



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL INDUSTRIAL**



Diseño de la línea de producción para la empresa Industrializadora de Viviendas Chile (IDV)

**POR
Sebastián Andrés Montoya Ortigosa**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía
Prof. Eduardo Javier Salazar Hornig

Profesional Supervisor
Juan Carlos Ortigosa Pecchi

Diciembre 2024
Concepción (Chile)

© 2024 Sebastián Andrés Montoya Ortigosa

© 2024 Sebastián Andrés Montoya Ortigosa

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Sumario

Este trabajo se centra en el diseño de la línea de producción para la empresa Industrializadora de Viviendas Chile (IDV), que se especializa en la fabricación de paneles de madera para viviendas prefabricadas. Dada la creciente demanda de viviendas sociales en Chile y la crisis ambiental, se propone mejorar la eficiencia de la planta mediante la optimización de los procesos productivos y la distribución del espacio.

El diagnóstico inicial mostró varios cuellos de botella, especialmente en las etapas de corte y perforado de la madera, que limitan la capacidad de producción. También se identificaron problemas en el flujo de materiales y congestión en las áreas de trabajo. A través de un balance de línea, se concluyó que mejorar la distribución de los recursos humanos y optimizar el flujo de materiales podría aumentar significativamente la productividad. Las propuestas incluyen reubicar las zonas de acopio, instalar mesas para facilitar la carga y el corte de materiales, y adoptar tecnologías avanzadas para mejorar la precisión y velocidad del ensamblaje.

Además, se consideraron mejoras como la asignación de operarios a tareas específicas, la reorganización de la bodega y la reducción de tiempos muertos, lo que permitirá a la empresa aumentar su capacidad de producción y disminuir costos operativos. Se realizó un balance de línea que permite, por medio del cambio en la cantidad de puestos de trabajo en cada etapa del proceso, poder ver como se ajustan los rendimientos de cada etapa dentro de la planta y evaluar cuál es la configuración más recomendada para seguir adelante. Este rediseño de la línea de producción tiene como objetivo garantizar la competitividad de la empresa a largo plazo, optimizando los recursos y mejorando la calidad del producto final.

Summary

This work focuses on designing the production line for Industrializadora de Viviendas Chile (IDV), a company that manufactures wooden panels for prefab homes. Given the increasing demand for social housing in Chile and the ongoing environmental crisis, the project seeks to enhance the plant's efficiency by optimizing production processes and the layout of the facility.

The initial assessment uncovered several bottlenecks, particularly in the wood cutting and perforation stages, which hinder production capacity. Additionally, issues with material flow and congestion in work areas were noted. A line balance study indicated that better distribution of human resources and improved material flow could lead to a significant boost in productivity. Proposed changes include relocating storage areas, installing tables to streamline material loading and cutting, and integrating advanced technologies to improve the precision and speed of assembly.

Further enhancements involve assigning dedicated operators to specific tasks, reorganizing the warehouse, and minimizing downtime, which will allow the company to boost production capacity and lower operating costs. A line balance was carried out that allows, through the change in the number of jobs in each stage of the process, to be able to see how the performance of each stage within the plant is adjusted and evaluate which is the most recommended configuration to follow forward. This redesign of the production line aims to secure the company's long-term competitiveness by optimizing resources and enhancing product quality.

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Contexto del trabajo	1
1.2. Objetivos	2
2. Antecedentes generales	3
2.1. Descripción de la empresa	3
2.2. Descripción del proceso productivo	5
2.3. Justificación del proyecto	10
3. Análisis preliminar del funcionamiento de la empresa	11
3.1. Diagnóstico inicial	11
3.1.1. Análisis de las operaciones actuales	11
3.1.2. Identificación de cuellos de botella y problemas de flujo	15
3.2. Análisis de productividad	18
3.3. Propuestas de mejora basadas en el diagnóstico	20
4. Balance de línea	24
4.1. Definición y objetivos del balance de línea	24
4.2. Metodología para el cálculo del balance de línea	24
4.2.1. Datos recolectados	28
4.2.2. Tiempos de ciclo y capacidad de producción	29
4.3. Resultado del balance de línea	29
5. Consideraciones para el desarrollo futuro	40
6. Conclusiones	45
Bibliografía	49
Anexos	51
Anexo 1: Datos de producción de enero a marzo 2024.	51
Anexo 2: Imagen de diseño BIM de la vivienda estudiada.	52

Lista de Figuras

Figura 2.1: Estructura organizacional simplificada IDV.	3
Figura 2.2: Layout de la empresa IDV.....	4
Figura 2.3: Diagrama de flujo del proceso de la empresa IDV.	6
Figura 2.4: Ejemplo de lista de corte de madera.....	6
Figura 2.5: Ejemplo de un plano de un panel.	7
Figura 2.6: Ejemplo de un plano con detalle de perforaciones.....	8
Figura 2.7: Ejemplo de lista de corte de planchas.	9
Figura 3.1: Imagen de máquina de corte CNC.	12
Figura 3.2: Imagen de escuadradora para corte de planchas.	13
Figura 3.3: Imagen del estado anterior de la bodega antes de su intervención.....	14
Figura 3.4: Imagen del estado actual de la bodega luego de su intervención.....	15
Figura 3.5: Diagrama de flujo de materiales dentro de la planta de IDV.	17
Figura 3.6: Producción de paneles durante el primer trimestre del 2024.	18
Figura 3.7: Promedio diario de casas por semana, durante el primer trimestre del 2024.	19
Figura 3.8: Diagrama de flujo de materiales dentro de la planta de IDV, aplicando mejoras.....	22
Figura 4.1: Rendimiento semanal de casas producidas con la situación inicial de la planta.....	27
Figura 4.2: Capacidad semanal por etapa. Situación inicial del Balance de línea.....	30
Figura 4.3: Capacidad semanal por etapa. Primera iteración del Balance de línea.	31
Figura 4.4: Capacidad semanal por etapa. Segunda iteración del Balance de línea.	32
Figura 4.5: Capacidad semanal por etapa. Tercera iteración del Balance de línea.....	33
Figura 4.6: Capacidad semanal por etapa. Cuarta iteración del Balance de línea.	34
Figura 4.7: Capacidad semanal por etapa. Quinta iteración del Balance de línea.....	35
Figura 4.8: Capacidad semanal por etapa. Sexta iteración del Balance de línea.....	36
Figura 4.9: Capacidad semanal por etapa. Séptima iteración del Balance de línea.....	37
Figura 4.10: Capacidad semanal por etapa. Octava iteración del Balance de línea.....	38
Figura 5.1: Imagen de mesas Randek.	41
Figura 5.2: Propuesta de layout	42
Figura 5.3: Ampliación de propuesta de layout	43
Figura A2.1: Diseño BIM de la vivienda tipo A IDV.....	52

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Numeración del layout de la planta de IDV en Figura 2.2.	5
Tabla 3.1: Resumen de información ilustrada en la Figura 3.5.	17
Tabla 4.1: Situación inicial de la planta para del balance de línea.	26
Tabla 4.2: Resumen de los datos recolectados por cada etapa.	28
Tabla 4.3: Tiempo de ciclo y capacidad de producción de la planta.	29
Tabla 4.4: Tabla de balance de línea con configuración inicial.	30
Tabla 4.5: Tabla de balance de línea, primera iteración.	31
Tabla 4.6: Tabla de balance de línea, segunda iteración.	32
Tabla 4.7: Tabla de balance de línea, tercera iteración.	33
Tabla 4.8: Tabla de balance de línea, cuarta iteración.	34
Tabla 4.9: Tabla de balance de línea, quinta iteración.	35
Tabla 4.10: Tabla de balance de línea, sexta iteración.	36
Tabla 4.11: Tabla de balance de línea, séptima iteración.	37
Tabla 4.12: Tabla de balance de línea, octava iteración.	38
Tabla 5.1: Numeración del layout de la planta de IDV en Figura 5.2 y Figura 5.3.	43
Tabla A1.1: Producción de paneles para vivienda tipo A, primer trimestre 2024.	51

1. Introducción

El primer capítulo del trabajo introduce el contexto actual de la empresa en que se desarrolla el proyecto y la situación país que corresponde a una oportunidad para esta. También se presentan los objetivos principales para esta memoria de título.

1.1. Contexto del trabajo

El rubro de la construcción se encuentra en una etapa de cambios con respecto a sus tendencias. Con la crisis ambiental que sufre el planeta, es importante encontrar alternativas que se ajusten a las necesidades actuales. La construcción en madera resulta ser una alternativa real que impulsa a la actividad a adoptar técnicas que vayan de la mano con el problema medio ambiental, utilizando materiales renovables y disminuyendo la huella de carbono en cada trabajo. Por otro lado, en Chile, se vive una crisis habitacional importante que afecta a miles de personas que necesitan una vivienda digna y de calidad. Se estima que en Chile existe un déficit habitacional de aproximadamente 640 mil viviendas, con proyecciones de superar el millón para el año 2030 (Fundación Déficit Cero, 2022).

La construcción industrializada es una forma de construcción cuyo objetivo es optimizar el proceso integrando la automatización y la mecanización en un entorno de producción en fábrica. Involucra el uso de tecnología de precisión y metodologías de producción eficiente para fabricar componentes de construcción con alta precisión y calidad (Zimmerman, 2023). Luego se trasladan esos componentes al sitio del proyecto y se ensamblan de manera más eficiente. Ahora bien, combinando ambos temas mencionados, la industrialización de viviendas hechas en madera toman cada vez más fuerza en el mercado. Esto resulta ser una clara solución para combatir la crisis habitacional por la cual atraviesa el país, haciéndolo de una manera consciente con el medio ambiente. Entre los múltiples beneficios del uso de la madera destacan una mayor eficiencia energética, desarrollo de economías locales y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, temas clave para el impulso de la industrialización (Poblete, 2023).

Bajo este contexto, esta memoria de título se basará en el trabajo realizado en la empresa llamada Industrializadora de Viviendas Chile Ltda (IDV). Esta empresa se dedica a la manufactura de paneles fabricados en madera para casas prefabricadas, principalmente viviendas sociales. En este trabajo, se hace un análisis de la línea de producción actual de la empresa para identificar oportunidades de

mejora y falencias en esta, que puedan contribuir a alcanzar un proceso más eficiente, logrando así una mayor productividad para la empresa, sin dejar de lado la calidad del producto ni la seguridad de los operarios.

1.2. Objetivos

- a) **Objetivo general:** Diseñar la línea de producción para una industrializadora de viviendas que sistematice los procesos de fabricación, mejore la eficiencia operativa y garantice la calidad del producto final.

- b) **Objetivos específicos:** Dentro de los objetivos específicos de este trabajo se presentan los siguientes:
 - Analizar la situación actual de la producción: Evaluar los procesos de producción actuales, identificando fortalezas y debilidades. También se plantea realizar un diagnóstico de los recursos humanos, materiales y tecnológicos disponibles.
 - Diseñar la línea de producción: Proponer un diseño de la línea de producción optimizado, considerando el flujo de materiales y la disposición de equipos. Esto incluye integrar tecnologías avanzadas y prácticas de manufactura lean para mejorar la eficiencia.
 - Llevar a cabo un balanceo de línea en el flowshop presente de la planta: Hacer el balanceo de línea del proceso y poder calcular como distribuir mejor la fuerza laboral en las distintas estaciones, para mejorar eficiencia de planta.

2. Antecedentes generales

A continuación, se presentan los antecedentes generales que se consideraron para el desarrollo del proyecto. En el primer apartado se hace una descripción de la empresa en cuestión; en el segundo se procede a describir el proceso productivo y sus etapas; y en el tercer apartado se presenta la justificación del tema de esta memoria.

