participación tienen los profesionales de la construcción en las decisiones de políticas públicas relativas a las viviendas de emergencia?

Entrevistado: ONEMI, a nivel nacional, ha anunciado que congregará a todas las instituciones del mundo público y privado que se especializan en esta materia para que participen de un proceso de análisis y determinación sobre la capacidad de mejora de esta iniciativa. De la misma manera, se buscará que los futuros proveedores de viviendas de emergencia trabajen bajo el concepto de un estándar único para su fabricación.

Entrevistador: ¿Cuál es, en efecto, el propósito de la vivienda de emergencia?

Entrevistado: Sí, claro. La vivienda de emergencia tiene como propósito dar una solución en el corto plazo, o sea, lo más rápido posible y de manera temporal a un problema puntual de habitabilidad de una o más personas a causa de un evento catastrófico que ha inhabilitado su hogar. Durante décadas se utilizó las llamadas “mediagua”, que se caracterizan por tratarse de una construcción ligera, que permite un montaje y un transporte rápidos, en la medida en que se adaptan a diferentes tipos de suelo.

Entrevistador: Y ¿qué resultados dio este modelo de solución en el caso del incendio de Valparaíso de 2014?

Entrevistado: El incendio de Valparaíso, del año 2014, destruyó miles de viviendas. Allí, se pudo constatar que el modelo de solución habitacional de emergencia que existía en ese momento no era suficiente. De manera que, para adaptar la solución al problema, se generaron nuevas propuestas de mejoramiento para la vivienda de emergencia, entre las que se destacaba la entrega de un “Kit de Mejoramiento”, que incluía material para revestir las casas por su interior para favorecer su aislación y pintura para aumentar la durabilidad del material exterior. Adicionalmente se

implementó un “Kit Sanitario” a través del cual se buscó otorgar soluciones sanitarias según los diferentes casos que se pudieron observar. Sin embargo, para lograr un avance sustancial era necesario la redefinición de las viviendas de emergencia, para que se adapten más y mejor a las condiciones actuales del país. Es así como se inició un proceso de modernización que ha derivado en el desarrollo de estándares con requerimiento técnicos mínimos para la vivienda de emergencia las cuales incluyen una instalación eléctrica básica y pueden o no incluir una solución de baño. Si bien estos requerimientos avanzan en el mejoramiento de la calidad respecto de las soluciones tradicionales, lo más importante es que instaure el concepto de “estándar de calidad” por sobre la definición de costos. Los nuevos estándares disponen de suficientes espacios vitales cubiertos, mínimo 4,5 m² por persona los cuales ofrecen confort térmico, una buena ventilación y protección contra los rigores del clima y garantizan la privacidad, la seguridad y la salud, permitiendo al mismo tiempo realizar las actividades domésticas esenciales y de apoyo a los medios de subsistencia.

Entrevistador: ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de una vivienda de emergencia en el caso de la Región de Valparaíso?

Entrevistado: Se trata de una vivienda de 24 metros cuadrados, más menos 1.5 metros cuadrados; con un volumen de aire interior mínimo de 55 metros cúbicos; construida en base a paneles prefabricados. En lo que se refiere al diseño, se debe contemplar posibilidades de subdivisión interior con paneles livianos. Las fundaciones son de tipo aislada con apoyos en base a pilotes, postes o similares de madera impregnada u hormigón, cuya distribución se hará según la carga a recibir y el diseño propio de la vivienda. El diámetro será de 6 milímetros mínimo. El piso debe ser de pino impregnado y/o acero galvanizado en calidad escuadra y distribución según diseño propio, con distanciamiento mínimo entramado de 60 cm. El espesor mínimo del aislante debe ser de 5 cms con una densidad mínima de 10 kilos por metro cúbico.

Entrevistador: Es bastante estricto. ¿Hay otras especificaciones?

Entrevistado: Sí. Varias más.

Entrevistador: Cuénteme los detalles

Entrevistado: Ok. Así de memoria:

Humedad mínima: 11%

Humedad máxima: 22%

Resistencia al fuego: Mínimo F15

Los paneles tienen un espesor mínimo de 12 mm con la cara exterior y bordes expuestos a la intemperie con un impregnante preservador similar o superior en calidad. Los muros o tabiques son de pino o superior en calidad y/o panel autoportante de poliestireno expandido. Los materiales aislantes térmicos sólo pueden estar interrumpidos por elementos estructurales. La techumbre es en base a paneles con revestimiento interior y exterior; debe incluir todos los elementos de fijación y sellos necesarios para la correcta seguridad e impermeabilización de la cubierta. Se debe contemplar, para la estructura, a cerchas o vigas y/o panel autoportante de poliestireno expandido cuyas caras tienen láminas de prepintado. ¿Me sigue?

Entrevistador: Sí. Perfectamente.

Entrevistado: Además, en lo que se refiere a las ventanas, se debe considerar marcos y hojas de aluminio o PVC del tipo corredera, vidrio simple, confeccionadas para asegurar un adecuado ajuste y estanque tanto al paso del agua como del aire. Se prevé, al menos, dos ventanas con superficie mínima de 1 metro cuadrado cada una, con una practicabilidad de, al menos, 50%. Deben contar con sistemas de trabas o seguros para que sólo puedan abrirse del interior. Además, la vivienda debe tener dos puertas; una de 190 x 90 cm con bastidor compuesto por piezas completas o con unión finger-joint; de madera o placaroll y otra de 190 x 60 cm. Debe contemplar cerradura de baño interior y tirador, chapa o cerradura exterior. La ubicación de la puerta secundaria servirá para acceder a un recinto de baño anexo. Además, es necesario asegurar sello estanco de aire en todos los parámetros, encuentros de paneles y/o tabiques y en las juntas de puertas y ventanas mediante

la inclusión de espumas, láminas esponjas, junquillos, cubrejuntas u otros dispositivos que eviten el paso de aire del exterior.

Entrevistador: Por suerte estoy grabando, ya que veo que son muchas las especificaciones.

Entrevistado: Así es. Además, la pintura debe ser resistente a la humedad y los pilotes de fundación impregnados. Los aceros o metales deberán ser galvanizados para evitar la corrosión. En lo que se refiere a la instalación eléctrica se considera 3 centros de alumbrado, uno de ellos exterior y 4 enchufes distribuidos en dos cajas, con protector diferencial y tierra. Se acepta ductos sobrepuestos conforme al reglamento y normas de instalaciones eléctricas vigentes. Por último, se debe entregar impreso un manual de armado de la vivienda con el detalle de cada uno de los pasos necesarios para el montaje; considerando que la mano de obra podría ser no especializada. Se debe incluir explicaciones gráficas y escritas con todos los detalles del montaje, señalando los errores más frecuentes y la manera de evitarlos. Junto al manual de armado se incluirá un manual de mantención impreso; para mantener la vivienda en condiciones óptimas y evitar posibles daños o problemas. Eso es.

Entrevistador: Me ha quedado bastante claro. Muchas gracias por su colaboración.

Entrevistado: Gracias a usted y espero que les sirva para su trabajo de tesis.

4.2.2 UN ESPECIALISTA DE DESAFÍO LEVANTEMOS CHILE

Se procedió entonces a entrevistar a un especialista de la corporación Desafío Levantemos Chile, quien después de haber escuchado la lectura del consentimiento informado, reproducido en Anexo, aceptó que se indique su nombre.

La siguiente es la transcripción del audio de la entrevista a Vicente Gatica de Desafío Levantemos Chile.

Entrevistador: Buenas tardes

Entrevistado: Buenas tarde, ¿cómo esta?

Entrevistador: Gracias por aceptar responder a esta breve entrevista, que servirá para una investigación que estoy realizando en la Universidad de Valparaíso. Antes de comenzar, le ruego que pueda leer el consentimiento informado y darme su acuerdo.

Entrevistado: Así es... Bien... he leído el consentimiento y doy mi acuerdo.

Entrevistador: ¿Qué tipo de viviendas se usa hoy para los casos de catástrofes naturales e incendios masivos?

Entrevistado: Nuestras viviendas son viviendas definitivas. Tenemos un diseño ingresado al Minvu, el cual se encuentra certificado y está estructurado en paneles SIP. Son de 50 metros cuadrados y las entregamos con todas las terminaciones que corresponden a una vivienda definitiva. Las instalaciones dependen de lo que haya disponible en el lugar de la catástrofe. Si hay factibilidad de agua, luz y alcantarillado, se deja la vivienda conectada a los servicios, en caso contrario se instala una fosa con dren.

Entrevistador: ¿Cuánto es el tiempo promedio de construcción de una vivienda de emergencia en Chile?

Entrevistado: Es aproximadamente 1,5 meses para terminar la vivienda, pero depende también de la cantidad de casas y cantidad de cuadrillas que existen, porque si hay que hacer por ejemplo 2 casas, no necesariamente son 3 meses, sino que se pueden hacer de forma paralela.

Entrevistador: ¿Cuál es el costo promedio de una vivienda de emergencia en Chile?

Entrevistado: El costo promedio de la vivienda de Desafío Levantemos Chile es \$30.000.000 de costo directo.

Entrevistador: ¿Cómo definiría usted el nivel de aceptación de las viviendas que se entrega en la actualidad, por parte de los damnificados?

Entrevistado: Es un nivel alto de aceptación. La gente está contenta con las casas que entregamos, sobre todo por lo rápido de entregar una solución definitiva y la

alta calidad de las obras. Hemos escuchado en algunos casos que la gente pide las casas de Desafío.

Entrevistador: ¿Cómo piensa usted que se podría mejorar en tiempo, costo y calidad, las viviendas de emergencia para el caso de Chile?

Entrevistado: Creo que se podría incorporar tecnologías nuevas a los materiales con los que se estructura, pensando en que la mejora puede ser apuntando a materiales que generen en su composición menores impactos al medio ambiente. Por otro lado, se podría ver la opción de generar paneles que tengan incorporadas las instalaciones eléctricas y sanitarias, de modo de evitar esas partidas en terreno y acortando así los plazos de entrega.

4.2.3 UN PROFESIONAL ESPECIALISTA

Se procedió entonces a entrevistar a un especialista chileno de la incipiente construcción en 3D, quien después de haber escuchado la lectura del consentimiento informado, reproducido en Anexo, aceptó que se indique su nombre.

La siguiente es la transcripción del audio de la entrevista a Alexis Berczely, socio de la empresa Baumax, que desarrolló una tecnología que mezcla la robótica y la impresión 3D enfocada al hormigón. Junto a sus socios, instaló una planta gigante en Lampa de 40.000 metros cuadrados que se dedica a la construcción robotizada y de impresión 3D en hormigón, con una tecnología única en América Latina. Facturó, en 2019, US\$15,6 millones.

Entrevistador: Buenas tardes

Entrevistado: Buenas tardes, ¿cómo esta?

Entrevistador: Gracias por aceptar responder a esta breve entrevista, que servirá para una investigación que estoy realizando en la Universidad de Valparaíso. Antes de comenzar, le ruego que pueda leer el consentimiento informado y darme su acuerdo.

Entrevistado: Así es... Bien... he leído el consentimiento y doy mi acuerdo.

Entrevistador: ¿Cuénteme cómo nació su proyecto de construcción en 3D?

Entrevistado: En 2013 estaba buscando un sistema constructivo diferente y un día, luego de un partido de hockey, mi amigo Sebastián Lüders, un arquitecto me contó que conocía a un alemán que tenía la representación de un sistema de construcción robotizado. Estudié el sistema y me gustó. Empezamos a buscar financiamiento.

Entrevistador: Y ¿fue muy difícil?

Entrevistado: Había que construir una planta e implementar la tecnología. Por ahí llegó un tercer compañero de hockey, el ingeniero Pablo Külenthal, que trabajaba en el grupo Corso de la familia Solari. La meta nuestra era lograr levantar US\$45 millones en dos fases. A muchos inversionistas les gustaba el proyecto, pero decían que era mucha plata. Con Corso ocurrió lo contrario. Estaban acostumbrados a negociar montos mayores. Ellos nos contactaron con Inmobiliaria Manquehue, donde tenían participación. En la primera reunión que tuvimos con Manquehue estuvo presente un ejecutivo de Casas Geo, que es una empresa mexicana importante que había comenzado a utilizar una tecnología similar a la que queríamos implementar. Entre tanto, la empresa Casas Geo quebró, lo que nos hizo quedar solos en el proyecto.

Entrevistador: ¿Y cómo hicieron?

Entrevistado: A mediados de 2015 firmamos contrato con la inmobiliaria y se creó BauMax. Tras diseñar la planta y contratar a las personas requeridas, recibimos el capital por cerca de US\$28 millones, de Manquehue, Juan Lyon, el grupo Pilasi, Manuel Sarasúa, y otros inversionistas minoritarios.

Entrevistador: Y ahí pudieron comenzar.

Entrevistado: El 12 de diciembre de 2016 se inauguró la planta que está en el sector de Noviciado, en Lampa, con la presencia de la presidenta Michelle Bachelet. Así se lanzó la iniciativa Construye2025. De hecho, Corfo aportó un capital adicional de \$1.000 millones.

Entrevistador: Por favor, en pocas palabras, cuénteme la tecnología que desarrollaron.

Entrevistado: El sistema de Baumax nos permitió llegar a producir hasta 1.000m² de elementos de hormigón armado por día, gracias a una tecnología que instala elementos de hormigón por medio de un robot que dimensiona directamente desde una plataforma BIM (BuildingInformationModeling). Para esto fue clave capacitar a las personas que ingresaron a trabajar con nosotros; aunque a pesar de ser una tecnología compleja, es muy sencilla de operar y entender.

Entrevistador: ¿Y cuáles fueron las dificultades que encontraron en el inicio?

Entrevistado: La planta se diseñó con los parámetros alemanes, aunque adaptada a la realidad local. Debido a las normas de construcción antisísmicas de Chile, la línea debió ser diseñada con varias diferencias a lo que se hace en Europa. Por ejemplo, se requiere de mucho más enfierradura. Se destaca el robot, que trabaja paralelamente, gracias planos específicos que son cargados en su software. Más tarde, las piezas, que son de precisión milimétrica, son trasladadas y montadas en terreno.

Entrevistador: ¿Y qué proyectos de su empresa ya están operativos?

Entrevistado: Los primeros proyectos se hicieron en Colina en 2018, luego del primer año de producción. Hoy no sólo tenemos como cliente a Manquehue. Estamos también trabajando para Flesan en un proyecto de 25 edificios en Talca y Linares; además de Fortaleza, con tres edificios y 400 casas de dos pisos en Casablanca, junto a otros proyectos menores. Pero, cada vez más, nos enfocamos en edificios. En la Región de los Lagos; para ser más específico. Se entregó a 15 familias damnificadas por un sistema frontal. Se trata de una estructura modular de 18 metros cuadrados, con aislación de smart panel, baño interior con ducha y ventanas de termo panel e instalación eléctrica.

Entrevistador: ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de una vivienda de emergencia en el caso de la Región de Valparaíso?

Entrevistado: Se trata de una vivienda de 24 metros cuadrados, más menos 1.5 metros cuadrados; con un volumen de aire interior mínimo de 55 metros cúbicos; construida en base a paneles prefabricados. En lo que se refiere al diseño, se debe contemplar posibilidades de subdivisión interior con paneles livianos. Las fundaciones son de tipo aislada con apoyos en base a pilotes, postes o similares de madera impregnada u hormigón, cuya distribución se hará según la carga a recibir y el diseño propio de la vivienda. El diámetro será de 6 milímetros mínimo. El piso debe ser de pino impregnado y/o acero galvanizado en calidad escuadra y distribución según diseño propio, con distanciamiento mínimo entramado de 60 cm. El espesor mínimo del aislante debe ser de 5 cm con una densidad mínima de 10 kilos por metro cúbico.

Humedad mínima: 11%

Humedad máxima: 22%

Resistencia al fuego: Mínimo F15

Los paneles tienen un espesor mínimo de 12 mm con la cara exterior y bordes expuestos a la intemperie con un impregnante preservador similar o superior en calidad. Los muros o tabiques son de pino o superior en calidad y/o panel autosoportante de poliestireno expandido. Los materiales aislantes térmicos sólo pueden estar interrumpidos por elementos estructurales. La techumbre es en base a paneles con revestimiento interior y exterior; debe incluir todos los elementos de fijación y sellos necesarios para la correcta seguridad e impermeabilización de la cubierta. Se debe contemplar, para la estructura, a cerchas o vigas y/o panel auto soportante de poliestireno expandido cuyas caras tienen láminas de prepintado. ¿Me sigue?

Así es. Además, la pintura debe ser resistente a la humedad y los pilotes de fundación impregnados. Los aceros o metales deberán ser galvanizados para evitar la corrosión. En lo que se refiere a la instalación eléctrica se considera 3 centros de alumbrado, uno de ellos exterior y 4 enchufes distribuidos en dos cajas, con protector diferencial y tierra. Se acepta ductos sobrepuestos conforme al reglamento y normas de instalaciones eléctricas vigentes. Por último, se debe entregar impreso un manual de armado de la vivienda con el detalle de cada uno de los pasos necesarios para el montaje; considerando que la mano de obra podría ser no especializada. Se debe incluir explicaciones gráficas y escritas con todos los detalles del montaje, señalando los errores más frecuentes y la manera de evitarlos. Junto al manual de armado se incluirá un manual de mantención impreso; para mantener la vivienda en condiciones óptimas y evitar posibles daños o problemas.

4.3 ANALISIS PORTER Y CANVAS

4.3.1 ANÁLISIS PORTER

Poder de negociación de compradores:

Es bajo, en la medida en que existen muchos posibles compradores y el proyecto se debe ajustar a los costos y las características que exigidas.

Poder de negociación de proveedores:

Es bajo, en la medida en que el sector es competitivo y los proveedores, con la excepción de la impresora, que es un bien de activo fijo, son los materiales que habitualmente se compra para construir. Además, existe en Chile un número importante de proveedores lo que favorece la competencia.

Amenaza de nuevos competidores:

Es alta, en la medida en que para comenzar con este negocio basta tener la impresora 3D.

Amenaza de productos sustitutos

Es alta en la medida en que la innovación tecnológica es muy rápida en esta época. Por consiguiente, para mantenerse competitivo será necesario estar perfectamente informado de las nuevas tecnologías y de las nuevas maneras y técnicas para la construcción de viviendas.

Rivalidad entre los competidores

Es alta, en la medida en que, a pesar de que no habría competidores en un comienzo, es indudable que muchas empresas constructoras ofrecerán este servicio y será necesario postular en las mejores condiciones a cada una de las licitaciones.

En general, el análisis estratégico Porter, indica que el negocio podría ser viable, en los términos que se estudiará en el desarrollo de este trabajo. Sin embargo, el análisis realizado indica que rápidamente se desarrolla competencia, lo que aumenta seriamente el riesgo de viabilidad; a menos que se pueda competir tanto en la tecnología como en los costos. Además, la viabilidad del proyecto depende de la existencia catástrofes, lo que es aleatorio.

4.3.2 ANÁLISIS CANVAS

Propuesta de valor

El proyecto responde a una necesidad tecnológica. Por consiguiente, la propuesta de valor, considerando el cálculo realizado del precio por metro cuadrado, radica en el servicio prestado de construcción en el terreno.

Segmentación del mercado

El segmento de clientes se encuentra el Estado y en la industria de la construcción en general. En el primer caso se procede por licitaciones, por lo que no se considera acciones de marqueting para captar nuevos clientes.

Canales de distribución

La construcción se realiza en el sitio de emplazamiento del inmueble, por lo que los canales de distribución son inexistentes, salvo la instalación de la grúa puente y la impresora 3 D en el lugar y el transporte de los materiales.

Fuentes de ingreso

Las fuentes de ingreso son exclusivamente los contratos públicos o las ventas.

Recursos principales

Sin duda que el principal recurso es la tecnología de la construcción 3D. Se requiere invertir en la impresora y la grúa puente. El resto son las materias primas necesarias para cada operación licitada.

Actividades claves

Se considera la adquisición de la impresora 3D, la grúa puente y la capacitación de las personas para realizar las tareas necesarias para la construcción.

Por otra parte, se requiere capacitación en postulación a licitaciones públicas y postular a los mercados.

Socios claves

Se considera como socios claves, los inversionistas e inmobiliarias, con el objeto de llegar a poner el proyecto en el primer lugar de las licitaciones.

Estructura de costos

El costo de la construcción en 3D será enunciado en el presente trabajo. Sin embargo, por tratarse de construcción en terreno y no de entregas en bodegas, se considera que no habrá actividad mientras no haya un proyecto; lo que hace necesaria una estructura que esté siempre lista a intervenir.

Esto último, podría afectar la viabilidad del proyecto, aunque un estudio más profundizado de los diferentes escenarios permitirá enunciar de manera más fundada los resultados que serán obtenidos.

En conclusión, esto último afecta la viabilidad, en la medida en que se requiere financiar una estructura mínima que mantenga los equipos listos para actuar y que presente a tiempo las postulaciones a los mercados cuando sea necesario.

Según los elementos, hasta ahora estudiados a partir de los documentos de estudios anteriores que fueron consultados, se recomienda la implementación del proyecto, luego de un estudio más a fondo de las variables enunciadas, que se continuará realizando.

4.4 ESTUDIO ECONOMICO

4.4.1 TIEMPOS Y COSTOS DE LOS PROYECTOS CONSTRUIDOS CON LA AYUDA DE LAS IMPRESORAS 3D

Comparación de impresoras 3D

Para realizar la presentación de los tiempos y costos asociados a la propuesta, es necesario revisar los tiempos y costos implementando distintas impresoras 3D (BOD2 y CyBe Robot Crawler). De manera de poder tener una referencia en cuanto a cuál elegir en base a las necesidades del proyecto.

Los costos y tiempos asociados a la propuesta de construcción que se presentan a continuación son estipulados según los metros de construcción requeridos y están sustentados por las empresas fabricantes de la impresora 3D como base de cálculo. En el caso estudio planteado, el proyecto tiene las siguientes características:

PROYECTO	DESCRIPCION	AREA (m2)	DISTRIBUCIÓN
Vivienda	Proyecto familiar, que consta de 1 solo nivel	77	2 habitaciones, 1 sala, 1 comedor, cocina y 1 baño

Tabla 3. Descripción del proyecto.

