



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



## **Diseño y Manufactura para PYMES: incrementando la eficiencia productiva en Vivienda Social Industrializada en Madera.**

**¿Pueden las PYMES ser una solución al déficit habitacional que promueva desarrollo local e impacto social?"**

POR

Sebastián Ugarte Cadenas

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: Frane Zilic

Profesor Co-Guía: José Pablo Undurraga

Marzo de 2025  
Concepción, Chile

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

© 2025 Sebastián Ugarte Cadenas

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

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### RESUMEN:

**Tema:** El déficit habitacional y su abordaje mediante construcción industrializada en madera, utilizando Métodos Modernos de Construcción (MMC) y principios de Diseño para la Fabricación y Ensamblaje (DfMA), con enfoque en pymes. **Problema:** En Uruguay, el déficit de viviendas requiere soluciones sostenibles y económicas. Las pymes, potenciales protagonistas en este desafío, enfrentan limitaciones tecnológicas, financieras y de capacitación que afectan su competitividad. **Pregunta de investigación:** ¿Cómo impacta la incorporación de tecnología y los principios de DfMA en la eficiencia productiva de pymes dedicadas a viviendas en madera? **Hipótesis:** La implementación de tecnologías intermedias y un rediseño optimizado del layout incrementará la eficiencia productiva en más del 75%, reduciendo tiempos y costos. **Objetivos. General:** Desarrollar un modelo de reconversión productiva para una pyme, aumentando su capacidad en 75% mediante MMC y DfMA. **Específicos:** Diagnosticar el esquema productivo actual, rediseñar el layout y optimizar los flujos mediante tecnología adecuada. **Metodología:** Un enfoque cuantitativo estructurado en etapas: relevamiento, medición, análisis, rediseño y evaluación, empleando herramientas como TOC (Teoría de Restricciones) y conceptos de diseño de plantas industriales. **Resultados alcanzados:** El rediseño del layout y la incorporación de maquinaria especializada duplicaron la capacidad productiva semanal de viviendas. Las mejoras incluyeron la reducción de recorridos y tiempos muertos, la optimización de flujos y una mayor precisión y eficiencia en las tareas de mecanizado. **Conclusiones:** Este estudio confirmó que la reconversión productiva basada en tecnología y diseño industrial puede mejorar la eficiencia en más del 75%, reduciendo costos operativos y tiempos de producción. El modelo propuesto podría replicarse a escala nacional, permitiendo que pymes distribuidas estratégicamente contribuyan a resolver hasta un 25% del déficit habitacional en cinco años. **Palabras clave:** déficit habitacional, DfMA, MMC, pymes, plataforma de componentes.

### ABSTRACT

**Topic:** The housing deficit and its approach through industrialized wood construction, using Modern Methods of Construction (MMC) and Design for Manufacture and Assembly (DfMA) principles, with a focus on small and medium-sized enterprises (SMEs). **Problem:** In Uruguay, the housing deficit demands sustainable and cost-effective solutions. SMEs, as potential key players in this challenge, face technological, financial, and training constraints that hinder their competitiveness. **Research Question:** How does the incorporation of technology and DfMA principles impact the production efficiency of SMEs dedicated to wooden housing? **Hypothesis:** The implementation of intermediate-level technologies and an optimized layout redesign will increase production efficiency by more than 75%, reducing time and costs. **Objectives. General:** Develop a productive reconversion model for an SME, increasing its capacity by 75% using MMC and DfMA principles. **Specific:** Diagnose the current production scheme, redesign the layout, and optimize workflows with appropriate technology. **Methodology:** A quantitative approach structured in stages: data collection, measurement, analysis, redesign, and evaluation, using tools such as TOC (Theory of Constraints) and industrial plant design concepts. **Results Achieved:** The layout redesign and the integration of specialized machinery doubled the weekly production capacity of housing units. Improvements included the reduction of material handling distances and downtimes, optimization of workflows, and enhanced precision and efficiency in machining tasks. **Conclusions:** This study confirmed that productive reconversion based on technology and industrial design can improve efficiency by over 75%, reducing operational costs and production times. The proposed model could be replicated at the national level, enabling strategically distributed SMEs to address up to 25% of the housing deficit within five years. **Keywords:** housing deficit, DfMA, MMC, SMEs, industrialization, component-based platform.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.a. TEMA

El déficit habitacional es un desafío global creciente que requiere soluciones innovadoras y sostenibles. Entre los **Métodos Modernos de Construcción** (MMC, Modern Methods of Construction), destaca la implementación de proyectos de vivienda industrializada en madera, que mejora tiempos, costos y calidad (National Audit Office, 2005) mientras aprovecha las ventajas estructurales y ambientales de la madera. **El Diseño para la Fabricación y Ensamblaje** (DfMA, Design for Manufacture and Assembly), aplicado a una plataforma de componentes panelizados, puede optimizar los procesos productivos, generando soluciones masivas con diversidad de diseños (Noroozinejad, Yang, Sharafi, Noori, & Hajirasouliha, 2024).

Los **MMC**, que incluyen técnicas modulares y prefabricadas, permiten construir viviendas de alta calidad, costo-efectivas y de rápido despliegue (Abiodun et al., 2024). Lestari et al. (2024) resaltan que la madera, correctamente utilizada, ofrece beneficios como la captura de carbono, reducción de desperdicios y menor impacto ambiental, consolidándola como un material esencial en la construcción sostenible. Según el Banco Mundial (2020), la madera tiene un rol estratégico en abordar el déficit habitacional y mitigar el cambio climático, contribuyendo a compromisos internacionales de sostenibilidad.

La integración de pequeñas y medianas empresas (**Pymes**) es clave para enfrentar el déficit de viviendas, distribuyendo beneficios económicos y sociales (Yu, Gorbachevskaya, Bezrukikh, & Safronov, 2021). En Chile, estudios del MINVU y CIM UC (2023) destacan el interés de las Pymes en colaborar con el sector público para desarrollar viviendas sociales, aunque deben superarse brechas en capacidades.

El **DfMA**, desarrollado por Boothroyd, Dewhurst y Knight (2011), simplifica el diseño de componentes para su manufactura y ensamblaje, mejorando costos y tiempos de construcción. Este enfoque estandariza componentes ("kit de partes") y prioriza la construcción off-site, reduciendo trabajo en obra y optimizando la cadena de valor. Según MINVU y CIM UC (2024), el DfMA aborda el diseño para manufactura, que mejora procesos en prefabricación, y el diseño para montaje, que facilita logística e instalación, logrando eficiencia, calidad y sostenibilidad.

#### 1.b. PROBLEMA DE ESTUDIO:

En América Latina y el Caribe, alrededor de 59 millones de personas viven en condiciones inadecuadas o sin acceso a servicios básicos debido al déficit habitacional, que resulta del crecimiento poblacional urbano y la escasez de viviendas asequibles. Se estima que se requiere una inversión de más del 7.8% del PIB regional, lo que resalta la necesidad de colaboración con el sector privado para desarrollar soluciones sostenibles (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023).

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

Uruguay enfrenta un déficit de entre 60,000 y 65,000 viviendas, afectando principalmente a Montevideo y su área metropolitana. Para abordar esta situación, el Sistema Público de Vivienda ha priorizado la construcción de nuevas viviendas y la mejora de las existentes, con programas de alquiler con opción a compra y subsidios para facilitar el acceso a viviendas dignas (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2023; Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial [MVOT], 2024).

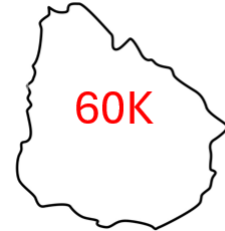


Figura 1. Déficit habitacional cuantitativo Uruguay

La construcción industrializada en madera se presenta como una solución eficiente y sostenible. Este enfoque no solo optimiza tiempos y costos, sino que también mejora la calidad de las construcciones y puede potenciar a las pequeñas y medianas empresas (pymes), fomentando un modelo descentralizado que no dependa únicamente de grandes corporaciones. Sin embargo, las pymes enfrentan limitaciones significativas, como el bajo nivel tecnológico, la escasa capacitación, baja inversión y margen financiero, lo que restringe su capacidad para contribuir efectivamente a la solución del problema (Maslova, Holmes, & Burgess, 2021).

### 1.c MARCO CONCEPTUAL

#### 1.c.1. Déficit Habitacional y Soluciones Innovadoras

En América Latina, el déficit habitacional afecta a millones de personas, planteando un desafío social y económico que requiere soluciones innovadoras y sostenibles. La industrialización en la construcción, combinada con el uso de madera como material estructural, ofrece oportunidades para mejorar tiempos, costos y calidad en la producción de viviendas. Métodos como la prefabricación y la construcción modular han optimizado procesos, pero las pymes enfrentan barreras tecnológicas que limitan su adopción. Al incorporar estos enfoques, las pymes pueden contribuir de manera efectiva a reducir el déficit. (Royal Institution of Chartered Surveyors [RICS], 2018)

#### 1.c.2. Sostenibilidad y Madera en la Construcción

La madera, como recurso renovable, almacena carbono y puede mitigar el cambio climático al sustituir materiales más contaminantes, lo que genera importantes beneficios ambientales en la construcción. Cada vivienda construida con madera industrializada puede almacenar hasta 8 m<sup>3</sup> de carbono, reduciendo significativamente la huella de carbono en comparación con materiales como acero u hormigón (Swedish Wood, n.d.; Churkina et al., 2020). Además, la madera es flexible, ligera y resistente, lo que la hace ideal para sistemas prefabricados y ensamblaje modular.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 1.c.3. Industrialización y Métodos Modernos de Construcción (MMC)

Según Guindos (2019), la industrialización en la construcción implica el diseño de componentes fabricados en entornos controlados, con el objetivo de optimizar la logística y el proceso de montaje en obra. Los MMC están diseñados para mejorar la productividad y la seguridad, mientras que reducen la necesidad de mano de obra mediante soluciones prefabricadas y modulares. Aunque comúnmente se asocian con la construcción modular fuera de sitio, los MMC también abarcan innovaciones tanto en el diseño como en la ejecución en obra. Estos métodos se estructuran en siete categorías definidas por el Ministerio de Vivienda del Reino Unido (Ostime, Heptonstall, & Cross, 2021).

Dentro de estas innovaciones, los paneles bidimensionales 2D y los kits de partes juegan un papel clave, pues permiten una construcción rápida, precisa y eficiente, con menor impacto ambiental al reducir los residuos y optimizar el uso de recursos. Además, contribuyen a disminuir los costos de producción, transporte e instalación.

Los MMC también incluyen técnicas como la construcción volumétrica modular, la panelización y el uso de tecnologías avanzadas en el sitio (Goodier & Gibb, 2007). En particular, la panelización con madera, que involucra la fabricación de elementos planos (como pisos, paredes y techos) fuera del sitio, ofrece mejoras en la productividad y flexibilidad en el diseño.

