



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



**DISEÑO PARA LA MANUFACTURA Y EL MONTAJE:  
DESAFÍOS EN EL PROCESO DE MANUFACTURA DE  
PANELES DE ENTRAMADO LIVIANO EN MADERA  
FABRICADOS EN PLANTA DE BAJO NIVEL TECNOLÓGICO**

**CASO VIVIENDA PROTOTIPO**

POR

Catalina Gabriela Vásquez Araneda

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

Profesor Guía: Valentina Torres Poblete

Marzo de 2025  
Concepción, Chile

---

© 2025 Catalina Gabriela Vásquez Araneda

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

---

## RESUMEN

La vivienda panelizada de entramado liviano en madera se perfila como una iniciativa clave en el contexto nacional de déficit habitacional. La panelización, como estrategia de la industrialización, puede ser particularmente útil para integrar a pymes en los procesos de manufactura de paneles en entramado liviano, por la mayor flexibilidad que otorgan los componentes bidimensionales. Sin embargo, el diseño para la manufactura enfrenta diversos desafíos, en términos de dificultades o falencias, ligados a cómo dicho diseño es fabricado en planta de baja tecnología, dificultades que limitan su adopción en el contexto nacional.

Esta investigación analiza el proceso de diseño para la manufactura de los paneles de entramado liviano en madera del caso “La vivienda prototipo”, y los desafíos que enfrentó dicho diseño durante la fabricación en planta de baja tecnología, para identificar posibles áreas de mejora en la presentación de la información. Para ello, se revisaron informes del proyecto, planimetría y se aplicaron cuestionarios a los encargados del diseño y fabricación. Ya identificados, se categorizaron los desafíos según su impacto en la fluidez de la producción. Como premisa, se estableció que los desafíos enfrentados se centran en dificultades ligadas a los criterios de diseño considerados, desafíos técnicos de la capacidad de producción de la planta y del capital humano, relacionados al conocimiento técnico y especialización de la mano de obra.

Los resultados demuestran que el diseño para la manufactura de paneles de entramado liviano en planta de baja tecnología enfrenta dificultades tanto en una etapa inicial de concepción como en el nivel de capacitación de los operarios en planta, confirmando dos supuestos preestablecidos. No obstante, se identificaron desafíos no previstos, como problemas en el formato y lenguaje de la información entregada en planta, y la falta de consideración de las dinámicas y métodos reales de trabajo durante la fabricación. Dichos hallazgos amplían la comprensión de los factores que afectan la fluidez de producción y enfatizan la necesidad de un enfoque más integrado en el diseño desde su etapa más temprana.

Palabras clave: *construcción industrializada – prefabricación - diseño para la manufactura y el montaje – manufactura de paneles – planta de bajo nivel tecnológico*

---

## Abstract

Light wood-framed panelized housing is emerging as a key initiative in the national context of housing shortage. Panelization, as an industrialization strategy, can be particularly useful for integrating SMEs in the manufacturing processes of light-frame panels, due to the greater flexibility provided by two-dimensional components. However, design for manufacturing faces several challenges, in terms of difficulties or shortcomings, linked to how such design is manufactured in a low-tech plant, difficulties that limit its adoption in the national context.

This research analyzes the design process for the manufacture of the light wood framing panels of the case "The prototype house", and the challenges faced by such design during the low-tech plant manufacturing, in order to identify possible areas of improvement in the presentation of the information. To this end, project reports and planimetry were reviewed and questionnaires were applied to those in charge of design and fabrication. Once identified, the challenges were categorized according to their impact on production flow. As a premise, it was established that the challenges faced are centered on difficulties linked to the design criteria considered, technical challenges of the plant's production capacity and human capital, related to technical knowledge and specialization of the workforce.

The results show that the design for the manufacture of light-weight framing panels in a low-tech plant faces difficulties both in the initial conception stage and in the level of training of plant operators, confirming two pre-established assumptions. However, unforeseen challenges were identified, such as problems in the format and language of the information delivered to the plant, and the lack of consideration of the actual dynamics and methods of work during manufacturing. Such findings broaden the understanding of the factors affecting production flow and emphasize the need for a more integrated approach to design from its earliest stage.

**Keywords:** *industrialized construction - prefabrication - design for manufacture and assembly - panel manufacturing - low-tech plant*

## 1. INTRODUCCIÓN

En Chile, el déficit habitacional actual es una situación apremiante. Según resultados de la encuesta Casen Vivienda, este corresponde a 552.046 viviendas (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2023). Para enfrentar la situación, el Plan de Emergencia Habitacional 2022-2025 reafirma la urgencia de producir más y mejores viviendas utilizando medios como la industrialización. Estableciendo que debemos trascender a sistemas industrializados de construcción, armando las partes de las viviendas en una fábrica, disminuyendo residuos y plazos, y mejorando la calidad de las mismas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2022).

La *construcción de viviendas industrializadas en madera* se destaca como una alternativa ventajosa, alineada con los compromisos nacionales climáticos, de productividad, y sostenibilidad, como la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y el uso eficiente de la energía (Gobierno de Chile, 2018). La madera, con su potencial para reducir el carbono atmosférico y mitigar las emisiones de gases invernadero (Churkina & Organschi, 2022), gracias a su peso ligero y facilidad de trabajo, es ideal para la construcción prefabricada (Gutiérrez, Negrão, Dias, & Guindos, 2024), proceso vital para la industrialización. La estandarización de procesos en la industrialización trae beneficios como mayor velocidad de construcción y menores costos, permitiendo ejecutar más viviendas en menos tiempo (Reyes Morales, 2017).

### 1.1 Marco conceptual, Parte 1: Contextualización

La **industrialización en la construcción** corresponde a un concepto que apunta a lograr una construcción más eficiente considerando como factor fundamental la *prefabricación*, y ocurre cuando las partes de la construcción se fabrican mediante procesos industriales (Lessing, 2006). Considera el uso de componentes prefabricados en lugar de construir una estructura tradicionalmente en el sitio (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) & Pontificia Universidad Católica de Chile, 2024).

En este sentido, la **construcción industrializada de viviendas**, es la construcción de viviendas para la gestión eficiente de las actividades y recursos, utilizando componentes altamente desarrollados para crear el máximo valor agregado, con la **prefabricación de componentes** como aspecto central (Lessing, 2006). La **construcción Off-site**, conocida como **prefabricación**, implica la fabricación de componentes en un entorno de fábrica controlado, lo que facilita luego su transporte al sitio de construcción (Gutiérrez et al., 2024). En este sentido, las tecnologías de construcción en madera facilitan la implementación de procesos de prefabricación (Giorgio, Blanchet, & Barlet, 2022).

En relación a la industrialización, una edificación prefabricada es aquella que se fabrica en una instalación externa y se ensambla en el lugar en módulos volumétricos o paneles, que se producen en fábricas con mano de obra especializada y, en ocasiones, con automatización (Gunawardena & Mendis, 2022).

### **Prefabricación en la construcción industrializada**

La prefabricación, es la producción de elementos constructivos previo a la ejecución de obra in situ (Off-site - fuera de sitio), para su posterior ensamblaje. Es decir, la **mecanización en fábrica del proceso constructivo** (o parte), herramienta crucial que surge como parte de la industrialización (OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada, 2023).

#### **1.2 Tema: Diseño para la manufactura de paneles de entramado liviano en madera**

Los niveles de industrialización de los elementos prefabricados pueden clasificarse según su **proceso de manufactura y especialización** en: *Materia prima* (madera procesada), *Partes de sistemas* (Como vigas), *Componentes de bajo nivel* (Paneles compuestos con estructura, como muros de entramado liviano), *Componentes de alto nivel* (Paneles compuestos con estructura y otros elementos como aislación o membranas), y *Módulos volumétricos* (Polomadera, 2019).

El **proceso de manufactura** de componentes en entramado liviano, como paneles de bajo o alto nivel, significa la instalación de los elementos que conforman el componente en fábrica. El sistema de entramado liviano, por su ligereza y baja mecanización, con una complejidad de construcción básica mediante herramientas mecánicas de unión y corte permite una rápida manufactura (Polomadera, 2019).

Así, el proceso de manufactura de un proyecto en entramado liviano requiere una gran cantidad de detalles constructivos, al estar compuestos por diversas capas y piezas de madera, es necesario el control de la ubicación de cada una de las piezas, y cómo se resuelven los encuentros entre los distintos paneles (Polomadera, 2019), por lo que posee consideraciones que se deben tomar desde una etapa temprana del **diseño para la manufactura y el montaje**.

El concepto en inglés **Design for Manufacture and Assembly o DfMA**, es la combinación de Design for Manufacture o DfM, traducido como “diseño para la manufactura” y Design for Assembly o DfA, traducido como “diseño para montaje”. DfMA puede percibirse como un procedimiento sistemático que, aplicado en la fase de diseño, añade valor al proceso de construcción y producción. Se centra en diseñar para el proceso de manufactura en planta, minimizando cantidad de piezas y simplificando ensamblajes. En otras palabras, el DfMA evalúa un diseño para su eficiencia de montaje con componentes, piezas y materiales mínimos a manipular en el lugar (Abd Razak et al., 2022).

### **1.3 Problema de estudio: El diseño para la manufactura de paneles de entramado liviano en madera y sus desafíos en la fabricación en planta de baja tecnología**

La construcción de viviendas panelizadas en entramado liviano de madera surge como una solución prometedora, que enfrenta diversos desafíos, en términos de dificultades o falencias, ligadas al **diseño para la manufactura** y a cómo la **información de diseño es transmitida y utilizada en la fabricación**, dificultades que limitan su adopción en el contexto nacional, ralentizando la transición a métodos de construcción más sostenibles y eficientes.

Así, se vuelve crucial identificar y analizar los desafíos que enfrenta el diseño para la manufactura, en el proceso de fabricación de paneles de entramado liviano en madera en una planta de baja tecnología (Sin control numérico o CN), es decir, las dificultades que experimenta el diseño para la manufactura, en su fabricación en planta de baja tecnología. Con el fin de encontrar los puntos clave que influyen en la fluidez de la producción, en una planta que se inicia en la industria.

Para el análisis, se estudiará el caso de “La vivienda prototipo”, proyecto que presenta un innovador prototipo de vivienda social rural, diseñada y ejecutada bajo estándares de “Métodos Modernos de Construcción Sostenible en Madera”, que busca dejar un legado en la industria de la construcción regional. Como bien público, busca ser una fuente de información relevante para constructoras, pre fabricadoras y profesionales para avanzar hacia una construcción de estándares superiores según la nueva reglamentación térmica 2025, que incrementará exigencias en comportamiento térmico, hermeticidad y ventilación (Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2025). El proyecto diversifica la matriz productiva en Biobío, ofreciendo oportunidades a pymes («Sustentable y eficiente», 2024), y constituyendo un caso de estudio de interés que demuestra cómo con actores y recursos locales se pueden realizar trabajos fundamentales, donde una pyme puede generar un encadenamiento productivo impulsando el desarrollo de una industria (Fuentes Riveros, 2024).

### **1.4 Marco conceptual, Parte 2: Design for Manufacture and Assembly (DfMA) - Diseño para la manufactura y el montaje**

DfMA consiste en un enfoque conceptual con una visión integral del diseño desde la fabricación de piezas hasta el ensamblaje de la estructura (Widanage & Kim, 2024). Evalúa y mejora el diseño de un producto considerando los procesos posteriores de fabricación y ensamblaje (Lu et al., 2021).

La prefabricación como concepto se ha estudiado antes comparado con DfMA, sin embargo, es un área de investigación relativamente nueva. Así, se identifica una laguna notable en los estudios existentes en relación con una comprensión del DfMA, su potencial y los retos asociados (Montazeri, Lei, & Odo, 2024).

Este procedimiento posee tres pasos: Paso 1, comprensión de las ventajas y limitaciones del componente prefabricado. Paso 2, el proceso de diseño, comprensión de las interfaces entre la infraestructura y servicios, viabilidad del componente, desarrollo del proceso de diseño, actividades de coordinación y preparación de planos de fabricación. Paso 3, la fase de fabricación, montaje en fábrica, transporte e instalación in situ (Gao, Jin, & Lu, 2020).

Según el artículo “DfMA for a Better Industrialised Building System”, que reúne estudios relevantes sobre DfMA, los **principales beneficios, factores de obstáculo y desafíos para su adopción en la construcción** son:

- I. Conciencia: Falta de conciencia sobre implicaciones del uso de nuevas tecnologías, de conocimientos de construcción y de formación del personal.
- II. Aceptación: Dependencia de los métodos convencionales, resistencia al cambio.
- III. Rentabilidad: Altos costos iniciales, y demanda limitada.
- IV. Limitaciones de diseño: Flexibilidad de diseño limitada, tiempo de diseño largo, aumento del tiempo de diseño.
- V. Logística: Dificultades del transporte, área de trabajo pequeña, falta de espacio de almacenamiento, subutilización del espacio de la fábrica.
- VI. Cuestiones contractuales y de cadena de suministro: Las contrataciones tradicionales (ingeniería secuencial) y a la separación del diseño y la construcción, conflictos entre oficios en el lugar de trabajo, recursos complejos como plantas de fabricación, equipos de montaje y cuadrillas, gestión de la cadena de suministro.
- VII. Prueba de concepto: Falta de información adecuada para evaluar los beneficios y limitaciones del uso de la construcción fuera del sitio.
- VIII. Dificultades de integración: Dificultades de integración entre los productos de DfMA y los activos existentes en el sitio, fragmentación de la información, falta de un ecosistema adecuado, con directrices, estándares y tecnologías accesibles.

La industria aún no aprovecha todo su potencial, y los proyectos que ya aplican este concepto tienen problemas de sobrecostos, tiempos y dependencia de mano de obra no calificada. La falta de comunicación y cooperación, junto con la falta de conocimiento y experiencia entre las principales partes interesadas son los principales problemas (Abd Razak, Khoiry, Wan Badaruzzaman, & Hussain, 2022).

### **El proceso de manufactura de paneles de entramado liviano en madera**

Las últimas investigaciones en la manufactura de estructuras de madera prefabricadas, incluyendo elementos de madera ligera, maciza e híbridos, no se han revisado críticamente y en profundidad para identificar los desafíos actuales. Sin embargo, se ha observado la creciente integración de tecnología. La arquitectura digital, la realidad virtual y el modelado de información de construcción (BIM) son fundamentales para la construcción industrializada, sin embargo, requieren la implementación de la *automatización en la fabricación* de componentes en madera (Gutiérrez et al., 2024).

Los obstáculos de la fabricación Off-site suelen referirse a los componentes de salida, la optimización de la planificación, los fundamentos de la programación, los métodos de conexiones, la coordinación con la construcción in situ e incluso en la evaluación del rendimiento de los proveedores (Lopez, Chong, & Pereira, 2022).

Además, mejorar los entornos de fabricación, que requieren inversiones sustanciales en tecnología y capacitación, también plantea un desafío importante, considerando que los actores involucrados pueden carecer del conocimiento o las habilidades necesarias para adoptar ciertas tecnologías, lo que impide su aplicación. Entre los obstáculos se destaca una falta de conocimiento y experiencia, una implementación limitada de herramientas digitales como BIM, una capacidad inadecuada de la infraestructura y los procedimientos actuales y una ausencia de estandarización en el diseño, la planificación, la gestión optimizada de la construcción y la fabricación (Gutiérrez et al., 2024).