En este sentido las empresas que implementan impresoras 3d, tienen una base guía referente a los costos asociados por el uso de la impresora y basados en los metros de construcción del proyecto. Esto permite realizar los cálculos estimados para el proyecto planteado.

En ese sentido, se presentan a continuación las alternativas de impresoras 3D estudiadas, siendo estas construidas y comercializadas por las empresas de COBOD y CyBe Construction respectivamente.

COBOD

La impresora COBOD es la BOD2, la cual presenta un diseño modular truss lo que permite configurar a la impresora a diferentes tamaños y formas y configurarla exactamente a cada proyecto. Permite una construcción rígida y resistente, garantizando la impresión estable.

La empresa resalta entre las características de este modelo de impresora, el alto control de calidad en el acabado y la textura de las superficies, autocontrol para regular alturas en caso de superficies irregulares y su amplia gama de materiales que usa para la impresión, manejando agregados de hasta 10mm lo que permite la impresión con concreto real y no solo mortero.

Para la investigación se tomó el modelo DBO2 5-5-3, el cual se presenta su estructura en la siguiente imagen:

Figura 4: Modelo DBOD2 de 5 módulos



Figura 4. Modelo DBO2 5-5-3 de COBOD, <https://cobod.com/calculator> , 2020

El precio de la impresora es de 350.000 euros, lo que equivalen a la fecha de la investigación a 316 millones de pesos chilenos (316.803.440,63 clp).

4.4.2 Mezcla recomendada por COBOD para 19 m³

El diseño de mezcla presentado la empresa COBOD, presenta características de la mezcla de concreto tradicional con la salvedad que su resistencia es superior a ésta última ya que una resistencia tradicional estándar está alrededor de 250 Kgf/cm², lo que equivale a 24 MPa este diseño propuesto por la empresa COBOD es de 530 Kgf/cm², lo que equivale a unos 52 MPa.

Material	Cantidad (ton)	Cantidad (Kg)	Precio (DKK) (1 EUR = 7.45 DKK)	Precio (EUR)
Cemento	6.12	6120	10374	1392.48
Arena de 0-2 mm	3.5	3500	595	79.87
Grava de 0-4 mm (0-8mm)	3.5	3500	637	85.50
Tejas recicladas de 0-4 mm (0-8mm)	4.38	4380	525	70.47
Agua	1.66	1660	62	8.32
Plastificante	0.04	40	191	25.64
Fibras agrietadas	0.02	20	1038	139.33
TOTAL	19.22	19220	13422	1801.61

Tabla 4. Mezcla recomendada por COBOD para 19 m³. Fuente: COBOD 2022.

La tabla anterior, presenta los precios desglosados por material y por toneladas a utilizar para la obtención de la mezcla con alcance de 19 m³. El precio total para esta mezcla en euros es de 1.801,6 (16.239.262,08 clp) por tonelada.

Considerando la Tabla 2, se calculan los precios por 1m³ los cuales se presentan en la Tabla 3.

Material	Cantidad (ton)	Cantidad (Kg)	Precio (DKK) (1 EUR = 7.45 DKK)	Precio (EUR)	Precio (\$)
Cemento	0.322	322.11	546	73.29	\$269.359
Arena de 0-2 mm	0.184	184.21	31	4.20	\$15.449
Grava de 0-4 mm (0-8mm)	0.184	184.21	34	4.50	\$16.540
Tejas recicladas de 0-4 mm (0-8mm)	0.231	230.53	28	3.71	\$13.632
Agua	0.087	87.37	3	0.44	\$1.610
Plastificante	0.002	2.11	10	1.35	\$4.959
Fibras agrietadas	0.001	1.05	55	7.33	\$26.951
TOTAL	1.0	1011.58	700	93.96	\$345.350

Tabla 5. Mezcla recomendada por 1 m³ en base a la mezcla COBOD para 19 m³. Fuente: COBOD 2022.

Los precios presentados en la Tabla 3 indican que el precio por 1 m³ de mezcla implementada por la empresa COBOD es de 700 DKK (Corona Danesa), lo que equivale a 93,96 euros. Realizando la equivalencia de este precio a pesos chilenos se consideró la tasa del día del análisis la cual es de 1 euro=894,80 pesos chilenos, lo que da como resultado que un 1 m³ de mezcla a la fecha es de 84.075,41 pesos chilenos, unos 2,62 UF (considerando una tasa de 1UF=32.035,50 pesos chilenos).

Estos precios presentados por la empresa consideran todos los factores asociados a la construcción del proyecto, proyectando tiempos de construcción, uso de material y el por supuesto el costo de la impresión 3D. Es importante considerar, que estos incluyen los cálculos de paredes exteriores de doble cara y paredes interiores una sola cara, de 5 cm. de ancho y una altura de 2m.

Figura 4.1 Ilustración de capas de muro y aislación

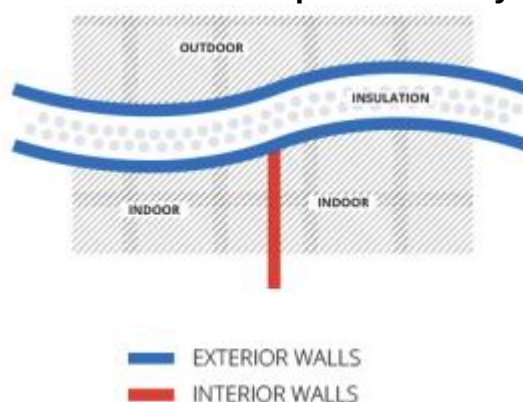


Figura 4.1. Esquema de paredes exteriores e interiores. Fuente: COBOD 2022

Los costos sugeridos por COBOD también contemplan los espesores de las paredes, instalación y desinstalación de la máquina, así como los operarios de la impresora 3D.

Esto último en Chile equivale a un precio de operación de la máquina por hora de 3.208,26 pesos chilenos, considerando una jornada laboral de 6 horas diarias y 30 días, da como resultado un costo mensual de 577.486,8 pesos chilenos. Considerando el salario mensual de un maestro de obra el cual está alrededor de 488.000 pesos chilenos, el costo de operación de la impresora 3D está dentro del rango de salarios en sector construcción. En este sentido se maneja un operario y dos ayudantes para la impresora.

No.	Descripción	Sueldo (pesos chilenos)
1	MAESTRO DE OBRA	488.500,00
3	JORNAL	430.000,00
4	AYUDANTE	425.000,00
6	OPERADOR	425.000,00
7	CHOFER	425.000,00

Tabla 6. Precios asociados a los trabajadores en el sector construcción. Fuente: Cámara Chile de la Construcción 2022

Para obtener el precio de envío desde Dinamarca a Chile, se realizaron varias cotizaciones de empresas de envío internacional de carga pesada tanto marítima como aérea. La empresa de la cual se obtuvo una cotización es de lcontainers.com.

Figura 4.2: Empresa para la cotización de envío de impresora

The screenshot shows the lcontainers.com website interface for shipping containers. The header text reads "Enviar contenedores a Chile". Below this, there is a form with three main sections: "ORIGEN DE LA CARGA" (Origin of the cargo) with a dropdown menu showing "Copenhage", "DESTINO DE LA CARGA" (Destination of the cargo) with a dropdown menu showing "Valparaíso", and "¿CONTENEDOR COMPLETO O COMPARTIDO?" (Container complete or shared?) with a dropdown menu showing "Contenedor/es completo/s". To the right of these fields is an orange button labeled "OBTENER COTIZACIÓN". Below the form, there are three small sections: "PUERTO DE COPENHAGE" with a dropdown arrow, "PUERTO DE VALPARAÍSO" with a dropdown arrow, and "1 X HC40" with a "MODIFICAR" button.

Figura 4.2: Empresa de cotización para importación de maquinaria hacia Chile.

El servicio prestado por la empresa no realiza importaciones directamente desde Dinamarca hasta Chile, por lo que se debe realizar el envío de Dinamarca a EE. UU. y desde este último a Chile.

Figura 4.3: Costos de transporte

The screenshot shows a detailed quote on the lcontainers.com website. At the top, there are two origin options: "DKCPH - Puerto de COPENHAGE (DINAMARCA)" and "USHOU - Puerto de HOUSTON, TX (ESTADOS UNIDOS)". The destination is "CARGA FCL" and "1xDV20". Below this, there is a section "SERVICIOS INCLUIDOS:" (Included services) with checkboxes for "RECOGIDA" (Collection), "PUERTO DE ORIGEN" (Origin port), "FLETE MARÍTIMO" (Maritime freight), "PUERTO DE DESTINO" (Destination port), and "ENTREGA" (Delivery). The "FLETE MARÍTIMO" checkbox is checked. To the right, there is a section "1 resultado encontrados" (1 result found) with a "Click here to experience our new and improved booking process" link. Below this, there is a "Avisos importantes (5)" (Important notices) section. The main quote details are as follows:

Desglose de precios	
FLETE Y RECARGOS	9837,43 €
GASTOS ADMINISTRATIVOS	9,50 €
SUBTOTAL:	9846,93 €
IVA:	0,00 €
TOTAL:	9846,93 €

At the bottom, there is a "COTIZAR" button. The quote also includes a "TIEMPO DE TRÁNSITO ESTIMADO" (Estimated transit time) of 4 días and a "SIGUIENTE SALIDA" (Next departure) of 05-may-2022 every 7 días.

Figura 1.3. Cotización de envío de Dinamarca a Estados Unidos.

Figura 4.4 Costos de transporte Impresora de EE. UU. a Chile

SERVICIOS INCLUIDOS:

- ☐ **RECOGIDA**
Recogida de la carga en el código postal de origen indicado.
- ☒ **PUERTO DE ORIGEN**
Servicios asociados al puerto de origen: carga del contenedor en el barco, despacho de aduanas...
- ☒ **FLETE MARÍTIMO**
Transporte de la carga de un puerto a otro.
- ☐ **PUERTO DE DESTINO**
Servicios asociados al puerto de destino: descarga del contenedor del barco, despacho de aduanas...
- ☐ **ENTREGA**
Entrega de la carga en el código postal de destino indicado.

15 resultados encontrados

Sólo rutas directas: ☐ Sí ☒ No

EUR (€) ▼

MÁS BARATO ▼

[Click here to experience our new and improved booking process](#) →

Avisos importantes (4)

1. Recogida no incluida
[Cambia la ruta](#) para incluir la recogida

USHOU - Puerto de Houston, Tx
ESTADOS UNIDOS

DIRECTO

CLSAI - Puerto de San Antonio
CHILE

CARGA: FCL - Contenedor completo
1 x DV20

Desglose de precios

FLETE Y RECARGOS	1734,15 €
GASTOS ADMINISTRATIVOS	9,50 €
GASTOS LOCALES	424,76 €
SUBTOTAL:	2168,41 €
IVA:	0,00 €
TOTAL:	2168,41 €

TIEMPO DE TRÁNSITO ESTIMADO: 20 Días

SIGUIENTE SALIDA: 05 mayo 2022, 09:30

Figura 4.4: Cotización de envío de Estados Unidos a Chile.

Al momento de las cotizaciones se debió considerar que las empresas de envío modificaron rutas debido a la situación mundial de la pandemia y la situación política del Continente Europeo. Por lo que el costo de envío de la impresora desde Dinamarca a Chile es de 12.015,34 euros, lo que equivale para la fecha de la investigación de 10 millones de pesos chilenos (10.900.368 clp).

CyBe Construction

La impresora móvil de CyBe Construcción es una impresora descrita por su fabricante como una impresora de concreto 3D móvil que se puede usar en múltiples ubicaciones. Posee un brazo robótico que está acoplado a una oruga móvil con orugas de goma que facilitan la maniobra de la impresora independientemente del terreno. Los pies hidráulicos estabilizan la máquina mientras imprime y son extensibles, aumentando la altura total imprimible de los proyectos.

El sistema de bomba de mezcla mueve el mortero CyBe a través de una manguera de bomba de concreto hasta el brazo robótico, que luego imprime en 3D

en la ubicación programada. El robot en sí se controla a través de una unidad de control que ejecuta el software CyBe.



3D CONCRETE PRINTERS:



Figura 4.5. Impresora Móvil de CyBe Construcción. Fuente: CyBe Construcción.

Los costos de esta impresora varían según su tamaño, que para la fecha de la investigación y según información publicada en la página de CyBe Construcción, están desde 195.000 euros. No pudiendo obtener de la empresa los precios de todos los modelos disponibles. Por lo que se consideró el precio de 195.000 euros. La empresa tampoco cuenta con un diseño de mezcla disponible para consulta.

Para obtener el precio de envío desde Holanda hasta Chile, al igual que con la empresa COBOD se realizaron varias cotizaciones de empresas de envío internacional de carga pesada tanto marítima como aérea. La empresa de la cual se obtuvo una cotización es de Icontainers.com. Al momento de la cotización la empresa no dispone de viajes desde Holanda, por lo que se consideró el precio de envío desde un país vecino de manera de obtener un precio equivalente.

BEANR - Puerto de ANTWERP (BELGICA) EDITAR

USHOU - Puerto de HOUSTON, TX (ESTADOS UNIDOS)

CARGA FCL EDITAR

1xDV20

SERVICIOS INCLUIDOS:

- ☐ RECOGIDA
Recogida de la carga en el código postal de origen indicado.
- ☐ PUERTO DE ORIGEN
Servicios asociados al puerto de origen: carga del contenedor en el barco, despacho de aduanas...
- ☒ FLETE MARÍTIMO
Transporte de la carga de un puerto a otro.
- ☐ PUERTO DE DESTINO
Servicios asociados al puerto de destino: descarga del contenedor del barco, despacho de aduanas...
- ☐ ENTREGA
Entrega de la carga en el código postal de destino indicado.

3 resultados encontrados

Sólo rutas directas: ☐ Sí ☒ No EUR (€) MÁS BARATO

[Click here to experience our new and improved booking process](#)

Avisos importantes (5)

1. **BEANR** - Puerto de Antwerp BELGICA

DIRECTO

USHOU - Puerto de Houston, Tx ESTADOS UNIDOS

Entrega no incluida
[Cambia la ruta para incluir la entrega](#)

CARGA: **FCL** - Contenedor completo
1 x DV20 [Ver restricciones de mercancía](#)

OCULTAR DETALLES

Desglose de precios

FLETE Y RECARGOS	7962,11 €
GASTOS ADMINISTRATIVOS	9,50 €
SUBTOTAL:	7971,61 €
IVA:	0,00 €
TOTAL:	7971,61 €

TIEMPO DE TRÁNSITO ESTIMADO 24 Días

SIGUIENTE SALIDA 05-may-2022 cada 7 Días

COTIZAR

Figura 4.6. Cotización de envío de equivalente desde Holanda a Estados Unidos.

USHOU - Puerto de Houston (ESTADOS UNIDOS) EDITAR

CLVAP - Puerto de Valparaíso (CHILE) EDITAR

CARGA FCL EDITAR

1xDV20

SERVICIOS INCLUIDOS:

- ☐ RECOGIDA
Recogida de la carga en el código postal de origen indicado.
- ☐ PUERTO DE ORIGEN
Servicios asociados al puerto de origen: carga del contenedor en el barco, despacho de aduanas...
- ☒ FLETE MARÍTIMO
Transporte de la carga de un puerto a otro.
- ☐ PUERTO DE DESTINO
Servicios asociados al puerto de destino: descarga del contenedor del barco, despacho de aduanas...
- ☐ ENTREGA
Entrega de la carga en el código postal de destino indicado.

15 resultados encontrados

Sólo rutas directas: ☐ Sí ☒ No EUR (€) MÁS BARATO

[Click here to experience our new and improved booking process](#)

Avisos importantes (4)

1. Recogida no incluida
[Cambia la ruta para incluir la recogida](#)

USHOU - Puerto de Houston, Tx ESTADOS UNIDOS

DIRECTO

CLVAP - Puerto de Valparaíso CHILE

CARGA: **FCL** - Contenedor completo
1 x DV20

OCULTAR DETALLES

Desglose de precios

FLETE Y RECARGOS	1734,15 €
GASTOS ADMINISTRATIVOS	9,50 €
SUBTOTAL:	1743,65 €
IVA:	0,00 €
TOTAL:	1743,65 €

TIEMPO DE TRÁNSITO ESTIMADO 36 Días

SIGUIENTE SALIDA 05-may-2022 cada 7 Días

COTIZAR

Figura 4.7. Cotización de envío de Estados Unidos a Chile.

Al momento de las cotizaciones se debió considerar que las empresas de envío modificaron rutas debido a la situación mundial de la pandemia y la situación política del Continente Europeo. Por lo que el costo de envío de la impresora desde Holanda a Chile es de 9.715,26 euros, lo que equivale para la fecha de la investigación de 8 millones de pesos chilenos (8.813.739 clp).

4.5 Selección de impresora

La selección de la impresora 3D se basa en las características de cada una, los servicios que ofrece cada empresa y de los precios de adquisición y envío. Por lo que cabe destacar las siguientes diferencias entre ambas opciones:

Tabla 7: Comparación Empresas

COBOD	CyBe Construcción
Diseño modular truss lo que permite configurar a la impresora a diferentes tamaños y formas y configurarla exactamente a cada proyecto. Permite una construcción rígida y resistente, garantizando la impresión estable. Alto control de calidad en el acabado y la textura de las superficies, autocontrol para regular alturas en caso de superficies irregulares y su amplia gama de materiales que usa para la impresión, manejando agregados de hasta 10mm lo que permite la impresión con concreto real y no solo mortero.	Impresora concreta 3D móvil y se puede utilizar en múltiples ubicaciones. Gracias a su portabilidad, esta impresora es ideal para empresas constructoras y fábricas prefabricadas. Tiene un brazo robótico ABB se asienta sobre una oruga de goma y móvil que facilitan la maniobra de la impresora en cualquier terreno. Los pies hidráulicos estabilizan la máquina mientras imprime y son extensibles, aumentando la altura total imprimible dependiendo los proyectos.
El precio de la impresora es de 350.000 euros, lo que equivale a 316.803.440.63 pesos chilenos al 2022.	Tiene un costo desde 195.000 euros, lo que equivale a 176.909.850 pesos chilenos al 2022. No se dispone del costo de cada uno del modelo, sin embargo su adquisición incluye: • Brazo robótico • Sistema de orugas • Unidad de control (incluido el software de CyBe) • Sistema de bomba de mezcla Almacenamiento de material
Precio de envío 12.015,34 euros, lo que equivale para la fecha de la investigación de 10 millones de pesos chilenos (10.900.368 clp).	Precio de envío de 9.715,26 euros, lo que equivale para la fecha de la investigación de 8 millones de pesos chilenos (8.813.739 clp).

Tabla 7. Comparación de las alternativas de Impresoras 3D.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costos de cada impresora y que incluyen.

Tabla 8: Comparación costos

EMPRESA	EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D	COSTO ADQUISICIÓN		COSTO ENVÍO	
		EUROS	PESOS CHILENOS	EUROS	PESOS CHILENOS
COBOD	BOD2 5-5-3	350.000	316.803.440,63	12.015,34	10.900.368
CyBe CONSTRUCCION	CyBe Robot Crawler (Mobile 3D Printer)	Desde 195.000	176.909.850	9.715,26	8.813.739

Tabla 8. Comparación de precios de adquisición y envío de las alternativas de Impresoras 3D.

Según los datos comparativos presentados en la Tabla 7, se puede apreciar que la impresora 3D que ofrece COBOD es de 350.000 euros, sin embargo, no se tiene un precio específico del modelo de la impresora 3D de la empresa CyBe CONSTRUCCION por lo que se estima que el precio publicado por esta última correspondería al modelo más pequeño; asumiendo esto se puede considerar que impresora de mayor tamaño similar a la de COBOD podría estar en el mismo orden de precio. Por ende, los precios de envío deberían ser igualmente similares.

Sin embargo, en cuanto a los servicios ofrecidos incluidos en los precios de cada empresa, COBOD incluye servicios de mantenimientos, Software y Capacitaciones de operadores. Mientras que CyBe CONSTRUCCION sólo ofrece el Software.

Por lo todo lo anterior se elige la empresa COBOD por brindar mejor y mayor detalle de máquina, así como por los servicios que ofrece por la adquisición de la misma.

4.6 TIEMPOS Y COSTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE UNA VIVIENDA CON LA IMPRESORA 3D SELECCIONADA

La empresa COBOD dispone de un guía calculador que permite obtener los tiempos de construcción, materiales y costos de un proyecto. Estos dependen de diferentes variables que se introducen en el calculador, y entre estos están: dimensiones del proyecto, el espesor de los muros, la velocidad de la impresora, entre otros. Las ilustraciones 9, 10 y 11 muestran el modelo de plantilla de la empresa COBOD.

The image shows a web-based calculator interface for COBOD. At the top is a dark navigation bar with the COBOD logo and links: Hogar, Sobre nosotros, El edificio BOD, Impresoras de construcción 3D (with a dropdown arrow), Videos, prensa, and Contact. Below the navigation bar is the title 'ESPECIFICACIONES DE EDIFICIO'. The main form is divided into two columns. The left column has a label 'M2 total de pared exterior *' above a text input field, with a note below: 'La longitud de cada pared multiplicada por la altura, todas las paredes exteriores'. The right column has a label 'M2 total de pared interior *' above a text input field, with a note below: 'La longitud de cada pared multiplicada por la altura, todas las paredes interiores'. Below these is a section header 'IMPRIMIR CAPA Y PARAMETROS DE VELOCIDAD'. This section contains three input fields: 'Espesor de pared (cm) *' with a note 'El ancho de cada capa de impresión (se recomiendan 5 cm)', 'Altura de la capa (cm) *' with a note 'La altura de cada capa de impresión (se recomiendan 2 cm)', and 'Velocidad de impresión (cm / s) *' with a note 'Se recomiendan 30 cm / s. (Mínimo 10 cm / s, la impresora puede hacer un máximo de 100 cm / s, pero los materiales para esa velocidad serán un desafío)'. At the bottom is a label 'Material impreso por hora (m3 / h)' above a text input field.

