



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía



## **DESAFÍOS EN EL MONTAJE DE VIVIENDAS PANELIZADAS Y ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA BRECHA ENTRE SU PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN.**

POR

Carolina María Fernanda Machuca Villagrán

Trabajo Integrativo presentado a la Facultad de Ingeniería & Facultad de Arquitectura, Urbanismo  
y Geografía de la Universidad de Concepción para optar al grado académico de  
**Magíster en Construcción Industrializada en Madera**

Profesora Guía: Valentina Torres Poblete

Marzo de 2025  
Concepción, Chile



## **Proyecto de Construcción Industrializada en Madera**

---

© 2025 Carolina María Fernanda Machuca Villagrán

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### RESUMEN

La investigación se centra en la aplicación de métodos modernos de construcción en madera para la industrialización de viviendas sociales en la Región del Biobío, Chile, analizando principalmente la etapa de montaje del caso “Vivienda Prototipo” del *Proyecto Diseño para la Manufactura y el Montaje: Propuestas de Viviendas Sociales para la Región del Biobío*, en donde se evidenció una diferencia de 2 días entre el tiempo de montaje planificado y el efectivamente ejecutado.

El problema de investigación reside en la brecha entre la planificación y la ejecución del montaje de una vivienda panelizada en entramado liviano, realizado por un equipo sin experiencia previa. La pregunta de investigación es: ¿Qué aspectos clave influyen en el tiempo de ejecución del montaje de una vivienda panelizada, y cuales deben considerarse o ajustarse para mejorar el proceso? Se plantea como hipótesis que el nivel de experiencia del equipo de montajistas, al requerir superar una curva de aprendizaje, es determinante para optimizar el proceso de montaje.

El objetivo general fue evaluar el proceso de montaje de la vivienda, enfocándose en los aspectos mejorables que reduzcan la brecha entre planificación y ejecución. Por ello, los objetivos específicos buscaron (1) analizar el progreso diario en la instalación de paneles y las diferencias por tipología de panel, clasificando dificultades según su origen, y (2) evaluar la respuesta del equipo ante factores recurrentes, definiendo estrategias de mejora.

La metodología de tipo explicativa proyectual con enfoque mixto, combinó métodos cuantitativos -mediante el análisis de videos time-lapse, bitácoras y observación directa para medir tiempos y observar procedimientos- con métodos cualitativos, a través de entrevistas individuales semiestructuradas montajistas y asesores de montaje. La información se codificó y organizó en matrices para identificar patrones y visualizar alternativas de mejora.

Se obtuvieron datos detallados sobre las actividades realizadas, los tiempos y procedimientos de instalación, las dificultades recurrentes, el progreso del montaje y las diferencias por tipología de panel, así como la percepción del equipo de montajistas, las estrategias implementadas y los requerimientos necesarios para el desarrollo más eficiente del proceso en futuras aplicaciones.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### ABSTRACT

The research focuses on the application of modern timber-construction methods to the industrialization of social housing in Chile's Biobío Region, with particular emphasis on the assembly phase of the "Prototype Housing" case study from the Design for Manufacture and Assembly Project: Social Housing Proposals for the Biobío Region. In this case, a two-day discrepancy was observed between the planned and the actual assembly durations.

The core research problem lies in the gap between the planning and execution of a light-frame, panelized dwelling assembly carried out by a team with no prior experience. The research question is: Which key factors influence the execution time of a panelized housing assembly, and which of these factors should be considered or adjusted to improve the process? The working hypothesis is that the assemblers' level of experience—and the associated need to overcome a learning curve—is a decisive determinant in optimizing the assembly process.

The general objective was to evaluate the housing assembly process, focusing on aspects that can be improved to reduce the planning-execution gap. Accordingly, the specific objectives were to (1) analyze daily progress in panel installation and differences by panel typology, classifying encountered difficulties according to their origin and (2) assess the team's response to recurrent factors and define targeted improvement strategies.

A projective-explanatory methodology with a mixed-methods approach was employed. Quantitative data were gathered via time-lapse video analysis, logbooks, and direct observation to measure durations and document procedures. Qualitative insights were obtained through semi-structured, individual interviews with assemblers and assembly advisors. All information was coded and organized into matrices to identify patterns and to visualize potential improvement alternatives.

As a result, detailed data were obtained on the activities performed, installation durations and procedures, recurrent difficulties, assembly progress (including differences by panel typology), the assemblers' perceptions, the strategies implemented, and the requirements necessary for a more efficient process in future applications.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 1. INTRODUCCIÓN

Una de las grandes problemáticas sociales presentes en Chile es el déficit habitacional, tanto en cantidad como en calidad. Según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), existe un requerimiento de cerca de 650.000 viviendas nuevas solo considerando aspectos cuantitativos, lo que se agrava con la acumulación de postulaciones a vivienda por subsidios no asignados. (MINVU, 2022). Si además se consideran los aspectos relacionados con la calidad de la vivienda, la situación es aún más preocupante, sobre todo con la próxima entrada en vigencia de la nueva reglamentación térmica del año 2025, que exigirá mayores estándares de eficiencia energética, confort térmico, salubridad, etc. (MINVU 2022).

A esto se le suma la crisis ambiental global, donde al menos un 35% de las emisiones de CO<sub>2</sub> proviene de la industria de la construcción, principalmente desarrollada en acero y hormigón (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020), materiales que son algunos de los más empleados en la construcción de vivienda en Chile (Diseña Madera, 2023). Frente a esto, Chile ha asumido compromisos internacionales para alcanzar carbono neutralidad al 2050, en el marco de la Ley Marco de Cambio Climático, promulgada en 2022, meta que influye también en la construcción de viviendas sociales. (Gobierno de Chile, 2022).

Este escenario nos obliga a explorar caminos que permitan responder rápida y eficientemente, tanto a la demanda habitacional como a la crisis climática, implementando sistemas constructivos de rápida ejecución, de alto estándar y de bajo impacto ambiental. En este contexto surgen estrategias como el Plan de Emergencia Habitacional, que busca transformar el modelo constructivo tradicional hacia un sistema industrializado de viviendas tipo, produciendo partes en fábrica, optimizando el tiempo de ejecución y la mejorando calidad de la vivienda. (Plan de Emergencia Habitacional 2022-2025, 2022). De esta manera, se ha logrado posicionar la construcción industrializada como una alternativa para el desarrollo habitacional gracias a su capacidad para acelerar la producción de viviendas asequibles y de alta calidad (Centro UC de innovación en Madera [CIM UC], 2023).

La construcción industrializada (CI) es entendida como el resultado de un proceso de industrialización aplicado a la construcción, vinculando el diseño, uso de la tecnología y proceso productivo; su objetivo es alcanzar ventajas de optimización y eficiencia en el desarrollo de proyectos. (Asociación Española de

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

Construcción Industrializada, 2023) En esa línea, y de acuerdo a la definición que promueve el MINVU, este concepto se enfoca en una producción en serie de viviendas tipo, desarrollado bajo una secuencia sistemática que aborda el diseño, la fabricación estandarizada, el traslado y, finalmente, el montaje, para reducir trabajo en sitio gracias a la previa coordinación del diseño.

De ello, se desprenden dos instancias claves para la ejecución de un proyecto. La primera corresponde a la “**Construcción Off Site**”, o fuera de sitio, y a continuación de ello, la “**Construcción On Site**”, o en sitio. (CIM UC, 2024). Además, según el CIM UC (2023), los proyectos de construcción de una vivienda industrializada se desarrollan en 5 etapas:

1. **Diseño**
2. **Prefabricación o Producción**, también entendida como **Manufactura**
3. **Transporte**
4. **Montaje**
5. **Construcción en sitio / Terminaciones**

Cabe destacar que se visualiza una clara distinción entre los conceptos de industrialización y prefabricación. El primero corresponde a un proceso más amplio y sistemático que aborda todas las etapas de ejecución de un proyecto, mientras que, el segundo se entiende como un paso dentro de la industrialización, enfocado en la fabricación de elementos off site. (Asociación Española de Construcción Industrializada [OCH], 2023) que posteriormente se incorpora “on site” a partir de una serie de operaciones que en Chile son denominadas “puesta en obra” (Instituto Forestal [INFOR], 2021).

Si se quiere abordar la construcción industrializada desde perspectivas medioambientales, el uso de la madera como material principal es particularmente favorable, ya que existe una mayor captura de carbono en la medida que aumenta su uso (Banco Mundial, 2020).

Los niveles de industrialización en construcción en madera pueden clasificarse de acuerdo a su especialización y proceso de manufactura. Según Polomadera (2019) los niveles de componentes son:

- ✓ **Materia prima**, madera con procesamiento secundario para construcción, papelería, energía, etc.
- ✓ **Partes**, elementos constructivos que conforman sistemas mayores como postes, vigas, etc.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

- ✓ **Componentes de bajo nivel, tipo paneles**, cuya configuración corresponde a sus partes estructurales, como muros de CLT o entramado liviano, etc.
- ✓ **Componentes de alto nivel, tipo paneles**, cuya configuración incluye estructura y la mayoría de los elementos que conforman la solución final, como aislación, membranas, instalaciones, etc.
- ✓ **Módulos volumétricos**, entendidos como elementos modulares que se encajan o ensamblan entre si conformando los recintos de una edificación.

Esta clasificación se vincula con los Métodos Modernos de Construcción (MMC) aplicados a la madera, es decir, formas innovadoras de entender los métodos tradicionales de construcción, enfocados en lograr un mayor control técnico de tiempos y calidad de la construcción (OCH, 2023). Los MMC se dividen en 7 categorías que van de mayor a menor prefabricación fuera de sitio, y aporte a la resistencia estructural (Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, 2024):

- ✓ **Componentes Estructurales:**
  - MMC 1 Módulos Estructurales 3D
  - MMC 2 Componentes Estructurales 2D
  - MMC 3 Componentes Estructurales 1D
- ✓ **Componentes aditivos:**
  - MMC 4 Componentes Aditivos
- ✓ **Prefabricados No Estructurales:**
  - MMC 5 Prefabricados No Estructurales
  - MMC 6 Partes y Piezas Sustitutivas
- ✓ **Tecnologías Sustitutivas:**
  - MMC 7 Tecnologías Sustitutivas

La coordinación resulta un factor clave en la implementación de los MMC, lo que ha llevado a la adopción de metodologías de trabajo como BIM, DfMA y Lean Construction, que se complementan para promover procesos más eficaces.

El DfMA (Design for Manufacture and Assembly) o Diseño para la Manufactura y el Montaje, se entiende comúnmente como una metodología mediante la que se evalúa y mejora el diseño de productos para el proceso de manufactura off-site y el montaje on-site. Esta metodología complementa, por un lado, el diseño para la manufactura, enfocado en la fabricación de elementos individuales (DfM); y por otro lado el diseño para el montaje, encargado de ensamblar dichas partes entre sí (DfA) (Gao, Jin, & Lu, 2020).

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

Aunque el DfMA aplicado a la industria de la construcción se encuentra en etapas tempranas de implementación (Lu, Tan, Xu, Wang, Chen, Gao, & Xue, 2021), puede ser implementado en diferentes escalas o niveles tecnológicos (Lu, Chen, Xue, & Pan, 2018), compatibilizando la construcción tradicional con los MMC, y facilitando la transición entre ambos métodos.

En Chile, si bien la tendencia al uso de la madera aumenta, al año 2019 solo un 29.9% de las viviendas contaban con estructura de madera (INFOR, 2021), siendo la albañilería, el hormigón y el acero los materiales predominantes, por motivos como cultura constructiva tradicional o visión segada del material respecto a su durabilidad y vulnerabilidad (INFOR, 2020). Sin embargo, desde 2015 la madera registra un crecimiento como el material con mayor superficie autorizada para construir viviendas (INFOR, 2021). El principal sistema constructivo asociado es el entramado ligero tipo marco plataforma (CIM UC, 2023), que es altamente compatible con los niveles de industrialización más avanzados, como componentes tipo paneles, ya sea de alto o bajo estándar, o módulos (Polomadera, 2019). Estos componentes pueden ser empleados como (CIM UC, 2024):

- ✓ Paneles, elementos bidimensionales, que crean espacios en conjunto con otros paneles ya sea de muro, piso, entrepiso o techo. Pueden ser abiertos, semi abiertos o cerrados.
- ✓ Módulos, unidades tridimensionales con capacidades estructurales, que crean espacios por sí mismas.

Y su grado de terminación puede subclasificarse en:

- ✓ Nivel 1: Estructura
- ✓ Nivel 2: Estructura + Instalaciones y/o Aislación
- ✓ Nivel 3: Estructura + Instalaciones + Aislación + Terminaciones

En paneles, los elementos lineales son arriostrados por placas de OSB, que permite prescindir de diagonales. Esto facilita la incorporación de materiales de cerramiento y/o instalaciones desde fábrica, disminuyendo los tiempos en obra. (Loras, 2020) Por ello, el DfMA requiere que los diseñadores apliquen los requerimientos de manufactura y montaje al diseño de los componentes desde etapas tempranas, garantizando resultados altamente manufacturables y montables (Yuan, Sun, & Wang, 2018). Estos requerimientos son definidos por profesionales, como diseñadores de fabricación y técnicos de montaje, quienes retroalimentan oportunamente el proceso. Este planteamiento aumenta el tiempo dedicado a la etapa de diseño, pero potencia la disminución de costos y tiempo de ejecución en manufactura y montaje, mejora la calidad del producto

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

final y sus partes y simplifica los productos. Para ello se han desarrollado principios que permiten estas ventajas, aumentando la calidad, eficiencia y seguridad de los proyectos (Yuana, Sun, & Wang, 2018; Gao, Jin, & Lu, 2020; Lu, Tan, Xu, Wang, Chen, Gao, & Xue, 2021). Algunos de estos principios son:

- ✓ Diseñar para una manufactura simple, acorde con el nivel tecnológico disponible; y considerando técnicas conocidas de montaje.
- ✓ Diseñar componentes multifuncionales y multiuso, que puedan ser usadas en diferentes posiciones.
- ✓ Usar la menor cantidad de materiales posible; y que sean compatibles con los requerimientos y el entorno de producción, reduciendo la susceptibilidad a daño.
- ✓ Usar piezas “off the Shell” (no fabricadas en planta) estandarizados, para simplificar la cadena de suministros y el acceso a ellos
- ✓ Disminuir la cantidad de componentes y piezas, simplificando diseño, manufactura y montaje.
- ✓ Disminuir las direcciones de armado, permitiendo que los elementos sean ensamblados desde un punto definido, evitando sujeciones separadas.
- ✓ Disminuir la manipulación de los componentes, y por tanto el tiempo de armado on site.
- ✓ Maximizar la compatibilidad entre componentes y disminuir los tipos y cantidad de conexiones.
- ✓ Disminuir el uso de piezas frágiles.

Esto determina un cambio, desde un pensamiento tradicional de diseño secuencial a una metodología no lineal, en donde la manufactura y el montaje son recíprocamente dependientes (Gao, Jin, & Lu, 2020) y poseen la misma relevancia. Según CIM UC (2024), en cuanto a la manufactura, es importante considerar desde el inicio aspectos relacionados con la fabricación y tecnologías disponibles en planta, tales como:

- ✓ Tipo de materiales
- ✓ Espesores
- ✓ Dimensiones
- ✓ Formas
- ✓ Tolerancias

Mientras que, para el montaje deben considerarse aspectos relacionados con el transporte, carga e instalación en sitio, tales como:

- ✓ Dimensiones de transporte
- ✓ Disposición de la carga

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

- ✓ Maquinaria disponible para el montaje
- ✓ Uniones y conexiones.

A partir de esto y de acuerdo a algunos autores (Gbadamosi, 2019), es posible establecer 4 ejes para definir el nivel de eficiencia de un proceso de montaje

- ✓ **Facilidad de Ensamblaje** (aspectos como unión entre componentes, estandarización, conexiones, etc)
- ✓ **Facilidad de Manejo** (aspectos asociados a las características de los componentes, como peso, herramientas requeridas, etc)
- ✓ **Velocidad de Armado**
- ✓ **Residuos del proceso**

De estos, la velocidad de armado resulta especialmente relevante (Gbadamosi, 2019), por lo que calcular el tiempo de montaje, es un ejercicio útil para entender la efectividad del proceso. (Shang, Ruoyu & Weisheng, 2020). La panelización de sistemas de entramado liviano, es muy favorable porque es uno de los sistemas con menores tiempos de manufactura y montaje (Loras, 2020). Gracias a su ligereza, se facilita el proceso de transporte y armado haciéndolo más rápido y sencillo (Aviles, 2022) . Los procedimientos adecuados de transporte, almacenamiento y montaje permite garantizar un mejor resultado (Espinoza & Mancinelli Z, 2000)

Previo al comienzo del proceso de montaje, se requiere garantizar al menos los siguientes factores (CIM UC, 2024):

- **Etiquetado de componentes:** Codificación debe ser realizada en fábrica, lo que permite que se incorpore antes de la llegada de la carga a el espacio de obra
- **Documentación de montaje:** Debe considerar instrucciones de manipulación, izaje, montaje, secuencia constructiva, etc. Esta es la base para posibles ajustes y mejoras continuas del proyecto.

Por otra parte, el proceso de montaje comúnmente puede ser de dos tipos (Rutte,2008; Fritz & Ubilla,2012):

- **Montaje de elementos menores (manual):** Con elementos constructivos de máximo 4,8m de longitud, donde se optar por un armado manual con el personal de obra, tomando medidas de seguridad necesarias
- **Montaje de paneles trasportables (mecánica):** Sistema de prefabricación de paneles completa o parcialmente terminados, cuya instalación debe ser mecanizada con un alto conocimiento de procedimientos y precisión requerida.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

La definición oportuna del tipo de montaje es de vital importancia para definir un plan preciso. Así mismo, algunas consideraciones relevantes son el traslado y acopio del componente (Espinoza & Mancinelli Z, 2000) de lo que se puede decir:

### Del transporte:

- Emplear rampas y superficies planas, secas y limpias evitando cualquier deformación en los paneles
- Todos los paneles deben estar completamente apoyados, lo que implica seguir un acopio piramidal o trapezoidal
- Emplear elementos de protección para el traslado tales como lonas impermeables o capas, permite evitar defectos por condiciones climáticas.
- Se recomienda buscar el máximo aprovechamiento de la capacidad del camión para evitar pérdidas económicas.