Considerando la importancia de estos hallazgos, según Gutiérrez en el artículo “Bibliometric Review of Prefabricated and Modular Timber Construction from 1990 to 2023: Evolution, Trends, and Current Challenges”, resulta crucial implementar programas de capacitación profesional, promoviendo la competitividad y las oportunidades de empleo, e integrar en las diferentes etapas del proceso de construcción a los diseñadores, productores y empresas, lo que puede mejorar la adopción de la construcción prefabricada en madera.

## 2. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### a. CASO DE ESTUDIO “La vivienda prototipo”

El caso “La vivienda prototipo” corresponde a un prototipo de vivienda social rural DS10, asociada al subsidio estatal del programa de habitabilidad rural, que constituye un piloto de vivienda construida bajo los estándares de los “Métodos modernos de construcción sostenible en madera”, parte del proyecto “Diseño para la Manufactura y el Montaje. Propuestas de viviendas sociales para la región del Biobío”. Un proyecto cofinanciado por el Comité productivo de la región del Biobío, mandatado por la Seremi Minvu, y ejecutado por la Universidad de Concepción, que busca ser una fuente de información relevante y estudiado en profundidad.

**Código del proyecto:** 23BP-246692.

**Título del Proyecto:** Diseño para la Manufactura y el Montaje. Propuestas de viviendas sociales para la región del Biobío.

**Ejecutor:** Universidad de Concepción.

Los Métodos Modernos de Construcción, MMC por la sigla en inglés para Modern Methods of Construction, son técnicas dinámicas y en constante evolución, impulsadas para incorporar nuevas tecnologías en la construcción. Orientados a optimizar recursos, mejorar la productividad y promover la sostenibilidad en el ciclo de vida de los proyectos, estos

métodos incluyen soluciones constructivas, tecnologías y procesos aplicables tanto en obra como fuera de ella. Su integración debe considerarse en las primeras etapas del desarrollo de un proyecto, con enfoques colaborativos como el Modelado de Información para la Construcción (BIM) o el Diseño para Manufactura y Montaje (DfMA) (Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción, 2024).

Según Robert Hairstans, de los MMC se han derivado 4 tipos de productos: **Unidades panelizadas**, producidas en fábrica y ensambladas in situ para producir una estructura tridimensional, abarcando desde paneles abiertos que consisten en solo un armazón hasta sistemas de paneles avanzados, **unidades modulares 3D** producidas en fábrica antes de su transporte a la obra, **técnicas híbridas**, cuando se combinan dos formas de construcción, como panelizados y volumétricos, y **otros**, como compuestos de ingeniería mecánica o montajes de cimentación de hormigón prefabricado (Hairstans, 2019).

Entre los tipos de elementos prefabricados que es posible alcanzar con entramado ligero, se destaca el **trabajo en paneles bidimensionales**, debido al acabado complejo que se puede alcanzar y a la flexibilidad superior que otorga (Gutiérrez et al., 2024). Además, la prefabricación panelizada aunque puede requerir algo más de tiempo de montaje, tiene una mayor eficiencia en el transporte y volumen de material (Koronaki, Bukauskas, Jalia, Shah, & Ramage, 2021).

Flexibilidad que le da ventajas tanto en la capacidad facilitada de transporte, por ejemplo, en contextos o terrenos rurales o dificultosos, como en la mayor capacidad de adaptación para empresas prefabricadoras de bajo nivel tecnológico, es decir, que no cuentan con máquinas de corte con Control Numérico por Computadora o Computer Numerical Control (CNC) que inician en la industria.

Las plantas de prefabricación tienen **Niveles de Industrialización (NI)**, que mide el grado de adopción de atributos de construcción industrializada, como planificación, prefabricación, tecnología, digitalización y colaboración temprana, para optimizar procesos y resultados (Centro de Innovación en Madera UC & Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2023). En Chile, para determinar los NI, el Centro de Innovación en Madera UC generó un catastro a partir del análisis comparativo de 23 empresas prefabricadoras en madera, análisis realizado en distintas áreas de la industrialización como Planificación y Control de procesos, Sistemas técnicos, Tecnologías de la información, entre otras. Se determinaron 4 NI utilizando de base el marco conceptual propuesto por Lessing en 2006 (Centro de Innovación en Madera UC & Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2023):

- I. **NI Alto (C1):** Empresas que entregan viviendas finalizadas, el componente es complejo. Incorporan instalaciones, terminaciones, y puertas y ventanas off-site.
- II. **NI Medio (C2):** Empresas que entregan viviendas prefabricadas, puede incluir montaje. La prefabricación considera paneles, con instalaciones y/o terminaciones parciales. Se definen manuales o instructivos para etapas post fábrica.

- 
- III. **NI Bajo (C3):** Empresas que ofrecen la vivienda prefabricada, sin montaje. En la prefabricación se entregan paneles en obra gruesa.
- IV. **NI Muy bajo (C4):** La prefabricación abarca ejecución de paneles en obra gruesa. Asumen todas las etapas, donde la mayoría de las tareas son trabajos en sitio.

Como resultados del catastro, la mayor cantidad de empresas se encuentra en los últimos grupos, **C2, C3 y C4**, es decir, el 87% de las empresas poseen un *nivel de industrialización bajo o muy bajo*, y solamente un 13% (cinco empresas) se ubican en el grupo **C1**, con un nivel de industrialización mayor (Centro de Innovación en Madera UC & Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), 2023). A partir de esta situación, cabe destacar que la mayoría de las empresas prefabricadoras se encuentran en un nivel bajo o muy bajo de industrialización, por lo que es crucial analizar en profundidad los desafíos que se enfrentan en una planta de manufactura de baja tecnología, para avanzar en el proceso de desarrollo hacia una construcción industrializada de viviendas en entramado liviano en madera de calidad.

De esta manera, entre los retos del proyecto en general estuvo la adaptación a un proceso de construcción particular, la manufactura de los componentes panelizados de entramado liviano en madera fabricados en un entorno de planta de bajo nivel tecnológico, que en este caso estuvo a cargo de la empresa Industrializadora de Viviendas Chile (IDV).

La empresa IDV se encuentra ubicada en la comuna de Santa Juana y se dedica a la industrialización de viviendas en madera. Dentro de su planta se llevó a cabo la fabricación de los paneles del prototipo, posteriormente realizaron el transporte a terreno y el montaje de los paneles en el sitio.

IDV corresponde a una fábrica de bajo nivel tecnológico, es decir, su disponibilidad en equipos incluyó Puente Grúa simple con tecla para el levantamiento de paneles, recurso implementado exclusivamente para el desarrollo del prototipo, además de transpaleta y Grúa horquilla para transporte, carros de acopio, carros de movilidad y 6 estaciones con mesas de trabajo de 4 por 2,5 metros. Sin embargo, no poseían máquinas de corte CNC, por lo que se elaboraban los paneles a través de corte y ensamblaje manual.

#### a. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN/ HIPÓTESIS

¿Cuáles son los desafíos que enfrenta el diseño para la manufactura en el proceso de fabricación de paneles de entramado liviano en madera en planta de baja tecnología?

---

## Hipótesis

Los desafíos que enfrenta el diseño para la manufactura de los paneles de entramado liviano en madera en el proceso de fabricación en planta de bajo nivel tecnológico, se centran en dificultades ligadas a los criterios de diseño considerados, desafíos técnicos de la capacidad de producción de la planta y desafíos del capital humano, relacionados al conocimiento técnico y nivel de especialización de la mano de obra.

### b. OBJETIVOS

#### Objetivo general:

- Analizar el proceso de diseño para la manufactura de los paneles del caso de estudio, y los desafíos que enfrentó dicho diseño durante el proceso de fabricación en planta de bajo nivel tecnológico, para identificar posibles áreas de mejora en la presentación de la información, a través de un estudio documental del caso “La vivienda prototipo”.

#### Objetivos específicos:

- Examinar el proceso de diseño para la manufactura de los paneles de la vivienda del caso de estudio “La vivienda prototipo”.
- Identificar los desafíos que enfrentó el diseño para la manufactura de los paneles de la vivienda del caso de estudio, durante el proceso de fabricación en planta de bajo nivel tecnológico.
- Categorizar los desafíos, estableciendo las relaciones entre ellos y determinando cómo afectaron la fluidez del proceso de fabricación de los paneles.

### c. DISEÑO METODOLÓGICO

Se pretende realizar una investigación de *tipo descriptiva* y de *enfoque cualitativo*, ya que se basa en la identificación de los desafíos que obstaculizaron la fluidez del proceso de fabricación originados en el diseño para la manufactura de los paneles del prototipo, para poder mejorar la información presentada, en base en un análisis documental del caso de estudio “La vivienda prototipo”.

Como se puede observar en la Figura 1, los métodos de recolección de datos a utilizar en función de los objetivos específicos serán la revisión planimétrica y de informes del proyecto, y la aplicación de un Cuestionario sobre el proceso de diseño al encargado (1). Posteriormente, se revisará el proceso de fabricación mediante un segundo Cuestionario al supervisor de planta, y se identificarán los desafíos enfrentados mediante un tercer Cuestionario aplicado a dos supervisores y el asesor (2). Finalmente, se categorizarán los desafíos analizando su influencia en la fluidez de la producción (3).

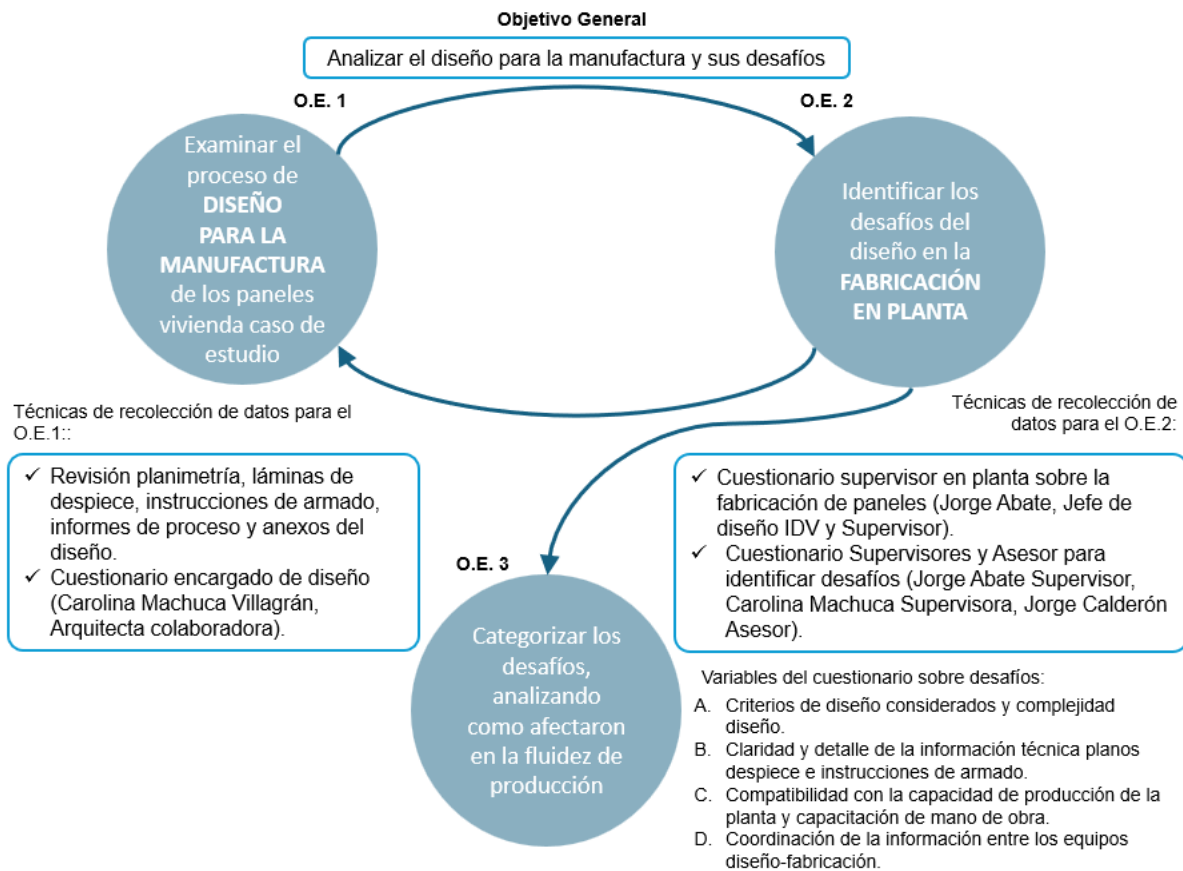


Figura 1. Esquema explicativo de la metodología. Elaboración propia.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Objetivo Específico 1: Proceso de diseño según Cuestionario e Informes

##### 3.1.1 Etapas del proceso de diseño

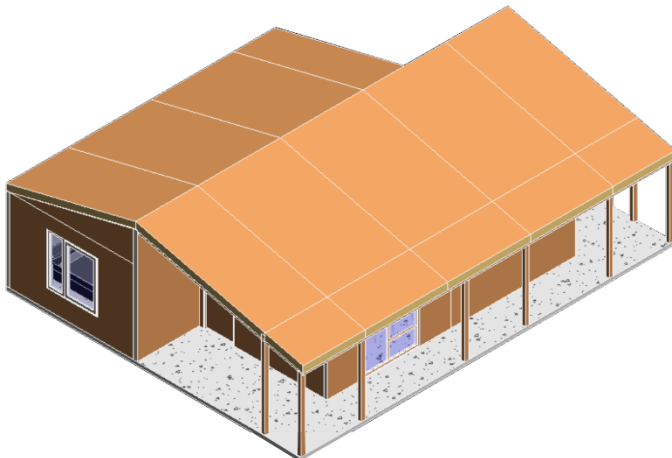
##### 3.1.1.1 Etapa 1: Conceptualización, criterios normativos y de diseño para la manufactura y el montaje (DfM/A)

Primero, se definieron los criterios de diseño iniciales, *requerimientos de los cuadros normativos de SERVIU Decreto DS10*, y *criterios de panelización y optimización del uso del material* para el dimensionamiento de los espacios de la vivienda. Los **requisitos mínimos DS10**, incluyeron:

- I. **Estándar técnico vivienda:** Superficie útil mínima, distribución de recintos y dimensiones, ancho, largo y altura mínima, etc.
- II. **Especificaciones técnicas sobre materiales y sistemas constructivos:** Cumplimiento del PDA (Plan de Descontaminación Ambiental) y la Reglamentación Térmica 2025, exige aislación térmica mínima, membranas, etc.
- III. **Carbono neutralidad:** En la etapa de producción se busca que el carbono biogénico secuestrado supere al carbono incorporado por los materiales no biogénicos.
- IV. **Circularidad:** Incluye criterios de circularidad de los materiales, que puedan reincorporarse al ciclo de uso, como impregnar solo la parrilla de vigas inferior (Lo expuesto a la intemperie).
- V. **Vocación accesible:** Consideró vanos de 90 cms, radios de giro 150 cms, adoptando una vocación de accesibilidad universal.

