

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA  
VALPARAÍSO - CHILE**



**SISTEMA AUTOMATIZADO DE DISEÑO MODULAR  
PARA VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS DE MADERA**

**JESÚS NAVARRO FARÍAS**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE ARQUITECTO**

**PROFESOR GUÍA: GUSTAVO SARABIA FUENTES**

**CO-REFERENTE: LAURO OLFOS VARGAS**

**DICIEMBRE, 2023**



# **SISTEMA AUTOMATIZADO DE DISEÑO MODULAR PARA VIVIENDAS INDUSTRIALIZADAS DE MADERA**

Dinámicas Modulares





# RESUMEN

El presente proyecto I+D se enfoca en la Construcción 4.0 y en cuáles son sus posibles aplicaciones para aportar al desafío habitacional que existe actualmente en Chile. Se explora el concepto de Industrialización avanzada o paramétrica, un método de diseño y construcción que se basa en los principios de la Industria 4.0 para entregar experiencias de diseño orientadas a la flexibilidad y personalización en proyectos altamente estandarizados, gracias a la automatización de procesos y la programación de tareas que hasta hoy, se realizaban de forma análoga. La investigación se enfoca en la falta de personalización y adaptabilidad de las iniciativas de viviendas industrializadas actuales y avaladas por MINVU, que mantienen aún sistemas rígidos y cerrados de diseño e industrialización. Se propone el desarrollo de un sistema que integre eficientemente la productividad de la construcción industrializada con la flexibilidad del diseño personalizado en el escenario nacional, alineándose con los principios de la Construcción 4.0 y la automatización.

Para tal efecto, se define como objetivo general desarrollar un algoritmo que permita integrar todos los parámetros elementales propios del diseño de una vivienda industrializada, tales como: criterios técnicos y normativos, procesos de industrialización con madera, sistemas de diseño y construcción modular y el diseño de componentes estructurales y constructivos, pero, con una lógica semi-abierta que permita la manipulación de ciertos parámetros para brindar una experiencia orientada a la flexibilidad y personalización en la generación del proyecto de vivienda.

Finalmente se desarrolla un plug-in que traduce este algoritmo a un lenguaje de programación visual utilizando los softwares Rhinoceros 3D y Grasshopper con el fin de testear el algoritmo descrito y verificar el cumplimiento del objetivo general.

Con esta investigación se busca abrir oportunidades de diseño participativo, adaptable y personalizado en un área de la construcción que históricamente ha sido representada por la repetitibilidad, la baja flexibilidad y la despersonalización.

## PALABRAS CLAVE

Vivienda asequible  
Viviendas Industrializadas  
Construcción con madera  
Diseño participativo  
Industrialización avanzada  
Diseño algorítmico  
Programación visual



# ABSTRACT

This R&D project focuses on industrialized construction, aiming to address housing challenges in Chile through innovation. It seizes the opportunity presented by the lack of customization and adaptability in current industrialized housing initiatives endorsed by MINVU, proposing the development of a system that efficiently integrates the productivity of industrialized construction with the flexibility of personalized design, aligning with the principles of Industry 4.0 and automation. The research centers on the use of timber as the main structural material, highlighting its low environmental impact and energy efficiency compared to other materials.

For this purpose, the general objective is defined as reconciling current technical criteria and industrialization processes with timber, the design of a system of adaptable architectural modules, and the design of their respective construction panels, in a Rhinoceros3D plug-in using Grasshopper - also developed during the research - that allows the integration of all the fundamental parameters of the design of an industrialized house, but with a semi-open logic that allows the manipulation of certain parameters to deliver an experience oriented towards flexibility and personalization in the generation of the housing project.

Methodologically, the research relies on a collection of information - including current regulations and construction processes - to inform and construct the parameter matrix that feeds the sequence of steps of the described algorithm. This algorithm is ultimately tested in a plug-in developed with Rhinoceros 3D and Grasshopper software, to conduct experiments and tests that verify the achievement of the general objective.

From this development, it has been concluded that the implementation of advanced industrialization technologies is viable in the national scenario, setting a precedent in terms of participatory and personalized design in mass housing projects in Chile.

## KEYWORDS

- Affordable Housing
- Industrialized Housing
- Timber Construction
- Participatory Design
- Advanced Industrialization
- Algorithmic Design
- Visual Programming

# ÍNDICE

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Presentación.</b>                                                          | 07 |
| + Introducción                                                                | 07 |
| + Pregunta de investigación                                                   | 09 |
| + Objetivos                                                                   | 09 |
| + Metodología                                                                 | 11 |
| <b>1. CAPÍTULO I   El Problema habitacional en Chile.</b>                     | 14 |
| 1.1. Productividad y Sostenibilidad.                                          | 17 |
| 1.2. Legislación y Calidad.                                                   | 22 |
| 1.3. Diseño participativo y Adaptabilidad.                                    | 26 |
| <b>2. CAPÍTULO II   Vivienda masiva: Un análisis histórico y prospectivo.</b> | 30 |
| 2.1. Construcción Industrializada.                                            | 34 |
| 2.1.1. Construcción volumétrica prefabricada preterminada (PPVC).             | 37 |
| 2.2. Construcción sostenible con madera.                                      | 39 |
| 2.2.1. Diseño para manufactura y ensamblaje (DFAM).                           | 40 |
| 2.3. Normativa, calidad y políticas públicas.                                 | 44 |
| 2.3.1. Norma Chilena de Construcción Industrializada NCh3744.                 | 46 |
| 2.3.2. Programa de Viviendas Tipo Industrializadas (VTI).                     | 47 |
| <b>3. CAPÍTULO III   Construcción 4.0 e Industrialización avanzada</b>        | 50 |
| 3.1. Software especializado.                                                  | 53 |
| 3.2. Diseño de algoritmos en arquitectura.                                    | 55 |
| 3.3. Programación y desarrollo de software en arquitectura.                   | 57 |
| 3.4. Industrialización avanzada.                                              | 59 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4. CAPÍTULO IV   Prueba de concepto.</b>                             | 62  |
| 4.1. Recopilación de parámetros.                                        | 64  |
| 4.1.1. De la normativa.                                                 | 65  |
| 4.1.2. De los procesos y sistemas constructivos.                        | 77  |
| 4.2. Diseño del Algoritmo                                               | 101 |
| 4.3. Diseño del sistema modular.                                        | 106 |
| 4.3.1. Estudio de cabida y tipologías de módulo.                        | 107 |
| 4.3.2. Diseño de elementos y componentes constructivos.                 | 112 |
| 4.4. Desarrollo del plug-in: Automatización del diseño y documentación. | 118 |
| <b>5. Experimentos y testeos.</b>                                       | 128 |
| <b>6. Análisis y resultados.</b>                                        | 140 |
| <b>7. Conclusiones.</b>                                                 | 144 |
| <b>8. Referencias Bibliográficas.</b>                                   | 146 |
| <b>9. Anexos.</b>                                                       | 148 |

# INTRODUCCIÓN

La vivienda es un componente fundamental de la infraestructura social y económica de cualquier país, y su diseño, construcción y planificación tienen profundas implicancias en la calidad de vida de las personas. Sin embargo, históricamente ha sido un desafío acoger la demanda de viviendas, sobre todo para los sectores más bajos de la población. Según la Cámara Chilena de la Construcción, en el año 2023 el déficit habitacional en Chile llegó a más de 1 millón de viviendas, casi duplicando el de hace veinte años atrás<sup>(1)</sup>. Esto refleja que a pesar de las distintas iniciativas públicas y privadas enfocadas en reducir este déficit, el problema habitacional sigue latente en el país, y en un aumento constante. ¿Cuáles son los factores que influyen en este déficit?, ¿Qué estrategias existen actualmente para combatir este problema?, ¿Cuáles son las tendencias mundiales en torno al diseño y construcción de viviendas? Estas son algunas de las preguntas que guían este proyecto I+D, buscando abordar desde la innovación y el desarrollo tecnológico los desafíos habitacionales que existen hoy en día en Chile.

Históricamente, la construcción en masa ha sido una respuesta ante la urgencia habitacional, velando por la productividad, la rapidez en los procesos y la reducción de los costos, sin embargo, este enfoque ha generado ciudades monocromáticas, con conjuntos habitacionales que carecen de identidad y adaptabilidad con el entorno específico en el que se encuentran, fomentando la desigualdad social y la marginalidad<sup>(2)</sup>.

Con el fin de profundizar y comprender de fondo el problema planteado, en este proyecto se realiza un análisis histórico y prospectivo de la vivienda masiva. Se profundiza en el desarrollo y las implicaciones de la construcción industrializada, se analiza cómo influye el factor sostenibilidad en la construcción actual, se exploran los beneficios de la construcción industrializada con madera y cuáles son los mecanismos para llevarla a cabo eficientemente. Además, se revisa la normativa chilena y las políticas públicas enfocadas en el déficit habitacional y la construcción sostenible, como el Plan de Emergencia Habitacional y la Agenda 2030.

<sup>1</sup> UChile, D. (2023, 12 octubre). *Déficit habitacional aumentó 13%: Se necesitan 1 millón de nuevas viviendas*. Radio U de Chile. <https://radio.uchile.cl/2023/10/12/deficit-habitacional-aumento-13-se-necesitan-1-millon-de-nuevas-viviendas/>

<sup>2</sup> Orellana Pedro (2012). *Hábitat 4D adaptabilidad en la vivienda social*.

En paralelo a este contexto, en el mundo, año tras año se están desarrollando más y mejores tecnologías, el desarrollo de la inteligencia artificial, la robótica y la automatización, entre otras, abrieron paso a la cuarta revolución industrial y por ende, al auge de la Construcción 4.0 <sup>(3)</sup>. En este proyecto se analiza cómo la industria 4.0 puede aportar en el desafío habitacional y cuáles son sus posibles aplicaciones en arquitectura y construcción. Se realiza un análisis de casos de estudio relevantes en este aspecto. Descubriendo el concepto más relevante y estructurante de esta tesis, la Industrialización avanzada o paramétrica, un método de diseño y construcción que se basa en los principios de la industria 4.0 para entregar una experiencia de diseño orientada a la flexibilidad y personalización en proyectos altamente estandarizados, gracias a la automatización de procesos y la programación de tareas que hasta hoy, se realizaban de forma análoga.<sup>(4)</sup>

La propuesta I+D busca consolidar el análisis previo en el desarrollo de un algoritmo que permita integrar todos los parámetros elementales propios del diseño de una vivienda industrializada, tales como: criterios técnicos y normativos, procesos de industrialización con madera, sistemas de diseño y construcción modular y el diseño de componentes estructurales y constructivos, pero, con una lógica semi-abierta que permita la manipulación de ciertos parámetros para brindar una experiencia orientada a la flexibilidad y personalización en la generación del proyecto de vivienda. Para el posterior desarrollo de un plug-in que traduce este algoritmo a un lenguaje de programación visual utilizando los softwares Rhinoceros 3D y Grasshopper.

Con esta investigación se busca abrir oportunidades de diseño participativo, adaptable y personalizado aplicando los principios de la Industrialización Avanzada en un área de la construcción que históricamente ha sido representada por la repetitibilidad, la baja flexibilidad y la despersonalización.

<sup>3</sup> Acheamfour, V. K., Addy, M. N., Kissi, E., & Aigbavboa, C. (2023). *Overview of the 4th Industrial Revolution in the Construction Industry. In Emerging Debates in the Construction Industry* (pp. 115-125). Routledge.

<sup>4</sup> Guallart Vicente (2023). *Seminario de Vivienda Sustentable, CENAMAD*.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

Reconociendo el concepto de Industrialización Avanzada y cómo ha influido en la industria internacional. ¿Es viable la implementación de este concepto en el escenario nacional para la construcción de viviendas en masa?

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Se define como objetivo general conciliar criterios técnicos vigentes, procesos de industrialización con madera, el diseño de un sistema de módulos arquitectónicos adaptables y el diseño sus respectivos paneles constructivos, en un plug-in de Rhinoceros3D utilizando Grasshopper -también desarrollado durante la investigación- que permita integrar todos los parámetros elementales propios del diseño de una vivienda industrializada, pero, con una lógica semi-abierta que permita la manipulación de ciertos parámetros para entregar una experiencia orientada a la flexibilidad y personalización en la generación del proyecto de vivienda.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**I. Recopilación de parámetros:** Crear una matriz de parámetros detallada que incluya aspectos clave como diseño estructural, requerimientos espaciales, programáticos, de productividad y criterios de adaptabilidad y personalización, basada en las normativas vigentes y las prácticas actuales en construcción industrializada con madera en Chile.

**II. Diseño del algoritmo:** Con base en la matriz descrita, diseñar un algoritmo que integre estos parámetros y desarrollar el flujo de datos que permita automatizar parte del proceso de diseño y documentación del proyecto de vivienda.

**III. Diseñar módulos y componentes constructivos:** En base al algoritmo descrito, diseñar un sistema de tipologías y subtipologías de módulos arquitectónicos y sus componentes constructivos prefabricados (paneles).

**IV. Desarrollo de Plug-in para Rhinoceros 3D y Grasshopper:** Desarrollar un plug-in que traduzca el algoritmo a un lenguaje de programación visual utilizando los softwares Rhinoceros 3D y Grasshopper, con el fin de desarrollar una interfaz para testear y validar el algoritmo desarrollado.

**V. Probar y testear:** Realizar una prueba del plug-in en un escenario representativo.

# METODOLOGÍA Y ALCANCE DEL PROYECTO

Metodológicamente, la investigación se vale de una recopilación de información -entre normativa vigente y procesos constructivos– para informar y construir una matriz de parámetros que alimente la secuencia de pasos del algoritmo descrito, que finalmente se pone a prueba en un plug-in desarrollado con los softwares Rhinoceros 3D y Grasshopper, para realizar experimentos y testeos que permitan verificar el cumplimiento del objetivo general.

## 1. Recopilación de Información

### a) Normativa Vigente:

Revisión de leyes y regulaciones actuales en la construcción y vivienda en Chile.  
Análisis de estándares de construcción industrializada y requisitos específicos.

### b) Procesos Constructivos:

Estudio de métodos de construcción industrializados existentes.  
Investigación sobre el uso de la madera en construcción sostenible.

## 2. Construcción de la Matriz de Parámetros

### a) Definición de Parámetros:

Identificación de variables clave basadas en la normativa y procesos constructivos.  
Determinación de parámetros de diseño, materiales, sistemas y procesos constructivos.

### b) Desarrollo de la Matriz:

Integración de parámetros en una matriz coherente.  
Preparación de la matriz para su implementación en software.

## 3. Desarrollo del Algoritmo

### a) Diseño del Algoritmo:

Creación de un algoritmo para el diseño modular y personalización que utilice la matriz de parámetros.  
Asegurar la interacción fluida entre los parámetros y el diseño generado.

#### **4. Diseño del sistema modular**

- a) Diseñar las distintas tipologías y subtipologías de módulos arquitectónicos.
- b) Diseñar y modelar las tipologías y subtipologías de los componentes constructivos.

#### **5. Desarrollo del Plug-in**

- a) Programación y desarrollo del plugin, traducción del algoritmo a un lenguaje de programación visual que permita testear la funcionalidad de este.

#### **6. Experimentos y Testeos**

- a) Simulaciones de Diseño:  
Realización de pruebas de diseño utilizando el plug-in.  
Evaluación de diferentes configuraciones y adaptaciones.
- b) Análisis de Resultados:  
Comparación de los diseños generados con los criterios establecidos.  
Ajustes y mejoras del algoritmo y la matriz de parámetros.

#### **7. Conclusión y discusión**

- a) Elementos concluyentes para la hipótesis y objetivos:  
Verificación de la capacidad del sistema para ofrecer soluciones personalizadas y flexibles.



## CAPÍTULO I

# **EL PROBLEMA HABITACIONAL EN CHILE**

El problema habitacional en Chile es un tema complejo y multifacético que ha persistido y evolucionado a lo largo de las décadas<sup>(5)</sup>. En 2022, el país enfrentó un déficit que superó las 650 mil viviendas, cifra que refleja no solo la magnitud del problema sino también la urgencia de encontrar soluciones efectivas y sostenibles. Para 2023, este déficit aumentó a más de un millón de viviendas, lo que pone en evidencia la creciente demanda de vivienda digna y asequible.

El análisis de esta crisis habitacional requiere un enfoque multidimensional. En la presente investigación, se analizan las raíces históricas, los desafíos actuales y las implicaciones futuras del problema habitacional en Chile. Se explorarán las diversas dimensiones que contribuyen a este panorama, incluyendo factores económicos, sociales, políticos y ambientales. Se hce hincapié en cómo el estancamiento en la productividad del sector de la construcción durante los últimos 10-15 años ha influido significativamente en la agudización del problema. Además, la influencia de la legislación y la calidad de las soluciones habitacionales actuales, y finalmente la incorporación de mecanismos de adaptabilidad y personalización como un requerimiento intranzable para el desarrollo de viviendas sostenibles.

5 Quilodrán, J. S. F., & Gómez, D. S. (2023). *Emergencia habitacional: interrelaciones entre servicio público y academia en Chile. Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura.*

Este análisis comienza con una revisión histórica que revela cómo la urbanización acelerada, las políticas habitacionales y la industrialización han configurado el panorama actual. Además, se analiza cómo las políticas de vivienda han evolucionado a lo largo de los años.

En cuanto a los desafíos actuales, se hace especial atención al papel de la productividad en el sector de la construcción. Se investiga cómo la falta de innovación y la resistencia al cambio han contribuido a la baja productividad, lo que a su vez ha exacerbado el déficit de viviendas. Se considera cómo la adopción de nuevas tecnologías y métodos de construcción, como la construcción industrializada y el uso de materiales sostenibles, pueden ofrecer soluciones a estos desafíos.

También se hace un énfasis en el aspecto de la legislación y el control de calidad en la construcción de viviendas. Se explora cómo las normativas de construcción y los estándares de calidad afectan la habitabilidad y la durabilidad de las viviendas. Se examina el equilibrio entre la construcción asequible y el mantenimiento de altos estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad.

Por último, se discute la importancia de la adaptabilidad y la personalización en el desarrollo de soluciones habitacionales. Se argumenta que la capacidad de adaptar las viviendas a las necesidades específicas de los individuos y las comunidades es crucial para asegurar su relevancia y sostenibilidad a largo plazo. Se considera cómo la integración de la participación de los usuarios en el proceso de diseño y la flexibilidad en la configuración de las viviendas pueden mejorar la calidad de vida y satisfacer las demandas de una población diversa.

## 1.1 PRODUCTIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD

Hoy en día, y mirando hacia el futuro, es imposible hablar de productividad sin tener en consideración el aspecto de la sostenibilidad. Sin embargo, y como se mencionó previamente, la productividad en el sector de la construcción en Chile ha presentado un estancamiento en los últimos 10 a 15 años, debido a que se continúan implementando métodos tradicionales de construcción, que son altamente ineficientes y poco sostenibles. Esta situación contrasta con la tendencia global hacia la construcción sostenible, que no solo busca reducir el impacto ambiental, sino también mejorar la eficiencia en el uso de recursos y materiales. A nivel internacional, se están adoptando prácticas como la construcción modular, el uso de materiales reciclados o de bajo impacto ambiental y la integración de tecnologías inteligentes para la gestión eficiente de los edificios.<sup>(6)</sup>

### 1.1.1 PRODUCTIVIDAD

En el país, la transición hacia métodos de construcción más avanzados y productivos se enfrenta a varios obstáculos. Uno de los principales es la falta de innovación y adaptación a nuevas tecnologías en el sector. Muchas empresas constructoras todavía se apoyan en prácticas y herramientas obsoletas, que aunque son conocidas y probadas, no ofrecen la eficiencia ni la productividad que requieren los desafíos actuales. Esta resistencia al cambio inhibe la incorporación de procesos más ágiles y eficientes, como la construcción modular o el uso de materiales innovadores como la madera de ingeniería, que podrían significar un gran avance en términos de productividad y sostenibilidad.

Si desglosamos el problema de la productividad en los principales factores que le influyen, podemos enfocar las energías en fomentar y producir las tecnologías clave con las que afrontar el problema. Para esto, se analiza la productividad en el sector de la construcción en Chile con respecto al promedio en los países pertenecientes a la OCDE, considerados como referentes en términos de productividad.

<sup>6</sup> CChC | Matrix Consulting (2020)  
“Impulsar la productividad de la  
industria de la Construcción en Chile  
a estándares mundiales”.

Los principales factores abordados pueden agruparse en 8 temáticas: Industrialización, disponibilidad y calidad de la mano de obra, marco regulatorio constructivo, sostenibilidad socioambiental, digitalización, BIM, colaboración, modelos de gestión y diseños. En la siguiente gráfica se muestra una comparación de estas temáticas en Chile respecto de los demás países pertenecientes a la OCDE.

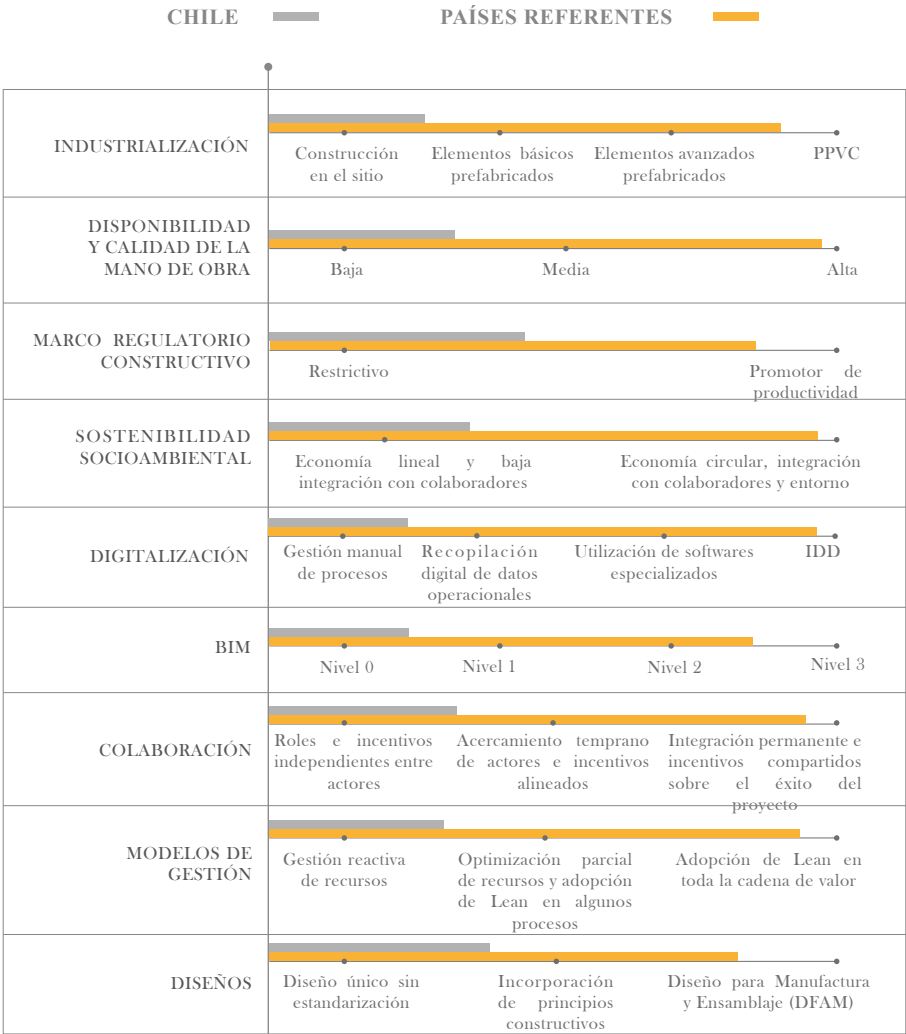


FIGURA 1 | Comparación productividad Chile vs Países OCDE

Figura 1. Elaboración propia a partir de: “Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales” Matrix Consulting

Se puede reconocer que bajo estos 8 aspectos Chile presenta una deficiencia a nivel de productividad, para analizar las oportunidades que tiene el país para mejorar esta situación se desglosará el problema en 3 aspectos principales:

### **INDUSTRIALIZACIÓN**

La adopción de métodos de construcción industrializados ofrece beneficios significativos para la construcción de viviendas, particularmente en contextos donde el déficit habitacional es un problema grave, como en Chile. Estos métodos prometen no solo eficiencia y rapidez en la construcción, sino también una mayor calidad y uniformidad en las viviendas producidas. La estandarización de componentes y procesos, permite la producción en masa de unidades habitacionales, reduciendo costos y tiempos de construcción.

### **DISEÑO**

Para desarrollar e implementar procesos industrializados en la construcción es imprescindible incorporar métodos avanzados de diseño que aseguren la eficiencia y productividad en el proceso constructivo completo, bajo este requerimientos se desarrollan métodos como el Diseño Para Manufactura y Ensamblaje (DFAM) que se abordará en detalle más adelante.

### **DIGITALIZACIÓN**

Para desarrollar diseños avanzados es indispensable la utilización de softwares y modelos digitales que permitan analizar y documentar proyectos de forma digital, realizando una eficiente conexión entre los procesos de diseño y fabricación. Esta visión permitió desarrollar el Diseño Asistido por Computadora (CAD), la Manufactura Asistida por Computadora (CAM) y el Building Information Modeling (BIM), entre otros.

La incorporación de estos tres aspectos ha demostrado poder contribuir a aumentar significativamente la productividad en la construcción, es importante considerarlos si buscamos reducir el déficit habitacional en Chile.

### 1.1.2 Sostenibilidad

En el panorama global contemporáneo, es crucial que las soluciones en el ámbito de la construcción no solo sean productivas sino también sostenibles desde el punto de vista ambiental. Los materiales tradicionales, a menudo empleados en la construcción, están asociados con elevadas emisiones de CO<sub>2</sub> y un considerable gasto energético tanto en su producción como en su uso posterior. Este contexto demanda un cambio hacia materiales más eficientes, sostenibles y con un impacto ambiental reducido<sup>(7)</sup>.

Para impulsar la sostenibilidad en el sector de la construcción, se hace imprescindible una transición hacia materiales que no solo cumplan con los estándares de resistencia y durabilidad, sino que también contribuyan a la protección del medio ambiente. En esta línea, la madera emerge como una opción prometedora. Este material, utilizado desde tiempos ancestrales, se reinventa en la era moderna como una alternativa sostenible, especialmente en el desarrollo de la construcción industrializada, destacando por su baja huella de carbono y su capacidad de almacenar CO<sub>2</sub>, un aspecto crucial en la lucha contra el cambio climático.

Chile, con sus extensos y ricos recursos forestales, se encuentra en una posición única para liderar la innovación en la construcción con madera. La utilización de este recurso no solo fomentaría el desarrollo de una industria local sustentable, sino que también colocaría a Chile como un pionero en la construcción con madera a nivel regional. Este enfoque no solo se alinea con las tendencias globales hacia la construcción sostenible, sino que también ofrece una oportunidad para explorar y optimizar tecnologías de construcción que minimicen el impacto ambiental.

<sup>7</sup> Betancur Uribe, A. *Cero emisiones. Una alternativa para el siglo XXI*.

<sup>8</sup> POR QUÉ MADERA. (s. f.). <https://www.madera21.cl/2757-2/>

Además, la construcción con madera en Chile podría ser un catalizador para el desarrollo económico, generando empleo y estimulando la economía local a través de la cadena de suministro forestal. Con una gestión forestal responsable y sostenible, se pueden producir materiales de construcción que no solo sean ecológicamente responsables, sino también energéticamente eficientes. Las viviendas construidas con madera podrían ofrecer mejor aislamiento térmico, reduciendo así el consumo de energía para calefacción y refrigeración, lo que se traduce en un menor impacto ambiental y ahorro económico para los propietarios.

Este enfoque también abre la puerta a la innovación en el diseño y la arquitectura, permitiendo la creación de espacios que no solo son estéticamente agradables y funcionales, sino también armónicos con el entorno. La construcción con madera en Chile podría convertirse en un modelo a seguir en términos de desarrollo sostenible, mostrando cómo la innovación y la sostenibilidad pueden ir de la mano en el sector de la construcción.

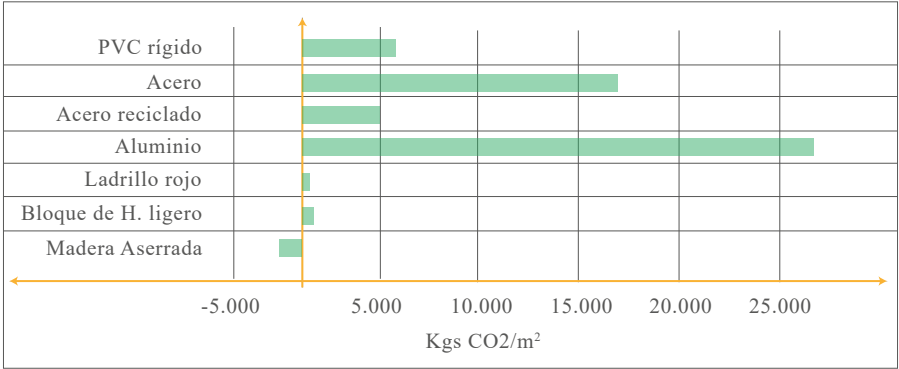


FIGURA 2 | Comparación del CO2 producido por diferentes materiales.

Figura 2. Elaboración propia a partir de: POR QUÉ MADERA. (s. f.). <https://www.madera21.cl/2757-2/>

## 1.2 LEGISLACIÓN Y CALIDAD

Los procesos de legislación en los proyectos de construcción en Chile han sido tradicionalmente lentos y poco efectivos, lo que ha generado importantes retrasos en la entrega de viviendas a los usuarios. Esta situación ha sido un obstáculo significativo en el camino hacia una vivienda asequible y de calidad(8). Históricamente, muchas de las viviendas entregadas han sido de mala calidad, con deficiencias en su construcción y acabados, además de no cumplir con los plazos de ejecución estimados. Este escenario ha tenido un impacto directo en la satisfacción de los usuarios y en la percepción general de la vivienda masiva.