### Del almacenamiento:

- Se debe proteger paneles tanto de la humedad como del sol directo garantizando la ventilación y protección adecuada
- La superficie de acopio debe estar separada del suelo y debe ser plana.
- Idealmente deben apilarse por tipología de panel. Así mismo, los movimientos de traslado y desplazamiento de paneles deben ser los mínimos posibles.

Adicionalmente, este tipo de sistemas constructivos también permite aplicar métodos eficientes de **control de calidad** no solo en la confección (Espinoza & Mancinelli, 2000), sino que también posterior al traslado, dado que la carga puede sufrir impactos por la manipulación e izaje. (CIM UC, 2024).

De la misma forma, de acuerdo al ingreso de viviendas industrializadas tipo del MINVU (2023), existe una serie de instructivos que deben ser proporcionados oportunamente para la puesta en obra entre los que se encuentran:

- **Instrucciones de acopio:** detallando condiciones de almacenamiento para resguardar la integridad de los componentes
- **Instrucciones de manipulación:** para el proceso de traslado, almacenaje e instalación
- **Instrucciones de conexiones:** incluyendo planimétrica adecuada con especificaciones e información de encuentros y uniones
- **Instrucciones de izaje:** Procedimientos e indicaciones respecto de la maquinaria requerida incluyendo los puntos de izaje que permitan un traslado e instalación segura

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

- **Instrucciones de montaje:** Conjunto de instrucciones que incluye especificaciones, tolerancias, secuencia, etc.
- **Instrucciones de reparación:** Recomendaciones de evaluación y reparación en terreno, considerando material y procedimientos para realizarlo en obra.

En Chile, las viviendas panelizadas o modulares desarrolladas bajo el método DfMA podrían abarcarse desde bajos niveles tecnológicos que progresivamente pueden avanzar hacia altos niveles de industrialización. En esa línea, los organismos gubernamentales comprenden que la etapa de diseño requiere más inversión de tiempo y recursos, por lo que surgen iniciativas enfocadas a apoyar el diseño de viviendas tipo, para que estas pymes enfoquen esfuerzos netamente en la ejecución de las viviendas, de la manera más óptima posible. Bajo esa lógica, el montaje es una etapa muy atractiva para demostrar el funcionamiento de este proceso es el montaje, ya que es una de las instancias finales en donde todas las decisiones tomadas en las etapas previas son puestas a prueba on site. Como se menciona anteriormente, el tiempo de montaje es un factor fundamental a resguardar, entendiendo que no solo es uno de los principales atractivos para la implementación de estas iniciativas, sino que además representa el factor que acusa la efectividad de la ejecución del proceso. En ese sentido, este factor puede ser afectado por diferentes problemáticas que son más o menos complejas de resolver dependiendo del contexto en el que se desarrolle. Esto puede ser una oportunidad, pero también un gran desafío, por lo que el aporte de estudios de casos reales de ejecución de viviendas industrializadas en madera con bajo nivel tecnológico, puede fomentar este tipo de iniciativas desde una perspectiva realista e ilustrativa.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 2. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

#### 2.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

**¿Qué aspectos clave influyen en el tiempo de ejecución del montaje de una vivienda panelizada, y cuales deben considerarse o ajustarse para mejorar el proceso de montaje?**

#### 2.3. HIPÓTESIS

Un factor determinante en la ejecución es el nivel de experiencia del equipo de montajistas, lo que implica la superación de una curva de aprendizaje inicial durante el proceso. Incorporar estrategias que aborden este factor podría mejorar el ritmo de trabajo y disminuir la brecha entre la planificación y la ejecución real.

#### 2.4. OBJETIVOS

✓ GENERAL

**Evaluar el proceso de montaje de una vivienda panelizada, ejecutado por un equipo sin experiencia previa, enfocándose en los aspectos clave impactan a los tiempos de instalación de paneles y la respuesta a ello por parte del equipo; esto, con la finalidad de determinar aspectos mejorables que permitan disminuir la brecha entre la planificación del montaje y ejecución real del proceso**

✓ ESPECIFICOS

1. Analizar los 6 días de montaje de la Vivienda Prototipo (previo a la tormenta), desglosando diariamente las actividades realizadas y los tiempos asociados; identificando el progreso diario en la instalación de paneles y las diferencias por tipología de panel, clasificando las dificultades enfrentadas según su origen.
2. Analizar la respuesta del equipo a factores recurrentes, y su perspectiva respecto del proceso, definiendo estrategias que permitan abordar oportunamente las dificultades asociadas al equipo que ejecuta la vivienda.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 2.5. DISEÑO METODOLÓGICO

- ✓ La investigación será de tipo explicativa proyectual, basándose en un análisis descriptivo del caso de estudio Vivienda Prototipo del Proyecto *Diseño para la Manufactura y el Montaje: Propuestas de Viviendas Sociales para la Región del Biobío* (cod. 23BP.246692).
- ✓ Se empleará un enfoque mixto, que combine métodos cuantitativos para determinar tiempos de instalación, procedimiento y factores de retraso y cualitativos para identificar percepciones y respuestas de parte del equipo de montajistas.
- ✓ Los instrumentos de recolección de datos serán la observación directa participativa pues se plasmará lo experimentado on site por parte de quien investiga, dando lugar a una mayor contextualización de eventos y una evaluación más precisa de los resultados. Sumado a ello se aplicará la observación documental de material en formato video timelapse que serán analizados con la aplicación Photopills, calculadora online que permite convertir los segundos de video en cámara rápida a segundos reales de acuerdo a la tasa de fotogramas de cada video (30 fps). Esto, sumado a la observación documental de bitácoras y registros fotografías, permitirá obtener los tiempos aproximados asociados a actividades realizadas y su respectiva dificultad.
- ✓ Lo anterior será complementado con entrevistas individuales semiestructuradas realizadas por separado al equipo conformado por 7 carpinteros, un supervisor de obra y un asesor de montaje. Esto permitirá definir percepciones del equipo, estrategias y factores involucrados de mayor relevancia.
- ✓ Las variables independientes tales como factores de retraso, dificultades y respuesta del equipo serán evaluadas en función de la variable dependiente del tiempo de instalación de paneles y proceso de montaje en general
- ✓ Para el objetivo específico 1, las técnicas para el análisis de datos obtenidos serán la organización de 6 matrices de datos diarios que plasme la relación entre tiempo, etapas, dificultades y contexto general por panel instalado. Así mismo, se conformará una matriz para identificar los promedios de tiempo y una para clasificar las dificultades presentadas por panel. Para ello se emplearán planillas de cálculo del software Excel.
- ✓ Para el objetivo específico 2, se transcribirá y codificarán las entrevistas identificando temáticamente patrones y factores críticos.
- ✓ Lo anterior será interpretado y traducido a alternativas de mejora que determinen la naturaleza del problema específico y la evolución de la respuesta observada asociada a la recomendación concreta para cada caso.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 2. CASO DE ESTUDIO:

#### Vivienda Prototipo Proyecto Bienes Públicos Diseño para la Manufactura y el Montaje. Propuestas de Viviendas Sociales para la Región del Biobío.



**Figura 1.** Vista Aérea Vivienda Prototipo, Estacionamiento FAUG, UdeC.  
Fuente: Registro Audiovisual Proyecto



**Figura 2.** Vista Peatonal Vivienda Prototipo. Fuente: Elaboración propia.

Como se menciona anteriormente, el MINVU, en el marco del Plan de Emergencia Habitacional promueve el diseño de “Viviendas Tipo” para fomentar la industrialización de Vivienda Social. En colaboración con CORFO, se desarrollan instrumentos para apoyar el desarrollo de bienes públicos enfocados en la construcción industrializada en madera para la región del Biobío. En ese contexto nace el **Proyecto Bienes Públicos Diseño para la Manufactura y el Montaje. Propuestas de Viviendas Sociales para la Región del Biobío**, que consiste en el desarrollo de 6 viviendas sociales panelizadas en madera y toda su respectiva información para la manufactura y montaje, enfocadas a pequeñas empresas manufactureras, en donde, además, se ejecutó un Prototipo de Vivienda, durante el mes de Julio del año 2024.

Esta vivienda, denominada “Vivienda Prototipo”, posee un enfoque de vivienda rural y cumple no solo con desafíos de proyecto referidos al déficit habitacional en Chile, y la reglamentación térmica 2025, sino que también con carbono neutralidad y economía circular. Esto hace que la vivienda sea proyectada incorporando criterios de desmontaje, como vivienda social “futuro” del 2050. Su diseño y ejecución se desarrolla y planifica del siguiente modo:

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

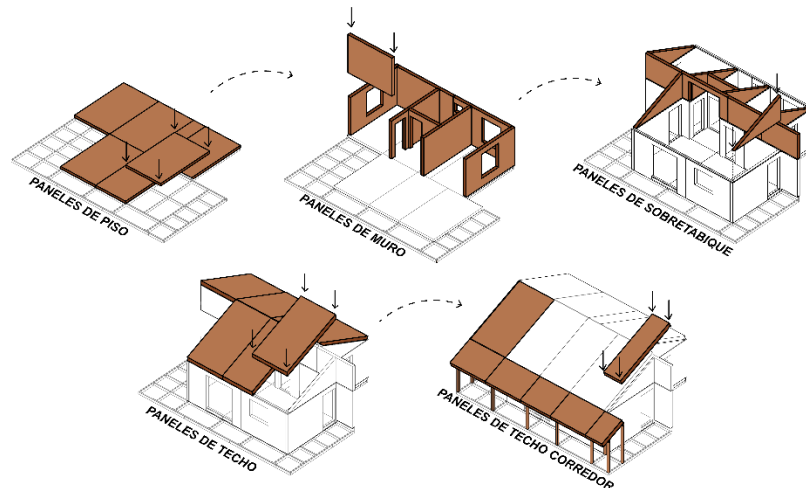
### 2.1. Etapa de diseño, subdividida en 3 instancias de desarrollo:

**2.1.1. Diseño arquitectónico y estructural de Vivienda:** En consideración del decreto y normativos D.S.10 para vivienda Rural, que establece las características técnicas mínimas que requiere una vivienda social de este tipo (MINVU, 2016) sumado a criterios de optimización de material y panelización de componentes, aportados por asesores de manufactura y montaje, incluyendo además coordinación con especialistas; se desarrolla una vivienda cuya superficie construida interior alcanza los 61,07m<sup>2</sup> en 6 recintos (Estar, Comedor, Cocina, Dormitorio 1, Dormitorio 2 y Baño); más 23,88m<sup>2</sup> de superficie construida exterior con 3 zonas (Acceso, Corredor, Logia). Como resultado de esta etapa se obtiene modelo BIM de Arquitectura (Revit y AutoCAD), planos arquitectónicos, panelización base (volumétrica), planos de especialidades, EETT, presupuesto, etc.

En cuanto a la panelización base se determina una composición de 46 paneles distribuidos en las siguientes partidas:

- ✓ Paneles de Piso (PP): 7 paneles
- ✓ Paneles de Muro (PM): 14 paneles
- ✓ Paneles de Sobretabique (PST): 11 paneles
- ✓ Paneles de Techo Interior (PT): 7 paneles
- ✓ Paneles de Techo Corredor (PTC): 7 paneles

Sumado a ello se determinan las fundaciones a utilizar, incluyendo los elementos que la complementan. En este caso corresponden a Ecopilotes, es decir, tornillos galvanizados (R&V) instalados bajo un Envigado Base de 2x6 de madera impregnada.



**Figura 3.** Esquema de Panelización Vivienda Prototipo.  
Fuente: Elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 2.1.2. Desarrollo de Modelo de Despiece:

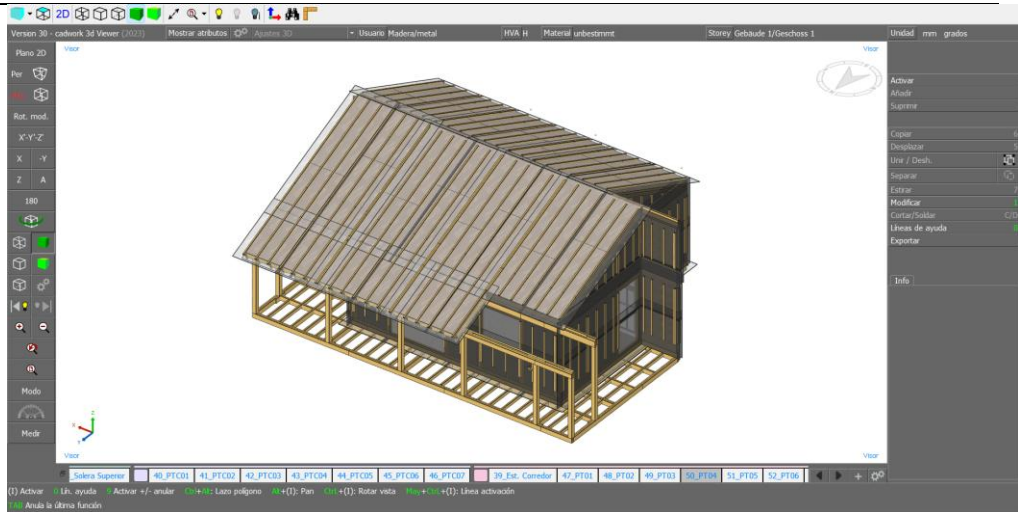
Con la panelización base y la distribución preliminar de paneles, se desarrolla el modelo detallado de despiece por panel en Cadwork, herramienta especializada en modelación y construcción en madera. En esta instancia se realizan todos los ajustes constructivos de los paneles y como resultado se obtiene un modelo detallado BIM de cada uno de ellos, visualizando interferencias, continuidad estructural, dimensiones, peso, criterios de fabricación off-site y armado on-site, etc. Esto permitió desarrollar un plan de montaje preliminar desde la etapa de diseño, por lo que, los nombres y nomenclaturas asignadas a cada elemento están asociados al orden de armado en obra. Este orden responde a dos variables:

- ✓ **Encuentros en 90° entre paneles:** Los paneles se apoyan entre si sin necesidad de demasiados puntos de sujeción provisoria.
- ✓ **Posición del camión pluma:** Distribuyendo los paneles de manera tal que el camión solo se posicionara en un lugar para alcanzar todos los puntos de instalación, siendo el primer panel, aquel que se encuentra más alejado del camión.

De esta manera, la nomenclatura (*Orden de la partida\_Nombre de la partida\_Nombre y N° de posición del panel*) resulta de la siguiente forma:

- ✓ **01\_Parrilla Base**
- ✓ **02\_PP:** PP01, PP02, PP03, PP04, PP05, PP06, PP07 + Viga Perimetral de Borde
- ✓ **03\_Solera Base:** Elemento guía como mapeo para paneles de muro
- ✓ **04\_PM:** PM01, PM02, PM03, PM04, PM05, PM06, PM07, PM08, PM09, PM10, PM11, PM12, PM13, PM14
- ✓ **05\_Solera de Amarre:** Elemento de fijación entre paneles
- ✓ **06\_PST:** PST01, PST02, PST03, PST04, PST05, PST06, PST07, PST08, PST09, PST10, PST11
- ✓ **07\_Solera Superior de Amarre:** Elemento de fijación entre paneles
- ✓ **08\_Estructura Corredor:** Pilares de madera laminada de 110x110mm y vigas de 2x8 pino seco cepillado.
- ✓ **09\_PTC:** PTC01, PTC02, PTC03, PTC04, PTC05, PTC06, PTC07.
- ✓ **10\_PT:** PT01, PT02, PT03, PT04, PT05, PT06, PT07

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 4.** Vista Interfaz Modelo de Despiece Cadwork, Vivienda Prototipo.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3. Desarrollo de Planimetría de Manufactura, Transporte/Cargas y Montaje:

A partir del Modelo Cadwork y los criterios generales de montaje, se desarrolla la información en 2D, tanto para la fabricación en planta, como para la ejecución en obra.

- ✓ **Método de izaje:** Se define el sistema de izaje, que luego se incorpora al modelo BIM previamente a la edición de planimetría de despiece, dado que el sistema empleado (WASP Rothoblaas) se requiere tanto para el izaje en obra, como el giro de los paneles en fabrica.
- ✓ **Planos de manufactura:** Luego de distintas instancias para generar un desarrollo planimétrico en línea con los criterios gráficos del equipo co-ejecutor, es decir, IDV Constructora Industrializadora de Vivienda, se obtienen los planos de despiece de cada uno de los paneles, incluyendo tablas de corte y de optimización de material.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

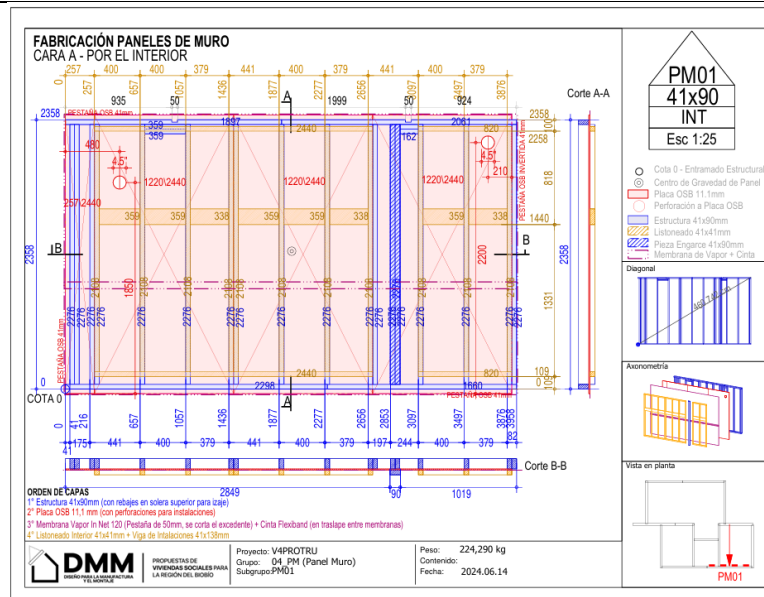


Figura 5. Plano de Manufactura, Ejemplo Panel de Muro.  
Fuente Proyecto DMM.