2.1. Descripción de la empresa

Industrializadora de Viviendas Chile Ltda (IDV) es una empresa del rubro de la construcción industrializada, fundada en 2021 a partir de dos empresas con vasta trayectoria en sus respectivos rubros, Forestal Collicura dedicada al aserrío y secado de madera y Constructora Don Pedro enfocada a la construcción de proyectos de viviendas sociales. La planta de IDV está en Santa Juana (región del Bio-Bio, Chile), donde se producen paneles y cerchas de madera utilizados para construir viviendas, es decir, se manufacturan los componentes estructurales de casas prefabricadas.

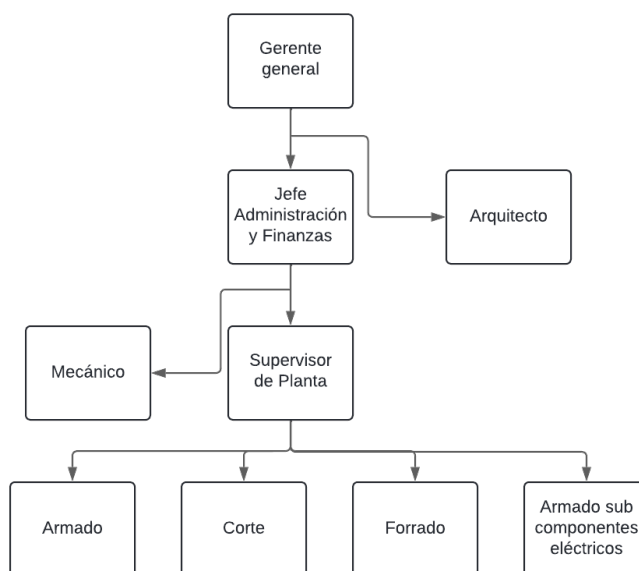


Figura 2.1: Estructura organizacional simplificada IDV.

Fuente: Empresa IDV.

La estructura organizacional de IDV está compuesta por un gerente general, quien dirige y coordina todas las actividades estratégicas y operativas de la empresa. Bajo su supervisión se encuentra el jefe de administración y finanzas, responsable de gestionar los recursos financieros, administrativos y contables, así como apoyar en la toma de decisiones estratégicas. También se encarga de los temas administrativos con respecto a recursos humanos, como licencias, desvinculaciones o vacaciones de

los operarios. En el área técnica, un arquitecto se encarga del diseño de las viviendas, desglosadas en los distintos paneles que componen una casa. Finalmente, son doce operarios que desempeñan funciones clave para la producción (ver Figura 2.1).

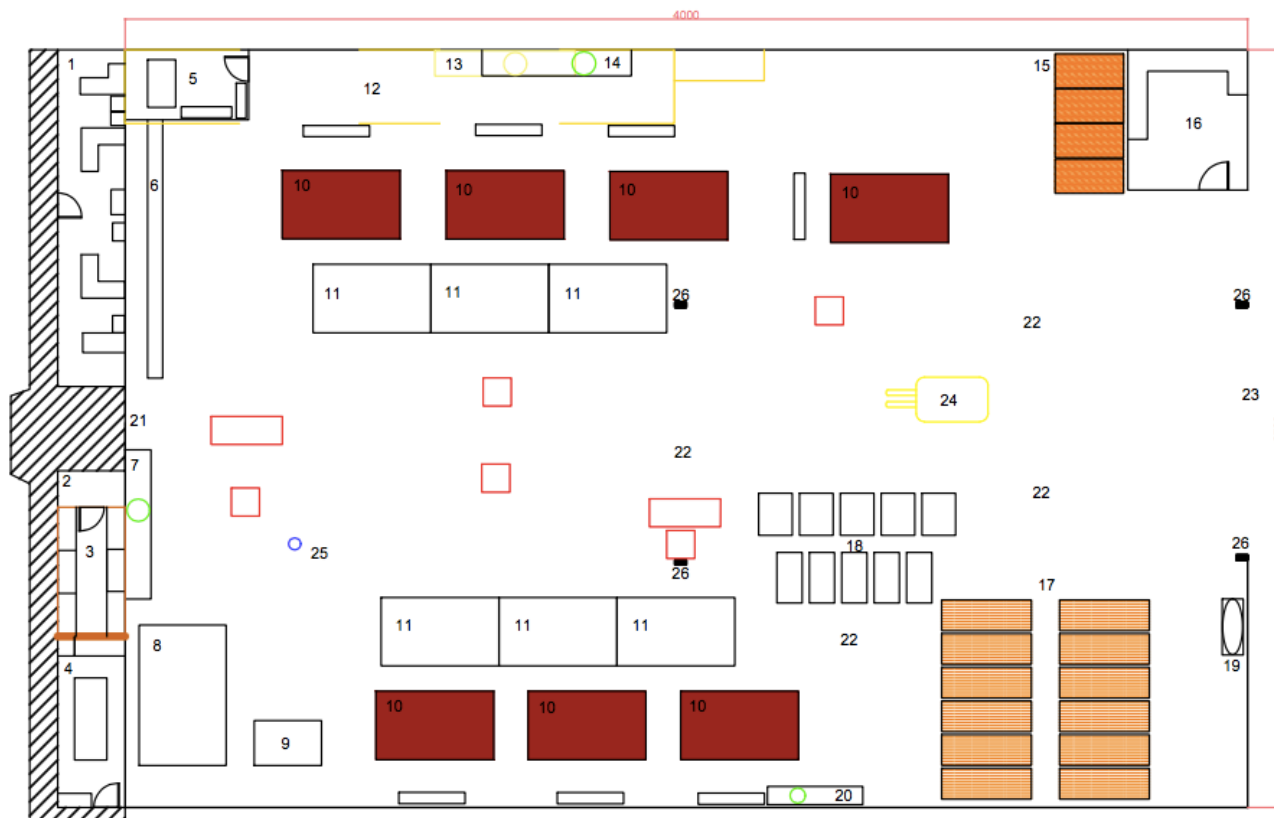


Figura 2.2: Layout de la empresa IDV.

Fuente: elaboración propia en AutoCAD.

En cuanto a la distribución de su planta, IDV tiene un galpón de 1080 metros cuadrados (27m x 40m) en el que están las diferentes zonas de trabajo, máquinas y zonas de acopio, tanto de materia prima como de productos terminados. De manera simplificada en la Figura 2.2 se presenta la organización de la planta y la Tabla 2.1 muestra a que corresponde cada número de la figura. Los rectángulos rojos no enumerados corresponden a cajones de madera usados para dejar los restos de los cortes de madera (despuntos), o madera rechazada que no cumple con el filtro de calidad antes de cortarlos. Estos cubos cambian su ubicación constantemente. Representado con el número 12 (rectángulo amarillo), la planta cuenta con una plataforma con un segundo nivel, donde se encuentra la zona de ensamble de los subcomponentes eléctricos, con una ingletadora adicional. En el caso del número 18, “Carros para transportar madera”, no se les tiene un espacio asignado, ya que estos carros están en constante movimiento entre las zonas de corte y armado. Es pertinente mencionar que dentro de la planta se

utiliza una grúa horquilla (número 24) para transportar y mover tanto la materia prima como los paneles por la planta.

Tabla 2.1: Numeración del layout de la planta de IDV en Figura 2.2.

Nº	Ubicación	Nº	Ubicación
1	Oficina	14	Zona de corte madera 2 (ingletadora telescópica)
2	Acceso bodega/reloj de asistencia	15	Zona de acopio materia prima (planchas)
3	Bodega	16	Taller mecánico
4	Comedor	17	Zona de acopio materia prima (madera)
5	Bodega de clavos	18	Carros para transportar madera
6	Zona de corte madera (tronzadora automática CNC)	19	Compresor de aire
7	Zona de corte madera (ingletadora telescópica)	20	Zona de corte madera 3 (ingletadora telescópica)
8	Zona de corte planchas (escuadradora)	21	Entrada planta
9	Mueble de acopio de planchas cortadas	22	Zona de acopio de productos terminados
10	Mesas de armado de estructuras	23	Zona de carga/descarga camiones
11	Zonas de forrado de estructuras	24	Grúa horquilla
12	Plataforma segundo piso	25	Dispensador de agua potable
13	Mesa de trabajo pre-armado eléctrico + ingletadora telescópica (2do piso)	26	Pilares estructurales del galpón

2.2. Descripción del proceso productivo

En este apartado, se describirán las etapas del proceso productivo por separado y en el orden correspondiente a la línea productiva, que se muestra en la Figura 2.3. Estas etapas son: corte de la madera, perforado de la madera, corte de planchas, pre-armado eléctrico, armado de estructura y finalmente forrado de la estructura. Adicionalmente, se tienen el armado de cerchas y prensado de cerchas (no se considera la producción de las cerchas para este trabajo). En la Figura 2.3 se presentan de color blanco las actividades generales del proceso, mientras que en verde se muestran las actividades exclusivamente para la manufactura de paneles; en amarillo las actividades para producir cerchas. En rojo se muestra en que parte del proceso se hace un control para verificar que el producto cumpla con las especificaciones que indican los planos. Finalmente, en azul se marca el inicio y final del proceso.

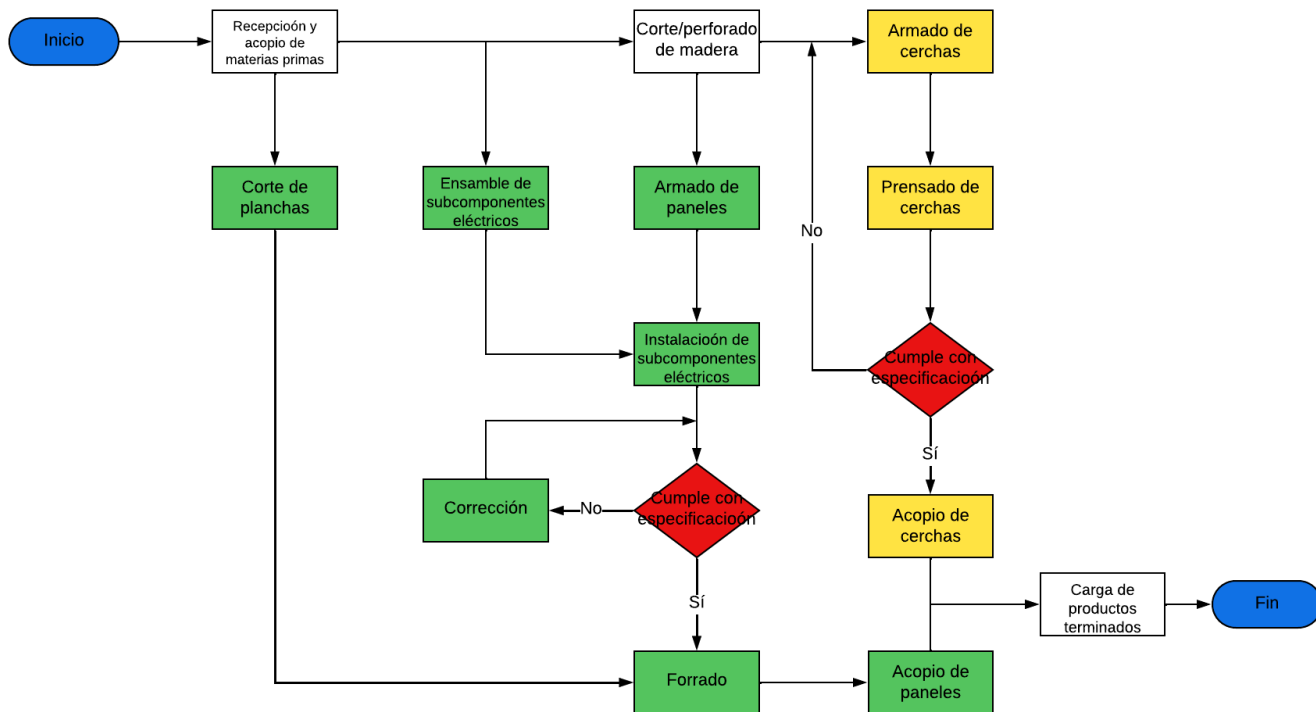


Figura 2.3: Diagrama de flujo del proceso de la empresa IDV.