Las casas Copeva son un ejemplo representativo de esta condición. Estas casas se convirtieron en un símbolo de la construcción deficiente en Chile. Estas viviendas, construidas durante la década de los 90, fueron parte de un esfuerzo por proporcionar viviendas asequibles a gran escala. Sin embargo, muchas de estas casas se construyeron con materiales de baja calidad y técnicas de construcción deficientes, lo que resultó en problemas estructurales, filtraciones, aislamiento térmico inadecuado y otros problemas que afectaron la calidad de vida de sus habitantes. El caso de las casas Copeva no solo resalta las falencias en la supervisión y el control de calidad en la construcción, sino también en la legislación y normativas que deberían garantizar la seguridad y habitabilidad de las viviendas(9).

Por otro lado, existe un problema hasta ahora silencioso en el país, la venta y comercialización de casa prefabricadas no reguladas. A pesar de la popularidad de las viviendas prefabricadas debido a su bajo costo y rapidez de construcción, muchas de estas estructuras se erigen sin el cumplimiento adecuado de las normativas de construcción(10). Esto se debe a una falta de regulación efectiva y a veces a un desconocimiento por parte de los consumidores sobre los estándares de seguridad y calidad requeridos. Como resultado, estas viviendas pueden presentar riesgos significativos, incluyendo problemas estructurales, falta de aislamiento adecuado y vulnerabilidad a factores ambientales como terremotos y condiciones climáticas extremas.

8 Morandé, F. G., & García, C. (2004). *Financiamiento de la vivienda en Chile*.

9 Aedo Valenzuela, T. (2022). *Colaboratorio de memorias: construcción colaborativa de conocimientos sobre las casas COPEVA desde los relatos de sus habitantes*.

10 Benítez Eggers, F. (2012). *Cambios estéticos en la casa prefabricada en Chile*.

Estos ejemplos subrayan la necesidad de una reforma integral en el sector de la construcción en Chile. Es imperativo que se fortalezcan las normativas y controles de calidad, no solo para las viviendas tradicionales, sino también para las construcciones prefabricadas e industrializadas. La implementación de estándares más estrictos y la supervisión regular podrían prevenir la construcción de viviendas de baja calidad, asegurando que todas las unidades habitacionales cumplan con los requisitos mínimos de seguridad, habitabilidad y eficiencia energética<sup>(11)</sup>.

En respuesta a estos desafíos y como parte del “Plan de Emergencia habitacional”, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) de Chile implementó en 2022 el programa de Viviendas Tipo Industrializadas. Esta iniciativa representa un cambio significativo en el enfoque tradicional de la construcción y la legislación. El objetivo principal del programa es agilizar el proceso de aprobación y ejecución de proyectos habitacionales mediante la adopción de métodos de construcción industrializada y por ende, procesos más eficientes y controlados que aseguran la eficiencia y calidad en la construcción de las viviendas. Debido a esto es posible pre-certificar modelos de vivienda, denominados Viviendas Tipo Industrializadas o VTI. Estos sistemas pre-certificados han demostrado ser un gran avance en la reducción de los plazos de aprobación y ejecución, lo que facilita la entrega oportuna de las viviendas<sup>(12)</sup>.

La construcción industrializada, como parte de este programa, no solo agiliza los procesos sino que también eleva la calidad de las viviendas. Al producirse en un entorno controlado, los componentes de las viviendas se fabrican con estándares de calidad más altos y consistentes en comparación con las técnicas de construcción tradicionales. Esto asegura que las viviendas no solo se entreguen más rápidamente, sino que también cuenten con mejores acabados y una mayor durabilidad.

El impacto de este programa va más allá de la mera construcción de viviendas. Representa un paso adelante en la reforma de la legislación y los procesos administrativos asociados con la construcción de viviendas en Chile.

11 Salas Serrano, J. (2010). *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*. Informes de la Construcción, 60(512), 19-34.

12 Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2022-2025). *Plan de Emergencia Habitacional*, p. 50.

Al simplificar y agilizar estos procesos, el MINVU establece un precedente para futuras reformas en el sector. Esto no solo mejora la eficiencia y la calidad de la construcción de viviendas, sino que también puede tener un efecto positivo en el mercado inmobiliario en general, aumentando la oferta de viviendas asequibles y de calidad.



FIGURA 3 | Vivienda Tipo Industrializada DITEC E2E

Figura 3. <https://e2echile.com/proyectos/casa-ditec-e2e/>.



## 1.3 DISEÑO PARTICIPATIVO Y ADAPTABILIDAD

A pesar de los beneficios de las Viviendas Tipo Industrializadas en términos de eficiencia y costos, la proliferación de vastas extensiones de casas idénticas plantea serias preocupaciones. Este modelo, caracterizado por su uniformidad y repetición, ha dado lugar a lo que comúnmente se denomina "ciudades de copia y pega". Estas áreas no solo presentan un paisaje monótono, sino que también reflejan una de las fallas más críticas en la planificación habitacional del país: la falta de atención a la identidad y diversidad socio-cultural.<sup>(2)</sup>

Estas comunidades uniformes, aunque económicamente viables, a menudo ignoran las necesidades específicas y únicas de sus habitantes. No toman en cuenta las particularidades del terreno, ni las diferencias culturales y sociales de las regiones donde se construyen. El resultado es un entorno despersonalizado, donde los residentes se enfrentan a la falta de conexión y pertenencia con su comunidad y su entorno. Esta uniformidad en la construcción puede tener consecuencias negativas en el bienestar social y psicológico de los habitantes, ya que reduce los espacios a meras funciones sin ofrecer una sensación de hogar o comunidad.

Además, este enfoque estandarizado falla en satisfacer las necesidades cambiantes de las familias chilenas. Las viviendas deben ser flexibles para adaptarse a diferentes estilos de vida, tamaños de familia y necesidades a lo largo del tiempo. La diversidad en el diseño y la planificación no solo enriquece el tejido urbano, sino que también fomenta comunidades más fuertes y resilientes<sup>(13)</sup>.

Por lo tanto, es esencial que Chile avance hacia un enfoque más holístico y adaptativo en la planificación y construcción de viviendas. Este enfoque debe centrarse en promover la identidad local, la diversidad y la sostenibilidad. Debe permitir la personalización y adaptación de las viviendas para reflejar las necesidades y deseos de sus habitantes, así como para armonizar con el entorno local.

La adaptabilidad, entendida como la capacidad de las viviendas para cambiar y evolucionar con sus habitantes y su entorno, debe ser un pilar fundamental en el desarrollo de soluciones habitacionales en Chile. Esto implica una mayor participación de la comunidad en el proceso de diseño, así como el uso de sistemas constructivos que permitan modificaciones futuras sin grandes complicaciones<sup>(14)</sup>.

2 Orellana Pedro (2012). *Hábitat 4D adaptabilidad en la vivienda social*.

13 Gelabert Abreu, D., & González Couret, D. (2013). *Vivienda progresiva y flexible. Aprendiendo del repertorio. Arquitectura y Urbanismo*, 34(2), 48-63.

El MINVU a través de los gobiernos regionales ha tenido experiencias con procesos de diseño participativo en el desarrollo de proyectos habitacionales a través, por ejemplo, de los talleres participativos SERVIU, realizados en los procesos de reconstrucción del año 2017 en Valparaíso. Sin embargo, estos talleres han estado enfocados en subsidios de Autoconstrucción Asistida, dada la variabilidad de los resultados, hasta ahora estos procesos no se han podido implementar dentro de programas de viviendas industrializadas.

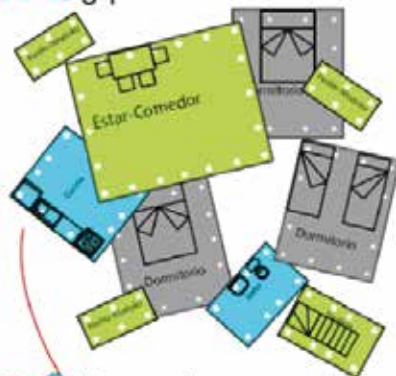
Desde las empresas industrializadoras y fábricas de manufactura de viviendas también se ha intentado abordar esta situación, desarrollado propuestas de viviendas que con altos grados de estandarización, permiten un cierto grado de variabilidad. Existen casos como las viviendas “Cápsula” de la empresa TechnoFast y las viviendas “Make your home” de la empresa Patahual Home. Sin embargo, estas propuestas permiten grados muy bajos de personalización y suelen estar enfocadas en sectores socio-económicos más altos<sup>(15)</sup>.

Este panorama subraya la necesidad crítica de una estrategia más inclusiva y flexible que pueda abarcar a toda la población, independientemente de su nivel socioeconómico. La tarea pendiente para Chile es desarrollar un enfoque de vivienda industrializada que no solo sea eficiente y sostenible, sino que también ofrezca una personalización significativa y responda a las necesidades y deseos individuales de los habitantes para crear soluciones habitacionales que sean verdaderamente inclusivas, sostenibles y centradas en el ser humano.

<sup>14</sup> Rodríguez Duarte, A. (2018). *Vivienda colectiva adaptable: flexibilidad Espacial para la Diversidad Social* (Doctoral dissertation).

<sup>15</sup> Salazar, G. S. (2021). *Cápsula Fragmentada Como Domesticante del Espacio: Hacia Una Colectividad Heterogénea* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)).

## Paso 1: ¿qué necesitamos?



## Paso 2: hacer la maqueta

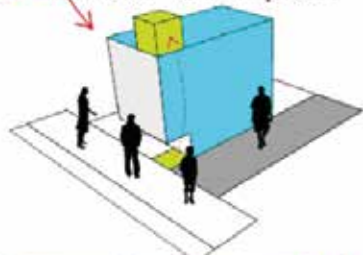


FIGURA 5 | Proceso de reconstrucción de puertas negras, Playa Ancha, Valparaíso.

**Figura 5.** Presentación “Talleres Participativos, construcción asistida. Proceso de reconstrucción de Puertas Negras, Playa Ancha, Valparaíso”.



FIGURA 6 | Cápsulas TechnoFast

Los modelos de vivienda “cápsula” de la empresa industrializadora TechnoFast, consisten en una serie de módulos conectados por un pasillo continuo, de esta forma, los usuarios pueden elegir cuántos módulos quieren y los recintos que gusten.

De esta propuesta se logra descubrir el concepto de “Grado de libertad”. Se define el modelo de vivienda cápsula como un sistema con un grado de libertad, es decir, que los módulos se pueden conectar sólo en un eje.

Figura 6. Ficha Cápsulas Empresa TechnoFast

## CAPÍTULO II

# **VIVIENDA MASIVA**

## UN ANÁLISIS HISTÓRICO Y PROSPECTIVO

<sup>16</sup> Duhau, E., & Giglia, A. (2016). *Metrópolis, espacio público y consumo*. Fondo de Cultura Económica.

<sup>17</sup> Wolf, L. (1970, August). *Les conceptions architecturales de Le Corbusier à Pessac*. In *Annales. Histoire, Sciences Sociales* (Vol. 25, No. 4, pp. 1207-1208). Cambridge University Press.

La evolución de la vivienda masiva, desde sus raíces en la Revolución Industrial hasta la actualidad, es una narrativa compleja que refleja los cambios socioeconómicos, tecnológicos y culturales a lo largo de la historia. En sus inicios, durante la Revolución Industrial, la vivienda masiva surgió como una respuesta pragmática a la urbanización acelerada y al auge poblacional en las ciudades. Las primeras implementaciones de vivienda masiva estaban centradas en la funcionalidad y la eficiencia, a menudo descuidando aspectos de calidad de vida y sostenibilidad. Esta fase estuvo marcada por la construcción de bloques de viviendas y barrios densamente poblados, destinados a albergar a la creciente fuerza laboral industrial<sup>(16)</sup>.

A mediados del siglo XX, con el movimiento modernista, figuras como Le Corbusier revolucionaron el concepto de vivienda masiva. En su proyecto *Quartiers Modernes Frugès*, también refleja su interés en la estandarización y en la idea de vivienda de bajo costo. Este proyecto se basó en la repetición de una célula base, un módulo de aproximadamente 5m x 5m, que se repetía para lograr diversas combinaciones. La policromía fue un punto principal en este proyecto, con Le Corbusier experimentando en tres colores: verde, rojo y azul. Esta policromía tenía un poder psicológico excepcional, según Le Corbusier, ya que suprimía la sensación de masa y amplificaba la sensación de planos y áreas <sup>(17)</sup>.

En las últimas décadas, la vivienda masiva ha enfrentado nuevos desafíos y oportunidades. La sostenibilidad ambiental se ha convertido en un factor crucial, impulsando el desarrollo de viviendas que son energéticamente eficientes y ecológicamente responsables. La tecnología moderna, especialmente en los campos de los materiales de construcción y los sistemas de construcción, ha abierto nuevas posibilidades para la eficiencia y la innovación en la vivienda masiva. Paralelamente, ha surgido una creciente conciencia sobre la necesidad de personalización y adaptabilidad en la vivienda, reconociendo la diversidad de necesidades y estilos de vida de la población.

La búsqueda de soluciones habitacionales flexibles y adaptativas ha llevado al desarrollo de enfoques innovadores en la planificación y construcción de viviendas, especialmente en contextos donde los recursos son limitados y las necesidades de la población son diversas y cambiantes.

El programa de vivienda progresiva en la década del 90 abordaba la necesidad de vivienda asequible permitiendo a los residentes construir y mejorar sus hogares de manera gradual<sup>(18)</sup>. Este enfoque, como argumenta Turner (1976) en "*Housing by People: Towards Autonomy in Building Environments*", reconoce que muchas familias no pueden permitirse el costo de una vivienda completa de una sola vez y fomenta su participación activa en la construcción y gestión de sus hogares. En cambio, se proporciona una estructura básica, que las familias pueden expandir y personalizar con el tiempo según sus posibilidades económicas y necesidades cambiantes<sup>(19)</sup>.

Los lotes con servicios, descritos por Gilbert (1996) en "The Latin American City", son una estrategia donde el gobierno o las entidades de desarrollo proporcionan terrenos urbanizados con infraestructura esencial. Los beneficiarios, a menudo familias de bajos ingresos, luego construyen sus propias casas en estos lotes. Esta aproximación reduce significativamente el costo inicial de la vivienda y empodera a los residentes en el proceso de construcción de sus hogares<sup>(20)</sup>.

18 Greene, M., & González, E. (2004). El programa de vivienda progresiva en Chile 1990-2002. BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-programa-de-vivienda-progresiva-en-Chile-1990-2002.pdf>.

19 Turner, J. F. (1976). *Housing by people: Towards autonomy in building environments*.

20 Gilbert, A. (1998). *The latin american city*. London: Latin America Bureau.

La obra de Alejandro Aravena, particularmente en proyectos como "Quinta Monroy", ilustra el concepto de "vivienda incremental". Aravena y Iacobelli (2012) en "Elemental: Manual de Vivienda Incremental y Diseño Participativo", describen cómo ofrecer una estructura básica puede proporcionar una solución asequible a la crisis de vivienda, permitiendo a los residentes completar sus hogares según sus necesidades y recursos<sup>(21)</sup>. Este proyecto no solo proporcionó una vivienda accesible, sino que también permitió a los habitantes tener un sentido de propiedad y participación en el proceso de diseño.

En la actualidad, el sector de la vivienda masiva se encuentra en un punto de inflexión crucial, orientándose cada vez más hacia la construcción industrializada como una solución viable y sostenible<sup>(22)</sup>. Este cambio es impulsado por la creciente demanda de viviendas asequibles y eficientes, en un contexto donde los desafíos de urbanización rápida y sostenibilidad ambiental son más apremiantes que nunca. En este capítulo se analizan las tecnologías de construcción industrializada, la normativa vigente y los procesos productivos que permiten llevar a cabo de forma eficiente este método de construcción.

<sup>21</sup> Aravena, A., & Iacobelli, A. (2016). Elemental: manual de vivienda incremental y diseño participativo= Elemental: incremental housing and participatory design manual. (No Title).

<sup>22</sup> Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchi, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Informes de la Construcción, 62(517), 37-51.

## 2.1 CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA

La construcción industrializada, con sus orígenes en la Revolución Industrial, ha experimentado una evolución significativa, adaptándose y respondiendo a las necesidades cambiantes de la sociedad. Inicialmente diseñada para responder a la demanda urgente de vivienda y estructuras industriales, esta metodología se ha refinado y diversificado con el paso del tiempo<sup>(23)</sup>. Durante los siglos XIX y XX, la incorporación de nuevos materiales como el acero, el hormigón ha ampliado enormemente su alcance y aplicabilidad. La capacidad para producir en masa componentes de construcción ha sido un factor clave en la estandarización del sector, facilitando la construcción rápida y a gran escala de edificios residenciales, comerciales e industriales.

Más allá de la eficiencia temporal y la reducción de costos, la construcción industrializada ha tenido un impacto significativo en la calidad y la seguridad de las estructuras. La precisión y la consistencia que se logran en un entorno de producción controlado superan con creces a las de las construcciones tradicionales<sup>(24)</sup>.

En el contexto actual, donde la sostenibilidad y la responsabilidad ecológica son fundamentales, la construcción industrializada ofrece ventajas adicionales. La eficiencia en el uso de materiales y la reducción del desperdicio en el sitio de construcción son aspectos críticos que contribuyen a minimizar la huella ecológica. Además, la posibilidad de reciclar y reutilizar componentes al final de la vida útil del edificio abre nuevas vías para una construcción más circular y sostenible.

23 Chaves Palacios, J. (2004). *Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial*.

24 Roger Zarco, V. J. (2023). *Construcción tradicional y construcción industrializada. Análisis y reflexión sobre su puesta en obra* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Otro desarrollo significativo en la construcción industrializada es la incorporación de la tecnología digital y la automatización. El uso de herramientas como el Diseño Asistido por Computadora (CAD) y el Modelado de Información de Construcción (BIM) ha mejorado la precisión en el diseño y la planificación, facilitando la coordinación y la colaboración entre los diferentes agentes involucrados en el proceso de construcción<sup>(25)</sup>. Esto no solo aumenta la eficiencia, sino que también abre oportunidades para diseños más innovadores y personalizados.

Mirando hacia el futuro, la construcción industrializada está posicionada para desempeñar un papel aún más importante en el desarrollo de soluciones habitacionales. Con los avances en tecnologías sostenibles y la creciente demanda de edificios eficientes y de bajo impacto ambiental, esta metodología seguirá evolucionando, adaptándose a los retos emergentes y contribuyendo a un futuro de construcción más responsable y sostenible.

25 Garcelán Docio, J. (2017). *Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra de arquitectura: de AutoCAD a REVIT* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Figura 7. Comunicaciones, S. (2017, 22 julio). *Beneficios del BIM en el diseño de proyectos*. SUMA. <http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseño-de-proyectos/>

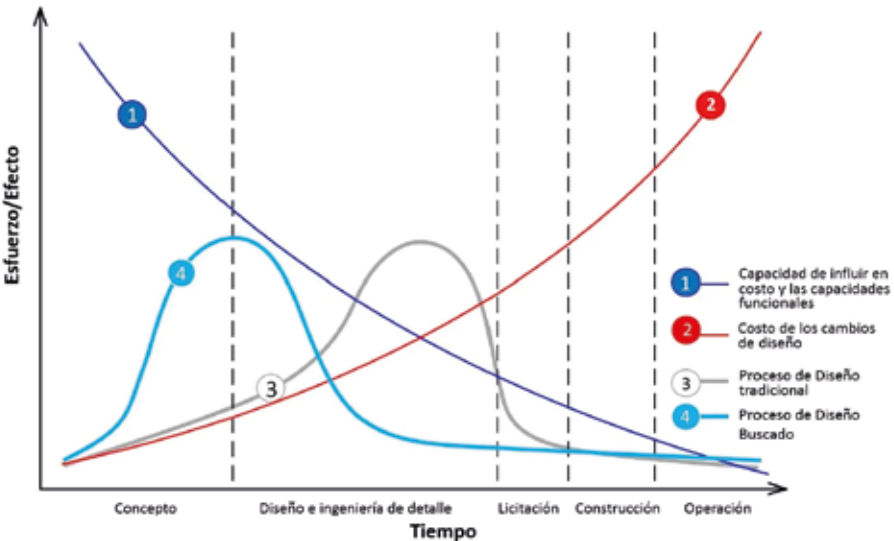


FIGURA 7 | Gráfica relación tiempo/esfuerzo BIM vs construcción tradicional.



### 2.1.1 Construcción Volumétrica Prefabricada Pre-terminada (PPVC)

El sistema de Construcción Volumétrica Prefabricada Preterminada (PPVC, por sus siglas en inglés) representa un avance significativo en el campo de la construcción industrializada. Este método implica la prefabricación de módulos completos de habitaciones o secciones de un edificio en un entorno de fábrica, donde se completan con acabados internos, instalaciones, y a menudo, con accesorios fijos antes de su transporte al sitio de construcción. Una vez en el sitio, estos módulos son apilados y ensamblados para formar estructuras completas, desde viviendas residenciales hasta edificios de oficinas y hoteles<sup>(26)</sup>.

El PPVC destaca por su eficiencia y velocidad, ya que reduce significativamente el tiempo de construcción en comparación con los métodos tradicionales. Al realizar la mayor parte del trabajo en un entorno controlado, se minimizan las demoras relacionadas con el clima y otros factores externos, lo que resulta en una ejecución de proyecto más predecible y controlada. Además, este método ofrece beneficios en términos de calidad, ya que los módulos se fabrican bajo estrictos controles de calidad en fábrica. En términos de sostenibilidad, el PPVC reduce el desperdicio de materiales y la perturbación en el sitio de construcción, lo que contribuye a una menor huella de carbono de los proyectos.

En los últimos años, el PPVC ha ganado popularidad, especialmente en países con alta densidad urbana y restricciones de espacio, como Singapur. Su capacidad para maximizar el uso del espacio y acelerar el desarrollo de proyectos lo hace ideal para entornos urbanos congestionados. A medida que la industria de la construcción continúa evolucionando hacia prácticas más eficientes y sostenibles, se espera que el PPVC desempeñe un papel cada vez más prominente en el panorama de la construcción global.

<sup>26</sup> Shang, G., Pheng, L. S., & Gina, O. L. T. (2021). Understanding the low adoption of prefabrication prefinished volumetric construction (PPVC) among SMEs in Singapore: From a change management perspective. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(5), 685-701.



FIGURA 8 | Instalación de módulo PPVC en progreso



FIGURA 9 | PPVC vs No PPVC

**Figura 8.** Ho, K. M., Lam, J. P., & Max, S. (2018). Pre-fabricated Pre-finished Volumetric Construction (PPVC) for residential projects. Threesixty Cost Management Pte Ltd.: Bukit Merah, Singapore.

**Figura 9.** Gracia Lanzarote, C. (2021). De la prefabricación a la industrialización.

## 2.3 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA

La construcción con madera se está posicionando como un enfoque clave en la arquitectura y la ingeniería sostenible, especialmente adecuada para métodos de construcción avanzados como la construcción volumétrica prefabricada preterminada (PPVC). La madera, como material de construcción, ofrece numerosas ventajas en términos de sostenibilidad, eficiencia y viabilidad técnica. Su carácter renovable, junto con su capacidad para secuestrar carbono, la convierte en una opción ecológicamente responsable, crucial en la lucha contra el cambio climático. Además, la madera es ligera, lo que facilita su transporte y manejo en comparación con materiales de construcción más tradicionales como el acero o el hormigón. Esta ligereza es particularmente beneficiosa en el contexto de la construcción modular, donde los módulos prefabricados deben ser transportados al sitio de construcción y ensamblados con precisión.

Desde un punto de vista técnico, la madera permite una gran flexibilidad en el diseño y puede adaptarse fácilmente a una variedad de estilos arquitectónicos. En el proceso de construcción industrializada, la madera se presta bien para la fabricación de componentes precisos y uniformes, lo que es esencial para el éxito de técnicas como el PPVC. Además, los avances en tecnología de la madera, como la madera laminada cruzada (CLT) y otros productos de madera de ingeniería, han ampliado las posibilidades de la construcción en madera, permitiendo su uso en estructuras más altas y más complejas.

Otro factor fundamental en la elección de la madera para la construcción sostenible industrializada es su impacto positivo en el bienestar humano. Los espacios contruidos con madera han demostrado tener efectos beneficiosos en la salud y el estado de ánimo de las personas, creando ambientes cálidos y acogedores. Esta cualidad, combinada con su resistencia natural y capacidad para absorber y liberar humedad, mejora la calidad del aire interior y contribuye a un ambiente habitable más saludable.

26 Gracia Lanzarote, C. (2021). De la prefabricación a la industrialización.

En la práctica, la construcción sostenible con madera no solo reduce el impacto ambiental de los proyectos de construcción, sino que también ofrece beneficios en términos de aislamiento térmico y acústico, contribuyendo a un mayor confort y eficiencia energética en los edificios. A medida que el sector de la construcción busca formas de reducir su huella de carbono y mejorar la sostenibilidad, la madera se destaca como un material clave para implementar métodos de construcción modernos y eficientes, alineándose con las tendencias globales hacia una arquitectura más verde y consciente del medio ambiente. La integración de la madera en sistemas como el PPVC señala un futuro prometedor para la construcción sostenible, donde la eficiencia, la innovación y el respeto por el medio ambiente van de la mano.

### 2.3.1 Diseño Para Manufactura y Ensamblaje (DFAM)

El Diseño para la Manufactura y el Ensamblaje (DFAM) es un enfoque innovador en la construcción que se alinea perfectamente con las necesidades de eficiencia, precisión y sostenibilidad en el sector. Esta metodología se centra en simplificar y optimizar todos los aspectos del diseño y la fabricación de componentes constructivos, con el objetivo de facilitar su ensamblaje en el sitio de construcción<sup>(27)</sup>. En el contexto de la construcción sostenible con madera y técnicas como el PPVC, el DFAM se convierte en un instrumento esencial para maximizar la productividad y la eficiencia, minimizando al mismo tiempo el desperdicio y los errores.

La integración de herramientas CAD (Diseño Asistido por Computadora) y CAM (Manufactura Asistida por Computadora) es fundamental en el DFAM. Estas tecnologías permiten una planificación y diseño detallados de los componentes constructivos, asegurando que sean precisos, consistentes y optimizados para la producción en masa. La utilización de CAD/CAM facilita la creación de diseños que no solo son estéticamente agradables y funcionales, sino también fáciles de

27 Hughes, R., Osterlund, T., & Larsen, N. M. (2021). Integrated design-for-manufacturing and AR-aided-assembly workflows for lightweight reciprocal frame timber structures. *Construction Robotics*, 5(2), 147-157.

fabricar y ensamblar, reduciendo los costos y tiempos de producción.

En términos de productividad, el DFAM promueve una construcción más rápida y eficiente. Al diseñar componentes que se ensamblan fácilmente y se adaptan perfectamente, se reduce el tiempo necesario en el sitio de construcción, lo que es especialmente crítico en entornos urbanos densamente poblados o en proyectos con plazos ajustados. Además, la precisión mejorada que ofrece el DFAM minimiza la necesidad de ajustes y modificaciones durante la fase de construcción, lo que se traduce en una reducción de los costos de mano de obra y materiales.



**Figura 10.** Hughes, R., Osterlund, T., & Larsen, N. M. (2021). Integrated design-for-manufacturing and AR-aided-assembly workflows for lightweight reciprocal frame timber structures. *Construction Robotics*, 5(2), 147-157.

FIGURA 10 | *Ar-aided-assembly*

En conclusión, la evolución de la construcción industrializada desde sus inicios en la Revolución Industrial hasta la actualidad refleja un cambio significativo en las técnicas y materiales utilizados en el sector de la construcción. La adopción de métodos como la Construcción Volumétrica Prefabricada Preterminada (PPVC) y el uso innovador de materiales sostenibles, especialmente la madera, destacan el compromiso de la industria con la eficiencia, la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. Estos avances no solo responden a la necesidad de viviendas y estructuras eficientes y económicas, sino que también abordan preocupaciones cruciales sobre el impacto ambiental y la calidad de vida.

Además, la incorporación de tecnologías avanzadas y prácticas innovadoras en el proceso de construcción refleja una tendencia creciente hacia la personalización y la adaptabilidad, alineándose con las necesidades cambiantes de la sociedad y los desafíos del entorno construido contemporáneo. Con estos desarrollos, la construcción industrializada se establece no solo como una solución eficiente y práctica, sino también como un modelo para la arquitectura sostenible y consciente del futuro.

Este enfoque renovado en la construcción industrializada, marcado por la eficiencia, la innovación y el compromiso con la sostenibilidad, ofrece una visión prometedora para el desarrollo de entornos construidos que sean respetuosos con el planeta y enriquecedores para quienes los habitan. La integración de estos principios señala un camino hacia adelante en la industria de la construcción, donde la funcionalidad, la estética y la responsabilidad ecológica pueden coexistir armoniosamente.



## 2.4 NORMATIVA, CALIDAD Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Las experiencias habitacionales en Chile han sido variadas, como también las tipologías de vivienda utilizadas a lo largo del tiempo para solucionar las carencias en dicha materia. En este sentido, la Ley de Habitaciones Obreras de 1906 fue la primera que aborda el tema habitacional en Chile, siendo pionera en el ámbito latinoamericano, a las que siguieron las leyes argentinas y colombianas, en 1915 y en 1918, respectivamente. En la década de 1950 se funda la Corporación de la Vivienda (CORVI), seguida por la formación del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) en 1965. Estas entidades buscaron canalizar soluciones a través de programas como el Fondo Nacional de Viviendas (FONAVI). Sin embargo, tras el golpe militar de 1973, se enfocó la vivienda como un bien de mercado, impulsando la participación privada y subsidiando la adquisición de casas.

A pesar de los esfuerzos y las adaptaciones políticas, para 2023, el déficit habitacional aún alcanza el millón de viviendas. La necesidad de rapidez, eficiencia y calidad en la vivienda sigue siendo un desafío urgente. Ahora, con miras al futuro, la tendencia se inclina hacia soluciones más holísticas y modernas, como la vivienda industrializada, que prometen enfrentar el problema de manera más eficaz, en un contexto donde la demanda y las expectativas siguen en aumento.

Con respecto al desarrollo de políticas públicas y normativas en torno a la construcción de viviendas industrializadas en Chile, se observa un creciente interés en la adopción de métodos más eficientes y sostenibles para abordar el déficit habitacional. Este interés se alinea con los objetivos globales, como los planteados en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que busca garantizar el acceso a viviendas seguras, asequibles y sostenibles para todos.

En respuesta a la urgente necesidad de viviendas, el gobierno chileno ha implementado el programa de Viviendas Tipo Industrializadas (VTI), una iniciativa que busca integrar la eficiencia de la construcción industrializada con las necesidades habitacionales del país.