- ✓ **Plan de cargas y plan preliminar montaje:** Se realizan simulaciones mediante Sketchup y planillas Excel para simular el orden de cargas considerando peso y tamaño de paneles. Con ello se logran visualizar el orden más favorable de transporte, resultando en un total de 4 viajes. De esta forma, el plan preliminar de montaje responde a las **cargas del camión**, planteándose de la siguiente forma:
  - **Día 1:** Transporte e Instalación de Envigado Base y Paneles de Piso (7 unidades)
  - **Día 2:** Transporte e Instalación de Paneles de Muro (14 unidades)
  - **Día 3:** Transporte e Instalación de Paneles de Sobretabique (11 unidades), Estructura de Corredor y Paneles Techo Corredor (7 unidades)
  - **Día 4:** Solera de Amarre + Paneles de Techo (7 unidades)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

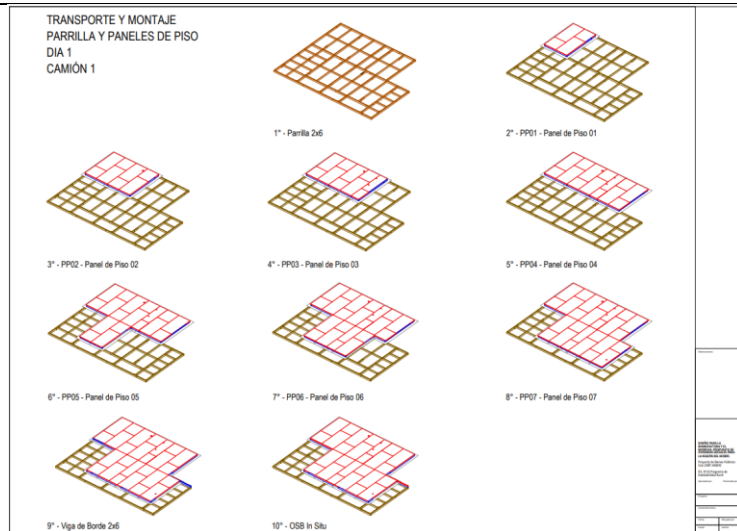
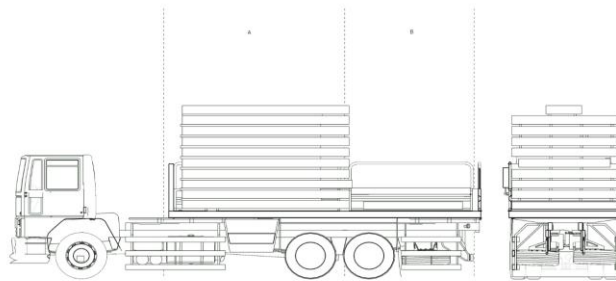


Figura 6. Esquema de armado, Ejemplo Día 1.  
Fuente: Proyecto DMM

POLOMADERA



Diseño para la Manufactura y el Montaje. Propuestas de Viviendas Sociales para la Región del Biobío (cod.23BP-246692)

Figura 7. Esquema carga de camión, Ejemplo Día 1.  
Fuente Proyecto DMM

### 2.6. Etapa de manufactura y fabricación en planta:

Con toda la información de diseño procesada y estipulada en planimetría y planes de ejecución, se procede con la etapa de fabricación. Esto se realiza en una planta de bajo nivel tecnológico, empleando 4 mesas de trabajo, zona de corte de madera, zona de corte de placas y zona de acopio. El proceso contempló lo siguiente:

- ✓ **Marcha Blanca:** Jornada de capacitación realizada el primer día de trabajo para familiarizar a los carpinteros con los materiales a utilizar,

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

realizando pruebas con puente grúa y estableciendo criterios de fabricación con carpinteros.

- ✓ **Fabricación de paneles:** Se fabrican los paneles por partica comenzando con Paneles de Piso, Muro, Sobretabique y finalmente Techo. Esta etapa duro aproximadamente 10 días hábiles, y contó con la supervisión de asesores y diseñadores. Durante estas visitas se resolvían dudas de los planteamientos de diseño, como el giro de los paneles en fabrica o la composición de paneles.

### 2.7. Etapa de Montaje en Obra:

Mientras se realiza el trabajo en fabrica, en obra se comienza con la preparación para el proceso de montaje

- ✓ **Obras preliminares:** Correspondiente a las partidas previas e instalación de faenas, excavaciones de terreno, instalación de fundaciones e instalación de Parrilla Base.
- ✓ **Plan final de montaje:** En paralelo a todo lo anterior y antes de comenzar el proceso de armado de obra gruesa, se ajusta la planificación diaria preliminar, distribuyendo la planimetría de acuerdo a los viajes, pero también considerando las partidas y elementos in situ que se incorporan al armado. Se complementa la información de ensamblaje con detalles constructivos de uniones, isométricas y cotas generales, planteándose un nuevo plan de 5 días distribuido de la siguiente forma:
  - **Día 1:** Paneles de piso + Viga de Borde + Solera Base.
  - **Día 2:** Paneles de Muro + Solera de Amarre.
  - **Día 3:** Paneles de sobretabique + Solera de Amarre.
  - **Día 4:** Paneles de Techo.
  - **Día 5:** Estructura Corredor + Paneles de Corredor.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

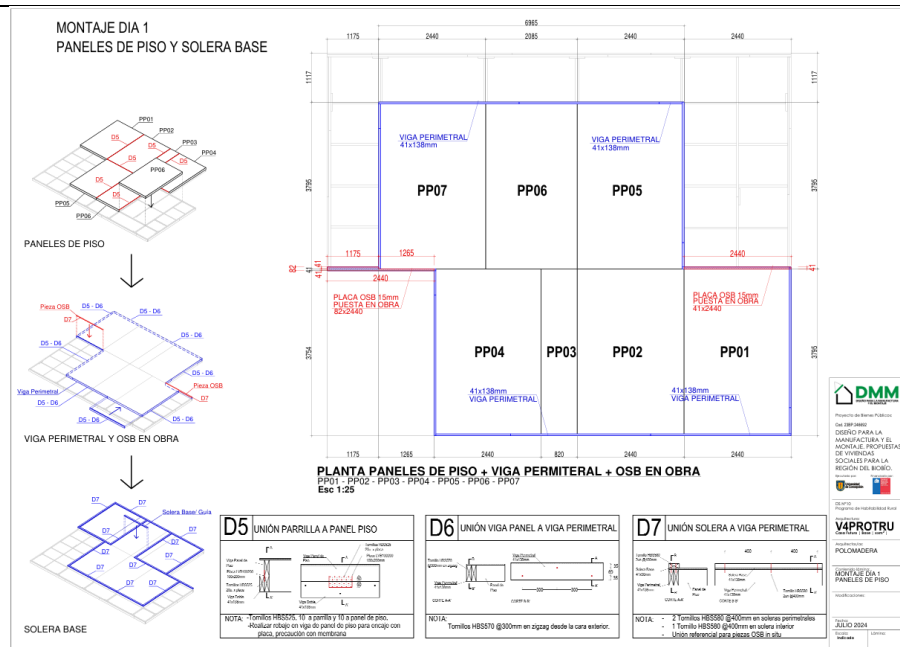


Figura 8. Plano de Montaje, Ejemplo Día 1.  
Fuente Proyecto DMM

Posteriormente, se comienza con la ejecución del proyecto de montaje realizado de acuerdo al siguiente cronograma:

- ✓ **Ejecución final:** Con esta información final, se ejecuta un proceso en aproximadamente 9 días de armado de paneles y demás elementos obra gruesa. Cabe destacar que estas jornadas fueron divididas en dos periodos por causas climáticas, resultando en lo siguiente:
- ✓ **Día 1:** Paneles de Piso (4 unidades)
- ✓ **Día 2:** Paneles de Piso (3 unidades) + Viga de Borde + Soleras Base
- ✓ **Día 3:** Soleras Base + Paneles de Muro (3 unidades)
- ✓ **Día 4:** Paneles de Muro (8 unidades)
- ✓ **Día 5:** Paneles de Muro (3 unidades) + Solera de Amarre + Paneles de Sobretabique (2 unidades)
- ✓ **Día 6:** Paneles de Sobretabique (9 unidades) + Solera de Amarre + Paneles de Techo (7 unidades) + Encintado exterior

### PAUSA POR TEMPORAL

- ✓ **Día 7:** Estructura de Corredor + Fijaciones Definitivas
- ✓ **Día 8:** Estructura de Corredor + Prueba de Herrajes para paneles de Techo (1 unidad panel)
- ✓ **Día 9:** Paneles de Techo Corredor (6 unidades)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

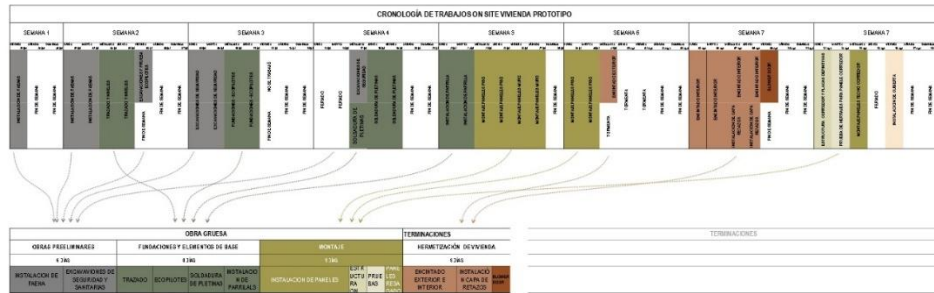


Figura 9. Cronograma de Obra vivienda Prototipo.  
Fuente Elaboración Propia

Se observa en la figura que, de los 9 días del proceso, 2 corresponden a armado de piezas lineales, o prueba de herrajes para ciertos paneles. Como se busca enfatizar en el montaje de paneles, el Día 7 y Día 8 no serán considerados en el análisis. Así mismo, el Día 9 también se excluirá, ya que no existe registro de video timelapse de esa jornada, sumado a que, por causas logísticas, el equipo de montajistas que ejecutó esa parte tuvo variaciones.

**Bajo estas consideraciones, los días considerados para el estudio que se desarrolla a continuación abarca desde el Día 1 hasta el Día 6.**

### 2.8. Instalaciones y Terminaciones:

Una vez finalizada la obra gruesa, se lleva a cabo el sellado de membranas para garantizar la hermeticidad de la vivienda. Se ejecutan los proyectos de especialidades como las instalaciones eléctricas y sanitarias. También se realiza la terminación exterior de la vivienda, bajo criterios de desmontabilidad, seguida de la instalación de puertas, ventanas y hojalaterías asegurando en todo momento el control de infiltraciones.

Estas precauciones permitieron que el proyecto ejecutado resultara en una vivienda de alto estándar, demostrado por el estudio de eficiencia energética que arroja:

- ✓ Desempeño energético A
- ✓ Carbono Neutralidad en fase de producto con delta a favor de 140 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>
- ✓ Alto nivel de hermeticidad con 1,92 renovaciones de aire por hora.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



Figura 10. Línea temporal 6 días de montaje Vivienda Prototipo. Fuente Elaboración Propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3. RESULTADOS.

#### 3.2. RESULTADOS OBJETIVO 1:

Analizar los 6 días de montaje de la Vivienda Prototipo (previo a la tormenta), desglosando diariamente las actividades realizadas y los tiempos asociados, identificando el progreso diario en la instalación de paneles y las diferencias por tipología de panel, clasificando las dificultades enfrentadas según su origen.

#### 4.2.1 ACTIVIDADES REALIZADAS Y TIEMPOS ASOCIADOS:



Figura 11. Distribución de Tiempos por Actividad. Fuente Elaboración Propia.

De acuerdo a lo analizado, la distribución del tiempo durante el proceso de montaje se dividió en 5 grandes actividades:

- 1° Instalación de paneles, con un 48,86% del tiempo total, incluyendo las 4 tipologías paneles de piso, muro, sobretabique y techo.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

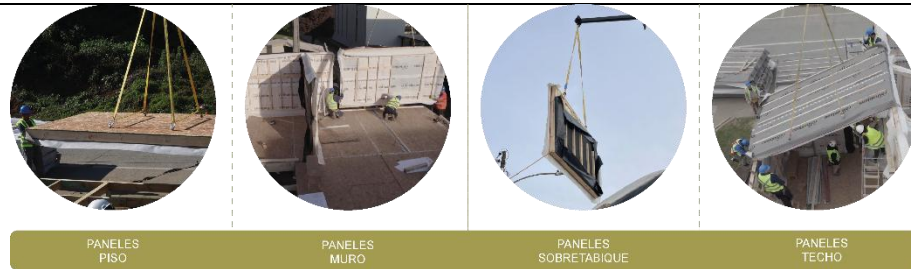


Figura 12. Ejemplos de instalación por tipología. Fuente Elaboración Propia.

- **2° Armado de elementos in situ, con un 24,18% del tiempo total, incluyendo el término del envigado base, la instalación de soleras base y de amarre, la instalación de vigas de borde y fijaciones.**



Figura 13. Ejemplos de armdo de elementos on site. Fuente Elaboración Propia.

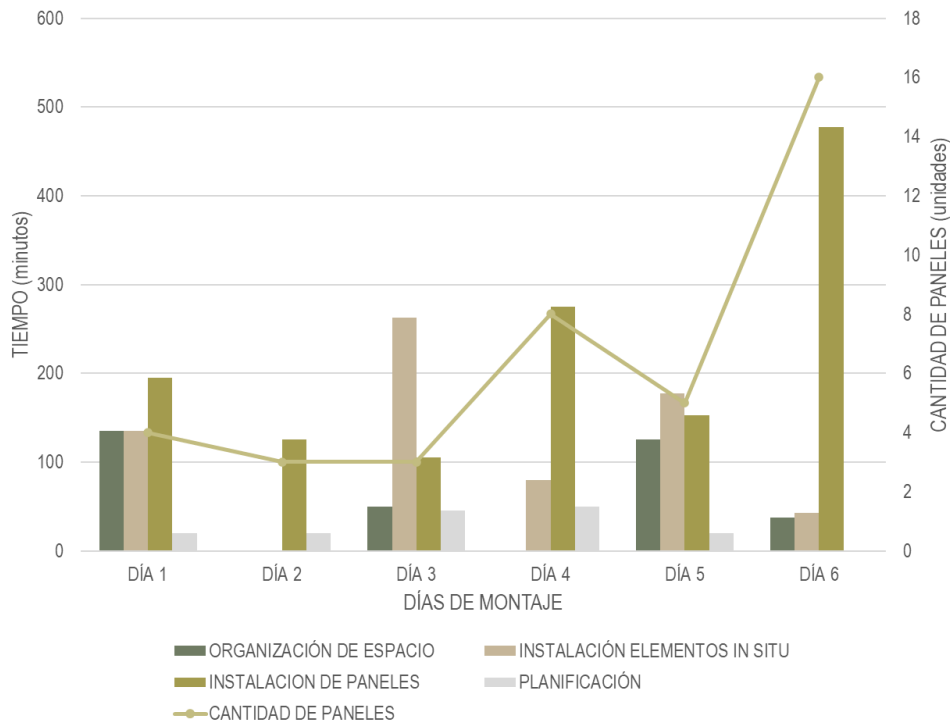
- **3° Organización del espacio de trabajo, con un 12,08%, siendo la tercera actividad con mayor uso de tiempo, incluyendo principalmente la descarga y reorganización de acopio además del armado de andamios para trabajo en altura.**



Figura 14. Ejemplos de organización de espacio de trabajo. Fuente Elaboración Propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

- 4° pausas por las condiciones climáticas, principalmente lluvia, con un 10,90% del tiempo total.
- 5° Planificación diaria, con 4.00%, en donde se organizaba el esquema de trabajo diario capacitando al equipo de montajistas con las principales actividades a realizar, la tipología de paneles a instalar y las respectivas uniones entre componentes.



**Figura 15.** Desglose diario de tiempo por actividad. Fuente Elaboración Propia.

De acuerdo a las actividades diarias se visualiza que:

- Durante el Primer, Segundo, Cuarto y Sexto día, la “instalación de paneles” fue la actividad que más tiempo abordó.
- Durante el Tercer y Quinto día, el “armado de elemento on site” concentró más tiempo, principalmente por la instalación de la viga de borde y soleras de amarre.
- Excepcionalmente, el segundo día posee una menor cantidad de actividades realizadas, dadas las condiciones climáticas.

Si se cruzan las actividades diarias con las de cantidad de unidades instaladas por día se obtiene que:

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

- Existe una relación directa entre el tiempo invertido en la instalación y la cantidad de paneles instalados.
- Cuando el “armado de elementos on site” se mantuvo bajo, menor a 100 minutos, se instalaron 8 o más paneles.
- Cuando el “armado de elementos on site” o la “organización de espacio” fue alta, de 100 minutos o más, se registra un rendimiento inferior, de 5 paneles o menos.

### 4.2.2 PROGRESO EN LA INSTALACIÓN DE PANELES

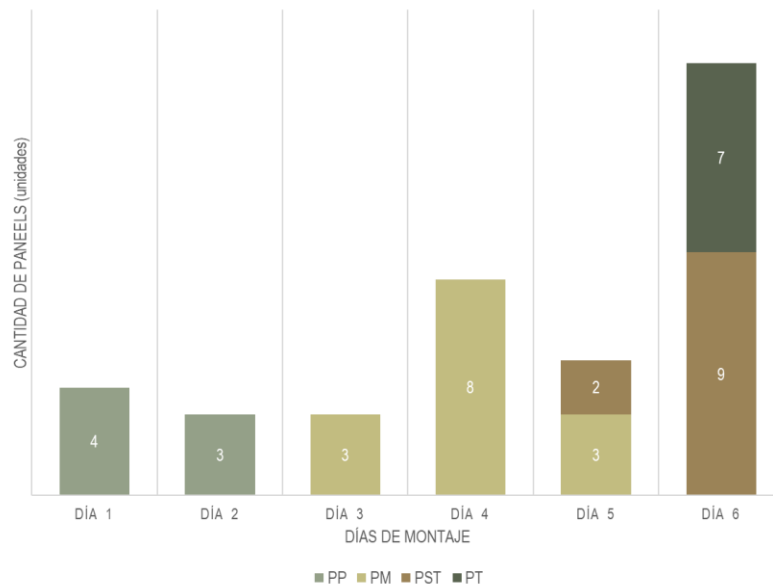
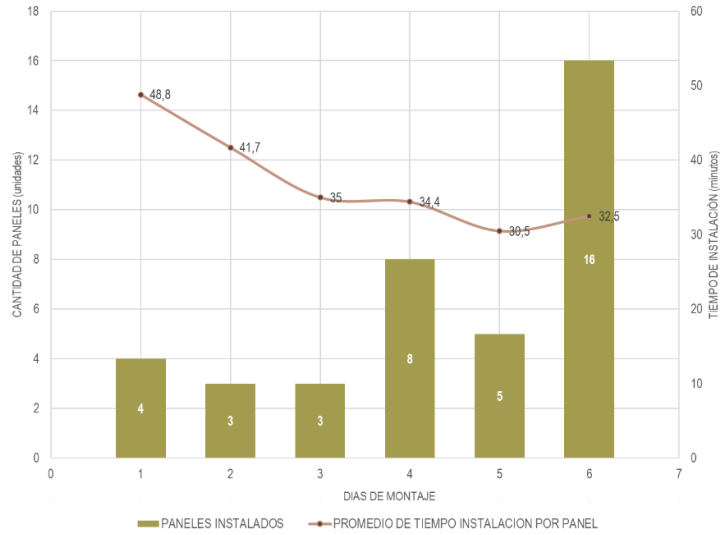


Figura 16. Cantidad y tipo de paneles instalados por día. Fuente Elaboración Propia.