Fuente: elaboración propia en Lucidchart.

Corte de la materia prima: Luego de la recepción y posterior almacenamiento de la materia prima, el proceso productivo comienza con el corte de la madera. La madera que se utiliza es impregnada, graduada estructuralmente y cepillada; con un porcentaje de humedad menor al 20%, como lo solicitan las normas chilenas para la construcción en madera NCh819, NCh1199 y NCh1207 (MINVU, 2014). Para este proceso se utiliza una tronzadora automática CNC, donde el cortador recibe una lista de corte con la especificación de las medidas para un panel en particular (ver Figura 2.4). Así, el operador va cortando las piezas solicitadas y las va almacenando en un carro para su traslado a la siguiente etapa.

N*TPP	CANT.	Denominación	Escuadria	Longitud
P 102	1	Diagonal	45x70	2650
P 102	1	Diagonal	45x70	2650
P 102	2	Solera	45x70	4065
P 102	11	Pie Derecho	45x70	2270
P 103	1	Solera	45x70	1525
P 103	2	Traversa.ven.	45x70	1055
P 103	1	Solera	45x70	1570
P 103	1	Pie Derecho	45x70	2146
P 103	4	Pie Derecho	45x70	2270
P 103	3	Jamba	45x70	865
P 103	3	Jamba	45x70	305
P 103	1	Jamba	45x70	1010

Figura 2.4: Ejemplo de lista de corte de madera.

Fuente: Corte IDV.

Perforado de la materia prima: En la misma zona de corte, el mismo operario encargado de dimensionar las piezas para el panel, también se encarga del perforado de la madera. Estas perforaciones se especifican en una lista de perforado distinta a la de cortes y son los agujeros por donde pasarán las tuberías de agua potable y el cableado eléctrico de la vivienda (ver Figura 2.6). Esta lista de perforado indica qué piezas de cada panel tienen una perforación a cierta altura. Este proceso se explicará con el siguiente ejemplo: se tiene un panel denominado P101 y supongamos que este panel contiene diez “pies derechos” (se especifica en la Figura 2.5 que es un pie derecho) de dos metros de largo donde dos contienen perforaciones. Si se le solicitan quince repeticiones de corte para este panel, el operario debería cortar 150 pies derechos, que de los cuales se tienen que perforar 30. Como estas piezas se encuentran en el carro, se descargan los 30 pies derechos, se marca la altura del agujero y se procede a perforar utilizando una broca paleta del diámetro indicado en un taladro. Finalmente se vuelven a cargar estas piezas para ser llevadas a la siguiente etapa.

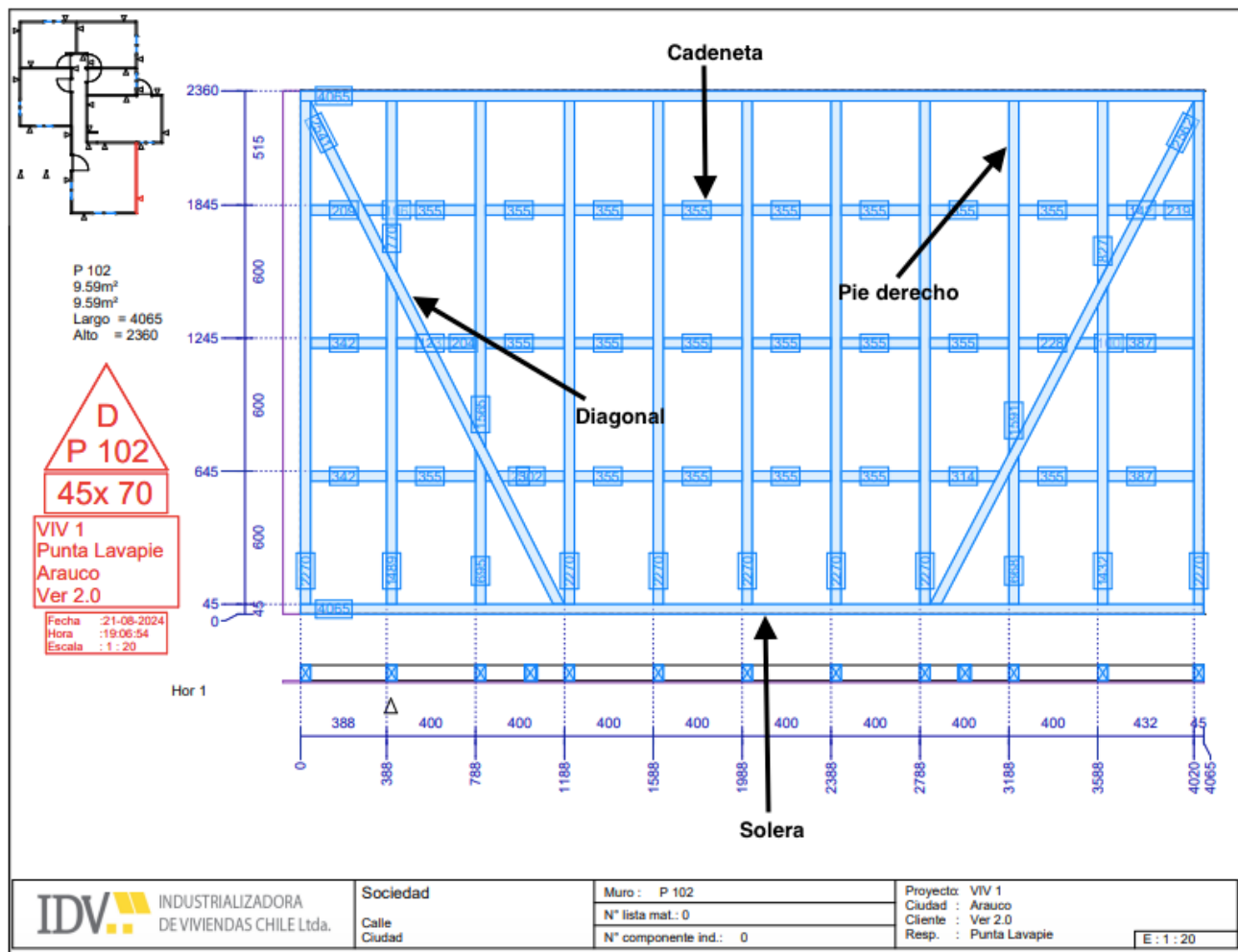


Figura 2.5: Ejemplo de un plano de un panel.

Fuente: Diseño IDV

Corte de planchas: Paralelamente a la etapa de corte y perforado de madera, se encuentra en una zona aledaña el corte de las planchas que se utilizan para el forrado de las estructuras de los paneles. Se utilizan planchas de OSB para paneles de paredes exteriores y tabiques y planchas de terciado para los paneles de piso (los paneles de piso se utilizan para viviendas de más de un nivel). De manera similar a la etapa descrita previamente, el operario recibe una lista de cortes con las medidas de las planchas para cada panel. Las planchas cortadas son reservadas en carros adaptados para las planchas y luego llevados a la zona de forrado. (ver Figura 2.7)

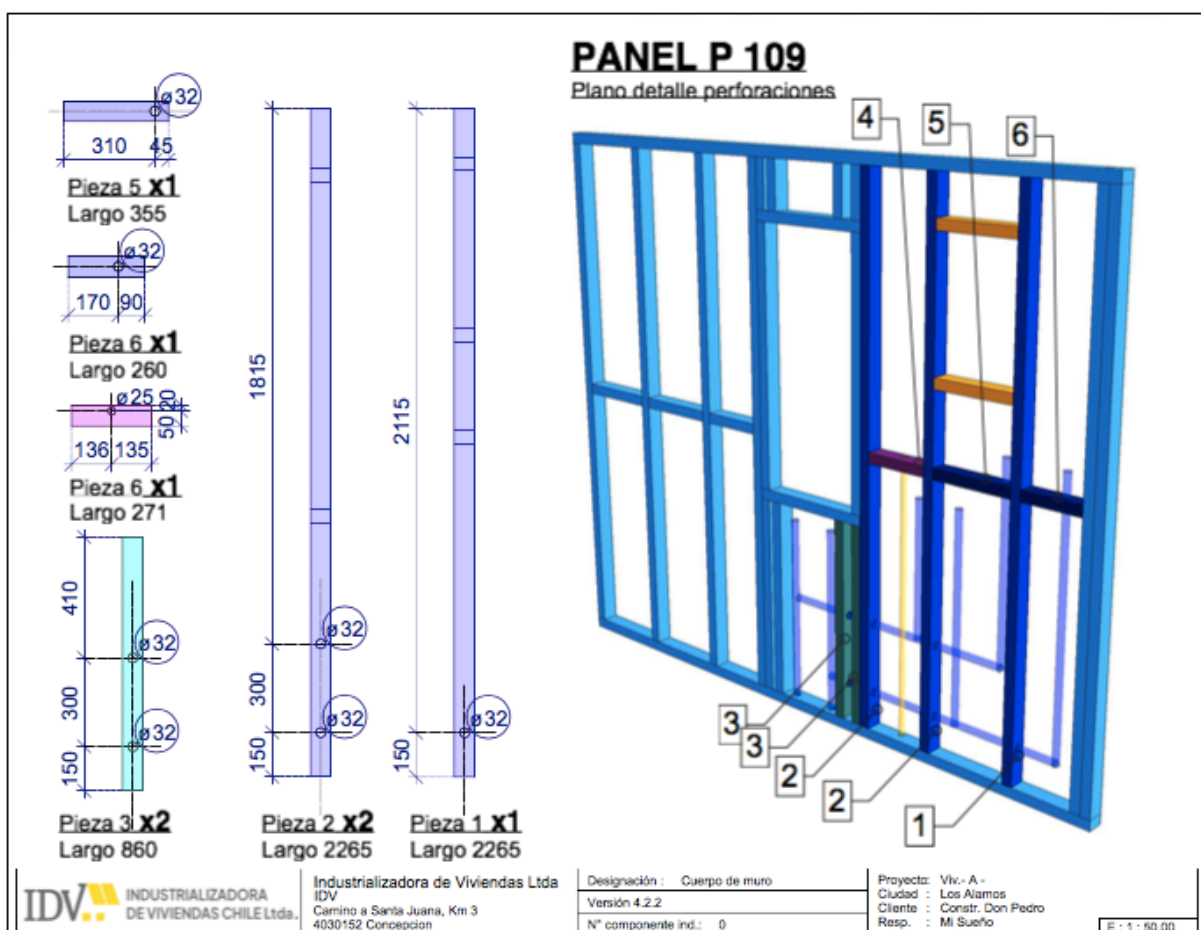


Figura 2.6: Ejemplo de un plano con detalle de perforaciones.

Fuente: Diseño IDV.

Pre armado eléctrico: Esta etapa corresponde a un proceso nuevo para la línea de producción de IDV, por lo que no se tiene mayor experiencia y se están haciendo pruebas para revisar cuál es el método adecuado para agregar los componentes de la canalización eléctrica dentro de los paneles. En esta etapa se pasan otros planos que incluyen los subcomponentes eléctricos en los cuales se indican el largo de la cadeneta (ver Figura 2.5), con la ubicación de la caja eléctrica. Esta caja se atornilla en

dos de sus ejes a la madera y se perfora para agregar salidas de caja, lijadas y pegadas adecuadamente con pegamento para PVC. Cuando se tienen estos subcomponentes listos del panel, se envían a la zona de armado donde se instalan en el panel según los planos entregados.