COBOD

Hogar Sobre nosotros El edificio BOD Impresoras de construcción 3D Videos prensa Contact

ESPECIFICACIONES DE EDIFICIO

M2 total de pared exterior *

M2 total de pared interior *

La longitud de cada pared multiplicada por la altura, todas las paredes exteriores

La longitud de cada pared multiplicada por la altura, todas las paredes interiores

IMPRIMIR CAPA Y PARAMETROS DE VELOCIDAD

Espesor de pared (cm) *

Altura de la capa (cm) *

Velocidad de impresión (cm / s) *

El ancho de cada capa de impresión (se recomiendan 5 cm)

La altura de cada capa de impresión (se recomiendan 2 cm)

Se recomiendan 30 cm / s. (Mínimo 10 cm / s, la impresora puede hacer un máximo de 100 cm / s, pero los materiales para esa velocidad serán un desafío)

Material impreso por hora (m3 / h)

Figura 4.8. Plantilla de Especificaciones del proyecto de COBOD

ENTRADA ECONÓMICA

Precio de material por m3 *

El precio del concreto 3D es típicamente el precio del concreto normal + 20%

Número de operadores *

Recomendamos 2 operadores, pero se puede hacer con 1

Tarifa por hora para operadores de impresoras (moneda local) *

Variará considerablemente de un país a otro

TIEMPO DE CONFIGURACIÓN Y FACTOR DE RIESGO

Factor de seguridad (porcentaje,%) *

Ejemplo: el 50% aumenta el número de horas de impresión en un 50%; deje que refleje la cantidad de experiencia que tiene con la impresión de construcción en 3D

Tiempo de configuración de la impresora en el sitio (horas) *

La configuración inicial requerirá 8 horas

Tiempo de inactividad de la impresora en el sitio (horas) *

El primer desmontaje requerirá 4 horas.

Número de trabajadores involucrados en la instalación / desmontaje *

Se recomiendan 2 trabajadores

COSTO TOTAL, TIEMPO Y MATERIAL NECESARIO

Total m2 de paredes (m2)

Total m2 de paredes a imprimir (m2)

(Incluidas paredes exteriores de doble cara)

Uso total de material (m3)

Horas de tiempo de impresión: teórico (horas)

Figura 4.9. Plantilla Especificaciones del proyecto, costo total, tiempo y material necesario para el proyecto.

Horas de tiempo de impresión necesarias, incluido el factor de seguridad (horas)

Total de horas del operador para imprimir (horas) Total de horas de operación para el proyecto (horas)

incl. preparación *incl. configuración y tiempo de inactividad*

Costo total de los operadores. Costo total por m2 de muro Costo total del concreto

moneda local *moneda local* *moneda local*

Costo total del proyecto.

Figura 4.10. Plantilla Especificaciones del proyecto, costo total, tiempo y material necesario para el proyecto

En las plantillas como se puede observar para cada una de variables presenta sugerencias para las entradas de cálculo, de manera de asegurar un aprovechamiento óptimo de impresora 3D, así como de los recursos necesarios para poder realizar la impresión.

Para aplicar el cálculo al proyecto, se tomarán los datos presentados en la siguiente:

Tabla 9: Especificaciones proyecto

PROYECTO VIVIENDA	
Niveles de construcción	1
Área paredes exteriores m ²	97,30
Área paredes exteriores (m ²)	54,20
Ancho de capa (cm)	5
Alto de capas (m)	2
Operadores (und)	1

Ayudantes (und)	2
Precio del hormigón (clp)	94.698,60
Costo de operador por hora (clp)	3.208,26
Porcentaje de seguridad de impresión (%)	50%
Tiempo de configuración de la impresora (horas)	8
Tiempo de Inactividad de la impresora (horas)	4

Tabla 9. Variables de entrada para el cálculo de costos del proyecto de la Vivienda Unifamiliar

Considerando los valores de la Tabla 8, los resultados arrojados por la plantilla se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 10: Resultados software

PROYECTO VIVIENDA	
Material impreso (m³/h)	1,17
Total, metros cuadrados a imprimir (m²)	248,80
Material total para uso (m³)	12,49
Horas de impresión teóricas	11,52
Horas de impresión teóricas con factor de seguridad	17,28

Total, horas por operador para imprimir	19,69
Total, horas para operación de imprimir	45,10
Costo total del operador (clp)	144.692,53
Costo Total del material (clp)	1.182.785,51
Costo Total del proyecto (clp)	1.327.478,04

Tabla 10. Resultados del cálculo de costos del proyecto de la Vivienda Unifamiliar

En la Tabla 9 se puede observar que, para realizar el proyecto de la Vivienda Unifamiliar, la impresora 3D de COBOD necesita unas 17,28 horas para poder imprimir un ejemplar del modelo. Lo que conlleva a un costo de operador de 144.692,53 clp, un costo total del material de Hormigón de 1.182.785,51 clp y un costo total del proyecto de 1.327.478,04 clp.

4.7 CRONOGRAMAS DEL PROYECTO

Para el desarrollo de los cronogramas se empleó el programa de Microsoft Office Project, el cual es una de las herramientas más utilizadas para la gestión de proyectos. Es un software diseñado por Microsoft y sirve para organizar tareas, actividades, citas e incluso recursos de una manera fácil y ordenada. Permitiendo a su vez adaptarse a cada empresa, según su sector, tamaño y actividades que ésta realiza. Así como a los diferentes tipos de proyectos que existen.

En este sentido, los datos de entrada y fijados para poder elaborar el cronograma se muestran a continuación, y son un requisito de inicio para la configuración del cronograma

- Fecha de inicio del proyecto: 07 de septiembre de 2022.
- Días laborales de lunes a sábados
 - Lunes a viernes de 8 am – 12pm / 1pm a 6:30pm

- Sábados de 8 am – 1pm
- Domingos no laborables
- Se configuró el calendario con los respectivos festivos que contiene el año 2022-2023 en Chile

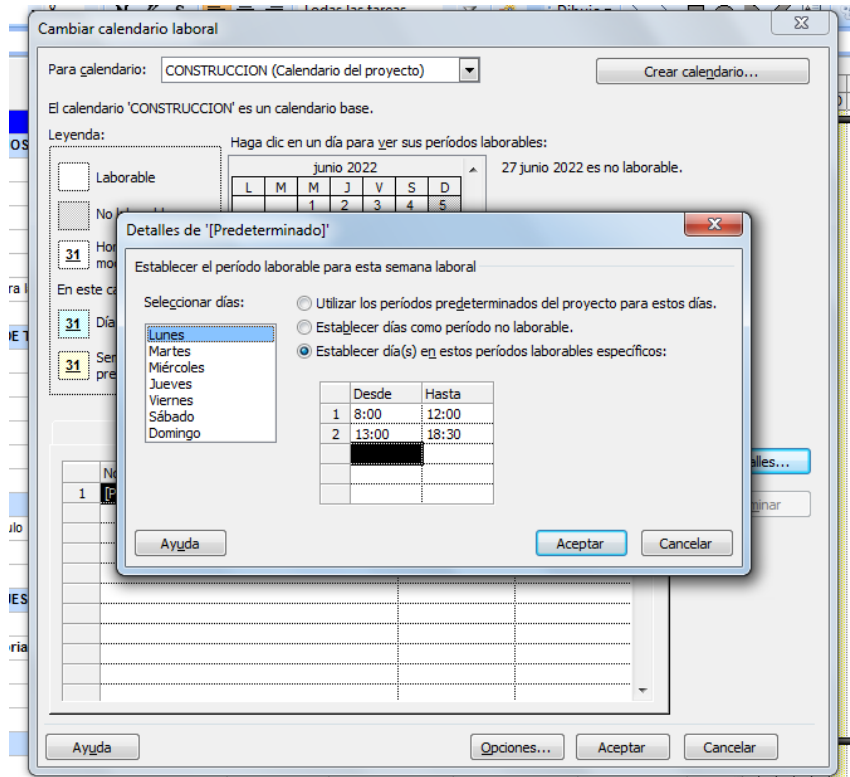


Figura 4.11. Configuración de horario de lunes a viernes para el proyecto de vivienda unifamiliar

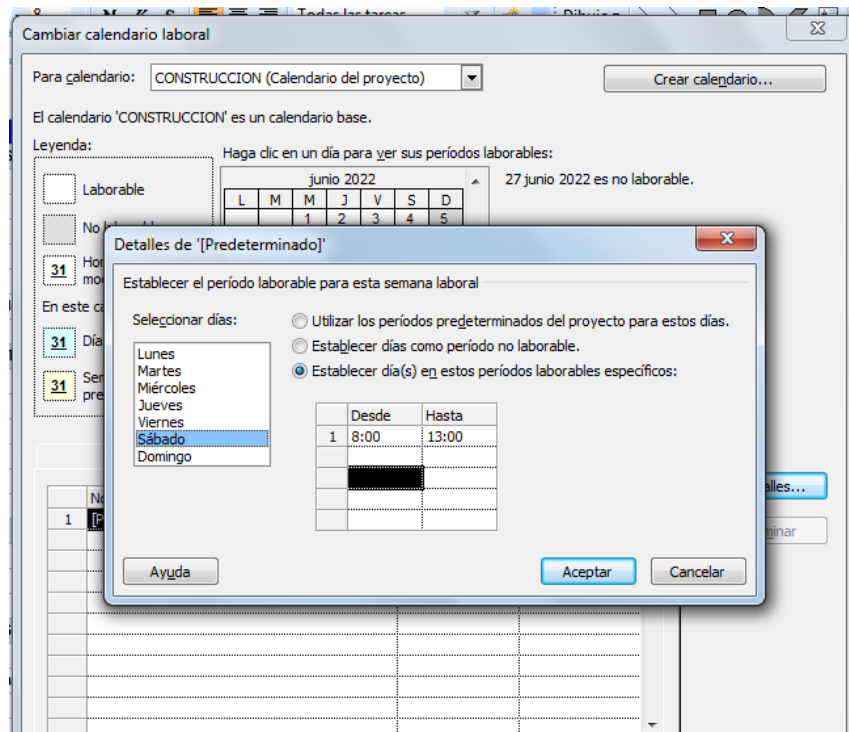


Figura 4.12. Configuración de horario de sábados para el proyecto de vivienda unifamiliar

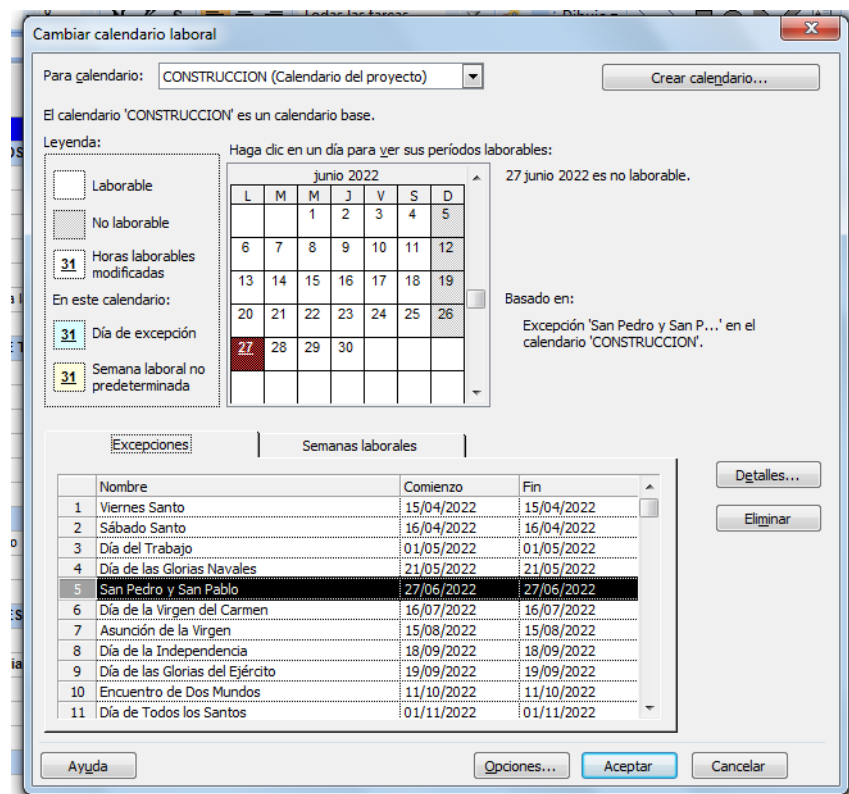


Figura 4.13. Configuración de días feriados para el proyecto de vivienda unifamiliar

La configuración final mostrada por el programa MS Project del proyecto en donde se consideran los parámetros anteriores, la asignación de las tareas o actividades a realizar con sus respectivas duraciones, según cada etapa del proyecto se presenta en las siguientes imágenes:

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre
1	CASA UNIFAMILIAR	137,81 días?	lun 05/09/22	vie 03/02/23	
2	SECCIÓN N° 1 TRAZADO Y MOVIMIENTO DE TIERRA	2 días	lun 05/09/22	mar 06/09/22	
3	Replanteo	2 días	lun 05/09/22	mar 06/09/22	
4	Trazado y Nivelación	2 días	lun 05/09/22	mar 06/09/22	
5	Excavaciones	2 días	lun 05/09/22	mar 06/09/22	
6	Rellenos Compactados	1 día	lun 05/09/22	lun 05/09/22	
7	SECCIÓN N° 2 CARPINTERÍA DE OBRA GRUESA	2 días	lun 05/09/22	mié 07/09/22	
8	Encofrados y moldajes	2 días	lun 05/09/22	mié 07/09/22	6
9	SECCIÓN N° 3 FUNDACIONES	40 días	mié 07/09/22	sáb 22/10/22	
10	Enfierradura de Fundaciones	10 días	mié 07/09/22	sáb 17/09/22	8
11	Cimientos Hormigón Corrido H-15	10 días	mar 20/09/22	jue 29/09/22	10
12	Cimientos aislados Hormigón H-20	10 días	jue 29/09/22	mié 12/10/22	11
13	Sobrecimientos Hormigón H-20	10 días	mié 12/10/22	sáb 22/10/22	12
14	SECCIÓN N° 4 BASES DE PAVIMENTOS	38 días	sáb 22/10/22	vie 02/12/22	
15	Emplantillados	10 días	sáb 22/10/22	jue 03/11/22	13
16	Barrera de humedad - Polietileno 0.20 mm	8 días	sáb 22/10/22	lun 31/10/22	13
17	Enfierradura Readier	10 días	lun 31/10/22	vie 11/11/22	16
18	Radier Hormigón H-15	10 días	vie 11/11/22	mié 23/11/22	17
19	Losas	10 días	mié 23/11/22	vie 02/12/22	18
20	Sobrelosas	0 días	vie 02/12/22	vie 02/12/22	19
21	SECCIÓN N° 5 ESTRUCTURA RESISTENTE	11,06 días	sáb 03/12/22	vie 16/12/22	
22	Pilares, cadenas, losas, vigas, pilarejos, dinteles y antepechos de muros estr	11,06 días	sáb 03/12/22	vie 16/12/22	20
23	SECCIÓN N° 6 INSTALACIONES SANITARIAS	77,19 días?	lun 10/10/22	mar 03/01/23	
24	ALCANTARILLADO DE AGUAS SERVIDAS	13 días	lun 10/10/22	lun 24/10/22	
25	Excavaciones	2 días	lun 10/10/22	mié 12/10/22	6
26	Relleno de zanjas	1 día	mié 12/10/22	jue 13/10/22	25
27	Tuberías de PVC sanitario	10 días	jue 13/10/22	lun 24/10/22	26
28	Cameras de inspección	8 días	jue 13/10/22	vie 21/10/22	26

Figura 4.14. Configuración final de MS Project para el proyecto de vivienda unifamiliar

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
23	SECCION N° 6 INSTALACIONES SANITARIAS	77,19 días?	lun 10/10/22	mar 03/01/23	
24	ALCANTARILLADO DE AGUAS SERVIDAS	13 días	lun 10/10/22	lun 24/10/22	
25	Excavaciones	2 días	lun 10/10/22	mié 12/10/22	6
26	Relleno de zanjas	1 día	mié 12/10/22	jue 13/10/22	25
27	Tuberías de PVC sanitario	10 días	jue 13/10/22	lun 24/10/22	26
28	Cameras de inspección	8 días	jue 13/10/22	vie 21/10/22	26
29	Piletas de piso	8 días	jue 13/10/22	vie 21/10/22	26
30	Ventilaciones	10 días	jue 13/10/22	lun 24/10/22	26
31	AGUA POTABLE FRIA	10 días	lun 05/12/22	jue 15/12/22	
32	Red de agua fria	8 días	lun 05/12/22	mié 14/12/22	
33	Pruebas Hidraulicas	2 días	mié 14/12/22	jue 15/12/22	32
34	INSTALACIONES DE AGUA LLUVIA	1 día?	lun 02/01/23	mar 03/01/23	
35	Instalación de Tuberías PVC 4"	1 día?	lun 02/01/23	mar 03/01/23	39
36	SECCION N° 7 INSTALACIONES ELECTRICAS	6 días	lun 05/09/22	sáb 10/09/22	
37	Canalización Interior	2 días	lun 05/09/22	mar 06/09/22	
38	Cableado, instalación de artefactos eléctricos	6 días	lun 05/09/22	sáb 10/09/22	
39	SECCIÓN N° 8 IMPRESIÓN DE MUROS	15,75 días	vie 16/12/22	lun 02/01/23	
40	Impresión muros exteriores	1 día	vie 16/12/22	sáb 17/12/22	22
41	Impresión muros interiores	0 días	vie 16/12/22	vie 16/12/22	22
42	Graffiles	10 días	sáb 17/12/22	mié 28/12/22	40,41
43	Epóxico tipo Sika Anchofix-4	4 días	jue 29/12/22	lun 02/01/23	40,41
44	Muros de mesón	10 días	sáb 17/12/22	mié 28/12/22	40,41
45	SECCIÓN N° 9 PAVIMENTOS INTERIORES, GUARDAPOLVOS Y GRADAS	27 días	mié 28/12/22	jue 26/01/23	
46	Pavimento cerámica 33x33cm	27 días	mié 28/12/22	jue 26/01/23	44
47	SECCIÓN N° 10 CUBIERTA DE TECHUMBRE	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	
48	Barrera de humedad - Polietileno 0.20 mm	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39
49	Canales de aguas lluvias	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39
50	Caballetes de ZINCALUM 0,4 mm	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39

Figura 4.15. Configuración final de MS Project para el proyecto de vivienda unifamiliar

	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
47	– SECCIÓN N° 10 CUBIERTA DE TECHUMBRE	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	
48	Barrera de humedad - Polietileno 0.20 mm	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39
49	Canales de aguas lluvias	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39
50	Caballetes de ZINCALUM 0,4 mm	10 días	lun 02/01/23	jue 12/01/23	39
51	– SECCIÓN N° 11 REVESTIMIENTO Y AISLACIÓN TÉRMICA	15 días	lun 02/01/23	mié 18/01/23	
52	Revestimiento exterior SIDING FIBROCEMENTO 6 mm aislación térmica	15 días	lun 02/01/23	mié 18/01/23	39
53	– SECCIÓN N° 12 PUERTAS Y VENTANAS	15 días	mié 18/01/23	vie 03/02/23	
54	Puerta Tipo 1	15 días	mié 18/01/23	vie 03/02/23	52
55	Puerta Tipo 2	15 días	mié 18/01/23	vie 03/02/23	52
56	Ventana Tipo 1	15 días	mié 18/01/23	vie 03/02/23	52
57	Ventana Tipo 2	10 días	mié 18/01/23	sáb 28/01/23	52
58	– SECCIÓN N° 13 LIMPIEZA	4 días	sáb 28/01/23	jue 02/02/23	
59	Retiro de escombros	4 días	sáb 28/01/23	jue 02/02/23	57
60	Limpieza y Aseo	4 días	sáb 28/01/23	jue 02/02/23	57
61	– SECCIÓN N° 14 METODOLOGÍA BIM	20 días	lun 05/09/22	mar 27/09/22	
62	Software	20 días	lun 05/09/22	mar 27/09/22	
63	Diseño estructural y arquitectónico	15 días	lun 05/09/22	mié 21/09/22	
64	Presupuesto	10 días	lun 05/09/22	mié 14/09/22	
65	Programación de Obra	6 días	lun 05/09/22	sáb 10/09/22	
66	Modelado en Revit	10 días	lun 05/09/22	mié 14/09/22	
67	Capacitación	10 días	lun 05/09/22	mié 14/09/22	
68	Computadores	10 días	lun 05/09/22	mié 14/09/22	
69	Residente BIM	0 días	lun 05/09/22	lun 05/09/22	
70	Coordinador BIM	15 días	lun 05/09/22	mié 21/09/22	
71	– SECCIÓN N° 15 IMPRESORAS 3D	20 días	lun 05/09/22	mar 27/09/22	
72	Envío de la impresora	10 días	lun 05/09/22	mié 14/09/22	
73	Impresora más capacitación	10 días	jue 15/09/22	mar 27/09/22	72
74	Ingeniero encargado	10 días	jue 15/09/22	mar 27/09/22	72

Figura 4.16. Configuración final de MS Project para el proyecto de vivienda unifamiliar

El proyecto arrojó una duración de 137,81 días, esto debido no sólo a la adquisición de la impresora 3D, sino también a las consideraciones que se le deben realizar a los proyectos de construcción en Chile en cuanto a la protección y revestimiento para la protección por frío y humedades. Las duraciones establecidas para las partidas se tomaron considerando la experiencia en campo y referencia de otros proyectos con partidas similares.

La ruta crítica según el cronograma establecido, la representan las secciones de terminaciones de la estructura, por lo que se pueden ajustar los tiempos para reducir la duración del mismo.