De acuerdo a la instalación diaria de paneles se obtiene que:

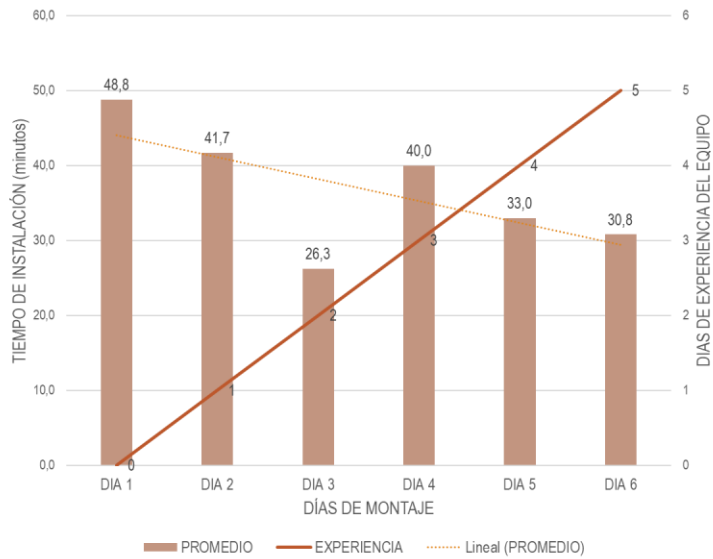
- El último día fue aquel con una mayor cantidad de paneles instalados, con **16 unidades**
- Los días 2 y 3 fueron aquellos con una menor cantidad de solo 3 paneles diarios.
- Existe un aumento en la tendencia de paneles instalados en la medida que transcurren los días, abordándose más tipologías en menos tiempo.
- Durante la primera mitad del proceso, se instala casi una cuarta parte del total (10/ 39 paneles) mientras que las otras 3 cuartas partes (29/39 paneles) son instaladas en la segunda mitad del proceso.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 17.** Relación entre cantidad de paneles y tiempo promedio de instalación. Fuente elaboración propia.

La tendencia al alza en la cantidad de paneles instalados diariamente, está asociada a una reducción constante en el promedio diario de tiempo empleado para la instalación por panel



**Figura 18.** Evolución del tiempo de instalación por panel según la experiencia del equipo. Fuente elaboración propia.

La reducción del promedio diario, va asociada a un aumento constante en la cantidad de días de experiencia acumulados por parte del equipo de montajistas.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

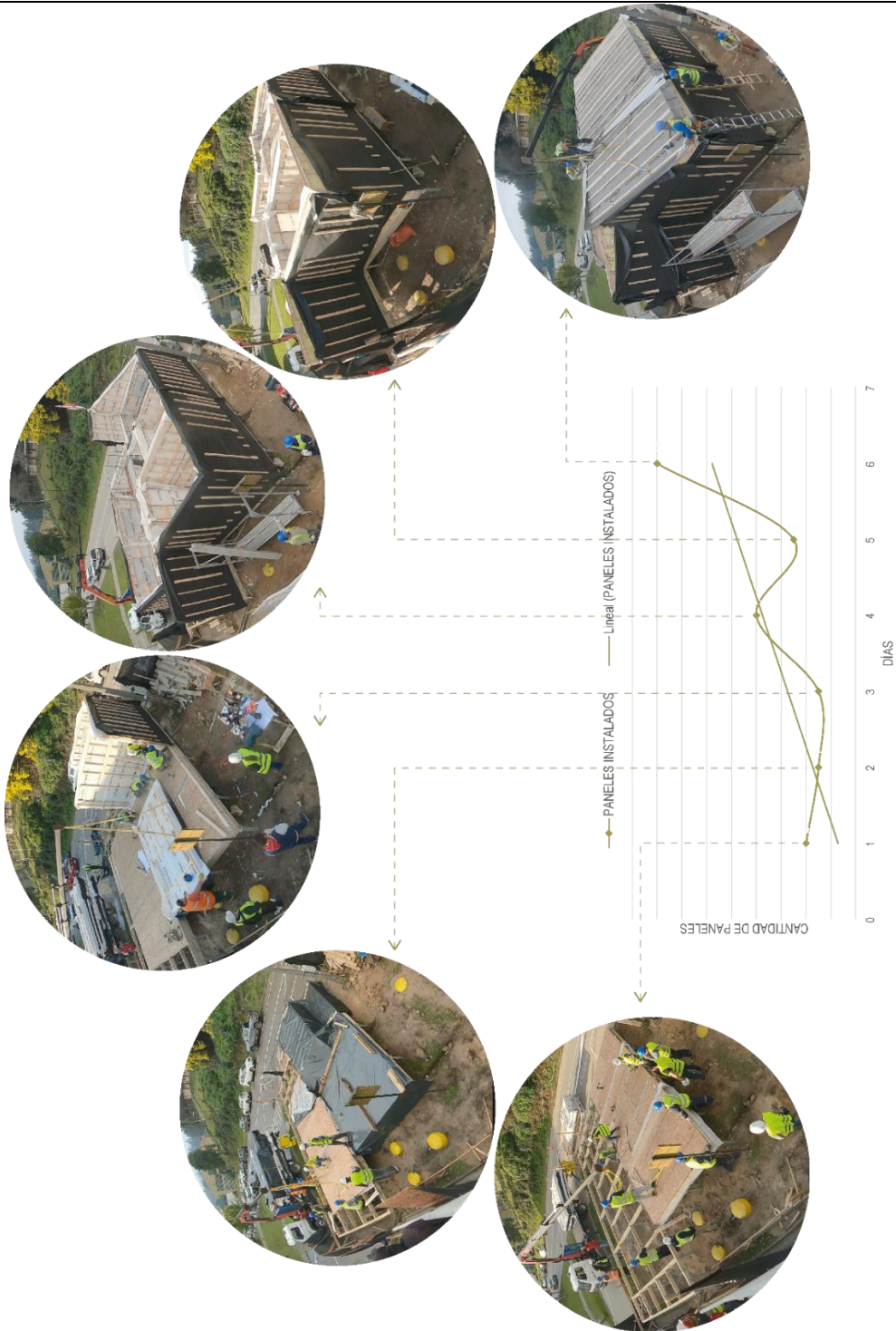
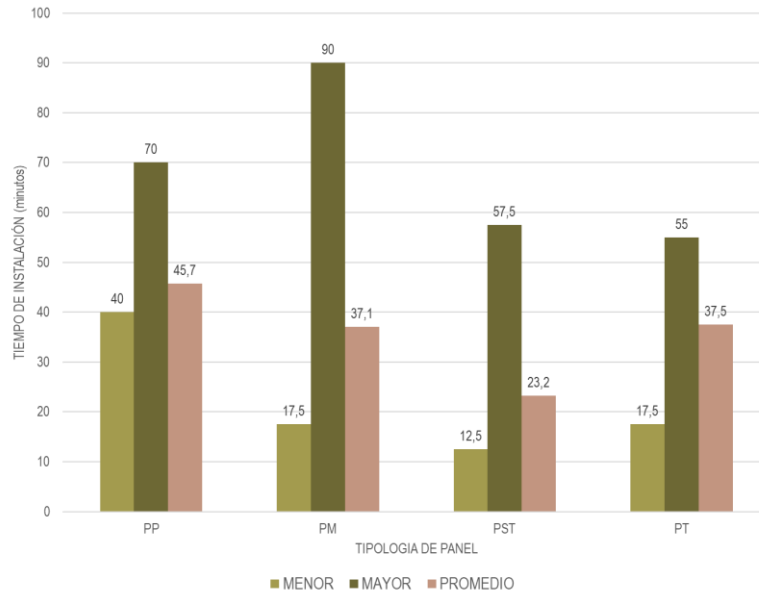


Figura 19. Avance diario al termino de cada jornada. Fuente elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4.2.3 DIFERENCIACIÓN POR TIPOLOGÍA DE PANEL Y FACTORES INSIDENTES EN LA INSTALACIÓN

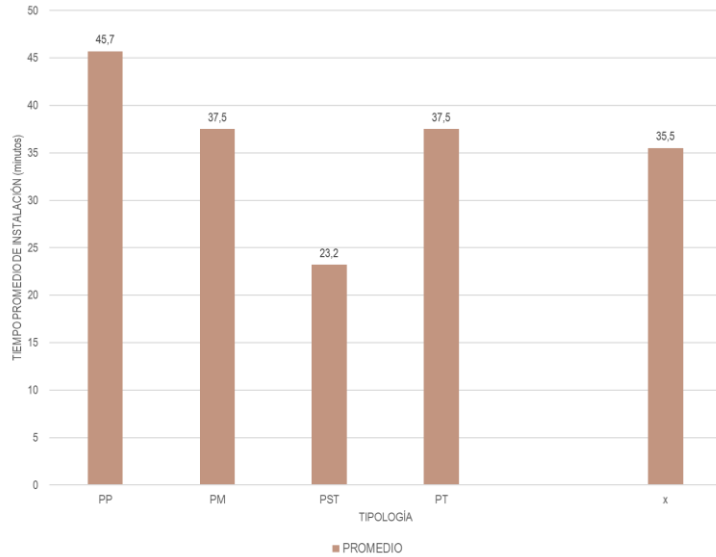


**Figura 20.** Comparación del tiempo de instalación por tipología: valores extremos y promedio. Fuente elaboración propia.

En cuanto al tiempo promedio de instalación de paneles por tipología, se grafica que:

- La tipología de Piso (PP) es aquella con un mayor promedio de tiempo, seguida de paneles de Techo (PT), luego Muros (PM) y finalmente Sobretabiques (PST).
- Los paneles que más tardaron en ser instalados son PM04, de muro y PP01, de piso.
- Los paneles que menos tardaron fueron PST01 y PST02, ambos de sobretabique.

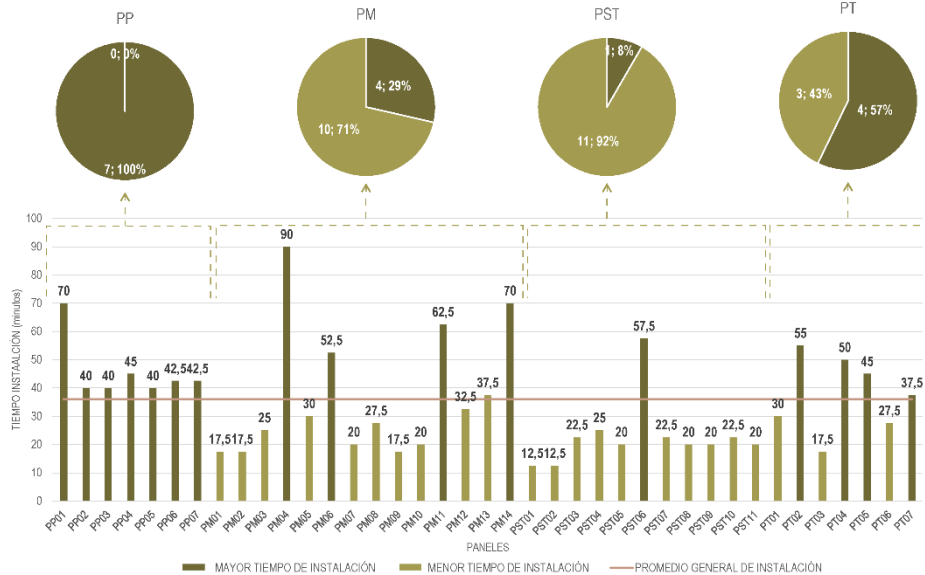
## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 21.** Comparación del tiempo promedio de instalación por tipología vs. promedio general. Fuente elaboración propia.

El promedio de tiempo de instalación general de paneles fue de 36 minutos aproximadamente, en esa línea se visualiza que:

- La mayoría de las tipologías (3 de 4) logran alcanzar tiempos menores a 20 minutos en la instalación de alguno de sus paneles.
- La tipología de piso se mantiene permanentemente sobre 40 minutos



**Figura 22.** Proporción de paneles instalados sobre o bajo el promedio. Fuente elaboración propia.

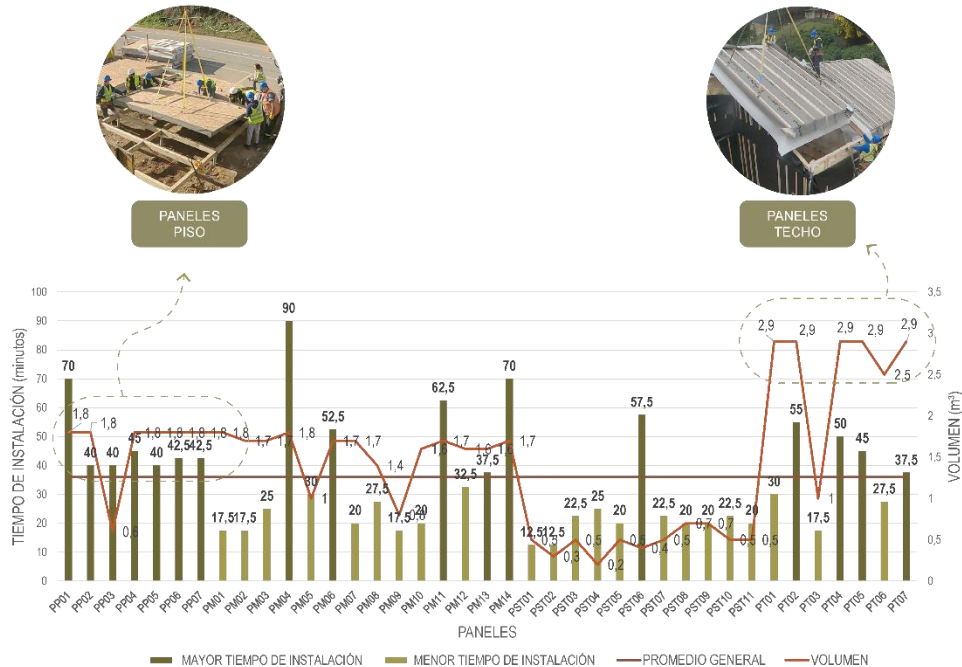
## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

Si se analiza cada uno de los paneles de acuerdo a este promedio, es posible identificar aquellos con uso de tiempo más prolongado:

- Un 43.56% de los paneles superan la media de tiempo de instalación (17 de 39 paneles)
- Un 100% de paneles de piso supera el promedio general de instalación (7 de 7 paneles)
- Un 29% de paneles de muro sobrepasa de la media (4 de 14 paneles)
- Solo un 9% de paneles de sobretabique supera el promedio (1 de 11 paneles)
- Un 57% de paneles de techo sobrepasa del promedio (4 de 7 paneles)

A continuación, se desglosan algunos factores que afectan a los resultados anteriormente obtenidos:

### VOLUMEN DE PANELES:



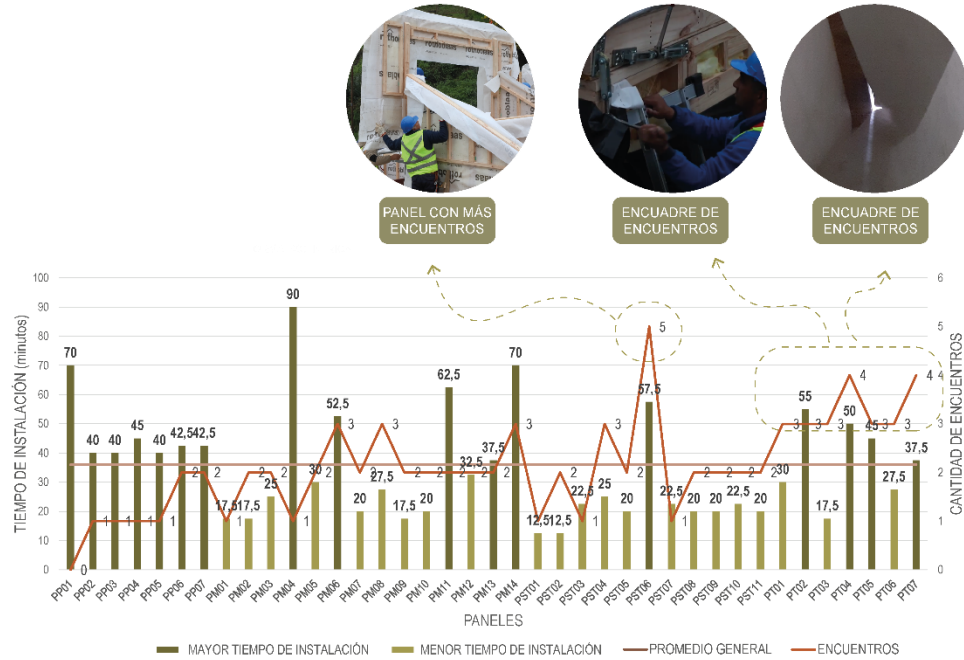
**Figura 23.** Desglose individual de tiempo de instalación vs volumen por panel.  
Fuente elaboración propia.