### 1.c.4. Diseño para la Fabricación y el Ensamblaje (DfMA)

El DfMA es un enfoque que optimiza el diseño de productos, enfocándose en cómo se fabrican los componentes y cómo se ensamblan, para mejorar la eficiencia de la producción (Boothroyd et al., 2011).

Inicialmente relacionado con productos fabricados en masa, su alcance se ha expandido para incluir productos más complejos, como edificios, a través de la personalización masiva, permitiendo adaptar los productos a diferentes necesidades a bajo costo.

En la construcción, DfMA optimiza el diseño, los materiales y la logística. Busca usar componentes y ensamblajes estandarizados, fabricados fuera del sitio, que luego se ensamblan rápidamente en el lugar de construcción. Esto mejora la eficiencia, reduce los costos y acelera el tiempo de construcción.

En fábrica, mejora la seguridad, reduce el desperdicio y los costos laborales, con mayor productividad en comparación con el trabajo en obra. En obra, optimiza la mano de obra, los materiales y el trabajo administrativo. Ambientalmente, disminuye el desperdicio, las emisiones de carbono por transporte y el consumo de energía en el sitio, al ser más eficiente y minimizar el uso de materiales. Este enfoque no solo busca reducir costos y tiempos, sino también facilitar la fabricación de productos más sostenibles y adaptados a las necesidades del cliente (Ostime, Heptonstall, & Cross, 2021).

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 1.c.5. Estandarización y Plataforma de Componentes

Una gran parte del valor del DfMA y los Métodos Modernos de Construcción (MMC) radica en la **eficiencia lograda mediante procesos estandarizados** que aprovechan la repetición de componentes y ensamblajes similares, obteniendo economías de escala. La estandarización agrupa componentes y reduce variables, optimizando recursos y procesos al integrar componentes reutilizables e interoperables.

En la construcción industrializada en madera, el uso de **plataformas de componentes** combina eficiencia manufacturera con flexibilidad en el diseño, mediante elementos modulares como paneles de entramado ligero para paredes, techos y pisos, que permiten personalización y escalabilidad. La **estandarización** también impulsa el desarrollo de cadenas de suministro confiables con plazos y calidad consistentes, mientras que procesos centralizados y repetitivos favorecen la rapidez, reducen errores y aportan certidumbre a la producción. Aspectos clave incluyen: dimensiones consistentes en paneles y módulos, soluciones constructivas comunes (estructuración de muros, conexiones y materiales (MINVU y CIM UC, 2024).

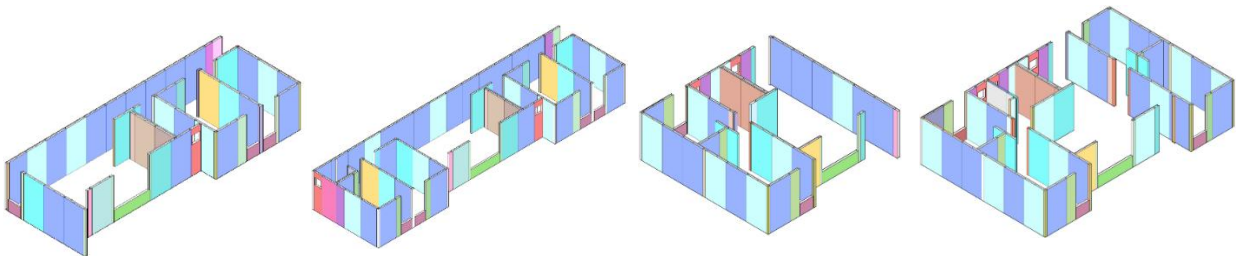


Figura 2. Tipologías de vivienda basadas en sistema de paneles estandarizados (Fuente: Ñande')

### 1.c.6. Rol de las Pymes en la Construcción Industrializada

Según Killian, Arif, Wood & Kaushik (2016) las PYMEs en construcción de viviendas sociales pueden mejorar su eficiencia y resultados adoptando estrategias clave. Estas incluyen involucrar a los equipos de diseño desde las etapas iniciales, priorizar el diseño para fabricación y ensamblaje (DfMA), implementar técnicas modulares y realizar acuerdos estratégicos dentro de la cadena de suministro con los socios adecuados. Además, es esencial invertir en la formación del personal para manejar nuevas tecnologías, aplicar controles de calidad rigurosos en la fabricación y explorar modelos financieros que respalden la industrialización.

Según Farmer (2016), el futuro del sector de la construcción, especialmente para las pequeñas y medianas empresas, depende de aumentar su productividad. Para abordar la escasez de viviendas, es fundamental implementar soluciones innovadoras, como el uso compartido de instalaciones de construcción off-site e invertir en tecnología y procesos precisos que aseguren entregas puntuales y altos estándares de calidad.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 2. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

#### 2.a. ESTUDIO DE CASO

Esta investigación se fundamenta en un estudio de caso desarrollado a partir de la información proporcionada por Ñande´, una empresa uruguaya especializada en la fabricación de viviendas sociales de madera, que ha diseñado y utiliza un sistema propio de panelizado estandarizado.

#### 2.b. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN / HIPÓTESIS

¿Qué impacto **puede tener la incorporación de tecnología y la aplicación de principios de DfMA** en los procesos de manufactura de pymes industrializadoras de viviendas en madera, en términos de eficiencia de producción? ¿Cuáles son los costos de inversión asociados a la implementación de estos cambios, y su beneficio?

##### **Hipótesis:**

La incorporación de tecnologías adecuadas y la optimización de procesos de producción de componentes de madera **incrementará la eficiencia en más del 75%**, reduciendo tiempos y costos operativos respecto a la situación inicial observada en la empresa. Este trabajo se enfoca en la **eficiencia productiva**, pero también busca mostrar que el aumento de la capacidad productiva de las pymes industrializadoras de madera, distribuidas en el territorio, puede contribuir significativamente a reducir el déficit habitacional.

#### 2.c. OBJETIVOS

**Objetivo general:** Desarrollar un proyecto de reconversión productiva para una pyme industrializadora de viviendas sociales de madera, a partir de las posibilidades que brindan los MMC y los fundamentos del DfMA con el fin de aumentar su eficiencia en un 75%

##### **Objetivos específicos:**

1. Realizar un diagnóstico *del esquema de producción y layout* actual de la fábrica caso de estudio, identificando las líneas principales, las tareas y sus tiempos de producción, con el objetivo de establecer una línea de base inicial, identificando procesos críticos a mejorar.
2. Analizar y proponer alternativas de un rediseño del layout de la planta optimizando los flujos de producción incorporando mejoras en los medios de producción a partir de las tecnologías disponibles. Realizar un análisis de eficiencia y rentabilidad de la implementación de estos cambios.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 2.d. DISEÑO METODOLOGICO

El diseño metodológico adopta un enfoque cuantitativo enfocado en la eficiencia productiva, respaldado por teorías en gestión industrial, optimización de procesos y diseño para manufactura. Consta de cinco etapas, cada una basada en fundamentos teóricos específicos:



**Relevar:** Identifica y documenta el estado actual del proceso, detectando ineficiencias y oportunidades de mejora. Este enfoque se sustenta en el Análisis de Sistemas y la Gestión de Operaciones y el Evidence-Based Management (EBM), que promueven la comprensión de flujos de materiales y procesos como base para mejoras (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009). Asimismo, el Diseño de Plantas Industriales (Layout) busca optimizar la disposición de estaciones para reducir movimientos, tiempos improductivos y costos (Muther, 1973).

**Medir:** Cuantifica tiempos, carga de trabajo y desempeño, priorizando acciones en áreas críticas mediante el Estudio de Tiempos y Movimientos propuesto por Frederick Taylor. Este método mide tiempos efectivos, movimientos de materiales y estándares de productividad, proporcionando datos clave para decisiones informadas (Taylor, 1911).

**Analizar:** Permite proponer mejoras informadas basadas en datos objetivos. Aplica la Teoría de las Restricciones (TOC), que identifica cuellos de botella y enfoca esfuerzos en procesos críticos, maximizando la eficiencia global (Goldratt & Cox, 1984). También utiliza el Diseño para la Manufactura y Ensamblaje (DfMA), el cual reduce la complejidad de componentes y optimiza diseños, logrando eficiencia y menores costos (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, 2002).

**Rediseñar:** Implementa mejoras mediante la incorporación de maquinaria eficiente de tecnología intermedia (Hopp & Spearman, 2000), externalización de tareas y optimización de procesos. Estas estrategias, basadas en principios de lean manufacturing, eliminan desperdicios y mejoran flujos de trabajo (Womack & Jones, 1996). Como ejercicio de mejora continua para mejorar los movimientos dentro de una línea, se implementa un piloto desarrollado a través del ciclo PDCA, un método iterativo para planificar, ejecutar y ajustar acciones (Deming, 1986). La externalización permite concentrarse en actividades clave y reducir costos operativos (Barthelemy, 2003).

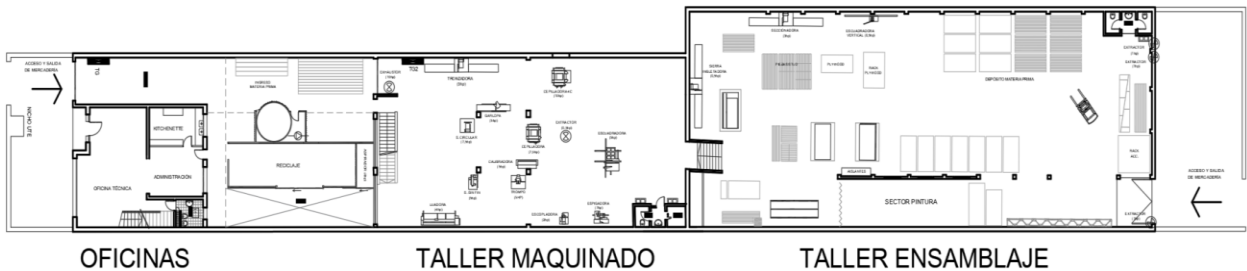
**Evaluar:** Mide la efectividad de las estrategias implementadas mediante métricas como el retorno de inversión (ROI), productividad e impacto financiero. Evalúa la escalabilidad y replicabilidad del modelo con herramientas como el Balanced Scorecard, que conecta indicadores financieros y no financieros, como la calidad en procesos internos, la eficiencia operativa, y el cumplimiento de plazos en procesos clave. (Kaplan & Norton, 1996).