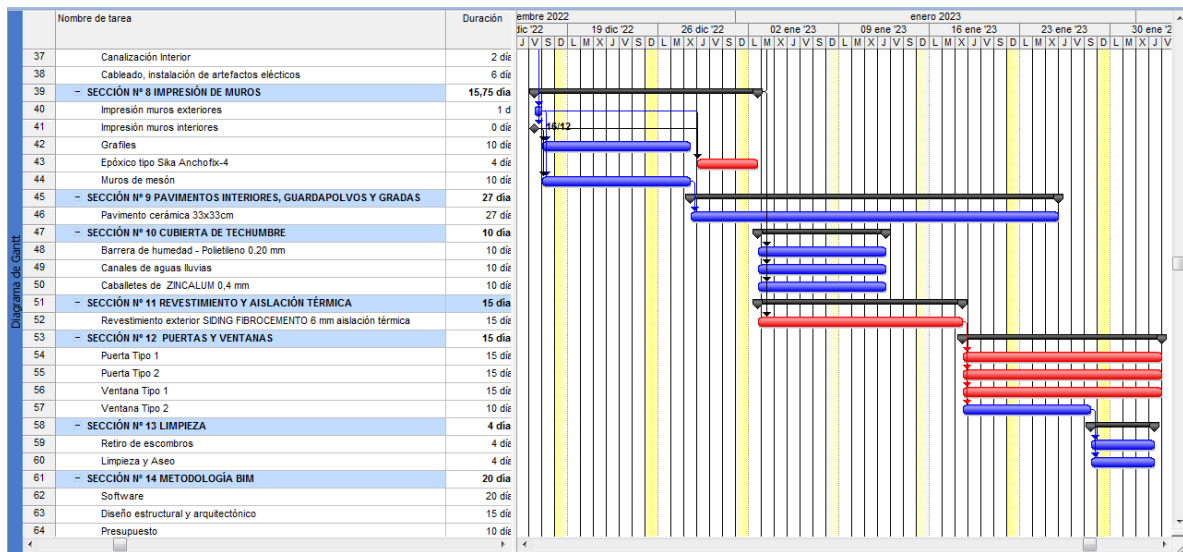


Figura 4.17. Ruta Crítica según MS Project para el proyecto de vivienda unifamiliar

4.8 PRESUPUESTOS DEL PROYECTO

El cronograma elaborado en MS Project es el itemizado a utilizar para el cálculo del costo total por la construcción de la vivienda, y por ende de los costos necesarios para la inversión que se debe realizar para implementar la tecnología en la construcción del mismo.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	SECCIÓN N.º 1 TRAZADO Y MOVIMIENTO DE TIERRA				
1	Replanteo	m2	100,00	768,11	76.811,00
2	Trazado y Nivelación	m3	50,00	10.000,00	500.000,00
3	Excavaciones	m3	50,00	7.400,00	370.000,00
4	Rellenos Compactados	m3	50,00	2.974,00	148.700,00
	SECCIÓN N.º 2 CARPINTERÍA DE OBRA GRUESA				
5	Encofrados y moldajes	m2	100,00	7.310,00	731.000,00
	SECCIÓN N.º 3 FUNDACIONES				
6	Enfierradura de Fundaciones	kg	899,64	1.245,00	1.120.051,80
7	Cimientos Hormigón Corrido H-15	m3	30,60	94.031,00	2.877.348,60
8	Cimientos aislados Hormigón H-20	m3	15,40	94.031,00	1.448.077,40
9	Sobrecimientos Hormigón H-20	m3	19,14	94.031,00	1.800.105,96
	SECCIÓN N.º 4 BASES DE HORMIGON				
10	Emplantillados	m3	19,14	51.274,00	981.576,64
11	Barrera de humedad - Polietileno 0.20 mm	m2	77,00	3.503,00	269.731,00
12	Enfierradura Radier	kg	959,15	1.245,00	1.194.141,75
13	Radier Hormigón H-15	m2	77,00	9.557,00	735.889,00
14	Losas	m2	77,57	9.557,00	741.336,49
	SECCIÓN N.º 5 ESTRUCTURA RESISTENTE				
17	Pilares, cadenas, pilarejos, dinteles y	m3	3,10	94.031,00	291.496,10
	SECCION N.º 6 INSTALACIONES SANITARIAS				
18	ALCANTARILLADO DE AGUAS SERVIDAS				

19	Excavaciones	m3	3,15	7.400,00	23.310,00
20	Relleno de zanjas	m3	6,56	2.974,00	19.509,44
21	Tuberías de PVC sanitario	ml	33,14	4.490,00	148.787,38
22	Camaras de inspección	und	2	511.000,00	1.022.000,00
23	Piletas de piso	und	5	3.900,00	19.500,00
24	Ventilaciones	ml	7	3.790,00	26.530,00
25	AGUA POTABLE FRIA				
26	Red de agua fria	ml	44,26	1.790,00	79.229,88
27	Pruebas Hidraulicas	und	2,00	32.997,50	65.995,00
	SECCION N° 7 INSTALACIONES ELECTRICAS				
30	Canalización Interior	gl	1	100.000,00	100.000,00
31	Cableado, instalación de artefactos eléctricos	gl	1	156.000,00	156.000,00
	SECCIÓN N° 8 IMPRESIÓN DE MUROS				
32	Impresión muros exteriores	m2	194,60	4.245,18	826.112,03
33	Impresión muros interiores	m2	46,20	4.245,18	196.127,32
34	Acero de refuerzo	kg	168,16	890,00	60.662,40
35	Epóxico tipo Sika Anchofix-4	und	4,00	12.990,00	51.960,00
36	Muros de mesón	ml	2,70	4.245,18	11.461,99
	SECCIÓN N° 9 PAVIMENTOS INTERIORES, GUARDAPOLVOS Y GRADAS				
37	Pavimento cerámica 33x33cm	m2	38,50	21.600,00	831.600,00
	SECCIÓN N° 10 CUBIERTA DE TECHUMBRE				
38	Barrera de humedad - Polietileno 0.20 mm	m2	40,00	2.593,00	103.720,00
39	Canales de aguas lluvias	ml	20,00	13.700,00	274.000,00
40	Caballetes de ZINCALUM 0,4 mm	ml	5,00	3.800,00	19.000,00
	SECCIÓN N° 11 REVESTIMIENTO Y AISLACIÓN TÉRMICA				
41	Revestimiento exterior SIDING FIBROCEMENTO 6 mm aislación térmica	m2	150,00	91.010,47	13.651.570,50
	SECCIÓN N° 12 PUERTAS Y VENTANAS				
42	Puerta Tipo 1	und	1,00	89.563,00	89.563,00
43	Puerta Tipo 2	und	4,00	81.450,00	325.800,00
44	Ventana Tipo 1	und	1,00	84.000,00	84.000,00
45	Ventana Tipo 2	und	4,00	87.000,00	348.000,00
	SECCIÓN N° 13 LIMPIEZA				
46	Retiro de escombros	m3	120,00	510,00	61.200,00

47	Limpieza y Aseo	m2	100,00	510,00	51.000,00
	SECCIÓN N° 15				
	IMPRESORAS 3D				
57	Impresora capacitación más	und	1,00	316.803.440,63	316.803.440,63
58	Envío de la impresora	und	1,00	10.900.368,00	10.900.368,00
59	Ingeniero encargado	und	1,00	788.900,00	788.900,00
60	Operario más ayudantes	und	1,00	361.731,33	361.731,33
COSTO NETO PRESUPUESTO					\$ 365.432.344,61
15% GASTOS GENERALES					\$ 54.814.851,69
SUBTOTAL 1					\$ 420.247.196,3
10% UTILIDAD					\$ 42.024.719,63
SUBTOTAL 2					\$ 462.271.915,93
19% IVA					\$ 87.831.664,0267
TOTAL PRESUPUESTO					\$ 550.103.579,95

Tabla 11 Presupuesto de Obra, Fuente: Propia(2023)

El presupuesto de obra da un costo para la construcción sólo de la vivienda de 550.103.579,95 pesos chilenos, lo que equivale a 17.128,64 UF considerando un valor de la UF de 32.116 pesos chilenos para la fecha de la investigación. Este presupuesto incluye los gastos por la adquisición del software y equipos necesarios, así como la adquisición y traslado de la impresora 3D.

4.9 ANÁLISIS Y FACTIBILIDAD ECONÓMICA.

La factibilidad es una evaluación que puede demostrar, si un negocio puede ponerse en marcha y mantenerse, mostrando evidencias de que se ha planeado cuidadosamente, contemplado los problemas que involucra y mantenerlo en funcionamiento.

Para proponer y determinar si el proyecto de impresión es factible, es necesario efectuar una comparación técnica y económica. Por lo que es necesario revisar los aspectos técnicos que engloba la impresión en 3D y considerar para la evaluación económica el análisis de precios elaborado.

Con los aspectos técnicos se busca estimar las ventajas y desventajas de la propuesta, en cuanto a resistencia, funcionalidad, durabilidad, facilidad constructiva, ejecución y mantenimiento. Esto sirve para determinar la viabilidad de la propuesta.

En los aspectos económicos, se deben tomar en cuenta las propiedades, diseños, procedimientos, mano de obra, maquinaria y equipos, herramientas, gastos administrativos, impuestos e imprevistos toda la información basada en la localización establecida.

Para poder verificar la factibilidad, se deben obtener de mediante una investigación del mercado de construcción, con la finalidad de conocer la oferta y demanda en cuanto al uso de la tecnología como alternativa del sistema constructivo estructural.

PROYECTO VIVIENDA 77 m ²		
COSTO TOTAL CON ADQUISICIÓN DE IMPRESORA	TOTAL, DE LA VIVIENDA SIN CONSIDERAR LOS COSTOS DE LA IMPRESORA	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN SOLO MUROS CON COMPRA DE IMPRESORA

\$ 561.438.714,92	\$ 48.070.198,02	\$ 515.263.035,60
----------------------	------------------	-------------------

Tabla 12. Comparación de precios para la construcción del proyecto con adquisición de impresora 3D, sin adquisición de la impresora 3D y construcción convencional.. Fuente: Propia(2023)

En la Tabla 10 se muestran los precios comparativos con las alternativas de construcción, y se puede apreciar que con la adquisición de la impresora los precios se cuadruplican con respecto a la alternativa, y de igual manera para la comparación con la construcción convencional con hormigón. Lo que representa una disminución de precios de un 25,42% a un 40% respecto a la construcción tradicional sin considerar la gran inversión inicial.

Así mismo se puede observar la construcción de la casa sin considerar la compra de impresora es un precio mucho menor de \$ 48.070.198,02.

4.9.1 ASPECTOS TÉCNICOS Y LEGALES

Para la conformación legal de la empresa, se elige una estructura organizacional que permite garantizar los procesos administrativos. Definiendo así, los cargos y perfiles de cada uno para lograr eficiencia en el proyecto.

4.9.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizacional de la empresa se basa al tamaño de la empresa que en el caso de estudio es una microempresa, por lo que la clasificación indica que puede tener entre 1 a 9 trabajadores.

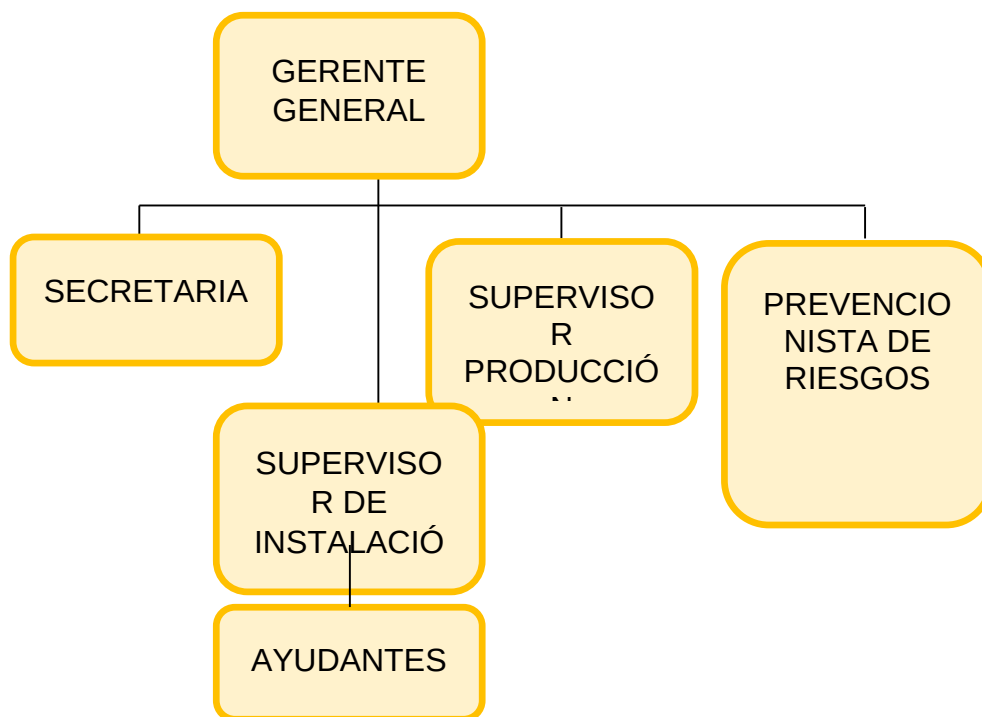


Figura 4.18. Estructura organizacional, Fuente: Propia(2023)

4.9.3 SUELDO DE TRABAJADORES

Los sueldos de los trabajadores están estipulados según el perfil requerido. Los ayudantes y maestros de obra tendrán un contrato por el plazo que dure la obra. Así mismo, la jornada se establece de 8 horas, tanto administrativo como trabajo de campo.

CARGO	CANTIDAD DE TRABAJADORES	SUELDO MENSUAL \$	TOTAL, SUELDO MENSUAL\$	MESES	TOTAL, SUELDO ANUAL \$
Presidente					
Gerente General	1	1.200.000	1.200.000	12	14.400.000
Supervisor de producción	1	850.000	850.000	12	10.200.000
Supervisor de riesgos	1	850.000	850.000	12	10.200.000
Secretaria	1	500	500	12	6.000
Supervisor de instalación	1	850.000	850.000	12	10.200.000
Ayudante	4	400.000	1.600.000	12	19.200.000
		TOTAL, EN\$	5.350.500	TOTAL, EN\$	64.206.000
		TOTAL, EN UF	180	TOTAL, EN UF	1.999

Tabla 13. Perfil de personal de la empresa, Fuente: Propia(2023)

4.9.4 SELECCIÓN DE EQUIPOS

La selección de los equipos necesarios para poder implementar la empresa se realiza en base a los trabajos necesarios para poder lograr un producto de óptimo y de calidad. Entre estos están los equipos para las operaciones administrativas, y los equipos para poder llevar a cabo los trabajos en obra.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE OFICINA	CANTIDAD
Computadora PC	4
Impresora	3
Teléfono fijo	2
Radios walkie talkie (Par)	2
Modem/Router	1
Escritorio	4
Sillas	20
Estantería Racks	3
Mesa de reuniones	1

Tabla 14. Equipos y herramientas de oficina, Fuente: Propia (2023).

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE CAMPO	CANTIDAD
Nivel	4
Martillo carpintero	4
Sierra eléctrica	2
Cinta métrica	4
Brocha	4

Taladro eléctrico	4
Pistola para clavos	4
Pistola de silicón	2
Traspaleta	1
Camioneta pick up	1
Camión	1

Tabla 15. Equipos y herramientas de campo, Fuente: Propia (2023).

INVERSIÓN TOTAL DE TRABAJO		
DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL \$	PRECIO TOTAL UF
Equipos y herramientas de campo	32.978.860	1.027
Equipos y herramientas de oficina	5.786.500	180
Salarios	64.206.000	1.999
Puesta en marcha	41.750.000	1.300
Variables	1.980.000	62
Costos de construcción con impresora	561.438.715	17.482
Costos de construcción 150 unidades	7.210.529.703	224.515
Total	7.918.669.778	246.565

REINVERSIÓN		
DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL \$	PRECIO TOTAL UF
Equipos y herramientas de campo	32.978.860,00	1.110
Equipos y herramientas de oficina	5.786.500,00	195
Mantenimiento de la impresora	316.803.440,63	10.668
Total		11.973

Tabla 16. Total, costo de inversión y reinversión, Fuente: Propia (2023).

4.10 Estimación de unidades a producir:

Como unidades de producción inicial se estiman 100 con un incremento del 10% anual, y a comercializar por un monto de 55.000.000 de pesos chilenos. Este precio es considerando los costos de producción obtenidos en el análisis de precios.

INGRESOS			
PRECIO FIJO \$	55.000.000		
PRECIO FIJO UF	1.713		
PERIODO	VOLUMEN	PRECIO TOTAL UF	COSTO CONSTRUCCION POR VIVIENDA
1	100,00	171.254,20	149.676,79
2	110,00	188.379,62	164.644,47
3	121,00	207.217,59	181.108,92
4	133,10	227.939,34	199.219,81
5	146,41	250.733,28	219.141,79
Total		1.045.524,04	913.791,77

Tabla 17. Ingresos estimados a 5 años, Fuente: Propia (2023).

INGRESOS			
PRECIO FIJO \$	55.000.000		
PRECIO FIJO UF	1.713		
PERIODO	VOLUMEN	PRECIO TOTAL UF	COSTO CONSTRUCCION POR VIVIENDA
6	161, 05	275.8 06,61	241.055,97
7	177, 16	303.3 87,27	265.161,56
8	194, 87	333.7 25,99	291.677,72
9	214, 36	367.0 98,59	320.845,49
10	235, 79	403.8 08,45	352.930,04
Total		1.683. 826,92	1.471.670,79

Tabla 18. Ingresos estimados a 10 años, Fuente: Propia (2023).

INGRESOS			
PRECIO FIJO \$	55.000.000		
PRECIO FIJO UF	1.713		
PERIODO	VOLUMEN	PRECIO TOTAL UF	COSTO CONSTRUCCION POR VIVIENDA
11	259,37	444.189,30	388.223,05
12	285,31	488.608,23	427.045,35
13	313,84	537.469,05	469.749,89
14	345,23	591.215,96	516.724,88
15	379,75	650.337,55	568.397,36
Total		2.598.951,59	2.271.493,05

Tabla 19. Ingresos estimados a 15 años, Fuente: Propia (2023).

INGRESOS			
PRECIO FIJO \$	55.000.000		
PRECIO FIJO UF	1.713		
PERIODO	VOLUMEN	PRECIO TOTAL UF	COSTO CONSTRUCCION POR VIVIENDA
16	379,75	650.337,55	568.397,36
17	417,72	715.371,31	625.237,10
18	505,45	865.599,28	756.536,89
19	555,99	952.159,21	832.190,58
20	611,59	1.047.375,13	915.409,64
Total		3.805.125,02	3.325.692,97

Tabla 20 Ingresos estimados a 20 años, Fuente: Propia (2023).

4.11 ESTRUCTURA DE COSTOS

Aquí se permite realizar el análisis de los costos operativos y los costos de producción, mediante la identificación del costo de cada recurso necesario para el desarrollo del proyecto, y así obtener un punto de equilibrio. En este caso ese punto de equilibrio es el VAN, donde todo lo que esté por encima de ese punto es favorable para el proyecto.

4.11.1 COSTOS DE IMPREVISTOS

Se toman como todos los gastos que incurren en la empresa por motivo de la ejecución de alguna de las actividades necesarias para su desarrollo. Dado a que no se pueden asignar de manera directa, se toma en consideración un porcentaje global del proyecto. Para este caso se estima un 20% para imprevistos.

4.12 FLUJOS DE CAJA

El flujo de caja permite revisar el efectivo que se obtiene mediante la relación de los ingresos y los egresos del proyecto. En el proyecto de la empresa de impresión 3D, se opta por un financiamiento bancario dado a que no se cuenta con recursos propios.

Para obtener la opción más favorable y si efectivamente el proyecto es viable, se analizan los flujos de caja con las alternativas de financiamiento ofrecidas siendo de 25%, 50% y 75% con una tasa de 5% anual y a un plazo de 6 años para 25%, 10 años para 50% y 20 años para 75%.

Se toma en consideración un impuesto de 20% y las depreciaciones correspondientes los equipos tangibles.

4.12.1 Financiamiento de 25% respecto al total de la inversión.

En el flujo de caja con un 25% de financiamiento se obtiene un VAN de UF 36.603,18 y un TIR de 11,60%. (El desglose del flujo de caja se muestra en los anexos en UF).

Total de inversión		246.565			
Crédito		25%			
Tasa de interés		5%			
Deuda inicial	Tasa de interés	Intereses	Amortización	Pago	Deuda final
61.641,16	5%	513,68	10.273,53	10.787,20	51.367,63
51.367,63	5%	428,06	10.273,53	10.701,59	41.094,11
41.094,11	5%	342,45	10.273,53	10.615,98	30.820,58
30.820,58	5%	256,84	10.273,53	10.530,36	20.547,05
20.547,05	5%	171,23	10.273,53	10.444,75	10.273,53
10.273,53	5%	85,61	10.273,53	10.359,14	0,00

K	10,00%
VAN	36.603,18
TIR	11,60%

Tabla 21. Flujo de caja financiamiento 25%, Fuente: Propia (2023).

4.12.2 Financiamiento de 50% respecto al total de la inversión.

En el flujo de caja con un 50% de financiamiento se obtiene un VAN de UF 36.522,62 y un TIR de 12,08%. (El desglose del flujo de caja se muestra en los

Total de inversión		246.565				
Crédito		50%				
Tasa de interés		5%				
Períodos	Deuda inicial	Tasa de interés	Intereses	Amortización	Pago	Deuda final
1	123.282,32	5%	616,41	12.328,23	12.944,64	110.954,09
2	110.954,09	5%	554,77	12.328,23	12.883,00	98.625,85
3	98.625,85	5%	493,13	12.328,23	12.821,36	86.297,62
4	86.297,62	5%	431,49	12.328,23	12.759,72	73.969,39
5	73.969,39	5%	369,85	12.328,23	12.698,08	61.641,16
6	61.641,16	5%	308,21	12.328,23	12.636,44	49.312,93
7	49.312,93	5%	246,56	12.328,23	12.574,80	36.984,70
8	36.984,70	5%	184,92	12.328,23	12.513,16	24.656,46
9	24.656,46	5%	123,28	12.328,23	12.451,51	12.328,23
10	12.328,23	5%	61,64	12.328,23	12.389,87	0,00

anexos.

K	10,00%
VAN	36.522,62
TIR	12,08%

Tabla 22. Flujo de caja financiamiento 50%, Fuente: Propia (2023).