El programa de las VTI representa un cambio significativo en la política habitacional, destacando por su enfoque en la rapidez de ejecución y la calidad de las construcciones. Este programa no solo busca satisfacer la demanda cuantitativa de viviendas, sino también mejorar la calidad de vida de los habitantes a través de diseños más innovadores y sostenibles.

Paralelamente, el Plan de Emergencia Habitacional, lanzado como una respuesta a la crisis de vivienda, tiene como objetivo acelerar la construcción de unidades habitacionales, priorizando aquellas que utilizan métodos de construcción eficientes como el PPVC. Este plan busca no solo abordar la cantidad de viviendas necesarias, sino también mejorar su distribución y accesibilidad, garantizando que las viviendas estén ubicadas en áreas que ofrezcan a los residentes acceso a servicios esenciales, empleo y oportunidades educativas.

Ambos programas, reflejan un cambio en la normativa y las políticas públicas hacia enfoques de construcción más avanzados y sostenibles. Se enfocan en reducir la huella de carbono de las nuevas construcciones y en mejorar la eficiencia energética de las viviendas. Estas iniciativas están alineadas con los objetivos de la Agenda 2030, particularmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11, que busca lograr ciudades y comunidades sostenibles<sup>(28)</sup>.

No obstante, la implementación de estas políticas y programas presenta desafíos. Uno de los principales retos es asegurar que la construcción industrializada no solo sea eficiente y sostenible, sino también accesible a todos los segmentos de la población, incluyendo los grupos más vulnerables. Esto requiere un equilibrio entre la inversión en tecnología y materiales de construcción innovadores y la necesidad de mantener los costos asequibles para los compradores y arrendatarios.

<sup>28</sup> CEPAL, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*.

### 2.4.1 Norma Chilena de Construcción Industrializada (NCh 3744)

La Norma Chilena de Construcción Industrializada NCh3744 marca un avance significativo en el ámbito de la estandarización y regulación de prácticas constructivas en Chile. Esta normativa desempeña un papel crucial en la definición de parámetros específicos para la construcción industrializada, abordando aspectos esenciales como los requisitos de diseño, selección de materiales, procesos de fabricación y montaje de elementos constructivos prefabricados. Su propósito principal es asegurar que los proyectos de construcción que utilizan técnicas industrializadas cumplan con los más altos estándares de calidad, seguridad y eficiencia. Al establecer criterios uniformes, la NCh3744 no solo promueve la adopción de métodos de construcción industrializada en el país, sino que también garantiza que estas prácticas se realicen de manera consistente y fiable<sup>(29)</sup>.

La normativa aborda detalladamente tanto los aspectos técnicos como los procedimentales de la construcción industrializada. Esto incluye la verificación de calidad, el control de procesos en fábrica, y las inspecciones y pruebas necesarias en el sitio de construcción. Estas disposiciones aseguran que todos los componentes y sistemas prefabricados cumplan con los requisitos de seguridad y desempeño antes de su integración en estructuras finales. La NCh3744 también presta especial atención a la sostenibilidad y al impacto ambiental, promoviendo el uso de materiales y procesos que minimicen la huella ecológica de las construcciones.

La implementación de la NCh3744 representa un paso importante hacia la modernización del marco regulatorio del sector de la construcción en Chile. Al alinearse con las tendencias globales, esta normativa posiciona a Chile en la vanguardia de la adopción de métodos de construcción más eficientes, sostenibles y seguros. Su aplicación tiene el potencial de transformar significativamente el panorama de la construcción en el país, impulsando la innovación y mejorando la competitividad del sector.

29 Consejo de Construcción Industrializada (CCI), *NCh3744: Ya podemos hablar de Construcción Industrializada en Chile (no confundir con prefabricada)*

## 2.4.2 Programa de Viviendas Tipo Industrializadas (VTI)

El programa de Viviendas Tipo Industrializadas (VTI) en Chile representa un avance significativo en la manera en que se abordan las necesidades habitacionales en el país. Este programa, enmarcado en la Resolución N°59 y supervisado por la Dirección de Tecnologías y Calidad (DITEC), es un esfuerzo por incorporar métodos de construcción industrializados en la creación de viviendas, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad en el sector de la vivienda.

La Resolución N°59 establece las bases y los criterios específicos para la implementación de proyectos de vivienda bajo el programa VTI. Esta normativa es crucial para garantizar que todas las construcciones realizadas bajo este programa cumplan con estándares rigurosos de calidad y seguridad. La resolución aborda aspectos fundamentales como los requisitos de diseño, los materiales a utilizar, los procesos de fabricación y montaje, y los estándares de desempeño que deben cumplir las viviendas industrializadas.

Por su parte, la DITEC juega un papel vital en la supervisión y el aseguramiento de la calidad de estos proyectos. Esta entidad es responsable de la evaluación técnica de los sistemas constructivos propuestos, garantizando que cumplan con las normativas vigentes y los estándares de calidad establecidos. Además, la DITEC se encarga de promover la innovación y la adopción de nuevas tecnologías en el campo de la construcción, lo que es fundamental para el desarrollo y la implementación exitosa del programa VTI.

El programa de Viviendas Tipo Industrializadas busca no solo acelerar el proceso de construcción de viviendas, sino también mejorar la calidad de vida de los habitantes. Las viviendas creadas bajo este programa están diseñadas para ser eficientes en términos de energía y recursos, reduciendo así su impacto ambiental. Además, la estandarización de componentes y procesos constructivos no solo permite un control de calidad más riguroso, sino que también hace posible la replicación eficiente de diseños probados y exitosos en diferentes contextos del país.

Este enfoque de construcción también tiene un impacto positivo en la economía, ya que la estandarización y la eficiencia pueden reducir significativamente los costos de construcción. Esto es especialmente relevante en Chile, donde el déficit habitacional sigue siendo un desafío importante. Al ofrecer una solución más económica y rápida para la construcción de viviendas, el programa VTI tiene el potencial de hacer una contribución significativa a la solución de este problema.

En resumen, el programa de Viviendas Tipo Industrializadas, respaldado por la Resolución N°59 y supervisado por la DITEC, es un ejemplo claro del compromiso de Chile con la innovación en el sector de la construcción. Al combinar tecnologías avanzadas, prácticas sostenibles y una regulación efectiva, este programa está configurado para transformar el panorama de la vivienda en Chile, ofreciendo soluciones que son a la vez eficientes, sostenibles y accesibles para un amplio segmento de la población.

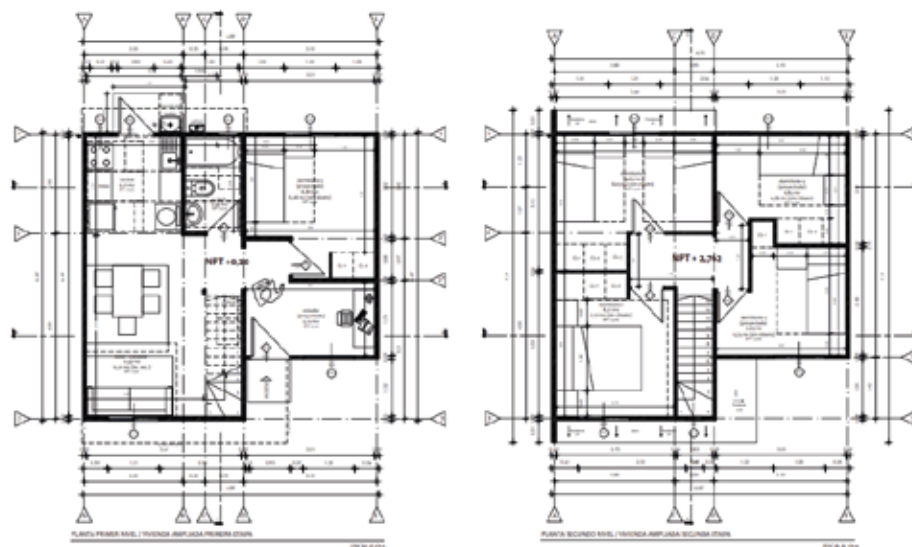


FIGURA 11 | Planta Vivienda Tipo Industrializada DITEC E2E

Figura 11. Láminas de arquitectura,  
VTI DITEC E2E



## CAPÍTULO III

# **CONSTRUCCIÓN 4.0** E INDUSTRIALIZACIÓN AVANZADA

El uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el big data y la robótica está transformando los métodos constructivos tradicionales, abriendo nuevas posibilidades para la eficiencia, la precisión y la sostenibilidad, a esta revolución se le denomina, cuarta revolución industrial, marcada por el auge de la Industria 4.0.

El sector de la construcción no está ajeno a esta revolución, la implementación de la industria 4.0 en el sector construcción se denomina Construcción 4.0. En este contexto, herramientas como el Modelado de Información de Construcción (BIM) juegan un papel fundamental, permitiendo simulaciones detalladas y una gestión eficaz de los datos a lo largo de todo el proceso de construcción. La automatización, por su parte, introduce una eficiencia sin precedentes en la fabricación de componentes, con máquinas controladas por computadora capaces de realizar tareas con una precisión y consistencia excepcionales, lo que reduce significativamente los errores y el desperdicio de material.

En el marco de la construcción 4.0, un área de particular interés es el desarrollo y la implementación de algoritmos avanzados. Estos algoritmos pueden utilizarse para optimizar todo, desde el diseño arquitectónico hasta la logística de la construcción y la gestión de recursos. Por ejemplo, algoritmos de inteligencia artificial pueden analizar grandes conjuntos de datos para predecir y resolver problemas potenciales antes de que ocurran, o para encontrar las soluciones más eficientes y rentables a problemas de diseño y construcción.

Un campo emergente es el uso de algoritmos en la personalización de viviendas. ¿Cómo pueden los algoritmos ayudar a adaptar los diseños de viviendas a las necesidades específicas de los individuos o familias, al mismo tiempo que se adhieren a las restricciones presupuestarias y reglamentarias? ¿Es posible que en un futuro cercano, los futuros propietarios interactúen con plataformas de diseño asistidas por IA para crear hogares que se ajusten perfectamente a sus preferencias

personales y necesidades funcionales?

Otra área de interés es la sostenibilidad en la construcción. Con la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0, ¿cómo se pueden desarrollar y aplicar materiales de construcción más sostenibles y procesos que reduzcan aún más la huella de carbono de la construcción? ¿Podrían estos avances tecnológicos facilitar la transición hacia un modelo de construcción circular, donde los materiales se reciclan y reutilizan, reduciendo el impacto ambiental general?

La Industria 4.0 está marcando el comienzo de una era en la que la construcción es más inteligente, conectada y sostenible. La integración de tecnologías avanzadas en el proceso de construcción no solo mejora la eficiencia y calidad de las construcciones, sino que también ofrece nuevas oportunidades para personalizar y mejorar la experiencia de vivienda, al tiempo que aborda los desafíos ambientales actuales. Este cambio paradigmático hacia prácticas de construcción más avanzadas plantea preguntas estimulantes sobre el futuro de la vivienda y la infraestructura, invitando a explorar las posibilidades ilimitadas que ofrecen estas nuevas tecnologías.

### 3.1 SOFTWARE ESPECIALIZADO

La revolución digital en la arquitectura y la ingeniería, impulsada por el avance de softwares especializados como el BIM (Modelado de Información de Construcción) y el CAD/CAM (Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora), ha transformado fundamentalmente los métodos de planificación, diseño y ejecución en el sector de la construcción.

AutoCAD, lanzado en 1982, fue uno de los pioneros en el campo del CAD, revolucionando el diseño arquitectónico y de ingeniería al permitir a los profesionales crear y modificar diseños 2D y 3D con una precisión y velocidad inalcanzables con los métodos de dibujo tradicionales. Esta herramienta marcó el comienzo de una nueva era en el diseño asistido por computadora, facilitando la exploración de formas arquitectónicas más complejas y avanzadas.

El desarrollo de BIM representó un salto significativo más allá de las capacidades de CAD. BIM no es solo una herramienta de dibujo avanzada, sino una plataforma integral que integra información detallada sobre cada aspecto del edificio en un modelo digital en 3D. Esta tecnología promueve una colaboración efectiva entre los diferentes actores involucrados en un proyecto, desde su fase de concepción hasta su ejecución, mejorando la coordinación, reduciendo errores y conflictos, y optimizando la toma de decisiones.

La evolución del CAD/CAM, en paralelo con el desarrollo de BIM, ha continuado aportando avances significativos. Estas herramientas ahora ofrecen capacidades de modelado 3D más sofisticadas, integración con IA y funciones de simulación avanzadas. Esta convergencia de tecnologías ha aumentado la eficiencia y la precisión en todas las fases del proceso constructivo, desde el diseño inicial hasta la fabricación final de componentes, allanando el camino para diseños arquitectónicos y soluciones de ingeniería más innovadores y complejos.

En este contexto emergente, la construcción 4.0 se ha convertido en una realidad palpable. La digitalización completa del proceso constructivo, desde la conceptualización hasta la ejecución, permite una gestión de proyectos más ágil y adaptativa. Los avances en softwares especializados, como BIM y CAD/CAM, han facilitado el desarrollo de algoritmos inteligentes que pueden predecir posibles desafíos y ofrecer soluciones óptimas, permitiendo una planificación y construcción más eficiente.

Estos desarrollos en la arquitectura y la ingeniería digital no solo están transformando la manera en que se construyen los edificios, sino que también están redefiniendo el papel del arquitecto y del ingeniero en el siglo XXI. A medida que estas tecnologías continúan evolucionando, surge la pregunta: ¿cómo seguirán adaptándose y transformándose las prácticas de construcción para satisfacer las demandas de un mundo cada vez más digitalizado? La revolución digital en la construcción promete no solo eficiencia y sostenibilidad, sino también una nueva era de innovación y creatividad en el diseño y la construcción de espacios habitables.

## 3.2 DISEÑO ALGORÍTMICO EN ARQUITECTURA

¿Qué es un algoritmo?

Su definición por diccionario: “Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas”.

La aplicación de este concepto en arquitectura se remonta a las ideas del teórico Christopher Alexander en la década de 1960, ha sido fundamental en la incorporación de conceptos algorítmicos y computacionales en la arquitectura. Los trabajos de Alexander, especialmente "A pattern language" (1977), han sido pioneros en la aplicación de patrones y procesos iterativos de diseño, estableciendo una base conceptual para la programación en arquitectura<sup>(30)</sup>.

La influencia de Alexander en el diseño algorítmico es notable. En su libro, propuso una metodología que combina la teoría del diseño con la ciencia de la complejidad, algo que resonó profundamente en la arquitectura computacional. Sus teorías sobre la organización y la estructuración del espacio no solo han informado la práctica arquitectónica, sino que también han inspirado el desarrollo de algoritmos que simulan estos procesos de diseño.

Esta convergencia de la programación y la arquitectura está dando lugar a una era de innovación sin precedentes. La integración de la tecnología digital en el proceso de diseño arquitectónico no solo mejora la eficiencia y precisión, sino que también abre nuevas vías para la creatividad y la exploración de soluciones de diseño sostenibles y responsables. Estamos ante un futuro emocionante en el que la tecnología y la arquitectura continúan fusionándose, planteando preguntas fascinantes sobre las nuevas formas de vivir y habitar. La integración de la programación y el desarrollo de software en arquitectura redefine los límites de lo posible, invitando a los profesionales a imaginar y crear espacios que antes eran inimaginables.

<sup>30</sup> Alexander Christopher, (1977)  
“A pattern language”.

En su libro “El Diseño de Soportes” (1974) John Habraken establece que:

*“La arquitectura moderna surgió con la voluntad de resolver cuestiones del entorno cotidiano, pero siguió aplicando los criterios académicos tradicionales, creando obras singulares y extraordinarias, sin entender que la clave estaba en inventar nuevos sistemas arquitectónicos, estructuras para lo ordinario, capaces de aceptar la intervención de la gente, de permitir los cambios en el tiempo, de favorecer las relaciones entre lo privado y lo público, y de expresar unos criterios de diseño compartidos por la sociedad“.* Habraken, J.

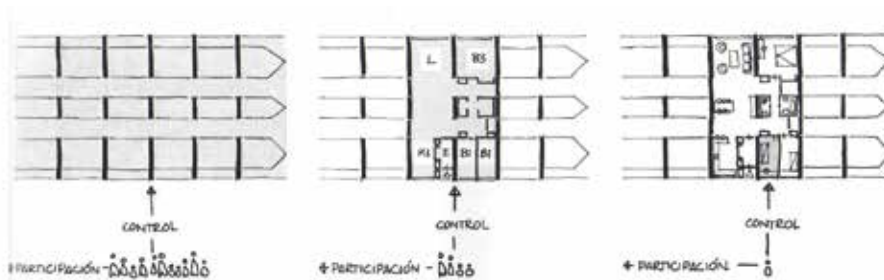


FIGURA 13 | Formas de adaptar soportes

Además agrega:

*"Una vivienda es el resultado de un proceso en que el usuario toma decisiones“.* Habraken, J.

Figura 13. El Diseño de Soportes,  
Habraken, J.

### 3.3 PROGRAMACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE EN ARQUITECTURA

La intersección de la programación y el desarrollo de software con el campo de la arquitectura ha generado una transformación significativa en cómo los arquitectos abordan el diseño y la construcción de espacios. Esta fusión tecnológica no solo ha ampliado las capacidades de diseño, sino que también ha redefinido las metodologías de construcción y el análisis arquitectónico.

La programación en arquitectura, entendida como la traducción del diseño algorítmico a lenguajes de programación para el desarrollo de interfaces que permiten a los arquitectos explorar y materializar geometrías complejas y resultados variables, algo que tradicionalmente era difícil de lograr. Este enfoque algorítmico del diseño, utiliza secuencias de instrucciones para generar y manipular espacios y formas arquitectónicas. Christopher Alexander enfatizó la importancia de patrones y procesos iterativos en el diseño, lo que se ha convertido en un principio fundamental en el diseño algorítmico contemporáneo.

Herramientas como Rhinoceros3D y su complemento Grasshopper han sido pioneras en llevar la programación al diseño arquitectónico. Estas plataformas permiten a los diseñadores crear modelos paramétricos y formas complejas mediante programación visual, lo que democratiza la programación y permite una mayor experimentación y personalización en el diseño. Grasshopper, en particular, ha sido un cambio de juego al permitir la generación de geometrías complejas sin la necesidad de codificación tradicional.

Sumado a esto, el desarrollo de plug-ins personalizados mediante el uso de herramientas como Rhinocommon, utilizando lenguajes de programación como C# o Python, permite expandir las posibilidades de personalización y automatización en el uso de softwares como Rhinoceros o Revit. Por ejemplo, utilizando un editor de código como Visual Studio Code, los usuarios pueden crear algoritmos personalizados que se integran directamente en el proceso de modelación en Rhinoceros3D, es decir, los usuarios pueden crear sus propias herramientas, comandos y barras de tareas en Rhinoceros. Esto permite obtener una mayor flexibilidad y precisión en la creación de modelos arquitectónicos<sup>(30)</sup>.

30 Rad, A. R., Burton, H., Rogeau, N., Vestartas, P., & Weinand, Y. (2021). A framework to automate the design of digitally-fabricated timber plate structures. Computers & Structures, 244, 106456.

El futuro de la programación en arquitectura plantea preguntas fascinantes sobre la relación entre la creatividad humana y la precisión de los algoritmos. ¿Cómo se equilibrará la visión artística del arquitecto con la eficiencia y precisión que ofrecen los algoritmos y la automatización? Este equilibrio será clave para definir el futuro del diseño arquitectónico en la era digital.

## 3.4 INDUSTRIALIZACIÓN AVANZADA

La industrialización avanzada o paramétrica en el contexto de la construcción se refiere a un enfoque de diseño y fabricación que utiliza algoritmos y técnicas de modelado computacional para crear estructuras y componentes. Este método se basa en la definición de parámetros y reglas que, una vez introducidos en un programa de diseño asistido por computadora, generan automáticamente diseños detallados y complejos.

El término "paramétrico" alude a la naturaleza de los parámetros en el proceso de diseño, donde cada elemento del diseño se define no solo por sus dimensiones físicas, sino también por relaciones matemáticas y geométricas con otros elementos. Estos parámetros pueden incluir factores como dimensiones, materiales, propiedades estructurales, y condiciones ambientales, entre otros. Los cambios en un parámetro ajustan automáticamente el diseño, permitiendo una gran flexibilidad y experimentación.

La industrialización avanzada implica la aplicación de estos conceptos paramétricos en procesos de fabricación industrial. Esto permite la producción de componentes arquitectónicos complejos y personalizados en una escala masiva, combinando la eficiencia de la fabricación en serie con la precisión y adaptabilidad del diseño paramétrico.

La industrialización avanzada y el diseño paramétrico en arquitectura plantean preguntas fascinantes sobre el futuro de la construcción y el diseño habitacional. ¿Cómo estas tecnologías pueden seguir evolucionando para satisfacer las necesidades cambiantes de la sociedad? ¿Qué nuevas formas de viviendas y espacios urbanos surgirán como resultado de esta integración de diseño avanzado y fabricación? A medida que avanzamos, estos enfoques prometen no solo revolucionar la forma en que construimos, sino también mejorar significativamente la calidad de vida y la sostenibilidad de nuestras comunidades.

Un caso de estudio sobre industrialización avanzada:

### Sustainer.tech | Países Bajos

*“Sustainer.home es un sistema de construcción digital...Nuestro complejo software y nuestra creciente gama de detalles probados brindan a nuestros creadores seguridad y control sobre las complejidades involucradas en las construcciones de madera. Permite más espacio para la personalización, más control en la producción y un excelente rendimiento circular.*

*Desde nuestros modelos 3D puede controlar directamente la producción, lo que facilita que un constructor comience la producción industrial de casas circulares de madera”.*

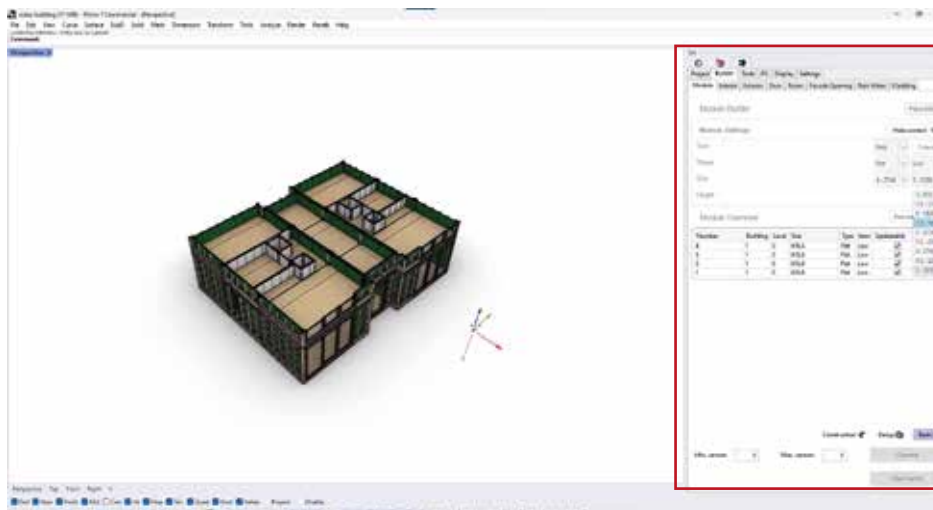


FIGURA 14 | Plug-in Sustainer.tech

Este Plug-in fue desarrollado utilizando las herramientas de Rhinocommon y el lenguaje de programación C#.

Figura 14. [www.Sustainer.Tech](http://www.Sustainer.Tech)

En resumen, la Construcción 4.0 no es solo una evolución tecnológica; es una reinención de cómo concebimos, diseñamos y construimos espacios habitables. Esta nueva era en la construcción desafía las prácticas convencionales y promueve un enfoque más integrado y sostenible en la arquitectura y la ingeniería. A medida que estas tecnologías continúan desarrollándose, es probable que veamos aún más innovaciones que no solo transformarán la industria de la construcción, sino que también mejorarán la calidad de vida y la sostenibilidad de nuestras ciudades y comunidades. La Construcción 4.0, por lo tanto, representa no solo un cambio en la técnica y la metodología, sino también un paso hacia un futuro más eficiente, responsable y adaptado a las necesidades del siglo XXI.

En este contexto, y posterior al exhaustivo estudio del estado del arte, recae la pregunta de investigación del presente proyecto I+D.

“Reconociendo el concepto de Industrialización Avanzada y cómo ha influido en la industria internacional. ¿Es viable la implementación de este concepto en el escenario nacional para la construcción de viviendas en masa?”

## CAPÍTULO IV

# PRUEBA DE CONCEPTO

Luego del exhaustivo proceso de análisis y estudio de antecedentes, se busca desarrollar una prueba de concepto o prototipo que permita evaluar la hipótesis previamente planteada. Alineándonos con los principios de la Construcción 4.0 y la Industrialización Avanzada, se propone el desarrollo de: “...un algoritmo que permita integrar todos los parámetros elementales propios del diseño de una vivienda industrializada, tales como: criterios técnicos y normativos, procesos de industrialización con madera, sistemas de diseño y construcción modular y el diseño de componentes estructurales y constructivos, pero, con una lógica semi-abierta que permita la manipulación de ciertos parámetros para brindar una experiencia orientada a la flexibilidad y personalización en la generación del proyecto de vivienda”. A través de: (1) Recopilación de parámetros: Crear una matriz de parámetros detallada que incluya aspectos clave como diseño estructural, requerimientos espaciales, programáticos, de productividad y criterios de adaptabilidad y personalización, basada en las normativas vigentes y las prácticas actuales en construcción industrializada con madera en Chile. (2) Diseño del algoritmo: Con base en la matriz descrita, diseñar un algoritmo que integre estos parámetros y desarrollar el flujo de datos que permita automatizar parte del proceso de diseño y documentación del proyecto de vivienda. (3) Diseñar módulos y componentes constructivos: En base al algoritmo descrito, diseñar un sistema de tipologías y subtipologías de módulos arquitectónicos y sus componentes constructivos prefabricados (paneles). (4) Desarrollo de Plug-in para Rhinoceros 3D y Grasshopper: Desarrollar un plug-in que traduzca el algoritmo a un lenguaje de programación visual utilizando los softwares Rhinoceros 3D y Grasshopper, con el fin de desarrollar una interfaz para testear y validar el algoritmo desarrollado. (5) Probar y testear: Realizar una prueba del plug-in en un escenario representativo.

## 4.1 RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS

El primer paso para desarrollar el Estudio de Concepto implica una meticulosa y exhaustiva recolección de datos y criterios esenciales que influirán en el diseño y la construcción de viviendas industrializadas. Esta fase es fundamental para establecer una base sólida para el desarrollo del algoritmo y el plug-in asociado. Inicialmente, se identificarán y analizarán las normativas vigentes relacionadas con la construcción de viviendas industrializadas en Chile, incluyendo regulaciones sobre materiales de construcción, estándares de sostenibilidad, y requisitos de seguridad. Además, se revisarán y recopilarán los procesos constructivos actuales, especialmente aquellos relacionados con la construcción modular y la industrialización, para entender las prácticas existentes y las áreas de posible innovación.

Paralelamente, se considerarán factores técnicos como las propiedades de los materiales (especialmente la madera), las técnicas de fabricación y ensamblaje, y las consideraciones de diseño arquitectónico. La recopilación incluirá también parámetros relacionados con la adaptabilidad y la personalización, como las necesidades específicas de los diferentes tipos de usuarios y las variaciones en las condiciones del terreno y su normativa aplicable.

Esta recopilación será un proceso dinámico y colaborativo, involucrando la consulta con dos agentes que son fundamentales en el desarrollo de este proyecto. Por un lado, y con el fin de recibir asesoría técnica sobre la normativa y las políticas públicas, Eduardo Arenas del Equipo de Trabajo Gestión Inmobiliaria del SERVIU de Valparaíso, entregó los lineamientos para asegurar un diseño que cumpla con la normativa aplicable, como las distintas resoluciones exentas y subsidios entorno a la vivienda industrializada. Por otro lado, y con el fin de recibir asesoría técnica sobre los procesos y sistemas constructivos, Salvador Correa Subgerente de Ingeniería y Desarrollo de la empresa industrializadora E2E, colaboró con revisiones del proyecto relacionadas con la factibilidad técnico-constructiva de la solución propuesta, información sobre procesos y soluciones, entre otras.

### 4.1.1 De la normativa

Antes de analizar la normativa aplicable al sistema que se propopone, es importante recalcar que hoy en día no existe ninguna norma o resolución que regule sistemas de vivienda tipo adaptable, es decir, con la legislación actual de Chile, aún no es viable aplicar sistema de Industrialización Avanzada pre-certificada, por ende, los mecanismos para aprobar proyectos de este tipo deberían ajustarse a los procesos tradicionales y no a procesos de pre-certificación como las Viviendas Tipo Industrializadas. Sin embargo, se entiende que los requerimientos de diseño para este tipo de proyectos si está regulado y puede ser aplicable la normativa de las viviendas tipo industrializadas.

Por lo tanto, si se aplica la normativa de viviendas tipo industrializadas al diseño del sistema, es necesario recurrir a la Resolución Exenta N° 59. Como se mencionó previamente en este informe, la Resolución N°59 establece las bases y los criterios específicos para la implementación de proyectos de vivienda bajo el programa VTI. Esta normativa es crucial para garantizar que todas las construcciones realizadas bajo este programa cumplan con estándares rigurosos de calidad y seguridad. La resolución aborda aspectos fundamentales como los requisitos de diseño, los materiales a utilizar, los procesos de fabricación y montaje, y los estándares de desempeño que deben cumplir las viviendas industrializadas.

Uno de los aspectos clave de la Resolución N°59 es la definición detallada de lo que constituye una vivienda industrializada tipo, incluyendo requisitos para la estandarización y modularización de componentes, lo cual es fundamental para la fase de diseño en nuestro proyecto. Además, establece directrices para la producción de elementos constructivos en fábrica, así como para su posterior ensamblaje en el sitio de construcción.

En términos de parámetros específicos, la Resolución N°59 subraya los entregables mínimos de industrialización para optar a la aprobación del proyecto.