Adicionalmente, se establecieron **leyes para la panelización**, es decir, bajo qué criterios se diseñarían los paneles que componen la vivienda:

- I. **Escuadría, materiales y dimensiones:** Las dimensiones de los materiales, como las piezas del entramado y placas OSB, se utilizaron para generar una *grilla base en planta* de 1,22 x 2,44 mts, evitando pérdidas y cortes innecesarios, definiendo tamaños generales. La escuadría, pino seco cepillado de 41x41, 41x90 y 41x138, debió ser transversal en toda la construcción, ya que variaciones generan desajustes.
- II. **Optimización del uso de los materiales:** Uso de OSB completo y lana de vidrio, una opción flexible para usar el espacio entre la estructura, fueron algunas de las técnicas utilizadas.
- III. **Estandarización tipologías de paneles y cantidad reducida:** Se buscó tener la menor cantidad de tipologías de paneles posible, simples y similares entre ellos en dimensiones o variaciones de la misma tipología para distintas posiciones en la planta.

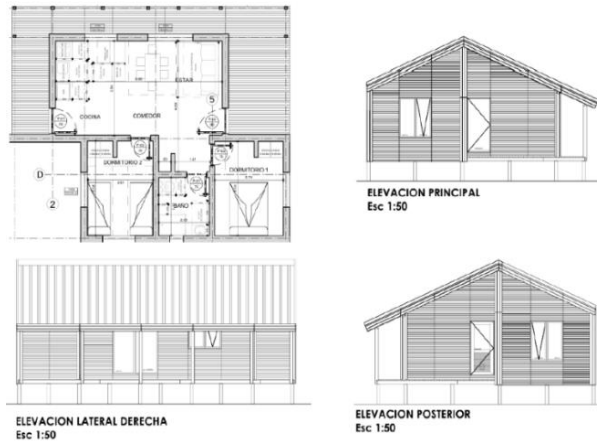


Considerando dichos criterios, se definieron los espacios arquitectónicos, y así los tamaños de **paneles**, sus tipologías y distribución en la planta de arquitectura. El programa utilizado fue **Revit**, obteniendo un **modelo 3D de la panelización volumétrica**.

Figura 2. Imagen referencial de volumetría panelizada. Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Revit (2024).

### 3.1.1.2. Etapa 2: Desarrollo del panelizado y diseño detallado

Se comenzó un modelo paralelo en **Cadwork**, software CAD/CAM/BIM que se especializa en el diseño, fabricación y montaje de estructuras en madera, a diferencia de Revit, que corresponde a un software de modelación BIM general.

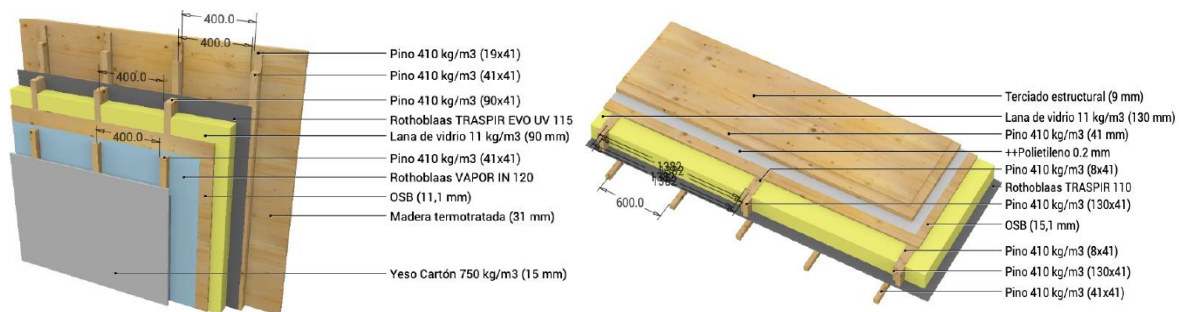


Se obtuvo la información de la panelización, el diseño para la fabricación de los paneles (Características y piezas de cada panel), e instalaciones y terminaciones. En sintonía con los primeros criterios de composición, se continuó el modelo detallado en milímetros.

Figura 3. Lámina de diseño de arquitectura. Fuente: Proyecto 23BP-246692 (2024).

### Desarrollo diseño de la composición de paneles

Se definió la composición de los paneles volumétricos de muros, piso y techo, en cuanto a las capas de materiales y su orden hacia el interior y al exterior, considerando su comportamiento higrotérmico.



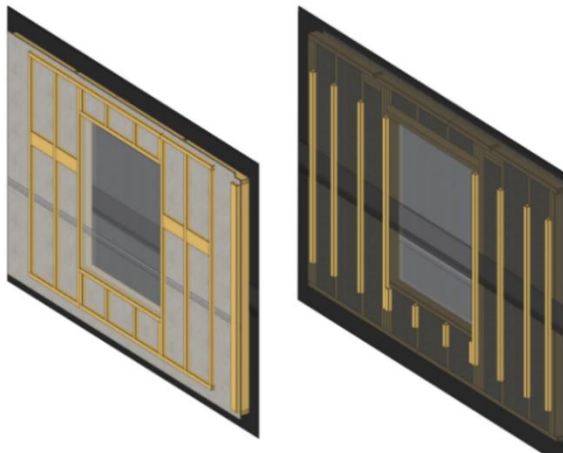
Figuras 4 y 5. Figuras ilustrativas diseño muro exterior y piso ventilado. Fuente: Proyecto 23BP-246692, Informe "Comportamiento higrotérmico dinámico Vivienda prototipo", generado en Ubakus (2024).

El proceso de determinar las capas de materiales, formatos, orden, etc, fue iterativo y requirió de estudio y evaluación de los materiales en profundidad. Utilizando herramientas como Ubakus (Herramienta online para determinar condensaciones).

## Desarrollo diseño en detalle de despiece

En Cadwork se obtuvo las características, peso y piezas de cada panel, y los cortes necesarios de cada material. Incorporando **criterios de diseño para paneles**:

- I. **Simplicidad:** Diseño simplificado en forma y composición. Ej: Paneles iguales o espejo, vanos similares, dinteles misma altura, etc.
- II. **Estabilidad estructural:** Evitar líneas débiles en la estructura, dándole estabilidad estructural a cada panel por sí mismo.
- III. **Dimensiones camión, mesa de trabajo y peso:** El espacio del camión de transporte, mesas de trabajo en fábrica de 4 x 2,5 mts. y el peso de cada panel.
- IV. **Mapa 3D (Piezas guía):** Piezas guía, como soleras y piezas de engarce en muro (Pie derecho de enganche), junto con pestañas del OSB, un "mapa 3D" guía para recepción y fijación de los paneles.



Así, se diseñó la composición en detalle de cada panel, las piezas que los conformarían, uniones, membranas hidrófugas y de vapor y su forma de instalación (con pestaña), etc.

Figura 6. Figura ilustrativa diseño de panel cara interior – exterior. Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Cadwork (2024).

La vivienda se conformó en 46 paneles distribuidos según su ubicación:

### A. 7 paneles de piso (PP)

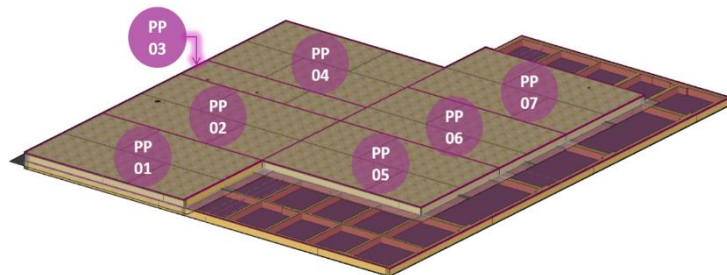


Figura 7. Paneles de piso. Adaptado de modelo Cadwork Proyecto 23BP-246692 (2024).

### B. 14 paneles de muro (PM)

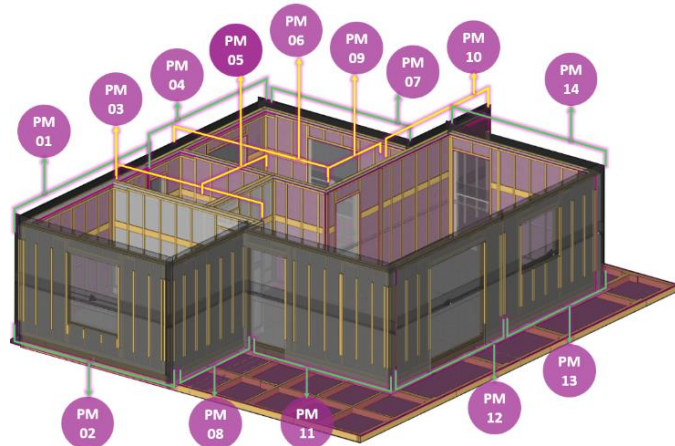


Figura 8. Paneles de muro. Adaptado de modelo Cadwork Proyecto 23BP-246692 (2024).

### C. 11 paneles de sobretabique (PST)

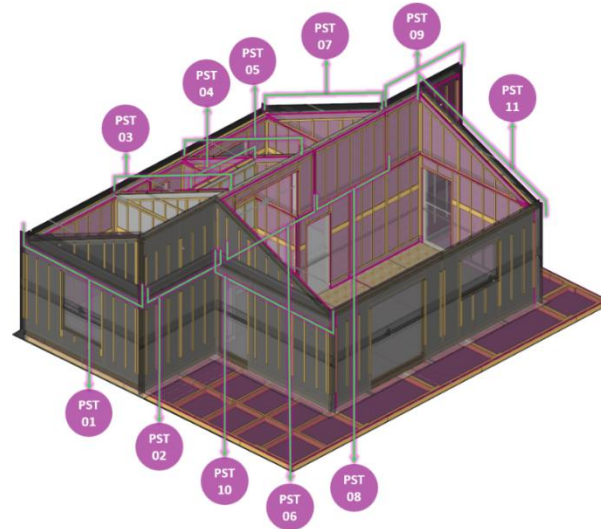


Figura 9. Paneles de sobretabique. Adaptado de modelo Cadwork Proyecto 23BP-246692 (2024).

### D. 7 paneles de techo interior (PT)

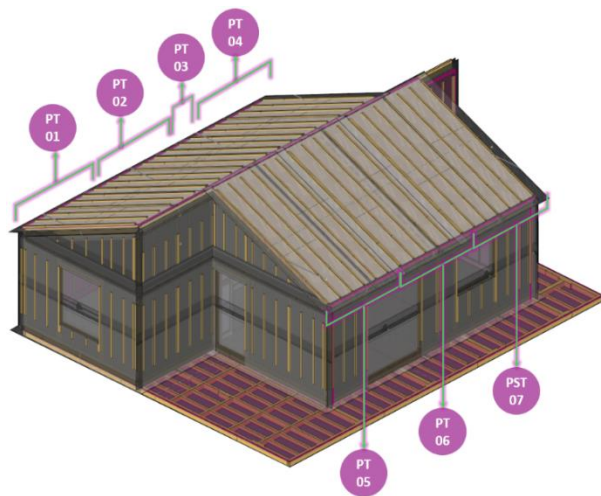


Figura 10. Paneles de techo interior. Adaptado de modelo Cadwork Proyecto 23BP-246692 (2024).

### E. 7 paneles de techo corredor (PTC)

El proyecto fue concebido con un orden particular, asociado a la *estabilidad que les dan unos paneles a otros* en el proceso de montaje.

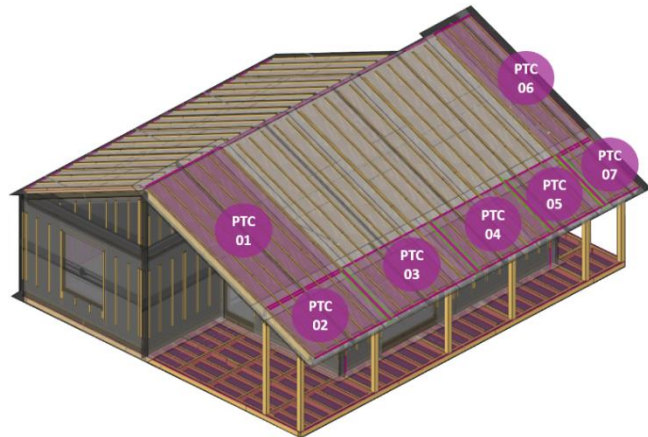


Figura 11. Paneles de techo corredor. Adaptado de modelo Cadwork Proyecto 23BP-246692 (2024).

#### 3.1.1.3. Etapa 3: Desarrollo láminas para fabricación

A partir de Cadwork, se obtuvieron los planos de fabricación y layout (Planteamiento en planta de las zonas de trabajo en fábrica). Los planos para fabricación, denominados “**planos de despiece**” de cada panel, indicaban su **diseño particular e instrucciones de armado**, como se observa en la figura 12.

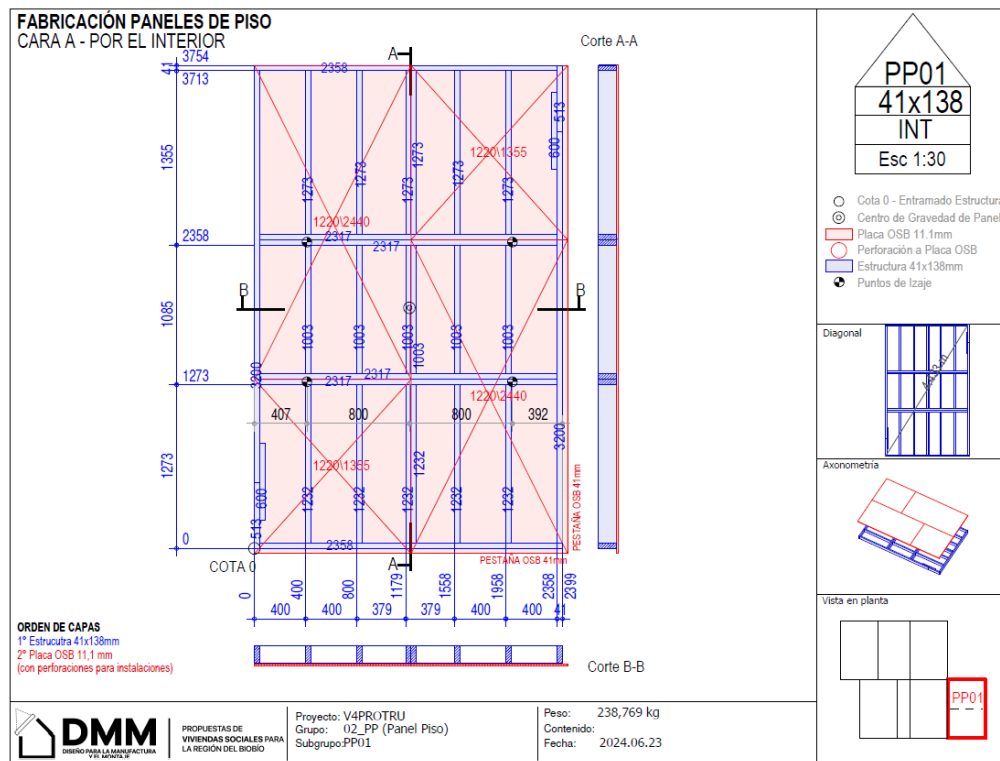


Figura 12. Plano de despiece panel PP01. Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Cadwork (2024).