CutList Optimizer

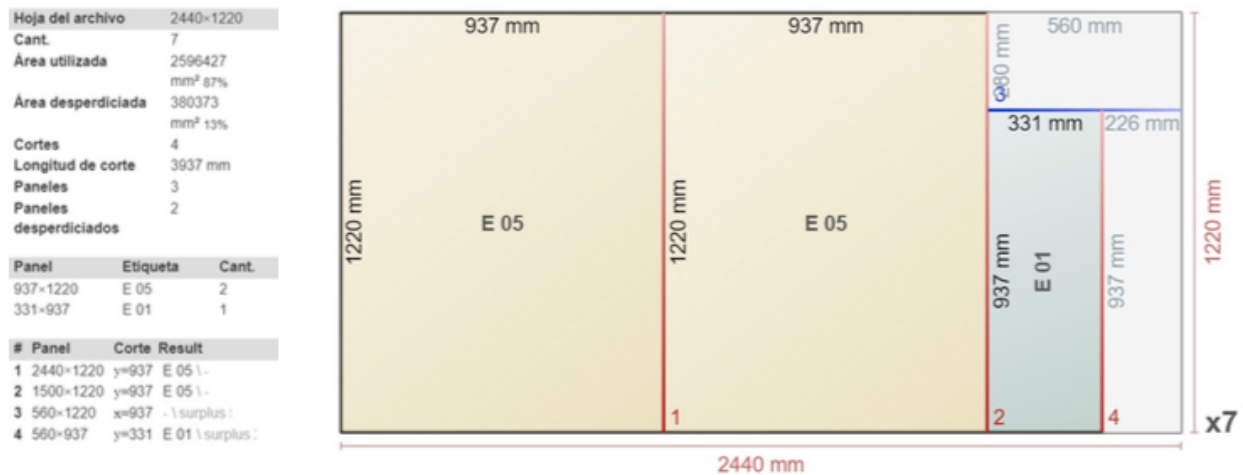


Figura 2.7: Ejemplo de lista de corte de planchas.

Fuente: Corte IDV.

Armado de estructura: Cuando se tienen ya los distintos cortes a disposición de los armadores, comienza el proceso de armado de estructura. En esta etapa los maestros van revisando el plano del panel que les corresponde armar según la disponibilidad de los cortes realizados, para después utilizando una clavadora neumática armar la estructura del panel. Se produce un panel sobre otro, hasta que se acumulan varios y son bajados de la mesa, dejados al frente para poder ser forrados.

Forrado de la estructura: Una vez se termina de armar cada panel se procede a la etapa de forrado, que corresponde al clavado de las planchas previamente cortadas por un lado del panel. Este proceso lo realiza un operador distinto al que armó la estructura a un costado de la mesa de armado como se puede ver en la Figura 2.2 (número 11). Cuando se acumulan los paneles sobre la mesa de armado, bajan al piso y se quedan en unos tacos de madera. Ahí se ubican las planchas para clavarlas. Sobre esta estructura ya forrada se ubica el siguiente panel y se repite el proceso de forrado de la estructura. Esto se repite hasta terminar de forrar todos los paneles que tenga armados el operador de cierta mesa. Cuando el maestro termina de forrar procede a moverse de mesa y repetir este proceso con otros paneles.

Armado y prensado de cerchas: Las cerchas corresponden a las estructuras rectangulares que se ubican en serie sobre los muros de la casa para construir el techo. Su proceso de ensamble es muy parecido al de los paneles, se arman sobre las mesas de armado siguiendo los planos. Una vez terminada la estructura, estas deben pasar por una prensa para asegurar la unión de los tabiques con placas metálicas dentadas entre sí. Para efectos de este trabajo, las cerchas no serán consideradas en el proyecto del diseño de la línea de producción.

2.3. Justificación del proyecto

El diseño de una línea de producción eficiente es fundamental para cualquier empresa que se dedique a la fabricación, ya que afecta directamente la productividad, la calidad del producto, los costos operativos y la capacidad de respuesta ante las demandas del mercado. En el contexto de la empresa Industrializadora de Viviendas Chile Ltda (IDV), un buen diseño de la línea de producción es crucial para optimizar los recursos, mejorar los tiempos de producción y reducir los costos asociados al proceso.

Un diseño adecuado de la línea de producción permite organizar de manera eficiente los recursos de la empresa, incluyendo mano de obra, materiales, y maquinaria, de modo que se maximice el rendimiento y se minimicen los desperdicios. Según Nahmias (2020), el diseño de la línea de producción debe considerar la disposición física de los recursos, el flujo de materiales, la distribución de tareas y la ergonomía de los trabajadores, ya que estos factores tienen un impacto significativo en la eficiencia del sistema y en la calidad del producto final. En este sentido, IDV presenta varias oportunidades de mejora que, con cambios en su diseño de planta, distribución de su fuerza laboral y adoptando ciertas prácticas podría mejorar sistemáticamente su operación.

Dentro de los puntos que la empresa puede mejorar está es el flujo de la materia prima y los productos no terminados dentro de la planta. Otro punto importante que se toma en cuenta es la distribución de los trabajadores en los distintos puestos de trabajo. Por medio de un estudio del proceso productivo, se pretende poder determinar cuántos esfuerzos tienen que ser destinados en cada etapa del proceso, ya sea la cantidad de trabajadores como el número de puestos de trabajo por etapa. Esto corresponde a un balance de la línea, que busca estandarizar los tiempos en cada etapa y determinar la distribución del trabajo y cantidad de puestos de trabajo. Según los autores Stephens y Meyers (2013) esto es un proceso iterativo, donde con cada cambio surgen nuevas ideas y posibles nuevos cambios.

3. Análisis preliminar del funcionamiento de la empresa

En el capítulo 3, se hace un análisis preliminar para entender en detalle el funcionamiento de la empresa. Se hace un diagnóstico de las operaciones, se analiza la productividad en base a datos históricos de la empresa y se concluye el capítulo con propuestas de mejora.

3.1. Diagnóstico inicial

De manera inicial, fue necesario hacer un diagnóstico del funcionamiento general de la empresa. En los siguientes apartados se profundizará acerca de cómo se llevan a cabo las operaciones, que máquinas se utilizan en el proceso, cuales son algunos problemas por mejorar y también cual es el cuello de botella junto con un análisis del flujo de la planta.

3.1.1. Análisis de las operaciones actuales

Esta sección comienza explicando cómo se llevan a cabo las distintas operaciones del proceso, sus tecnologías, técnicas y los cambios que se han hecho en el último tiempo dentro de la planta. En primer lugar, para comenzar a cortar madera se debe llevar un paquete de la materia prima desde la zona de acopio hasta un costado de la máquina de corte con la grúa horquilla, el cual es ubicada en el suelo. Actualmente, en el proceso de corte se utiliza una máquina de corte CNC, marca Weinig y modelo Opticut S50 (Figura 3.1). Cuando los cortes son ingresados en el computador de la máquina, esta es capaz de optimizar los cortes de tal manera que se utilice la mayor parte de la pieza de madera. El operario, desde el suelo, debe montar la madera sobre la máquina y cuando se vaya a hacer el corte introducirlo para que avance hasta la sierra. Se pueden poner hasta cuatro palos de madera para ser cortados en una sola pasada.

Anterior al uso de esta tecnología, este proceso se llevaba a cabo de manera parecida. Sobre una mesa larga, se fijaba un tope con las medidas del corte (este tope se movía por un riel con una huincha de medir fija), luego se cargaba la madera desde el suelo y se empujaba hasta el tope. Finalmente, con una ingleteadora telescópica se realizaba el corte de manera manual. Se dejó de trabajar con ese método para justificar la inversión de la máquina computarizada y aprovechar sus facultades.



Figura 3.1: Imagen de máquina de corte CNC.

Fuente: weinig.com.

En cuanto al perforado de las piezas, este proceso lo lleva a cabo la misma persona que opera la máquina de corte. Resulta ser un proceso ineficiente y tedioso ya que esta persona se da vueltas innecesarias para realizar los agujeros en la madera. Lo hacen de la siguiente manera: identificar el corte midiéndolo, lo carga al carro y una vez terminado todos los cortes de un panel, descarga las piezas que deben ser perforadas, se ubican en serie en el suelo para ser medidas y marcadas para finalmente con un taladro perforar la madera. Luego de eso, estas piezas vuelven a ser ubicadas en el carro junto con el resto de los cortes del panel correspondiente.

La etapa de armado de la estructura es muy variable en términos de tiempo. Los tiempos de armado dependen de la dificultad que signifique cada panel. Un panel será más lento de armar cuando contenga maderas diagonales en su estructura y cuando tenga marcos de ventanas o puertas. Cada armador tiene técnicas propias que le permiten trabajar de manera más conveniente, el proceso no está completamente estandarizado. También se ve que, al repetir un mismo panel por el mismo armador, siempre el primer panel resultará más lento, ya que los siguientes serán una repetición del primero, que sirve de molde.

Un punto importante de este proceso son los cortes y ensamble de las cadenetas, porque las medidas que indican los planos pueden variar dependiendo de las medidas reales de la madera. La escuadría de la madera tiene una tolerancia de $\pm 2\text{mm}$ (indicada desde el proveedor), por lo que las medidas entregadas en los planos de las cadenetas podrían variar algunos milímetros. Pareciera ser una cifra insignificante, pero cuando se suman varios milímetros de error, podrían afectar el diseño del panel.

Para asegurarse de que no haya problemas con estos cortes, el maestro marca en las soleras donde se ubican los pies derechos y a partir de la distancia entre estos se confirma la medida de las cadenetes. Dependiendo de la disponibilidad de la zona de corte, el maestro puede pedir las medidas registradas o bien cortarlas él en una de las ingleteadoras de apoyo que se encuentran detrás de las mesas de armado; esto toma tiempo y puede significar tiempo muerto.

Tanto los procesos de armado como forrado se utilizan pistolas clavadoras neumáticas, que funcionan con rollos de clavos (clavos de 80mm para armado y 65mm para forrado) y en el caso de los paneles de piso se utilizan tornillos puestos con taladros eléctricos.

Idealmente, los armadores no deberían ensamblar los paneles en altura, por temas de seguridad. Se ve que a medida que avanzan en el armado, se comienzan a armar paneles sobre el anterior, lo cual puede ser peligroso si la pila de paneles es demasiada. Cuando se acumulan muchos se ubican en el suelo delante de la mesa para ser forrados.



Figura 3.2: Imagen de escuadradora para corte de planchas.
Fuentes: Inmes.com.br.

La Figura 3.2 muestra la máquina utilizada para el corte de las planchas, una escuadradora marca Inmes, modelo FF-325 Plus. Este proceso funciona de manera parecida al corte de madera. Se montan hasta dos planchas sobre la mesa de la máquina, se ajusta a la medida solicitada y se pasa por la sierra, luego las planchas cortadas se dejan en carros especiales para planchas. Solo los paneles de paredes exteriores de la vivienda requieren ser forrados (OSB) y los paneles de piso de un segundo nivel (terciado). Esta máquina si bien resulta fácil de usar, ocupa una gran cantidad de espacio, para la capacidad de corte que tiene.

La bodega de la planta corresponde al interior de un contenedor (ver Figura 3.3), y se ubica fuera de la planta (es inamovible). No presenta ninguna organización y en su interior se acumulan muchos materiales y herramientas desordenadas. No es un espacio limpio y resulta dificultoso transitar por el pasillo por la cantidad de cajas y desechos que son guardados ahí. El estado de la bodega resulta un problema para la empresa porque los trabajadores demoran mucho tiempo buscando las herramientas o materiales necesarios para su trabajo o simplemente no las encuentran, atrasando sus labores.



Figura 3.3: Imagen del estado anterior de la bodega antes de su intervención.

Fuente: IDV.

Se llevó a cabo un orden completo de la bodega, en el cual se retiraron todos los elementos dentro de este espacio, se eliminaron todos los desperdicios y cosas que habían sido acumuladas en el tiempo, que utilizaban espacio, pero no recibían ningún uso. Después, se caracterizó cada elemento en las categorías de herramientas o utensilios utilizados en la planta. Estas categorías son: seguridad, carpintería, neumática, pinturas, mecánica y repuestos. Se dejó un espacio para dejar cosas que no tengan una ubicación definida y un estante para dejar bidones de agua. Cada una de las categorías mencionadas cuentan con espacios designados para las herramientas específicas, marcados con el nombre, para que todo tenga un lugar determinado y se mantenga el orden.