Estos entregables son:

- 1) Detalles constructivos.
- 2) Instrucciones de acopio.
- 3) Instrucciones de manipulación.
- 4) Instrucciones de conexiones.
- 5) Instrucciones de izaje.
- 6) Instrucciones de montaje.
- 7) Instrucciones de reparación.
- 8) Instrucciones de uso y cuidado.
- 9) Instrucciones particulares del elemento o componente.
- 10) Ensayos de materia prima.
- 11) Manual de uso, cuidado y mantención.
- 12) Ficha Informativa.
- 13) Memoria de elementos industrializados.
- 14) Carta de patrocinio de empresa Industrializadora.

Estos entregables se envían para la posterior aprobación de los proyectos de vivienda tipo industrializada, y pasan a revisión por parte de la DITEC (División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo), según la Resolución N°59 y el decreto de Ley N° 1305 (V. y U.), de 1996, sólo la DITEC puede aprobar proyectos de Vivienda Tipo Industrializada.

¿Qué evalúa la DITEC?

Según la Resolución N° 59, se diferencian dos tipos de proyectos. Proyectos de viviendas unifamiliares y Proyectos de unidades funcionales independientes.

Para los proyectos de viviendas unifamiliares:

Se entenderá como “*Vivienda Unifamiliar*” aquella destinada a la residencia de

una familia. La revisión de los antecedentes se realizará de acuerdo con el siguiente detalle:

**Proyecto de Arquitectura:**

Será evaluado según corresponda, en lo que respecta a Cuadros Normativos e Itemizados Técnicos de Construcción, Cumplimientos de Normativa Térmica, Resistencia al Fuego y Normativa Acústica, de acuerdo con los formatos de acreditación y lo establecido en la OGUC en sus artículos respectivos.

**Proyecto de Estructuras:**

Será evaluado con soluciones de fundación tipo en base a criterios claramente especificados por el proyectista, los que deberán verificarse con los antecedentes geotécnicos correspondientes al momento de definirse el emplazamiento definitivo de la vivienda.

**Proyecto de Agua Potable:**

Se evaluará la red de distribución interior desde el Medidor de Agua Potable (MAP). Al momento de presentar el proyecto para su calificación, este se evaluará según lo establecido en el certificado de factibilidad emitido por la Empresa Sanitaria respectiva o deberá presentar un proyecto aprobado y autorizado por la SEREMI de Salud respectiva, según corresponda.

**Proyecto de Alcantarillado**

Se evaluará la red de distribución interior hasta la Unión Domiciliaria (UD). Al momento de presentar el proyecto para su calificación, este se evaluará según lo establecido en el certificado de factibilidad emitido por la Empresa Sanitaria respectiva o deberá presentar un proyecto aprobado y autorizado por la SEREMI de Salud respectiva, según corresponda.

### **Proyecto de Electricidad:**

Se evaluará la red de distribución interior hasta el medidor existente o proyectado. Al momento de presentar el proyecto para su calificación, este se evaluará según lo establecido en el certificado de factibilidad emitido por la Empresa Eléctrica distribuidora respectiva.

### **Proyecto de Gas:**

Se evaluará desde el punto de abastecimiento hasta el último punto de conexión.

### **Acreditaciones:**

Se evaluará el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables o exigibles en cuanto al acondicionamiento térmico, de protección contra el fuego y de acondicionamiento acústico.

Todos los proyectos de Vivienda Industrializada Tipo deberán cumplir las exigencias establecidas en el documento “Estándar higrotérmico para viviendas industrializadas MINVU”

### **Entregables mínimos de industrialización:**

Se evaluarán también los entregables mínimos de industrialización mencionados previamente.

Para los proyectos de unidades funcionales independientes:

Se entenderán como “*Unidades Funcionales Independientes*” aquella que, formando parte de una edificación colectiva permite su uso en forma independiente del resto de la edificación, tal como departamentos, sin perjuicios de que se acceda a ella a través de espacios de uso común. La revisión de los antecedentes se realizará de acuerdo con el siguiente detalle:

**Proyecto de Arquitectura:**

Serán evaluados según corresponda, en lo que respecta a Cuadros Normativos e Itemizados Técnicos de Construcción, Cumplimiento de Normativa Térmica, Resistencia al Fuego y Normativa Acústica, de acuerdo a los formatos de acreditación (según formato adjunto) y lo establecido en la Oguc en sus artículos respectivos.

**Proyecto de Estructuras:**

Será evaluado con soluciones de fundación tipo en base a criterios claramente especificados por el proyectista, los que deberán verificarse con los antecedentes geotécnicos correspondientes al momento de definirse el emplazamiento definitivo de la vivienda.

**Proyecto de Agua Potable:**

Se evaluará la red de distribución interior. Al momento de presentar el proyecto para su calificación, este se evaluará según lo establecido en el certificado de factibilidad emitido por la Empresa Sanitaria respectiva o deberá presentar un proyecto aprobado y autorizado por la Seremi de Salud respectiva, según corresponda.

### **Proyecto de Alcantarillado:**

Se evaluará la red de distribución interior. Al momento de presentar el proyecto para su calificación, este se evaluará según lo establecido en el certificado de factibilidad emitido por la Empresa Sanitaria respectiva o deberá presentar un proyecto aprobado y autorizado por la Seremi de Salud respectiva, según corresponda.

### **Proyecto de Electricidad:**

Se evaluará la red de distribución interior, hasta el Tablero de Distribución del Alumbrado (TDA) proyectado.

### **Proyecto de Gas:**

Se evaluará la red interior. Se deberá presentar y evaluar caso a caso al momento de la postulación de proyecto, en caso de soluciones alternativas, estas se evaluará cada Serviu.

### **Acreditaciones:**

Se evaluará el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables o exigibles en cuanto al acondicionamiento térmico, de protección contra el fuego y de acondicionamiento acústico.

Todos los proyectos de Vivienda Industrializada Tipo deberán cumplir las exigencias establecidas en el documento anexo "Estándar Hogrotérmico para Viviendas Industrializadas Minvu".

### **Entregables mínimos de Industrialización:**

Se evaluarán también los entregables mínimos de industrialización mencionados previamente.

Teniendo en cuenta cuál es el cuadro normativo y cómo es el proceso de aprobación de los proyectos de vivienda tipo industrializada. Se seleccionan los principales aspectos que se utilizarán en el desarrollo del algoritmo, con el fin de ajustar el alcance de la tesis al tiempo disponible para el desarrollo de esta, sin embargo, a futuro es posible seguir incorporando los parámetros faltantes, a fin de desarrollar un algoritmo que integre el proceso completo.

Los parámetros seleccionados son:

Sobre los procesos de revisión y aprobación DITEC:

- 1) Proyecto de Arquitectura
- 2) Proyecto de Agua Potable
- 3) Proyecto de Electricidad

Sobre los entregables de un proyecto VTI:

- 1) Detalles constructivos
- 2) Instrucciones particulares del elemento o componente
- 3) Ficha Informativa

Se utilizarán los lineamientos de cumplimiento para Proyecto de Arquitectura, proyecto de Agua Potable y Proyecto de Electricidad. Y se producirán entregables de Detalles constructivos, Instrucciones particulares del elemento o componente y Ficha Informativa. Por lo tanto, se profundizará en estos aspectos para establecer los lineamientos de diseño.

## Proyecto de Arquitectura

Los lineamientos de aprobación para los proyectos de arquitectura, según la Resolución 59°, abordan varios aspectos cruciales para garantizar que los proyectos de viviendas industrializadas cumplan con los estándares normativos y técnicos exigidos. Estos lineamientos se centran en asegurar el cumplimiento de la normativa técnica, espacios mínimos requeridos, resistencia al fuego y normativa acústica, entre otros aspectos. Para el cumplimiento del cuadro normativo y tabla de espacios de usos mínimos para el mobiliario, la resolución N° 59 establece que dependerá del programa o subsidio al cual esté optando la propuesta de vivienda tipo.

Considerando el enfoque de este proyecto hacia la vivienda en masa y asequible, el cuadro normativo e itemizado técnico que se utilizará para informar el diseño del proyecto de arquitectura es la Resolución Exenta 7712, enfocada en el Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda D.S. N° 49 (V. y U.) de 2011. Es decir, el mismo cuadro normativo que se utilizó para desarrollar la primera vivienda tipo del país, la vivienda DITEC E2E. Y el mismo subsidio al que postulan los sectores socioeconómicos más bajos de la población.

La Resolución N° 7712 modifica la normativa vigente para los proyectos del Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda, estableciendo estándares arquitectónicos mínimos y detallando espacios y usos mínimos para el mobiliario. Esta resolución es crucial el diseño y la definición de los entregables mínimos proyectos de vivienda asequible en Chile.

Los aspectos evaluados en esta resolución incluyen requerimientos detallados por recintos, consideraciones generales para el diseño, y especificaciones para viviendas destinadas a personas con discapacidad. Por ejemplo, se establecen las dimensiones mínimas útiles para distintos espacios de la vivienda, como

habitaciones, baños y cocinas, respetando siempre la apertura de puertas y las áreas mínimas por etapa. Además, se enfatiza la importancia de la accesibilidad y la movilidad dentro de los diseños de vivienda.

En las siguientes gráficas se muestran los requerimientos por recinto de espacios y usos mínimos para viviendas y edificios en el Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda.

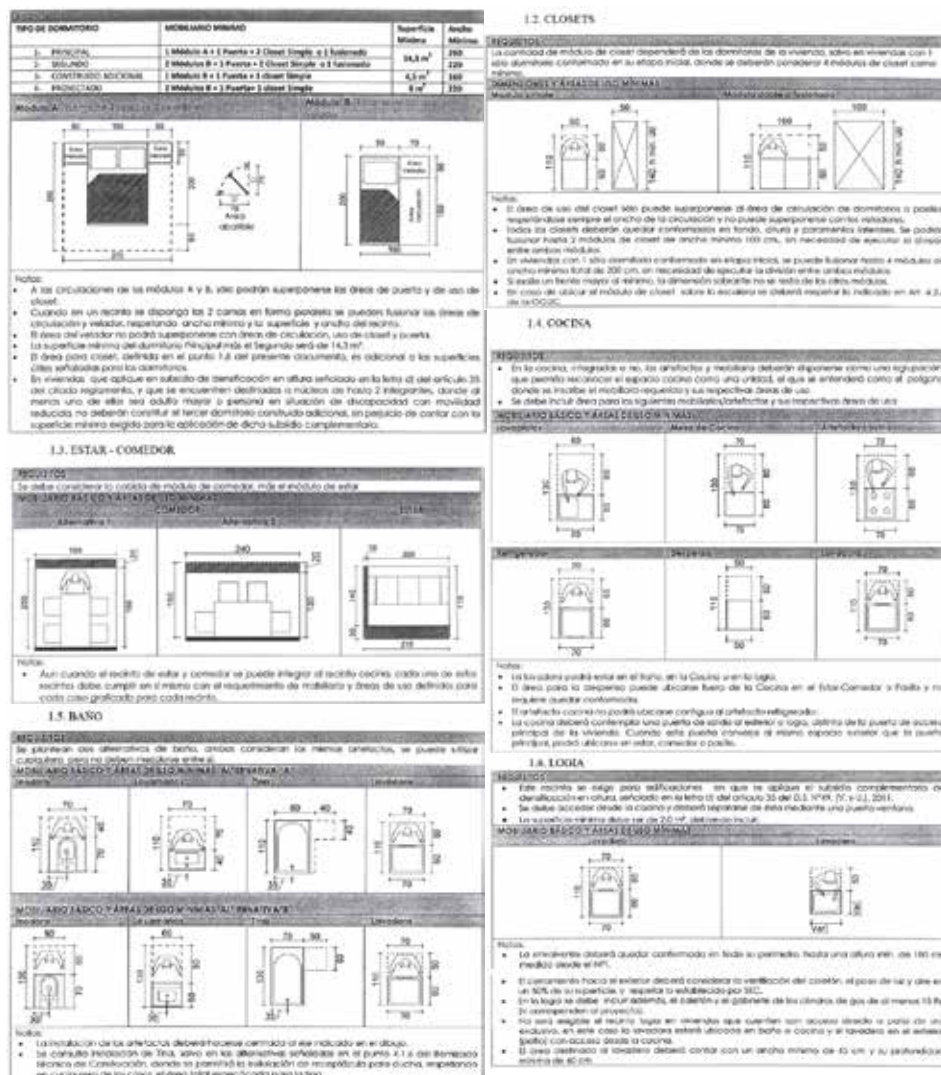


FIGURA 15 | Cuadro de espacios de uso mínimo Res. N° 7712

Figura 15. Cuadro Normativo Resolución Exenta N°7712.

1.7. CIRCULACIONES



Figura 16. Cuadro Normativo Resolución Exenta N°7712.

FIGURA 16 | Cuadro de espacios de uso mínimo Res. N° 7712

Estos requerimientos se utilizarán como parámetros de diseño en el desarrollo del prototipo, dado el acotado alcance de esta tesis, no se incorporan los requerimientos de usos para personas con discapacidad, dado que pertenecen a otro tipo de subsidio, denominado, subsidio de movilidad reducida. Sin embargo, es un posible desarrollo futuro que puede derivar de este proyecto de tesis.

Los requerimientos normativos entorno al Proyecto de Electricidad y Proyecto de Agua Potable, serán abordados utilizando soluciones certificadas y ensayadas por la empresa industrializadora E2E.

### 4.1.2 De los procesos y sistemas constructivos

El MINVU, además de legislar sobre los lineamientos de diseño entorno al desarrollo de viviendas tipo industrializadas, en la Resolución Exenta N° 52, emitida en Enero de 2023, establece criterios y procedimientos clave para la evaluación y aprobación de empresas industrializadoras en el contexto de proyectos de vivienda industrializada tipo. Esta resolución es fundamental para regular y estandarizar el proceso de construcción de viviendas industrializadas, garantizando así su calidad, seguridad y conformidad con las normativas vigentes.

La resolución detalla los instrumentos y metodologías para la evaluación de empresas industrializadoras, asegurando que cumplan con los estándares habitacionales requeridos y las especificaciones técnicas para la construcción de viviendas industrializadas. Se enfoca en varios aspectos críticos, incluyendo la planificación y control de procesos, el desarrollo de sistemas técnicos, la construcción de partes de edificación off-site, la logística integrada en el proceso de construcción, el enfoque en el consumidor, el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), y la medición del rendimiento.

Además, la resolución establece un marco para la habilitación de las empresas industrializadoras, proporcionando un flujo detallado de evaluación por parte de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC). Este proceso de evaluación incluye la revisión de un cuestionario base de aplicación, la evaluación de la empresa industrializadora y la ponderación final para confirmar que pueda o no, llevar a cabo proyectos de vivienda industrializada.

En este contexto, algunas de las empresas aprobadas por la DITEC son: E2E S.A, Constructora Santa Magdalena SPA, Patagual Home SPA, Tecnotruss S.A, Baumax SPA, TecnoFast S.A, entre otras.

Como se mencionó previamente, para el análisis de los lineamientos técnico-constructivos de este proyecto se utilizarán como referencia los procesos

y sistemas constructivos desarrollados por la empresa E2E, con el fin de asegurar la viabilidad técnica de la propuesta.

E2E es una empresa chilena que se especializa en la fabricación y construcción de elementos prefabricados para edificaciones. La compañía destaca en el campo de la construcción industrializada, empleando tecnologías y procesos avanzados para producir componentes de edificación de alta calidad, eficientes y sostenibles. Su enfoque se centra en la utilización de sistemas constructivos innovadores que permiten una rápida instalación en obra, reduciendo los tiempos de construcción y aumentando la eficiencia del proceso constructivo.

Uno de los elementos distintivos de E2E es su compromiso con la sostenibilidad y la innovación en la construcción, utilizando como material principal la madera.



## Sistema constructivo

El sistema constructivo Platform Frame, también conocido como Marco Plataforma, se ha convertido en el método preferido en la construcción de viviendas industrializadas de madera, principalmente debido a su versatilidad y eficiencia. Este sistema se caracteriza por su estructura modular, donde los paneles de pared, los pisos y los techos se ensamblan en módulos o "plataformas" que luego se unen para formar la estructura completa de la vivienda.

Una de las razones principales de su popularidad es la alta capacidad de prefabricación que ofrece. En una fábrica, se pueden producir con precisión todos los componentes estructurales, incluyendo muros, pisos y techos, lo que permite un control de calidad más riguroso y reduce significativamente los residuos de material. Esta prefabricación también facilita una construcción más rápida y limpia en el sitio, ya que los componentes simplemente se ensamblan, disminuyendo así los tiempos de obra.

Además, el sistema Platform Frame es altamente ligero y transportable. Esto no solo reduce los costos de transporte, sino que también hace que el sistema sea ideal para lugares de difícil acceso o para proyectos que requieren una rápida movilización. Esta ligereza no compromete la resistencia o la durabilidad de la estructura, ya que la madera utilizada en este sistema tiene una excelente relación resistencia-peso.

Otra ventaja significativa es la flexibilidad en términos de diseño. El Marco Plataforma permite una amplia gama de diseños arquitectónicos, desde viviendas unifamiliares hasta edificios de varias plantas. La modularidad del sistema facilita las adaptaciones y modificaciones del diseño, lo que lo hace adecuado para una variedad de estilos y requisitos arquitectónicos.

En términos de eficiencia energética, el sistema Platform Frame también ofrece ventajas considerables. La estructura de madera proporciona un aislamiento natural y la capacidad de incorporar aislamiento adicional en las cavidades de la pared, mejora aún más el rendimiento energético del edificio, lo que es crucial en el contexto de la sostenibilidad y la conservación de la energía.

Finalmente, el Marco Plataforma es reconocido por su sostenibilidad ambiental. La madera es un recurso renovable, y cuando se obtiene de fuentes sostenibles, el impacto ambiental de la construcción se reduce notablemente. Además, la capacidad del sistema para reducir los residuos de construcción y su eficiencia energética contribuyen a un enfoque de construcción más ecológico



## Proceso constructivo

A continuación se definen los requerimientos y restricciones de diseño influenciados por los sistemas y procesos constructivos de las empresas industrializadoras certificadas actuales.

Los parámetros de diseño a considerar son:

- 1) Diseño Estructural.
- 2) Maquinarias y Procesos.
- 3) Soluciones Constructivas y Materiales.
- 4) Instalaciones Eléctricas y Sanitarias.

En este punto, es importante declarar que a modo de prueba de concepto, y considerando el alcance del proyecto, la propuesta de prototipo sólo considerará estos aspectos y especialmente se centrará en la solución de los muros y en menor medida los entrepisos. Es decir, no se incorpora la solución de la cubierta ni las fundaciones, dejando este aspecto abierto a futuras investigaciones, y manteniendo un grado de adaptabilidad, ya que estos componentes se ven ampliamente afectados por las características del lugar como el tipo de suelo, las precipitaciones, entre otras.

### 1) Diseño Estructural

El diseño estructural es fundamental en el desarrollo de viviendas industrializadas, sobre todo si se centra en la incorporación de elementos estructurales específicos para proporcionar la suficiente resistencia a la estructura, principalmente en términos de estabilidad y rigidez lateral, a este concepto se le conoce como *Unit Bracing*, diseñar un layout fijo de muros rígidos estratégicamente ubicados, abriendo posibilidades de variabilidad en las zonas libres de carga. El entendimiento del concepto *Unit Bracing* puede ayudar a desarrollar plantas más flexibles, principalmente en sistemas constructivos con baja rigidez como el sistema Marco Plataforma.

a.1 Estructura y materiales

Los paneles verticales cuentan con elementos constitutivos como lo son pies derechos, soleras, dintel y estructuración de vanos. En esta sección se presenta la composición de los paneles empleados por E2E en base a los materiales y restricciones dadas por las características de industrialización. Por otro lado, la especificación de escudrias y grado estructural se muestran en la figura 18.a, y 18.b y 19.

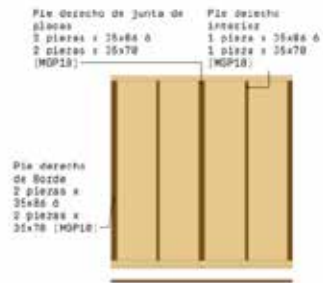


Figura 18.b: Elementos verticales constitutivos para muros E2E

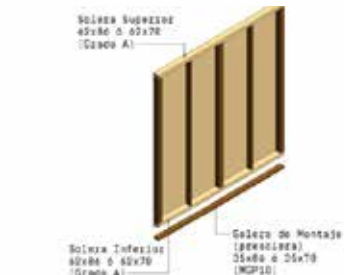


Figura 18.c: Elementos horizontales constitutivos para muros E2E

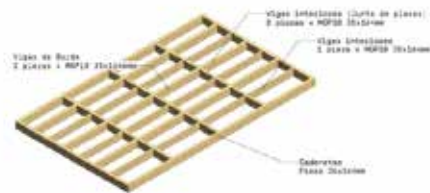


Figura 19: Elementos constitutivos para entrepisos E2E

FIGURA 17 | Soluciones estructurales Viviendas Tipo E2E

Figura 17. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E



El proceso comienza en la procesadora de vigas, donde la madera es cuidadosamente dimensionada utilizando una serie de herramientas automatizadas en una máquina de control numérico computacional. Esta etapa inicial es crucial, ya que prepara la madera para ser utilizada en las fases posteriores de la construcción.

Una vez que la madera está procesada, el proceso continúa en la línea automática. Aquí, se inicia la etapa de ensamblaje, comenzando con la estructura de los paneles y siguiendo con la instalación de placas. Este proceso automatizado garantiza precisión y eficiencia en la construcción de los paneles, que son elementos fundamentales en el sistema de construcción.

El siguiente paso involucra la integración de instalaciones eléctricas e hidráulicas en los paneles. Esta fase es vital para asegurar que todas las necesidades funcionales de la vivienda se integren de manera eficiente y segura en la estructura.

Posteriormente, se procede a la aplicación de aislación térmica y la incorporación de todos los componentes necesarios en los paneles. Este proceso se lleva a cabo a través de diferentes estaciones de trabajo automatizadas, utilizando tecnología de vanguardia para garantizar la calidad y precisión en cada paso.

Una vez que los paneles están listos, se trasladan a la zona de magazine. Aquí se realiza la instalación del revestimiento de terminación, así como de puertas, ventanas y cualquier otro requerimiento específico de los clientes. Este paso final en la línea de producción personaliza los paneles según las necesidades y preferencias del proyecto en cuestión.

El proceso concluye en la nave de despachos, donde se prepara la carga para su traslado al terreno de montaje. Este es el punto final en la fábrica, donde los componentes fabricados y ensamblados están listos para ser transportados al sitio de construcción, donde se llevará a cabo el montaje final de la vivienda o edificio.

3) Soluciones constructivas y materiales.

Para el análisis de las soluciones constructivas y materiales utilizados en los procesos de E2E, se utilizan como referencia las soluciones constructivas certificadas de la primera Vivienda DITEC E2E, es decir, se hace referencia directa a los paneles utilizados en esta vivienda y sus códigos de identificación, utilizando esta referencia como un mínimo a cumplir para diseñar las soluciones constructivas propuestas.

En este sentido, se utiliza el documento "Soluciones para Viviendas Tipo" de la empresa E2E, que proporciona una guía detallada de las soluciones constructivas estándar para ser utilizadas en el desarrollo y coordinación de proyectos de viviendas tipo. Estas soluciones se basan en el proyecto de vivienda Ditec Base y Ditec Familias Numerosas, y abarcan varios aspectos fundamentales de la construcción.

**Soluciones de Arquitectura**

Se detallan las soluciones constructivas para diferentes elementos de la estructura de la vivienda, incluyendo:

Muros: Se especifican diferentes tipos de muros perimetrales e interiores, describiendo sus materiales, escuadría, aislación, capas interiores y exteriores, espesor, y desempeños en fuego, térmico y acústico.

Entrepisos: Se describen los tipos de entrepisos utilizados, junto con sus componentes y especificaciones técnicas.

Techumbre y Cerchas: Se explican las soluciones para la techumbre y las diferentes tipologías de cerchas, dependiendo del lugar de fabricación (manual o industrializada).

Ventanas: Se detallan las dimensiones, tipos y características de las ventanas utilizadas en el proyecto.

Puertas: Se especifican las dimensiones y características de las diferentes puertas del proyecto.

Aguas Lluvias y Hojalaterías: Se describe el uso de canaletas y otros componentes para la gestión de aguas lluvias.

Soluciones de Especialidades: Se abordan los aspectos técnicos y materiales para las especialidades de la construcción, incluyendo:

Estructura: Se detalla el sistema estructural de E2E, basado en entramados ligeros de madera, y se presentan los elementos constitutivos de los paneles verticales.

Electricidad: Se explican las especificaciones técnicas para la canalización eléctrica y las cajas de derivación.

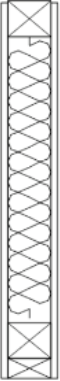
Agua Potable: Se describen las especificaciones de materiales para las instalaciones sanitarias.

Alcantarillado: Se presenta una solución prefabricada para el shaft horizontal.

Gas: Se detalla la instalación de pasadas de gas en los paneles.

El documento incluye tablas y figuras para ilustrar y especificar las dimensiones, tipos y características de los componentes mencionados. Estas soluciones están diseñadas para optimizar el proceso de construcción y garantizar la eficiencia, calidad y sostenibilidad en el desarrollo de viviendas tipo.

a.1. Muro Perimetral - M070P24

|                                                                                   |                           |                                                                                                                                |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadria                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                   | Capa interior             | Gyplac ST 10                                                                                                                   |                         |
|                                                                                   | Aislación                 | Lana de oveja 80 mm, R192                                                                                                      |                         |
|                                                                                   | Capa exterior             | Membrana hidrófuga + Smart Panel 11,1                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Espesor [mm]              | 91,1                                                                                                                           |                         |
|                                                                                   | Desempeño fuego           | F15                                                                                                                            | N° Certificado: 1589991 |
|                                                                                   | Desempeño térmico [W/m2K] | 0,488                                                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

a.2 Muro Perimetral - M070P25

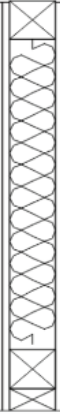
|                                                                                    |                           |                                                                                                                                |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadria                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                    | Capa interior             | membrana de vapor + OSB ST 11 + Gyplac ST 10                                                                                   |                         |
|                                                                                    | Aislación                 | Lana de oveja 80 mm, R192                                                                                                      |                         |
|                                                                                    | Capa exterior             | Membrana hidrófuga + Smart Panel 11,1                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Espesor [mm]              | 102,2                                                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Desempeño fuego           | F15                                                                                                                            | N° Certificado: 1591579 |
|                                                                                    | Desempeño térmico [W/m2K] | 0,467                                                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

FIGURA 18 | Soluciones de muros

Figura 18. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

a.3 Muro Perimetral - M070P26

|                                                                                   |                           |                                                                                                                                |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadría                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                   | Capa interior             | Membrana hidrófuga + Smart Panel 11,1                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Aislación                 | -                                                                                                                              |                         |
|                                                                                   | Capa exterior             | Membrana hidrófuga + Smart Panel 11,1                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Espesor [mm]              | 92,2                                                                                                                           |                         |
|                                                                                   | Desempeño fuego           | F15                                                                                                                            | N° Certificado: 1591580 |
|                                                                                   | Desempeño térmico [W/m2K] | No aplica                                                                                                                      |                         |
|                                                                                   | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

a.4 Muro Perimetral - M070P27

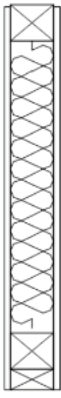
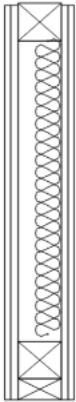
|                                                                                    |                           |                                                                                                                                |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadría                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                    | Capa interior             | Membrana de vapor + Gyplac ER 15                                                                                               |                         |
|                                                                                    | Aislación                 | Lana de oveja 80 mm, R192                                                                                                      |                         |
|                                                                                    | Capa exterior             | Membrana hidrófuga + Smart Panel 11,1                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Espesor [mm]              | 96,1                                                                                                                           |                         |
|                                                                                    | Desempeño fuego           | F60                                                                                                                            | N° Certificado: 1589677 |
|                                                                                    | Desempeño térmico [W/m2K] | 0,483                                                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

FIGURA 19 | Soluciones de muros

Figura 19. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

a.5 Muro Interior - M070I13

|                                                                                   |                           |                                                                                                                                |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadria                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                   | Capa interior             | OSB ST 11,1 + Gyplac ST 10                                                                                                     |                         |
|                                                                                   | Aislación                 | Lana de oveja 40 mm, R96                                                                                                       |                         |
|                                                                                   | Capa exterior             | OSB ST 11,1 + Gyplac ST 10                                                                                                     |                         |
|                                                                                   | Espesor [mm]              | 112,2                                                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Desempeño fuego           | F15                                                                                                                            | N° Certificado: 1591578 |
|                                                                                   | Desempeño térmico [W/m2K] | 0,885                                                                                                                          |                         |
|                                                                                   | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

a.6 Muro Interior - M070I16

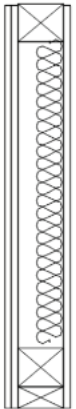
|                                                                                    |                           |                                                                                                                                |                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
|  | Escuadria                 | <ul style="list-style-type: none"><li>• Pies derechos MGP10 35x70 @600</li><li>• Soleras bilaminadas Grado A 62x70mm</li></ul> |                         |
|                                                                                    | Capa interior             | Gyplac ST 10                                                                                                                   |                         |
|                                                                                    | Aislación                 | Lana de oveja 40 mm, R96                                                                                                       |                         |
|                                                                                    | Capa exterior             | OSB ST 11,1 + Gyplac ST 10                                                                                                     |                         |
|                                                                                    | Espesor [mm]              | 101,1                                                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Desempeño fuego           | F15                                                                                                                            | N° Certificado: 1597693 |
|                                                                                    | Desempeño térmico [W/m2K] | 0,885                                                                                                                          |                         |
|                                                                                    | Desempeño acústico        | No aplica                                                                                                                      |                         |

FIGURA 20 | Soluciones de muros

Figura 20. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

Alturas de paneles:

La altura de los paneles de muros utilizados en vivienda DITEC corresponde a 2373 mm, sin embargo para obtener paneles más eficiente de acuerdo al consumo de madera y placas, la altura más eficiente es 2420 mm. La altura considera en base a la dimensión comercial de la placa OSB 2440x1220mm y madera MGP10 35x70 de largo comercial 2400mm.

b.Entrepisos

- Entrepiso Interior - E164I16

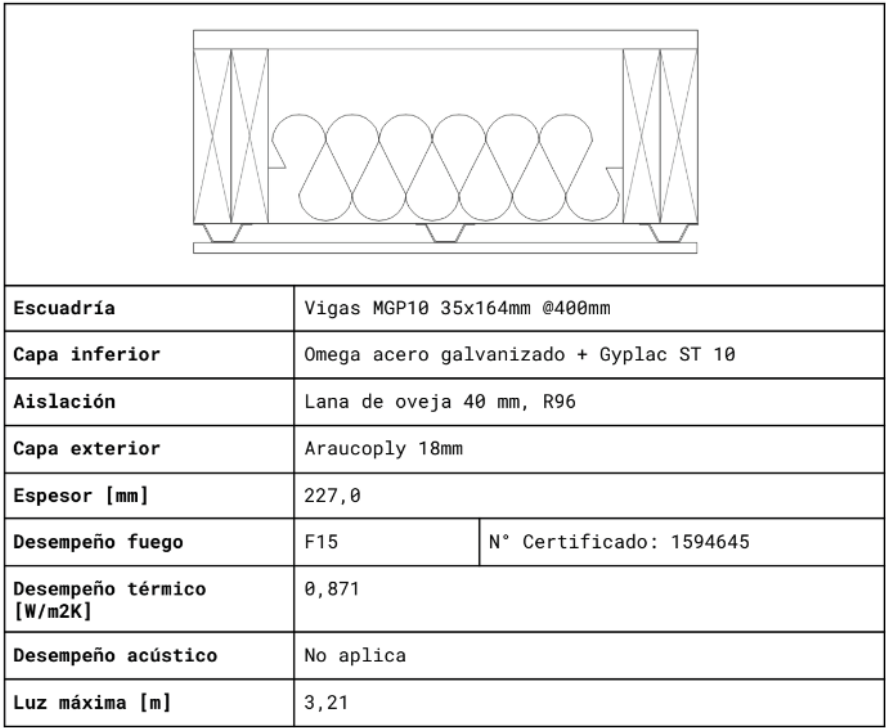


FIGURA 21 | Soluciones de entrepiso

Figura 21. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

d. Ventanas

En la tabla 2 se describen las tipologías, dimensiones y características de las ventanas utilizadas en la vivienda Ditec base.