### 3.1.2 Planos de despiece e instrucciones de armado

El formato de presentación del despiece consistió en 2 láminas por panel (Cara interior - Cara exterior), como se puede observar en las Figuras 13 y 14. Presentando el código del panel, por ejemplo, PM01, una vista frontal de la composición del panel y sus piezas, indicando mediante colores la “capa” correspondiente a los materiales, y en el mismo color sus cotas y distanciamientos.

En la parte inferior, con la misma codificación mediante colores presentaron las instrucciones de armado, y a un costado una axonometría 3D explotada del panel. Una técnica de corroboración al finalizar la fabricación de cada panel fue indicar la cota diagonal de rectificación.

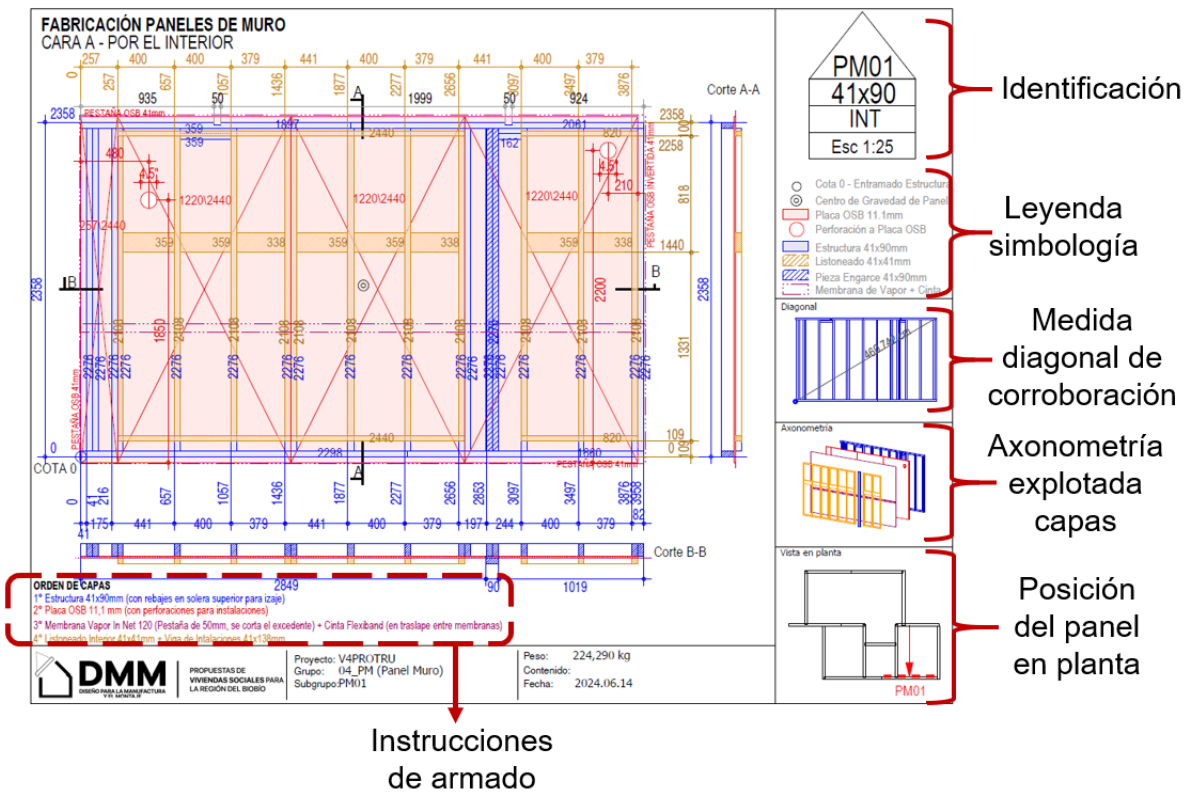


Figura 13. Diagramación de plano de despiece panel PP01 (Cara interior). Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Cadwork (2024).

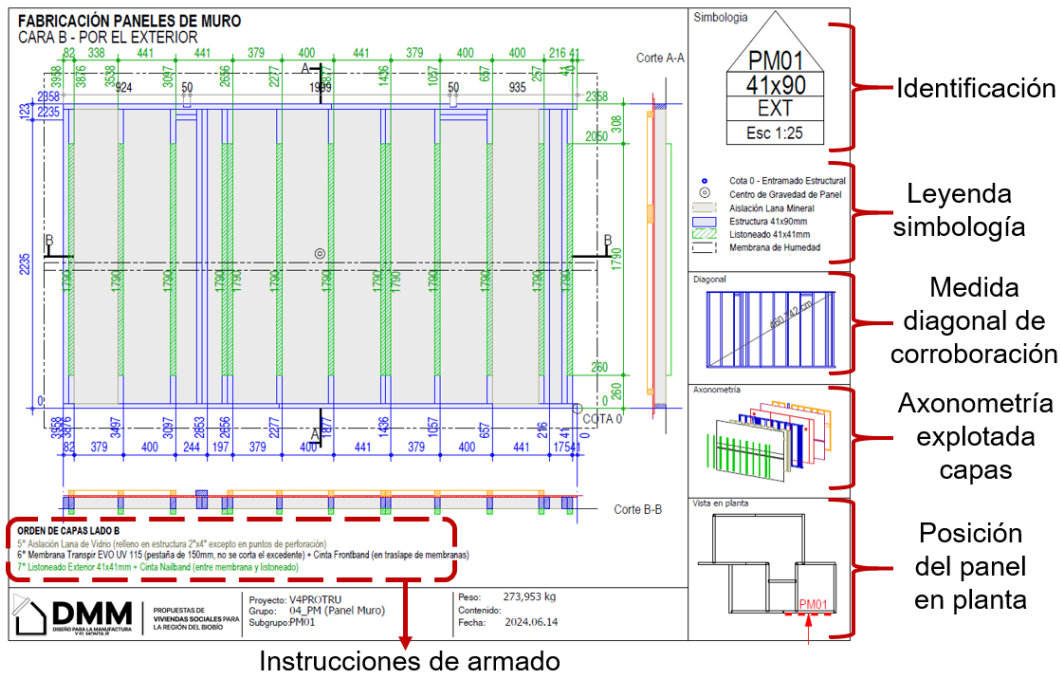
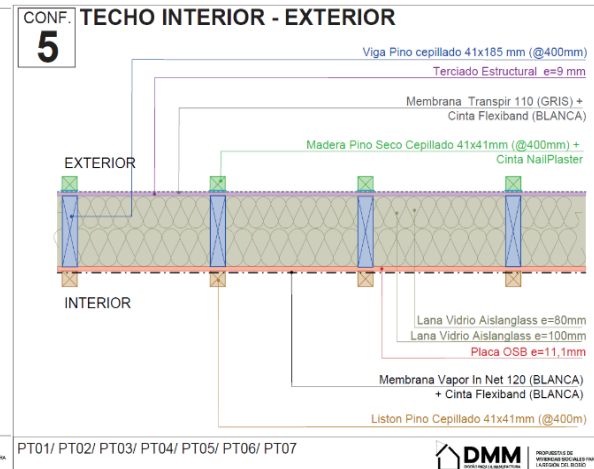
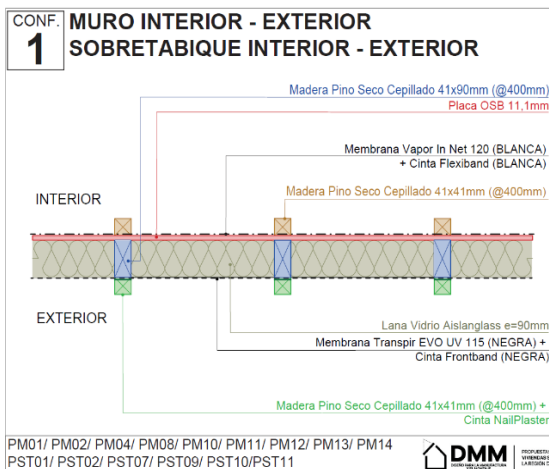


Figura 14. Diagramación de plano de despiece panel PP01 (Cara exterior). Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Cadwork (2024).



Figuras 15 y 16. Planos de detalle. Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Cadwork (2024).

Además, se presentaron los detalles constructivos en el formato de las figuras, con la especificación de las capas por tipología de panel.

## 3.2 Objetivo Específico 2: Identificación de los desafíos en la fabricación

### 3.2.1 Descripción del proceso según Cuestionario fabricación:

Se realizó una **marcha blanca**, con 2 jornadas de capacitación para familiarizar a los operarios con los materiales y realizar pruebas con el Puente grúa estableciendo criterios de izaje y giro de paneles.

El **proceso de fabricación** estaba definido por el Layout (Colocación estratégica de las estaciones de trabajo). Como se observa en la Figura 17, en este caso partía por la **estación de materias primas (A)**, el espacio donde estaba la madera, placas de OSB y terciados. Luego, las **estaciones de trabajo (B)**, con una **estación de trazado y dimensionado**, donde se cortan las placas y se trazan los elementos livianos de madera (Con ingleteadora y cierra circular), y las **áreas de trabajo de construcción de paneles**, 3 mesas de armado-arriestrado y corte, y 3 mesas con la aislación térmica, membranas, cintas de hermeticidad, en estas últimas se daban vuelta los paneles con el Punto grúa, y se instalaba membrana (Tamaño mesas 4 x 2,5 m). Cada mesa disponía de **equipamiento de trabajo (C)**, **equipo de movilidad manual (D)** e **insumos especializados (E)**, sierra ingleteadora, sierra circular, taladro, engrapadora, etc. Finalmente preparan para transporte, con los **equipos de levante o movilidad (F)**.

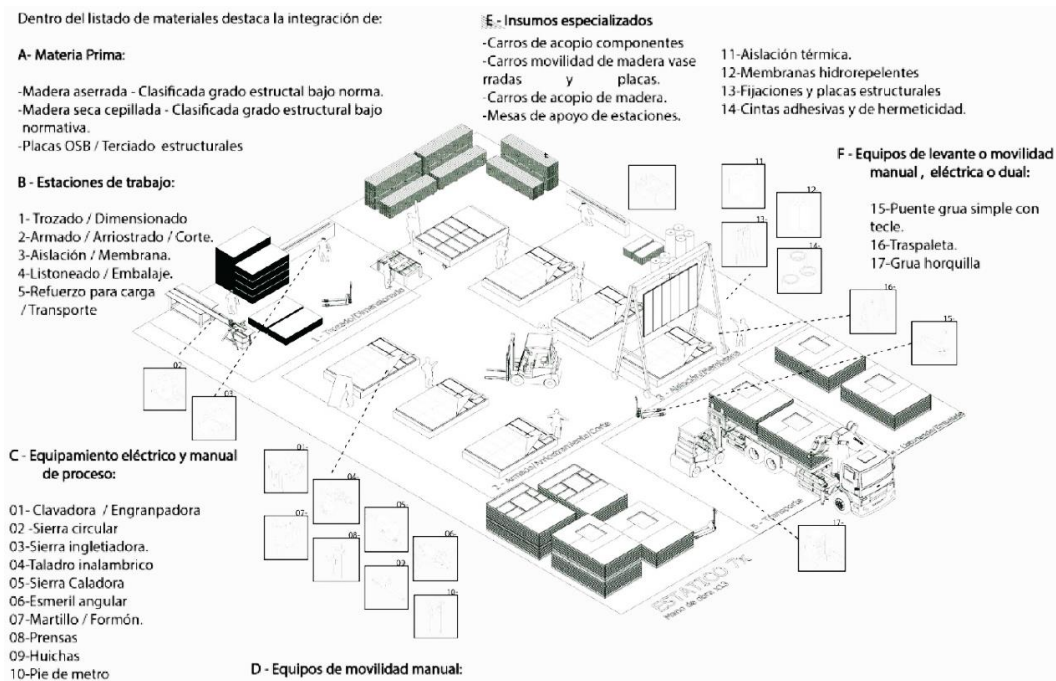


Figura 17. Esquema de layout (Colocación estratégica de las estaciones de trabajo). Fuente: Proyecto 23BP-246692, generado en Illustrator (2024).

---

## Terminología

Se observó una diferencia de lenguaje utilizado, en la planta de fabricación se entendía como “Planos de fabricación” a los “Planos de despiece” presentados por diseño, y se entendía como “Planos de detalle del despiece” a los “Planos de detalles”, que, para la planta, serían planos donde se detallan las características de cada pieza de un panel, como los cortes que lleva el OSB, sus perforaciones, distancias, ángulos, colocación, o distancia a los bordes, los cuales no se presentaron, si no únicamente detalles de las capas.

## Formato, recursos empleados e interpretación de planos

Se entregaron los planos en papel carta, a escala 1:25 y 1:30. Se realizaron introducciones a los maestros por parte del intérprete (Jorge Abate, jefe de Diseño IDV y supervisor), para entender las herramientas y materiales nuevos.

El nivel de precisión de los planos utilizados en planta fue *alto (Cantidad amplia de información comprimida)*. Se identificó una deficiencia de detalles constructivos de encuentros, y nociones pensadas para las capacidades de los operarios, como ángulos o una correlación de distancias que permitiera cortar una pieza en el ángulo correcto para un maestro sin compás (información útil para ejecutar con las herramientas disponibles).

Se observó que los operarios poseen memoria sensorial, reteniendo información táctil, como la textura de los materiales. En una planta con mayor fuerza humana que tecnológica, la codificación de materiales por colores resultó un sistema acertado e intuitivo. Por ejemplo, la enseñanza se basó en el color y textura de las membranas para diferenciarlas, más que nombres técnicos.