Figura 3.4: Imagen del estado actual de la bodega luego de su intervención.

Fuente: IDV.

En conclusión, el análisis de las operaciones actuales ha permitido identificar diversas costumbres y métodos que, si bien han sido efectivos en ciertas circunstancias, presentan importantes oportunidades de mejora en términos de eficiencia y estandarización. La etapa de corte de madera, en particular, destaca como una de las áreas más críticas que impacta directamente en el flujo de trabajo global. Para optimizar el rendimiento de la planta y reducir los tiempos muertos, será esencial avanzar hacia una mayor formalización de los procesos y la implementación de mejoras en la distribución de tareas, el uso de los recursos y la planificación de la producción. Esto permitirá no solo estabilizar la producción, sino también mejorar la productividad y la calidad de los productos fabricados.

3.1.2. Identificación de cuellos de botella y problemas de flujo

Según Heizer y Render (2017), los centros de trabajo que se constituyen en cuellos de botella son restricciones que limitan la salida de la producción. Los cuellos de botella tienen menos capacidad que el centro de trabajo anterior o siguiente, y limitan la salida de productos. En el análisis del proceso productivo actual, se ha identificado que el principal cuello de botella se encuentra en la etapa de corte de madera. Esta fase, fundamental para el flujo de producción, presenta una serie de limitaciones que afectan la eficiencia global del sistema. El corte de madera es una actividad que requiere un tiempo

considerable en comparación con otras etapas del proceso, lo que genera retrasos en las etapas subsiguientes y provoca acumulación de trabajo en curso. Sumado a esto se menciona que la madera no avanza hasta tener un carro lleno, donde normalmente caben hasta tres paneles cortados con sus respectivas perforaciones. Para mitigar este cuello de botella, se evaluarán opciones como la optimización de los tiempos de corte, la incorporación de maquinaria adicional, o la implementación de mejoras tecnológicas que permitan acelerar esta fase crítica sin comprometer la calidad del producto final.

Hablando ahora acerca del flujo de la planta, este se considera congestionado. El espacio disponible dentro del galpón resulta ser escaso cuando se tiene un volumen de producción alto y el tránsito tanto de personas como de materiales pasa por el pasillo central de planta. (pasillo central se refiere al espacio entre las zonas de forrado). En cuanto a los materiales, en primera instancia, tanto la madera como las planchas son acopiadas en el extremo inverso a su zona de corte, por lo que se observa un retroceso de los materiales para comenzar el proceso.

Esto presenta un problema debido al tiempo que se emplea en su traslado, que se ve ralentizado por el tráfico que existe con los carros, personal o inventario que reduce el espacio por el cual transita la grúa horquilla. En segundo lugar, cuando la madera está lista para ir a la zona de corte, el carro que transporta este material pasa por el pasillo mencionado y se ubica en algún lugar alrededor a la mesa correspondiente, pero sin un orden u orientación definida. Esto hace que los carros puedan entorpecer los movimientos de los trabajadores y molestar la descarga de los paneles al suelo, para la siguiente etapa de forrado.

En la Figura 3.5 se muestra con diferentes colores cuales son los caminos por los que pasan tanto materia prima como productos terminados y en proceso. Como se menciona anteriormente, la mayor concentración de flechas y líneas en la figura es por el medio de la planta. En la tabla 3.1 se resume de mejor manera lo presentado.

Los clavos utilizados en el armado y forrado tienen que reponerse en cada zona de armado a medida que el turno avanza. Tener a gente yendo desde las mesas, a la zona donde se guardan los clavos y de vuelta al armado corresponde a una pérdida de tiempo innecesaria si se toman medidas que eviten esos movimientos.

Tabla 3.1: Resumen de información ilustrada en la Figura 3.5.

Número	Color	Movimiento	
		Desde	Hasta
1	Rojo	Zona de acopio materias prima	Zona de corte (madera y planchas)
2	Azul	Zona de corte (madera)	Mesas de armado
3	Verde	Mesas de armado	Zona de forrado
4	Amarillo	Zona de corte (planchas)	Zona de forrado
5	Morado	Bodega de clavos	Mesas de armado
6	Naranja	Zona de forrado	Zona de acopio de paneles

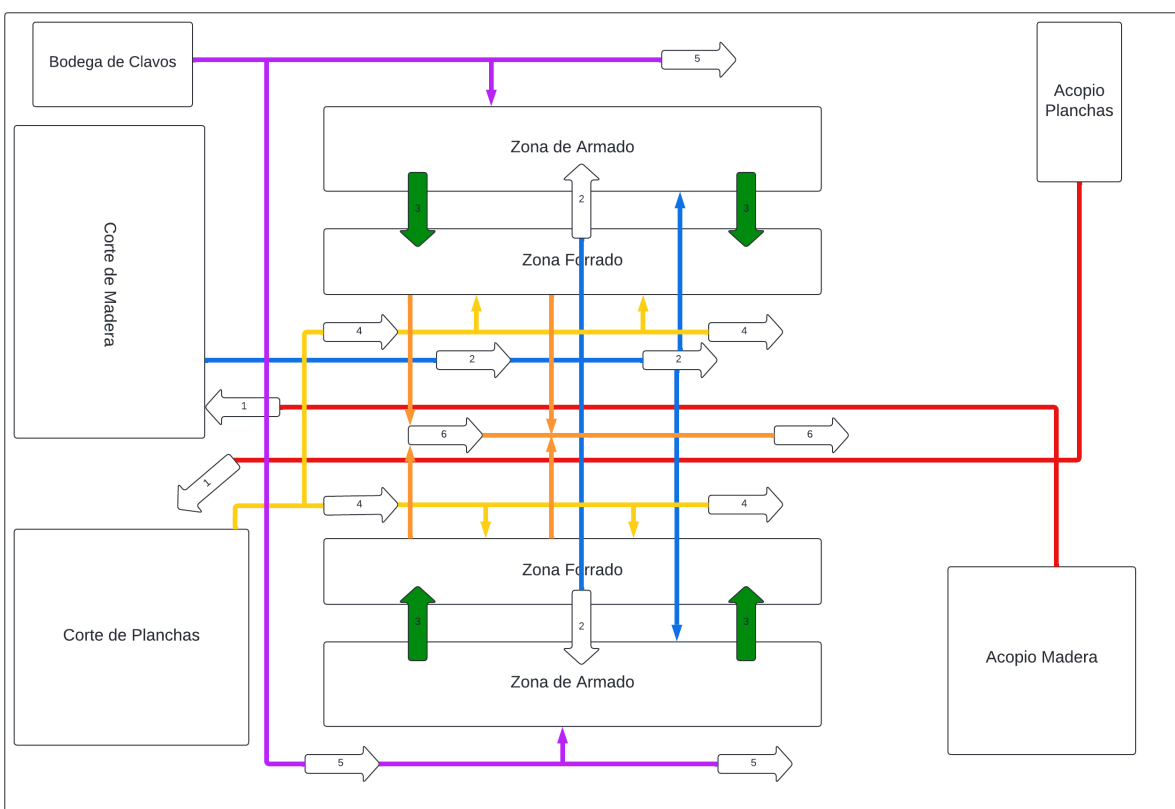


Figura 3.5: Diagrama de flujo de materiales dentro de la planta de IDV.

Fuente: elaboración propia.

Se puede concluir que el flujo de la planta puede mejorar evitando el retroceso de los materiales en su primera etapa, lo que haría que a lo largo de todo el proceso los materiales sigan una misma dirección. También, pasillo central se encuentra demasiado concurrido tanto con las personas que deben transitar por ahí, los carros de madera y planchas que mueven material, la grúa y los distintos elementos movibles (basureros, cubos de despuntes de madera, etc.). Esto termina afectando la fluidez con la cual se transita a través del pasillo, teniendo repercusiones de tiempo y comodidad para los operarios.

3.2. Análisis de productividad

La productividad de la planta fue analizada en base a datos históricos que presenta la empresa. Estos datos pertenecen a una base de datos interna, donde se registra principalmente el armado y forrado de los paneles con información como la fecha, el proyecto, el tipo de vivienda al que pertenece el panel, el panel, la cantidad producida, el operario, el tiempo aproximado que se demoró, entre otros datos. Se filtraron los datos para conseguir una muestra específica. Se tomaron en cuenta datos del primer trimestre del 2024 (desde el 2 de enero hasta el 28 de marzo) siendo un total de trece semanas de trabajo. Solo se consideraron las viviendas del tipo A de un proyecto pasado llamado “Mi sueño” ubicado en la comuna de Los Álamos (Bío-Bío, Chile). Esta vivienda tiene un total de 33 paneles. Los datos utilizados para el gráfico de la Figura 3.6 se encuentran en el Anexo 1.

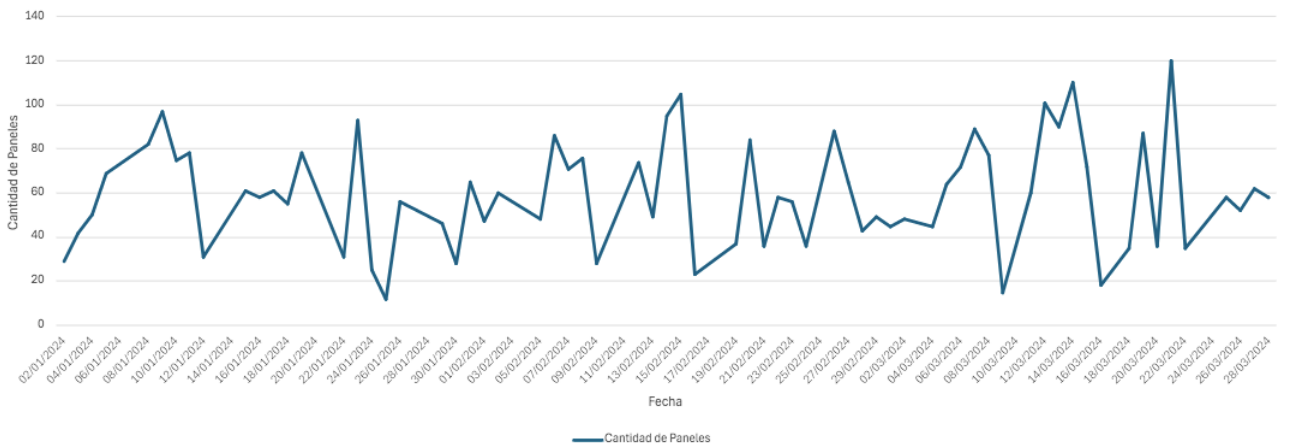


Figura 3.6: Producción de paneles durante el primer trimestre del 2024.

Fuente: Elaboración propia en Excel, Base de datos de Producción IDV.

La Figura 3.6 refleja una variabilidad significativa en la productividad de la planta, donde hay días en los que se alcanzan a producir sobre 100 unidades de paneles y otros en los que no se alcanzan a hacer 20. El comportamiento variable de la curva sugiere inefficiencias operativas y una falta de sistematización (procedimientos, métodos de estandarizar el trabajo, etc.) en el proceso productivo. Esto tiene distintas explicaciones, pero sin duda que para que la empresa mejore, esta curva debería tender a una línea cada vez más lineal horizontal.

No se tiene una planificación diaria en la que se especifique cuantos o cuales paneles producir en una fecha determinada, pero se sigue una planificación del proyecto, donde se muestran las fechas de entrega que requiere el cliente. Ahí, se pide que “x” cantidad de viviendas del tipo A y “y” cantidad de viviendas del tipo B sean entregadas en cierta fecha, por ejemplo. Se produce para llegar a esas fechas. Esta planificación muchas veces se ve alterada por factores externos a IDV, afectando el ritmo

de producción. Los lotes varían entre diez a veinte casas. Es común, que desde la obra a la cual van dirigidas las viviendas se solicite disminuir la cantidad de casas por retrasos en su planificación.