Tabla 2: Dimensión de ventanas tipo

| Código       | Dimensión ventana | Recinto           | Tipo de ventanas | Tipo de Cristal | Dimensión vano |
|--------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Ventana 01   | 1,2x1,7m          | Living comedor    | Corredera        | Normal incoloro | 1210x1710mm    |
| Ventana 02   | 0,5x0,8m          | Cocina habitación | Abatible         | Normal incoloro | 510x810mm      |
| Ventana 02.1 | 0,5x0,8m          | Baño              | Abatible         | Stipolite       | 1210x1310mm    |
| Ventana 03   | 1,2x1,3m          | Habitaciones      | Corredera        | Normal incoloro | 1210x1310mm    |
| Ventana 04   | 0,4x1,7m          | Escalera          | Fija             | Normal incoloro | 410x1710mm     |

FIGURA 22 | Soluciones de ventanas

Figura 22. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

e. Puertas

Las puertas del proyecto a considerar en la arquitectura se muestran en la figura 12 y figura 13. Las dimensiones de vano, hojas y libre se detallan en la tabla 3.

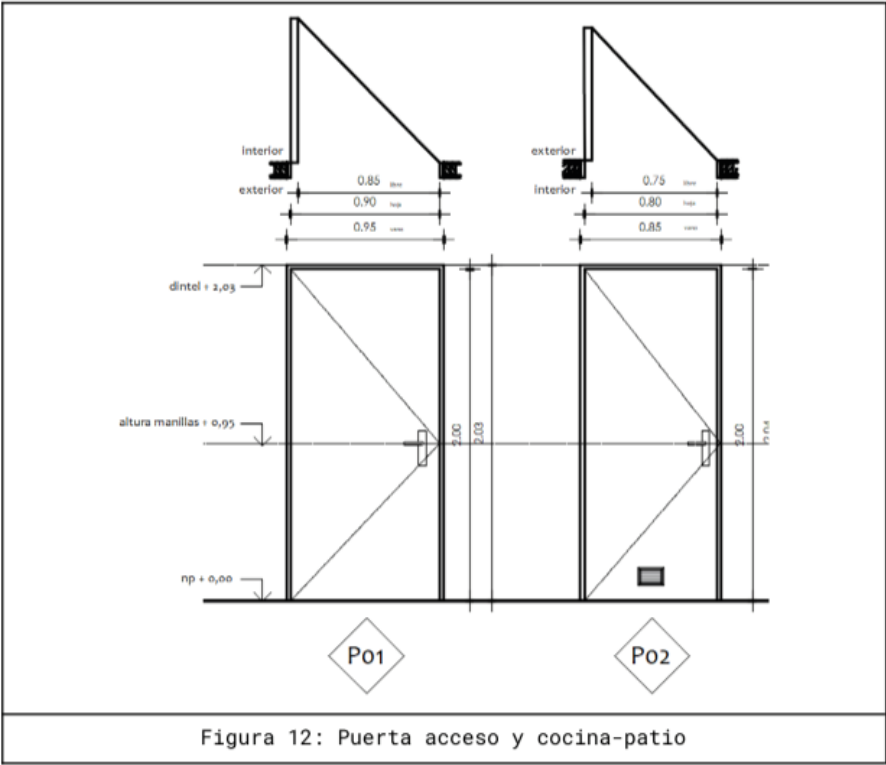


FIGURA 23 | Soluciones de puertas

Figura 23. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

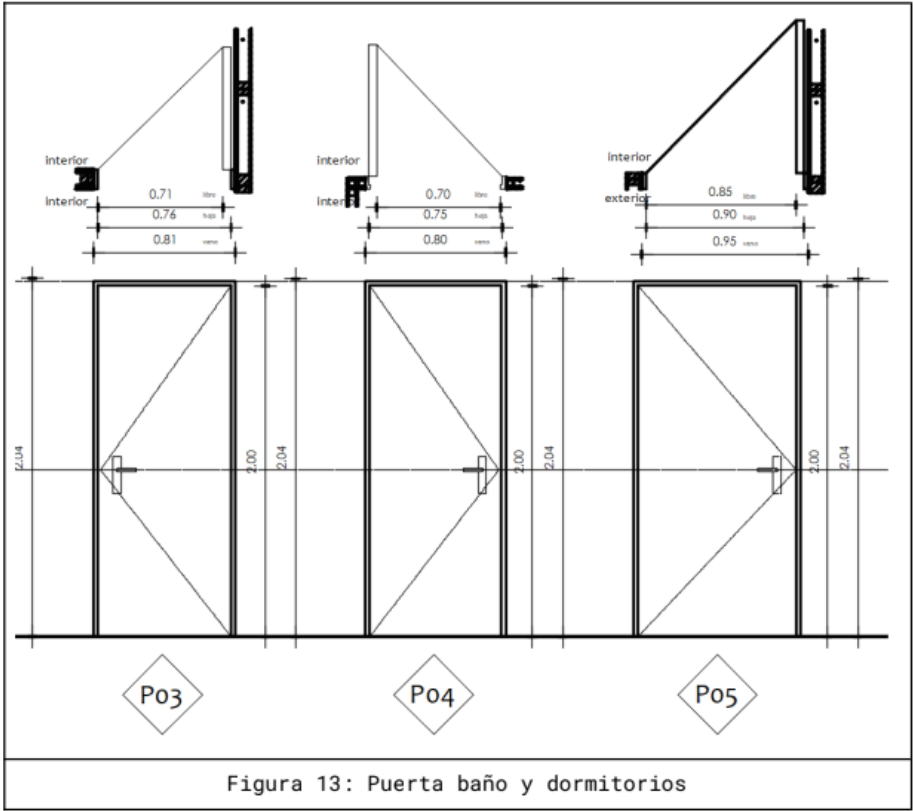


FIGURA 24 | Soluciones de puertas

Figura 24. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

2) Instalaciones Eléctricas y Sanitarias

b.1 Especificación técnica

Los paneles E2E cuentan con canalización eléctricas de PVC rígido de hasta 20mm y cajas de derivación con 4 salidas/conexiones de 20 mm.

En caso que se requiera de mayor diámetro deberá tener una revisión por parte de cálculo para asegurar el correcto comportamiento de la estructura.

Dimensiones:

- Caja eléctrica embutida: [Bticino](#) 208x514x421mm
- Tablero 18 módulo : [Lexo electric](#) 365x215x65 mm

|                                                                                    |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Figura 32: Caja de derivación Bticino 503L                                         | Figura 33: Tablero eléctrico embutido                                              |

FIGURA 25 | Soluciones de instalaciones eléctricas.

Figura 25. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

b.3 Posición y orientación de cajas de distribución

La posición orientación de los enchufes e iluminación depende del recinto de la vivienda. En general los enchufes se disponen en horizontal e interruptores en vertical, sin embargo esto sólo depende del diseño de la vivienda.

A continuación en la tabla 5 se detalla la altura a NOG y orientación de enchufes e interruptores dependiendo del recinto y el artefacto donde se encuentre ubicado:

| Tabla 5: Altura de enchufes e interruptores. |                       |             |                                      |
|----------------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|
| Tipo                                         | Altura desde NOG [mm] | Orientación | Destino                              |
| Enchufe                                      | 2010                  | Horizontal  | Cocina                               |
| Enchufe - Interruptor                        | 1210                  | Horizontal  | Cocina                               |
| Enchufe - Interruptor                        | 1840                  | Horizontal  | Dormitorios, living, estar y Comedor |
| Enchufe                                      | 410                   | Horizontal  | Dormitorios, Living, Estar y Comedor |
| Tablero                                      | 1710                  | Horizontal  | TDA                                  |

FIGURA 26 | Soluciones de instalaciones eléctricas.

Figura 26. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E

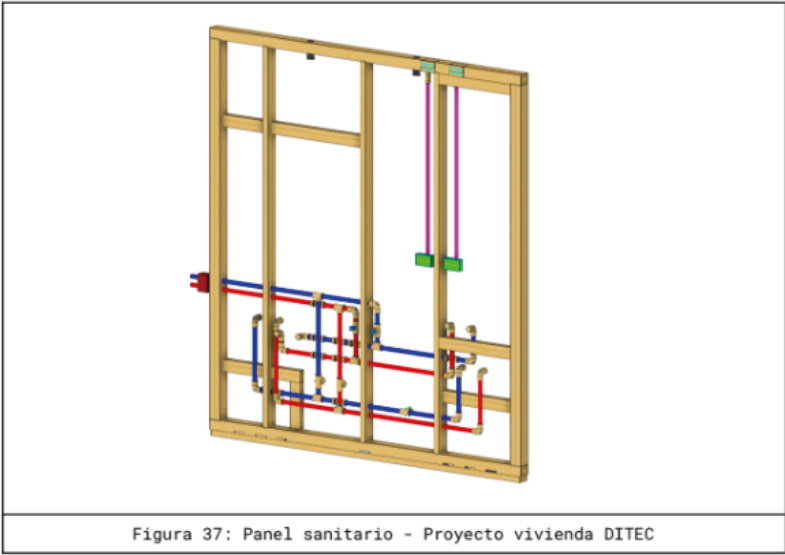


FIGURA 27 | Soluciones de instalaciones de agua potable

Figura 27. Soluciones constructivas para viviendas tipo E2E



Esta información permite establecer un panorama claro sobre las soluciones constructivas y materiales utilizados por la empresa E2E en la construcción de viviendas tipo industrializadas.

Por otra parte, y como se mencionó previamente, la Resolución N° 59 establece una serie de entregables para documentar la información asociada a las soluciones de vivienda tipo industrializada. Los que se abordarán en este trabajo de tesis son:

- 1) Detalles constructivos
- 2) Instrucciones particulares del elemento o componente
- 3) Ficha Informativa

Se reconoce la importancia de diseñar y documentar las viviendas considerando estos tres entregables, de esta forma, y previo al desarrollo del algoritmo, se reconocen como los posibles “Output” que debe entregar el plug-in a desarrollar.

## 4.2 DISEÑO DEL ALGORITMO

Para el desarrollo de un algoritmo que permita integrar todos los parámetros estudiados en esta investigación, primero es necesario ordenarlos, analizar las distintas interacciones que permitan establecer los lineamientos para el desarrollo del algoritmo. Con este fin, a continuación se desglosa y ordena brevemente y a modo de resumen, toda la información recopilada en la presente investigación.

Los principales aspectos que influirán en el diseño del sistema son:

- 1) El terreno.
- 2) Los parámetros de diseño.
- 3) El diseño de componentes estandarizados.
- 4) El diseño participativo y la adaptabilidad.

Si desglosamos el diseño del sistema en estos 4 aspectos, es posible abarcar todos los lineamientos referidos previamente en esta tesis.

- 1) El terreno

La información asociada al terreno donde se va a construir nos permite establecer el primer input del algoritmo, la topografía, a través de la incorporación de las cotas de nivel. Esto permitirá establecer una base sobre la cual se realizará el proyecto, junto con el segundo input, definido como la normativa básica aplicable al terreno, es decir, el Certificado de Informes Previos (CIP), esta información permitirá analizar en tiempo real si la propuesta cumple con los distanciamientos, las rasantes y/o los adosamientos normativos, entre otros.

## 2) Los parámetros de diseño

Los parámetros de diseño recopilados exhaustivamente en el desarrollo de esta investigación, divididos en 2 grupos, De la normativa y De los procesos y sistemas constructivos, establecen las restricciones de diseño para la propuesta arquitectónica y técnico-constructiva.

Por un lado, para el proceso de diseño arquitectónico es necesario utilizar los lineamientos de la Resolución N° 7712, a fin de cumplir con los espacios de uso mínimos y asegurar la calidad de la vivienda y su viabilidad de aprobación para proyectos industrializados en el marco del Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda, D.S. N° 49.

Por otra parte, para el diseño de los componentes constructivos de la propuesta se utilizarán los lineamientos del manual de “Soluciones para Viviendas Tipo” de la empresa E2E, a fin de asegurar la calidad y la viabilidad de implementación de las soluciones propuestas.

## 3) Diseño de componentes estandarizados.

Utilizando los parámetros de diseño previamente mencionados, se diseñarán componentes estandarizados que cumplan con estos parámetros, estos componentes se dividen en dos grupos: Diseño de espacios y Diseño de componentes constructivos.

Para esto, se realiza un estudio de posibles combinatorias utilizando los espacios mínimos estipulados en la Resolución N° 7712, para realizar una matriz de tipologías y subtipologías de módulos arquitectónicos que cumplen siempre con los lineamientos de esta normativa. De la misma forma, se diseñará una matriz de tipologías y subtipologías de paneles constructivos, diseñados para adaptarse a los distintos recintos de los módulos. De esta forma, el

algoritmo tendrá disponible una serie de componentes estandarizados que cumplen con la normativa aplicable al diseño de viviendas tipo industrializadas.

Este método, naturalmente se puede llevar a cabo utilizando los sistemas y procesos de la Construcción Volumétrica Prefabricada Preterminada (PPVC), reconociendo sus beneficios, como el alto nivel de productividad y eficiencia que se puede alcanzar con su implementación, se propone el desarrollo de una serie de módulos tridimensionales, que permitan entregar una amplia gama de posibles usos y configuraciones.

#### 4) Diseño participativo y adaptabilidad.

Finalmente, para la incorporación de mecanismos de diseño participativo y adaptabilidad en el desarrollo del proyecto habitacional, se propone un sistema de diseño modular adaptativo, es decir, se diseñan los módulos previamente mencionados, en base a una lógica que permita generar distintos tipos de conexiones e interacciones entre estos. De esta forma, es posible dejar a elección del usuario cómo quiere organizar los espacios de su vivienda, a la vez que el diseñador pueda ajustar el proyecto a las variables del terreno y del contexto específico.



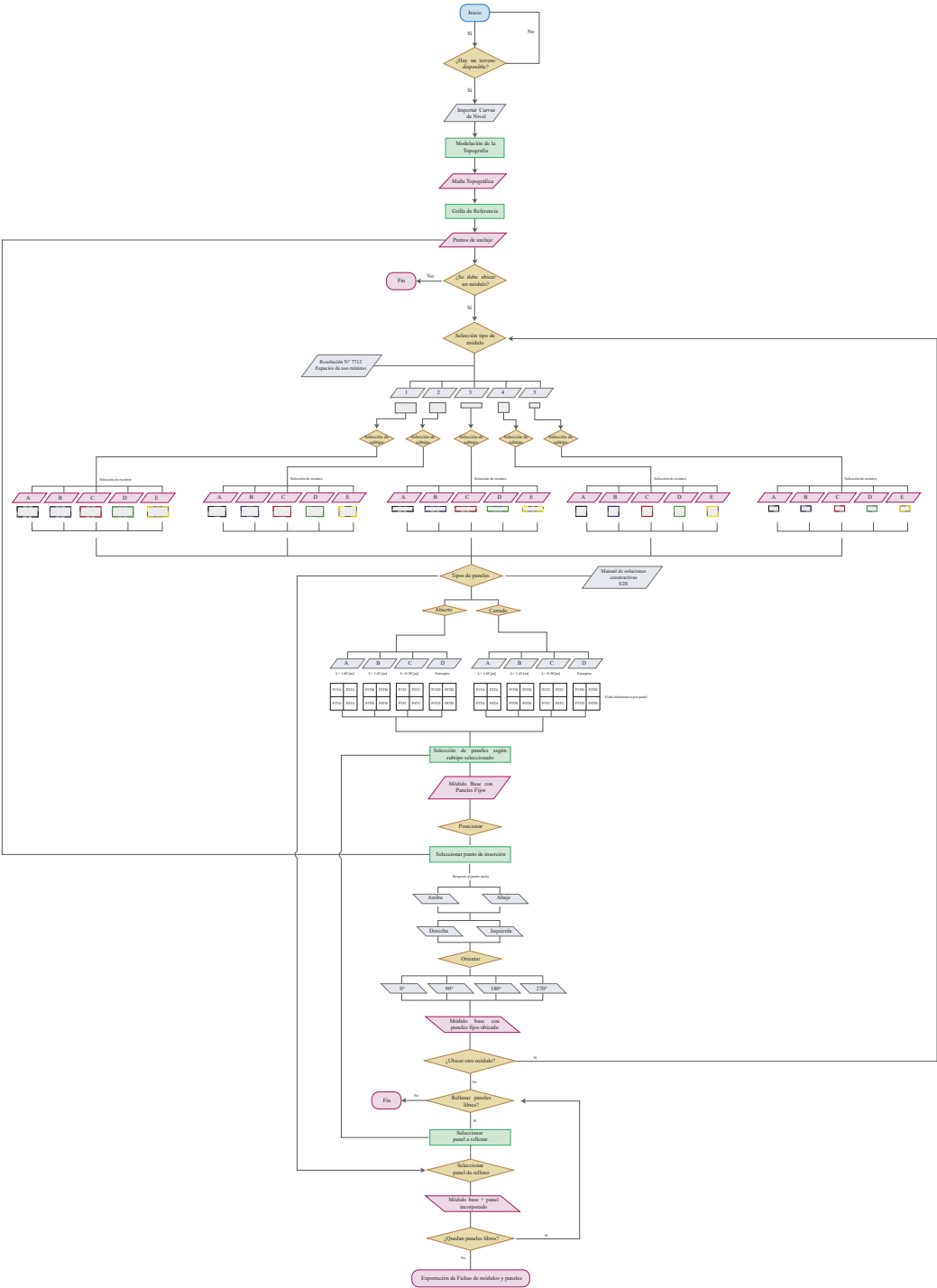


Figura 28. Algoritmo

El diagrama de flujo desarrollado conecta todos los parámetros de influencia considerados previamente, desde el terreno hasta las fichas de exportación.

Esta exploración permitió descubrir la forma en que deben ser diseñados los módulos, estableciendo una serie de tipologías y subtipologías, al igual que los tipos de paneles necesarios.

### 4.3 DISEÑO DEL SISTEMA MODULAR

Como resultado del diagrama de flujo desarrollado, se procede a diseñar el sistema de módulos y sus componentes constructivos (paneles). Para ello, se utilizan los documentos normativos previamente mencionados, y que de igual forma fueron incorporados en el diagrama de flujo.

Se realiza un estudio de cabida con los espacios mínimos establecidos en la Resolución N° 7712, con esto, se diseña una matriz de módulos con distintas variantes o subtipologías.

Se desarrolla una biblioteca de paneles basados en el sistema de módulos previo, se sistematizan los paneles a fin de estandarizar componentes y establecer tipos y subtipos, como informa el algoritmo desarrollado. Todo esto, en base al documento “*Manual de Soluciones Constructivas para Viviendas Tipo*” (MSCVT) de la empresa E2E.

### 4.3.1 Estudio de cabida y tipologías de módulo

Basándose en las restricciones dadas por los espacios mínimos, el transporte y las dimensiones estándar de los materiales utilizados, se propone una primera convención de diseño, la cual establece que la dimensión 3.20 [m] será el estándar que informará las proporciones con que se diseñarán todos los módulos.

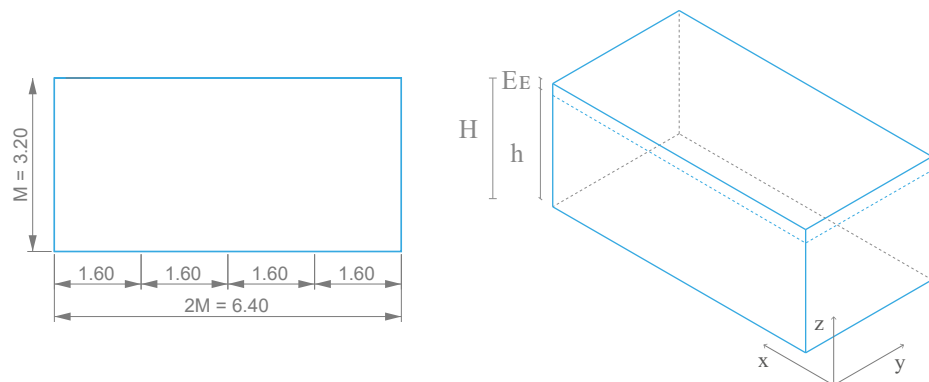
De esta forma, a partir de una serie de operaciones sobre este valor, que desde ahora se define como “M” y de establecer la altura constante para muros en 2,40 [m], definida como “h”, se diseñan los siguientes módulos:

Con:  $M = 3,20$  [m] y  $h = 2,40$  [m], ambas constantes.

#### Módulo Tipo 1:

Dimensiones:  $M \times 2M \times H$

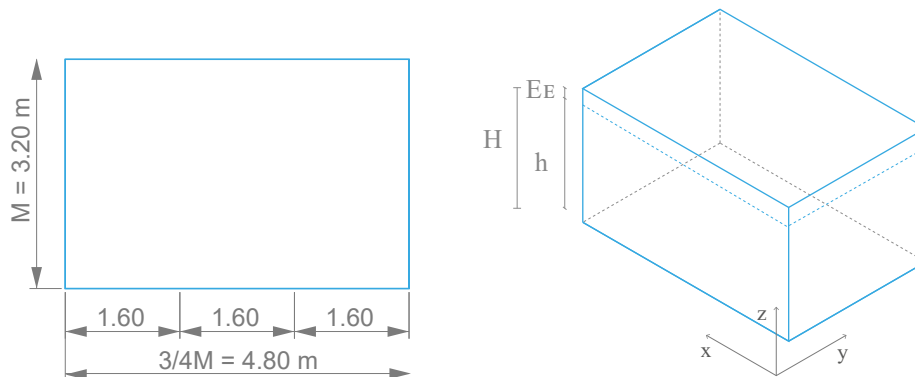
Altura  $H = h + EE$ , con:  $EE = \text{Espesor Entrepiso}$



**Módulo Tipo 2:**

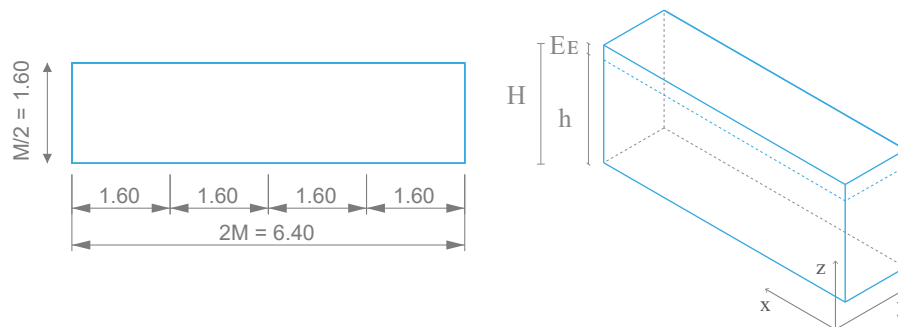
Dimensiones:  $M \times 3/4M \times H$

Altura  $H = h + E_E$ , con:  $E_E$  = Espesor Entrepiso

**Módulo Tipo 3:**

Dimensiones:  $M/2 \times 2M \times H$

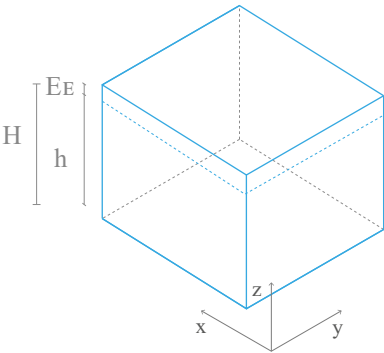
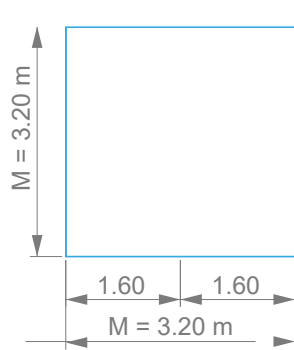
Altura  $H = h + E_E$ , con:  $E_E$  = Espesor Entrepiso



**Módulo Tipo 4:**

Dimensiones:  $M \times M \times H$

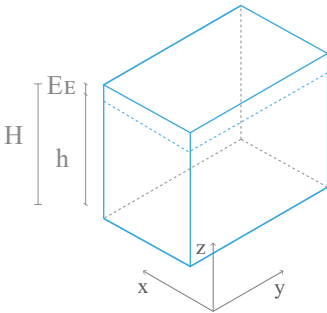
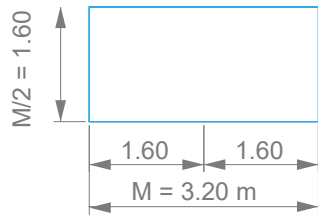
Altura  $H = h + EE$ , con:  $EE$  = Espesor Entrepiso



**Módulo Tipo 5:**

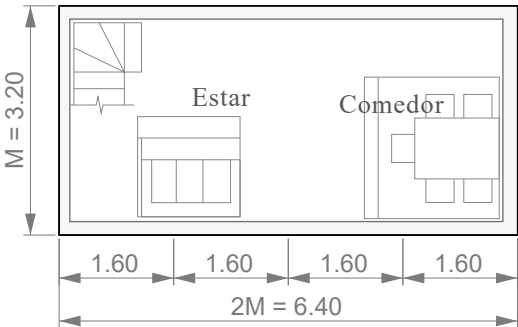
Dimensiones:  $M/2 \times M \times H$

Altura  $H = h + EE$ , con:  $EE$  = Espesor Entrepiso



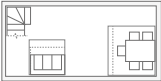
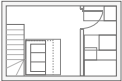
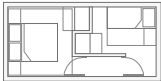
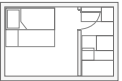
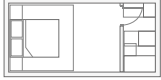
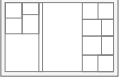
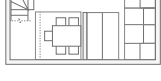
Para cada uno de estos módulos, se proponen una serie de distribuciones de espacios interiores, utilizando el cuadro normativo de la *Re N° 7712*, esto da origen a las subtipologías de los módulos, descritas a continuación:

**Módulo Tipo 1:**

| Sub-tipo M1A                                                                      |              |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|
|  |              |                             |
| Espacios                                                                          | Mobiliario   | Requerimiento paneles fijos |
| Estar                                                                             | Sillón       | 2 puntos eléctricos         |
| Comedor                                                                           | Mesa comedor |                             |
| Escalera                                                                          | Escalera     |                             |

Revisar lista de anexos.

En la siguiente figura se muestra la matriz resultante:

|   | 1                                                                                   | 2                                                                                 | 3                                                                                  | 4                                                                                   | 5                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| A |    |  |  |  |  |
| B |    |  |  |  |  |
| C |    |  |  |  |  |
| D |    |  |  |  |  |
| E |   | —                                                                                 | —                                                                                  | —                                                                                   | —                                                                                   |
| F |  | —                                                                                 | —                                                                                  | —                                                                                   | —                                                                                   |

### 4.3.2 Diseño de elementos y componentes constructivos

Para diseñar los componentes constructivos, se realiza un trabajo de subdivisión de las caras de los módulos, utilizando un sistema que permita definir una serie de tipos y subtipos de paneles, como manifiesta el algoritmo a través del diagrama de flujo desarrollado.

Para el diseño de esta modulación se consideran los siguientes parámetros:

Modulación base  $M = 3.20$  [m]

Altura  $h = 2.40$  [m]

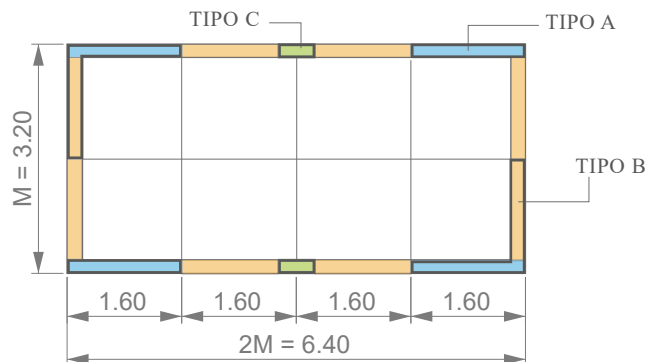
Ancho máximo puerta  $A_{p\text{máx}} = 0.90$  [m]

Luz máxima libre para entrepisos  $L_{\text{máx}} = 3,21$  [m]

Ancho placa arriostrante =  $1.20$  [m]

Unit Bracing =  $\frac{1.60 \text{ [m]}}{3.20 \text{ [m]}} = 1.60$  [m] de muro rígido cada  $3.20$  [m].