### 3.2.2 Resultados Cuestionario: Desafíos del diseño enfrentados en la fabricación

Tabla 1  
*Criterios y complejidad diseño*

Identificación	Carolina Machuca, Arquitecta Supervisora	Jorge Abate, Jefe de Diseño IDV - Supervisor	Jorge Calderón - Asesor en fábrica.
1. Criterios de diseño que presentaron desafíos	Escuadría utilizada, materiales y sus dimensiones (3/3).		
	Mapa 3D (Uso de piezas guía, como soleras de amarre) (3/3).		
Desafíos enfrentados en fabricación relacionados al criterio	Dimensiones camión de transporte, mesa de trabajo planta fabricación y peso paneles(2/3).		Optimización del uso de los materiales(1/3).
	<p><b>Acompañamiento</b>, se superó confusión inicial por materiales nuevos.</p> <p><b>Peso paneles</b>, se recomienda puente grúa.</p> <p><b>Piezas guía</b> funcionaron bien salvo "pieza de engarce", difícil de interpretar.</p> <p><b>Control calidad</b>, faltó protocolo.</p>	<p><b>Piezas guía</b>, planos pudieron facilitar entendimiento de piezas especiales y planificación de montaje. Falta de <b>planos de detalle</b>.</p>	Mayor información de <b>conexión de paneles</b> , no informado antes de fabricación.
2. Criterio que adicionaría	<p><b>Capacitación</b> en todos los tipos de panel.</p> <p><b>Evitar paneles doble condición</b>, que en una misma cara den hacia interior y exterior. <b>Piezas complejas</b>, evitar piezas poco intuitivas como "pieza de engarce".</p> <p><b>Información precisa</b>, entregar solo datos relevantes para manufactura.</p>	<p><b>Curva de aprendizaje</b> de operarios, fue guiada durante la fabricación y pudo haber traído problemas. No incluir <b>mecánicas de aprendizaje</b> de los operarios "aprender haciendo", repercutía en interpretaciones erradas.</p>	Disponer de toda la información antes de comenzar su manufactura en planta.
3. Complejidad del diseño significó dificultades	Sí, algunas dificultades.	Sí, algunas dificultades.	No, ninguna dificultad.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2

#### *Claridad y detalle planos de despiece e instrucciones de armado*

Identificación	Carolina Machuca, Arquitecta Supervisora	Jorge Abate, Jefe de Diseño IDV - Supervisor	Jorge Calderón - Asesor en fábrica.
4. Problemas por interpretación de planos o instrucciones de armado	Planos techo, confusión en <b>cortes a cumbrera</b> por cortes en ángulo, sugiere agregar detalles simplificados en planos. Elementos nuevos, <b>uso de colores</b> en capacitación mejoró la comprensión.	Confusiones por <b>interpretación, terminología distinta</b> , detalles poco claros y grado de dificultad, se creó un esquema de capas para mejorar el entendimiento.	Una <b>intensiva instrucción</b> fue adecuada para fabricar los componentes, se requirió <b>mayor información 3D</b> para ahorrar en longitud de las membranas.
5. Fallas en la precisión de paneles en comparación con planos	Falta de detalles constructivos de encuentros (3/3).		
	Imprecisión de las instrucciones de armado (3/3).		
	Errores en los cortes o desajustes en las dimensiones de las piezas (2/3).		
			Falta de indicación de tolerancias (1/3).
Elabore en alguno de los desafíos que logró identificar			Codificación capas, gráfica imprecisa (1/3)
	<p><b>Detalles encuentros</b>, incorporar referencias simplificadas para planteamiento. <b>Esquemas de armado</b> muy pequeño en planos e incluir en capacitaciones.</p>	<p><b>Revisión de lista de corte</b> para posterior ensamble. Identificar los elementos unitarios, como piezas especiales, para definir detalles de confección o <b>planos de detalles</b>.</p>	Entender el <b>armado de paneles</b> en obra, podría reducir cantidad y modificar tamaños y disposición de algunos paneles, no existía en ese momento el proyecto de montaje.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3

*Compatibilidad con la capacidad de producción de la planta y capacitación de mano de obra*

Identificación	Carolina Machuca, Arquitecta Supervisora	Jorge Abate, Jefe de Diseño IDV - Supervisor	Jorge Calderón - Asesor en fábrica.
6. Claridad y suficiencia del plan de producción	Parcialmente, presentó algunas deficiencias (3/3).		
Describe las principales dificultades	<b>Supervisión</b> , requirió acompañamiento para ejecución correcta, e instancias resolución de dudas. <b>Tablas de corte</b> , piezas reservadas para montaje causaron confusión y sobraron en manufactura.	Aunque las planimetrías y la planificación eran claras, los pasos no se siguieron correctamente.	Como consultor no participó de esas decisiones.
7. Si hubo retrasos o tiempos muertos en fabricación y motivo	Sí, principalmente por falta de capacitación y especialización del personal (3/3).		
Elabore en los desafíos que generaron retrasos en la fluidez de producción	Avance lento por la confusión o duda que podía provocar algún planteamiento.	Considera la curva de aprendizaje en la adopción de nuevos instrumentos y materiales, además de integrar las <b>mecánica de absorción de habilidades</b> de operarios.	La capacitación faltante en los trabajadores, se supero rápidamente con la práctica.
8. Nivel capacitación mano de obra	Parcialmente capacitada, con brechas en conocimientos específicos (3/3).		
Brechas de conocimiento o habilidades	Aprendizaje rápido de mano de obra (Primera experiencia en este tipo de proyectos). Simplificar diseños confusos y fortalecer dominio en el armado.	Materiales y nuevas mecánicas de trabajo o capas de información de construcción.	Operación de maquinaria neumática y uso de otras maquinas mas adecuadas como lo son las grapadoras de membranas.

*Nota.* Elaboración propia.

Tabla 4

*Coordinación de la información entre los equipos diseño-fabricación*

Identificación	Carolina Machuca, Arquitecta Supervisora	Jorge Abate, Jefe de Diseño IDV - Supervisor	Jorge Calderón - Asesor en fábrica.
9. Influencia de la información gráfica y técnica en la transferencia de información	Facilitaron en parte, pero con dificultades menores.		
Desafíos enfrentados	La gráfica debe ser comprensible por los operarios. Se requieren varias instancias de retroalimentación entre equipos, para generar un lenguaje común y comprensible.	Reconocimiento de capas no conocidas, interpretación de líneas cruzadas, y definición de detalles no presentes.	Uniones de las distintas piezas que conforman los paneles, no contaban con la información de la cantidad de clavos o tornillos a usar, ni tolerancias de las membranas transpirables.
10. Problemas que se enfrentaron al transferir información entre los equipos de trabajo de diseño-fabricación	Pasar a un nivel de panel mucho mas completo, con membranas, cintas, aislación, etc, lenguaje simple de leer pero completo. Uso de softwares especializados, se requirió generar la información en formatos compatibles.	Falta de <b>lenguaje integrado e interpretación</b> , y las órdenes de armado. Además de falta de indicaciones de instalación de materiales.	Los mesones de trabajo fue una de las dificultades, no contaban las partes que permiten escuadrar los paneles y con ello dificultan el montaje.

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.3 Objetivo Específico 3: Categorización de los desafíos identificados

A partir de los resultados, podemos clasificar los temas en dificultades originadas por distintos aspectos o etapas que forman parte del diseño:

- I. **Desafíos por condiciones y criterios propios del diseño:** En retrospectiva, algunos aspectos no considerados en diseño de los paneles como tal resultaron en dificultades, como generar el plan de montaje en una etapa tardía. El diseñar el **plan de montaje** posteriormente al diseño de los paneles generó dificultades en la fábrica, por lo que resulta crucial considerar diseñar el plan de fabricación de los paneles en paralelo al plan de montaje, así se evitan errores como la falta de piezas de conexión entre ellos en la fabricación de paneles en planta. El método de conexión de paneles fue definido en una etapa tardía del diseño. También, los paneles doble condición, que en una misma cara den hacia interior y exterior, y **piezas complejas y poco intuitivas** como "piezas de engarce".
- II. **Desafíos del formato de presentación, lenguaje de la información y nivel de detalle:** Como aspecto fundamental, el no haber considerado el lenguaje de los operarios en fábrica, y no haber establecido términos transversales para todos los actores obstaculizó la fluidez del proceso de producción, las confusiones originadas por no haber definido con anterioridad lo que correspondería a "Planos de despiece", que en fábrica conocían como "Planos de fabricación", y la **ausencia de "Planos de detalle del despiece"**, como planos de detalle con la información integral de cada pieza del panel (Cortes, perforaciones, y/o posición particular), provocó retrasos debido a las constantes dudas sobre las particularidades de cada pieza, como métodos de unión de las distintas piezas que conforman los paneles (No contar con la información de la cantidad de clavos o tornillos a utilizar, ni tolerancias de las membranas transpirables, y errores como la no colocación de las "piezas de engarce" al no ser comprendidas como una capa adicional, al haber tenido el mismo color que el entramado). Además, las **"instrucciones de armado"** fueron percibidas más como una secuencia de capas, que a indicaciones de instalación de piezas como tal (3/3 participantes hicieron salvedad en la falencia de detalles constructivos de encuentros, e imprecisión en las instrucciones de armado). Considerando además que los esquemas 3D de armado se presentaron en un tamaño muy pequeño.
- III. **Desafíos por mecánicas y dinámicas en la fabricación:** El no haber considerado algunas mecánicas de fabricación, como los **métodos de corte particular** que se usarían en planta, y sus limitaciones en cuanto a equipos, generaron dificultades. Por ejemplo, el indicar un corte inclinado solo mediante el ángulo en grados, no considera el hecho de la ausencia de compás en fábrica, por lo que se necesita otro tipo de información, como cotas de referencia. Además, haber incluido en la información dada piezas que iban in situ, generó errores de corte de piezas adicionales que luego causó una pérdida de recursos.

- IV. **Desafíos en los componentes humanos:** Un aspecto crucial en el proceso de fabricación fue la interpretación de planos en fábrica, debido a la barrera de lenguaje, desconocimiento de nuevos materiales, etc. Por lo que la **capacitación e intensiva instrucción del personal** resulta un factor determinante, siendo la falta de capacitación y especialización del personal un factor origen de retrasos y tiempos muertos en la fabricación identificado por los 3 participantes.

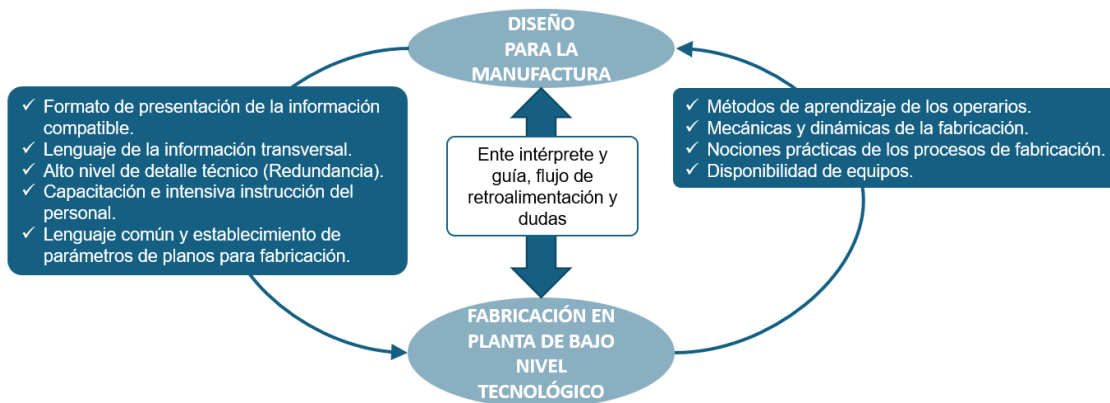


Figura 18. Esquema de los hallazgos. Elaboración propia.

#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos demuestran que el **diseño para la manufactura de paneles de entramado liviano en madera** presenta desafíos relacionados tanto a la amplitud de criterios a considerar en una etapa temprana de concepción y diseño, como desafíos de falta de capacitación y especialización del personal, por lo que ambos supuestos de la hipótesis fueron confirmados como factores de retraso en la fluidez de la producción. Cabe destacar también, que las dificultades experimentadas por el diseño que ocurrieron en cuanto a la capacidad de la planta, más que por compatibilidad con la capacidad de producción de la planta en sí, ocurrieron por no haber considerado **las mecánicas de trabajo dentro de ella y las nociones prácticas** de los procesos en la fabricación en la etapa de diseño. Por lo que podemos decir que la hipótesis es parcialmente acertada, en 2/3 supuestos.

Por otro lado, la hipótesis no consideraba los **desafíos del formato de presentación, lenguaje de la información y nivel de detalle técnico** de los recursos utilizados en planta, y las dificultades originadas por no considerar las **mecánicas y dinámicas del trabajo de fabricación en la presentación del diseño**, los cuales conforman un hallazgo importante, por lo que la hipótesis a pesar de ser parcialmente acertada se muestra incompleta al no contemplar ciertos factores surgidos.

De acuerdo a autores como Mohammed Abd y Muhamad Khoiry, los proyectos que aplican el concepto de **diseño para la manufactura y el montaje** aún tienen problemas con la mano de obra no calificada, falta de comunicación, cooperación, conocimiento y experiencia entre los involucrados (Abd Razak et al., 2022). Dichos elementos fueron identificados en este caso, donde la falta de conocimiento y experiencia dificultaron el proceso, sin embargo, se logró identificar que, a pesar de las brechas presentadas en conocimientos específicos, la nivelación de la capacitación de la mano de obra puede llevarse a cabo a través de capacitaciones explicativas, adquiriendo práctica con un acompañamiento de enfoque interpretativo.

Adicionalmente, los resultados obtenidos sugieren la necesidad de un enfoque más integral en el proceso de diseño para la manufactura, buscando incluir mecánicas de aprendizaje de los operarios en la forma que se presenta la información, como el **aprendizaje práctico** y **memoria sensorial**. Un lenguaje entendible para los operarios debe integrarse a la información de los planos, estableciendo una **terminología y lenguaje común**, estableciendo los parámetros de lo que será un plano de despiece para la fabricación y un vocabulario común entre el diseño y la fabricación.

Por otro lado, según la literatura, el establecer y mejorar los entornos de fabricación se plantea como un desafío posterior, ya que requiere de inversiones sustanciales en tecnología y capacitación, sumado a una capacidad inadecuada de la infraestructura (Gutiérrez et al., 2024). Sin embargo, los hallazgos del caso indican que más allá de la capacidad, incapacidad o limitaciones en infraestructura de la planta, resulta fundamental integrar las mecánicas de fabricación en una planta de baja tecnología, donde la fuerza humana y sus habilidades son **determinantes en el formato y lenguaje en que se transmite la información**.

Las sugerencias para mejorar la presentación de la información incluyen la presentación de “Planos de detalle del despiece”, como un recurso fundamental para identificar y describir gráficamente las características de cada pieza del panel, complementando los “Planos de despiece”, donde se grafica el panel y su composición general, y la presentación de todos los detalles constructivos de las uniones tanto dentro del panel en sí, precisando la cantidad y distancias entre las uniones, como los detalles del método de fijación entre paneles en obra.

En cuanto a las láminas, el formato de presentación se recomienda sea mayor a A4, es decir, A3 o superior. Además, la incorporación de referencias visuales en las mismas, como isométricas en 3D en un tamaño más predominante, indicando las capas correspondientes en colores de manera secuencial y no por material, e incluir un instructivo particular para la explicación de los métodos de instalación de los materiales, con instrucciones de armado claras y directas indicando el paso a paso de la ejecución del armado. Por otro lado, que todas las medidas, cotas y referencias que se indiquen en los planos presentados para la fabricación permitan a los operarios maniobrar con los equipos que disponen.

En cuanto a la capacitación del personal en planta, es importante destacar la necesidad de establecer un glosario de términos inicial que sea explicado durante una primera capacitación introductoria, en la cual además se explique el proyecto y se instruya en la lectura de los planos impresos, considerando que ese será el formato del que recibirán la información.

Finalmente, se sugiere realizar capacitaciones de armado de paneles cada cambio de tipo, es decir, realizar una capacitación en el armado de cada tipo de panel por separado. En este caso, las capacitaciones correspondientes a cada tipo de panel hubieran sido tres, una capacitación en panel de muro, una capacitación en panel de piso y una capacitación en panel de techo, explicando en cada una las tipologías, sus particularidades, métodos de uniones, cantidad y distancias, haciendo una demostración de cómo se arma cada panel y se colocan sus capas de manera que se puedan cubrir todos los tipos de panel a fabricar.