No es recomendado mantener la producción andando cuando no se tiene fecha para un lote, ya que mantener inventario dentro de la planta representa un costo para la empresa. Además, el espacio disponible para acopiar esas casas que no se pueden despachar, es limitado.

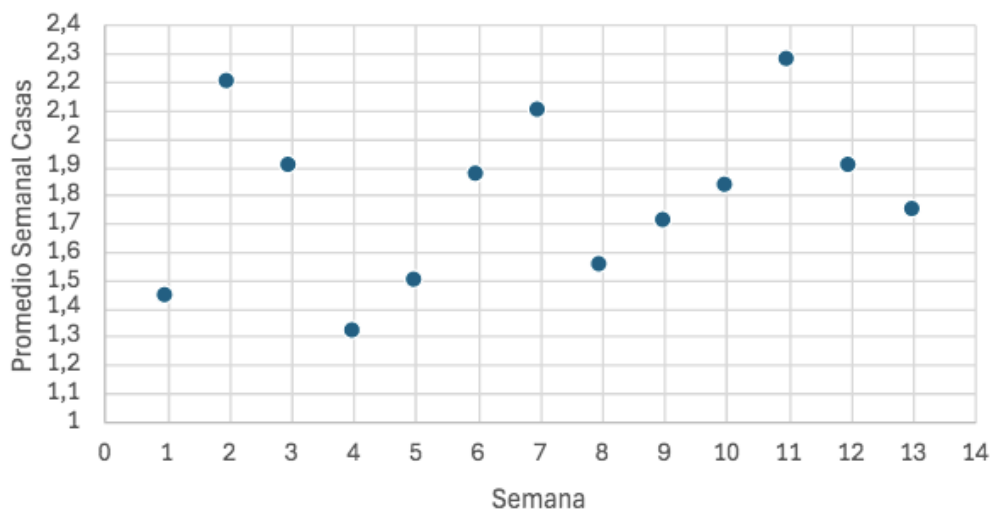


Figura 3.7: Promedio diario de casas por semana, durante el primer trimestre del 2024.

Fuente: Elaboración propia en Excel, Base de Datos Producción IDV.

El cálculo de las casas producidas durante el periodo presentado en la Figura 3.6 y 3.7, se hizo en base al número de paneles producidos y la cantidad de paneles que contienen una casa, que para este caso son 33. Esto indica que estos valores son referenciales, ya que, por ejemplo, si en un día se produjeron 66 paneles (que en teoría equivale a 2 casas), pero varios fueron repetidos, no necesariamente se alcanza a armar los paneles específicos de cada vivienda.

En la Figura 3.7, se presenta el promedio de casas armadas por día para cada semana, siguiendo una tendencia parecida a la curva de la Figura 3.6, donde varía bastante la productividad semana a semana. Para los tres meses, se obtuvo un total de 120,76 casas producidas, promediando 1,80 casas de 33 paneles al día. Durante las 13 semanas registradas, en promedio, se produjeron 9,29 casas semanales.

Los últimos datos entregados corresponden a la configuración actual de la planta presentada en apartados anteriores de este informe. Con un cambio en la línea, se pretende poder llegar a producir entre 15 y 20 casas a la semana. Durante el periodo con el cual se hizo este análisis, dado la alta

demanda esos meses, se trabajó con doble turno por lo que el valor de casas semanales se vé inflado en comparación a los datos presentados en el capítulo 4.

3.3. Propuestas de mejora basadas en el diagnóstico

A continuación, se presentará un listado de mejoras que han sido evaluadas en base al diagnóstico inicial presentado en este capítulo. En cada una de las mejoras se explica cómo puede ayudar positivamente en el funcionamiento de la empresa o cuales fueron algunas consideraciones para ser incluidas en el informe. Algunas mejoras a considerar son:

- **Mover materia prima hacia la zona de corte:** Reubicar la materia prima cerca del área de corte reducirá los tiempos de traslado y mejorará el flujo de trabajo, permitiendo que los operarios accedan rápidamente a los materiales necesarios.
- **Instalar una mesa para depositar el paquete de madera:** Al tener una mesa para dejar los paquetes de madera, se facilita la carga de la máquina de corte. Esto reduce el esfuerzo físico de los operarios y acelera el proceso, mejorando la ergonomía y la productividad.
- **Asignar operarios específicos en la zona de corte:** Distribuir el trabajo de manera que un operario se dedique exclusivamente a colocar los palos de madera en la máquina y operarla, mientras otro se encarga de retirar los cortes, separando las piezas que deben ser perforadas y organizándolas en un carro. Esto optimiza el uso del equipo y minimiza los tiempos ociosos.
- **Asignar un tercer operario para el proceso de perforación:** Tener un operario enfocado exclusivamente en la perforación de piezas permitirá que esta actividad no dependa del avance de la etapa de corte, evitando interrupciones y mejorando la continuidad del proceso.
- **Eliminar la máquina de corte de planchas:** Retirar esta máquina podría liberar espacio y mejorar el flujo en la planta. Un beneficio sería el corte directo sobre el paquete de planchas, utilizando una sierra circular eléctrica, lo que podría acelerar la operación, aunque debe evaluarse su ergonomía para asegurar que no genere incomodidades o problemas físicos para los operarios.

- **Espaciar aún más las mesas de trabajo:** Aumentar la distancia entre las mesas de armado mejorará la circulación en la planta y reducirá la posibilidad de interferencias entre los distintos equipos y operarios, optimizando el uso del espacio disponible.
- **Redirigir el paso de los carros de cortes:** Implementar un flujo de trabajo en el que los carros de corte pasen por detrás de las mesas (evitando el pasillo central) permitirá evitar obstrucciones en las zonas de forrado y en el paso de la grúa, mejorando la seguridad y la fluidez del trabajo.
- **Reorganizar las mesas de corte:** Será necesario mover las mesas de corte a ubicaciones más eficientes, considerando desmontar una de ellas si resulta redundante. Esta reorganización permitirá un uso óptimo del espacio y una mejor disposición del trabajo.
- **Optimización del stock de clavos:** Al final de cada turno, cada operario debe reponer su stock de clavos en su zona de trabajo, evitando así perder tiempo en buscar suministros durante la jornada laboral. Esto asegura que los operarios estén preparados para comenzar el día sin demoras.
- **Reorganizar y ordenar la bodega:** Una reorganización de la bodega permitirá un mejor acceso y almacenamiento de los materiales, reduciendo tiempos de búsqueda, compras innecesarias y facilitando un flujo de trabajo más eficiente.
- **Uso del galpón y espacio disponible:** Evaluar el uso del espacio disponible en el galpón permitirá planificar mejoras en la disposición del área de producción, asegurando un flujo de trabajo más ordenado y eficiente. El espacio resulta ser una limitación para acopiar tanto las casas como más materia prima. En la zona de adyacente al galpón, existe un radier donde se está evaluando poder montar una extensión de la planta, lo cual permitiría hacer modificaciones con mayor holgura en términos de espacio. Un ejemplo de lo que se podría hacer con este espacio adicional, sería una línea de producción exclusiva para cerchas, con todo lo que se necesita para esas estructuras.

- **Uso de plantilla para perforaciones:** Al comienzo de cada proyecto dejar listo plantillas que sirvan de molde para marcar donde se deben perforar los cortes de madera. Se especifica a que pieza y panel corresponde el molde. Con esto se facilita el proceso de perforado, ya que no habría que medir y marcar cada madera (significa una demora), sino que se podría perforar directamente, ahorrando tiempo.

El diseño del flujo de materiales y personas en la planta de IDV, tal como se muestra en la Figura 3.8, presenta una reorganización fundamental de las zonas de trabajo y los procesos de transporte interno.

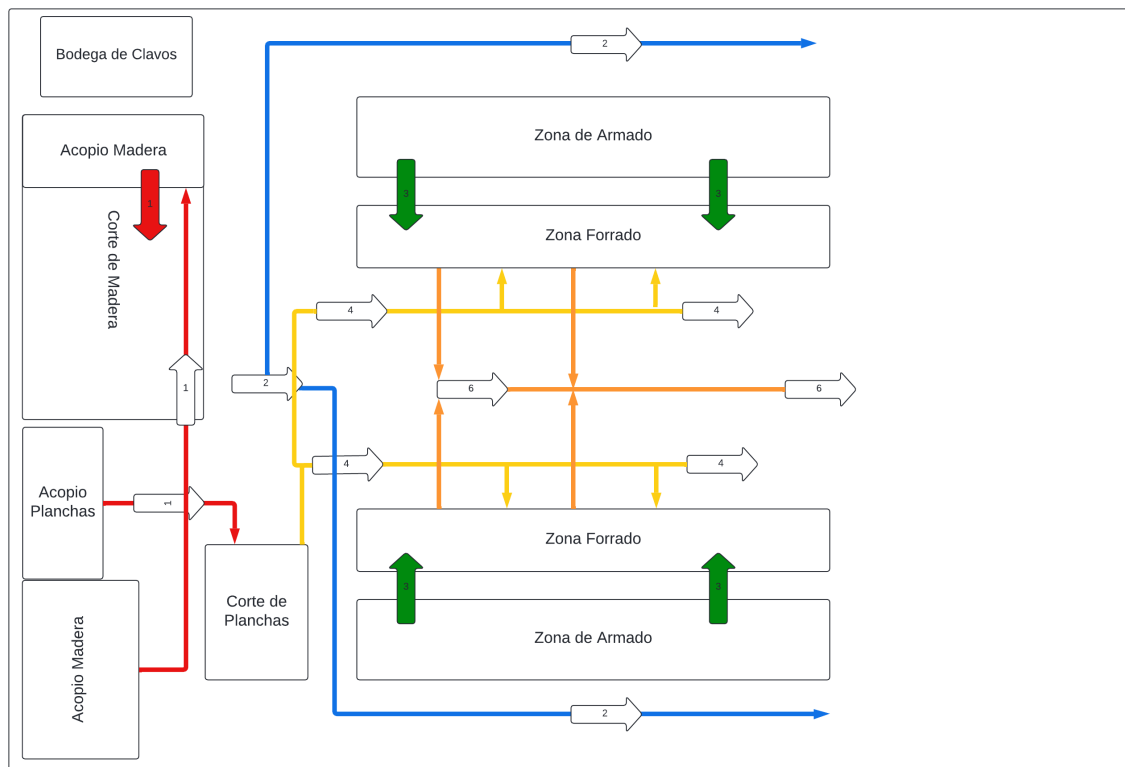


Figura 3.8: Diagrama de flujo de materiales dentro de la planta de IDV, aplicando mejoras.

Fuente: elaboración propia.

Este nuevo flujo impacta directamente en varios aspectos operativos clave de la planta, tales como la productividad, los tiempos de traslado, la distribución del personal y los tiempos de trabajo de los operarios. A continuación, se describen los efectos esperados de implementar este flujo:

Mejora en la productividad: Al optimizar el flujo de materiales y productos dentro de la planta, se logra un procesamiento más eficiente de los materiales desde su acopio hasta su ensamblaje. Esta reorganización permite que los materiales sigan una única dirección, evitando retrocesos innecesarios,

lo que reduce los tiempos muertos en el proceso. Además, al liberar el pasillo central de la planta, el movimiento de operarios y materiales se hace más fluido, reduciendo el tiempo necesario para que los operarios se desplacen entre estaciones de trabajo. Este aumento en la eficiencia de los traslados y la reducción de congestiones se traduce directamente en un aumento de la capacidad productiva.

Optimización del flujo de personas: Con la reubicación de las mesas de trabajo y la implementación de un sistema más ordenado para la distribución de las operaciones, los operarios podrán moverse de manera más ergonómica y menos congestionada dentro de la planta. Este flujo optimizado no solo mejora la comodidad de los trabajadores, sino que también reduce los tiempos de desplazamiento. Un ejemplo claro se ve en el caso de redirigir los carros por detrás de las mesas de armado, ubicarlos fuera de la zona central de la planta permite que estos carros no entorpezcan tanto en el proceso de armado, como en el desplazamiento de los paneles para ser forrados. También liberan espacio para el tránsito libre de la grúa por esa zona y no se mezclan con las planchas para forrar los paneles.