4.12.3 Financiamiento de 75% respecto al total de la inversión.

En el flujo de caja con un 75% de financiamiento se obtiene un VAN de UF

Total de inversión			246.565			
Crédito			75%			
Tasa de interés			5%			
Períodos	Deuda inicial	Tasa de interés	Intereses	Amortización	Pago	Deuda final
1	184.923,48	5%	462,31	9.246,17	9.708,48	175.67
2	175.677,30	5%	439,19	9.246,17	9.685,37	166.43
3	166.431,13	5%	416,08	9.246,17	9.662,25	157.18
4	157.184,95	5%	392,96	9.246,17	9.639,14	147.93
5	147.938,78	5%	369,85	9.246,17	9.616,02	138.69
6	138.692,61	5%	346,73	9.246,17	9.592,91	129.44
7	129.446,43	5%	323,62	9.246,17	9.569,79	120.20
8	120.200,26	5%	300,50	9.246,17	9.546,67	110.95
9	110.954,09	5%	277,39	9.246,17	9.523,56	101.70
10	101.707,91	5%	254,27	9.246,17	9.500,44	92.46
11	92.461,74	5%	231,15	9.246,17	9.477,33	83.21
12	83.215,56	5%	208,04	9.246,17	9.454,21	73.96
13	73.969,39	5%	184,92	9.246,17	9.431,10	64.72
14	64.723,22	5%	161,81	9.246,17	9.407,98	55.47
15	55.477,04	5%	138,69	9.246,17	9.384,87	46.23
16	46.230,87	5%	115,58	9.246,17	9.361,75	36.98
17	36.984,70	5%	92,46	9.246,17	9.338,64	27.73
18	27.738,52	5%	69,35	9.246,17	9.315,52	18.49
19	18.492,35	5%	46,23	9.246,17	9.292,40	9.246
20	9.246,17	5%	23,12	9.246,17	9.269,29	0,0

107.072,24 y un TIR de 19,67%. (El desglose del flujo de caja se muestra en los anexos).

K	10,00%
VAN	107.072,24
TIR	19,67%

Tabla 23. Flujo de caja financiamiento 75%, Fuente: Propia (2023).

4.13 ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE CAJA

Los resultados obtenidos en los flujos de caja con las opciones de financiamiento, se obtiene que el proyecto es viable con las tres opciones, pero la opción más favorable es con el financiamiento del 75% con un VAN de 35,096,02 y un TIR de 19,23%. Sin embargo, esta opción da un VAN positivo para 20 años. La opción de 25% ya da un VAN positivo en el año 18 de 9.288,03, por lo que la opción del préstamo de 25% es la indicada para el proyecto. En la siguiente tabla se resume los resultados obtenidos según el porcentaje de financiamiento.

	K	VAN	TIR
Crédito 25% (6 años)	10,00%	36.603,18	11,60%
Crédito 50% (20 años)	10,00%	36.522,62	12,08%
Crédito 75% (20 años)	10,00%	107.072,24	19,67%

Tabla 24. Comparación flujos de caja, Fuente: Propia (2023).

Estos valores son obtenidos a partir de que se estima una producción inicial de 100 viviendas, y un aumento en la producción de 10% anual por lo que si el proyecto comenzara con menos unidades se estima que no sea rentable aun largo plazo dado al monto de la inversión y del precio de la construcción. Así mismo los ingresos de la empresa se estiman sólo por la compra directa de los interesados a ser propietarios.

CAPITULO 5

5.1 ANÁLISIS

5.1.1 INFORME PROGRAMACION

A continuación, se desarrolla la comparación de duraciones estimadas de la construcción de 20 casas según cuatro diferentes tipos de métodos constructivos. Teniendo como base la ejecución de un conjunto de casas mediante el método de IMPRESIÓN 3D de estructuras de hormigón, cuya duración será comparada con los periodos estimados de construcción mediante los métodos constructivos: HORMIGON ARMADO, ALBAÑILERIA ARMADA y TABIQUERIA VULCOMETAL.

Para realizar la estimación de duraciones de cada uno de los métodos constructivos se supusieron condiciones ideales de terreno, condiciones climáticas, existencia de equipos y materiales y rendimientos constructivos.

Cabe destacar que la programación realizada en cada uno de los casos es una programación de carácter general, orientada a la comparación de métodos constructivos, y no representa en detalle todos los pasos estrictamente necesarios para la realización de una programación de ejecución de obra física real.

5.1.2 PROGRAMACION GENERAL

Para generar la programación en cada uno de los sistemas constructivos a evaluar, se utilizó el software MS PROJECT, con la siguiente configuración:

- Opciones de calendario:

Opciones de calendario para este proyecto:

La semana comienza en: Lunes

El año fiscal comienza en: Enero

☐ Usar el año inicial para la numeración de los años fiscales

Hora de comienzo predeterminada: 8:00

Hora de fin predeterminada: 18:00

Horas por día: 9

Horas por semana: 45

Días por mes: 20

Se asignan estos horarios a las tareas cuando se escribe una fecha de comienzo o fin sin especificar una hora. Si cambia esta configuración, es conveniente hacerla coincidir con el calendario del proyecto mediante el comando Cambiar tiempo de trabajo de la ficha Proyecto en la cinta.

- Calendarios:

LUN a VIE: calendario de ejecución, contempla feriados y los siguientes periodos laborales.

Períodos laborables del 13 junio 2022:

- 8:00 a 13:00
- 14:00 a 18:00

DIASCORRIDOS: calendario de control de avance general. No contempla feriados.

- Todos los programas tienen como comienzo el día 03-01-2023.

METODOS CONSTRUCTIVOS

5.2 METODO DE IMPRESIÓN 3D

Secuencia general para la duración de la ejecución de una unidad en obra gruesa es de 15 días corridos.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Calendario de tareas	enero 2023
2		CASA 1	15 días	mar 03-01-23	mar 17-01-23	DIASCORRIDOS	
3		OBRAS PRELIMINARES	2 días	mar 03-01-23	mié 04-01-23	DIASCORRIDOS	
4		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23	LUN a VIE	
5		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23	LUN a VIE	
6		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAMILLA	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23	LUN a VIE	
7		HORMIGON RADIER	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23	LUN a VIE	
8		INSTALACION Y CALIBRACION DE IMPRESORA	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23	LUN a VIE	
9		OBRA GRUESA	4 días	vie 06-01-23	lun 09-01-23	DIASCORRIDOS	
10		IMPRESIÓN DE MUROS (17,28 HORAS HABILES)	2 días	vie 06-01-23	lun 09-01-23	LUN a VIE	
11		CANALIZACION INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS	1 día	mar 10-01-23	mar 10-01-23	LUN a VIE	
12		TECHUMBRE	5 días	mié 11-01-23	mar 17-01-23	LUN a VIE	

5.2.1 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.

La duración total del proyecto de 20 unidades en obra gruesa es de 94 días corridos.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Calendario de tareas	enero 2023	febrero 2023	marzo 2023	abril 2023
1		CASA IMPRESORNA 3D	36 días	mar 03-01-23	jue 05-04-23	DIASCORRIDOS				
2		CASA 1	15 días	mar 03-01-23	mar 17-01-23	DIASCORRIDOS				
31		CASA 2	17 días	mié 04-01-23	vie 20-01-23	DIASCORRIDOS				
34		CASA 3	16 días	mar 10-01-23	mié 23-01-23	DIASCORRIDOS				
35		CASA 4	16 días	vie 13-01-23	lun 30-01-23	DIASCORRIDOS				
46		CASA 5	16 días	mié 18-01-23	jue 02-02-23	DIASCORRIDOS				
57		CASA 6	16 días	lun 23-01-23	mar 07-02-23	DIASCORRIDOS				
68		CASA 7	16 días	jue 26-01-23	vie 10-02-23	DIASCORRIDOS				
79		CASA 8	16 días	mar 31-01-23	mié 15-02-23	DIASCORRIDOS				
90		CASA 9	16 días	vie 03-02-23	lun 20-02-23	DIASCORRIDOS				
101		CASA 10	16 días	mié 08-02-23	jue 23-02-23	DIASCORRIDOS				
112		CASA 11	16 días	lun 13-02-23	mar 28-02-23	DIASCORRIDOS				
123		CASA 12	16 días	jue 16-02-23	vie 03-03-23	DIASCORRIDOS				
134		CASA 13	16 días	mar 21-02-23	mié 08-03-23	DIASCORRIDOS				
145		CASA 14	16 días	vie 24-02-23	lun 13-03-23	DIASCORRIDOS				
156		CASA 15	16 días	mié 01-03-23	jue 16-03-23	DIASCORRIDOS				
167		CASA 16	16 días	lun 06-03-23	mar 21-03-23	DIASCORRIDOS				
178		CASA 17	16 días	jue 09-03-23	vie 24-03-23	DIASCORRIDOS				
189		CASA 18	16 días	mar 14-03-23	mié 29-03-23	DIASCORRIDOS				
200		CASA 19	16 días	vie 17-03-23	lun 03-04-23	DIASCORRIDOS				
211		CASA 20	16 días	mié 22-03-23	jue 04-04-23	DIASCORRIDOS				

5.2.2 VINCULACION DE ACTIVIDADES.

Se realiza una vinculación secuencial de actividades, considerando la ejecución continua de unidades a lo largo del tiempo y la siguiente mano de obra:

1 EQUIPO DE OBRA GRUESA: 2 MAESTROS, 2 AYUDANTES.

1 EQUIPO DE IMPRESIÓN 3D: 1 OPERADOR, 1 AYUDANTE

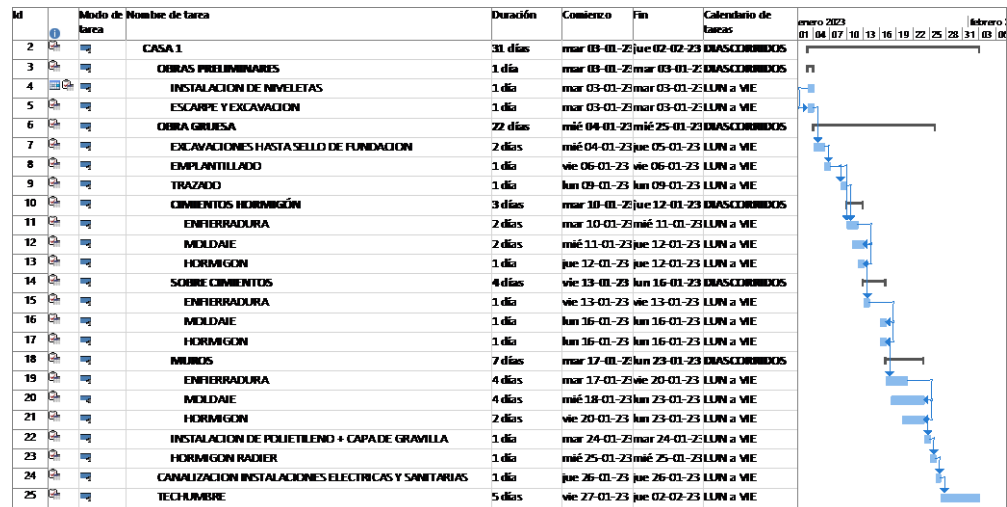
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Calendario de tareas	Sucesoras	enero 2023	febrero 2023	marzo 2023	abril 2023
101		CASA 10	16 días	mié 08-02-23	jue 23-02-23	DIASCORRIDOS					
102		OBRAS PRELIMINARES	2 días	mié 08-02-23	jue 09-02-23	DIASCORRIDOS					
103		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mié 08-02-23	mié 08-02-23	LUN a VIE	104CC,114				
104		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	mié 08-02-23	mié 08-02-23	LUN a VIE	105CC,115				
105		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAMILLA	1 día	mié 08-02-23	mié 08-02-23	LUN a VIE	106,116				
106		HORMIGON RADIER	1 día	jue 09-02-23	jue 09-02-23	LUN a VIE	107,117				
107		INSTALACION Y CALIBRACION DE IMPRESORA	1 día	lun 13-02-23	jue 13-02-23	LUN a VIE	109,118				
108		OBRA GRUESA	2 días	mar 14-02-23	mié 15-02-23	DIASCORRIDOS					
109		IMPRESIÓN DE MUROS (17,28 HORAS HABILES)	2 días	mar 14-02-23	mié 15-02-23	LUN a VIE	110,120,118,114FC-3				
110		CANALIZACION INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS	1 día	jue 16-02-23	jue 16-02-23	LUN a VIE	111,121				
111		TECHUMBRE	5 días	vie 17-02-23	jue 23-02-23	LUN a VIE	144				
112		CASA 11	16 días	lun 13-02-23	mar 28-02-23	DIASCORRIDOS					
113		OBRAS PRELIMINARES	2 días	lun 13-02-23	mar 14-02-23	DIASCORRIDOS					
114		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	lun 13-02-23	lun 13-02-23	LUN a VIE	115CC,125				
115		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	lun 13-02-23	lun 13-02-23	LUN a VIE	116CC,126				
116		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAMILLA	1 día	lun 13-02-23	lun 13-02-23	LUN a VIE	117,127				
117		HORMIGON RADIER	1 día	mar 14-02-23	mar 14-02-23	LUN a VIE	118,128				
118		INSTALACION Y CALIBRACION DE IMPRESORA	1 día	jue 16-02-23	jue 16-02-23	LUN a VIE	120,129				
119		OBRA GRUESA	4 días	vie 17-02-23	lun 20-02-23	DIASCORRIDOS					
120		IMPRESIÓN DE MUROS (17,28 HORAS HABILES)	2 días	vie 17-02-23	mar 20-02-23	LUN a VIE	121,131,129,125FC-3				
121		CANALIZACION INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS	1 día	mar 21-02-23	mar 21-02-23	LUN a VIE	122,132				
122		TECHUMBRE	5 días	mié 22-02-23	mar 28-02-23	LUN a VIE	155				

5.2.3 RUTA CRITICA.

La ruta crítica del desarrollo del proyecto mediante la utilización del método de IMPRESIÓN 3D, está directamente vinculada a las actividades de INSTALACON CALIBRACION DE IMPRESORA e IMPRESIÓN DE MUROS (17,28 HORAS HABLES).

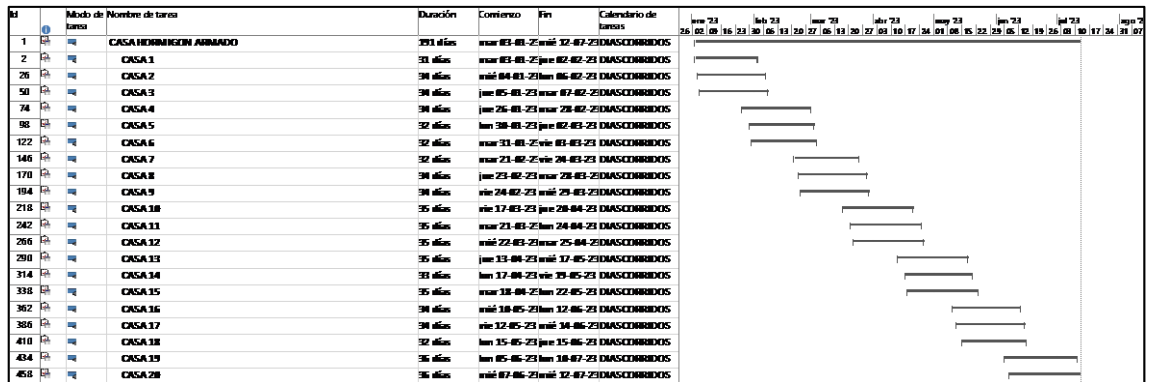
5.3 METODO DE HORMIGON ARMADO SECUENCIA GENERAL.

La duración de la ejecución de una unidad en obra gruesa es de 31 días corridos.

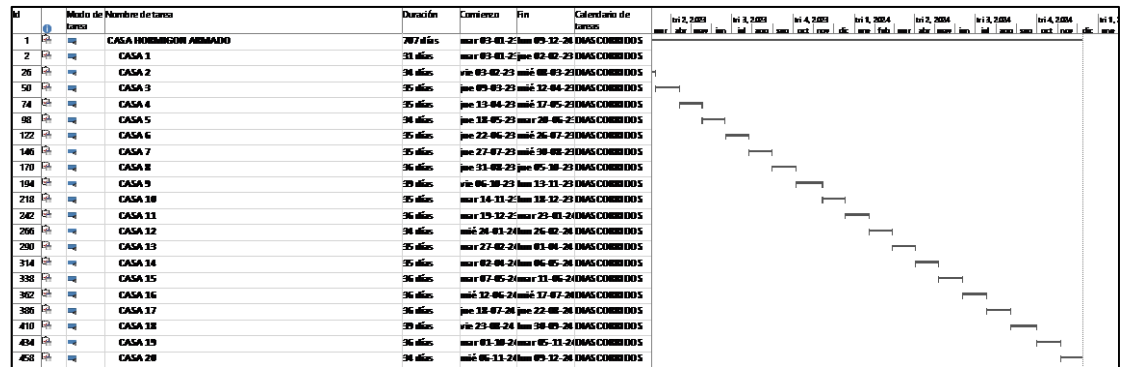


5.3.1 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.

La duración total del proyecto de 20 unidades en obra gruesa es de 191 días corridos. Considerando la ejecución en paralelo de 3 unidades (con 3 equipos independientes).



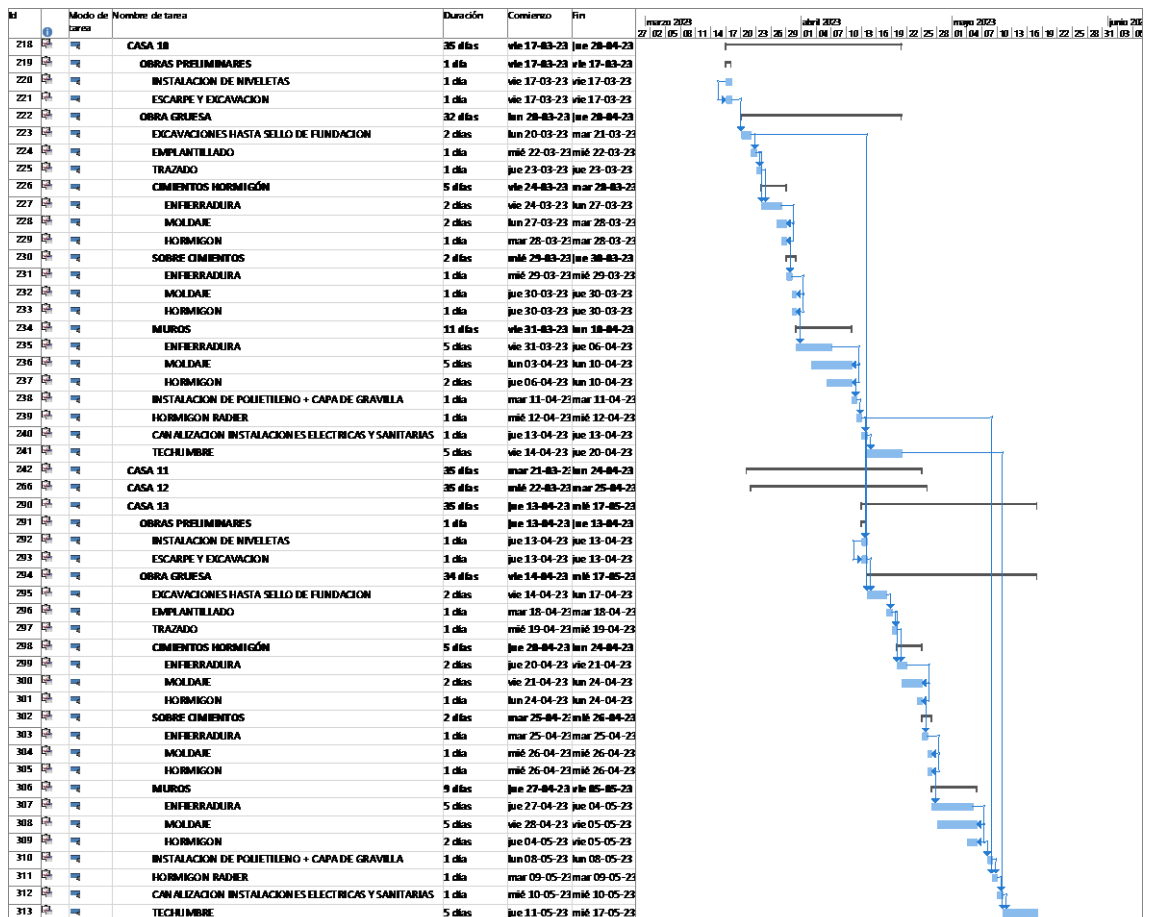
La duración total considerando la ejecución de las 20 unidades con 1 solo equipo, en secuencia, es de 707 días corridos.



5.3.2 VINCULACION DE ACTIVIDADES.

Se realiza una vinculación secuencial de actividades, considerando la ejecución de 3 unidades en paralelo a lo largo del tiempo y la siguiente mano de obra:

3 EQUIPO DE OBRA GRUESA: 2 MAESTROS, 2 AYUDANTES.



5.3.4 RUTA CRITICA.

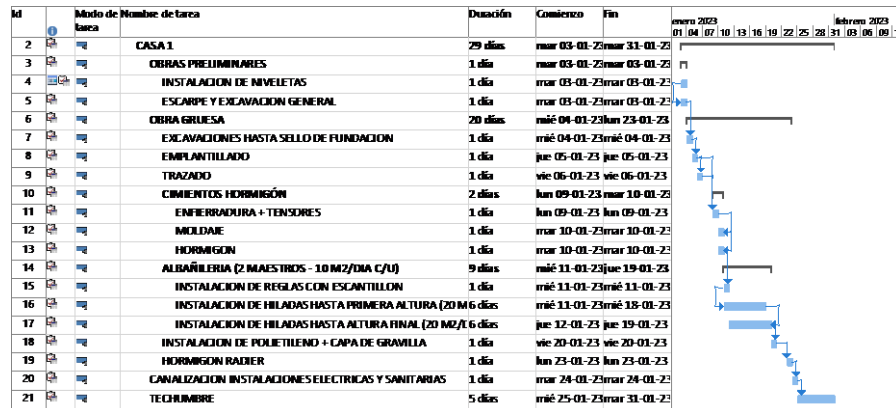
La ruta crítica del desarrollo del proyecto mediante la utilización del método constructivo HORMIGON ARMADO, donde se vuelve critico el proceso completo de OBRA GRUESA para el equipo que secuencialmente termina construyendo la unidad 20.