## 5. CONCLUSIONES

En conclusión, una planificación detallada, desde la definición de los criterios de diseño de la panelización, hasta la definición del método de unión de los paneles en el montaje, es esencial para asegurar un proceso de fabricación en planta fluido. La experiencia dada en este prototipo resulta muy valiosa para el estudio del proceso de diseño y fabricación de paneles en entramado liviano en madera en planta de bajo nivel tecnológico y los factores del proceso de diseño que influyen en él, considerando que una correcta coordinación y comunicación entre todos los equipos involucrados minimiza problemas y optimiza los tiempos de trabajo, asegurando la calidad final del proyecto.

En una perspectiva práctica, podemos decir que la brecha en capacitación es reducible a través de la repetición y las habilidades adquiridas a través de ella. En este caso, los operarios en fábrica pasaron de manipular 2 tipos de material a 11, lo que en sí constituyó un mayor esfuerzo en el nivel de prefabricación, sin embargo, a lo largo del proceso se logró superar estas barreras a través de la interpretación y enseñanza por parte de un ente supervisor y la práctica. En este nivel de fabricación, se requirió una información más detallada y mayor precisión en los planos a elaborar, lo cual se identificó como un obstáculo, sin embargo, el tener las nociones de qué fue lo que hizo falta en el proceso, desde consideraciones o criterios del diseño no integrados, características faltantes de los planos elaborados, o recursos carentes en sí, constituye un paso importante en el avance hacia una transición a métodos de construcción más sostenibles y eficientes, y nos permite dirigirnos hacia una industria de la construcción de viviendas industrializadas en madera de calidad, que integra a los actores y recursos locales en el proceso.

---

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Razak, M. I., Khoiry, M. A., Wan Badaruzzaman, W. H., & Hussain, A. H. (2022).

*DfMA para un mejor sistema de construcción industrializada [DfMA for a Better Industrialised Building System]. 12(794), 1-22.*

<https://doi.org/10.3390/buildings12060794>

Centro de Innovación en Madera UC & Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

(2023). *Catastro de Capacidades y Brechas de Industrialización de Prefabricadoras con Madera en Chile* [Informe de investigación]. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción. (2024). *Guía MMC:*

*Introducción a los Métodos Modernos de Construcción*. Santiago, Chile: Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción.

Churkina, G., & Organschi, A. (2022). *¿Enfriará el clima la transición a la construcción en madera? [Will a Transition to Timber Construction Cool the Climate?]. 14(4271).*

<https://doi.org/10.3390/su14074271>

Fuentes Riveros, C. (2024, septiembre 2). Un 80% de avance alcanza innovador prototipo

de vivienda social rural en madera. *La Tribuna*. Recuperado de

[https://www.latribuna.cl/desarrollo/2024/09/02/un-80-de-avance-alcanza-](https://www.latribuna.cl/desarrollo/2024/09/02/un-80-de-avance-alcanza-innovador-prototipo-de-vivienda-social-rural-en-madera.html)

[innovador-prototipo-de-vivienda-social-rural-en-madera.html](https://www.latribuna.cl/desarrollo/2024/09/02/un-80-de-avance-alcanza-innovador-prototipo-de-vivienda-social-rural-en-madera.html)

Gao, S., Jin, R., & Lu, W. (2020). Diseño para la fabricación y el montaje en la

construcción: Una revisión [Design for Manufacture and Assembly in Construction: A Review]. *Building Research & Information, 48(5), 538-550.*

<https://doi.org/10.1080/09613218.2019.1660608>

Giorgio, B., Blanchet, P., & Barlet, A. (2022). Representaciones sociales de la madera en masa y la construcción prefabricada de entramado ligero de madera para viviendas de varios pisos: La visión de los usuarios en Quebec [Social Representations of Mass Timber and Prefabricated Light-Frame Wood Construction for Multi-Story Housing: The Vision of Users in Quebec]. *Buildings*, 12(12), 2073. <https://doi.org/10.3390/buildings12122073>

Gobierno de Chile. (2018). *Agenda 2030: Objetivos de Desarrollo Sostenible de Acciones Públicas del Gobierno de Chile* (p. 16). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

Gunawardena, T., & Mendis, P. (2022). *Sistemas de construcción prefabricados—Diseño y construcción [Prefabricated Building Systems—Design and Construction]*. 2, 70-95. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010006>

Gutiérrez, N., Negrão, J., Dias, A., & Guindos, P. (2024). *Revisión bibliométrica de la construcción prefabricada y modular en madera de 1990 a 2023: Evolución, tendencias y retos actuales [Bibliometric Review of Prefabricated and Modular Timber Construction from 1990 to 2023: Evolution, Trends, and Current Challenges]*. 16(2134). <https://doi.org/10.3390/su16052134>

Hairstans, R. (2019). *Construcción en madera industrializada y fuera de obra: Calidad y eficiencia [Off-site and Industrialised Timber Construction: Delivering Quality and Efficiency]* (2ª). BM TRADA.

Koronaki, A., Bukauskas, A., Jalia, A., Shah, D. U., & Ramage, M. H. (2021). Escuelas prefabricadas de madera en el Reino Unido: Retos y oportunidades [Prefabricated Engineered Timber Schools in the United Kingdom: Challenges and Opportunities]. *Sustainability*, 13(22), 12864. <https://doi.org/10.3390/su132212864>

- Lessing, J. (2006). *Construcción industrializada de viviendas: Concepto y procesos [Industrialised House-Building: Concept and Processes]* (Licentiate Thesis). Lund University Lund Institute of Technology, Lund, Suecia.
- Lopez, R., Chong, H.-Y., & Pereira, C. (2022). Obstáculos que impiden la prefabricación in situ de madera y servicios MEP: Análisis cualitativos de constructores y proveedores en Australia [Obstacles Preventing the Off-Site Prefabrication of Timber and MEP Services: Qualitative Analyses from Builders and Suppliers in Australia]. *Buildings*, 12(7), 1044. <https://doi.org/10.3390/buildings12071044>
- Lu, W., Tan, T., Xu, J., Wang, J., Chen, K., Gao, S., & Xue, F. (2021). Diseño para fabricación y montaje (DfMA) en la construcción: Lo viejo y lo nuevo [Design for Manufacture and Assembly (DfMA) in Construction: The Old and the New]. *Architectural Engineering and Design Management*, 17(1-2).  
<https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1768505>
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2023). *Serie de resultados Casen: Déficit habitacional cuantitativo y asequibilidad de la vivienda en Chile. Encuesta Casen 2006-2022* (p. 23). Santiago, Chile: Ministerio de Desarrollo Social y Familia.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2022). *Plan de Emergencia Habitacional 2022-2025* (p. 133). Santiago, Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). *Modifica Decreto Supremo N° 47, de Vivienda y Urbanismo, de 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones en el Sentido de Actualizar sus Estándares y Normas Técnicas Referidas al Acondicionamiento Térmico, Estableciendo Requisitos y Mecanismos de Acreditación para las Edificaciones que Señala.* , Pub. L. No. 47, 19 (2025).

---

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) & Pontificia Universidad Católica de Chile.

(2024). *Guía de diseño e industrialización en madera*. Santiago, Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo y Pontificia Universidad Católica de Chile.

Montazeri, S., Lei, Z., & Odo, N. (2024). Diseño para fabricación y montaje (DfMA) en la construcción: Una revisión holística de las tendencias actuales y las orientaciones futuras [Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) in Construction: A Holistic Review of Current Trends and Future Directions]. *Buildings*, 14(1), 285.  
<https://doi.org/10.3390/buildings14010285>

OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada. (2023). *Guía de la construcción industrializada*. Recuperado de <http://www.offsitehub.org/guia-industrializacion>

Polomadera. (2019). *Manual de Industrialización Madera Contralaminada + Entramado liviano* (1° Edición). Concepción, Chile: Editorial Universidad de Concepción.

Reyes Morales, P. (2017). *PLAN DE NEGOCIOS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN*. Universidad de Chile.

Sustentable y eficiente: Construyen prototipo de vivienda social – Construye2025. (2024, agosto 10). Recuperado 16 de noviembre de 2024, de Construye 2025 website: <https://construye2025.cl/2024/08/10/sustentable-y-eficiente-construyen-prototipo-de-vivienda-social/>

Widanage, C., & Kim, K. P. (2024). Integrando el diseño para fabricación y montaje (DfMA) con BIM para infraestructuras [Integrating Design for Manufacture and Assembly (DfMA) with BIM for infrastructure]. *Automation in Construction*, 167.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105705>

## 7. ANEXOS

### 7.1 Anexo 1: Cuestionario proceso de Diseño: Diseño para la manufactura y el Montaje del caso “La vivienda prototipo”

**Introducción:** Este cuestionario busca recopilar información sobre el proceso de diseño de “La vivienda prototipo” de la Universidad de Concepción. Sus respuestas serán utilizadas exclusivamente con fines académicos. En las siguientes preguntas, encontrará las variables a evaluar según su criterio y experiencia en el proceso.

**Nombre y rol:** Carolina Machuca, Arquitecta colaboradora.

#### A) *Criterios considerados para el diseño y complejidad*

1. *¿Cuál fue la primera etapa del proceso de diseño para la manufactura del prototipo y cuáles fueron las etapas principales que siguieron? (Ejemplo: conceptualización, planificación técnica, desarrollo de planos, despiece, etc.)*

**Respuesta:** Las etapas del diseño fueron 3, una Conceptualización y definición de criterios para el diseño para la manufactura y el montaje, donde hubo que incorporar el Estándar de viviendas DS10, y criterios de diseño DfMA como “leyes para la panelización”, como la escuadría a utilizar transversal, materiales y sus dimensiones que definieron una grilla general para la planta, y la optimización del uso de materiales. Se utilizó Revit para tener la volumetría panelizada. La 2da etapa fue de diseño detallado del modelo panelizado, en Cadwork, donde se continuó integrando criterios para definir la composición en cuanto a los materiales, dimensiones, etc. de cada tipo de panel, muro, piso y techo, revisando el comportamiento higrotérmico y las características de los materiales. Luego los criterios para diseñar en detalle los paneles, como las dimensiones de los camiones de transporte, de las mesas de trabajo de la fábrica de IDV, la simplicidad y estabilidad estructural de cada panel, y el uso de piezas guía como una especie de mapa 3D para la recepción de paneles. Y la 3era etapa que fue de desarrollo de las láminas para los maestros. Las láminas fueron desarrolladas en conjunto, en un formato de 2 láminas por panel, cara interior y cara exterior, con las instrucciones de armado en la misma lámina.

2. *¿Qué criterios se consideraron para el diseño para la manufactura del prototipo?*

*Seleccione:*

- Uso eficiente del material.
- Menor tiempo de fabricación.
- Facilidad de montaje.
- Capacidad tecnológica de la planta.
- Otro, especifique.

**R:** Se consideraron los materiales y sus dimensiones (Medida del OSB de 2,44 x 1,22 m), escuadría estándar, la estandarización de tipologías de paneles y tener la menor cantidad posible. Luego para la composición de los paneles el comportamiento higrotérmico de los materiales, y para el diseño en detalle de los paneles se consideró la simplicidad y estabilidad del diseño, el peso de cada panel, las dimensiones del camión de transporte y de la mesa de fabricación en la planta, y el uso de un mapa 3D con piezas guía para ir fijando los paneles al momento de montar, tanto en el plano horizontal, como soleras guía, como en el plano vertical usando pies derechos de engarce, para “enganchar” un panel a otro.

3. *¿Cómo se aplicaron los criterios seleccionados en cada etapa del diseño para la manufactura y el montaje? Indique ejemplos concretos para al menos una etapa.*

**R:** Los criterios fueron aplicados desde un principio, desde la grilla para la planta de arquitectura según los formatos de los materiales, hasta la consideración de los tamaños de las mesas de fabricación. Fueron considerados según la etapa de desarrollo, cada vez a más nivel de detalle, descubriendo nuevos criterios a medida que se avanza en el proceso. En la 1era etapa, se tuvo que considerar aparte del estándar técnico de las viviendas DS10, que incluía una serie de especificaciones como recintos mínimos, una superficie mínima y medidas, también el cumplimiento del PDA y de la nueva reglamentación térmica del año 2025, también la carbono neutralidad, la circularidad de los materiales y una vocación accesible, todo esto en paralelo con las primeras leyes para definir la panelización del prototipo, es decir, los materiales y sus dimensiones, la optimización del uso de los materiales y una búsqueda de estandarizar los tipos de panel.

4. *¿En qué etapa del diseño se enfrentó más problemas? Seleccione e indique la naturaleza de los problemas, como complejidad técnica, etc.*

- Conceptualización.
- Planificación técnica, criterios.
- Despiece y modelación 3D.
- Desarrollo de planos.

**R:** En el diseño, la conceptualización y definición de criterios es un proceso largo que requiere de investigación, pero ya al pasar a la etapa de desarrollo en detalle, como el despiece y modelación y luego sacar los planos, al implicar un programa especializado como Cadwork, es lo más difícil. Transmitir la información es complicado también, pasar de 0 a 100, del diseño de arquitectura y una panelización volumétrica en Revit, que es un programa ampliamente conocido y utilizado en la industria de la construcción, a un programa especializado como Cadwork. Y llegar al detalle más pequeño, que pueda ser entendido por una persona que no tiene mayores conocimientos de construcción industrializada. Se tuvieron múltiples correcciones con la gente que iba construir los paneles, lo fundamental es que una persona ajena lo tiene que entender.

## **B) Claridad y detalle de la información técnica planos despiece e instrucciones de armado**

5. *¿Cuáles fueron las herramientas principales que utilizaron para el diseño y posterior obtención de los planos a utilizar en la planta?*

**R:** Las herramientas que se utilizaron para el diseño fueron Revit y Cadwork.

6. *A nivel de precisión de los planos desarrollados para su utilización en la planta de fabricación ¿Cuál fue el nivel de detalle de los planos de despiece obtenidos y utilizados en planta? Especifique si incluían tolerancias y ajustes.*

- Alta.
- Media.
- Baja.

**R:** El nivel de precisión y detalle de los planos presentados en fábrica fue alto, se trabajó a través de todo el proceso en milímetros, lo que fue importante para después la precisión en fábrica. Se establecieron escuadrías precisas en milímetros, pero la inclusión de tolerancias y ajustes no fueron suficientes, hay algunas cosas que se pueden solucionar en manufactura en la fábrica, pero al no indicar algunos detalles, como una medida para las pestañas de las membranas hidrófugas o de vapor, luego hubo detalles como pestañas exageradamente largas, así que faltó que sean fiscalizadas las tolerancias. No debía haber espacio para las dudas, todo debía ser preciso. Por ejemplo, indicamos cotas de rectificación (diagonal) en los planos, para que las tolerancias fueran mínimas, porque al momento de montar cualquier milímetro de desajuste cuenta.

7. *¿Se lograron identificar errores en los planos de despiece y detalles entregados a fábrica? (Si la respuesta es afirmativa, describa los errores detectados).*

**R:** Si, en los planos y detalles de los paneles de techo por ejemplo faltó detalles de encuentros, complementar con información de las pestañas de las membranas, etc. Piso y muro son más fáciles de entender, pero la información de techo es más complicada de entender al tener cortes en ángulo, posiciones en espejo de piezas, etc. El diferenciar con colores la codificación de las capas fue buena estrategia, también hay que eliminar la información innecesaria que pueda confundir, las membranas y cintas, por ejemplo. Los tamaños de letras y leyendas por ejemplo fue importante corregir con los mismos maestros, ya que por edades avanzadas algunos no tenían buena vista. También es importante capacitar antes, y explicar la lectura de los planos para que no haya malentendidos.