Reducción de los tiempos de traslado de materiales: Uno de los principales problemas identificados en el diagnóstico es el tiempo que se pierde en el traslado de los materiales dentro de la planta. Con el nuevo flujo, los materiales y productos en proceso se mueven de manera más directa hacia las siguientes etapas de producción, sin tener que pasar repetidamente por el centro de la planta. La reubicación de las zonas de acopio de materia prima, disminuyen los tiempos de espera y los desplazamientos innecesarios, permitiendo que los operarios dediquen más tiempo a las tareas productivas.

Estas mejoras están orientadas a optimizar la disposición de la planta y el flujo de trabajo, con el objetivo de reducir el cuello de botella en la etapa de corte de madera y aumentar la productividad en general, pensando en la distribución actual de la planta. Aplicando algunas de las propuestas anteriores, se podría lograr lo presentado en la Figura 3.8, mostrando un contraste con respecto a la Figura 3.5.

4. Balance de línea

Este capítulo define lo que es el balance de líneas y expone la metodología utilizada para el desarrollo de esta herramienta en este caso. Se incluyen los resultados del balance.

4.1. Definición y objetivos del balance de línea

La productividad de un sistema de fabricación se puede definir como la cantidad de trabajo que se puede realizar por unidad de tiempo utilizando los recursos disponibles. El balance de línea generalmente se realiza para minimizar el desequilibrio entre máquinas o personal y al mismo tiempo cumplir con el rendimiento requerido de la línea. El balance de línea es una herramienta para mejorar el rendimiento de una celda o línea de trabajo y al mismo tiempo reducir la mano de obra y los costos necesarios (Swapnil y Inamdar, 2014).

Stephens y Meyers (2013) describen este proceso y postulan que el objetivo del balance de línea en manufactura es dar a cada operador una cantidad de trabajo similar a cada uno dentro de lo posible. Los propósitos de la técnica de balance de la línea de montaje son:

1. Igualar la carga de trabajo entre los trabajadores.
2. Identificar la operación cuello de botella.
3. Establecer la velocidad de la línea.
4. Determinar el número de estaciones de trabajo.
5. Determinar el coste laboral de montaje y embalaje.
6. Establecer el porcentaje de carga de trabajo de cada operador
7. Para ayudar en el diseño de la planta.
8. Para reducir el costo de producción.

4.2. Metodología para el cálculo del balance de línea

Para el desarrollo de este capítulo se consideró la producción de la Vivienda tipo-A, que contiene las siguientes especificaciones por etapa. 1 casa contiene: 33 paneles; 22 paneles forrados; 46 planchas cortadas; 74 perforaciones; 656 piezas de madera cortadas.

Se trabajó con la unidad de casas semanales producidas, donde en cada semana se trabajan 37,40 horas considerando un factor de rendimiento de las horas hombre de 85%. Las jornadas laborales para los operarios son de lunes a jueves de 7 a 17 horas y viernes de 7 a 13 horas (un total de 44 horas

semanales; no se consideran los tiempos de almuerzo). Este factor de rendimiento muestra un tiempo más cercano a la realidad, donde se descuentan los tiempos otorgados para desayunar, idas al baño, reuniones diarias y una estimación de tiempos muertos.

El balance de la línea de producción se realiza utilizando los datos de rendimiento por hora de cada etapa del proceso y considerando la cantidad de puestos de trabajo disponibles en la planta. El procedimiento detallado es el siguiente:

1) Obtención del rendimiento total por etapa

Multiplicar el “rendimiento por hora” de cada etapa (obtenido mediante estudios de tiempo y contabilizando las unidades de cada etapa) por la cantidad de puestos de trabajo asignados a esa etapa en la planta.

$$\{\text{Rendimiento Total por Etapa (unidades/hora)}\} = \{\text{Rendimiento por Hora (unidades/hora)}\} \times \{\text{Cantidad de Puestos de Trabajo}\}$$

2) Cálculo del rendimiento por vivienda

Dividir el rendimiento total por etapa entre la cantidad requerida de esa actividad para la construcción de una vivienda. Este valor representa cuántas viviendas podrían procesarse en una hora por cada etapa.

$$\{\text{Rendimiento por Vivienda (viviendas/hora)}\} = \{\text{Rendimiento Total por Etapa (unidades/hora)}\} \div \{\text{Cantidad Requerida por Vivienda (unidades/vivienda)}\}$$

Ejemplo: En la etapa de corte de madera, si el rendimiento total de la planta es de 170 cortes por hora y una vivienda requiere 656 cortes, el rendimiento por vivienda sería:

$$\{\text{Rendimiento por Vivienda (viviendas/hora)}\} = \frac{170 \text{ cortes por hora}}{656 \text{ cortes en una vivienda}} = 0,259 \text{ (viviendas/hora)}$$

3) Conversión a rendimiento semanal

Multiplicar el rendimiento por vivienda obtenido en el paso anterior por la cantidad de horas semanales efectivas trabajadas en la planta. Esto permite determinar cuántas viviendas completas puede procesar la planta en una semana, en función de cada etapa.

$$\{\text{Rendimiento Semanal por Etapa (viviendas/semana)}\} = \{\text{Rendimiento por Vivienda (viviendas/hora)}\} \times \{\text{Horas Semanales Trabajadas}\}$$

4) Identificación del cuello de botella

Comparar los rendimientos semanales obtenidos para cada etapa. La etapa con el menor rendimiento semanal define el cuello de botella del proceso, ya que limita la capacidad total de producción de la planta.

5) Ajustes y simulaciones

Una vez identificado el cuello de botella, se puede simular el impacto de cambios en el número de puestos de trabajo por etapa o mejoras en los rendimientos por hora. Estos ajustes permiten optimizar el flujo productivo y equilibrar la línea de producción.

6) Análisis del balance de línea

Con los datos procesados, evaluar el balance de línea para determinar si es necesario redistribuir los recursos humanos o realizar cambios en los procesos para maximizar la producción y minimizar tiempos muertos.

La metodología anterior se plasmó en una tabla para poder hacer las iteraciones descritas en el paso 5, en la cual se fueron haciendo y presentado los resultados de las operaciones correspondientes. Paralelamente se hizo la inclusión de un gráfico que muestra el rendimiento semanal de viviendas en función de cada etapa con los datos de la tabla. La tabla de la situación inicial de la planta es la siguiente:

Tabla 4.1: Situación inicial de la planta para del balance de línea.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	1	1	7	2
Rendimiento/hora planta	4,69	24	97,93	74,24
Rendimiento de casa/hora	0,14	0,52	0,66	0,67
Casas semanales	5,32	19,51	24,68	25,10

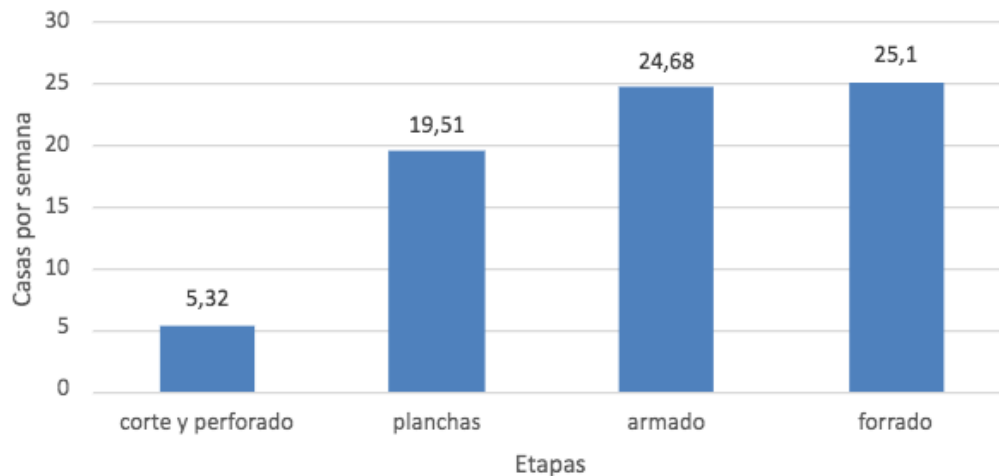


Figura 4.1: Rendimiento semanal de casas producidas con la situación inicial de la planta.

La metodología que se llevó a cabo para el cálculo del balance de línea se basa en los datos recopilados que se presentan en la sección 4.2.1. Estos datos fueron registrados de manera manual y en base a observaciones del proceso durante una hora en cada etapa, en una planilla Excel. Las etapas estudiadas fueron: corte de madera, perforado de madera, corte de planchas, armado de las estructura y forrado de estructura.

Se tomó en cuenta una estación común para las etapas de corte y perforado dado que ambas operaciones se hacen en un mismo lugar y el material no avanza hasta pasar por ambas, independiente que la mayoría de la madera no requiera ser perforada. En este caso para medir un rendimiento realista de esta estación en conjunto, se midió el tiempo en minutos en los que se demoraba en cortar un panel en específico, lo mismo con las perforaciones. Luego, con el promedio de las observaciones de ambas etapas se ponderó en función de las necesidades de una vivienda, es decir, en el caso de las perforaciones se consideró solo un 11,2 % del tiempo dado a que corresponde al porcentaje de agujeros en el total de cortes de madera de una casa.

Las unidades de medida para cada etapa fueron las siguientes: para corte de madera, cantidad de cortes; para perforado, cantidad de perforaciones hechas; para planchas, cantidad de cortes sobre planchas hechos; para armado y forrado de estructura, metros cuadrados construidos y forrados respectivamente. No se tomó en cuenta el ensamble de los subcomponentes eléctricos porque esta

etapa aún se encuentra a prueba y a la espera de ser aprobada por los fiscalizadores del serviui; no se encuentra incorporada en su totalidad.

Los tiempos registrados corresponden a la cantidad llevada a cabo en cada etapa en una hora de trabajo, sin considerar los paneles en específico.

4.2.1. Datos recolectados

Tabla 4.2: Resumen de los datos recolectados por cada etapa.

Etapa	Promedio (Unidades por Hora)	Desviación Estándar (Unidades por Hora)	Unidad de Medida
Corte de Madera	170	10	Cortes
Perforado	55	5	Perforaciones
Corte & Perforado	4,69	4,76	Paneles
Corte de Planchas	25	3	Planchas
Armado de Paneles	13,49	5,92	m ² de Paneles
Forrado de Paneles	37,14	4	m ² de Paneles

En la Tabla 4.2 se puede ver un resumen de los datos recolectados, donde se entrega el promedio obtenido de las observaciones, con su desviación estándar y la unidad de medida que consideró para cada etapa. Se revisó con atención la cantidad producida en cada etapa durante y cada una hora se registró la cantidad de cortes, perforaciones o metros cuadrados. Las distintas etapas pudieron ser registradas de manera simultánea con la ayuda de los operadores de la planta.

En el caso de la estación de corte y perforado, se midió el tiempo empleado en cortar y perforar un panel, por separado y teniendo alrededor de cien observaciones, se calculó el tiempo promedio de cada una. Luego, se calculó un promedio ponderado explicado anteriormente. Para el corte de planchas, el mismo operador encargado registró su trabajo durante las horas de estudio. Finalmente, para el armado y forrado se asignó uno de los operadores por día para que pudiera registrar en una hora los paneles que se habían tanto armado como forrado. Con esa información, se revisaron los metros cuadrados producidos durante una hora. Se calculó el promedio de lo observado para trabajar en el balance de línea.

4.2.2. Tiempos de ciclo y capacidad de producción

La siguiente tabla muestra los tiempos de ciclo de cada operación del proceso y la capacidad de producción en cada una de las etapas en función de los paneles producidos, considerando la configuración inicial de la planta.