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3. RESULTADOS

#### 3.a. Diagnóstico del esquema de producción – *layout* (Obj.esp.1)

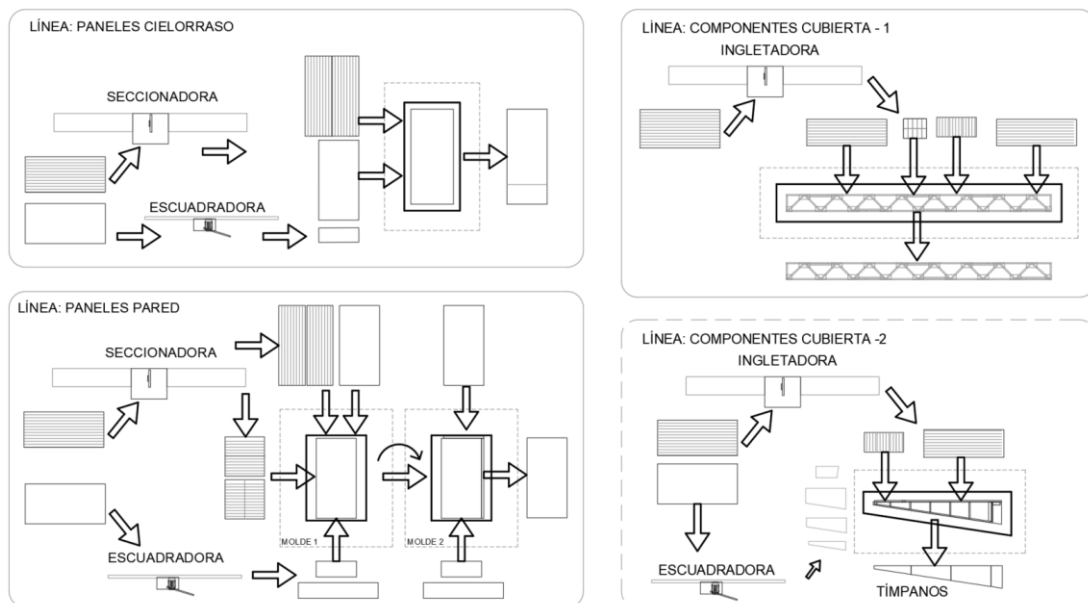
A partir de los esquemas típicos de producción en industrializadoras de madera (Herrmann, 2001) descritos en el libro *Fundamentos del Diseño y la Construcción con Madera* de Pablo Guindos, se exploraron diferentes tipos de estrategias para optimizar la producción.



**Figura 3.** Planta industrial del caso de estudio. (elaboración propia)

#### 3.a.1 Industrializadora analizada, identificación de líneas de producción y flujos:

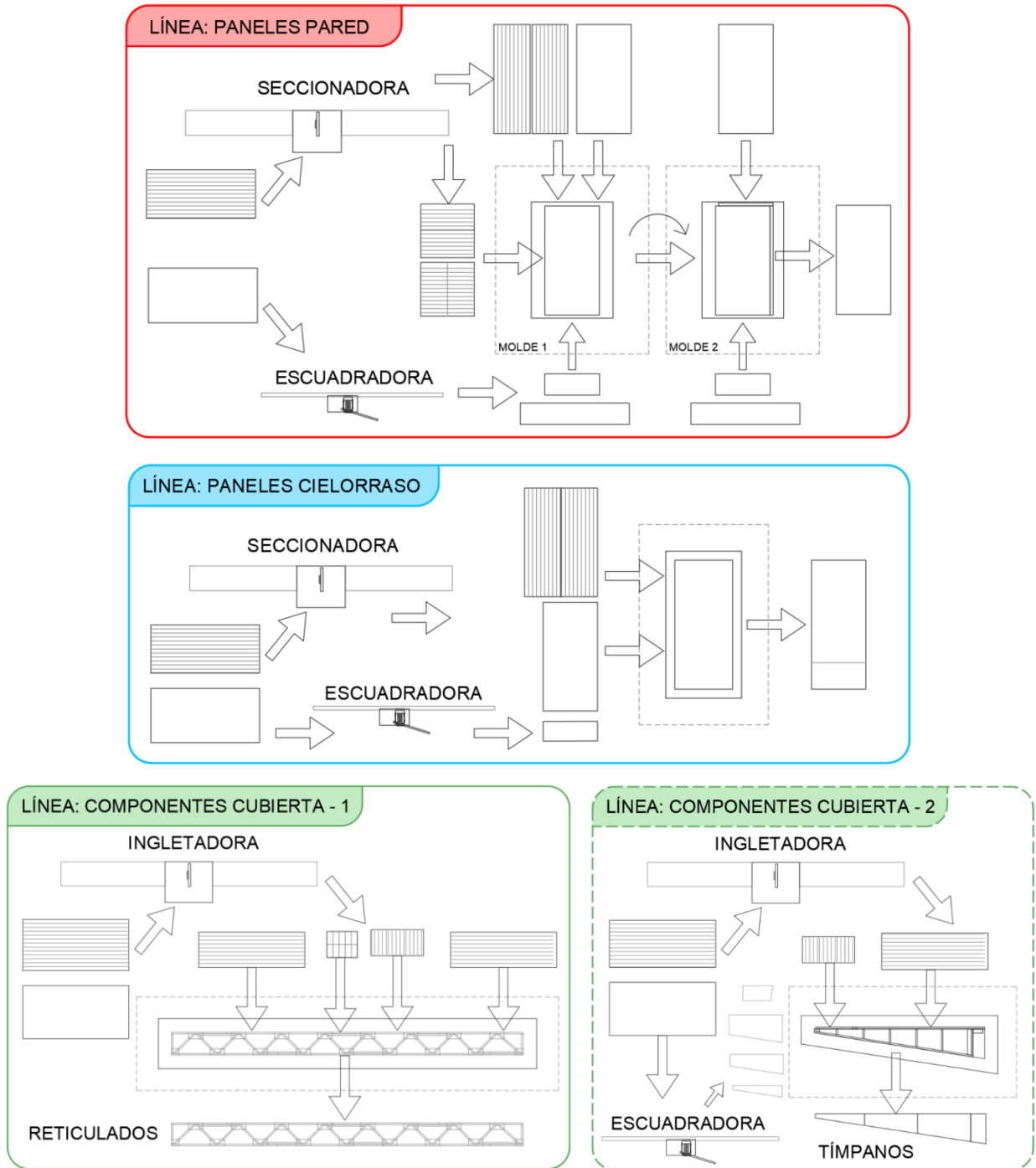
Se identificaron las cuatro líneas principales de producción: *paneles pared*, *componentes de cubierta*, *paneles cielorraso*, *complementos (vigas, puertas, muebles, molduras, etc)*.



**Figura 4.** Identificación de líneas de producción (elaboración propia)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

Se decide limitar el estudio a las tres primeras líneas, excluyendo las de fabricación de complementos, ya que estas concentran el mayor volumen de componentes específicos no externalizables y representan el área donde la empresa aporta un mayor valor diferencial.



**Figura 5.** Flujos esquemáticos de producción de las líneas de producción seleccionadas (elaboración propia)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

A continuación se presentan los flujos de producción para cada línea midiendo los movimientos de materia prima y desplazamientos del personal en metros recorridos.

### Línea de producción 1 (L.P.1): PANELES PARED

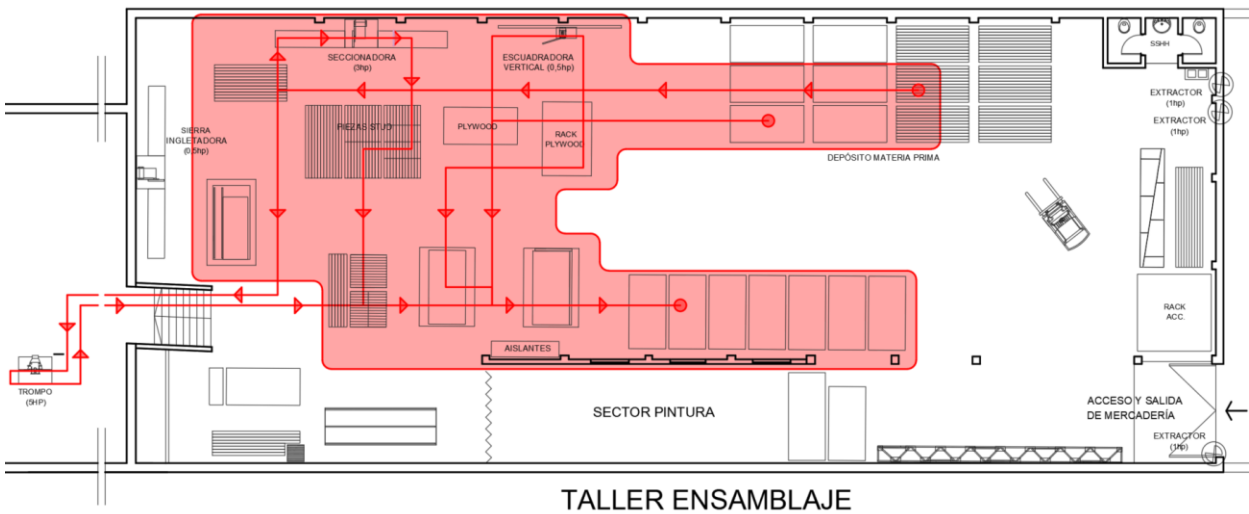


Figura 6. Movimiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados L.P.1 (elaboración propia)

Movimientos: Estructura = 50m + Placa = 20m + Ensamble 28m. Total = 98m

### Línea de producción 2: PANELES CIELORRASO

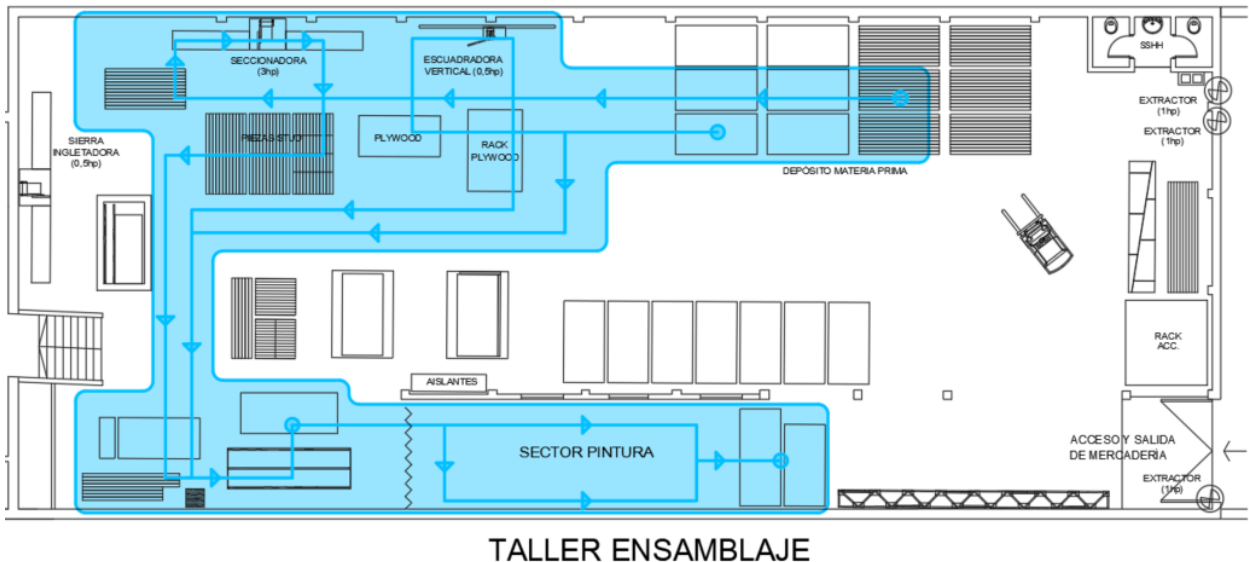


Figura 7. Movimiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados L.P.2 (elaboración propia)