8. *¿Considera que los planos incluyeron suficientes indicaciones para evitar errores de interpretación en la planta? Justifique su respuesta.*

- Si.
- No.
- Parcialmente.

R: Se puede mejorar, la codificación por colores fue un acierto, un sistema intuitivo. Pero falló en dar entender los pies derechos de engarce, unas piezas que al ser de cierta sección eran del mismo color que los demás pies derechos y no se entendieron bien.

**C) Compatibilidad con la capacidad de producción de la planta y capacitación de la mano de obra**

9. *¿De qué manera se consideraron las características y capacidades de la planta durante el proceso de diseño? Ejemplo: limitaciones de maquinaria, capacidades del personal, espacio disponible, etc.*

R: Las características de la planta se consideraron desde el inicio, pero la planta al tener bajo nivel tecnológico se establecieron escalas de aplicación gradual, los operarios pasaron de fabricar paneles de 3 elementos, pies derechos, soleras y placas OSB, a 11, lo cual fue un gran cambio. Que no tenían CNC también fue considerado desde el inicio, se indicó la organización que debían utilizar en la planta e izaje con puente grúa, por los pesos de los paneles. Hubo mucho acompañamiento, por lo que podemos decir que no solo se consideraron las características de la planta si no que fue parte integral del proceso.

10. *¿Cuál fue el lenguaje y formato de entrega de las instrucciones de armado? Indique si fueron claras y comprensibles para los operarios en la planta, con ejemplos.*

R: El lenguaje y formato de entrega fueron claros, pero siempre puede haber confusiones. A pesar del uso de los colores, de las indicaciones en las láminas, se hicieron múltiples capacitaciones, con espacios e instancias de resolución de dudas, igualmente llamaban para pedir detalles o aclarar instrucciones. No se arriesgan al no conocer el sistema o la tecnología, al estar enfrentados a algo nuevo hay que ir revisando en conjunto.

**D) Coordinación de la información entre equipos diseño-fabricación**

11. *¿Cómo evalúa el flujo de información entre el equipo de diseño y la planta de fabricación? Justifique brevemente.*

- Excelente.
- Bueno.
- Regular.
- Deficiente.

R: Había resolución de problemas y dudas, fue importante no entregar información extra o confusa. En la fábrica pedían lo que les faltaba, hubo retroalimentación entre los equipos.

12. *¿Las especificaciones gráficas, técnicas y el etiquetado de los componentes facilitaron la comunicación y coordinación con el personal en planta? Indique ejemplos o problemas detectados.*

- Si.
- No.
- Parcialmente.

**R:** No se etiquetó cada pieza con códigos más allá que los colores, una codificación más complicada sería abrumadora para una planta de baja tecnología con operarios sin capacitación, fue acertado. Hubo un problema detectado con la codificación aparte de lo que pasó con las piezas de engarce, para las tablas de corte, hubo un problema con incluir información de corte de piezas en obra (in situ), se entregó una versión de las láminas con información de corte de las piezas que iban en situ, las cuales se cortaron y se perdieron, distinguir entre lo que se hace en la fábrica y lo que se hace en obra es muy importante.

13. *¿Qué problemas principales se enfrentaron al transferir información entre el equipo de diseño y la planta? Seleccione de esta lista si aplica:*

- Falta de claridad en los planos.
- Errores de etiquetado.
- Insuficiencia de reuniones de coordinación.
- Otro (Especificar).

**R:** La cantidad de elementos de cada panel eran muchos, por lo que se optó de solución dividir la información y usar colores como codificación, y se capacitó en la lectura de las láminas. Se necesitaba redundancia en la información gráfica y escrita entregada.

14. *¿Se realizaron reuniones periódicas para alinear el trabajo entre el equipo de diseño y la planta?*

- Si.
- No.

*Si la respuesta es afirmativa ¿Cómo evaluaría su efectividad? Justifique.*

- Alta.
- Media.
- Baja.

**R:** Se fueron aclarando las dudas a lo largo de todo el proceso, y siempre que había algo que aclarar se llamaba a la oficina de diseño y era conversado para el mejor entendimiento.

## 7.2 Anexo 2: Cuestionario proceso de Fabricación: Diseño para la manufactura y el Montaje del caso “La vivienda prototipo”

**Introducción:** Este cuestionario busca recopilar información sobre el proceso de manufactura de “La vivienda prototipo” de la Universidad de Concepción. Sus respuestas serán utilizadas exclusivamente con fines académicos. En las siguientes preguntas, encontrará las variables a evaluar según su criterio y experiencia en el proceso.

**Nombre y rol:** Jorge Abate, jefe de diseño IDV, intérprete de planos, supervisor.

### A) Claridad y detalle de la información técnica planos despiece e instrucciones de armado

15. A nivel de precisión de los planos utilizados en la planta de fabricación ¿Cuál fue el nivel de detalle de los planos de despiece utilizados en planta?

- Alta.
- Media.
- Baja.

*Especifique si incluían tolerancias y ajustes.*

**R:** A nivel de los planos utilizados en planta era alto, pero se necesitó más. La información era muy comprimida. En primera instancia, hubo una diferencia de lenguaje. En la planta de fabricación manejábamos un entendimiento a base de “Planos de fabricación” y “Planos de detalle del despiece”, los planos de fabricación de los paneles como lo entendíamos eran los planos de despiece que nos entregaron, con las 2 láminas por panel con las caras interior y exterior, y posteriormente algunos planos de detalles, pero faltó lo que nosotros entendíamos como “Planos de detalle del despiece”, que serían planos donde se detallan las características de cada pieza de un panel, por ejemplo los cortes que lleva una placa de OSB, sus perforaciones, distancias, ángulos, colocación, distancia a los bordes. Los planos de fabricación utilizados eran detallados, pero originaban dudas particulares de las piezas de cada panel que generaban confusión.

Por ejemplo, lo que pasó con las piezas de engarce, eran unas piezas que estaban en los planos, pero tenían el mismo color que otros pies derechos y se confundió y no se pusieron, entonces faltó un plano de detalle en planta para entender que era una pieza diferente. Faltaron planos de detalle de encuentros, y ángulos, una correlación de distancias que les permitiera a los maestros cortar la pieza en el ángulo correcto, por ejemplo, cortes en los bordes de las placas OSB para que no chocaran luego cuando se monta, etc.

16. *¿Se lograron identificar errores en los planos de despiece y detalles entregados a fábrica que provocaron dificultades en la fabricación? (Si la respuesta es afirmativa, describa los errores detectados).*

**R:** Los planos no presentaron errores en sí, pero hicieron falta detalles, encuentros, y planos de detalle del despiece. Faltó información, como distancias de retracción para que luego los materiales no chocaran, y distancias que permitan a los maestros ejecutar lo que necesitan. Por ejemplo, cuando una pieza requiere un corte en ángulo, los maestros no tienen compás, entonces lo que se necesita es la medida de ambos lados, para generar la diagonal y cortar, y para eso la pieza debe ir dibujada completa, y quizá en línea punteada lo que hay que cortar, y una vez que está cortada definir las caras A y B, que van a ser distintas. Entonces hay que pensar qué cotas son más útiles para ellos, pensar el “cómo” se va a fabricar algo, y por eso se necesitan los planos de detalle del despiece. Por eso no falló algo de lo presentado en sí, si no el nivel de detalle de la información.

17. *¿Considera que los planos incluyeron suficientes indicaciones para evitar errores de interpretación en la planta? Justifique su respuesta.*

- Si.
- No.
- Parcialmente.

**R:** Más que errores, para disminuir la curva de aprendizaje es importante instruir eficientemente a los maestros para interpretar bien los planos. Al entregar directo los planos a los maestros, enfrentaron los planos como ellos ya trabajaban, pero estos traen muchísima más información, entonces una de las cosas que ellos no tenían previsto fue la colocación de membranas. Se realizó un ejercicio de instalación de capas, pero solo fue por un lado quizá debió ser de ambos, no se hizo el paralelo, entonces ahí se pudo dar algo de confusión. Las instrucciones de armado pudieron estar mejor.

### ***B) Compatibilidad con la capacidad de producción de la planta y capacitación de la mano de obra***

18. *¿Cómo eran las características y capacidad de la planta durante el proceso de fabricación? Ejemplo: Disponibilidad y limitaciones de maquinaria, capacidades del personal, organización y espacio disponible, cantidad mesas de trabajo, etc.*

**R:** El proceso de fabricación estaba definido por el Layout (Colocación estratégica de las estaciones de trabajo). Partía por la estación de materias primas, que tenía el espacio donde estaba toda la madera, placas de OSB y los terciados estructurales, y luego las estaciones de trabajo, donde primero hay una estación de trazado y dimensionado, que es donde se cortan las placas y se trazan los elementos livianos de madera, donde se necesita

una ingleteadora y cierra circular o rectificadora para el OSB o terciado, luego pasa a las áreas de trabajo de construcción de paneles, donde primero hacen el armado-arriostrado y corte (3). Entre los insumos especializados teníamos aislación térmica, las membranas hidrófugas, las cintas de hermeticidad, y algunas mesas de trabajo se realizaba esta parte (3), en estas mesas se daban vuelta los paneles con el punto grúa, y se ponía la membrana. Y al final preparan para el transporte. En cada mesa tenían una sierra ingleteadora, una sierra circular, un taladro inalámbrico, etc. También había un equipo de movilidad manual, que era un carro que movía las piezas trazadas y cortadas, ordenadas por panel.

19. *¿Cuál fue el lenguaje y formato de entrega de las instrucciones de armado?  
Indique si fueron claras y comprensibles para los operarios, con ejemplos.*

**R:** El formato en que se entregaron los planos fue en papel tamaño carta, con una introducción a cada uno. Después de esa introducción se eliminaron los factores de confusión de herramientas y materiales nuevos. Hacer una interpretación a partir de lo que estén haciendo es importante, y entender que la mayoría de los operarios o fabricantes aprenden de la experiencia y la repetición más allá de que se les explique, tocando los materiales. La planta es más de capacidad humana que de lectura de máquina, la codificación de materiales por colores fue intuitiva, porque con una máquina se puede codificar cada pieza y así optimizar todo, pero eso sería muy complicado para las personas. En este proceso de enseñanza entra la supervisión, fuimos enseñando que no había membrana TRANSPIR 110 sino que había “membrana blanca”, y tiene una textura y esa textura tiene una colocación hacia determinado lado. Entonces ese lenguaje un poco más entendible para ellos puede servir para los planos. Como lo que pasó con las piezas de engarce, todas las piezas de estructura eran azules, ellos vieron las piezas azules y pensaron que sobran y hubo confusión, entonces integrar esa memoria de tacto en el lenguaje utilizado es importante. Por ejemplo, los colores de las membranas, etc.

### **C) Coordinación de la información entre equipos diseño-fabricación**

20. *¿Cómo evalúa el flujo de información entre el equipo de diseño y la planta de fabricación? Justifique brevemente.*

- Excelente.
- Bueno.
- Regular.
- Deficiente.

**R:** Cuando llegó la información directo a los maestros fue desastroso, hubo que interpretarlos a cada uno. Faltaba información, detalles. La presencia de un intérprete fue fundamental para que los maestros fueran aprendiendo.

21. ¿Las especificaciones gráficas, técnicas y el etiquetado de los componentes facilitaron la comunicación y coordinación con el personal en planta? Indique ejemplos o problemas detectados.

- Si.
- No.
- Parcialmente.

**R:** El etiquetado debe indicar cada uno de los componentes individuales, con sus cortes particulares, etc. Y la cota diagonal de rectificación.

22. ¿Qué problemas principales se enfrentaron al transferir información entre el equipo de diseño y la planta? Seleccione de esta lista si aplica:

- Falta de claridad en los planos.
- Errores de etiquetado.
- Insuficiencia de reuniones de coordinación.
- Otro (Especificar).

**R:** Entre la academia y la industria hay un vacío, una disparidad entre los tiempos, presupuesto, y lo que la industria conoce como prototipaje. En la industria saben cómo prototipar, y la academia estudia las formas de probar un prototipo. Un prototipo para la industria es un piloto, algo estudiado, definido y previsualizado. Y para la academia, un prototipo es una prueba que está pensada para repetirse y mejorar. Siempre van a haber esos 3 pilares, la economía, los tiempos (que en la academia son mucho más largos que en los procesos industriales) y el propósito del prototipo.

Los planos fueron claros, pero sin el intérprete no sirven. La insuficiencia de detalles y datos clave, y una introducción a la lectura de los planos, como una metodología, considerando qué información necesita el ejecutor.

23. ¿Se realizaron reuniones periódicas para alinear el trabajo entre el equipo de diseño y la planta?

- Si.
- No.

Si la respuesta es afirmativa ¿Cómo evaluaría su efectividad? Justifique.

- Alta.
- Media.
- Baja.

**R:** Se hacían reuniones frecuentemente, entre el equipo de planta, de diseño y supervisión.

### 7.3 Anexo 3: Cuestionario para la identificación y análisis de los desafíos en el proceso de manufactura de los paneles de “La vivienda prototipo”

Este cuestionario busca identificar los principales desafíos (A nivel de dificultades, problemas o fallas) en el proceso de fabricación de los paneles en la Vivienda Prototipo. Sus respuestas serán utilizadas exclusivamente con fines académicos. En las siguientes preguntas, encontrará las variables a evaluar según su criterio y experiencia en el proceso.

**Identificación:** ¿Cuál es su nombre y rol en el proceso de fabricación en planta para la manufactura de “El prototipo de vivienda social DS10”?

**Sujeto 1:** Carolina Machuca Villagrán, Arquitecta Supervisora.

**Sujeto 2:** Jorge Abate, Jefe de Diseño IDV, supervisor e intérprete de planos.

**Sujeto 3:** Jorge Calderón, Asesor.

#### A. Criterios de diseño considerados y complejidad diseño

En esta sección se abordarán los desafíos experimentados en la planta de fabricación, que se puedan relacionar al diseño como tal.

1. *Entre los siguientes criterios considerados en el diseño para la manufactura del prototipo ¿Alguno de ellos presentó desafíos o dificultades en la fabricación de los paneles? Marque de ser positivo.*

De los criterios considerados, 4 presentaron desafíos o dificultades en la fabricación de paneles. Los más importantes fueron los relacionados con la escuadría, materiales y dimensiones, junto con el Mapa 3D. Los encuestados mencionaron que es indispensable en el proceso de fabricación de los paneles contar con “Mayor información de como serían conectados los paneles en obra, y planos de detalle” (Ver tabla 5).

Tabla 5

*Criterios que presentaron desafíos o dificultades en la fabricación*

Criterios	N° Respuestas
1. Escuadría utilizada, materiales y sus dimensiones.	3
2. Mapa 3D (Uso de piezas guía, como soleras de amarre).	3
3. Dimensiones del camión de transporte, mesa de trabajo de la planta fabricación y peso paneles.	2
4. Optimización del uso de los materiales.	1
5. Estandarización en las tipologías de paneles y cantidad reducida.	0
6. Simplicidad de diseño de paneles.	0
7. Estabilidad estructural paneles (Evitar puntos de falla).	0

*Nota.* Elaboración propia.