Con estos parámetros en consideración, se procede:



Con esta distribución se busca brindar mecanismos de adaptabilidad al sistema, definiendo una serie de muros fijos o también denominados inmóviles (remarcados), para asegurar un correcto comportamiento estructural y continuidad en el traspaso de las cargas verticales, a la vez que otros paneles pueden variar para adaptarse a las distintas combinaciones y organizaciones de módulos, pudiendo

incluso dejarlos “sin rellenar”.

De esta operación resultan 4 tipos de panel, organizados según su largo como:

Tipo A = 1.60 [m]

Tipo B = 1.45 [m]

Tipo C = 0.30 [m] / sólo utilizado en los módulos 1 y 3

Tipo D = 1.30 [m] / sólo utilizado en el módulo Tipo 3

Los paneles se organizan en dos grupos: Abiertos y Cerrados, siguiendo el orden de la siguiente matriz.

|         | Tipo A      | Tipo B      | Tipo C      | Tipo D     |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Cerrado | PTA-CDO_01  | PTB-CDO_01  | PTC-CDO_01  | PTD-CDO_01 |
|         | PTA-CDO_02  | PTB-CDO_02  | PTC-CDO_02  | PTD-CDO_02 |
| Abierto | PTA-ABTO_01 | PTB-ABTO_01 | PTB-ABTO_01 |            |
|         | PTA-ABTO_02 | PTB-ABTO_02 | PTB-ABTO_02 |            |

En base a esta matriz, se diseñan los siguientes paneles, en respuesta a los requerimientos definidos en las “tablas informativas” de cada módulo.

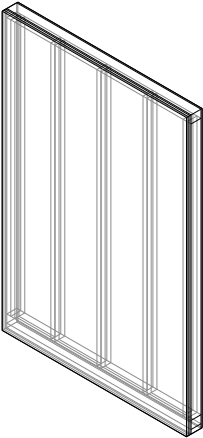
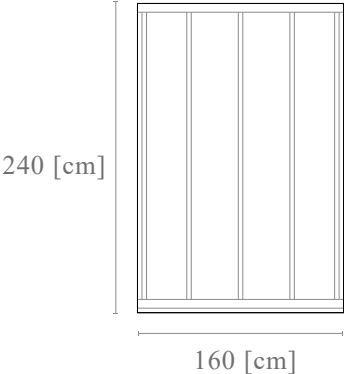
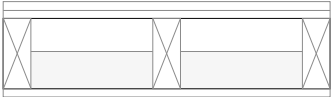
|         | A                                                                                                |                                                                                                  | B                                                                                                 |                                                                                                   | C                                                                                                |                                                                                                  | D                                                                                                |                                                                                   | E                                                                                                 |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cerrado | PTA_CDO_001<br> | PTA_CDO_002<br> | PTB_CDO_001<br>  | PTB_CDO_002<br>  | PTC_CDO_001<br> | PTC_CDO_002<br> | PTC_CDO_001<br> |  | PTD_CDO_001<br>  |
|         | PTA_CDO_003<br> | PTA_CDO_004<br> | PTB_CDO_003<br>  | PTB_CDO_004<br>  |                 |                 |                 |  | PTD_CDO_002<br>  |
|         | PTA_CDO_005<br> | PTA_CDO_006<br> | PTB_CDO_005<br>  | PTB_CDO_006<br>  |                 |                 |                 |  |                  |
|         | PTA_CDO_007<br> | PTA_CDO_008<br> | PTB_CDO_007<br>  | PTB_CDO_008<br>  |                 |                 |                 |  |                  |
| Abierto |                 |                 | PTB_ABTO_001<br> | PTB_ABTO_002<br> |                 |                 |                 |  | PTD_ABTO_001<br> |
|         |                 |                 | PTB_ABTO_003<br> | PTB_ABTO_004<br> |                 |                 |                 |  |                  |
|         |                 |                 | PTB_ABTO_005<br> | PTB_ABTO_006<br> |                 |                 |                 |  |                  |
|         |                 |                 |                  |                  |                 |                 |                 |  |                  |

Se diseñan, 8 paneles Tipo A cerrados y 0 abiertos; 7 paneles Tipo B cerrados y 6 abiertos; 2 paneles Tipo C cerrados y 0 abiertos; 1 panel tipo D cerrado y 0 abiertos.

Para los paneles tipo E, correspondientes a los entrepisos, se diseñan tres propuestas, dos cerrados y uno abierto.

Basado en los lineamientos definidos por el Manual de Soluciones constructivas E2E, a continuación se presenta un ejemplo del detallamiento para los paneles diseñados, utilizando algunos de los paneles Tipo A.

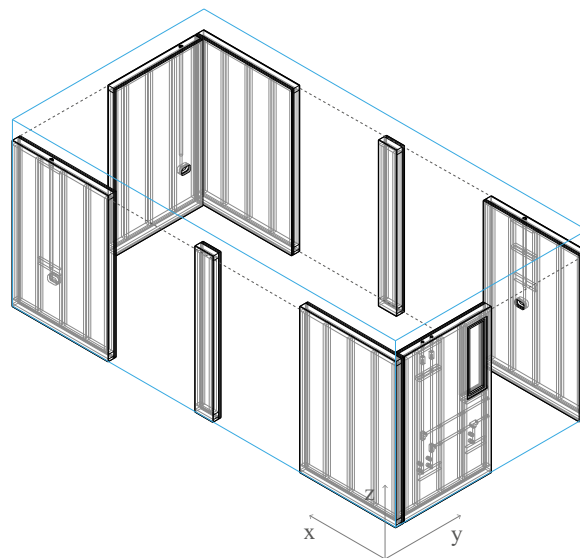
Revisar lista de anexos.

| PTA_CDO_001                                                                         |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                          | Materiales                                                                            |
|    | OSB 11,1 MM                                                                           |
|                                                                                     | Y.C ST 15 MM                                                                          |
|                                                                                     | PPDD 35 x 86 MM                                                                       |
|                                                                                     | EE.SS 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | BILAM 68 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                    |
|                                                                                     | AISLANTE 50 MM                                                                        |
| Elevación                                                                           | Detalles                                                                              |
|  | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                     |
|                                                                                     | 0                                                                                     |
|                                                                                     | PUNTOS SANITARIOS                                                                     |
|                                                                                     | 0                                                                                     |
|                                                                                     | Capas                                                                                 |
|                                                                                     |  |

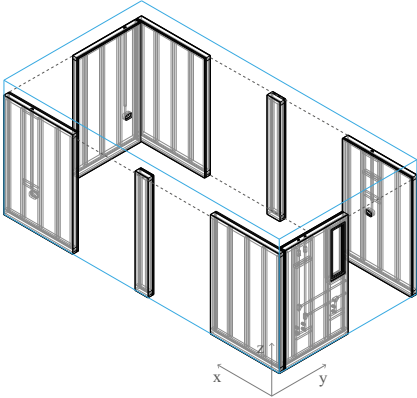
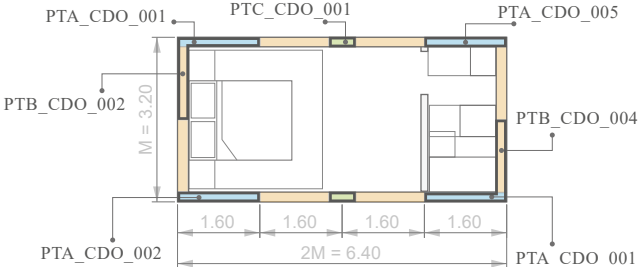
Las fichas presentan información técnico-constructiva detallada de cada panel, como las placas de revestimiento, la estructura interna primaria y secundaria, ventanas, instalaciones eléctricas y sanitarias, entre otros.

Para finalizar el diseño de los módulos PPVC estándar, se incorporan los paneles fijos para cada subtipo de módulo. De esta manera es que se terminan de definir los componentes 3D prefabricados (módulos PPVC) que el usuario/diseñador utilizará como base para el desarrollo del proyecto habitacional, siguiendo las instrucciones dadas por el algoritmo diseñado.

### EJEMPLO MÓDULO M1C



Para documentar la información de casa módulo, se desarrolla la siguiente ficha:

| M1C                                                                                 |               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
| Isométrica                                                                          | Paneles fijos | Unidades |
|    | PTA_CDO_001   | 2        |
|                                                                                     | PTA_CDO_002   | 1        |
|                                                                                     | PTA_CDO_005   | 1        |
|                                                                                     | PTB_CDO_002   | 1        |
|                                                                                     | PTB_CDO_004   | 1        |
|                                                                                     | PTB_CDO_001   | 2        |
| Planta paneles                                                                      |               |          |
|  |               |          |

Los paneles restantes quedan a libertad de elección por el usuario o diseñador, estos forman parte de los paneles Tipo B y se pueden utilizar del tipo abierto o cerrado, a diferencia de los paneles fijos que siempre deben ser cerrados.

## 4.4 DESARROLLO DEL PLUG-IN: AUTOMATIZACIÓN DEL DISEÑO Y DOCUMENTACIÓN

A continuación se desarrolla la Programación Visual del algoritmo utilizando el Software Rhinoceros 3D + el Plug-in Grasshopper.



### 4.4.1 Importar Terreno



Se importan las curvas de nivel utilizando la opción “*Set Multiple Curves*” del componente “*curva*”.

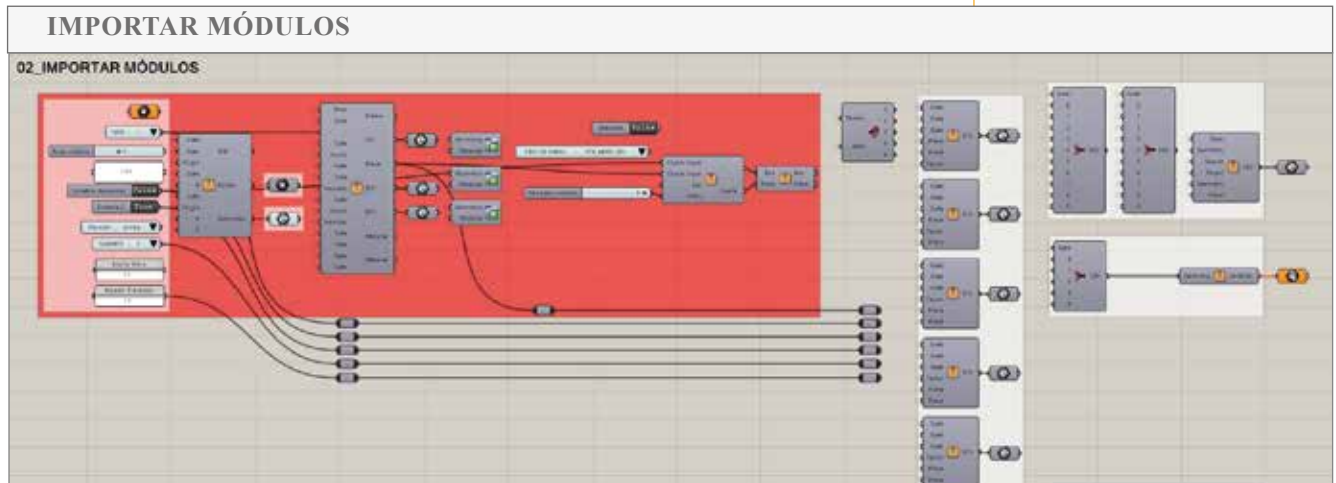
Se da la opción de ajustar la exactitud de la modelación en base a un input definido como “*Ajuste Topografía*”, a mayor valor, más precisa la modelación.

El parámetro “*Modulación*” define el distanciamiento entre los puntos de la grilla de referencia.

Finalmente, se utiliza un componente “*Value List*” para dar múltiples opciones de colocación de la grilla.



## 6.4.2 Importar Módulos



Siguiendo los lineamientos del algoritmo diseñado en el capítulo anterior, se establecen los siguientes “Inputs” .

Punto de Anclaje

Tipo de Módulo

Subtipo de Módulo

Posición: Derecha / Izquierda

Posición: Arriba / Abajo

Simetría: Sí / No

Se utilizan estos parámetros para modelar los módulos.

[illegible]

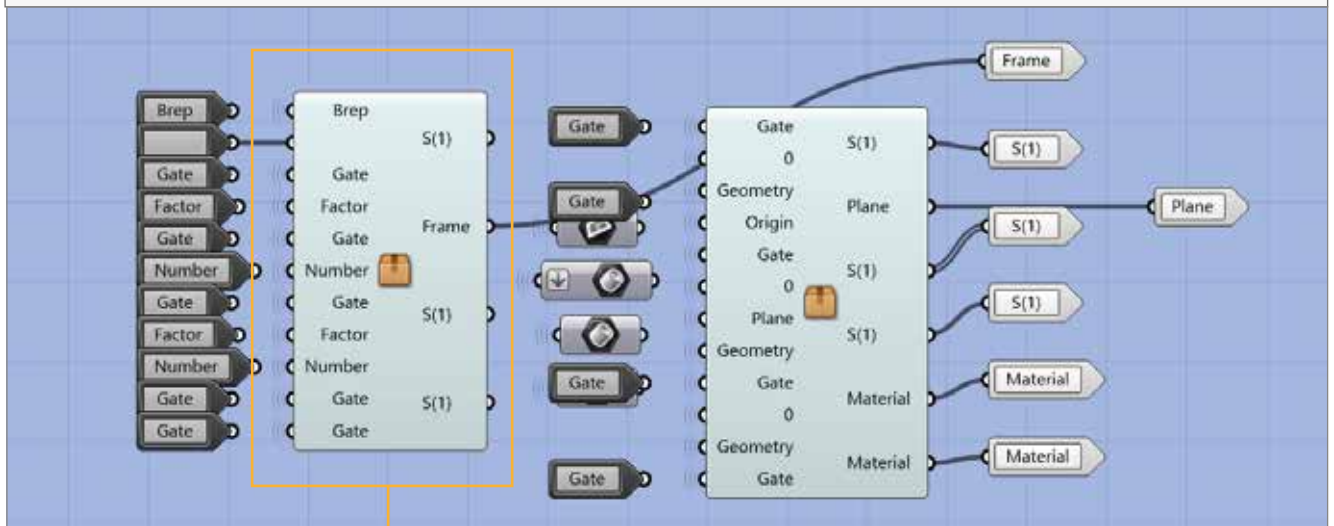
# GEOMETRÍA BASE MÓDULO (1)

## GEOMETRÍA BASE MÓDULO (2)

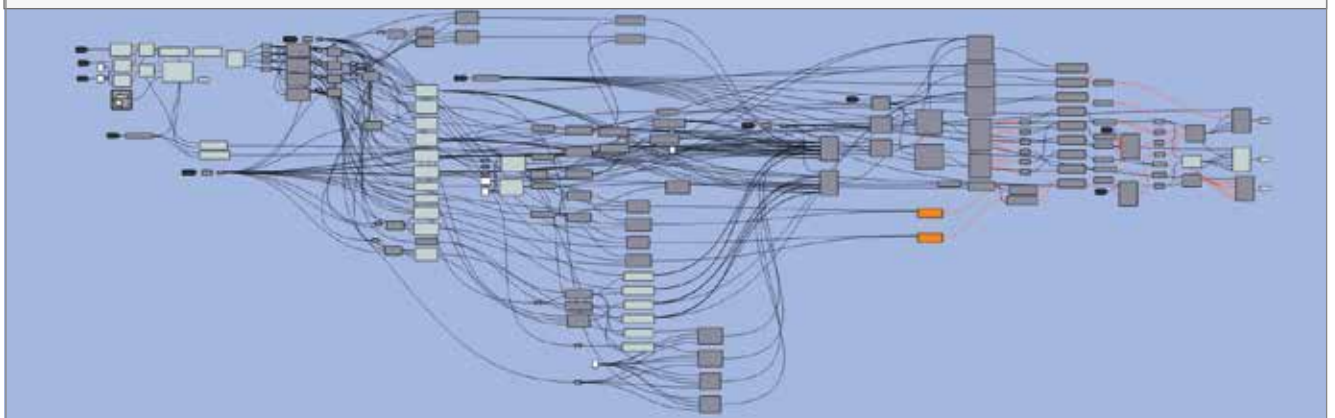
Esta operación exporta la geometría base del módulo en formato “*Brep*” y los vertices en formato “*Point*”. Se ejecutan una serie de instrucciones basadas en la altura de los muros, la modulación base de 3.20 [m], entre otros.

A continuación se desarrolla la modelación de la geometría base (envoltura) para los paneles.

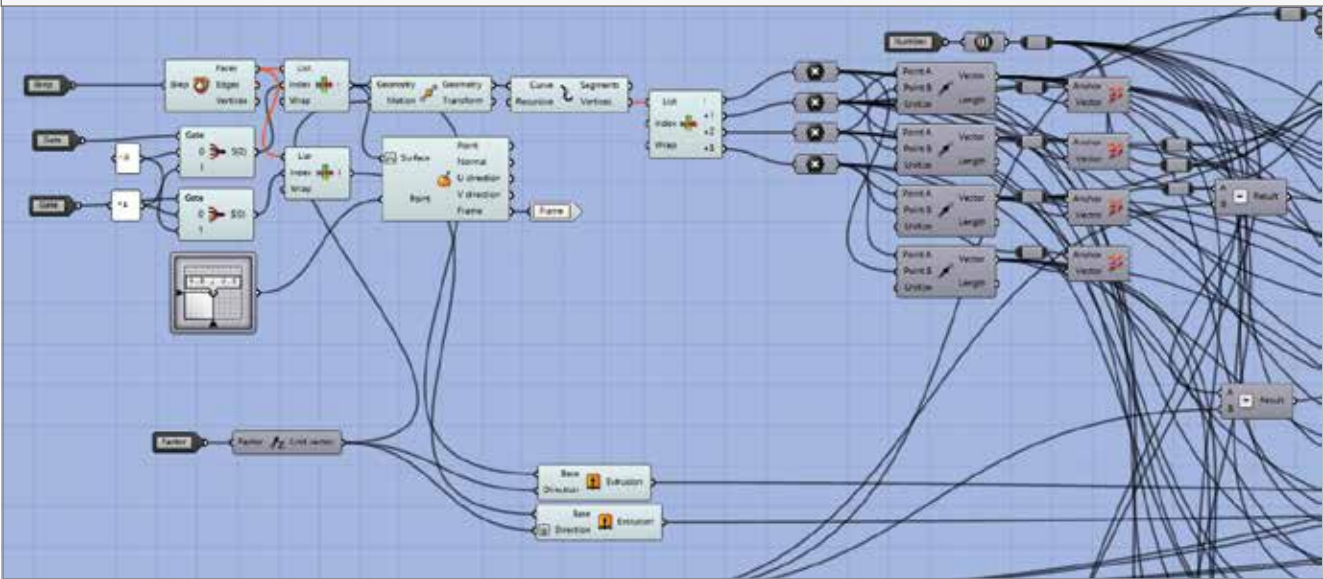
### ENVOLTURA PANELES



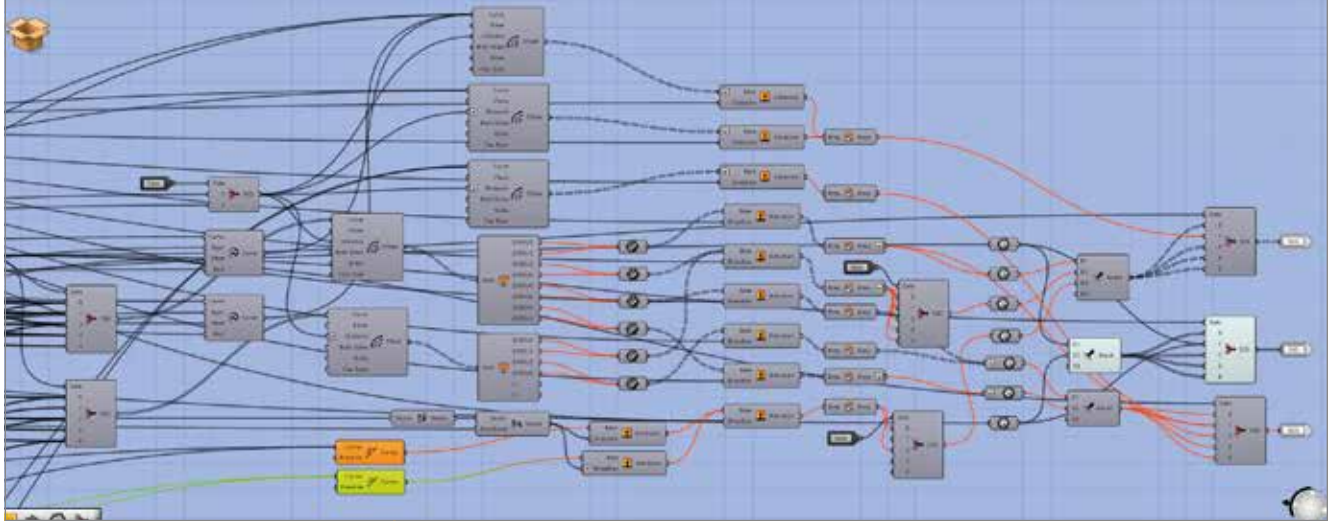
### ENVOLTURA PANELES



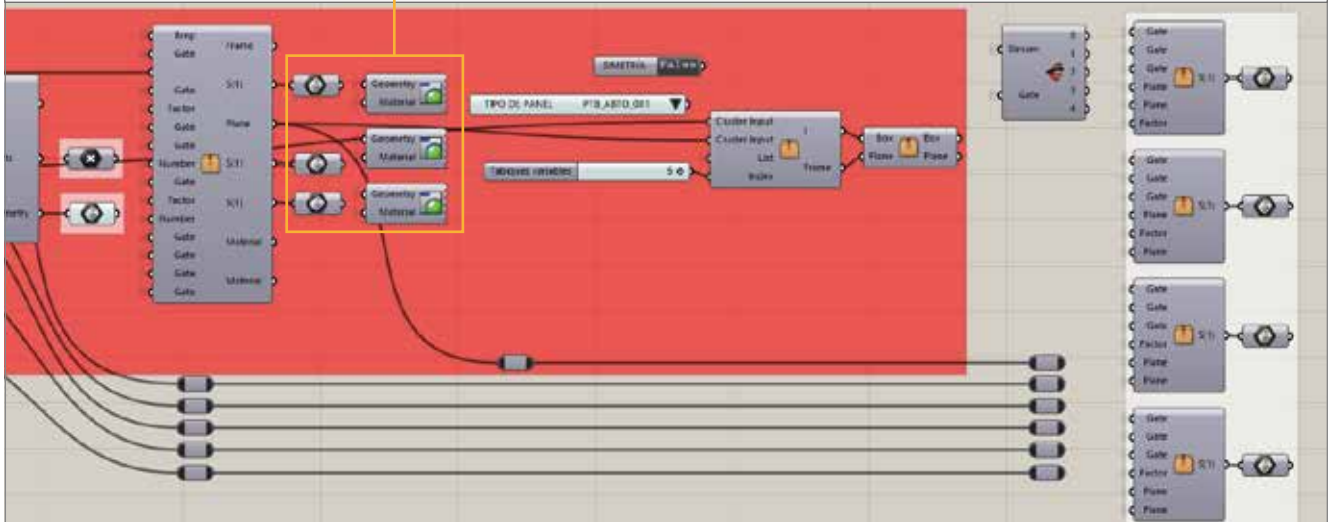
## ENVOLTURA PANELES



## ENVOLTURA PANELES



## IMPORTAR MÓDULOS

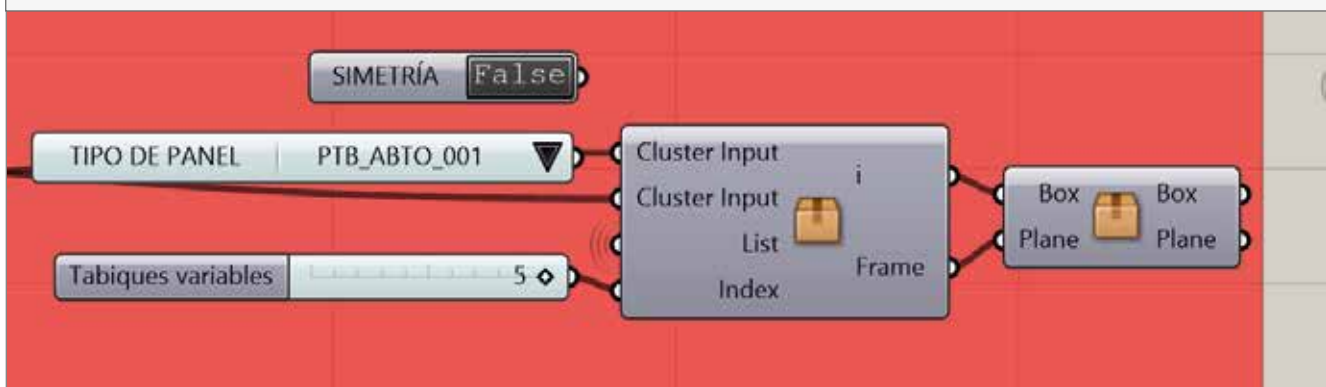


Esta operación exporta las envolturas de los paneles fijos según el tipo de módulo seleccionado.

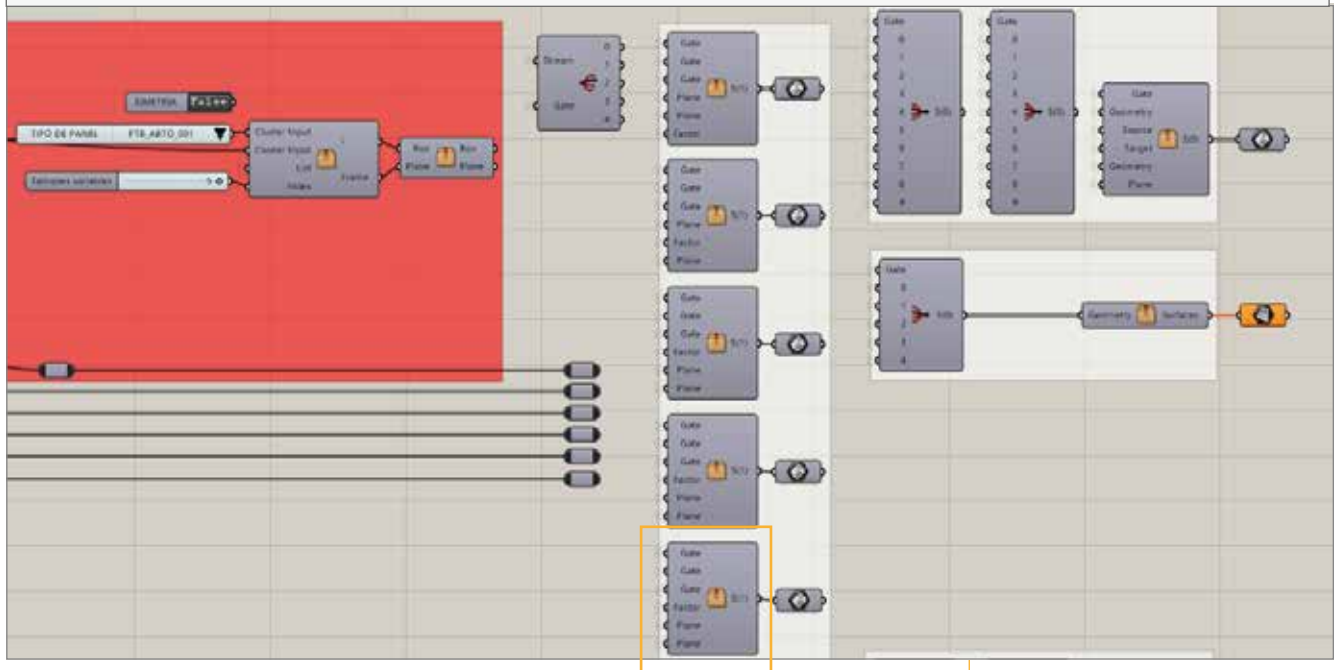
PANELES IMPORTABLES



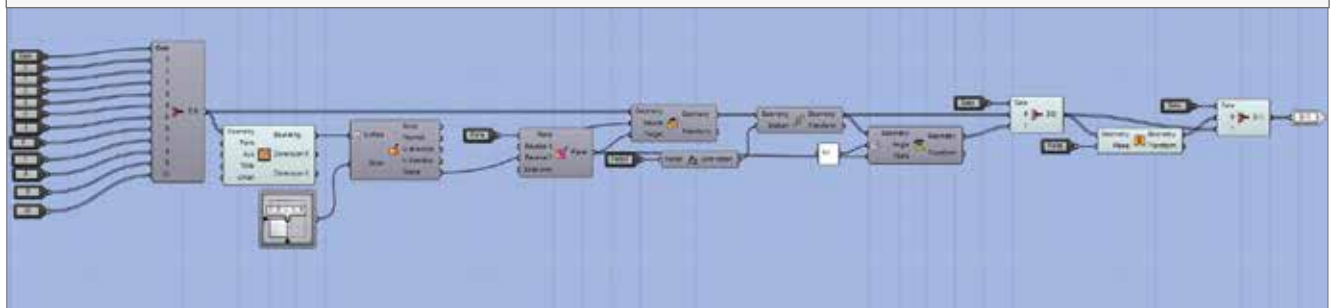
SELECCIÓN DE PANEL DE RELLENO



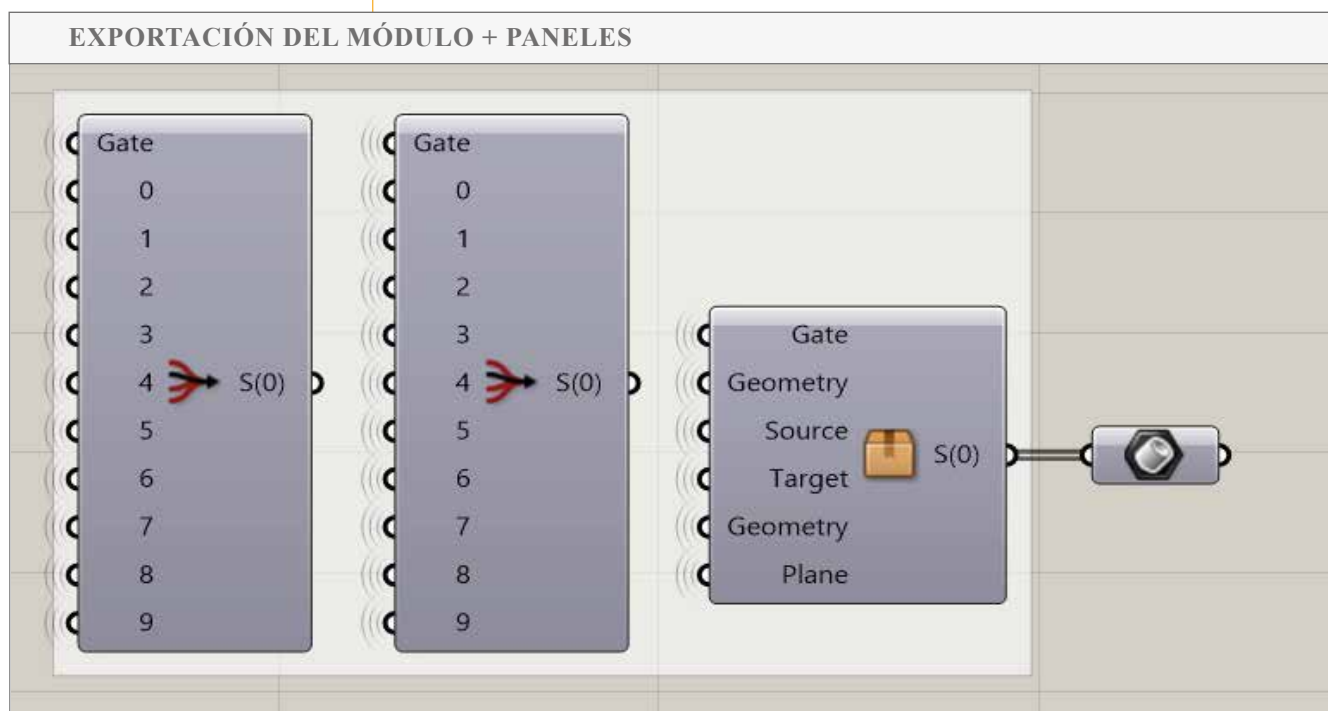
## SELECCIÓN DE PANEL DE RELLENO



## COLOCACIÓN DEL PANEL SELECCIONADO



## EXPORTACIÓN DEL MÓDULO + PANELES



## **5. EXPERIMENTOS Y TESTEOS**

Se evalúa el sistema desarrollado en un caso de estudio representativo donde los requerimientos de las familias y del terreno manifiesten una especial complejidad para ser abordado con soluciones de vivienda tipo, y donde el sistema propuesto demuestre un valor diferenciado.