Movimientos: Estructura = 46m + Placa = 56m + Ensamble = 18m. Total = 120m

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### Línea de producción 3: COMPONENTES CUBIERTA

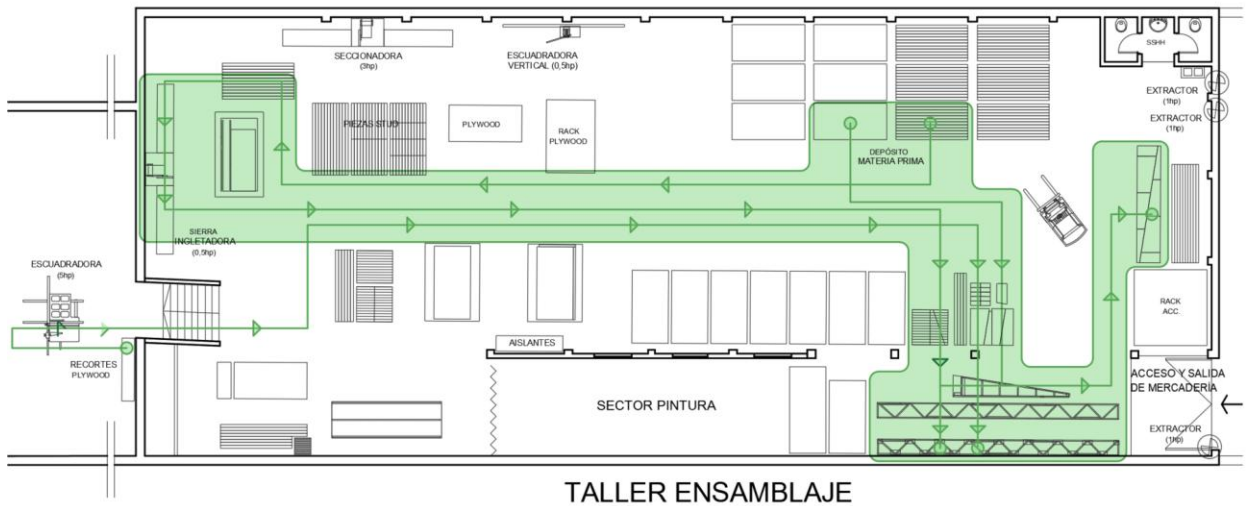


Figura 8. Movimiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados L.P.3 (elaboración propia)

### 3.a.2 Diagrama de flujos superpuestos

En el siguiente gráfico se superponen las líneas de producción y se muestra el cruce de flujos de materiales y productos en proceso dentro de esta fábrica de componentes.

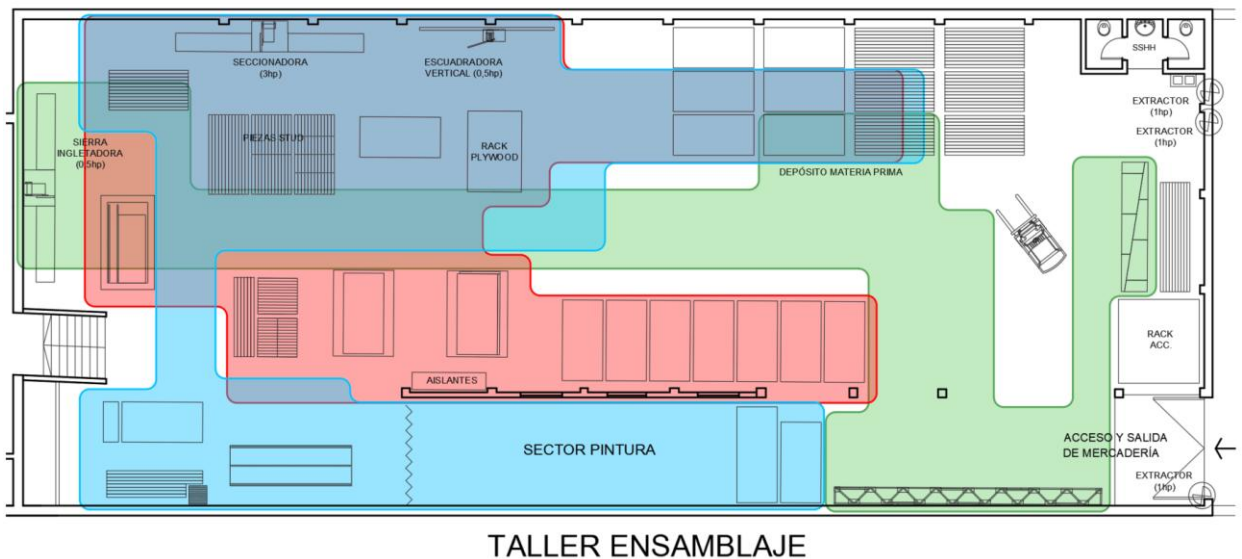


Figura 9. Diagramas de flujos de producción superpuestos (elaboración propia)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.a.3 Tiempos de producción de las Líneas de Producción

El diseño de las líneas de producción en fábrica es un aspecto clave para garantizar un flujo óptimo de materiales. A continuación, se presentan los datos de tiempos promedio de las principales tareas por unidad producida, obtenidos a partir de la medición de los tiempos de fabricación de un lote tipo compuesto por 3 kits de vivienda de 2 dormitorios (55 m<sup>2</sup>). Estos datos incluyen, la carga de mano de obra asignada a cada tarea, el tiempo requerido para cada tarea según el número de personas involucradas y la incidencia de cada tarea en el tiempo total de la línea de producción.

Se midieron tiempos promedio por lote de producción y cronometraron tiempos efectivos de cada tarea para una unidad de producción de forma de establecer:

- carga de mano de obra en minutos “humano” por unidad producida (minH/unid)
- tiempo real “reloj” por unidad, que surge de dividir la carga de mano de obra por la cantidad de personas necesaria para realizar la tarea (min/unid)
- tiempo efectivo (%), como la relación entre el tiempo efectivo de la tarea (sin tiempos muertos y de preparación) y el tiempo promedio real
- incidencia de la tarea específica en el total de tareas de la línea de producción (%)
- incidencia de la línea de producción dentro del total del kit completo de componentes (%)

Además se integran en el análisis de tiempos de producción las tareas de *empaquetado y carga*, que también resultan relevantes en los tiempos totales de entrega.

A continuación en la Tabla 1. se presentan los resultados obtenidos:

#### PROCESOS DE MANUFACTURA ACTUALES

LOTE: KITS DE COMPONENTES PARA 3 CASAS

TAREAS:

PANELES PARED	KITS 3 CASAS										hsH	unid	minH /unid	pers.	min/ unid	tiempo efec.	Inc. %
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5								
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
preparacion material eléct.	8	8									16	228	4	2	2	71%	10%
corte estructura: PARED	4	4									8	1134	0,4	1	0,4	83%	5%
corte placa: PARED	8	8	8								24	402	4	2	2	56%	14%
corte aislantes			4	4							8	756	0,6	1	0,6	39%	5%
calado eléct. 122 y puertas			6	6							12	70	10	2	5	58%	7%
armado placas con eléct.				8	4						12	70	10	2	5	68%	7%
armado paneles: AJUSTES					8	8					16	42	23	2	11	53%	10%
armado paneles: PE y PI							8				8	15	32	2	16	56%	5%
armado paneles: V183 (x4)							8	8			16	36	27	2	13	60%	10%
armado paneles 122 (c, E.)							16	16	16		48	60	48	4	12	58%	29%
hs	20	20	18	18	12	8	32	24	16	0	168	hs totales			60%		
hs/día	40		36		20		56		16		21	jornales (8hrs)					
personas	5		5		3		7		2		4,2	pers/sem			Inc. línea prod.	48%	

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

**TAREAS:**

	KITS 3 CASAS										hsH	unid	minH /unid	pers.	min/ unid	tiempo efec.	Inc. %
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5								
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
<b>PANELES CIELORRASO</b>																	
corte estructuras: CIELORRASO		4									4	162	1,5	1	1,5	54%	8%
corte travesaño: CIELORRASO		4	4								8	495	1,0	1	1,0	52%	17%
corte placas: CIELORRASO				4							4	42	6	1	6	53%	8%
armado paneles: CIELORRASO				8	8	8					24	54	27	2	13	68%	50%
pintura: CIELORRASO				4	4						8	54	9	1	9	68%	17%
hs		0	8	4	12	12	12	0	0	0	0	48	hs			59%	
hs/día		8		16		24		0		0		6	jornales				
personas		1		2		3		0		0		1,2	pers/sem			Inc. línea prod.	14%

**TAREAS:**

	KITS 3 CASAS										hsH	unid	minH /unid	pers.	min/ unid	tiempo efec.	Inc. %
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5								
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
<b>COMPONENTES CUBIERTA</b>																	
corte estructuras: TÍMPANOS	4										4	168	1,4	1	1,4	77%	7%
corte placas: TÍMPANOS	4										4	48	5	1	5	50%	7%
armado paneles: TÍMPANOS		8	8								16	12	80	2	40	63%	29%
corte estruct.: RETICULADOS				4	4						8	180	2,7	1	2,7	38%	14%
corte de placa: RETICULADOS				4	4						8	192	2,5	1	2,5	40%	14%
armado:RETICULADOS						8	8				16	6	160	2	80	56%	29%
hs		8	8	8	8	8	8	8	0	0	0	56	hs			54%	
hs/día		16		16		16		8		0		7,0	jornales				
personas		2		2		2		1		0		1,4	pers/sem			Inc. línea prod.	16%

**TAREAS:**

	KITS 3 CASAS										hsH	unid	minH /unid	pers.	min/ unid	tiempo efec.	Inc. %
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5								
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
<b>COMPLEMENTOS</b>																	
cremalleras	4	4	4								12	36	20	1	20	65%	25%
vigas T invertida	4	4	4	4							16	12	80	1	80	75%	33%
pintura vigas T invertidas					4						4	12	20	1	20	60%	8%
pilares de traba					4	4					8	21	23	1	23	66%	17%
perimetrales y soleras							4	4			8	120	4	1	4	75%	17%
hs		8	8	8	4	8	4	4	4	0	0	48	hs			68%	
hs/día		16		12		12		8		0		6	jornales				
personas		2		2		2		1		0		1,2	pers/sem			Inc. línea prod.	14%