Del gráfico 23, de tiempo vs volumen se obtiene que:

- Paneles de teco techo se visualizan los mayores volúmenes, asociados generalmente a tiempos de instalación mayores al promedio.
- Paneles de Sobretabique poseen los menores volúmenes, asociados a menor tiempos de instalación inferiores al promedio.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### ENCUENTRO ENTRE PANELES:



**Figura 24.** Desglose individual de tiempo de instalación vs cantidad de encuentros por panel. Fuente elaboración propia.

Se visualiza del gráfico 24, de tiempo vs encuentros que:

- La cantidad de encuentros tiende a aumentar en la medida que se avanza en el armado
- La mayoría de los paneles que poseen 3 o más encuentros, se escapan de la media de tiempo de instalación.
- El ejemplo más crítico es el PST06 que es el único panel de sobretabique que no se instala en un tiempo menor al promedio y posee la mayor cantidad de encuentros.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### ALTURA DE INSTALACIÓN DE PANELES:



**Figura 25.** Desglose individual de tiempo de instalación vs altura de instalación por panel. Fuente elaboración propia.

Del gráfico 25, de tiempo vs altura se obtiene que:

- La altura aumenta en la medida que se avanza en el armado
- En general, no se percibe que el aumento de altura se asocie a un aumento en el tiempo de instalación.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4.2.4 DIFICULTADES PRESENTADAS DURANTE LA INSTALACIÓN:

De acuerdo a los datos obtenidos se clasifican las dificultades por su naturaleza ordenándolas por frecuencia:



Figura 26. Clasificación de dificultades por origen. Fuente elaboración propia.

- 1° mayoría se relacionan con la manufactura de paneles (46.70%),
- 2° relacionadas con experiencia del equipo de montajistas (12.18%).
- 3° relacionados con la planificación de actividades/área de trabajo (11.17%)
- 4° relacionado con diseño (10,66%)
- 5° relacionado con la ejecución de plan de montaje (10,15%)
- 6° relacionados con disponibilidad de materiales/herramientas (4.57%) y transporte (4,57%)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

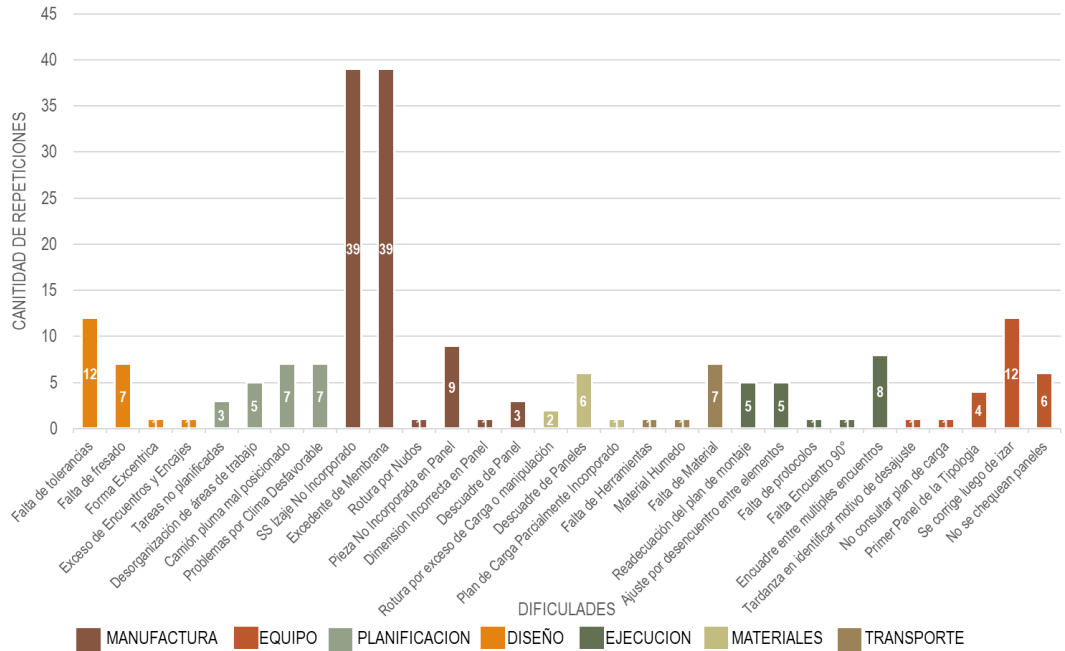


Figura 27. Repetición de dificultades por origen. Fuente elaboración propia.

Las 10 dificultades más frecuentes son:

1. Sistema de izaje no incorporado – Falta de tornillos de izaje (Manufactura): 39 veces
2. Excedente de membrana - 20 a 40 cm de flecos (Manufactura): 39 veces
3. Falta de tolerancias entre encuentros - encajes problemáticos sin milímetros/centímetros de holgura (Diseño): 12 veces
4. Correcciones posteriores al izaje (Experiencia Equipo): 12 veces
5. Piezas no incorporadas en paneles – Pieza de engarce (Manufactura): 9 veces
6. Encuadre entre múltiples elementos (Ejecución Montaje): 8 veces
7. Falta de fresado (Diseño): 7 veces
8. Camión pluma alejado del punto de instalación (Planificación): 7 veces
9. Clima desfavorable – Pausas por lluvia (Planificación): 7 veces
10. Falta de material (Disponibilidad de Material/Herramientas): 7 veces

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

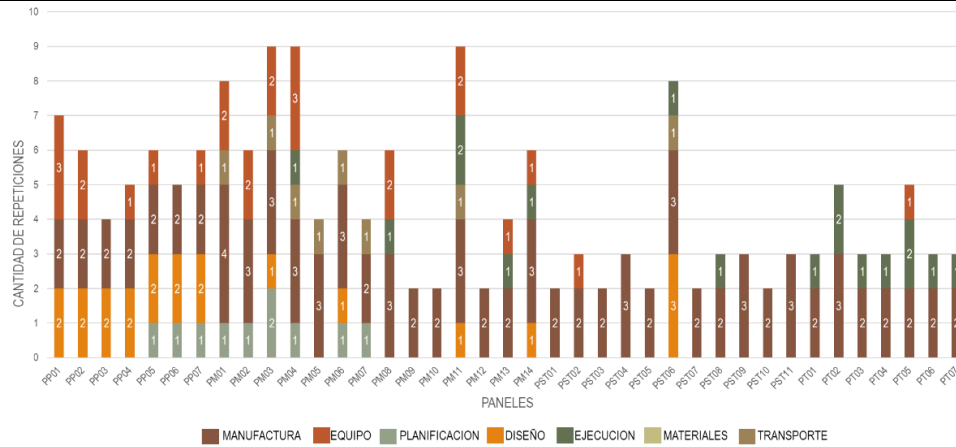


Figura 28. Cantidad y tipo de dificultades registradas por panel. Fuente elaboración propia.

En el gráfico 28 se evidencian las dificultades presentes exclusivamente en la instalación de paneles, de ello se desprende que:

- Existen problemas de manufactura presentes en todos los paneles instalados.



SISTEMA DE IZAJE NO INCORPORADO



EXCEDENTE DE MEMBRANA (20 a 40 cm)



PIEZAS AUSENTES - INCORPORACIÓN EN OBRA

Figura 29. Ejemplos de dificultades por manufactura. Fuente elaboración propia.

- Los problemas de experiencia del equipo se concentran principalmente en la primera mitad del proceso, situación similar ocurre con los factores de planificación
- Los factores de diseño están presentes, principalmente en los paneles de piso.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



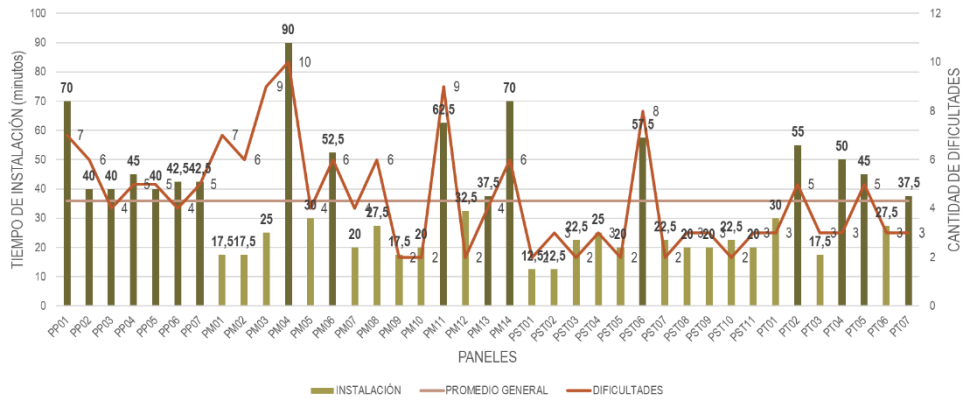
FALTA DE FRESADO - REALIZADO EN OBRA



FALTA DE TOLERANCIA - RETIRO DE PIEZAS

**Figura 30.** Ejemplos de dificultades por diseño.  
Fuente elaboración propia.

- Los factores de ejecución del plan de montaje se presentan más frecuentemente en la segunda mitad del proceso



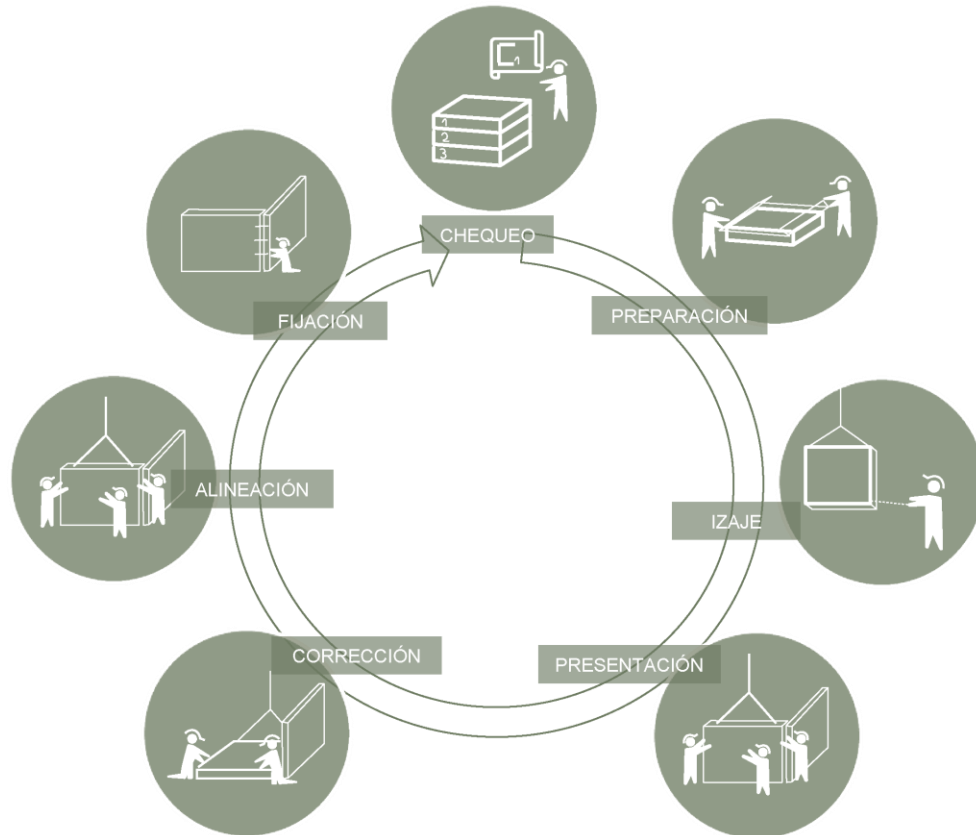
**Figura 31.** Desglose de tiempo de instalación por panel vs cantidad de dificultades presentadas por panel. Fuente elaboración propia.

En gráfico 31 se observa que, a mayor cantidad de dificultades, mayor es el tiempo invertido en instalar. La mayoría de los paneles que sobrepasan el promedio esta asociado a un aumento en los problemas que presente.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4.2.5 SUBETAPAS DEL PROCESO DE INSTALACIÓN

Inicialmente se siguieron un proceso de instalación de al menos 7 subetapas:

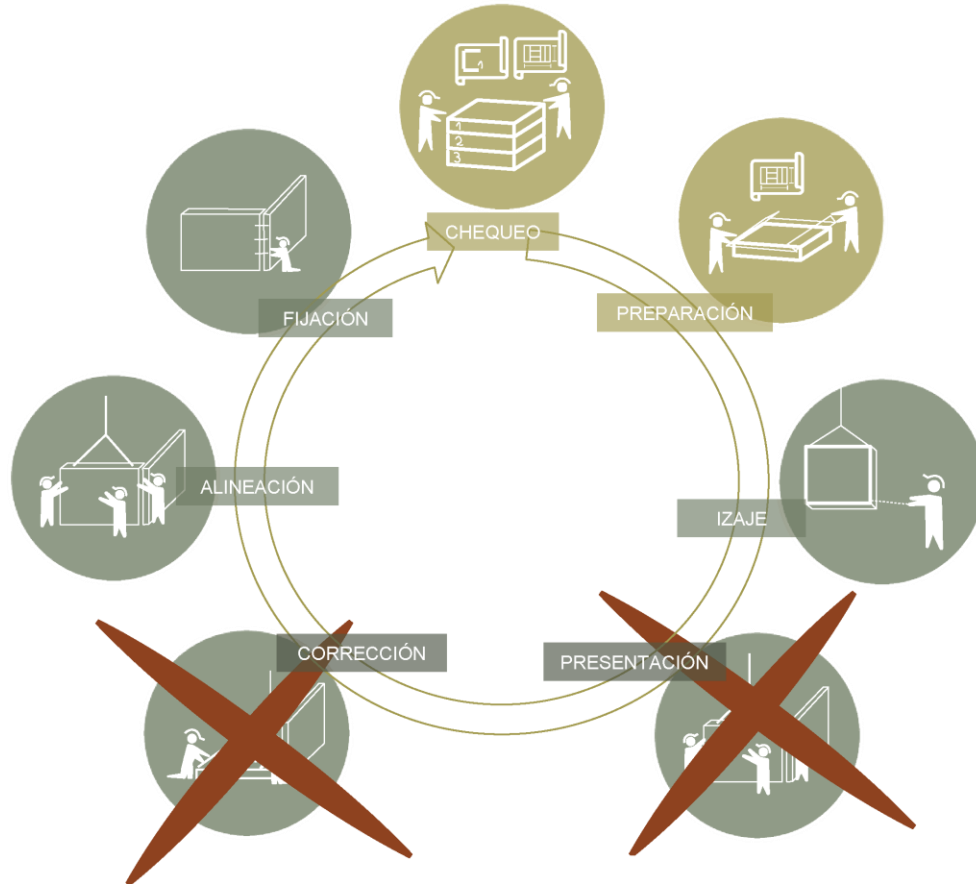


**Figura 32.** Procedimiento de instalación inicial. Fuente: Elaboración propia.

1. Chequeo: Revisión superficial
2. Preparación: Reparación o corrección de daños
3. Izaje: En general el sistema de izaje estaba incompleto o ausente (WASP)
4. Presentación: Posicionamiento tentativo de paneles. La existencia de este paso va necesariamente asociada al siguiente.
5. Corrección: Detención en la instalación para corregir desajustes o falta de elementos en el panel.
6. Alineación final: Posicionamiento definitivo
7. Fijación: Paso final.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

En los casos más desfavorables los pasos anteriormente descritos podían repetirse varias veces. Eventualmente este procedimiento se optimiza reduciéndose a 5 pasos:



**Figura 33.** Procedimiento de instalación final. Fuente elaboración propia.

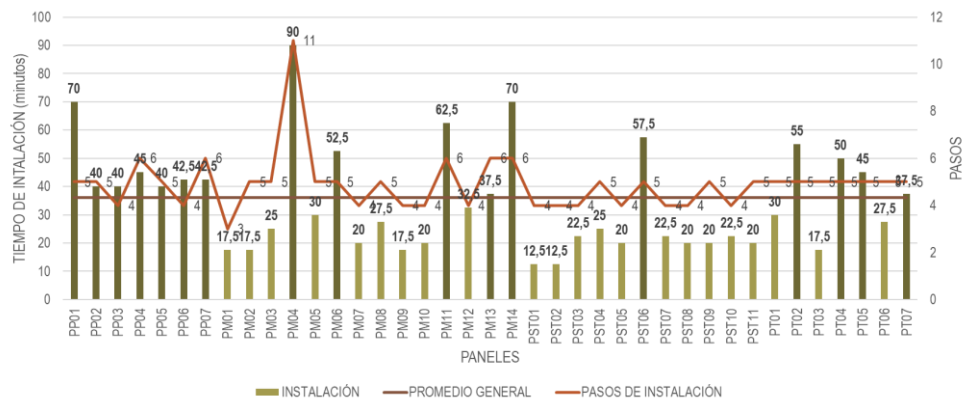
- 1. Chequeo:** Corroboración de medidas y encuadres de cada panel, con planos de manufactura y montaje. Paso realizado por el/ la supervisor/a de obra y el coordinador de izaje.
- 2. Preparación:** O ajuste previo a izaje. Este paso puede o no existir dependiendo del chequeo y, al igual que el anterior, se realizan en paralelo a la fijación.
- 3. Izaje:** A cargo del coordinador de izaje, quien actuaba como rigger trabajando conjuntamente con el operador de grúa y al menos un carpintero de apoyo.
- 4. Alineación:** O posicionamiento definitivo Esta etapa concentraba la mayoría del equipo de montajistas, pues se requiere el uso activo de la pluma, coordinación de izaje, apoyo para el traslado y para el

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

posicionamiento, además de la supervisión para ejecutar un posicionamiento correcto.

**5. Fijación:** Con los elementos mínimos necesarios para sostener estructuralmente. Esto permitía avanzar más rápidamente hacia el siguiente panel. Una vez realizado el armado general, se procede a instalar uniones definitivas. Esto se ejecutaba por uno o dos carpinteros dependiendo de la tipología.