*En relación con los criterios seleccionados, describa los desafíos enfrentados en la fabricación de los paneles con relación a ellos, o el criterio no incluido.*

Tabla 6

*Desafíos enfrentados en la fabricación de los paneles en relación con los criterios*

<b>Sujeto 1, Arquitecta Supervisora</b>	<b>Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV</b>	<b>Sujeto 3, Asesor IDV</b>
<p>Materiales nuevos y confusos para fabricantes, se superó con acompañamiento del equipo de diseño.</p> <p>Por mayor peso de paneles (Más elementos y mayor escuadría), se sugiere puente grúa, para completar la composición de ambas caras.</p> <p>El uso de piezas guía en general resultó bien (pestaña en OSB), excepto por la "pieza de engarce" que era difícil de intuir y leer en los planos, lo que provocó que en la mayoría de los paneles no se incorporara.</p> <p>Se visualiza la necesidad de contar con un protocolo de control de calidad de los paneles, para revisar las dimensiones y elementos correctos desde fábrica, antes de salir de ella.</p>	<p>El mapa 3D pudo haber implicado el entendimiento de las piezas especiales y planificación de montaje con anterioridad, que repercute en metodologías de montaje.</p> <p><u>Otro criterio que considerar:</u> Incorporación de Planos de detalle del despiece.</p>	<p>Se requiere más información, ya que no se contaba antes de fabricar los paneles en la fábrica de IDV.</p> <p><u>Otro criterio que considerar:</u> Más información de como serían conectados los paneles en obra, unos a otros.</p>

*Nota.* Elaboración propia.

**2.** *¿Hubo algún criterio adicional que si se hubiera considerado en la etapa de diseño se habrían reducido las dificultades? ¿Cuál?*

Tabla 7

*Criterios adicionales identificados para reducir dificultades en la fabricación*

<b>Sujeto 1, Arquitecta Supervisora</b>	<b>Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV</b>	<b>Sujeto 3, Asesor IDV</b>
<p>Se hizo una jornada de capacitación en la configuración de muro, hubiese sido útil incluir las tipologías de panel de techo y piso.</p> <p>Evitar el uso de paneles de doble condición, que una misma cara de a dos condiciones ambientales diferentes (interior y exterior) simplifica la composición y evita confusiones en la lectura del plano.</p> <p>Evitar piezas poco intuitivas, como la "pieza de engarce".</p> <p>Entregar al equipo de manufactura exclusivamente la información de manufactura, para evitar confusiones con otras etapas.</p>	<p>Considerar la curva de aprendizaje de los operarios, que fue guiada durante el proceso de fabricación y pudo haber traído problemas.</p> <p>Además de no asumir las mecánicas de aprendizaje de los operarios, la mecánica de aprender haciendo a través de la experiencia, repercutía en muchas dudas futuras o interpretaciones erradas durante producción.</p>	<p>Se habrían reducido las dificultades al considerar en la etapa de diseño el disponer de toda la información antes de comenzar la manufactura de paneles, incluyendo el plan de montaje de éstos en obra.</p>

*Nota.* Elaboración propia.

3. ¿El nivel de complejidad del diseño significó alguna dificultad en planta?

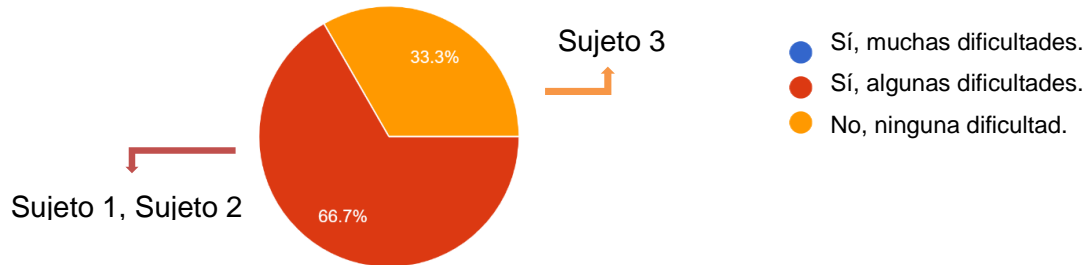


Figura 19. Respuestas pregunta 3. Elaboración propia.

Solo para la arquitecta supervisora y el jefe de diseño de IDV, en la planta si hubo algunas dificultades debido al nivel de complejidad del diseño del prototipo.

**B. Claridad y detalle de la información técnica planos despiece e instrucciones de armado**

En esta sección se abordarán los desafíos experimentados en la planta de fabricación, debido al nivel de claridad y detalle de la información técnica de los planos de despiece e instrucciones de armado entregados a los operarios.

4. ¿Se generaron errores o problemas en la fabricación debido a la interpretación de planos o instrucciones de armado? ¿Cuáles?

Tabla 8

Errores o problemas identificados en la fabricación debido a interpretación de planos

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
En general la lectura de planos era correcta, salvo excepciones en paneles de techo, los cortes en ángulo generaban confusión respecto a la cumblera. Se complementó con detalles constructivos, pero faltaron detalles simplificados en el plano de manufactura por panel. Al ser muchos elementos nuevos, inicialmente hubo confusiones, pero en las instancias de capacitación se opta por usar colores que simplifican la lectura, lo que resultó favorable.	Si, se generaron confusiones por razones de interpretación, entendimiento y grado de dificultad asumida por la planta. La terminología no era la misma entre el equipo de diseño y que se utilizaba en la planta de fabricación, hubo que realizar un esquema 3D de capas para mejorar el entendimiento, y había detalles que no se entendían.	Considero que una intensiva instrucción fue adecuada para fabricar los componentes. Sí se requirió más información 3D, por ejemplo, para ahorrar en la longitud de las pestañas de las membranas.

Nota. Elaboración propia.

5. ¿Qué fallas o dificultades relacionadas con la precisión de los paneles fabricados en comparación con los planos de diseño se dieron en el proceso de fabricación?

Tabla 9

*Fallas o dificultades relacionadas con la precisión de los paneles en comparación de planos*

Fallas o dificultades	N° Respuestas
1. Falta de detalles constructivos de encuentros.	3
2. Imprecisión de las instrucciones de armado.	3
3. Errores en los cortes o desajustes en las dimensiones de las piezas.	2
4. Falta de indicación de tolerancias o medidas de rectificación.	1
5. Codificación de las capas por material o gráfica imprecisa.	1
6. Otra: Revisión de lista de corte para posterior ensamble.	1

Nota. Elaboración propia.

De las 6 fallas o dificultades relacionadas con la precisión de los paneles fabricados en comparación con los planos de diseño que se dieron en el proceso de fabricación de los paneles, dos son las más importantes y se relacionan con la *falta de detalles constructivos de encuentros* y la *imprecisión de las instrucciones de armado*.

*En relación con los desafíos seleccionados en la pregunta 5, elabore en alguno de los desafíos que logró identificar.*

Tabla 10

*Desafíos identificados*

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
<p>En general el dimensionamiento de paneles estuvo bien logrado, excepto en 1 panel que tenía errores en los largos de pie derechos.</p> <p>Complementar la información con detalles de encuentros simplificados hubiese sido útil para dar referencias al equipo respecto al planteamiento del panel.</p> <p>Complementar los planos con esquemas de armado también sería una estrategia adecuada y que permitiría comprender la disposición de los diferentes elementos. Esta información estaba en el plano, pero el tamaño era muy pequeño, por lo que se pasaba por alto.</p>	<p>Precisar o identificar los elementos unitarios, como piezas especiales, para definir detalles de confección o planos de detalles.</p>	<p>Saber cómo se armarían los paneles en la obra, se podrían haber reducido la cantidad y por sobre todo se habría modificado los tamaños y disposición de algunos paneles y con ello su rapidez en el montaje, no existía en ese momento el proyecto de ejecución o montaje.</p>

Nota. Elaboración propia.

### C. Compatibilidad con la capacidad de producción de la planta y capacitación de la mano de obra.

En esta sección se abordarán los desafíos experimentados en la planta de fabricación, en cuanto a la capacidad de la producción de la planta y capacitación de la mano de obra.

6. ¿El plan de producción fue claro y suficiente para organizar y completar las tareas en la planta?

Tabla 11

Respuestas pregunta 6

Nivel de suficiencia	N° Respuestas
1. Sí, completamente suficiente y claro.	0
2. Parcialmente, el plan de producción presentó algunas deficiencias.	3
3. No, el plan de producción fue poco claro o insuficiente.	0

Nota. Elaboración propia.

Los tres sujetos concuerdan que el plan de producción fue parcialmente claro y suficiente para organizar y completar las tareas en la planta, y se presentaron algunas deficiencias.

Describe brevemente las principales dificultades.

Tabla 12

Principales dificultades identificadas

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
<p>Los antecedentes entregados requerían supervisión o acompañamiento por parte del equipo para ejecutarse correctamente.</p> <p>Se requirieron instancias para resolver dudas respecto a planteamiento de prueba (E): piezas que sobraban correspondientes a la "pieza de engarce")</p> <p>En las tablas de corte se incluyeron piezas a reservar para la etapa de montaje, sin embargo, esto genera confusión pues se cortan y terminan sobrando durante la manufactura.</p>	<p>Que a pesar de que las planimetrías y planificación eran bastante claros, no se siguieron los pasos por alguna razón.</p>	<p>Como consultor no participé de esas decisiones.</p>

Nota. Elaboración propia.

7. ¿Se generaron retrasos o tiempos muertos durante la fabricación debido a problemas en el plan, la maquinaria o el personal?

Tabla 13

Respuestas pregunta 7

Razón de los retrasos o tiempos muertos	N° Respuestas
1. Sí, principalmente por problemas en el plan de producción en la planta.	0
2. Sí, principalmente por problemas en el uso de la maquinaria.	0
3. Sí, principalmente por falta de capacitación y especialización del personal.	3
4. No, no se generaron retrasos ni tiempos muertos	0

Nota. Elaboración propia.

Los tres sujetos señalaron que, sí se generaron retrasos durante el proceso de fabricación, debido principalmente al capital humano, específicamente por falta de capacitación y especialización del personal que participó en este proceso.

*Si seleccionó alguna de las opciones positivas, elabore en los desafíos que generaron retrasos o pausas en la fluidez de la producción de los paneles.*

Tabla 14

*Desafíos que generaron retrasos o pausas en la fluidez de producción de paneles*

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
En general siempre existía alguna tarea que realizar, pero en ocasiones algunos paneles quedaban pendientes o el avance era más lento por la confusión o duda que podía provocar algún planteamiento.	Considera la curva de aprendizaje en la adopción de nuevos instrumentos y materiales, además de integrar las mecánicas de absorción de habilidades de los operarios.	La capacitación faltante en los trabajadores se superó rápidamente.

Nota. Elaboración propia.

**8. ¿La mano de obra en la planta está capacitada para operar la maquinaria y cumplir con las tareas asignadas?**

Tabla 15

*Respuestas pregunta 8*

Nivel de capacitación de la mano de obra	N° Respuestas
1. Sí, totalmente capacitada.	0
2. Parcialmente capacitada, con brechas en conocimientos específicos.	3
3. No, presenta una falta significativa de capacitación.	0

Nota. Elaboración propia.

En lo referido a la mano de obra, ésta se encontraba parcialmente capacitada, con brechas en conocimientos específicos para operar la maquinaria y cumplir las tareas asignadas en el proceso de fabricación/manufactura en la planta.

*Si seleccionó "Parcialmente" o "No", mencione las principales brechas de conocimiento o habilidades que logra identificar.*

Tabla 16

*Brechas de conocimiento o habilidades*

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
La mano de obra en planta demostró aprender rápido, sin embargo, se trata de la primera vez en realizar un proyecto de estas características por lo tanto el proceso puede mejorarse desde el personal y su dominio en el armado, complementando esto con la simplificación de aquellos planteamientos de diseño que pueden ser confusos.	Materiales y nuevas mecánicas de trabajo o capas de información de construcción.	Operación de maquinaria neumática y uso de otras máquinas más adecuadas como lo son las grapadoras de membranas.

Nota. Elaboración propia.

#### D. Coordinación de la información entre los equipos diseño-fabricación

En esta última sección se abordarán los desafíos experimentados en la planta de fabricación, en cuanto a la coordinación entre el equipo de diseño y la mano de obra en planta para la fabricación.

#### 9. ¿Cómo influyeron las especificaciones técnicas y gráfica en la comunicación y transferencia de información entre los equipos de trabajo y el personal en planta?

Tabla 17

##### Respuestas pregunta 9

Influencia de especificaciones técnicas y gráfica en la transferencia de información	N° Respuestas
1. Facilitaron significativamente la comunicación y transferencia de información.	0
2. Facilitaron en parte, pero con dificultades menores.	3
3. Dificultaron la comunicación y transferencia de información.	0
4. No fueron efectivas en absoluto.	0

Nota. Elaboración propia.

Los tres sujetos señalaron que las especificaciones gráficas y técnicas facilitaron en parte la comunicación y transferencia de información entre los equipos de trabajo y el personal en planta, con dificultades menores.

*Si seleccionó una opción que indica dificultades, describa los principales desafíos enfrentados.*

Tabla 18

##### Desafíos enfrentados en la coordinación de información

Sujeto 1, Arquitecta Supervisora	Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV	Sujeto 3, Asesor IDV
Las especificaciones gráficas son el medio para transferir la información, es imprescindible que sean comprendidas por el equipo de fabricación. Se requieren varias instancias de retroalimentación entre ambos equipos, con el fin de generar un lenguaje común y comprensible.	Reconocimiento y aprendizaje de capas no conocidas por los operarios, interpretación de líneas cruzadas, y definición de detalles no presentes.	Las uniones de las distintas piezas que conforman los paneles no contaban con la información de la cantidad de clavos o tornillos a usar, así como las membranas transpirables, en general los planos deben contar con esa información.

Nota. Elaboración propia.

**10. ¿Cuáles fueron los principales problemas que se enfrentaron al transferir información entre los equipos de trabajo de diseño - fabricación?**

Tabla 19

*Desafíos enfrentados en la transmisión de información*

<b>Sujeto 1, Arquitecta Supervisora</b>	<b>Sujeto 2, Jefe de Diseño IDV</b>	<b>Sujeto 3, Asesor IDV</b>
<p>La principal problemática que resolver era la incorporación de diferentes capas en las soluciones constructivas del panel, pues hasta ese minuto, el equipo acostumbraba a realizar solo paneles estructurales. Al incorporar membranas, cintas, aislación, era importante generar un lenguaje amigable que fuera simple de leer, pero que contuviera toda la información necesaria.</p> <p>Otra dificultad fue el uso de softwares especializados y de difícil acceso para el personal de planta, lo que requería duplicar la información en formatos compatibles.</p>	<p>Falta de definición de un lenguaje integrado entre los equipos de simple interpretación, y las órdenes de armado como tal, como instrucciones. También indicaciones de instalación de materiales.</p>	<p>Los mesones de trabajo fue una de las dificultades, pues no contaban con las partes que permiten escuadrar los paneles que allí se fabrican y con ello dificultan el montaje y lo vuelve más difícil.</p>

*Nota.* Elaboración propia.