Id	Modo de junta	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Jun 1, 2003						
						mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
1		CASA 1 HORMIGON ARMADO	181 días	mar 03-01-23	mié 12-02-23							
2		CASA 1	31 días	mar 03-01-23	jue 02-02-23							
3		OBRAS PRELIMINARES	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23							
4		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23							
5		ESCAMPE Y EXCAVACION	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23							
26		CASA 2	34 días	mié 04-01-23	lun 06-02-23							
27		OBRAS PRELIMINARES	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23							
28		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23							
29		ESCAMPE Y EXCAVACION	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23							
30		OBRAS GRUESA	23 días	jue 05-01-23	vie 27-01-23							
31		EXCAVACIONES HASTA SELLO DE FUNDACION	2 días	jue 05-01-23	vie 06-01-23							
32		EMPLANTILLADO	1 día	lun 09-01-23	lun 09-01-23							
33		TRAZADO	1 día	mar 10-01-23	mar 10-01-23							
34		CIMENTOS HORMIGON	3 días	mié 11-01-23	vie 13-01-23							
35		ENFERRADURA	2 días	mié 11-01-23	jue 12-01-23							
36		MOLDAJE	2 días	jue 12-01-23	vie 13-01-23							
37		HORMIGON	1 día	vie 13-01-23	vie 13-01-23							
38		SOBRE CIMENTOS	2 días	lun 16-01-23	mar 17-01-23							
39		ENFERRADURA	1 día	lun 16-01-23	lun 16-01-23							
40		MOLDAJE	1 día	mar 17-01-23	mar 17-01-23							
41		HORMIGON	1 día	mar 17-01-23	mar 17-01-23							
42		MURDOS	8 días	mié 18-01-23	mié 25-01-23							
43		ENFERRADURA	5 días	mié 18-01-23	mar 24-01-23							
44		MOLDAJE	5 días	jue 19-01-23	mié 25-01-23							
45		HORMIGON	2 días	mar 24-01-23	mié 25-01-23							
46		INSTALACION DE POLETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	jue 26-01-23	jue 26-01-23							
47		HORMIGON RADIER	1 día	vie 27-01-23	vie 27-01-23							
88		CASA 5	32 días	lun 30-01-23	jue 02-02-23							
89		OBRAS PRELIMINARES	1 día	lun 30-01-23	lun 30-01-23							
100		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	lun 30-01-23	lun 30-01-23							
101		ESCAMPE Y EXCAVACION	1 día	lun 30-01-23	lun 30-01-23							
102		OBRAS GRUESA	31 días	mar 31-01-23	jue 02-02-23							
103		EXCAVACIONES HASTA SELLO DE FUNDACION	2 días	mar 31-01-23	mié 01-02-23							
104		EMPLANTILLADO	1 día	jue 02-02-23	jue 02-02-23							
105		TRAZADO	1 día	vie 03-02-23	vie 03-02-23							
106		CIMENTOS HORMIGON	3 días	lun 06-02-23	mié 08-02-23							
107		ENFERRADURA	2 días	lun 06-02-23	mar 07-02-23							
108		MOLDAJE	2 días	mar 07-02-23	mié 08-02-23							
109		HORMIGON	1 día	mié 08-02-23	mié 08-02-23							
110		SOBRE CIMENTOS	2 días	jue 09-02-23	vie 10-02-23							
111		ENFERRADURA	1 día	jue 09-02-23	jue 09-02-23							
112		MOLDAJE	1 día	vie 10-02-23	vie 10-02-23							
113		HORMIGON	1 día	vie 10-02-23	vie 10-02-23							
114		MURDOS	8 días	lun 13-02-23	lun 20-02-23							
115		ENFERRADURA	5 días	lun 13-02-23	vie 17-02-23							
116		MOLDAJE	5 días	mar 14-02-23	lun 20-02-23							
117		HORMIGON	2 días	vie 17-02-23	lun 20-02-23							
118		INSTALACION DE POLETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	mar 21-02-23	mar 21-02-23							
119		HORMIGON RADIER	1 día	mié 22-02-23	mié 22-02-23							
170		CASA 8	34 días	jue 23-02-23	mar 28-03-23							
242		CASA 11	35 días	mar 23-03-23	lun 24-04-23							
314		CASA 14	33 días	lun 17-04-23	vie 19-05-23							
386		CASA 17	34 días	vie 12-05-23	mié 14-06-23							
387		OBRAS PRELIMINARES	1 día	vie 12-05-23	vie 12-05-23							
388		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	vie 12-05-23	vie 12-05-23							
389		ESCAMPE Y EXCAVACION	1 día	vie 12-05-23	vie 12-05-23							
390		OBRAS GRUESA	31 días	lun 15-05-23	mié 14-06-23							
391		EXCAVACIONES HASTA SELLO DE FUNDACION	2 días	lun 15-05-23	mar 16-05-23							
392		EMPLANTILLADO	1 día	mié 17-05-23	mié 17-05-23							
393		TRAZADO	1 día	jue 18-05-23	jue 18-05-23							
394		CIMENTOS HORMIGON	5 días	vie 19-05-23	mar 23-05-23							
395		ENFERRADURA	2 días	vie 19-05-23	lun 22-05-23							
396		MOLDAJE	2 días	lun 22-05-23	mar 23-05-23							
397		HORMIGON	1 día	mar 23-05-23	mar 23-05-23							
398		SOBRE CIMENTOS	2 días	mié 24-05-23	jue 25-05-23							
399		ENFERRADURA	1 día	mié 24-05-23	mié 24-05-23							
400		MOLDAJE	1 día	jue 25-05-23	jue 25-05-23							
401		HORMIGON	1 día	jue 25-05-23	jue 25-05-23							
402		MURDOS	8 días	vie 26-05-23	vie 02-06-23							
403		ENFERRADURA	5 días	vie 26-05-23	jue 01-06-23							
404		MOLDAJE	5 días	lun 29-05-23	vie 02-06-23							
405		HORMIGON	2 días	jue 01-06-23	vie 02-06-23							
406		INSTALACION DE POLETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	lun 05-06-23	lun 05-06-23							
407		HORMIGON RADIER	1 día	mar 06-06-23	mar 06-06-23							
458		CASA 20	36 días	mié 07-06-23	mié 12-07-23							
459		OBRAS PRELIMINARES	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23							
460		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23							
461		ESCAMPE Y EXCAVACION	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23							
462		OBRAS GRUESA	35 días	jue 08-06-23	mié 12-07-23							
463		EXCAVACIONES HASTA SELLO DE FUNDACION	2 días	jue 08-06-23	vie 09-06-23							
464		EMPLANTILLADO	1 día	lun 12-06-23	lun 12-06-23							
465		TRAZADO	1 día	mar 13-06-23	mar 13-06-23							
466		CIMENTOS HORMIGON	3 días	mié 14-06-23	vie 16-06-23							
467		ENFERRADURA	2 días	mié 14-06-23	jue 15-06-23							
468		MOLDAJE	2 días	jue 15-06-23	vie 16-06-23							
469		HORMIGON	1 día	vie 16-06-23	vie 16-06-23							
470		SOBRE CIMENTOS	2 días	lun 19-06-23	mar 20-06-23							
471		ENFERRADURA	1 día	lun 19-06-23	lun 19-06-23							
472		MOLDAJE	1 día	mar 20-06-23	mar 20-06-23							
473		HORMIGON	1 día	mar 20-06-23	mar 20-06-23							
474		MURDOS	9 días	jue 22-06-23	vie 30-06-23							
475		ENFERRADURA	5 días	jue 22-06-23	jue 29-06-23							
476		MOLDAJE	5 días	vie 23-06-23	vie 30-06-23							
477		HORMIGON	2 días	jue 29-06-23	vie 30-06-23							
478		INSTALACION DE POLETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	lun 03-07-23	lun 03-07-23							
479		HORMIGON RADIER	1 día	mar 04-07-23	mar 04-07-23							
480		CANALIZACION INSTALACIONES ELECTRICAS Y SANITARIAS	1 día	mié 05-07-23	mié 05-07-23							
481		TECHUMBRE	5 días	jue 06-07-23	mié 12-07-23							

5.4 METODO DE ALBAÑILERIA ARMADA

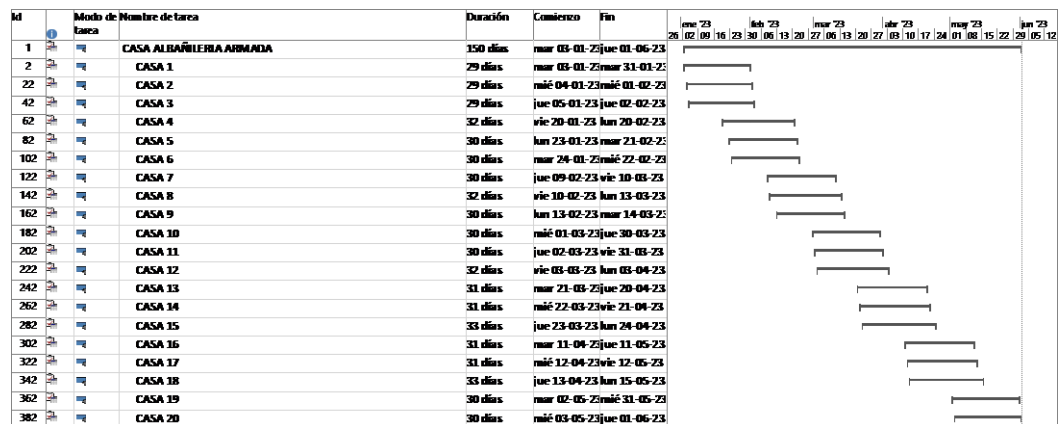
5.4.1 SECUENCIA GENERAL.

La duración de la ejecución de una unidad en obra gruesa es de 29 días corridos.

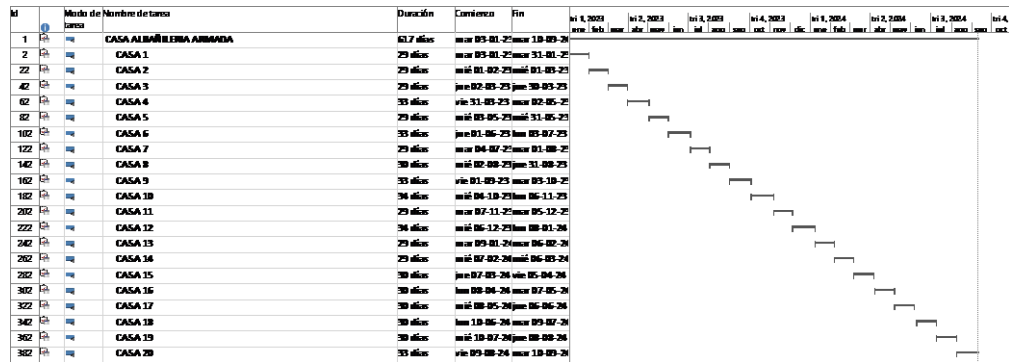


5.4.2 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.

La duración total del proyecto de 20 unidades en obra gruesa es de 150 días corridos. Considerando la ejecución en paralelo de 3 unidades (con 3 equipos independientes).



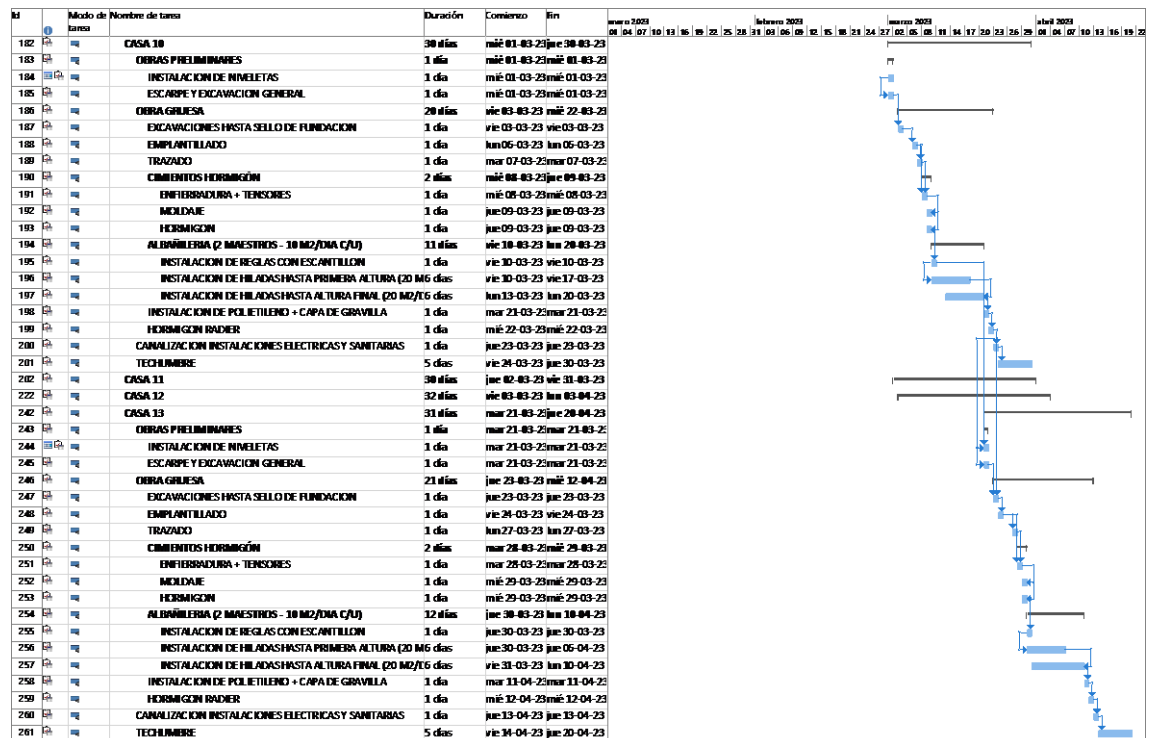
La duración total considerando la ejecución de las 20 unidades con 1 solo equipo, en secuencia, es de 617 días corridos.



5.4.3 VINCULACION DE ACTIVIDADES.

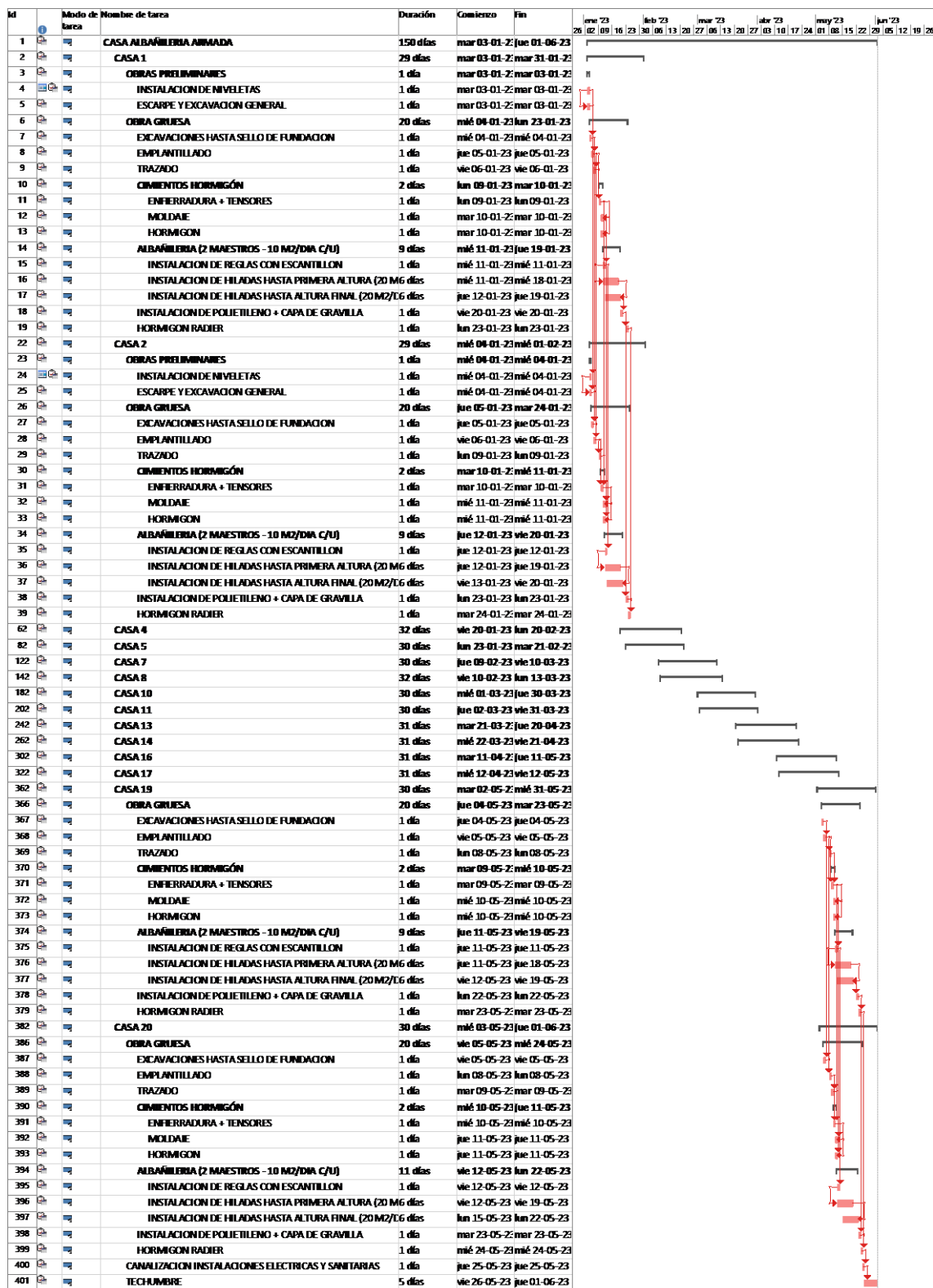
Se realiza una vinculación secuencial de actividades, considerando la ejecución de 3 unidades en paralelo a lo largo del tiempo y la siguiente mano de obra:

3 EQUIPO DE OBRA GRUESA: 2 MAESTROS, 2 AYUDANTES.



5.4.4 RUTA CRITICA.

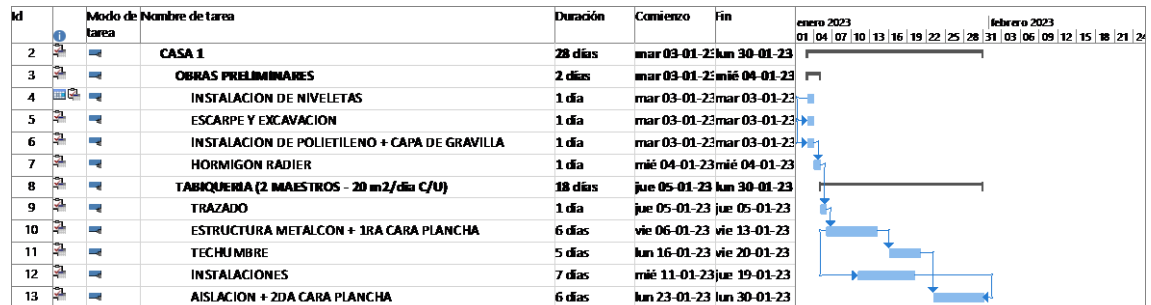
La ruta crítica del desarrollo del proyecto mediante la utilización del método constructivo HORMIGON ARMADO, donde se vuelve critico el proceso completo de OBRA GRUESA para el equipo que secuencialmente termina construyendo la unidad 20.



5.5 METODO DE TABIQUERIA VULCOMETAL

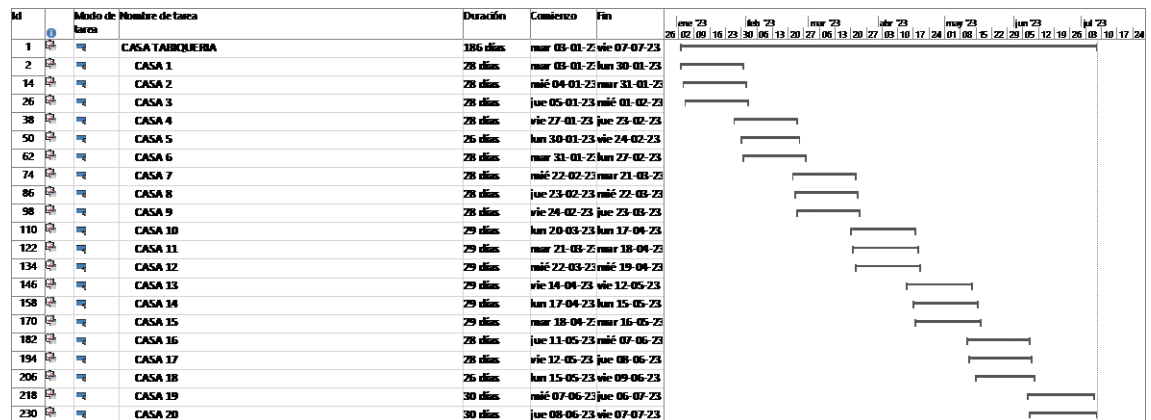
5.5.1 SECUENCIA GENERAL.

La duración de la ejecución de una unidad en obra gruesa es de 28 días corridos.

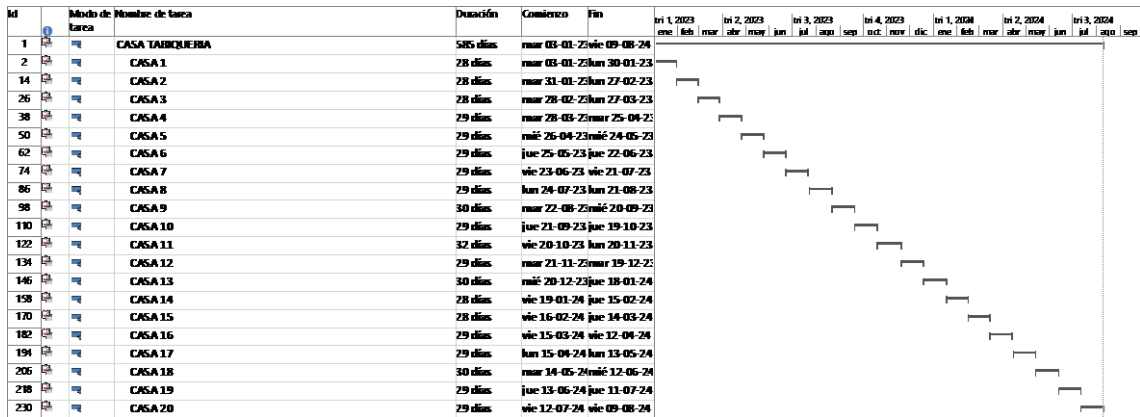


5.5.2 RESUMEN DE CARTA GANTT GENERAL.

La duración total del proyecto de 20 unidades en obra gruesa es de 186 días corridos. Considerando la ejecución en paralelo de 3 unidades (con 3 equipos independientes).