## CASO DE APLICACIÓN | FAMILIA PALMA

La familia Palma, compuesta por tres núcleos familiares independientes, perdieron su vivienda en el incendio de Viña del Mar en diciembre de 2022. En este contexto, han postulado al llamado especial de reconstrucción, bajo el subsidio D.S. N°49, Programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda.

El terreno se encuentra ubicado en el sector de Forestal Alto, en la ladera Este de la quebrada Quinta Vergara, esta ubicación representa una especial complejidad por la topografía natural del terreno.

Asesorados por su respectiva Entidad Patrocinante, se les presentan dos opciones principales para construir su vivienda:

### (1) Método de Autoconstrucción Asistida.

Este mecanismo implica que deben buscar por su cuenta un arquitecto y la mano de obra respectiva. Este modelo genera inseguridad en los beneficiarios dado que, por palabras del mismo Silvio Palma “*Ese proceso es muy demoroso y uno nunca sabe si las personas que contrata vayan a hacer bien la pega*”. No hay más que razón en sus palabras, el proceso de autoconstrucción asistida no es recomendable para familias que necesiten una vivienda de calidad de forma urgente. El trámite para la aprobación del proyecto es demoroso, además, el proceso de diseño y construcción es poco eficiente, por consiguiente la entrega de la vivienda puede demorar varios años.

## (2) Vivienda Tipo Industrializada (VTI)

El segundo mecanismo de construcción es el nuevo modelo de Viviendas Tipo Industrializadas, que como se comentó extensamente en esta tesis, presenta una serie de beneficios para las familias, como calidad y rapidez. La familia Palma está segura de optar por este modelo, ya que *“Necesitamos urgente la casa, llevamos mucho tiempo viviendo de allegados en otra lugar y mi familia necesita su espacio”*. La prioridad principal que establece la familia es la rapidez de construcción.

Considerando la decisión de la familia, la entidad patrocinante desarrolla la primera propuesta, utilizando la ya mencionada Vivienda DITEC E2E.



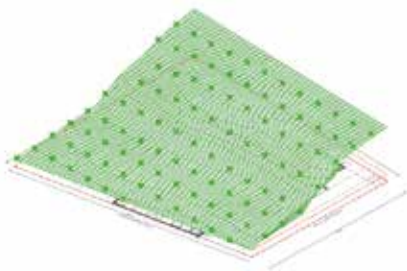
Figura x, propuesta entidad patrocinante

Sin embargo, el proyecto no fue aprobado por SERVIU, dado que no cumple la normativa mínima aplicable al terreno (distanciamientos y adosamientos).

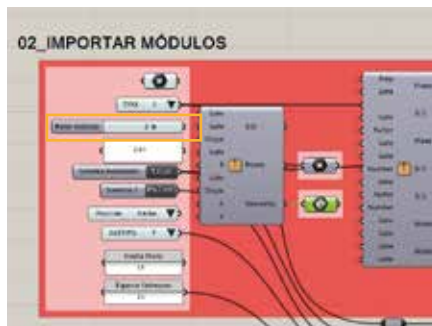
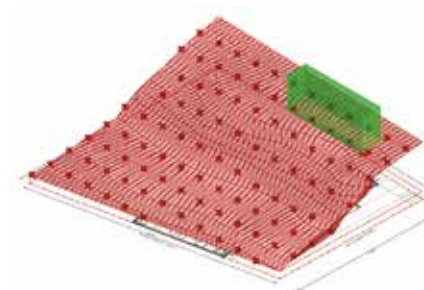
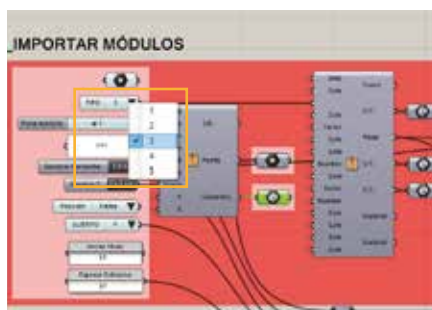
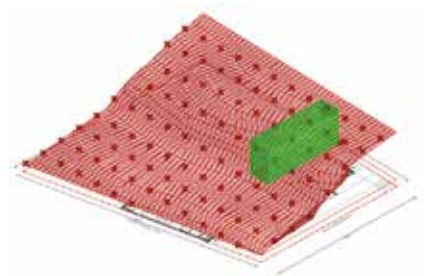
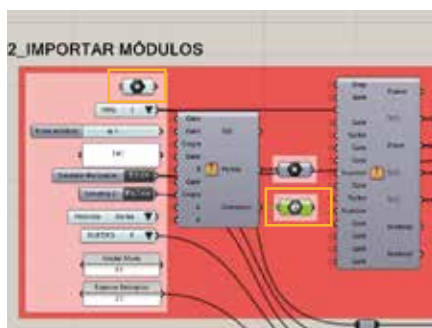
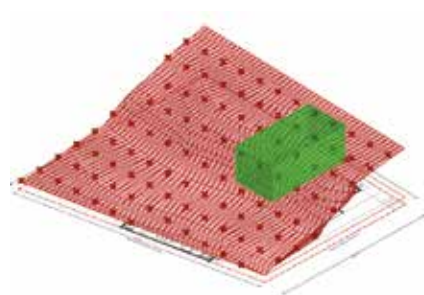
En este punto, se manifiesta parte del problema estipulado en el proyecto, la solución “Tipo” no se adapta a los requerimientos de las familias ni del terreno. Esto deja a tres familias sin opción de construir una vivienda industrializada.

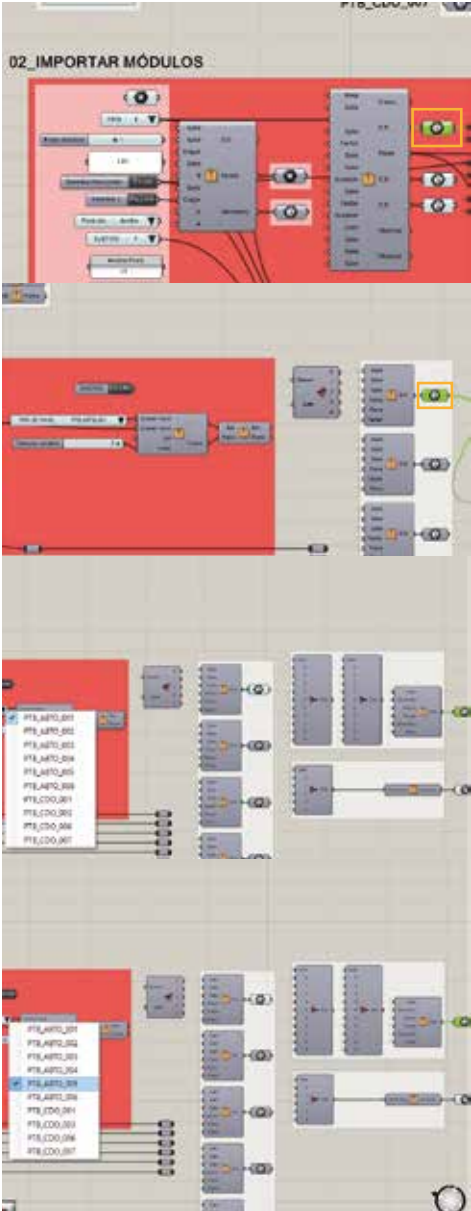
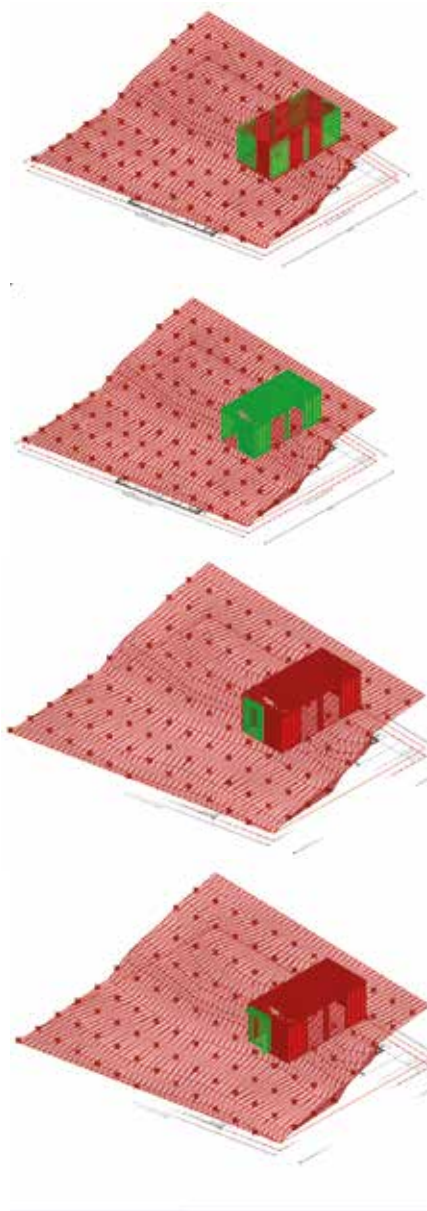
Por lo tanto, se procede a poner a prueba el sistema propuesto, con el fin de testear si es posible desarrollar un anteproyecto en este terreno.

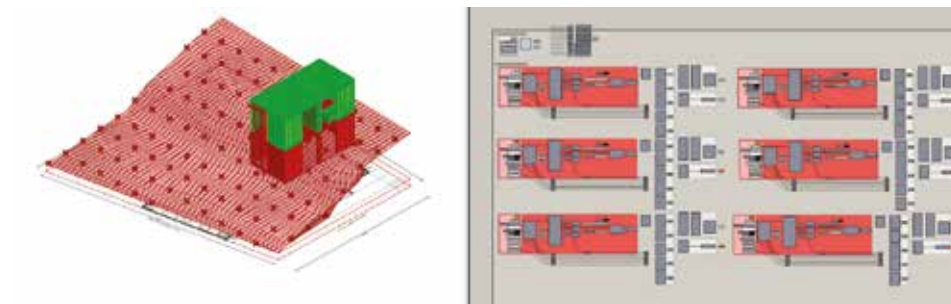
Se importan las curvas de nivel en el “Plug-in”.



Posteriormente, similar a un juego de “Tetris”, se procede a importar y organizar los módulos en el terreno, buscando cumplir con los requerimientos de la familia y la normativa.

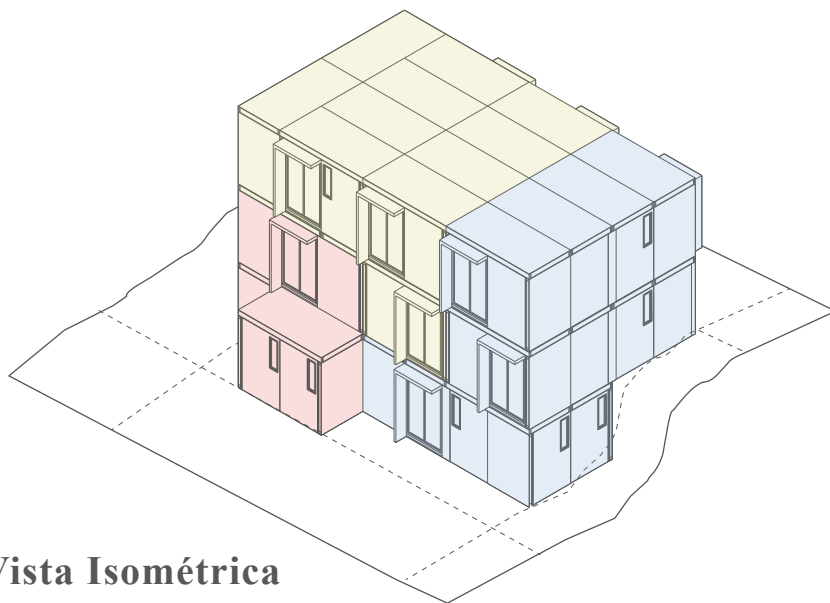




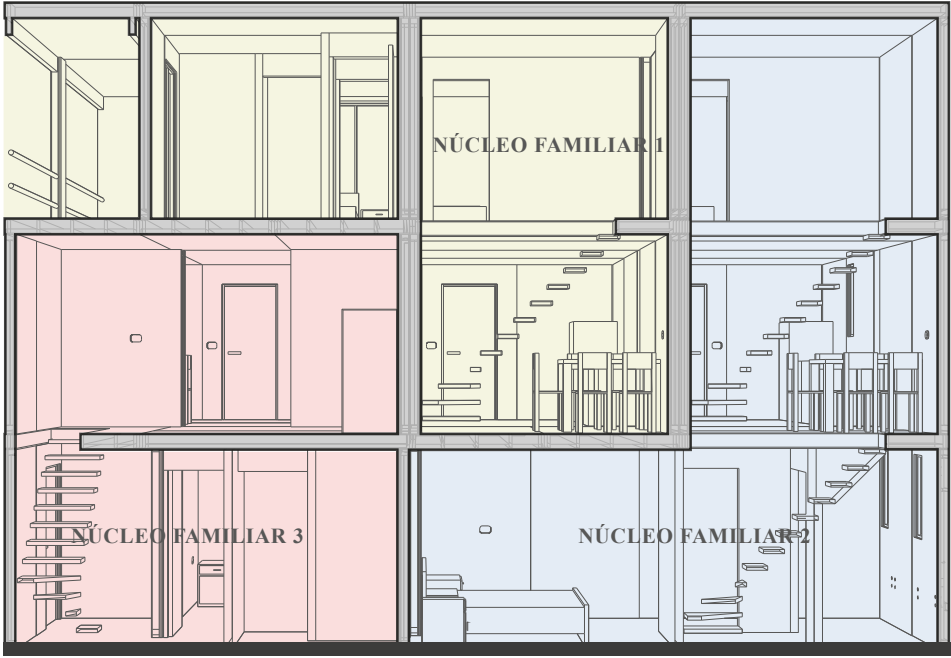


De esta forma, se continúan importando módulos hasta tener la propuesta general lista, posteriormente se procede a seleccionar e incorporar los paneles de relleno, a fin de asegurar la conectividad o no de los módulos importados.

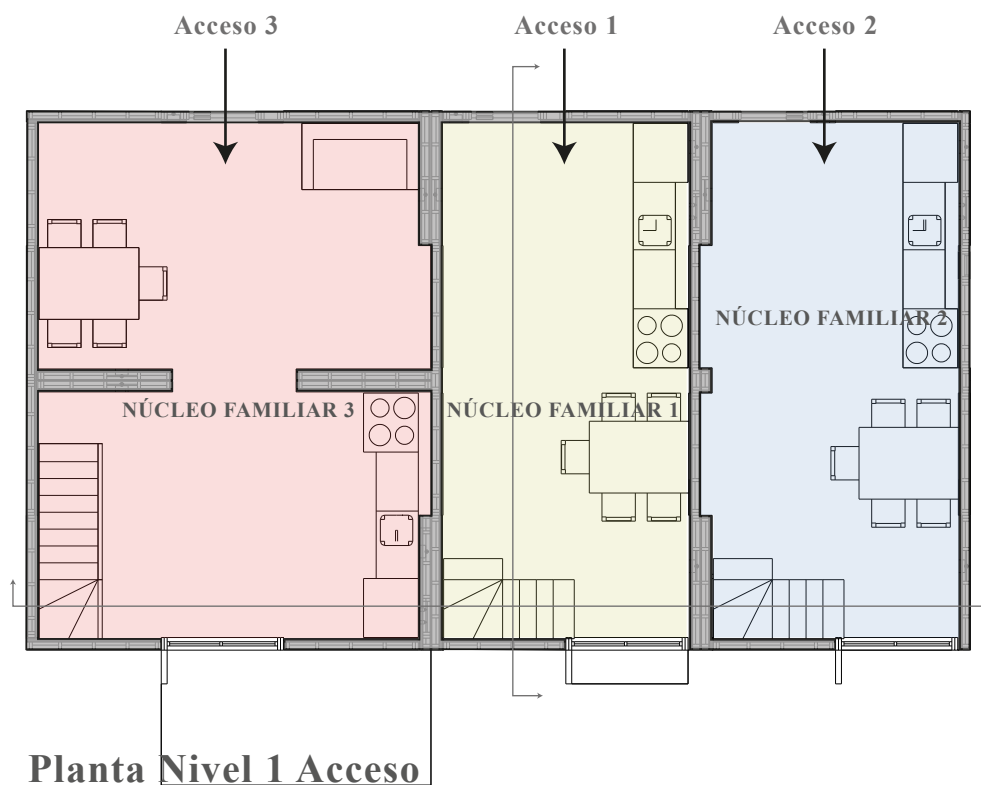
Luego de un proceso de iteración y organización de módulos, a continuación se muestra el resultado:

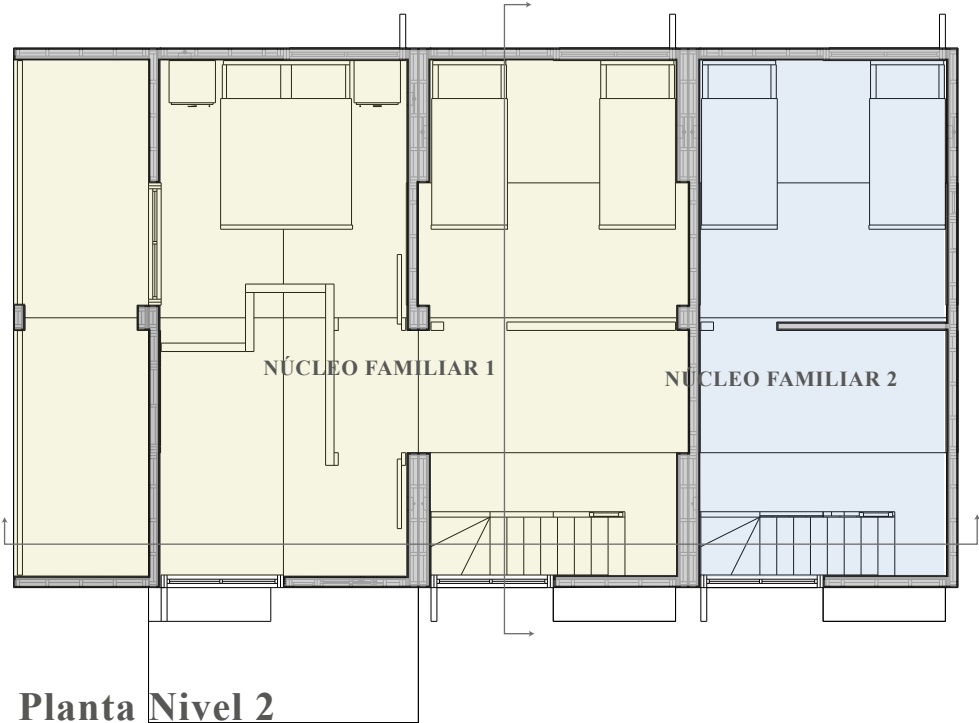


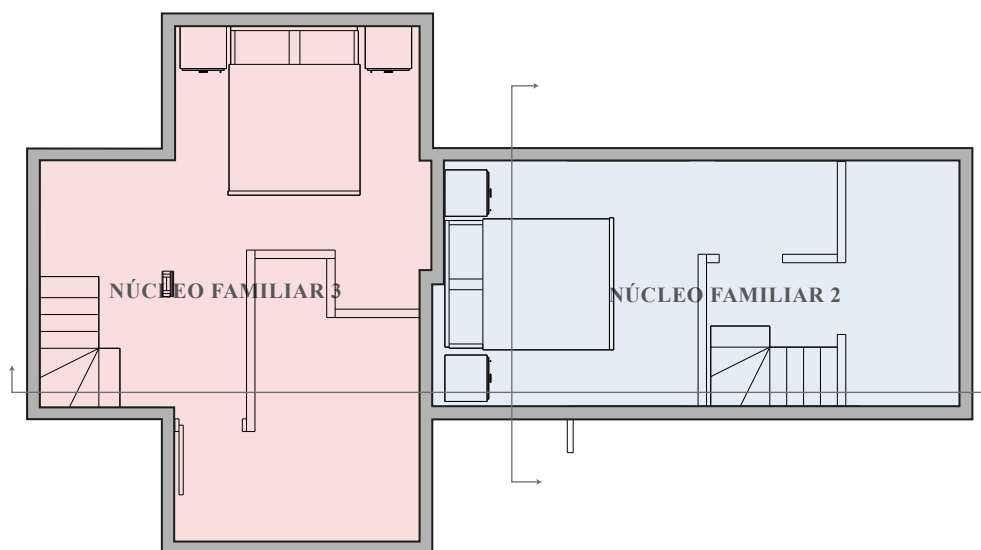
**Vista Isométrica**



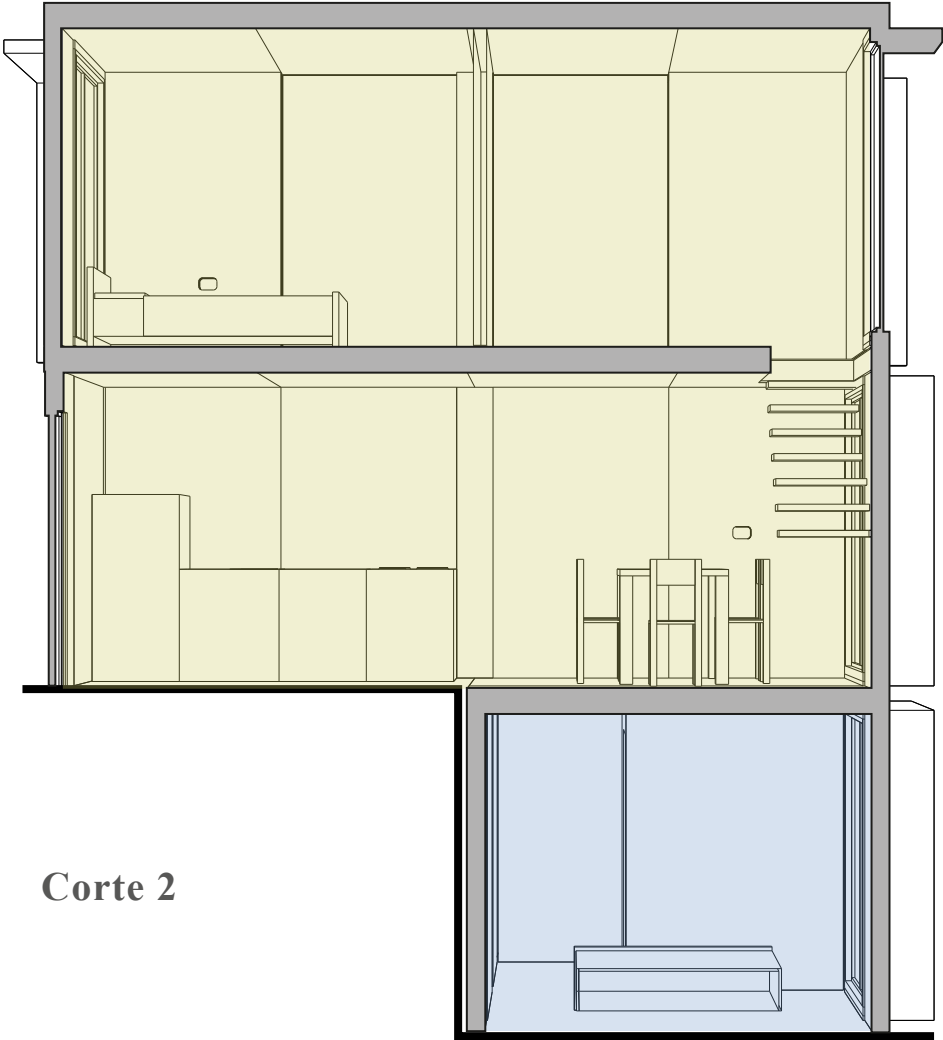
Corte 1







**Planta Nivel -1**



## 6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se analizan los resultados con respecto al proyecto de referencia realizado por la Entidad Patrocinante y rechazado por MINVU.

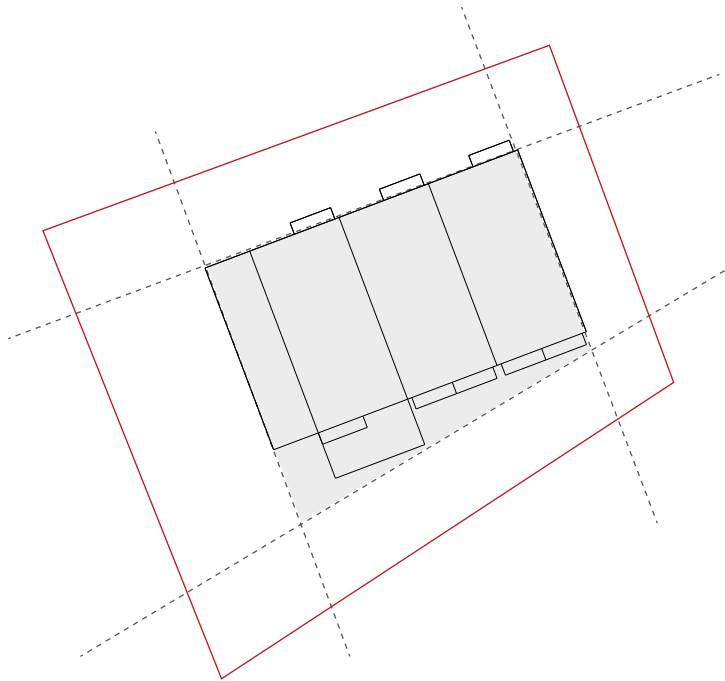
### PROYECTO DE REFERENCIA:



Fácilmente es posible notar que el proyecto no cumple con la normativa mínima aplicable al terreno.

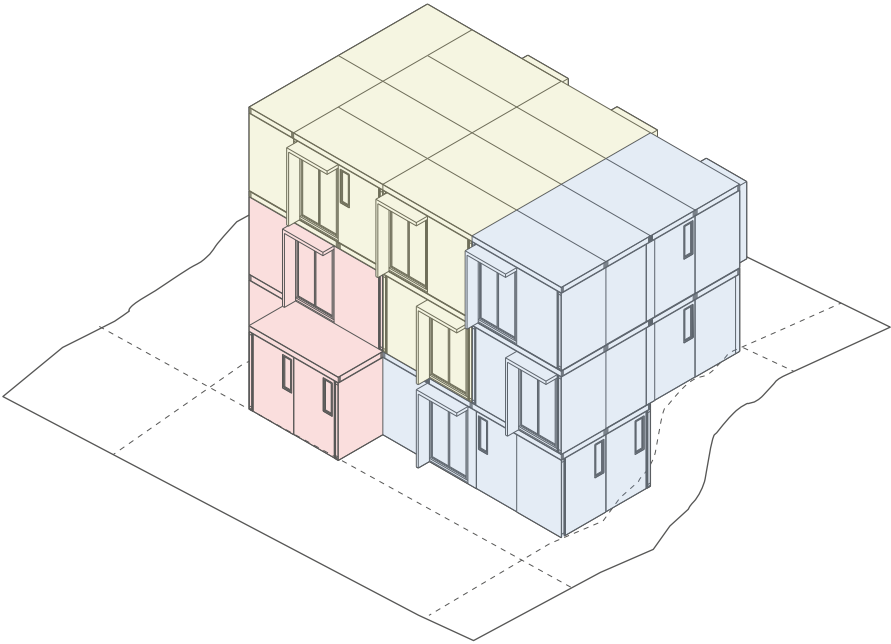
## PROPUESTA:

La propuesta cumple con la normativa aplicable al terreno, al menos en términos de los adosamientos y distanciamientos, aspectos en que el proyecto de referencia no.



La composición modular natural del sistema permite adaptarse a distintas situaciones. Como se pudo verificar en este caso, es posible desarrollar una propuesta de anteproyecto que cumple con todos los requerimientos de las familias en términos de espacios requeridos, y que a la vez se adapte a los lineamientos normativos del sitio.

Respecto a la topografía, el sistema demostró tener una importante adaptabilidad a terrenos con pendiente, gracias a los distintos grados de libertad que presentan los módulos para interconectarse.