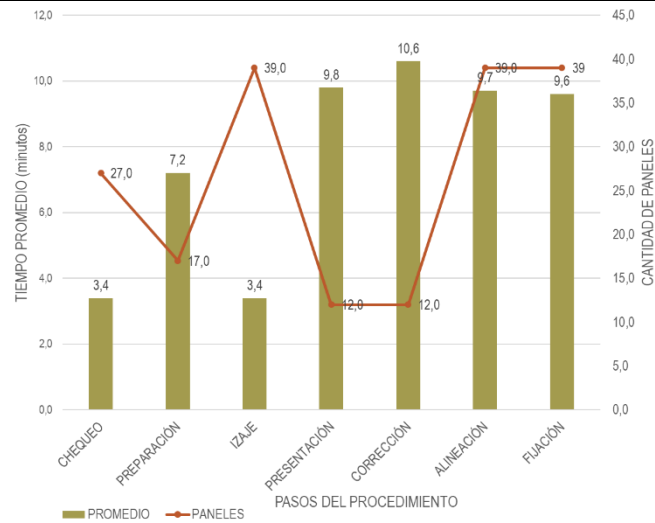
En cuanto a la repetición o redundancia de pasos se observa lo siguiente:



**Figura 34.** Desglose de tiempo de instalación por panel vs pasos de instalación. Fuente elaboración propia.

- Aquellos paneles con 4 pasos o menos, generalmente se instalan en un tiempo menor al promedio.
- Solo un panel es instalado en 3 pasos.
- El panel instalado en mayor tiempo PM04, asociado a una redundancia excesiva de pasos de instalación (11), esto a causa de problemas de manufactura y experiencia del equipo.
- Existe una tendencia a la baja en la cantidad de pasos de instalación durante los 6 días de montaje,

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 35.** Seguimiento de pasos en la instalación de paneles. Fuente elaboración propia.

Al obtener el tiempo promedio que cada subetapa aborda y la cantidad de paneles que consideraron estas subetapas, se visualiza que:

- Las subetapas más prolongadas son la corrección, presentación, fijación y alineación de los paneles, con promedios cercanos a los 10 minutos, seguido de la etapa de preparación con 7 minutos aproximadamente.
- Finalmente, las etapas más cortas son el izaje y el chequeo de paneles con aproximadamente 3 minutos cada una.
- El chequeo + preparación del panel (previo al izaje) toma 10 minutos aproximadamente, es decir, la mitad del tiempo que toma la presentación + corrección.
- Existen 3 pasos imprescindibles, que son el chequeo, la alineación y la fijación.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.3. RESULTADOS OBJETIVO 2:

Analizar la respuesta del equipo a factores recurrentes, y su perspectiva respecto del proceso, definiendo estrategias que permitan abordar oportunamente las dificultades asociadas al equipo que ejecuta la vivienda

#### 4.3.1 EXPERIENCIA DEL EQUIPO Y PERCEPCIÓN DEL PROCESO:



**Figura 36.** Experiencia previa del equipo previo al montaje. Fuente elaboración propia.



**Figura 37.** Esquema de percepción del equipo de montaje sobre el proceso. Fuente elaboración propia.

El proceso fue realizado por un equipo de 6 a 7 carpinteros, dentro de los que la mayoría no tenían experiencia previa en procesos de montaje.

Luego del proceso, la mayoría de los entrevistados manifestó una percepción positiva por la experiencia adquirida. Una menor parte mantuvo una visión cauta, por la complejidad de la información y por el uso de maquinaria pesada. Sin embargo, ninguno de los entrevistados demostró evaluar negativamente el proceso.

De acuerdo a la percepción del equipo se establece que:

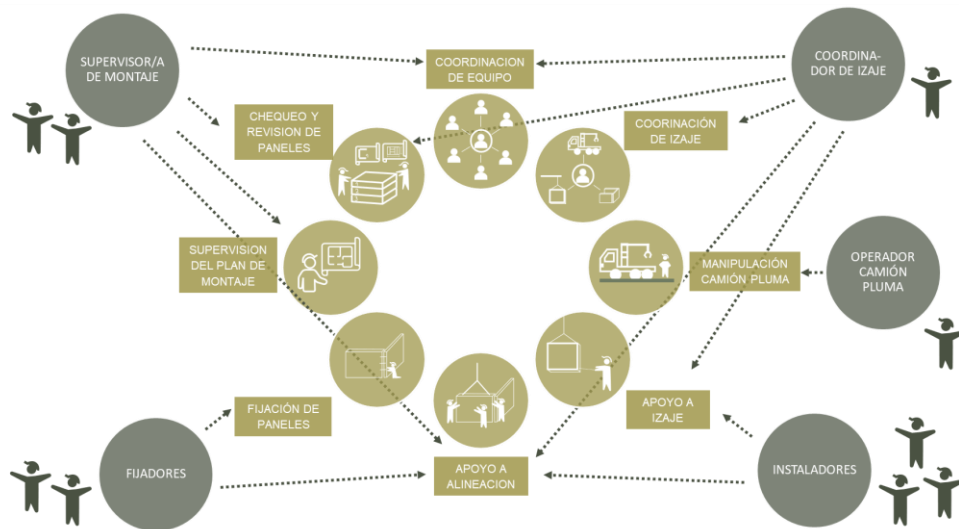
- Existe mayores ventajas que desventajas en la construcción no tradicional
- Las ventajas están relacionadas con la calidad del resultado final y con los conocimientos adquiridos.
- Las desventajas están vinculadas a las dificultades en la ejecución del montaje.
- Todos los entrevistados coinciden en que el proceso se ve beneficiado por la distribución de roles, basada en las cualidades personales de los involucrado

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

La totalidad de los entrevistados coincide en que la falta de experiencia y la falta de definición inicial de roles dificultó los primeros días de montaje. De acuerdo a lo observado, el equipo de trabajo funcionó con la siguiente definición de roles:

- Supervisor/a de Montaje: Encargado de la coordinar tareas e instrucciones para el equipo de montajistas, chequeo de paneles, garantizar la correcta ejecución del plan de montaje.
- Coordinador de carga e Izaje: Encargado de la coordinación del equipo de montajistas, y apoyo en el proceso de izaje, transmitiendo instrucciones desde el equipo de instalación hacia el operador grúa y viceversa.
- Operador de Camión Pluma: Encargado de la manipulación de pluma desde el camión.
- Instaladores: Encargados de dar apoyo al a la preparación e izaje, así como a la alineación definitiva asegurando calces entre elementos
- Fijadores: Encargados de la fijación de paneles, con claridad del tipo de fijación correspondiente a cada caso.

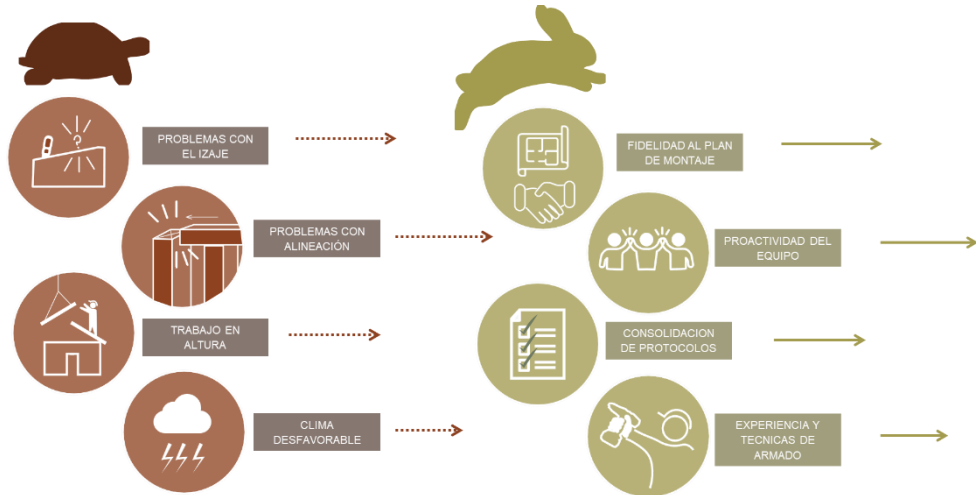
La mayoría de los participantes, realizan más de una función, por lo que el organigrama de trabajo se ve de la siguiente forma:



**Figura 38.** Esquema de organización del equipo de montajistas, roles y funciones. Fuente elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4.3.2 FACTORES QUE IMPACTAB LA VELOCIDAD DE MONTAJE:



**Figura 39.** Síntesis de factores que impactaron la velocidad del montaje.  
Fuente elaboración propia.

De acuerdo a la percepción de los entrevistados el proyecto se vio enlentecido por los siguientes factores:

- Presencia de muchas personas que perturbaba el entorno de trabajo.
- Trabajo en altura y las limitaciones al trabajar en espacios reducidos y con restricciones de movimiento/acceso.
- Problemas en la alineación, al generarse desencuentros, descuadres y dificultad de manipulación del producto manufacturado. Esto provocaba presentaciones repetitivas de un mismo panel
- Problemas en la fijación: Especialmente en aquellos paneles de difícil acceso como los de techo.
- Manejo lento de camión pluma e izaje, debido a la falta de incorporación del sistema de izaje desde fábrica, o a la falta de experiencia elevando este tipo de carga.
- Clima desfavorable, que provocó la detención de faenas o mayor presión por la amenaza de lluvia.

Por otra parte, los factores mencionados que aceleran el proceso son:

- Fidelidad a plan e instrucciones de montaje, para evitar confusiones en el procedimiento
- Definición de roles, sumado a la capacidad de trabajar colaborativamente
- Protocolos de instalación, incorporando el chequeo y preparación de paneles antes de izar.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

- 
- Técnicas de Armado, incorporando estrategias como “apuntalamiento” de paneles con sus fijaciones mínimas, permitiendo avanzar rápidamente hacia el siguiente panel. Además del uso de herramientas especializadas en montaje.

### 4.3.3 HERRAMIENTAS Y RECURSOS INDISPENSABLES

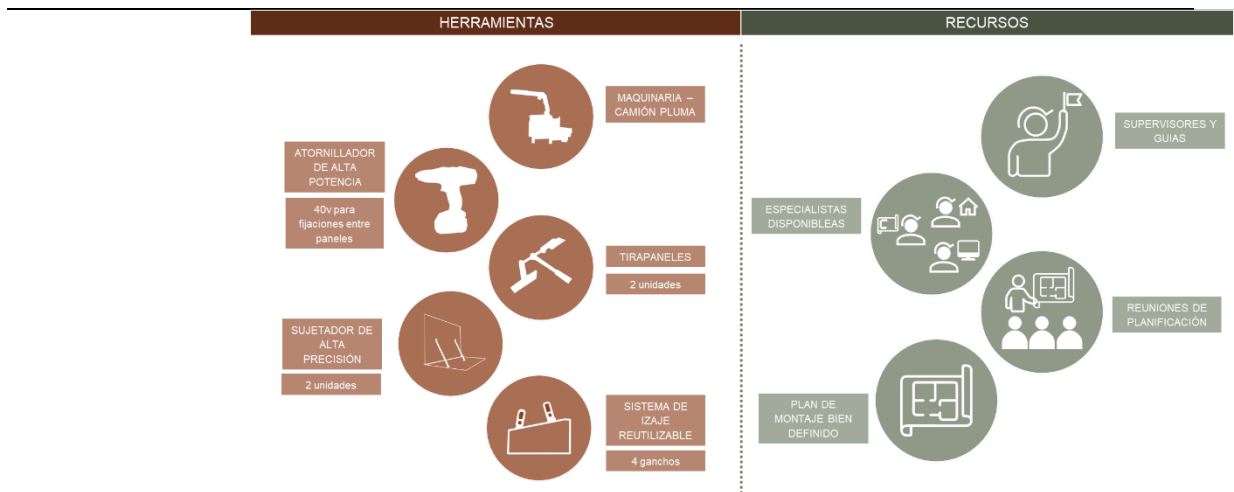
El equipo de montajistas manifiesta que contar con herramientas especializadas en montaje, permite ahorrar tiempo en comparación con herramientas tradicionales. Se valora positivamente contar con:

- Camión pluma para movimientos de obra gruesa.
- Sistema de izaje reutilizable - WASP (4 ganchos)
- Sistemas de sujeción de alta precisión - Giraffe (2 unidades)
- Tirapaneles para el ajuste y encuadre – 2 o más
- Atornilladores de alta potencia – mínimo 40v para fijaciones entre paneles (2 unidades) y 18v para trabajos menores como instalación de elementos on site (2 unidades)
- Nivel Laser (1 unidad)

En cuanto a los recursos disponibles, la mayoría de los entrevistados mencionan:

- La presencia permanente de supervisores, facilitando la toma de decisiones y garantizando el cumplimiento del plan de montaje (al menos 1 supervisor permanentemente)
- Disponibilidad de los profesionales involucrados (ingeniería, arquitectura, diseño, etc)
- Planificación previa del orden de montaje, con la sugerencia de presentar información más precisa y desglosada (Planos de montaje en planta, Detalles simplificados de uniones, Elevaciones simplificadas de posición de placas metálicas)
- Incorporación de instancias de capacitación previas al proceso.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



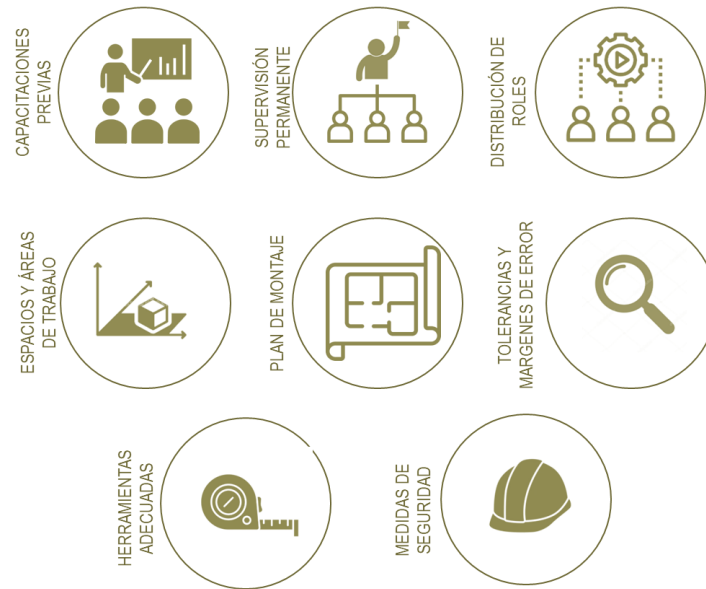
**Figura 40.** Herramientas y recursos clave para facilitar el montaje. Fuente elaboración propia.

### 4.3.4 RECOMENDACIONES PARA EJECUTAR

De acuerdo a la percepción del equipo de montajistas, para implementar el proceso desde un equipo sin experiencia previa debe considerarse:

- Contar con la asesoría y guía adecuada
- Emplear todas las medidas preventivas de seguridad por trabajo en altura e izaje
- Rectificar las medidas de todos los paneles al momento de recibir la carga.
- Poner atención a las tolerancias y márgenes de error que el sistema constructivo permite, que son bajas.
- Respetar la planificación de cargas y plan de montaje
- Realizar más capacitaciones, enfatizando en encuentros, uniones, trabajo con maquinaria pesada e izaje
- Distribuir roles tempranamente, acompañado de capacitaciones enfocadas a los roles de cada integrante del equipo
- Manejar un espacio de trabajo ordenado y limpio facilitando el movimiento de paneles y la organización de material.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



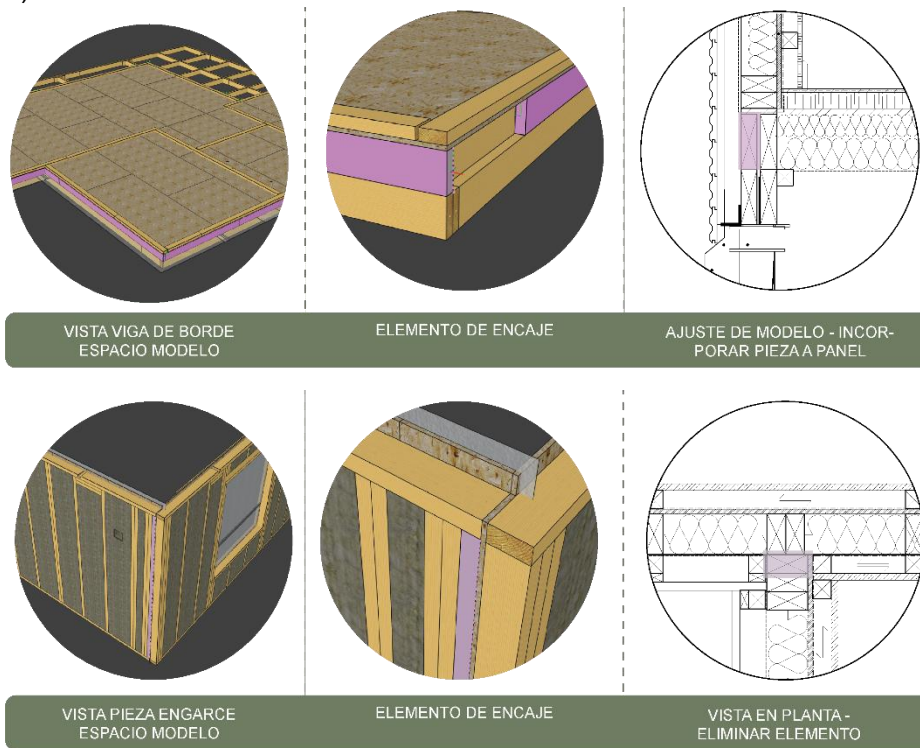
**Figura 41.** Síntesis de recomendaciones. Fuente elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4. DISCUSIÓN

#### 4.2. RESPECTO DE LAS ACTIVIDADES PREDOMINANTES DEL PROCESO:

En cuanto a las actividades realizadas y tiempos asociado, se evidencia que existe una correlación directa entre el tiempo invertido para la instalación y la cantidad de unidades instaladas. Por el contrario, se detecta una correlación inversa entre las actividades de “armado de elementos on site” con la cantidad de paneles instalados; disminuyendo el rendimiento cuando estas actividades son predominantes. Se demuestra que con ajustes de diseño, es posible disminuir el tiempo destinado a ellas. Un ejemplo de ello es lo ocurrido con la “viga de borde” cuya instalación se enlenteció por la dificultad de su encaje hacia los elementos prefabricados, haciendo que su aporte fuera contraproducente. En casos como este, la recomendación es evitar emplear elementos puestos on site, si no son estrictamente necesarias, enfocándose siempre en soluciones que faciliten la conexión entre elementos prefabricados con los instalados en obra. (CIM UC,2024).