**TAREAS:**

	KITS 3 CASAS										hsH	unid	minH /unid	pers.	min/ unid	tiempo efec.	Inc. %
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5								
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
<b>EMPAQUETADO Y CARGA</b>																	
EMPAQUETADO										16	16	18	53	4	13	50%	50%
CARGA										16	16	18	53	4	13	83%	50%
hs		0	0	0	0	0	0	0	0	16	16	32	hs			66%	
hs/día		0		0		0		0		32		4	jornales				
personas		0		0		0		0		4		0,8	pers/sem			Inc. línea prod.	9%
<b>HORAS TOTALES</b>	36	44	38	42	40	32	44	28	32	16	352						
PERSONAS/am-pm	9	11	9,5	11	10	8	11	7	8	4							
PERSONAS/DIA	10,0		10,0		9,0		9,0		6,0		8,8	promedio semanal					

**RESULTADO ACTUAL:** 8,8 PERSONAS = 3 CASAS x SEMANA

**TABLA 1.** Tiempos de producción medidos por tareas y rendimientos actuales por Líneas de Producción

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.b Análisis de reconversión productiva: propuestas de mejora (Obj.esp.2)

Analizando los tiempos de producción, se observa que las tareas de ensamblaje de paneles tienen la mayor incidencia, seguidas por las de corte de placas y estructuras. Por ello, se priorizan dos áreas críticas: **incorporar maquinaria adecuada** para optimizar tiempos y precisión en corte, ensamblaje y acabado; y **rediseñar el layout de la planta** para reducir los recorridos de materiales y los movimientos entre estaciones. Estas acciones buscan mejorar el flujo de producción, minimizar desperdicios y aumentar la eficiencia operativa. Las propuestas de mejora son las siguientes:

<b>PANELES PARED</b>		<b>OPORTUNIDAD DE MEJORA</b>
preparacion material eléct.	→	externalizar
corte estructura: PARED	→	sierra optimizadora (tronzado)
corte placa: PARED	→	sierra de panel (seccionadora)
corte aislantes	→	guillotina (desarrollar)
calado eléct. 122 y puertas	→	router CNC (frezado)
armado placas con eléct.	→	no se propone
armado paneles: AJUSTES	→	línea optimizada: movimientos
armado paneles: PE y PI	→	línea optimizada: movimientos
armado paneles: V183 (x4)	→	línea optimizada: movimientos
armado paneles 122 (c, E.)	→	línea optimizada: movimientos
 <b>PANELES CIELORRASO</b>		
corte estructuras: CIELORRASO	→	sierra optimizadora (tronzado)
corte travesaño: CIELORRASO	→	externalizar
corte placas: CIELORRASO	→	sierra de panel (seccionadora)
armado paneles: CIELORRASO	→	línea optimizada: movimientos
pintura: CIELORRASO	→	máquina de pintar
 <b>COMPONENTES CUBIERTA</b>		
corte estructuras: TÍMPANOS	→	sierra optimizadora (tronzado)
corte placas: TÍMPANOS	→	sierra de panel (seccionadora)
armado paneles: TÍMPANOS	→	línea optimizada: movimientos
corte estruct.: RETICULADOS	→	sierra ingletadora con mesa
corte de placa: RETICULADOS	→	sierra de panel (seccionadora)
armado:RETICULADOS	→	prensa pórtico para nailplate
 <b>COMPLEMENTOS</b>		
cremalleras	→	externalizar en obra
vigas T invertida	→	externalizar (piezas a medida)
pintura vigas T invertidas	→	no se propone
pilares de traba	→	no se propone
perimetrales y soleras	→	no se propone
 <b>EMPAQUETADO Y CARGA</b>		
EMPAQUETADO	→	paquetes simultaneos (área)
CARGA	→	pórtico grúa, elevador

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 3.b.1 Rediseño del layout

El análisis del diagrama de flujos superpuestos reveló ineficiencias operativas, riesgos para la seguridad y aumento de costos por:

- Retrasos y cuellos de botella: Cruces de flujos generan interrupciones.
- Desorganización: La superposición de líneas dificulta la gestión.
- Mayor riesgo de accidentes: Aumentan los choques, caídas o atropellos.
- Entornos inseguros: Equipos compartidos incrementan los peligros.
- Retrabajos y desperdicios: Los errores por cruces dañan productos y elevan costos.
- Ineficiencia energética: La desorganización aumenta el consumo.

Se propone un **layout lineal** que:

- Asigna áreas específicas por línea de producción.
- Define flujos unidireccionales sin cruces.
- Minimiza los recorridos de materiales.
- Incorpora zonas de almacenamiento intermedio para orden.
- Separa el almacén de materiales de la nave industrial.

Este diseño incrementa eficiencia, seguridad y prepara la planta para adoptar tecnologías modernas y automatización.

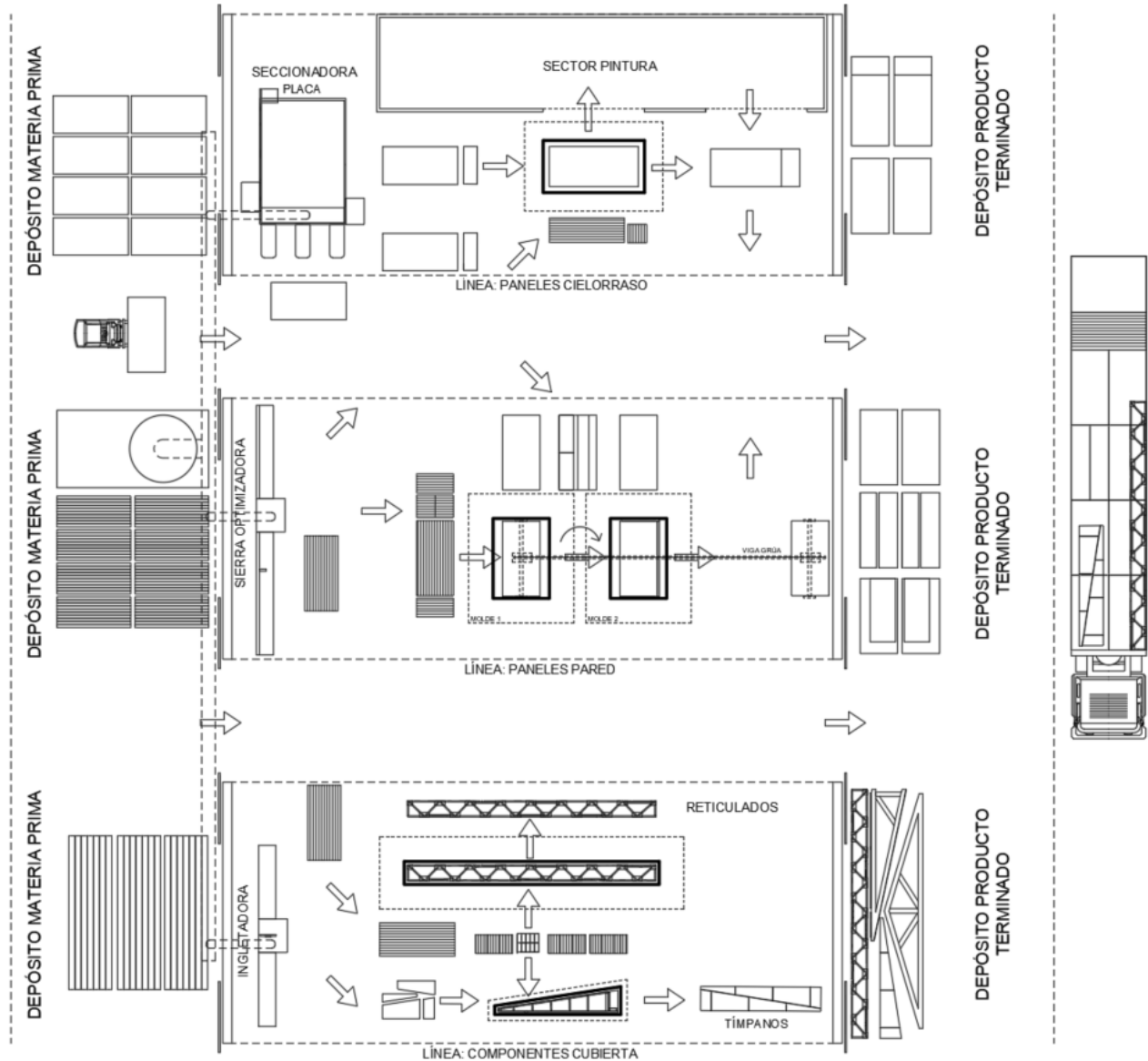
#### 3.b.1.1 Mejorar flujo de material

Siguiendo las recomendaciones de Herrmann (2001):

- Se minimizarán procesos de transporte y, cuando necesarios, se mecanizarán o automatizarán.
- Las estaciones de trabajo estarán cerca unas de otras para reducir recorridos.
- El flujo de materiales será directo desde su llegada hasta su envío, eliminando desviaciones.
- La gestión de materiales residuales estará integrada en el flujo.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.b.1.2 Layout rediseñado con flujos lineales



**Figura 10.** Rediseño del layout con flujos lineales y sectores de depósitos diferenciados (elaboración propia)

#### LÍNEA PANELES PARED

Movimientos: Estructura = 16m + Placa = 18m + Ensamble 15m. Total = 49m

#### LÍNEA PANELES CIELORRASO:

Movimientos: Estructura = 25m + Placa = 15m + Ensamble 12m. Total = 52m

#### LÍNEA PANELES CUBIERTA

Movimientos: Estructura = 22m + Placa = 30m + Ensamble 11m. Total = 63m

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.b.2 Reducción de movimientos a partir de la optimización del *layout* de procesos

En la Tabla 2. se comparan los movimientos de materiales y productos en proceso, destacando como la reducción de recorridos mejora el tiempo efectivo de producción. Esta mejora se calcula considerando la incidencia de los movimientos en el tiempo total de la tarea, basada en observaciones y caracterización de las operaciones.

Las operaciones que implican movimientos de materiales representan entre el 65% y 70% del tiempo total. Por lo tanto, el tiempo efectivo optimizado se estima multiplicando el porcentaje de mejora por la reducción de movimientos y el porcentaje de incidencia de este factor.