La duración total considerando la ejecución de las 20 unidades con 1 solo equipo, en secuencia, es de 585 días corridos.



5.5.3 VINCULACION DE ACTIVIDADES.

Se realiza una vinculación secuencial de actividades, considerando la ejecución de 3 unidades en paralelo a lo largo del tiempo y la siguiente mano de obra:

3 EQUIPO DE OBRA GRUESA: 2 MAESTROS, 2 AYUDANTES.



5.5.4RUTA CRITICA.

La ruta crítica del desarrollo del proyecto mediante la utilización del método constructivo HORMIGON ARMADO, donde se vuelve critico el proceso completo de OBRA GRUESA para el equipo que secuencialmente termina construyendo la unidad 20.

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	ene 1, 2023	feb 1, 2023	mar 1, 2023	abr 1, 2023	may 1, 2023	jun 1, 2023	jul 1, 2023	ago 1, 2023
1		CASA TABIQUERIA	186 días	mar 03-01-23	vie 07-07-23								
2		CASA 1	28 días	mar 03-01-23	lun 30-01-23								
3		OBRAS PRELIMINARES	2 días	mar 03-01-23	mié 04-01-23								
4		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23								
5		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23								
6		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	mar 03-01-23	mar 03-01-23								
7		HORMIGON RADIER	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23								
8		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	jue 05-01-23	lun 30-01-23								
9		TRAZADO	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23								
10		ESTRUCTURA METALCON + 1RA CARA PLANCHIA	6 días	vie 06-01-23	vie 13-01-23								
11		TECHUMBRE	5 días	lun 16-01-23	lun 20-01-23								
13		ASLACION + 2DA CARA PLANCHIA	6 días	lun 23-01-23	lun 30-01-23								
14		CASA 2	28 días	mié 04-01-23	mar 31-01-23								
15		OBRAS PRELIMINARES	2 días	mié 04-01-23	jue 05-01-23								
16		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23								
17		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23								
18		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	mié 04-01-23	mié 04-01-23								
19		HORMIGON RADIER	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23								
20		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	vie 06-01-23	mar 31-01-23								
21		TRAZADO	1 día	vie 06-01-23	vie 06-01-23								
22		ESTRUCTURA METALCON + 1RA CARA PLANCHIA	6 días	lun 09-01-23	lun 16-01-23								
23		TECHUMBRE	5 días	mar 17-01-23	lun 23-01-23								
25		ASLACION + 2DA CARA PLANCHIA	6 días	mar 24-01-23	mar 31-01-23								
26		CASA 3	28 días	jue 05-01-23	mié 01-02-23								
27		OBRAS PRELIMINARES	2 días	jue 05-01-23	vie 06-01-23								
28		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23								
29		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23								
30		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	jue 05-01-23	jue 05-01-23								
31		HORMIGON RADIER	1 día	vie 06-01-23	vie 06-01-23								
32		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	lun 09-01-23	mié 01-02-23								
33		TRAZADO	1 día	lun 09-01-23	lun 09-01-23								
34		ESTRUCTURA METALCON + 1RA CARA PLANCHIA	6 días	mar 10-01-23	mar 17-01-23								
35		TECHUMBRE	5 días	mié 18-01-23	mar 24-01-23								
37		ASLACION + 2DA CARA PLANCHIA	6 días	mié 25-01-23	mié 01-02-23								
38		CASA 4	28 días	vie 27-01-23	jue 23-02-23								
50		CASA 5	26 días	lun 30-01-23	vie 24-02-23								
62		CASA 6	28 días	mar 31-01-23	lun 27-02-23								
74		CASA 7	28 días	mié 22-02-23	mar 21-03-23								
86		CASA 8	28 días	jue 23-02-23	mié 22-03-23								
98		CASA 9	28 días	vie 24-02-23	jue 23-03-23								
110		CASA 10	29 días	lun 20-03-23	lun 17-04-23								
122		CASA 11	29 días	mar 21-03-23	mar 18-04-23								
134		CASA 12	29 días	mié 22-03-23	mié 19-04-23								
146		CASA 13	29 días	vie 14-04-23	vie 12-05-23								
158		CASA 14	29 días	lun 17-04-23	lun 15-05-23								
170		CASA 15	29 días	mar 18-04-23	mar 16-05-23								
182		CASA 16	28 días	jue 11-05-23	mié 07-06-23								
194		CASA 17	28 días	vie 12-05-23	jue 08-06-23								
206		CASA 18	26 días	lun 15-05-23	vie 09-06-23								
207		OBRAS PRELIMINARES	2 días	lun 15-05-23	mar 16-05-23								
208		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	lun 15-05-23	lun 15-05-23								
209		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	lun 15-05-23	lun 15-05-23								
210		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	lun 15-05-23	lun 15-05-23								
211		HORMIGON RADIER	1 día	mar 16-05-23	mar 16-05-23								
212		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	mié 17-05-23	vie 09-06-23								
213		TRAZADO	1 día	mié 17-05-23	mié 17-05-23								
214		ESTRUCTURA METALCON + 1RA CARA PLANCHIA	6 días	jue 18-05-23	jue 25-05-23								
215		TECHUMBRE	5 días	vie 26-05-23	jue 01-06-23								
217		ASLACION + 2DA CARA PLANCHIA	6 días	vie 02-06-23	vie 09-06-23								
218		CASA 19	30 días	mié 07-06-23	jue 06-07-23								
219		OBRAS PRELIMINARES	2 días	mié 07-06-23	jue 08-06-23								
220		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23								
221		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23								
222		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	mié 07-06-23	mié 07-06-23								
223		HORMIGON RADIER	1 día	jue 08-06-23	jue 08-06-23								
224		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	vie 09-06-23	jue 06-07-23								
225		TRAZADO	1 día	vie 09-06-23	vie 09-06-23								
230		CASA 20	30 días	jue 08-06-23	vie 07-07-23								
231		OBRAS PRELIMINARES	2 días	jue 08-06-23	vie 09-06-23								
232		INSTALACION DE NIVELETAS	1 día	jue 08-06-23	jue 08-06-23								
233		ESCARPE Y EXCAVACION	1 día	jue 08-06-23	jue 08-06-23								
234		INSTALACION DE POLIETILENO + CAPA DE GRAVILLA	1 día	jue 08-06-23	jue 08-06-23								
235		HORMIGON RADIER	1 día	vie 09-06-23	vie 09-06-23								
236		TABIQUERIA (2 MAESTROS - 20 m2/dia C/U)	18 días	lun 12-06-23	vie 07-07-23								
237		TRAZADO	1 día	lun 12-06-23	lun 12-06-23								
238		ESTRUCTURA METALCON + 1RA CARA PLANCHIA	6 días	mar 13-06-23	mar 20-06-23								
239		TECHUMBRE	5 días	jue 22-06-23	jue 29-06-23								
241		ASLACION + 2DA CARA PLANCHIA	6 días	vie 30-06-23	vie 07-07-23								

5.6 CUADRO COMPARATIVO

METODO CONSTRUCTIVO	DIAS CORRIDOS		
	DURACION UNIDAD	DURACION TOTAL	DIFERENCIA
IMPRESIÓN 3D	15	94	
HORMIGÓN ARMADO	31	191	-97
ALBAÑILERIA ARMADA	29	150	-56
TABIQUERIA VULCOMETAL	28	186	-92

Tabla 25 cuadro resumen metodologías constructivas

*Los métodos constructivos HORMIGON ARMADO, ALBAÑILERIA ARMADA y TABIQUERIA VULCOMETAL, consideran la construcción de 3 unidades en paralelo (con 3 equipos independientes).

5.7 COSTOS

En el siguiente apartado se visualizan los costos de las distintas metodologías presentadas para la comparación en esta tesis, donde el sistema constructivo principal de estudio es la impresión 3D mediante la extrusión de hormigón.

Para Comparar costos entre los distintos modos de construcción se consultó documentación en Chile y cotizaciones con distintas empresas, documentos, páginas web, blogs y subcontratistas. Tomando principalmente precios de referencia de páginas web como "<https://www.habitissimo.cl/>" y "<http://www.chile.generadordeprecios.info/>" donde algunos análisis de precios unitarios (APU) han recibido modificaciones para adaptarse lo más posible al caso de estudio.

Para obtener resultados más confiables se consideraron las mismas medidas que en el primer análisis realizado en esta tesis para una vivienda unifamiliar de 1 planta de 77(m²).

Donde la impresora de gran formato podría lograr resultados que otras metodologías no lograrían con la facilidad, eficacia y velocidad que este sí, lo anterior dado por la libertad arquitectónica que ofrece el sistema de extrusión 3D. En la siguiente Imagen (figura 5.1) se puede ver un ejemplo de un bosquejo de un plano de una vivienda con muros curvos y un área total de 77 (m²)

Figura 5.1 Vista de planta de prototipo de vivienda 77(m²)

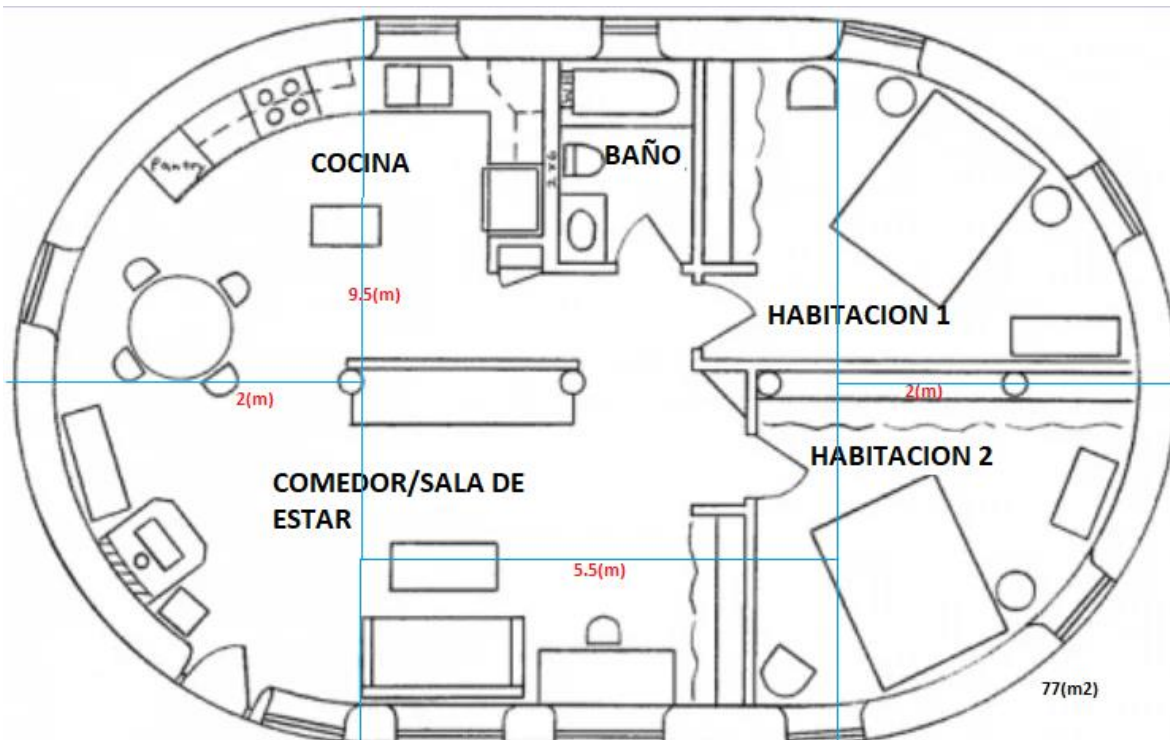


Figura 5.1 Croquis diseño de vivienda unifamiliar con forma ovalada, idea adaptada tomada de www.verplanos.com, 2022

La realización de modelos de este estilo, tiene una alta capacidad de ofrecer productos personalizados lo que es clave a la hora de competir con los sistemas de construcción tradicional.

APU de hormigón armado

152

5.7.2 ALBAÑILERÍA ARMADA

APU albañilería armada

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
Materiales				
m	Banda estanca autoadhesiva, de espuma de polietileno reticulado de celdas cerradas, de 50 mm de anchura; para la estanqueidad de la base y el aislamiento acústico del perímetro en tabiques y trasdosados de placas.	0,800	173,84	139,07
m	Canal, de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), fabricado mediante laminación en frío, 50x35 mm de sección y 0,6 mm de espesor.	0,800	1114,63	891,70
m	Montante, de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), fabricado mediante laminación en frío, 49x50 mm de sección y 0,6 mm de espesor.	3,000	1510,35	4531,05
Ud	Fijación compuesta por taco y tornillo de cabeza avellanada, de 5x30 mm.	2,000	51,37	102,74
m²	Panel semirrígido de lana mineral, espesor 45 mm, Euroclase A1 de reacción al fuego.	1,050	3507,82	3683,21
m²	Placa de yeso natural (GRG), sin cartón, estándar / - 600 / 1200 / 15 / con los bordes longitudinales desiguales, formada por un alma de yeso de origen natural reforzada por la inclusión en la masa de fibra de vidrio; Euroclase A1 de reacción al fuego.	2,040	3697,78	7543,47
Ud	Tornillo autoperforante, con cabeza de trompeta, de 25 mm de longitud, para instalación de placas de yeso natural (GRG) sobre perfiles de espesor inferior a 6 mm.	36,000	11,25	405,00
Ud	Cartucho de 300 cm³ de masilla monocomponente; para el sellado de encuentros perimetrales.	0,067	2677,74	179,41
Subtotales materiales:				17475,65
Mano de obra				
h	Maestro 1ª montador de prefabricados interiores.	0,382	6632,56	5416,14
h	Ayudante montador de mamparas y sistemas de placas.	0,382	4822,22	4724,26
Subtotal mano de obra:				10140,01
Costos directos:				27.615,66

5.7.3 TABIQUERÍA METALCOM

Apu tabiquería de metalcom

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Importe
Materiales				
m	Banda estanca autoadhesiva, de espuma de polietileno reticulado de celdas cerradas, de 50 mm de anchura; para la estanqueidad de la base y el aislamiento acústico del perímetro en tabiques y trasdosados de placas.	0,800	173,84	139,07
m	Canal, de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), fabricado mediante laminación en frío, 50x35 mm de sección y 0,6 mm de espesor.	0,800	1114,63	891,70
m	Montante, de perfil de acero galvanizado Z1 (Z140), fabricado mediante laminación en frío, 49x50 mm de sección y 0,6 mm de espesor.	3,000	1510,35	4531,05
Ud	Fijación compuesta por taco y tornillo de cabeza avellanada, de 5x30 mm.	2,000	51,37	102,74
m²	Panel semirrígido de lana mineral, espesor 45 mm, Euroclase A1 de reacción al fuego.	1,050	3507,82	3683,21
m²	Placa de yeso natural (GRG), sin cartón, estándar / - 600 / 1200 / 15 / con los bordes longitudinales desiguales, formada por un alma de yeso de origen natural reforzada por la inclusión en la masa de fibra de vidrio; Euroclase A1 de reacción al fuego.	2,040	3697,78	7543,47
Ud	Tornillo autoperforante, con cabeza de trompeta, de 25 mm de longitud, para instalación de placas de yeso natural (GRG) sobre perfiles de espesor inferior a 6 mm.	36,000	11,25	405,00
Ud	Cartucho de 300 cm³ de masilla monocomponente; para el sellado de encuentros perimetrales.	0,067	2677,74	179,41
Subtotales materiales:				17475,65
Mano de obra				
h	Maestro 1ª montador de prefabricados interiores.	0,382	6632,56	2533,64
h	Ayudante montador de mamparas y sistemas de placas.	0,382	4822,22	1842,09
Subtotal mano de obra:				4375,73
Costos directos:				21.851,38

Tabla 26: costos de obras gruesas de metodologías tradicionales y la de Impresión 3D por la maquinaria COB2 (en amarillo).

Ítem	HORMIGÓN ARMADO	ALBAÑILERÍA ARMADA	TABIQUERIA METALCOM	IMPRESIÓN 3D
MUROS EXTERIORES (m2)	97,3	97,3	97,3	194,6
MUROS INTERIORES (m2)	54,2	54,2	54,2	54,2
COSTO m2 MATERIALES	\$ 28.792	\$ 17.476	\$ 17.476	\$ 6.680
COSTO m2 MANO DE OBRA	\$ 8.825	\$ 10.140	\$ 4.376	\$ 5.717
TOTAL PRECIO POR M2	\$ 37.617	\$ 27.616	\$ 21.851	\$ 12.397
PRECIO POR M3	\$ 125.264			\$ 41.281
COSTO TOTAL (CLP)	\$ 5.698.964	\$ 4.183.771	\$ 3.310.484	\$ 3.084.321
COSTO TOTAL en UF	\$ 173,34	\$ 127,26	\$ 100,69	\$ 93,81

Tabla 26 resumen de costos de las 4 metodologías

El costo destacado del hormigón armado está en rojo considerando en m3 con un espesor de 20 (cm) y el de impresión 3D considerando sus capas de 5 (cm) y su espacio vacío intermedio.

Como se evidenció en el desarrollo de la investigación, el uso de la impresora 3D de gran formato para la construcción de los muros de cada proyecto tiene una gran ventaja, ya cuando se tiene la impresora 3D, debido a que el ahorro es de aproximadamente el 67.1% del costo en hormigón armado, 43.3% en tabiquería de metalcom y en albañilería armada de un 55.1%. También en el tiempo en días debido a que con la construcción de muros en 20 viviendas en la impresora 3D es de 97 días menos en hormigón armado, 56 en albañilería armada y 92 en tabiquería de metalcom, siendo de gran ayuda para la empresa que lo llegase a implementar.