## 7. CONCLUSIONES

El sistema ha demostrado su funcionalidad, desde el diseño del algoritmo hasta los componentes. Esto se evidencia en la creación de diversos módulos y subtipologías, todos diseñados con un enfoque en la habitabilidad y funcionalidad, siguiendo normativas y consideraciones de espacios mínimos. La modularidad del sistema demuestra una adaptabilidad y versatilidad notable, adecuándose a distintas necesidades y contextos.

La integración de tecnologías avanzadas como el software Rhinoceros 3D y el plug-in Grasshopper ha sido fundamental en el proyecto. Estas herramientas permitieron traducir el algoritmo a un lenguaje de programación visual, y con esto, conseguir una automatización efectiva del diseño y la documentación, facilitando la creación de módulos adaptables. La tecnología ha jugado un papel crucial en la optimización del proceso de diseño, permitiendo experimentar con diversas configuraciones y adaptaciones del sistema modular.

La aplicación del sistema modular en el caso de estudio de la familia Palma demuestra su eficacia y practicidad. La capacidad del sistema para adaptarse a un terreno con pendiente y satisfacer las necesidades específicas de una familia subraya su éxito y aplicabilidad en situaciones reales y diversas.

La metodología y tecnologías aplicadas presentan un modelo innovador, replicable y escalable, adecuado para diversos entornos y requisitos. Este enfoque promueve no solo la eficiencia y flexibilidad en el diseño y construcción de viviendas, sino que también abre caminos hacia una construcción más sostenible, adaptada a las necesidades cambiantes de la sociedad.

Como resultado, se confirma la viabilidad de incorporación de tecnologías de industrialización avanzada y Construcción 4.0 en el contexto habitacional de Chile, incluso para los sectores socio-económicos más bajos de la población. El proyecto ha demostrado con éxito la viabilidad y efectividad de un sistema automatizado de diseño modular para viviendas industrializadas de madera, integrando tecnología avanzada y adaptabilidad. Este enfoque ha cumplido con los objetivos planteados y proporciona un modelo valioso para futuras iniciativas en el campo de la vivienda y la construcción modular.



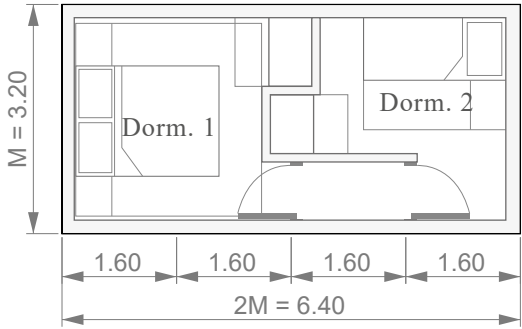
## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 UChile, D. (2023, 12 octubre). *Déficit habitacional aumentó 13%: Se necesitan 1 millón de nuevas viviendas*. Radio U de Chile. <https://radio.uchile.cl/2023/10/12/ deficit-habitacional-aume to-13-se-necesitan-1-millon-de-nuevas-viviendas/>
- 2 Orellana Pedro (2012). *Hábitat 4D adaptabilidad en la vivienda social*.
- 3 Acheamfour, V. K., Addy, M. N., Kissi, E., & Aigbavboa, C. (2023). *Overview of the 4th Industrial Revolution in the Construction Industry*. In *Emerging Debates in the Construction Industry* (pp. 115-125). Routledge.
- 4 Guallart Vicente (2023). *Seminario de Vivienda Sustentable, CENAMAD*.
- 5 Quilodrán, J. S. F., & Gómez, D. S. (2023). *Emergencia habitacional: interrelaciones entre servicio público y academia en Chile*. *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*.
- 6 CChC | Matrix Consulting (2020) “*Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales*”.
- 7 Betancur Uribe, A. *Cero emisiones. Una alternativa para el siglo XXI*.
- 8 POR QUÉ MADERA. (s. f.). <https://www.-madera21.cl/2757-2/>
- 9 Morandé, F. G., & García, C. (2004). *Financiamiento de la vivienda en Chile*.
- 10 Aedo Valenzuela, T. (2022). *Colaboratorio de memorias: construcción colaborativa de conocimientos sobre las casas COPEVA desde los relatos de sus habitantes*.
- 11 Benítez Eggers, F. (2012). *Cambios estéticos en la casa prefabricada en Chile*.
- 12 Salas Serrano, J. (2010). *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*. *Informes de la Construcción*, 60(512), 19-34.
- 13 Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2022-2025). *Plan de Emergencia Habitacional*, p. 50.
- 14 Gelabert Abreu, D., & González Couret, D. (2013). *Vivienda progresiva y flexible. Aprendiendo del repertorio*. *Arquitectura y Urbanismo*, 34(2), 48-63.
- 15 Rodríguez Duarte, A. (2018). *Vivienda colectiva adaptable: flexibilidad Espacial para la Diversidad Social* (Doctoral dissertation).
- 16 Salazar, G. S. (2021). *Cápsula Fragmentada Como Domesticante del Espacio: Hacia Una Colectividad Heterogénea* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)).
- 17 Duhau, E., & Giglia, A. (2016). *Metrópoli, espacio público y consumo*. Fondo de Cultura Económica.
- 18 Wolf, L. (1970, August). *Les conceptions architecturales de Le Corbusier à Pessac*. In *Annales. Histoire, Sciences Sociales* (Vol. 25, No. 4, pp. 1207-1208). Cambridge University Press.
- 19 Greene, M., & González, E. (2004). *El programa de vivienda progresiva en Chile 1990-2002*. BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-programa-de-vivienda-progresiva-en-Chile-1990-2002.pdf>.

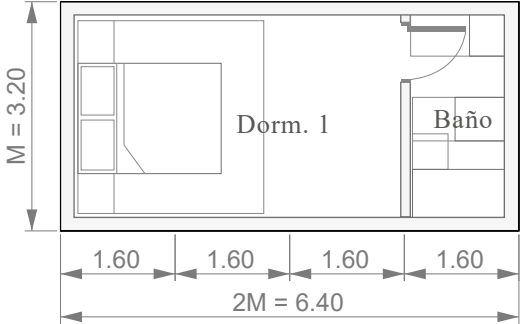
- 20 Turner, J. F. (1976). *Housing by people: Towards autonomy in building environments*.
- 21 Gilbert, A. (1998). *The latin american city*. London: Latin America Bureau.
- 22 Aravena, A., & Iacobelli, A. (2016). Elemental: manual de vivienda incremental y diseño participativo= Elemental: incremental housing and participatory design manual. (No Title).
- 23 Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Informes de la Construcción, 62(517), 37-51.
- 24 Chaves Palacios, J. (2004). *Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial*.
- 25 Roger Zarco, V. J. (2023). *Construcción tradicional y construcción industrializada. Análisis y reflexión sobre su puesta en obra* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- 26 Garcelán Docio, J. (2017). *Impacto del BIM en la gestión de un proyecto y obra de arquitectura: de AutoCAD a REVIT* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- 27 Shang, G., Pheng, L. S., & Gina, O. L. T. (2021). Understanding the low adoption of prefabrication prefinished volumetric construction (PPVC) among SMEs in Singapore: From a change management perspective. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 39(5), 685-701.
- 28 Gracia Lanzarote, C. (2021). De la prefabricación a la industrialización.
- 29 Hughes, R., Osterlund, T., & Larsen, N. M. (2021). Integrated design-for-manufacturing and AR-aided-assembly workflows for lightweight reciprocal frame timber structures. *Construction Robotics*, 5(2), 147-157.
- 30 CEPAL, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- 31 Consejo de Construcción Industrializada (CCI), *NCh3744: Ya podemos hablar de Construcción Industrializada en Chile (no confundir con prefabricada)*
- 32 Rad, A. R., Burton, H., Rogeau, N., Vestartas, P., & Weinand, Y. (2021). A framework to automate the design of digitally-fabricated timber plate structures. *Computers & Structures*, 244, 106456.

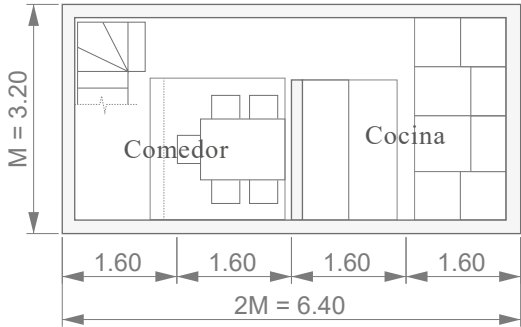


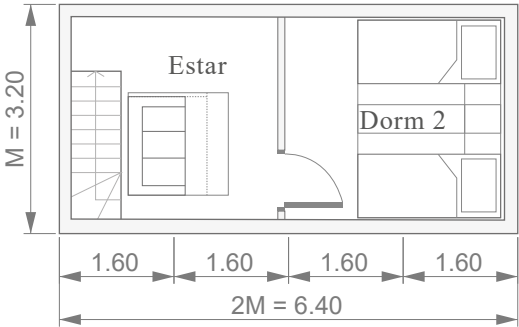
Sub-tipo M1B



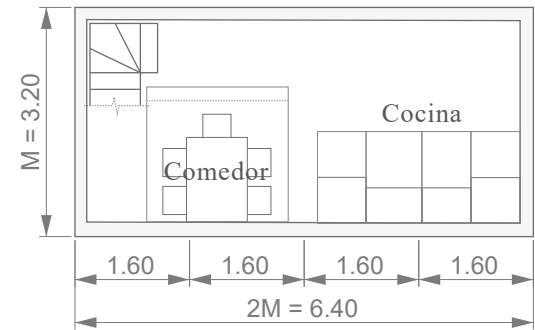
| Espacios           | Mobiliario                 | Requerimiento paneles fijos |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Dorm. 1<br>Dorm. 2 | Puertas<br>Camas<br>Closet | 6 puntos eléctricos         |

| Sub-tipo M1C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                          |                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>The diagram shows a rectangular floor plan with a total width of 6.40 and a total height of 3.20. The width is divided into four equal segments of 1.60 each. The height is labeled as M = 3.20. The layout includes a bedroom (Dorm. 1) on the left, a bathroom (Baño) on the right, and a closet area between them. The bedroom contains a bed and a closet. The bathroom contains a toilet (WC), a sink (Lavamanos), and a shower (Ducha). The closet area is located between the bedroom and the bathroom.</p> |                          |                                                                                        |
| Espacios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
| Dorm. 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Cama<br>Closet           | 3 puntos eléctricos                                                                    |
| Baño                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

| Sub-tipo M1D                                                                                  |                                                                |                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <div></div> |                                                                |                                                                                        |
| Espacios                                                                                      | Mobiliario                                                     | Requerimiento paneles fijos                                                            |
| Comedor                                                                                       | Puertas                                                        | 1 punto eléctrico                                                                      |
| Cocina                                                                                        | Lavaplatos<br>Refrigerador<br>Art. cocina<br>Mesón<br>Despensa | 2 puntos eléctricos<br>2 puntos sanitarios:<br>1 frío y 1 caliente<br>Revestimiento RH |
| Escalera                                                                                      | Escalera                                                       |                                                                                        |

| Sub-tipo M1E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                            |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|  <p>The diagram shows a rectangular floor plan with a total width of 6.40 (2M) and a total height of 3.20 (M). The plan is divided into four equal-width sections of 1.60 each. From left to right: 1. A staircase. 2. A living area labeled 'Estar' containing a sofa. 3. A curved partition wall. 4. A bedroom labeled 'Dorm 2' containing a bed and a closet. The overall dimensions are indicated by arrows and labels: M = 3.20, 1.60, 1.60, 1.60, 1.60, and 2M = 6.40.</p> |                            |                             |
| Espacios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Mobiliario                 | Requerimiento paneles fijos |
| Dorm 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Puertas<br>Camas<br>Closet | 2 puntos eléctricos         |
| Estar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Sillón                     | 1 punto eléctrico           |

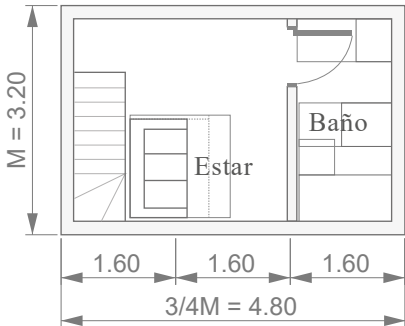
Sub-tipo M1F



| Espacios | Mobiliario                                                     | Requerimiento paneles fijos                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Cocina   | Lavaplatos<br>Refrigerador<br>Art. cocina<br>Mesón<br>Despensa | 2 punto eléctrico<br>2 puntos sanitarios:<br>1 frío y 1 caliente<br>Revestimiento RH |
| Comedor  | Mesa comedor                                                   | 1 punto eléctrico                                                                    |
| Escalera | Escalera                                                       |                                                                                      |

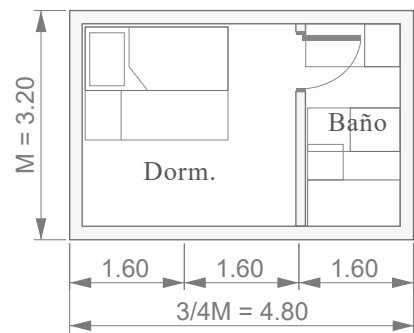
Módulo Tipo 2:

Sub-tipo M2A



| Espacios | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
|----------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Estar    | Sillón                   | 1 punto eléctrico                                                                      |
| Baño     | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

Sub-tipo M2B



| Espacios | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
|----------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Dorm.    | Cama<br>Closet           | 2 puntos eléctricos                                                                    |
| Baño     | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

| Sub-tipo M2C |                                                                |                                                                                        |
|--------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <div></div>  |                                                                |                                                                                        |
| Espacios     | Mobiliario                                                     | Requerimiento paneles fijos                                                            |
| Logia        | Lavadero<br>Lavadora                                           | 2 puntos sanitarios:<br>1 frío y 1 caliente<br>2 puntos eléctricos                     |
| Cocina       | Lavaplatos<br>Refrigerador<br>Art. cocina<br>Mesón<br>Despensa | 2 puntos eléctricos<br>2 puntos sanitarios:<br>1 frío y 1 caliente<br>Revestimiento RH |

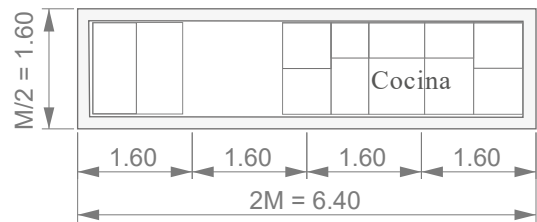
Sub-tipo M2D



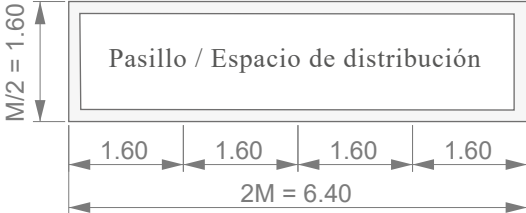
| Espacios | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
|----------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Estar    | Sillón                   | 1 punto eléctrico                                                                      |
| Baño     | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

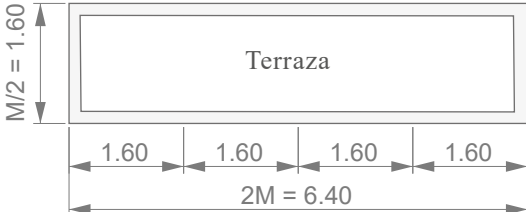
Módulo Tipo 3:

Sub-tipo M3A

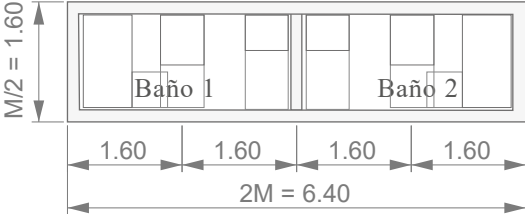


| Espacios | Mobiliario                                                     | Requerimiento paneles fijos                                                            |
|----------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Cocina   | Lavaplatos<br>Refrigerador<br>Art. cocina<br>Mesón<br>Despensa | 2 puntos eléctricos<br>2 puntos sanitarios:<br>1 frío y 1 caliente<br>Revestimiento RH |

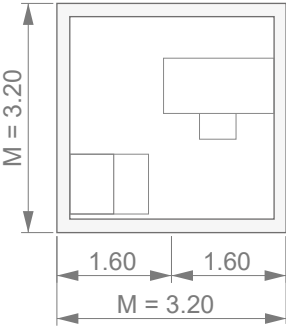
| Sub-tipo M3B                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  <p>The diagram illustrates the layout for Sub-tipo M3B. It features a central rectangular area labeled "Pasillo / Espacio de distribución". To the left of this area, a vertical dimension line indicates a height of <math>M/2 = 1.60</math>. Below the central area, a horizontal dimension line shows a total width of <math>2M = 6.40</math>, which is divided into four equal segments of <math>1.60</math> each.</p> |            |                             |
| Espacios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| No aplica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | No aplica  | No aplica                   |

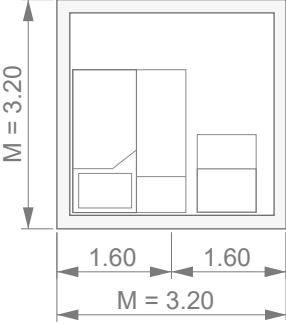
| Sub-tipo M3C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  <p>The diagram illustrates the layout for Sub-tipo M3C. It features a central rectangular area labeled "Terraza". To the left of this area, a vertical dimension line indicates a height of <math>M/2 = 1.60</math>. Below the central area, a horizontal dimension line shows a total width of <math>2M = 6.40</math>, which is divided into four equal segments of <math>1.60</math> each.</p> |            |                             |
| Espacios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| No aplica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | No aplica  | No aplica                   |

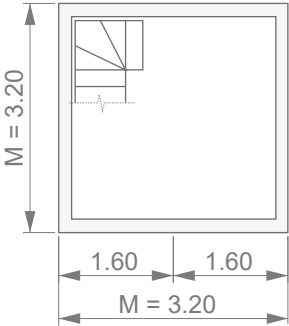
La diferencia entre los módulos M3B y M3C radica en la posterior organización de los paneles que los componen.

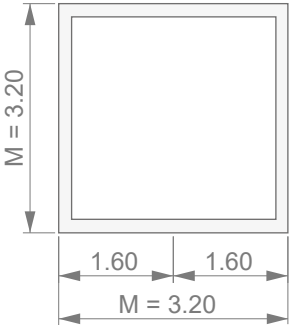
| Sub-tipo M3D                                                                      |                          |                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                          |                                                                                        |
| Espacios                                                                          | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
| Baño 1                                                                            | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |
| Baño 2                                                                            | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

Módulo Tipo 4:

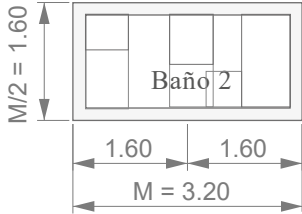
| Sub-tipo M4A                                                                      |            |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                          | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| No aplica                                                                         | No aplica  | 2 puntos eléctricos         |

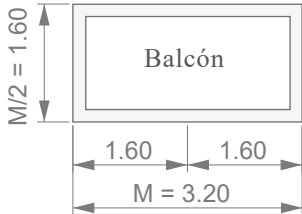
| Sub-tipo M4B                                                                       |                |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
|  |                |                             |
| Espacios                                                                           | Mobiliario     | Requerimiento paneles fijos |
| Dorm 2                                                                             | Cama<br>Closet | 1 punto eléctricos          |

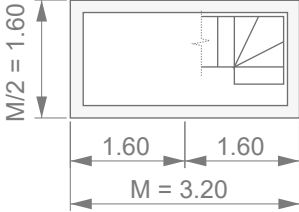
| Sub-tipo M4C                                                                      |            |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                          | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| Escalera                                                                          | Escalera   | No aplica                   |

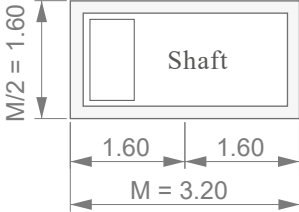
| Sub-tipo M4D                                                                       |            |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                           | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| Libre                                                                              | Libre      | Libre                       |

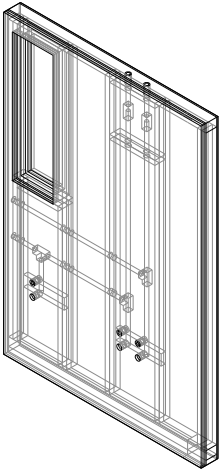
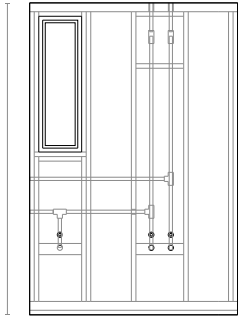
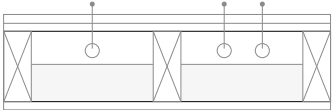
Módulo Tipo 5:

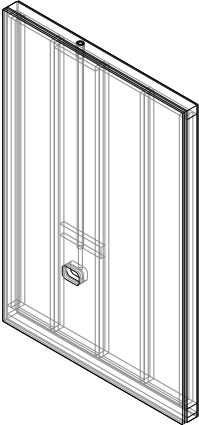
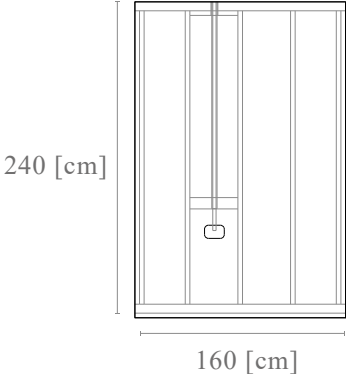
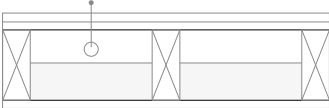
| Sub-tipo M5A                                                                      |                          |                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                          |                                                                                        |
| Espacios                                                                          | Mobiliario               | Requerimiento paneles fijos                                                            |
| Baño 1                                                                            | WC<br>Lavamanos<br>Ducha | 1 punto eléctrico<br>5 puntos sanitarios:<br>2 calientes y 3 fríos<br>Revestimiento RH |

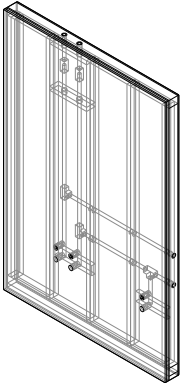
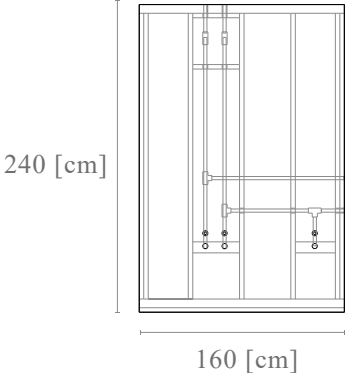
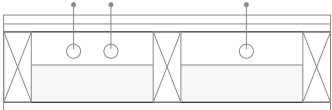
| Sub-tipo M5B                                                                        |            |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                            | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| No aplica                                                                           | No aplica  | No aplica                   |

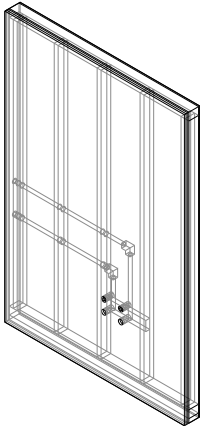
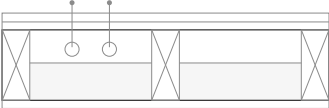
| Sub-tipo M5C                                                                      |            |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                          | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| Escalera                                                                          | Escalera   | No aplica                   |

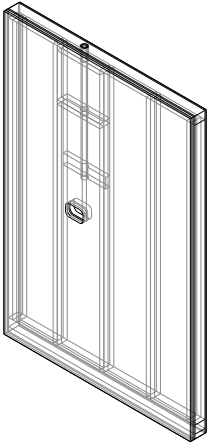
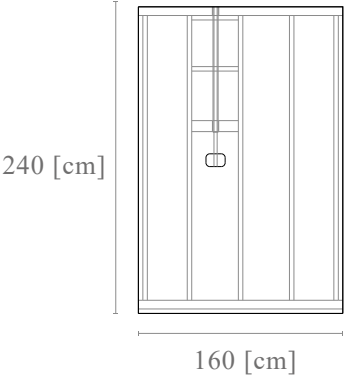
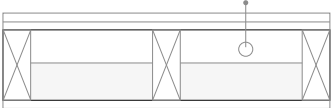
| Sub-tipo M5D                                                                        |            |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|
|  |            |                             |
| Espacios                                                                            | Mobiliario | Requerimiento paneles fijos |
| No aplica                                                                           | No aplica  | No aplica                   |

| PTA_CDO_006                                                                                                                              |                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                                                                               | Materiales                                                                            |
|                                                         | OSB 11,1 MM                                                                           |
|                                                                                                                                          | Y.C RH 15 MM                                                                          |
|                                                                                                                                          | PPDD 35 x 86 MM                                                                       |
|                                                                                                                                          | EE.SS 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                                                                          | BILAM 68 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                                                                          | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                    |
|                                                                                                                                          | AISLANTE 50 MM                                                                        |
|                                                                                                                                          | TUBERÍA PPR 20 MM                                                                     |
|                                                                                                                                          | TEE PPR FUSION 20 MM                                                                  |
|                                                                                                                                          | CODO PPR FUSION 20 MM                                                                 |
|                                                                                                                                          | LLAVE DE PASO 20 MM                                                                   |
|                                                                                                                                          | CODO TERMINAL 20 MM                                                                   |
|                                                                                                                                          | VENTANA                                                                               |
| Elevación                                                                                                                                | Detalles                                                                              |
| <div> <div>240 [cm]</div>  <div>160 [cm]</div> </div> | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                     |
|                                                                                                                                          | 0                                                                                     |
|                                                                                                                                          | PUNTOS SANITARIOS                                                                     |
|                                                                                                                                          | 3                                                                                     |
|                                                                                                                                          | Capas                                                                                 |
|                                                                                                                                          |  |

| PTA_CDO_002                                                                         |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                          | Materiales                                                                           |
|    | OSB 11,1 MM                                                                          |
|                                                                                     | Y.C ST 15 MM                                                                         |
|                                                                                     | PPDD 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | EE.SS 35 x 86 MM                                                                     |
|                                                                                     | BILAM 68 x 86 MM                                                                     |
|                                                                                     | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                   |
|                                                                                     | AISLANTE 50 MM                                                                       |
|                                                                                     | CAJA ELÉCTRICA                                                                       |
|                                                                                     | FLEXIBLE CONDUIT 25 MM                                                               |
|                                                                                     | ENCAMISADO PVC 40 MM                                                                 |
| Elevación                                                                           | Detalles                                                                             |
|  | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                    |
|                                                                                     | 1                                                                                    |
|                                                                                     | PUNTOS SANITARIOS                                                                    |
|                                                                                     | 0                                                                                    |
|                                                                                     | Capas                                                                                |
|                                                                                     |  |

| PTA_CDO_003                                                                         |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                          | Materiales                                                                            |
|    | OSB 11,1 MM                                                                           |
|                                                                                     | Y.C RH 15 MM                                                                          |
|                                                                                     | PPDD 35 x 86 MM                                                                       |
|                                                                                     | EE.SS 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | BILAM 68 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                    |
|                                                                                     | AISLANTE 50 MM                                                                        |
|                                                                                     | TUBERÍA PPR 20 MM                                                                     |
|                                                                                     | TEE PPR FUSION 20 MM                                                                  |
|                                                                                     | CODO PPR FUSION 20 MM                                                                 |
|                                                                                     | LLAVE DE PASO 20 MM                                                                   |
|                                                                                     | CODO TERMINAL 20 MM                                                                   |
| Elevación                                                                           | Detalles                                                                              |
|  | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                     |
|                                                                                     | 0                                                                                     |
|                                                                                     | PUNTOS SANITARIOS                                                                     |
|                                                                                     | 3                                                                                     |
|                                                                                     | Capas                                                                                 |
|                                                                                     |  |

| PTA_CDO_004                                                                       |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                        | Materiales                                                                           |
|  | OSB 11,1 MM                                                                          |
|                                                                                   | Y.C RH 15 MM                                                                         |
|                                                                                   | PPDD 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                   | EE.SS 35 x 86 MM                                                                     |
|                                                                                   | BILAM 68 x 86 MM                                                                     |
|                                                                                   | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                   |
|                                                                                   | AISLANTE 50 MM                                                                       |
|                                                                                   | TUBERÍA PPR 20 MM                                                                    |
|                                                                                   | TEE PPR FUSION 20 MM                                                                 |
|                                                                                   | CODO PPR FUSION 20 MM                                                                |
|                                                                                   | LLAVE DE PASO 20 MM                                                                  |
|                                                                                   | CODO TERMINAL 20 MM                                                                  |
|                                                                                   |                                                                                      |
| Elevación                                                                         | Detalles                                                                             |
| <br>240 [cm]<br><br>160 [cm]                                                      | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                    |
|                                                                                   | 0                                                                                    |
|                                                                                   | PUNTOS SANITARIOS                                                                    |
|                                                                                   | 2                                                                                    |
|                                                                                   | Capas                                                                                |
|                                                                                   |  |

| PTA_CDO_005                                                                         |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Isométrica                                                                          | Materiales                                                                            |
|    | OSB 11,1 MM                                                                           |
|                                                                                     | Y.C ST 15 MM                                                                          |
|                                                                                     | PPDD 35 x 86 MM                                                                       |
|                                                                                     | EE.SS 35 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | BILAM 68 x 86 MM                                                                      |
|                                                                                     | SOLERAS 35 x 86 MM                                                                    |
|                                                                                     | AISLANTE 50 MM                                                                        |
|                                                                                     | CAJA ELÉCTRICA                                                                        |
|                                                                                     | FLEXIBLE CONDUIT 25 MM                                                                |
|                                                                                     | ENCAMISADO PVC 40 MM                                                                  |
| Elevación                                                                           | Detalles                                                                              |
|  | PUNTOS ELÉCTRICOS                                                                     |
|                                                                                     | 1                                                                                     |
|                                                                                     | PUNTOS SANITARIOS                                                                     |
|                                                                                     | 0                                                                                     |
|                                                                                     | Capas                                                                                 |
|                                                                                     |  |