	MOVIMIENTOS (metros lineales)								MEJORA INCIDEN.		TIEMPO EFECTIVO PRODUCCIÓN	
	ESTRUCTURA		PLACAS		ENSAMBLE		TOTAL		%	%	Actual	Optim.
	Actual	Optim.	Actual	Optim.	Actual	Optim.	Actual	Optim.				
PANELES PARED	50	16	20	18	28	15	98	49	202%	65%	60%	79%
PANELES CIELORRASO	46	25	56	15	18	12	120	52	231%	65%	59%	89%
COMP. CUBIERTA	65	22	60	30	8	11	133	63	211%	70%	59%	87%
	161	63	136	63	54	37,5	351	164	215%	67%	59%	85%

**TABLA 2.** Cálculo de mejoras en tiempo efectivo de producción por reducción de movimientos

### 3.b.3 Implementación piloto de mejora de movimientos

A modo de ejemplo de estas estrategias se desarrolló e implementó un prototipo de sistema de agarre, desplazamiento y volteo incorporado a la línea de *paneles de pared*. Consiste en un guinche montado sobre una viga, que a través de una percha permite mover y girar el panel del primer al segundo molde y finalmente trasladarlo hasta el paquete correspondiente. Este tipo de sistemas a medida permite reducir tiempos y esfuerzos en la manipulación de componentes individuales, estandariza las tareas y reduce los riesgos ergonómicos y de salud ocupacional.



**Figura 11.** Imágenes de implementación de viga grúa y percha giratoria para LP.1 (Fuente: Ñande´)

### 3.b.4 Externalización

Se Identifican tareas delegables a empresas externas que permiten enfocar recursos internos en actividades principales, reduciendo cuellos de botella y equilibrando cargas de trabajo. Esto mitiga riesgos operativos y mejora la capacidad.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.b.5 Incorporación de maquinaria de producción

Para reducir tiempos en tareas repetitivas de corte y preparación, se propone incorporar maquinaria funcional no automatizada que mejora calidad, velocidad y capacidad operativa:

**Sierra optimizadora/partidora:** Realiza cortes rectos precisos con patrones automáticos, reduciendo desperdicio y aumentando eficiencia.

Reducción tiempo producción estimada entre 2 a 5 veces  
(estimado según datos de fabricantes)



**Figura 12.**  
Imagen ilustrativa Trencher Spida  
(Fuente: [www.spida.com](http://www.spida.com))

**Sierra ingletadora:** Especializada en cortes en ángulo con tope automático, ideal para cerchas y reticulados.

Reducción tiempo producción estimada 5 veces  
(estimado según datos de fabricantes)



**Figura 13.**  
Imagen ilustrativa Sprint Zero Spida  
(Fuente: [www.spida.com](http://www.spida.com))

**Seccionadora de placas:** Maneja grandes formatos como MDF y contrachapado, garantizando cortes rápidos y precisos.

Reducción tiempo producción estimada 10 veces  
(estimado según datos de fabricantes)



**Figura 14.**  
Imagen ilustrativa Hicas CNC Panel Saw  
(Fuente: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

**Router CNC:** Fresado y calado de diseños complejos en madera, con alta precisión y calidad.

Reducción tiempo producción estimada 5 veces  
(estimado según datos de fabricantes)



**Figura 15.**  
Imagen ilustrativa Axyz Router CNC  
(Fuente: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.c. Análisis de tiempos de producción optimizados

Mediante estimaciones se calcularon los nuevos tiempos de producción tras incorporar maquinaria específica, mejorar el layout de la planta y optimizar los flujos de materiales. Los cambios incluyen la reducción de movimientos innecesarios y el uso de dispositivos para manipulación y transporte.

En mecanizado, tareas como el corte y fresado mejoran significativamente en rapidez y precisión gracias a maquinaria especializada. Los tiempos se ajustaron considerando ineficiencias derivadas de la variedad de trabajos y el bajo volumen de piezas por tipo, en relación con la capacidad y velocidad de producción declaradas por los fabricantes.

En el ensamblaje de paneles, la eficiencia aumentó con el rediseño del layout, que favorece un flujo continuo y minimiza tiempos de traslado entre estaciones.

Se presentan como resultados de los tiempos de manufactura mejorados según:

- Incorporación de maquinaria
- Incremento de la eficiencia por reducción de movimientos (optimización del layout)
- Externalización

#### PROCESOS DE MANUFACTURA OPTIMIZADOS

LOTE: KITS DE COMPONENTES PARA 3 CASAS

TAREAS:	KITS 3 CASAS				KITS 3 CASAS				hsH	ote	unid/l /unid	pers.	min/u	n/d	efec.	Inc. %		
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4										DIA 5	
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm									am	pm
preparacion material eléct.										0,0	228	0	0	0	0%	0%		
corte estructura: PARED	3				3					6,3	1134	0,2	1	0,2	90%	4%		
corte placa: PARED	2				2					3,35	402	0,3	1	0	85%	2%		
corte aislantes	4				4					8,4	756	0,3	1	0,3	75%	5%		
calado eléct. 122 y puertas	2				2					4,667	70	2	2	1	70%	3%		
armado placas con eléct.	8	4			8	4				24	70	10	2	5	68%	14%		
armado paneles: AJUSTES		11				11				21	42	15	2	8	80%	12%		
armado paneles: PE y PI		6				6				11,25	15	23	2	11	80%	7%		
armado paneles: V183 (x4)			12				12			24	36	20	2	10	80%	14%		
armado paneles 122 (c, E.)			18	18			18	18		70	60	35	4	9	80%	40%		
<b>hs</b>		19	20	30	18	19	20	30	18	0	0						<b>173 hs</b>	
<b>hs/dia</b>		39		47		39		47		0							<b>21,62 jornales</b>	
<b>personas</b>		5		6		5		6		0							<b>4,324 pers/sem</b>	
																	<b>Inc. línea prod. 46%</b>	

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

TAREAS:	KITS 3 CASAS					KITS 3 CASAS					unidad/l			min/u tiempo			
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5		hsH	ote	/unid	pers.	nid	efec.	Inc. %
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
PANELES CIELORRASO																	
corte estructuras: CIELORRASO	0,5				0,5						0,9	162	0,2	1	0,2	90%	2%
corte travesaño: CIELORRASO											0	495	0,0	0	0,0	0%	0%
corte placas: CIELORRASO		0,4				0,4					0,7	42	0,5	1	1	85%	1%
armado paneles: CIELORRASO		18				18					36,27	54	20	2	10	90%	73%
pintura: CIELORRASO			3	3			3	3			12	54	7	1	7	90%	24%
<b>hs</b>	0,5	18	3	3	0,5	18	3	3	0	0	<b>49,87</b>	<b>hs</b>					
<b>hs/dia</b>		19	6	18,933	6	0					<b>6,233</b>	<b>jornales</b>					
<b>personas</b>		2	1	2	1	0					<b>1,247</b>	<b>pers/sem</b>		<b>Inc. línea prod.</b>	<b>13%</b>		

TAREAS:	KITS 3 CASAS					KITS 3 CASAS					unidad/l			min/u tiempo			
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5		hsH	ote	/unid	pers.	nid	efec.	Inc. %
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
COMPONENTES CUBIERTA																	
corte estructuras: TÍMPANOS	0,9				0,9						1,867	168	0,3	1	0,3	90%	4%
corte placas: TÍMPANOS	0,4				0,4						0,8	48	0,5	1	1	90%	2%
armado paneles: TÍMPANOS		13				13					25	12	63	2	31	80%	47%
corte estruct.: RETICULADOS	1,5				1,5						3	180	0,5	1	0,5	38%	6%
corte de placa: RETICULADOS		1,1				1,1					2,24	192	0,4	1	0,4	40%	4%
armado: RETICULADOS			10				10				20	6	100	2	50	90%	38%
<b>hs</b>	2,8	14	10	0	2,8	14	10	0	0	0	<b>52,91</b>	<b>hs</b>					
<b>hs/dia</b>		16	10	16,453	10	0					<b>6,6</b>	<b>jornales</b>					
<b>personas</b>		2	1	2	1	0					<b>1,3</b>	<b>pers/sem</b>		<b>Inc. línea prod.</b>	<b>14%</b>		

TAREAS:	KITS 3 CASAS					KITS 3 CASAS					unidad/l			min/u tiempo			
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5		hsH	ote	/unid	pers.	nid	efec.	Inc. %
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
COMPLEMENTOS																	
cremalleras											0	36	0	0	0	0%	0%
vigas T invertida		4	4			4	4				16	12	40	1	40	80%	29%
pintura vigas T invertidas				4				4			8	12	20	1	20	60%	14%
pilares de traba				4	4			4	4		16	21	23	1	23	66%	29%
perimetrales y soleras				4	4			4	4		16	120	8	1	8	75%	29%
<b>hs</b>	0	4	4	12	8	4	4	12	8	0	<b>56</b>	<b>hs</b>					
<b>hs/dia</b>		4	16	12	16	8					<b>7</b>	<b>jornales</b>					
<b>personas</b>		1	2	2	2	1					<b>1,4</b>	<b>pers/sem</b>		<b>Inc. línea prod.</b>	<b>15%</b>		

TAREAS:	KITS 3 CASAS					KITS 3 CASAS					minH			min/u tiempo			
	DIA 1		DIA 2		DIA 3		DIA 4		DIA 5		hsH	unid	/unid	pers.	nid	efec.	Inc. %
	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm	am	pm							
EMPAQUETADO Y CARGA																	
EMPAQUETADO				8					8		16	18	27	4	7	90%	33%
CARGA					16				16		32	18	53	4	13	83%	67%
<b>hs</b>	0	0	0	8	16	0	0	0	8	16	<b>48</b>	<b>hs</b>					
<b>hs/dia</b>		0	8	16	0	0	0	24			<b>6</b>	<b>jornales</b>					
<b>personas</b>		0	1	2	0	0	3				<b>1,2</b>	<b>pers/sem</b>		<b>Inc. línea prod.</b>	<b>13%</b>		

<b>HORAS TOTALES</b>	23	56	47	41	47	56	47	33	16	16	379,7
<b>PERSONAS/am-pm</b>	5,7	14	12	10	12	14	12	8,1	4	4	
<b>PERSONAS/DIA</b>	9,9	10,9	12,9	9,9	4,0	9,5	promedio semanal				

**RESULTADO OPTIMIZADO:** 9,5 PERSONAS = 6 CASAS x SEMANA

**TABLA 3.** Tiempos de producción estimados por tareas y rendimientos mejorados por Líneas de Producción

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 3.d Plantas móviles satélite para fabricación de componentes simples

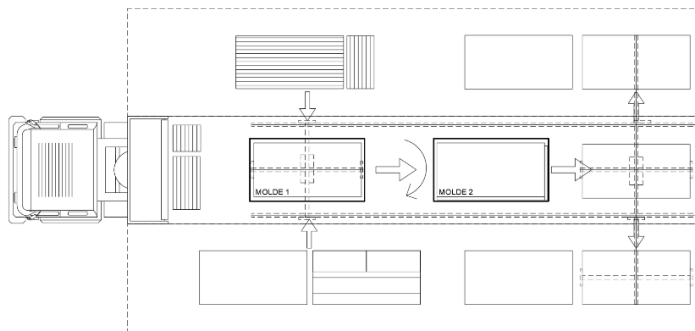
La descentralización basada en componentes estandarizados permite asignar tareas según su complejidad: paneles simples se podrían producir en plantas móviles o cercanas al montaje, mientras que la planta principal fabrica componentes complejos que requieren mayor tecnología y control.