**Figura 42.** Ajustes de diseño desde modelo 3D para mejorar armado. Fuente elaboración propia.

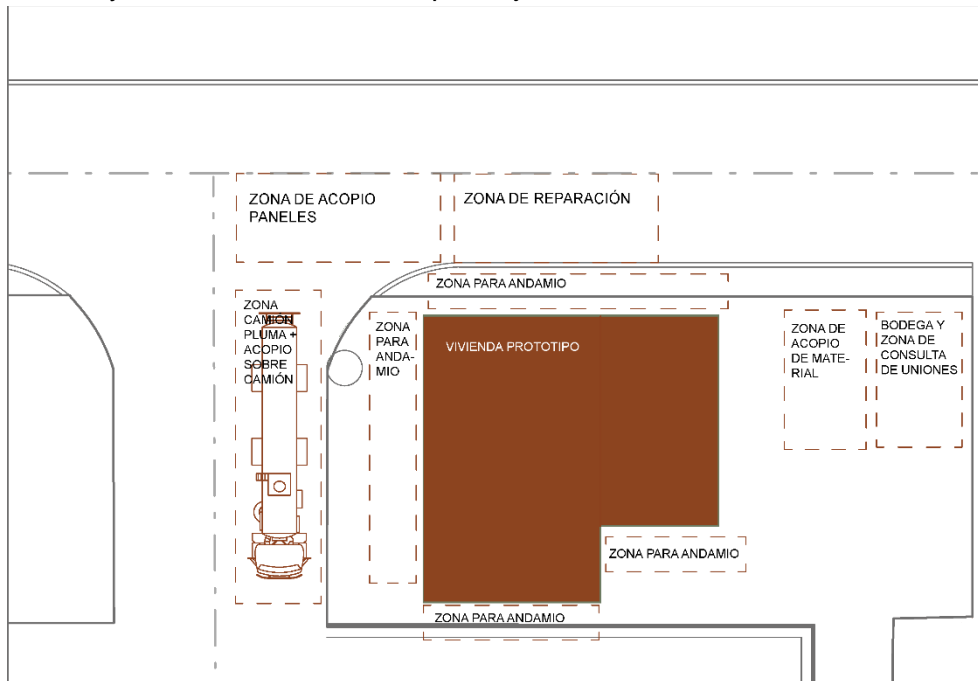
Del mismo modo hay una correlación inversa entre las actividades de “organización de espacio de trabajo” y el rendimiento de instalación, dado que la falta de claridad en las zonas sumado a actividades no planificadas enlentecía el procedimiento de instalación.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

En ese sentido los ajustes deben ir enfocados a la planificación de zonas, incorporando al menos los siguientes espacios de trabajo:

- Zona de almacenamiento de material y andamios
- Zona de reparación o preparación de paneles
- Zona de acopio y almacenamiento de paneles

Los espacios de trabajo deben ser parte de la planificación previa, para darles las características y dotaciones necesarias para ejecutar su función.



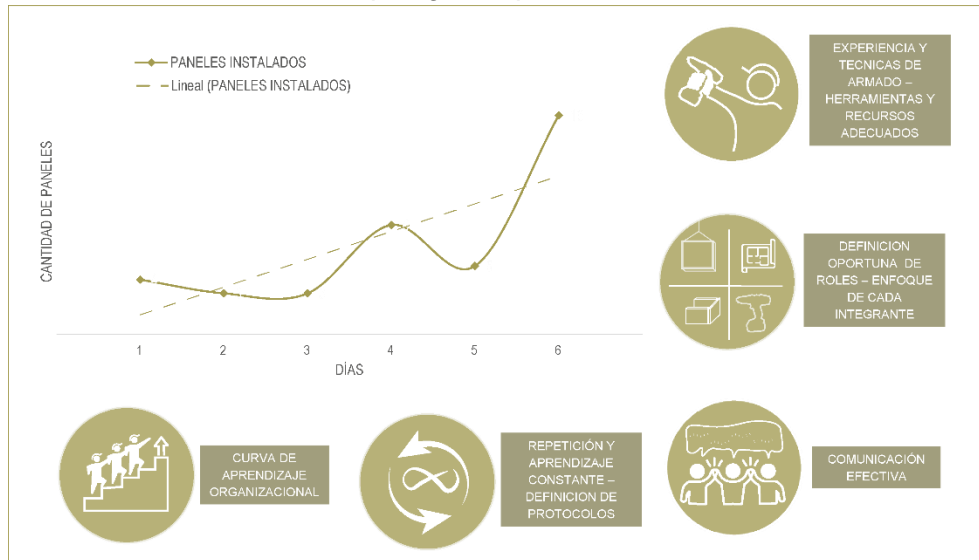
**Figura 43.** Esquema de distribución de áreas de trabajo Vivienda Prototipo. Fuente elaboración propia.

Así mismo, los tiempos de ejecución podrían disminuir fuertemente si se sigue fielmente el plan de cargas, respetando el orden de desde fabrica y manteniéndolo en las zonas de acopio en obra previamente definidas. Por otra parte, si bien el trabajo en condiciones adversas entorpeció la ejecución y generó más presión hacia el equipo de montajistas, se trataba de una situación particular que también puede ser mejorado desde una adecuada planificación previa; ahorrando al menos media jornada laboral de montaje.

Con respecto al progreso en la instalación de paneles, se observa un incremento progresivo del número de paneles instalados y, por el contrario, una disminución en el tiempo de instalación por panel. Esto demuestra la superación de una curva de aprendizaje por parte del equipo de montajistas en solo 6 días de trabajo. El concepto

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

de la “curva de aprendizaje”, se entiende como la línea que muestra la relación entre el tiempo de producción y el número acumulativo de unidades producidas, donde el aprendizaje depende del tiempo (citado en De la Cruz,2020). En contextos como la construcción, puede ser de tipo individual, donde la mejora se da a partir de la repetición de procesos que permite adquirir experiencia y con ello habilidad y eficiencia; o de tipo organizacional, que se refiere a la mejora de la organización como resultado del aprendizaje individual de quienes componen dicha organización (Grajales, Alonso, Samayoa & Castellanos, 2014). Si bien, la ejecución tendía a ser más lenta los primeros días por la falta de experiencia, hacia el final incluso se logró abordar una mayor variedad de tipologías en menos jornadas, lo que demuestra un aprendizaje tanto individual como organizacional, que permitió adaptar los métodos de instalación en función de las variaciones entre tipología de panel.



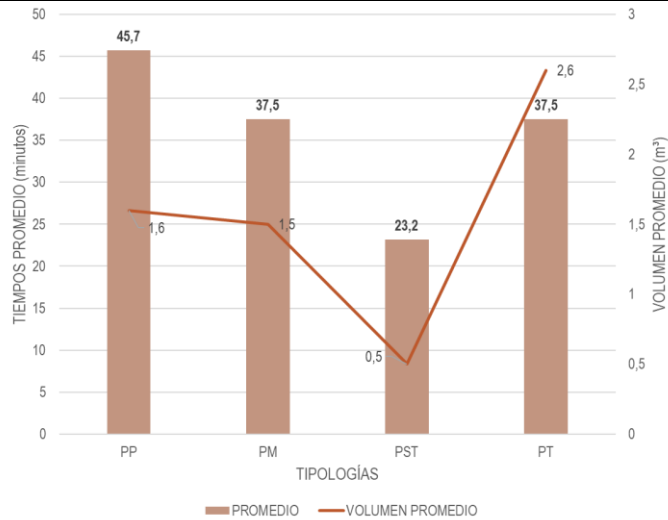
**Figura 44.** Esquema de Curva de Aprendizaje Vivienda Prototipo. Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. RESPECTO DE LAS VARIABLES ENTRE TIPOLOGIAS DE PANEL:

La diferencia entre los promedios de instalación es consecuencia de las características propias de cada tipo de panel, como:

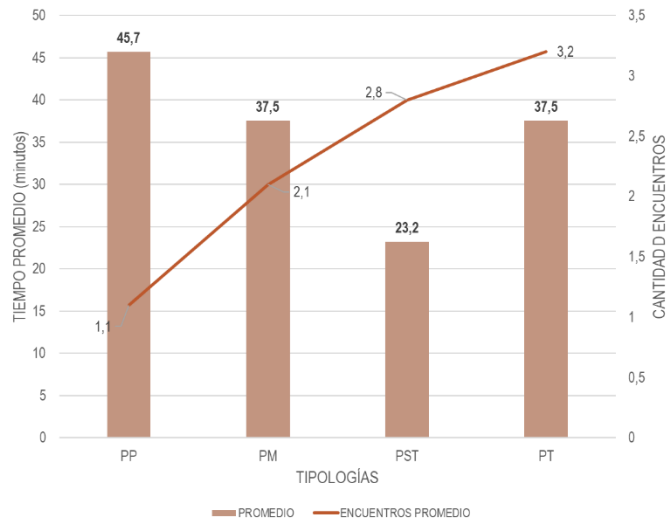
- Un mayor volumen, tienden a estar asociado a una mayor cantidad de tiempo en la instalación. Esto a causa de la dificultad que representa trasladar y alinear un panel más grande. Sin embargo, un panel de mayores dimensiones también significa una mayor superficie instalada con menos componentes y menos movimientos, lo que puede resultar favorable para un armado rápido.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 45.** Relación entre tiempo promedio de instalación y volumen por tipología. Fuente elaboración propia.

- En la medida que se avanza en el proceso de instalación aumenta la cantidad de encuentros entre paneles, lo que aumenta la dificultad para encajar los elementos entre sí. Esto también repercute en el tiempo promedio de instalación.



**Figura 46.** Relación entre tiempo promedio de instalación y encuentros por tipología. Fuente elaboración propia.

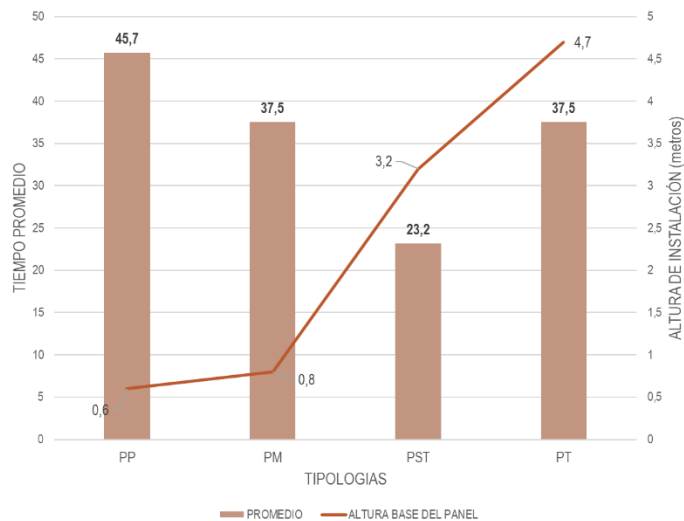
- En cuanto a la altura base de instalación, en general no se observa un aumento de tiempo causado por el aumento de altura. Sin embargo, si se analiza

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

particularmente las tipologías instaladas durante un mismo día (sobretabique y techo) si existe un aumento en el tiempo de instalación asociado a este factor. A simple vista este factor no parece ser evidentemente determinante, no obstante, de acuerdo a lo investigado, este es uno de los factores de mayor incidencia en el aumento del tiempo de instalación, puesto que se dificulta la manipulación y movimiento de los montajistas. Se considera trabajo en altura aquel realizado a 1,8 metros o más respecto al nivel más bajo (Instituto de Salud Pública de Chile, 2011) lo que implica que, más de la mitad de los paneles de la vivienda son afectados por este factor.

Lo anterior permite interpretar que:

- La readaptación de las dinámicas de trabajo, efectivamente significa mayor tiempo, pues la altura entorpece el movimiento de montajistas, la comunicación con el equipo y la manipulación de los paneles.
- Existe otro factor predominante que provoca unas mayores demoras al inicio del proceso, en donde la altura es más favorable, que es la experiencia del equipo
- En la medida que un proyecto de estas características vaya realizándose con mayor experiencia, los tiempos de instalación deberían ser menores que los presentados por sobretabique y techo, ya que estas son las tipologías de mayores alturas.
- Probablemente el factor de altura influye más drásticamente en la medida que la instalación de los paneles es realizada en tiempos más óptimos.



**Figura 47.** Relación entre tiempo promedio de instalación y altura base por tipología. Fuente elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

Los factores mencionados son más desfavorables en la tipología de techo, que es la última en ser instalada. Esto explica porque existen más problemas relacionados a la ejecución del plan de montaje hacia el final del proceso.

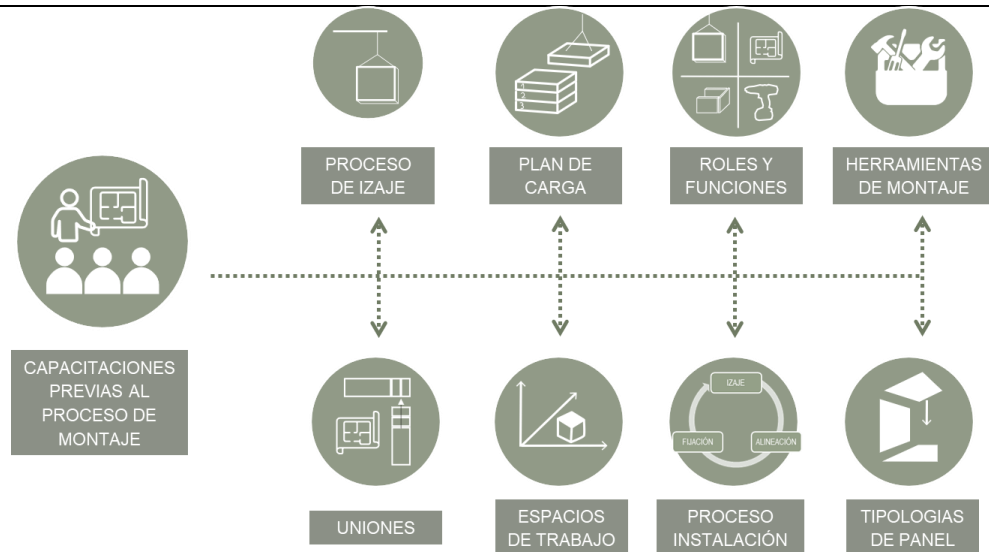
#### **4.4. RESPECTO DE LAS DIFICULTADES PREDOMINANTES:**

Queda demostrado que un aumento en las dificultades repercute en el tiempo de instalación y, por consiguiente, el tiempo total de montaje. Las dificultades relacionadas a la manufactura son menores, aunque repetitivas y presentes en todos los paneles, con problemas como falta de elementos o excedentes de material. Estas se explican por la falta de control de calidad previo al despacho del panel desde fábrica. Implementar este tipo de procedimientos facilita el ajuste entre elementos durante el montaje, y es un proceso esencial para garantizar la calidad y seguridad de la vivienda, reduciendo costos y riesgos durante el montaje (CIM UC, 2024). Dichos controles de calidad deberían considerar el chequeo de, al menos, las dimensiones generales del panel, los componentes incorporados y la disposición de estos de acuerdo a la planimetría de montaje. Esto debe realizarse previo al despacho de paneles.

Por otro lado, los problemas relacionados a la experiencia del equipo están vinculados a la integración de un proceso nuevo, por lo que en la medida que este se repite, se evidencia como disminuyen los errores, incluso desapareciendo hacia el final del proceso. Como se menciona anteriormente, para que mejore el proceso de montaje, es necesario reforzar el aprendizaje individual de cada miembro del equipo. En este caso, podría aplicarse una oportuna preparación enfocada en acelerar la superación de la curva de aprendizaje, mediante capacitaciones adecuadas y especialización del trabajo a realizar (Grajales, Alonso, Samayoa & Castellanos, 2014) contemplando, al menos los siguientes contenidos:

- Roles, funciones y organigrama de trabajo
- Plan de carga
- Procedimiento de izaje
- Proceso de instalación de paneles
- Encuentros y uniones entre paneles
- Orden de armado y tipologías de panel
- Herramientas especializadas en montaje
- Espacio y áreas de trabajo en obra.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 48.** *Contenidos clave para capacitaciones.* Fuente elaboración propia.

En cuanto a lo relacionado con el diseño, existen ajustes menores que pueden reducir en drásticamente el tiempo de instalación. Algunos factores como forma excéntrica, el exceso de encuentros hacia un solo panel o la existencia de piezas de encaje, puede ser corregidos desde el diseño incorporando mayores tolerancias. Esto permitiría hacer el proyecto más eficiente mediante mejoras que faciliten el ensamblaje (Gbadamosi, 2019).