Figura 5.2 Vista de planta vivienda

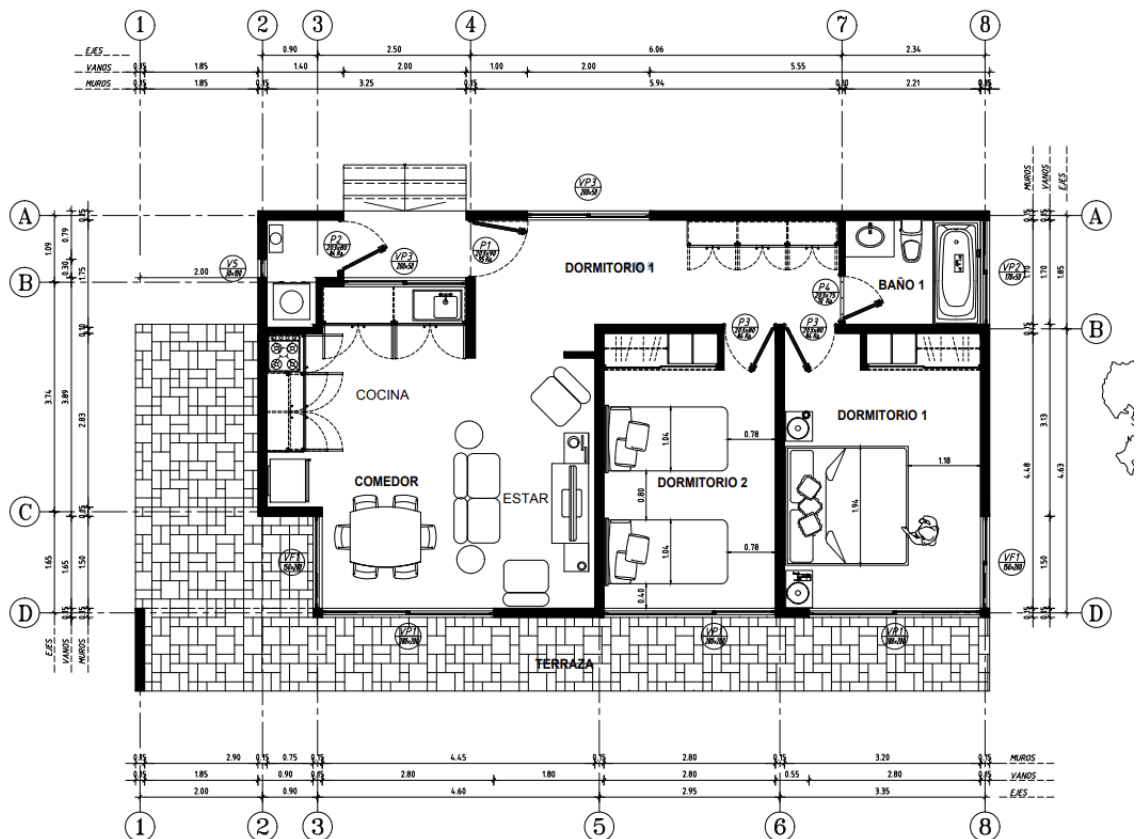


Figura 5.2 Planta general de arquitectura 1 planta escala 1:50

Figura 5.3: Corte A-A elevación principal

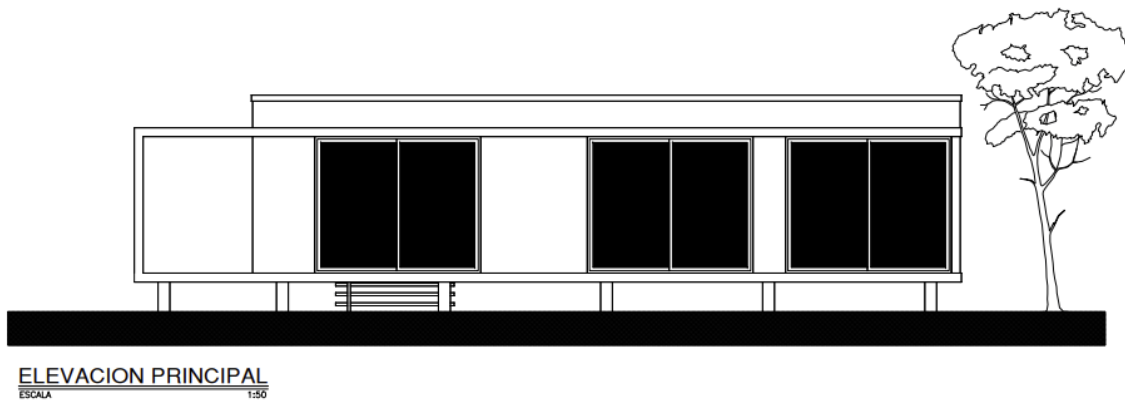


Figura 5.3 Elevación Principal escala 1:50

Figura 5.4 corte D-D elevación posterior

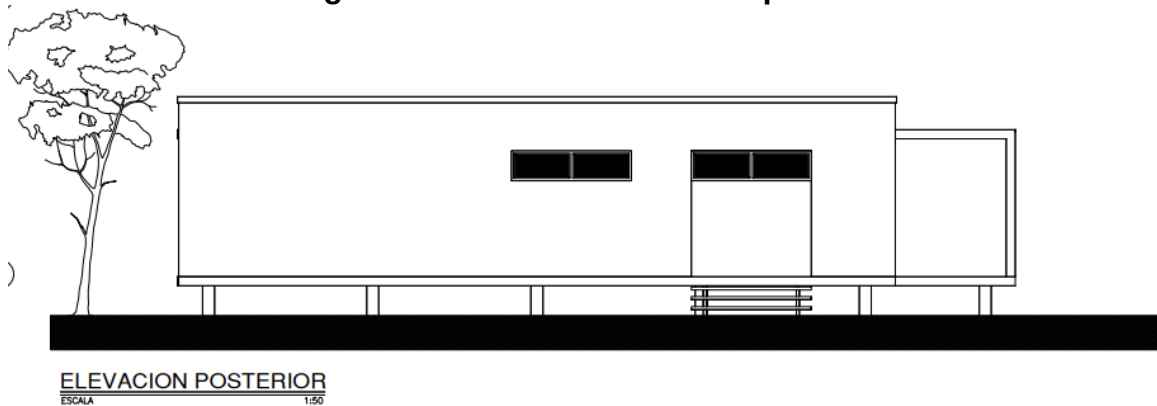


Figura 5.4 Elevación Posterior escala 1:50

Figura 5.5: Corte D-A elevación lateral

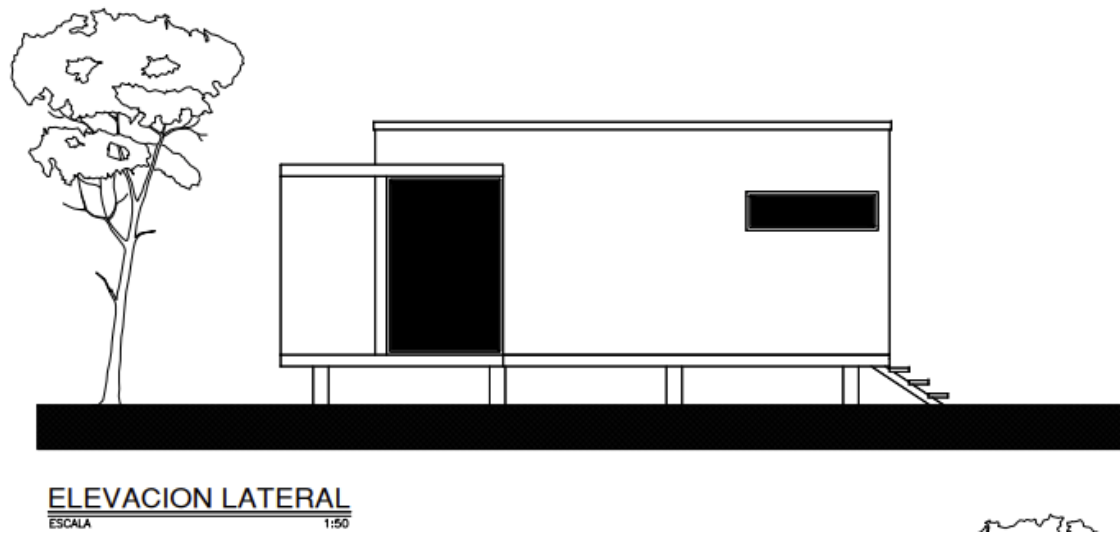


Figura 5.5: elevación lateral escala 1:50

Figura 5.6: Corte A-D elevación lateral

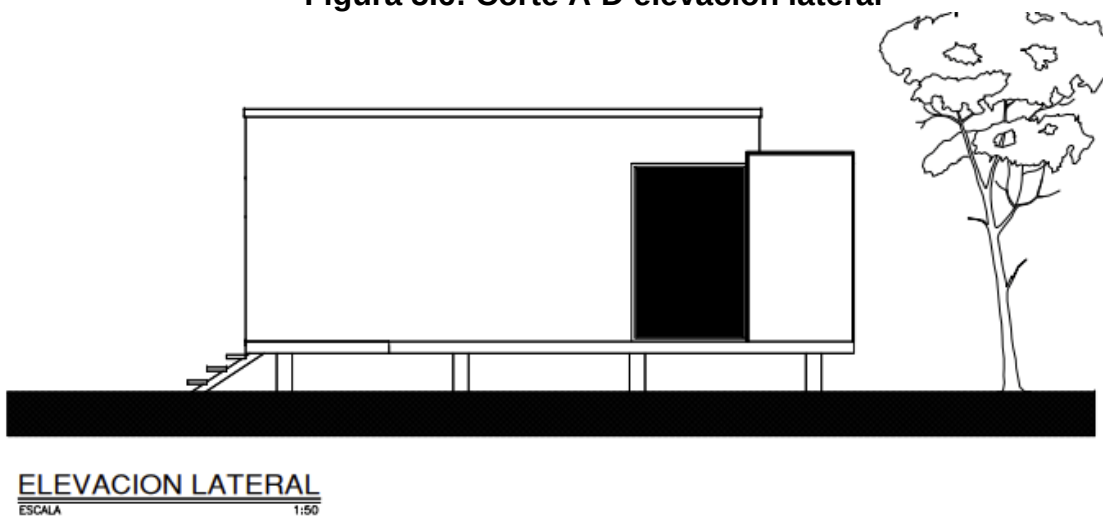


Figura 5.6 elevación lateral escala 1:50

Los planos se adjuntan en los anexos.

CAPITULO 6 DISCUSION Y CONCLUSIONES

6.1 CÓMO SE RESPONDE A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN CON LOS RESULTADOS

¿Qué impactos de costos y tiempos se pueden lograr en partidas de obra gruesa de construcción de viviendas en Chile con las impresoras 3D de gran formato?

En el desarrollo de esta investigación podemos concluir que con esta innovadora herramienta tecnológica el costo de metro cuadrado de muros para los diferentes proyectos es muy económico (\$5.335 pesos chilenos) en el caso teórico inicial y (\$12.397) en el análisis posterior aumentando el refuerzo de acero y los salarios de los trabajadores, que incluye mano de obra, la mezcla de hormigón que utiliza la impresora (con sus aditivos necesarios) y que los tiempos de impresión son bastante cortos (0.07 horas por m²=4.2 minutos).

Lo más importante a tomar en cuenta, es que las empresas que consideren al implementar esta herramienta constructiva, los altos costos de compra y envío internacional de esta, debido a la poca cantidad de empresas que las ofertan,, que tienen un costo alto de adquisición y que deben ser trabajadas y supervisadas por personas con la debida capacitación para que la reducción de tiempos y costos se vean reflejados al momento de la ejecución de los proyectos donde se utilizara la impresora 3d de extrusión de hormigón.

Cabe resaltar que la empresa que implemente esta herramienta tecnológica también tendrá ahorro de costos en mano de obra (debido a que se necesitan máximos 4 personas), 3 ayudantes y 1 operario, ahorro reflejado en los salarios, en los elementos de protección personal, en accidentes laborales, en herramientas, en error humano y en materiales utilizado por métodos de construcción tradicionales.

6.2. CONCLUSIONES

La impresión 3D tiene un enorme potencial en la construcción, ya que ofrece muchos beneficios que incluyen un tiempo de construcción reducido, libertad de diseño, uso maximizado de materiales, mano de obra reducida que genera menos accidentes, menos desperdicio, construcción más ecológica, viviendas de emergencia (en el caso que las regulaciones chilenas mejoren y acepten estas soluciones al instante y con posible adaptación a vivienda definitiva) y otras aplicaciones. Posicionada como un reemplazo posible o casi inmediato para los métodos de construcción tradicionales que existen en la actualidad, esta tecnología puede construir en el sitio con una impresora 3D, simplemente moviendo la máquina de lado a lado, lo que le permite construir más rápido que nunca.

La automatización en la industria de la construcción trae una gran cantidad de beneficios, pero al mismo tiempo como se ha visto en la industrialización global durante los avances tecnológicos en la historia, una consecuencia es que disminuye en gran cantidad la necesidad de mano de obra por el uso de maquinaria realizando las tareas hechas antes por trabajadores.

Implementar la impresora 3D de gran formato para construcción de muros de las edificaciones, es ventajoso, ya que los muros se pueden construir de una forma curvilínea y no debe ser en rectas como se desarrolla tradicionalmente, es decir a la impresora 3D de gran formato no le interesa si las paredes son rectas o curva.

Debido a la velocidad de impresión y la automatización de procesos de la impresora 3D de gran formato, hay una reducción de requisitos de mano de obra, es decir, la construcción impresa en 3D requiere un 40% menos de trabajadores que métodos tradicionales de construcción.

En el desarrollo de esta investigación podemos concluir que con esta innovadora herramienta tecnológica el costo de metro cuadrado de muros para los

diferentes proyectos es muy económico (\$12.397) en el análisis aumentando el refuerzo de acero y los salarios de los trabajadores, que incluye mano de obra, la mezcla de hormigón que utiliza la impresora (con sus aditivos necesarios) y que los tiempos de impresión son bastante cortos (0.07 horas por m²=4.2 minutos). Lo que demuestra que es entre un 42% y un 55% menos costoso que los sistemas constructivos analizados.

El objetivo 1 y 2 se cumplen dado el análisis comparativo entre las empresas que ofrecen el producto estudiado. Se analizaron las ventajas y desventajas de cada impresora 3D de gran formato para seleccionar la ofrecida por la empresa COBOD.

La viabilidad económica en el objetivo 3 se cumple al calcular si el proyecto era factible y cuando será rentable, como se puede observar en el análisis; en 6 años con un 25% de financiación.

EL objetivo 4 y 5 se calculó los costos de la metodología 3d y se comparó con las tradicionales. Dando como resultado que tiene un menor costo, menor tiempo de ejecución y menor requerimiento de mano de obra

Para futuras investigaciones se recomienda calcular resistencias bajo la normativa sísmica (Nch 433 de 1996 y N°117 y D.S. 61 2011) para ver la factibilidad de la utilización de este método para la construcción con impresoras de gran formato de mayor altura que la planteada en esta tesis

7. BIBLIOGRAFÍA

ANJUM, T.; DONGRE, P.; MISBAH, F. NANYAM, V. P. S. N. (2017). *Purview of 3DP in the Indian Built Environment Sector*. *Procedia Engineering*, 196 (June), 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.194>.

APANEEK, Victor (1971) *Design for the Real World*. Pantheon Books. Nueva York.

BBC (2014) *Deadly fire destroys homes in Chile's Valparaíso*. BBC News. Londres, UK. Consultado el 22 de junio de 2014.

BERRIOS, Danilo (2008) *Taludes y seguros*. FCC Construcción. Santiago, Chile.

CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN (2019) [CChC - Cámara Chilena de la Construcción](#). Consultado el 27 de mayo de 2021.

CEA, Alexandro (2016) *Enemigo de la indiferencia*. Mercurio de Valparaíso. 31 de enero de 2016. p. 16. Valparaíso, Chile. Consultado el 22 de junio de 2021.

CLARKE, Alison (2018) *Victor Papanek: Design, Ecology, and Global Activism*. [Victor Papanek: Design, Ecology, and Global Activism | Nature-Culture-Sustainability Studies | RISD](#). Consultado el 10 de abril de 2021.

CORFO. (2014). *Programa Estratégico Nacional de Productividad y Construcción Sustentable*. Santiago de Chile, Chile. <http://construye2025.cl/>.

CORFO (2016). *Hoja de ruta de Programa Nacional de Productividad y Construcción Sustentable*. Santiago de Chile, Chile. <https://www.aoa.cl/wp-content/uploads/2016/03/PMG-Informe-final-Hoja-de-Ruta-Construye-2025.pdf>.

CURBED (2017) *How to print a house*. <http://cort.as/-M59J> Consultado el 24 de junio de 2021.

DEEN, Thalif (2020) *Miles de millones de personas carecen de casa donde quedarse o agua con que lavarse*. InterpressService. <http://www.ipsnoticias.net/2020/05/miles-millones-personas-carecen-casa-donde-quedarse-agua-lavarse/>

DIARIO REGISTRADO (2014) *Ya son 12 los muertos y miles los damnificados por el voraz incendio en Valparaíso*. 15 de abril. Valparaíso, Chile de 2014. Consultado el 22 de junio de 2021

D-SHAPE (2021) <https://dshape.com>. Consultado el 24 de junio de 2021.

DUBALLET, R.; BAVEREL, O. DIRRENBARGER, J. (2017). *Classification of building systems for concrete 3D printing*. *Automation in Construction*, 83(August), 247-258. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.018>.

EL MERCURIO (2014) *15 mil voluntarios trabajan en los cerros*. 16 de abril de 2014. p. C6. Santiago, Chile. Consultado el 22 de junio de 2021.

EMOL (2014). 13 de abril. Santiago, Chile. Consultado el 22 de junio de 2021.

FERNANDEZ, Macarena (2016) *Impresora 3D de hormigón en Chile construye casas en un solo día*. El Definido. 23 de diciembre de 2016. Santiago. Chile.

GARAY, Rose (2015) *Viviendas de emergencia: reflexiones a partir de la experiencia del 27F*. Revista INVI; vol 30 n° 83. Santiago, Chile.

HAGER, I. GOLONKA, A. PUTANOWICZ, R. (2016). *3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?* Procedia Engineering, 151, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.

Hager, I.; Golonka, A. & Putanowicz, R. (2016). *3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction?* Procedia Engineering, 151, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.

KHOSHNEVIS (2002) *Automated construction by Contour Crafting Related*. Robotic and Information Technologies. Vol 13. Issue 1. p 5-19.

LABONNOTE, N.; RONNQUIST, A.; MANUM, B. RUTHER, P. (2016). *Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities*. Automation in Construction, 72, 347-366. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.026>.

LA TERCERA (2014) *Siniestro entra en fase de liquidación y anuncian medidas*. 16 de abril. Santiago. Chile. Consultado el 22 de junio de 2021.

MONTIEL (2019) *La revolución silenciosa de la cadena de suministro*. [La revolución silenciosa en la cadena de suministro - El Blog de Juan José Montiel \(cdecomunicacion.es\)](http://La%20revolucion%20silenciosa%20en%20la%20cadena%20de%20suministro%20-%20El%20Blog%20de%20Juan%20Jos%C3%A9%20Montiel%20(cdecomunicacion.es))

OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA (2014) *Se declara Alerta Roja para la comuna de Valparaíso por incendio forestal*. Onemi.cl. Santiago, Chile. Consultado el 22 de junio de 2021.

PSI (2020) [Pisos de concreto: la guía completa | PSI Concreto](#)

ORTEGÓN, Edgard. PACHECO, Juan. PRIETO, Adriana (2015) *Metodología del Marco Lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. CEPAL. Santiago, Chile.

REYES Hugo (2018) *Estudio de las características del hormigón para su uso en una máquina de impresión: selección de propiedades, ensayos experimentales y diseño de mezcla*. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

ROA, Yerko (2018) *34.000 viviendas se necesitan en Valparaíso según MINVU*. [34 mil viviendas se necesitan en región de Valparaíso según Minvu \(biobiochile.cl\)](http://34%20mil%20viviendas%20se%20necesitan%20en%20regi%C3%B3n%20de%20Valpara%C3%ADso%20seg%C3%ban%20Minvu%20(biobiochile.cl))

ROMERO (2008). <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117772/1%20-%20Artig-Romero%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RUBIO, Isabel (2020) [*Tungsteno. Construcciones en 3D que revolucionan la ingeniería • Sacyr*](#)

SOUZA (2019) [*¿El futuro de la vivienda social podría ser la impresión 3D? | Plataforma Arquitectura*](#)

Sanjayan, J. G., Nematollahi, B., Xia, M., & Marchment, T. (2018). Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete. *Construction and building materials*, 172, 468-475.

TERRA (2014) *Mega incendio en Valparaíso*» 14 de abril. Consultado el 22 de junio de 2014.

UNIVERSIDAD DE CHILE (2020) *Vivienda y segregación social, las otras desigualdades que el covid-19 hizo visibles*. <https://www.uchile.cl/noticias/163044/vivienda-y-segregacion-social-las-otras-desigualdades-que-el-covid19#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%201.528.284,fen%C3%B3meno%20del%20allegamiento%20y%20hacinamiento>.

VALDERRAMA, Lorena B. (2014): "La Historia de la Sismología en Chile a inicios del Siglo XX. Una mirada desde los actores", en: Valderrama, L. B. y B. Santander

Jackson, R. J., Wojcik, A., & Miodownik, M. (2018). 3D printing of asphalt and its effect on mechanical properties. *Materials & Design*, 160, 468-474. (Coords.) Socializar Conocimientos N°2: Observando a Chile desde la Distancia. Santiago de Chile: RedInche Ediciones, pp. 542-562.

VILLAVICENCIO, Mariana (2014) [*La impresora 3D, la apuesta para las viviendas de emergencia \(expansion.mx\)*](#)

Sakin, M., & Kiroglu, Y. C. (2017). 3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711.

WANGLER, T.; LLORET, E.; REITER, L.; HACK, N.; GRAMAZIO, F.; KOHLER, M., FLATT, R. (2016). Digital Concrete: Opportunities and Challenges. RILEM Technical Letters, 1, 67-75. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2016.16>.

(Keating, 2016) Keating, S. J., Gariboldi, M. I., Patrick, W. G., Sharma, S., Kong, D. S., & Oxman, N. (2016). 3D printed multimaterial microfluidic valve. *PloSone*, 11(8), e0160624.

Furet, B., Poullain, P., & Garnier, S. (2019). 3D printing for construction based on a complex wall of polymer-foam and concrete. *Additive Manufacturing*, 28, 58-64.

[\(Eastman et.al, 2010\) Eastman, C. M., Jeong, Y. S., Sacks, R., & Kaner, I. \(2010\). Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *Journal of computing in civil engineering*, 24\(1\), 25-34.](#)

[\(Forum, bim\) FORUM, BIM. BIM FORUM BUILDING SMART. 15 de Enero de 2005. *bimforum.org*. 4.](#)

[Piroozfar, P., Farr, E. R., Zadeh, A. H., Inacio, S. T., Kilgallon, S., & Jin, R. \(2019\). Facilitating building information modelling \(BIM\) using integrated project delivery \(IPD\): A UK perspective. *Journal of Building Engineering*, 26, 100907.](#)

[Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. Design and Control of Concrete Mixtures, Portland Cement Association. 2002 \(rev. 2008\). 372p. *information on: http://www.scribd.com/doc/38044723/Design-and-Control-of-Concrete-Mixtures-PCA*.](#)

[7.1 LINKCOGRAFIA](#)

<http://www.contourcrafting.com/>, Contour crafting corporation, 2020

<http://www.winsun3d.com/En/About>, Yingchuang Building Technique, 2021

<https://borgenproject.org>, 2022

<https://www.uchile.cl/noticias/163044/vivienda-y-segregacion-social-las-otras-desigualdades-que-el-covid19#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%201.528.284,fen%C3%B3meno%20del%20allegamiento%20y%20hacinamiento>, 2020

<https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2017/01/07/plantaciones-de-eucaliptos-pinos-y-aromos-en-valparaiso-una-sociedad-pirofila-de-responsabilidad-ilimitada/>.ELMOSTRADOR (2017).

[Proyecciones de la construcción impresa en 3D en Chile \(*conicyt.cl*\), GARCÍA \(2020\)](#)

7.1 ANEXOS

Consentimiento informado



Usted está invitado a participar del proyecto de tesis de grado titulado **“ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACION DE IMPRESORAS 3D PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCION DESARROLLADOS EN CHILE.**

. Este estudio es realizado por Sebastián Tomey de la carrera de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Valparaíso y es guiado por el académico, profesor Uriel Padilla. El alumno es el Investigador Responsable de esta investigación.

Su participación en este estudio es voluntaria y si Ud. está de acuerdo se le realizarán los siguientes procedimientos: el investigador realizará entrevista en profundidad, de manera oral, la cual será grabada a través de teléfono celular, esta entrevista tendrá un máximo de 40 minutos. La participación en estas actividades no involucra pago o compensaciones

Es importante que sepa que Ud. no sufrirá ningún riesgo, incomodidad o molestia con la realización de estos procedimientos y si algo ocurriese los autores de este estudio estarán totalmente disponibles para ayudarle o contestar cualquier inquietud.

Su participación es de gran importancia para el desarrollo de este estudio ya que estará contribuyendo para obtener y recaudar información desde las propias personas involucradas que trabaja en el programa voluntariado.

Se garantiza que sus datos personales se mantendrán en completa privacidad y anonimato. Todos los datos y documentos de este estudio se mantendrán archivados durante 5 años por el investigador responsable, periodo después del cual serán eliminados. Los

resultados de esta investigación pueden ser publicados, sin identificar a los participantes, en medios de difusión con objetivos académicos.

Usted tiene la libertad para decidir si quiere participar del estudio y puede retirar su autorización en cualquier momento, sin necesidad de justificarse.

Este Consentimiento Informado será firmado en 2 copias, quedando una en su poder y otra en poder del Investigador Responsable. A continuación, se indican los datos de contacto del investigador responsable para aclarar sus dudas e inquietudes siempre que Ud. lo encuentre necesario.

- Nombre del Investigador Responsable: Sebastián Tomey
- Teléfono: +56 96 6841132
- Correo electrónico: <sebastian.tomey@alumnos.uv.cl>

Entrevistado

Responsable de la Investigación