Analizando como ejemplo el listado de paneles de una vivienda tipo de 2 dormitorios (ver Tabla 4), aproximadamente un tercio de los paneles son simples (20/59), mostrando el potencial de esta estrategia.



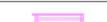














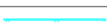








Este modelo reduce costos logísticos al fabricar cerca de la obra, minimizando el transporte de paneles voluminosos y priorizando envíos más compactos.

La planta principal aumentaría de esta forma su capacidad productiva en un 30%, especialmente adecuado para proyectos grandes y/o distantes.

Las plantas móviles, con herramientas portátiles y sistemas de calidad, mejoran la competitividad en proyectos lejanos, manteniendo estándares y reduciendo costos. La combinación de plantas principales y móviles permite cubrir el país eficientemente, aprovechando las capacidades de las pymes locales y adaptándose a cada región.



**Figura 16.** Ejemplo de planta móvil sobre camión o contenedor (elaboración propia)

PANELES	CANT.
 C	18
 C HH	1
 1/2 HR	1
<b>AJUSTES</b>	
 A55	1
 A44	1
 A26	1
 A17	3
 A12	3
<b>ESQUINAS - TRABAS</b>	
 PTmm	2
 PTmh	2
 AT19	2
<b>COMPLEMENTOS</b>	
 A3.7	3
 Comp. 3cms	1
<b>PANELES ELECTRICA</b>	
 T	1
 E11	5
 E11TD	1
 E11II b	1
 E21	1
 E21 b	1
 E21	1
 A55 1B	1
 A36 2B	2
<b>ABERTURAS Y PANELES ESPECIALES</b>	
 1/2 V	1
 AP82	3
 AP220	1
 PHE PHS A30 BAÑO	1

**TABLA 4.** Listado de paneles de pared de vivienda tipo de 2 dormitorios (Fuente: Ñande´)

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 3.e Evaluación de Rentabilidad e Indicadores Financieros (ver anexo 1)

Se evalúa la viabilidad económica de una inversión aproximada de USD 365,000 para reconvertir una planta industrializadora de viviendas sociales en madera en Uruguay. La inversión incluye maquinaria especializada e infraestructura para duplicar la producción anual de viviendas, pasando de 150 a 300 unidades en un plazo de tres años.

La inversión proyectada aproximada es de **USD 365,000** y se desglosa como sigue:

- **Maquinaria y equipo:** USD 149,000.
  - Sierra optimizadora (tronzado): **USD 42,000.**
  - Sierra de panel (seccionadora): **USD 35,000.**
  - Router CNC (frezado): **USD 12,000.**
  - Sierra ingletadora con mesa y tope: **USD 20,000.**
  - Pórtico grúa y otros: **USD 40,000.**
- **Instalaciones:** USD 36,000.
- **Infraestructura:** USD 180,000.

### Proyección de ingresos y márgenes de utilidad

Se estima un aumento progresivo en la producción anual y los ingresos:

- **Año 1:** 200 viviendas, ingresos de **USD 3,000,000.**
- **Año 2:** 250 viviendas, ingresos de **USD 3,750,000.**
- **Año 3 y siguientes:** 300 viviendas, ingresos de **USD 4,500,000** por año.

La utilidad después de impuestos se calcula para los tres escenarios: **Pesimista (8%), Conservador (10%), Optimista (12%).**

### Rentabilidad según escenarios:

El Período de Retorno de la Inversión (PRI) es relativamente corto:

- Pesimista: 1.8 años, Conservador: 1.5 años, Optimista: 1.3 años

### Tasa Interna de Retorno (TIR):

- Pesimista: 15.2%, Conservador: 21.8%, Optimista: 28.3%

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio confirma que los objetivos específicos planteados han sido alcanzados y ofrece evidencia sustancial para responder la pregunta de investigación y comprobar la hipótesis inicial.

En relación con el **Objetivo Específico 1**, el diagnóstico del esquema de producción y layout actual identificó ineficiencias críticas que afectaban el desempeño productivo, como flujos desorganizados, recorridos excesivos de materiales y maquinaria poco eficiente. Este análisis estableció una línea base sólida, detallando el estado actual de la fábrica y señalando puntos críticos a mejorar.

En cuanto al **Objetivo Específico 2**, se diseñó un layout optimizado e incorporó tecnología más eficiente, mejorando los flujos de trabajo, reduciendo tiempos muertos y optimizando espacio y recursos humanos. La capacidad productiva aumentó de 3 a 6 casas semanales, con un incremento cercano al 100% en la producción, evidenciando una mejora significativa en la eficiencia del sistema.

Desde la perspectiva teórica, los resultados coinciden con los principios del Marco Teórico, que destacan la mejora de flujos y la importancia de integrar tecnología como claves para aumentar la eficiencia y productividad y superar limitaciones de procesos tradicionales.

En conclusión, las propuestas de mejora impactan significativamente en la capacidad y eficiencia productiva, respondiendo la pregunta de investigación y confirmando la hipótesis, subrayando la importancia de diagnósticos y estrategias basadas en datos para la producción industrial sostenible.

#### 4.1 Conclusión del análisis de inversión

La reconversión de la planta industrializadora es una inversión altamente rentable. El Período de Retorno de la Inversión (PRI) es corto en todos los escenarios, especialmente en los optimista y conservador (menos de un año). El Retorno de la Inversión (ROI) supera el 400% en todos los casos, alcanzando más del 600% en el escenario optimista.

La rentabilidad proyectada supera el promedio del sector de la construcción en Uruguay (6%-8%), consolidándose como una inversión atractiva y competitiva. La reconversión de la planta industrializadora presenta un alto potencial de rentabilidad y un rápido retorno, justificando la ejecución del proyecto para expandir la producción y satisfacer de mejor forma la demanda de viviendas sociales.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

### 5. CONCLUSIONES

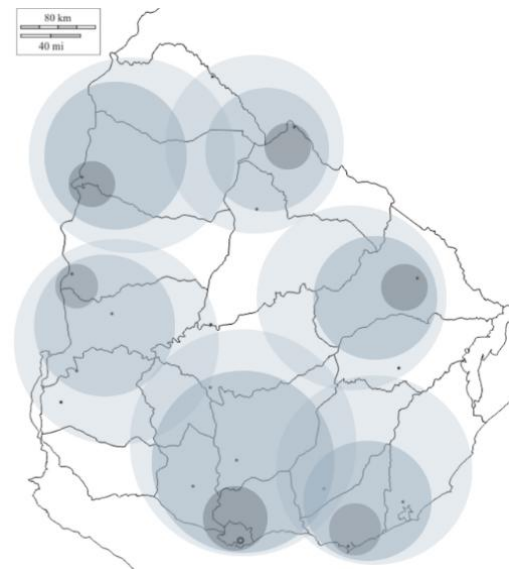
Este estudio confirma que la reconversión productiva del caso del estudio, mediante tecnología de nivel intermedio y el rediseño del layout basado en principios de industrialización y DfMA, **incrementa la eficiencia en más del 75%**, reduciendo tiempos, costos y mejorando la calidad en la construcción de viviendas prefabricadas de madera. Estrategias como optimización de flujos, maquinaria especializada y plantas móviles satélite resultan claves para resolver las ineficiencias identificadas.

En Uruguay, un modelo de Pymes industrializadoras estratégicamente distribuidas en el territorio **podría cubrir hasta el 25% del déficit habitacional en cinco años**. Este esquema requeriría de 6 a 10 plantas, cada una produciendo entre 300 y 400 viviendas al año, enfocadas en soluciones habitacionales de baja y media densidad con sistemas de entramado ligero panelizado, probados por su eficiencia y sostenibilidad.

La inversión en tecnología de nivel intermedio es notablemente menor y más flexible que la de plantas semiautomatizadas. Estas plantas son más adaptables a cambios de demanda, operan con mayor flexibilidad y dependen menos de recursos humanos especializados. La colaboración entre plantas, usando componentes estandarizados, permite optimizar recursos, reducir costos y acelerar entregas.

Este modelo no solo atiende una parte significativa del déficit habitacional, sino que genera más empleo, fomenta la capacitación en construcción industrializada y fortalece la cadena de valor local, integrando la industria de la madera, la tecnología y el conocimiento disponible. Además, la sostenibilidad del uso de madera y el liderazgo de las Pymes ofrecen una solución responsable e inclusiva.

A largo plazo, el modelo promueve un ecosistema industrial diversificado que facilita la **adopción gradual de tecnologías avanzadas**, equilibrando la viabilidad inmediata con la preparación para el futuro de la construcción industrializada en Latinoamérica.



**Figura 17.** Distribución teórica de industrializadoras de vivienda sociales en Uruguay según déficit habitacional

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abiodun, B., Adeyemi, T., Ohakawa, C., Okwandu, A., Iwuanyanwu, O., & Gil-Ozoudeh, I. (2024). Integrating modular and prefabricated construction techniques in affordable housing: Architectural design considerations and benefits. *2(1)*, 010-019. <https://doi.org/10.57219/crrst.2024.2.1.0030>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). *Investment and statistics on the housing deficit across Latin America*.
- Banco Mundial. (2020). *La construcción de viviendas de madera en Chile. Un pilar para el desarrollo sostenible y la agenda de reactivación*.
- Barthelemy, J. (2003). The five pitfalls of outsourcing. *MIT Sloan Management Review*, *44(3)*, 22-26.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2011). *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)*.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros* (12ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., ... & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Frontiers in Forests and Global Change*, *3*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00058>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Center for Advanced Educational Services.
- Farmer, M. (2016). *The Farmer Review of the UK construction labour model: Modernise or die*. Construction Leadership Council. <https://www.constructionleadershipcouncil.co.uk>
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *La Meta: Un proceso de mejora continua*. North River Press.
- Goodier, C., & Gibb, A. (2007). *Advanced construction technologies and modularity through modern methods of construction*.
- Gorbachevskaya, O., E, Y., Bezrukikh, D., & Safronov, A. (2021). Wooden house building market: Technological problems in development issues. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *751(1)*, 012090. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012090>
- Guindos, P. (2019). *Fundamentos del diseño y la construcción con madera*. Ediciones UC.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2000). *Factory Physics* (2nd ed.). McGraw-Hill.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

Herrmann, P. (2001). *Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise*. Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.

Kaplan, R., & Norton, D. (1996). *The Balanced Scorecard*. Harvard Business Review Press.

Killian, P., Arif, M., Wood, G., & Kaushik, A. (2016). Offsite construction in the UK housing sector: Barriers and challenges.