De la misma forma, los problemas relacionados a la ejecución del plan de montaje pueden corregirse con ajustes al orden de armado. Probablemente la estrategia más relevante esta línea es la aplicación de un procedimiento de la instalación de 5 subetapas como máximo. Durante el desarrollo del montaje, estas subetapas o pasos de instalación fueron puliéndose gracias a la implementación de protocolos que evitaban improvisaciones, entregando lineamientos base al equipo de montajistas sobre procedimientos ante dificultades. Dichos protocolos son:

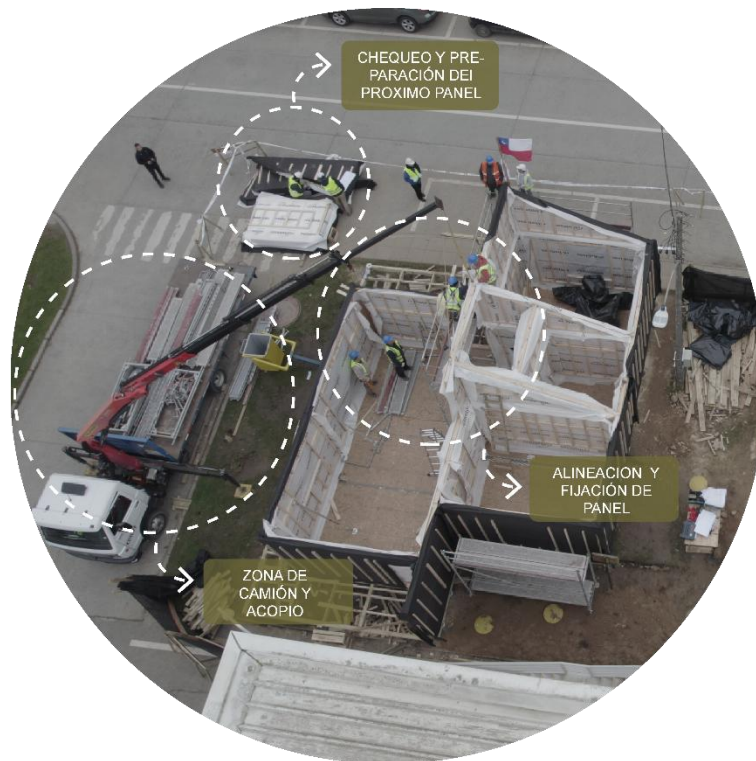
- Protocolo de chequeo de paneles: Revisión y medición de los elementos con planimetría de manufactura en mano, una vez que la carga está disponible y estrictamente previa al izaje. Esta tarea debe realizarse en simultaneo con la fijación del panel anterior.
- Protocolo de preparación: Esto varía dependiendo de la tipología, pero el objetivo es hacer el panel más manipulable antes de elevarlo. Por ejemplo, en este caso se realizó engrapando membranas o instalando el sistema

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

WASP. Al igual que lo anterior, esta tarea debe ejecutarse en simultaneo con la fijación del panel anterior.

- Protocolo de reparación: En caso de que el panel posea una falla mayor como rotura de componentes, descuadre de placas o rajadura de membrana, se debe determinar una zona aparte nivelada que permita trabajar en la corrección del elemento, en simultaneo a la instalación del siguiente panel, evitando la detención del proceso.

Cabe mencionar que se hace especial énfasis en la realización de actividades en paralelo para optimizar el uso del tiempo y el espacio de trabajo.



**Figura 49.** Ejemplo de realización de actividades simultáneamente . Fuente elaboración propia.

#### 4.5. RESPECTO AL PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN:

A partir de las estrategias descritas logró reducirse el esquema de instalación de 7 a 4 pasos. Sin embargo, de acuerdo a lo manifestado por asesores y supervisores, el esquema podría optimizarse aún más, eliminando paulatinamente pasos como el “chequeo” y, por consiguiente, la “preparación”

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

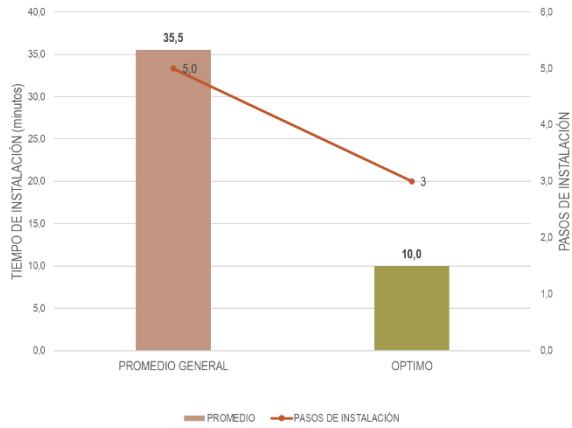
de los paneles, ya que la calidad de los productos manufacturados debe garantizarse desde fábrica, lo que permitiría limpiar el proceso.



**Figura 50.** Esquema de mejora: procedimiento optimizado vs ideal. Fuente elaboración propia.

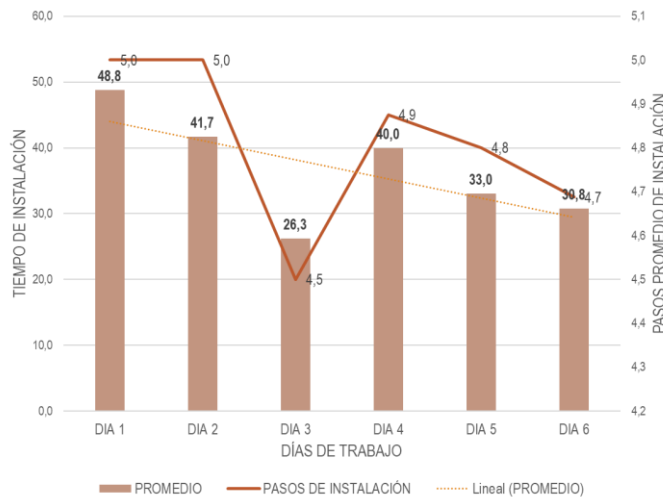
En cuanto a los tiempos de ejecución de un proceso de montaje, existen soluciones que, dependiendo de factores como ubicación, disponibilidad de material, y experiencia del equipo, puede hacer que varíen entre sí. (CIM UC, 2024). Sin embargo, de acuerdo a lo indagado, el promedio de instalación del proceso podría no sobrepasar los 10 minutos independientemente de la tipología de panel, si el proceso de instalación es el adecuado y si el producto recibido está bien manufacturado.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera



**Figura 51.** Promedio de tiempo y pasos reales vs óptimos. Fuente elaboración propia.

El promedio actual (35.5 minutos) sobrepasa en más de 3 veces al recomendado por asesores. Del mismo modo, los pasos de instalación ( $\bar{x}$  5 pasos) también superan los recomendados (3 a 4 pasos). Sin embargo, ambos criterios tienden a disminuir durante los 6 días de montaje existiendo una correlación directa entre la disminución de pasos y la reducción del tiempo de instalación. Esto vuelve a sugerir que la ejecución del montaje se acerca a lo óptimo en la medida que se repite.



**Figura 52.** Relación entre tiempo promedio de instalación diaria y cantidad de pasos ejecutados. Fuente elaboración propia.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 4.6. RESPECTO A LA PERCEPCIÓN DEL EQUIPO:

Inicialmente la ejecución se percibía como compleja, sin embargo, eventualmente el equipo demostró una adaptación exitosa a un tipo de construcción no tradicional e industrializada, desde la cohesión, el apoyo mutuo y la comunicación efectiva entre pares. Esto refuerza la idea de que la motivación frente al desafío, que es fundamental para superar la curva de aprendizaje (Grajales, Alonso, Samayoá & Castellanos, 2014), propiciada por el aumento de conocimiento técnico y experiencia, aceleró el proceso de montaje.

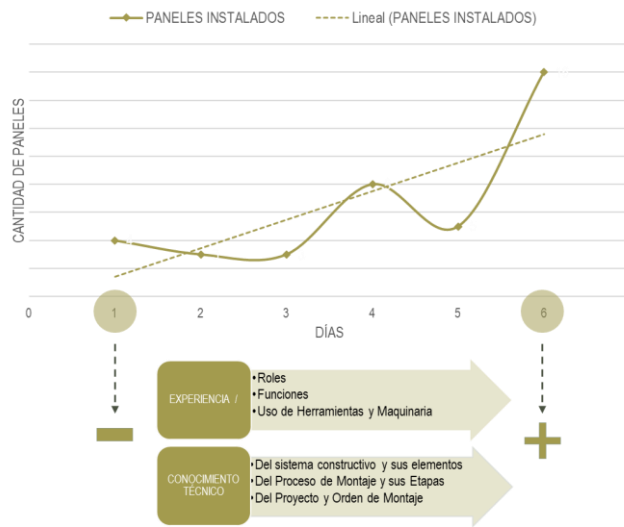


Figura 53. Progreso del proceso. Fuente elaboración propia.

Por otro lado, la mayoría de los involucrados asumió múltiples funciones, lo que sugiere que, con una organización adecuada, también podría optimizarse el número de personas involucradas. Esta mejora permanente, sumada a factores como el apego al plan de montaje y la implementación de protocolos de trabajo, otorgan un escenario propicio para proceder.

La valoración positiva de herramientas especializadas en montaje, recalca la efectividad de una adecuada dotación tecnológica como estrategias para reducir tiempos y aumentar la precisión, aun cuando esto supone una inversión. Así mismo, la presencia de supervisores como apoyo permanente en la toma de decisiones garantiza un correcto desarrollo del proceso. Esto, complementado con una distribución temprana de roles entre los montajistas, sugiere que la consolidación del equipo previo al montaje, con sus respectivas capacitaciones, puede ser muy favorable para enfrentar el desafío desde una perspectiva colaborativa.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 5. CONCLUSIÓN.

La investigación permitió evaluar la brecha entre la planificación del proceso de montaje y su ejecución real, identificando factores críticos y oportunidades de mejora. El análisis se centró en una vivienda panelizada en entramado liviano, fabricada con bajo nivel tecnológico y ejecutada por un equipo sin experiencia previa, demostrando que es posible llegar a un alto estándar de vivienda social, a pesar de las dificultades inherentes a ambos escenarios.

Se evidencia que el plan preliminar de montaje, que solo contemplaba 4 días, no se ajusta a la realidad ya que solo contempla criterios de optimización de viajes y cargas para el transporte de paneles, quedando demostrado que aplicar solo este criterio para el diseño de un plan de montaje es insuficiente. La siguiente iteración contempló 5 días, incorporando, además, criterios de armado general, de esta manera, se distribuyen los objetivos diarios en concordancia con las tipologías de paneles a instalar. Si bien, esta versión se acerca un poco más, aun no coincide con los tiempos de ejecución real.

En la investigación quedan evidenciados algunos de los factores que alimentan esta brecha, constatándose que el tiempo invertido en la instalación por panel disminuye progresivamente conforme el equipo de montajistas supera la curva de aprendizaje de un proceso nuevo que va en línea con los MMC en madera. Esto no solo confirma la hipótesis inicialmente, sino que también evidencia que existe una serie de factores relacionados con la planificación, el asertividad del plan de montaje, el planteamiento de diseño, la calidad del producto manufacturado, la rigurosidad del transporte y las características tipológicas de cada panel, que afectan los tiempos de instalación.

La naturaleza de la mayoría de las dificultades identificadas guarda relación con etapas previas al montaje, lo que demuestra que esta fase pone a prueba todo lo desarrollado previamente. Por ello, cualquier estrategia o decisión en dichas etapas repercute directamente en esta, lo que, a su vez, subraya lo esencial que es abordar los problemas en sus etapas de origen, pues resolverlos durante el montaje es contraproducente.

De la etapa de diseño se desprende que ajustar ciertos planteamientos puede mejorar significativamente el rendimiento, como el descarte de elementos de menor relevancia (viga de borde y piezas auxiliares secundarias). Desde la manufactura, se demuestra que la calidad del producto es fundamental para agilizar los tiempos de montaje, subrayándose la importancia de implementar controles de calidad previos al despacho de paneles hacia la obra. En cuanto a la planificación, destaca que una organización precisa del espacio y el apego al plan de cargas previamente definido, es la base para lograr un armado fluido. También se demuestra que las tipologías de paneles, y sus variaciones en cuanto a altura, volumen y encuentros, son factores relevantes a

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

considerar para la definición del plan de montaje, pues requieren estrategias diferenciadas en el armado.

Estos y otros hallazgos tuvieron una oportuna respuesta de parte del equipo, tanto por su recurrencia como por su impacto, destacándose la importancia de definir roles, establecer protocolos y utilizar herramientas especializadas en montaje, que son fundamental para ir en concordancia con los procesos de industrialización. El equipo de montajistas destaca por su proactividad y disposición a aprender, lo que también demuestra ser un factor de relevancia para el éxito en la ejecución del proyecto. Esto, sumado a la implementación de capacitaciones enfocadas en la ejecución del plan de montaje, contribuiría favorablemente a la superación rápida de la curva de aprendizaje, optimizando los tiempos.

Por último, es importante mencionar que los resultados confirman la relevancia de analizar detalladamente el proceso para identificar fallas y oportunidades de mejora, fortaleciendo el proceso en la medida que se repite gracias a las respuestas desarrolladas y a la experiencia acumulada. Esto, sumado a pequeños ajustes menores en las etapas previas optimizará el proceso, reduciendo la brecha entre lo planificado y lo ejecutado

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (s. f.). *Déficit habitacional en Chile*. Centro de Estudios MINVU. Recuperado de <https://centrodeestudios.minvu.gob.cl/deficit-habitacional/>
2. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (s. f.). *Nueva reglamentación térmica*. Recuperado de <https://www.minvu.gob.cl/nueva-reglamentacion-termica/>
3. Global Alliance for Buildings and Construction (GlobalABC). (2020). *2020 Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Recuperado de [https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR\\_FULL%20REPORT.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf)
4. Gobierno de Chile. (2022). *Un hito en la historia medioambiental de Chile: Contamos con nuestra primera Ley Marco de Cambio Climático*. Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/un-hito-en-la-historia-medioambiental-de-chile-partir-de-hoy-contamos-con-nuestra-primera-ley-marco-de-cambio-climatico/>
5. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (s. f.). *Construcción Industrializada*. Recuperado de <https://www.minvu.gob.cl/construccion-industrializada/>
6. CIM UC - MINVU. (2023). *Base de datos e Indicadores para el seguimiento de la Construcción en Chile*. Recuperado de <https://www.disenamadera.cl/Documentos%20y%20Guias/Base%20de%20datos%20e%20indicadores%20construccion%20Chile.pdf>
7. Gao, S., Jin, R., & Lu, W. (2019). *Design for manufacture and assembly in construction: a review*. *Building Research & Information*, 48(5), 538–550. <https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>
8. Lu, W., Tan, T., Xu, J., Wang, J., Chen, K., Gao, S., & Xue, F. (2020). *Design for manufacture and assembly (DfMA) in construction: the old and the new*. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(1–2), 77–91. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1768505>
9. Banco Mundial. (2020). *La construcción de viviendas en madera en Chile: Un pilar del desarrollo sostenible y la agenda para la recuperación económica*. Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34572>
10. Centro UC de Innovación en Madera. (2020). *Manual de soluciones constructivas*. Centro UC de Innovación en Madera. <https://madera.uc.cl/proyectos/proyectos-de-transferencia/finalizados/manual-de-soluciones-constructivas>
11. Aguilera, M., Benedetti, S., Gallardo, C., & Ulloa, D. (2020). *Estudio Percepción Construcción en Madera*. Documento de Divulgación N° 49, Estudio Periódico de Temáticas de Madera N° 3. Instituto Forestal. <https://madera.uc.cl/images/recursos/estudio-percepcion-construccion-en-madera-infor.pdf>

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

- 
12. Instituto Forestal. (2021). *Estudio de percepción de la construcción en madera en Chile*. Instituto Forestal.  
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/31291/31291.pdf>
  13. Gao, S., Jin, R., & Lu, W. (2020). *Design for manufacture and assembly in construction: a review*. *Building Research & Information*, 48(5), 538-550.  
<https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>
  14. Yuan, Z., Sun, C., & Wang, Y. (2018). *Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings*. *Automation in Construction*, 88, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.021>
  15. Gbadamosi, A. Q., Mahamadu, A.-M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Manu, P., Mahdjoubi, L., & Aigbavboa, C. (2019). *Offsite Construction: Developing a BIM-Based Optimizer for Assembly*. *Journal of Cleaner Production*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.113>
  16. Avilés Vélez, L. F. (2021-2022). *Estudio de las técnicas de prefabricación para su aplicación a las viviendas modulares* (Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial). Tutor: J. I. Sirvent Mira. Cotutor: A. Bolta Escolano.
  17. Loras Marca, A. (2019-2020). *Análisis constructivo de la arquitectura modular actual destinada a viviendas unifamiliares* (Tesis de pregrado, Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Arquitectura). Tutor: F. J. Cubel Arjona.
  18. Espinoza G., M., & Mancinelli Z., C. (2000). *Evaluación, diseño y montaje de entramados prefabricados industrializados para la construcción de viviendas* (Manual 29). Concepción, Chile.
  19. Rutte González, F. A. (2008). *Análisis del proceso de industrialización de estructuras de madera para viviendas de un sector socioeconómico medio de la población* (Tesis de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil). Profesor Guía: G. Lacrampe Holtheuer.
  20. Fritz, A., & Ubilla, M. (2012). *Manual de diseño, construcción, montaje y aplicación de envoltentes para la vivienda de madera*.
  21. Centro de Innovación en Madera UC (CIM UC). (2024). *Guía de Diseño e Industrialización en Madera*. Primera versión web. Pontificia Universidad Católica de Chile y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).
  22. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). *Resolución 59 EXENTA: Establece condiciones y mecanismos de aprobación de proyectos de viviendas industrializadas tipo y fija el procedimiento para revisión de proyectos que incorporen el uso de viviendas industrializadas tipo, desarrollados en el marco de los programas habitacionales Fondo Solidario Elección de Vivienda DS N°49 (V. Y U.) de 2011, y de Habitabilidad Rural DS N°10 (V. Y U.) de 2015*. Publicación: 23-

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

ENE-2023, Promulgación: 17-ENE-2023. Última versión de: 29-ABR-2024. Última modificación: 29-ABR-2024 Resolución 596 EXENTA. Recuperado de <https://bcn.cl/3m76x>

23. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). *Resolución Exenta N°03129: Cuadro Normativo de Estándar Técnico de Habitabilidad Rural. Para Proyectos del Programa de Habitabilidad Rural regulada por el D.S. N°10 (V. y U.)*, 2015 Versión – 2016. Recuperado de [https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/RES\\_-EX\\_-3129\\_-2016-Aprueba-Cuadro-tecnico-Vivienda-Rural-DS\\_10\\_2016.pdf](https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/RES_-EX_-3129_-2016-Aprueba-Cuadro-tecnico-Vivienda-Rural-DS_10_2016.pdf)
24. Instituto de Salud Pública de Chile. (2012). *Guía para la selección y control de equipos de protección personal para trabajos con riesgo de caídas (2ª ed.)*. Departamento de Salud Ocupacional, Ministerio de Salud.
25. de la Cruz Courtois, O. A. (2020). *Metodología basada en las curvas de aprendizaje para mejorar los procesos de construcción*. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, 24(2), 1-15.
26. Grajales, J., Alonso, F., Samayoa, I., & Castellanos, J. (2014). *Las curvas de aprendizaje en los procesos de construcción*. En V. Aguilera & M. Ramos (Eds.), *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología* (pp. 42-48). ECORFAN.