Lestari, L., & Ikaputra, I. (2024). Toward Sustainable Construction Using Wood Material. *International Journal of Environment, Architecture, and Societies*, 4(02), 77-90. <https://doi.org/10.26418/ijeas.2024.4.02.77-90>

Maslova, S., Holmes, H., & Burgess, G. (2021, July). Deploying modular housing in the UK: Exploring the benefits and risks for the housebuilding industry. Retrieved from [https://www.cchpr.landecon.cam.ac.uk/files/media/modular\\_housing\\_report\\_250621\\_final.pdf](https://www.cchpr.landecon.cam.ac.uk/files/media/modular_housing_report_250621_final.pdf)

Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Pontificia Universidad Católica de Chile. (2023). *Catastro de capacidades y brechas de industrialización de prefabricadoras en madera de mediana y baja tecnología*. Centro de Innovación en Madera UC (CIM UC).

Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Pontificia Universidad Católica de Chile. (2024). *Guía de diseño e industrialización en madera*. Centro de Innovación en Madera UC (CIM UC).

Muther, R. (1973). *Systematic Layout Planning*. Cahnerns Books.

National Audit Office. (2005). *Modern methods of construction: The future of housing?* Retrieved from <https://www.nao.org.uk>

Noroozinejad Farsangi, E., Yang, T. Y., Sharafi, P., Noori, M., & Hajirasouliha, I. (2024). Modern methods of construction (MMC): A solution for the global housing crisis. *STRUCTURE*, 10, 18-21. <https://www.structuremag.org/article/modern-methods-of-construction-mmc-a-solution-for-the-global-housing-crisis/>

Ostime, N., Heptonstall, I., & Cross, S. (2021). *DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work. Mainstreaming design for manufacture and assembly in construction*. RIBA Publishing.

Pine, B. (1993). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business Review.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). (2018, September). *Modern methods of construction: A forward-thinking solution to the housing crisis?* RICS. <https://www.rics.org>

Swedish Wood. (n.d.). *Climate-positive products that build the future*. Retrieved from <https://www.swedishwood.com>

Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. Harper & Brothers.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking*. Simon & Schuster.

Para la redacción de esta investigación se utilizó ChatGPT para realizar correcciones, encontrar citas bibliográficas y asistir en la organización del contenido. Las decisiones finales y ediciones fueron realizadas por el autor:

OpenAI. (2024). *ChatGPT* (modelo GPT-4). <https://openai.com>

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 7. GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

**MMC (Modern Methods of Construction):** Métodos Modernos de Construcción, técnicas como panelización, prefabricación modular y volumétrica que optimizan tiempos y costos.

**DfMA (Design for Manufacture and Assembly):** Diseño para la Fabricación y Ensamblaje, enfoque que facilita producción y ensamblaje eficiente.

**OSM (Off-site Manufacturing):** Manufactura fuera de sitio que permite producir componentes en entornos controlados y luego ensamblarlos en obra.

**Layout:** Disposición o diseño físico de máquinas, herramientas y espacios dentro de una fábrica.

**TOC (Theory of Constraints):** Teoría de Restricciones, método que identifica y optimiza cuellos de botella en un sistema productivo.

**Ciclo PDCA:** Planificar-Hacer-Verificar-Actuar, estrategia de mejora continua en procesos productivos.

**Plataforma de componentes:** Estructura estandarizada que permite modularidad y escalabilidad en sistemas constructivos.

**Panelización:** Sistema de fabricación de elementos bidimensionales (paredes, techos) preensamblados en fábrica.

**Lean Manufacturing:** Filosofía de producción enfocada en minimizar desperdicios y maximizar valor agregado en procesos industriales.

**ROI (Return on Investment):** Indicador financiero que mide el rendimiento de una inversión en relación con su costo.

**TIR (Tasa Interna de Retorno):** Tasa que iguala a cero el valor presente neto de una serie de flujos de caja futuros, usada para evaluar inversiones.

**Sierra optimizadora:** Herramienta especializada para cortes precisos, que minimiza desperdicios y maximiza eficiencia en procesos industriales.

**Router CNC (Control Numérico Computarizado):** Máquina que realiza cortes y grabados de alta precisión en materiales como madera.

**Prefabricación:** Técnica constructiva donde se ensamblan módulos o elementos en fábrica antes de su montaje en obra.

**Industrialización en construcción:** Uso de procesos y tecnologías avanzadas para fabricar componentes constructivos en entornos controlados.

**Construcción modular:** Sistema constructivo que utiliza módulos 3D independientes ensamblados en fábrica para luego ser transportados y unidos en sitio.

**Descentralización productiva:** Estrategia de distribución de la fabricación entre diversas instalaciones para reducir costos logísticos y tiempos de transporte.

**Kit de partes:** Conjunto estandarizado de componentes prefabricados diseñados para ensamblaje eficiente en obra.

**Optimización de flujos:** Técnicas para reducir desplazamientos innecesarios y maximizar la productividad en la organización de una planta.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### 8. ANEXOS

#### ANEXO 1: Análisis de Rentabilidad, Período de Retorno de la Inversión (PRI), Retorno de la Inversión (ROI) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se presenta un análisis detallado que tiene como objetivo evaluar la rentabilidad de la inversión necesaria para la reconversión de una planta industrializadora de viviendas sociales en madera en Uruguay. Esta reconversión, que involucra una inversión total de 365.000 dólares, incluye la adquisición de maquinaria especializada y la ampliación de infraestructura para duplicar la producción anual de viviendas, pasando de 150 a 300 unidades al año. Se realiza un análisis detallado de los flujos de caja proyectados, utilizando tres escenarios de rentabilidad: pesimista, conservador y optimista. Además, se incorporan cálculos clave como el Período de Retorno de la Inversión (PRI), el Retorno de la Inversión (ROI) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), para ofrecer una visión integral de la viabilidad económica del proyecto. Finalmente, se compara la rentabilidad de esta inversión con la rentabilidad promedio del sector de la construcción en Uruguay, con el fin de contextualizar los resultados obtenidos y evaluar la competitividad de la inversión dentro del mercado.

##### 1. Detalle de la inversión

La inversión proyectada es de **USD 365,000** y se desglosa como sigue:

- **Maquinaria y equipo:** USD 149,000.
  - Sierra optimizadora (tronzado): **USD 42,000.**
  - Sierra de panel (seccionadora): **USD 35,000.**
  - Router CNC (frezado): **USD 12,000.**
  - Sierra ingletadora con mesa: **USD 20,000.**
  - Elevador, pórtico grúa y otros: **USD 40,000.**
- **Instalaciones y extracción:** USD 36,000.
- **Infraestructura:** USD 180,000.

##### 2. Proyección de ingresos y márgenes de utilidad

Se estima un aumento progresivo en la producción anual y los ingresos:

- **Año 1:** 200 viviendas, ingresos de **USD 3,000,000.**

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

- **Año 2:** 250 viviendas, ingresos de **USD 3,750,000**.
- **Año 3 y siguientes:** 300 viviendas, ingresos de **USD 4,500,000** por año.

La utilidad después de impuestos se calcula para los tres escenarios: **Pesimista (8%)**, **Conservador (10%)**, **Optimista (12%)**.

**Flujo de fondos netos por año** (utilidad después de impuestos):

Año	Pesimista (8%)	Conservador (10%)	Optimista (12%)
1	USD 221,750	USD 281,750	USD 341,750
2	USD 199,131	USD 274,131	USD 349,131
3	USD 259,131	USD 349,131	USD 439,131
4	USD 259,131	USD 349,131	USD 439,131
5	USD 259,131	USD 349,131	USD 439,131

### 3. Período de Retorno de la Inversión (PRI)

El **PRI** mide el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja acumulados.  $PRI = \text{Inversión Inicial} / \text{Utilidad Anual}$

#### Cálculo por escenario:

Se acumulan los flujos anuales hasta que iguallen la inversión de USD 365,000.

- **Escenario pesimista (8%):**
  - Año 1: USD 221,750 acumulados.
  - Año 2: USD 221,750 + USD 199,131 = USD 420,881 (**retorno en Año 2**).
  - **PRI = 1.8 años.**
- **Escenario conservador (10%):**
  - Año 1: USD 281,750 acumulados.
  - Año 2: USD 281,750 + USD 274,131 = USD 555,881 (**retorno en Año 2**).
  - **PRI = 1.5 años.**
- **Escenario optimista (12%):**
  - Año 1: USD 341,750 acumulados.
  - Año 2: USD 341,750 + USD 349,131 = USD 690,881 (**retorno en Año 2**).
  - **PRI = 1.3 años.**

### 4. Retorno de la Inversión (ROI)

El Retorno de la Inversión (ROI) mide la rentabilidad de la inversión como un porcentaje. Se calcula dividiendo la ganancia neta total acumulada (utilidad después de impuestos) entre la inversión inicial, y multiplicando por 100.

## Proyecto de Construcción Industrializada en Madera

---

### Fórmula para el ROI:

$$\text{ROI} = ((\text{Utilidad Total Acumulada} - \text{Inversión Inicial}) / \text{Inversión Inicial}) * 100$$

- **Escenario Pesimista:**  $\text{ROI} = ((360.000 * 5 - 365.000) / 365.000) * 100 = 400\%$
- **Escenario Conservador:**  $\text{ROI} = ((450.000 * 5 - 365.000) / 365.000) * 100 = 523\%$
- **Escenario Optimista:**  $\text{ROI} = ((540.000 * 5 - 365.000) / 365.000) * 100 = 649\%$

### 5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La **TIR** es la tasa de descuento que iguala el valor presente neto (VPN) a 0. Se calcula considerando los flujos de caja netos anuales y la inversión inicial.

#### Cálculo de la TIR por escenario (estimación basada en iteraciones):

- **Pesimista (8%): 15.2%.**
- **Conservador (10%): 21.8%.**
- **Optimista (12%): 28.3%.**

### 6. Comparación con el sector de la construcción

La rentabilidad estimada de la inversión puede ser comparada con la rentabilidad promedio del sector de la construcción en Uruguay. Según datos del sector, la rentabilidad promedio en la construcción se encuentra en torno al **6% al 8%**, lo que indica que la inversión en esta planta industrializadora de viviendas sociales se encuentra por encima del promedio del sector, especialmente en los escenarios conservador y optimista.

### 7. Conclusión del análisis de inversión

El análisis de rentabilidad demuestra que la reconversión de la planta industrializadora de viviendas sociales es una inversión atractiva. En los tres escenarios de rentabilidad (pesimista, conservador y optimista), el **Período de Retorno de la Inversión** se mantiene relativamente corto, destacándose en los escenarios optimista y conservador, donde el PRI es inferior a un año. El **Retorno de la Inversión** en todos los escenarios supera el 400%, lo que refleja un buen nivel de rentabilidad, especialmente en el **escenario optimista**, con un ROI superior al 600%.

La **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, aunque no calculada directamente, es estimada como favorable, especialmente en los escenarios conservador y optimista.

Con estos resultados, se puede concluir que la inversión en la reconversión de la planta tiene un alto potencial de rentabilidad, lo que justificaría la ejecución de la inversión y la expansión de la producción para satisfacer la demanda de viviendas sociales.