Tabla 4.3: Tiempo de ciclo y capacidad de producción de la planta.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
Tiempo de ciclo (min.) por panel	12,78	7,91	19,39	10,88
Capacidad de planta (casas/semana)	5,32	19,51	24,68	25,10

El cuello de botella vendría siendo la estación de corte y perforado, lo que determina la cantidad de casas que se pueden producir en una semana.

4.3. Resultado del balance de línea

A continuación, se presentan los resultados del trabajo hecho con el balance de línea. En primer lugar, se presenta en la Tabla 4.4 la situación inicial de la empresa. Para cada escenario que se presenta en esta sección, se adjuntará un gráfico mostrando el rendimiento en casas semanales que cada etapa tendría considerando los cambios en “puestos de trabajo” incluido en las diferentes tablas a continuación. Para ser más claros en el análisis, es necesario explicar porque dentro de los puestos de trabajo existen casos en los que se pone un número decimal. Se entiende por puestos de trabajo no solo el espacio físico que corresponde a cada etapa, si no que se combina la cantidad de trabajadores en cada zona.

Para entender mejor esto, se tiene el caso de la Tabla 4.4. En la fila de “puestos de trabajo”, se tiene que en las etapas de corte y perforado hay 0,7 y 0,3 “puestos de trabajo” respectivamente. Esto es una representación de la cantidad de trabajadores en estas zonas, donde en este caso existe un solo trabajador que ocupa, en teoría, 70% de su tiempo en el corte de madera y un 30% del tiempo en el perforado. Los valores anteriores fueron suposiciones hechas en base a lo observado. Esto se repite en las iteraciones siguientes, como en el caso de la Tabla 4.5. En este caso se tiene que, para la etapa de corte de madera, en la fila de puestos de trabajo, hay 1,7 “puestos de trabajo”. Esto indica que hay dos personas operando la máquina de corte, una utilizando el 100% de su tiempo en esa tarea y el otro un 70% de su tiempo; el otro 30% se destina a la etapa de perforado. Donde también se juega con

puestos de trabajo decimales que representan trabajadores que dividen su tiempo en más una etapa durante el día laboral.

- **Situación inicial:**

Tabla 4.4: Tabla de balance de línea con configuración inicial.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	1	1	7	2
Rendimiento/hora planta	4,69	24	97,93	74,24
Rendimiento casa/hora	0,14	0,52	0,66	0,67
Casas semanales	5,32	19,51	24,68	25,10

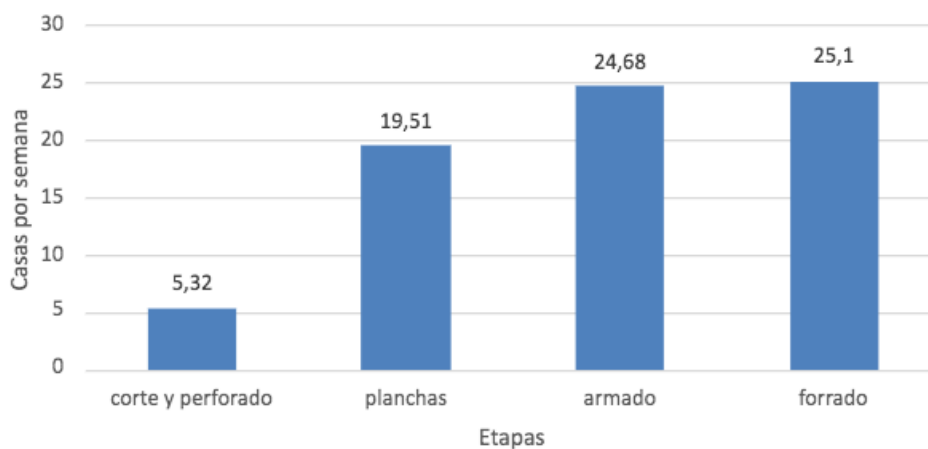


Figura 4.2: Capacidad semanal por etapa. Situación inicial del Balance de línea.

Con la Figura 4.2 se pone en evidencia como la zona de corte y perforado corresponde a una restricción dentro de lo que es el proceso completo. Con la distribución del personal actual puede ver como la capacidad de esta zona de trabajo afecta la producción de casas semanales. Por otro lado, se puede ver que la zona de forrado de las estructuras tiene una capacidad máxima de 25 casas a la semana. El corte de planchas y armado de estructuras se presentan en 19,51 y 24,68 casas semanales respectivamente. La idea es poder balancear o intentar igualar la altura de las barras del gráfico, por medio de la variación en la cantidad de puestos de trabajo. Esta situación actual contempla 11 trabajadores repartidos en las distintas zonas de trabajo dentro de la planta.

- **1^{era} Iteración:**

Tabla 4.5: Tabla de balance de línea, primera iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	2	1	6	2
Rendimiento/hora planta	9,38	24	83,94	74,24
Rendimiento casa/hora	0,28	0,52	0,57	0,67
Casas semanales	10,63	19,51	21,15	25,10

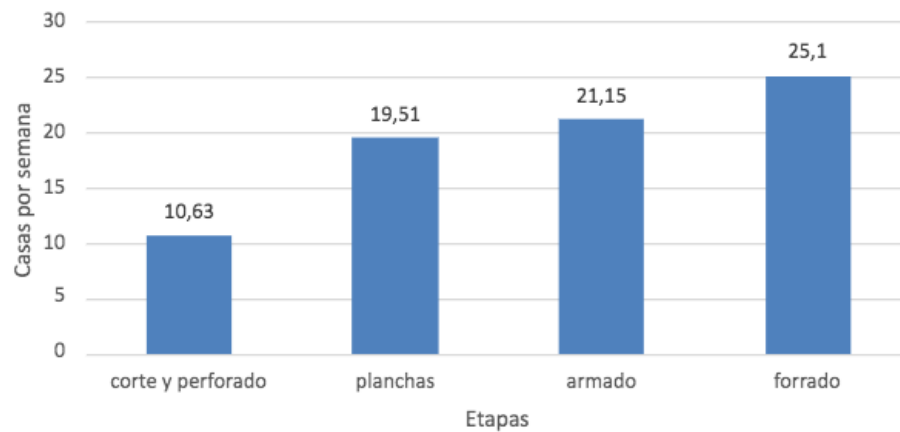


Figura 4.3: Capacidad semanal por etapa. Primera iteración del Balance de línea.

En la primera iteración, se mueve a un operario desde las mesas de armado a la zona de corte y perforado, teniendo un efecto positivo en la capacidad del cuello de botella. La cantidad de casas de esta etapa cambió de 5,32 a 10,63; se dobla la capacidad con tan solo agregando a otra persona. Esto se da dado que al ser un trabajo muy físico, para una persona resulta una tarea lenta con desplazamientos considerables entre cargar y operar la máquina de corte, a descargar, perforar y volver a cargar los carros con la madera; entre dos claramente se pueden dividir todas las actividades que corresponden a esta etapa del proceso productivo. El corte de planchas y armado se mantienen igual a la situación inicial. Las barras se acercan a un balance entre las distintas etapas, pero aún se puede ver como la zona de corte y perforado se queda atrás en la términos de capacidad productiva.

- **2^{da} Iteración:**

Tabla 4.6: Tabla de balance de línea, segunda iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	2	1,5	6	1,5
Rendimiento/hora planta	9,38	36	83,94	55,71
Rendimiento casa/hora	0,28	0,78	0,57	0,50
Casas semanales	10,63	29,27	21,15	18,83

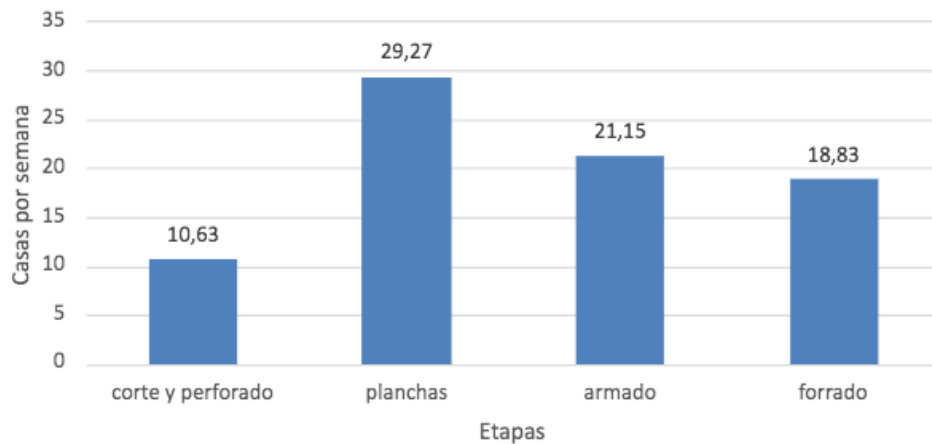


Figura 4.4: Capacidad semanal por etapa. Segunda iteración del Balance de línea.

Para esta segunda iteración, se prueba con dividir el tiempo de trabajo de los trabajadores de dos etapas distintas. Como se ve en la Tabla 4.6, en las etapas de corte planchas y forrado de estructuras la cantidad de puestos de trabajo es de 1,5 por etapa. Esto tiene que ver con el tiempo invertido por los trabajadores, es decir que habrá un trabajador fijo en cada etapa y otra persona que usará el 50% del tiempo del turno de trabajo en cada uno. Desde la etapa de forrado, unos de los trabajadores debe dividir su tiempo con el corte de las planchas. Al aumentar en el corte de planchas, la capacidad excede los parametros de la planta, alcanzando 29,27 casas semanales, lo cual indica que no sería una decisión correcta otorgar mas esfuerzos a esta etapa; resulta ser innecesario. Por su parte la etapa de forrado disminuye a 18,83 casas por semana y las otras dos etapas se mantienen igual a la iteración anterior.

- **3^{era} Iteración:**

Tabla 4.7: Tabla de balance de línea, tercera iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	2,5	1	6	1,5
Rendimiento/hora planta	11,73	24	83,94	55,71
Rendimiento casa/hora	0,36	0,52	0,57	0,50
Casas semanales	13,29	19,51	21,15	18,83

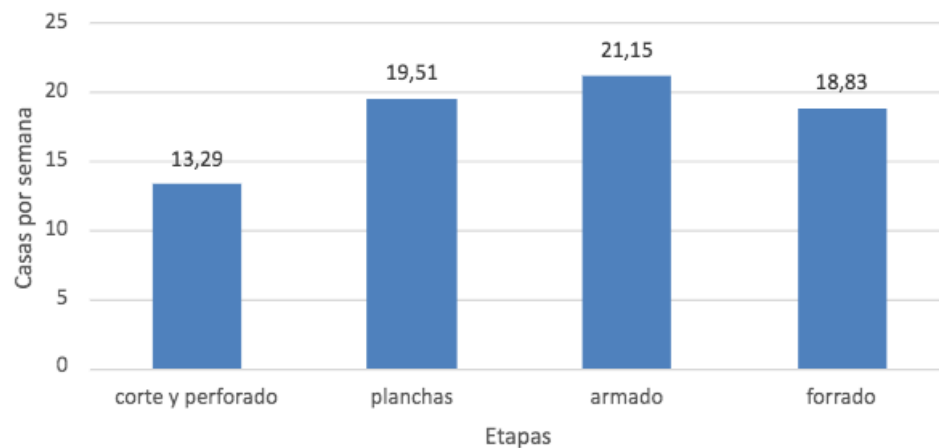


Figura 4.5: Capacidad semanal por etapa. Tercera iteración del Balance de línea.

En la tercera iteración de este proceso de balance de línea, se corrige lo observado en la segunda iteración. Se disminuyen los puestos de trabajo en el corte de planchas, volviendo a solo una persona a cargo de hacer esa tarea volviendo a tener capacidad de 19,51 casas a la semana. Se aumentan los puestos de 2 a 2,5 en la zona de corte de madera y perforado teniendo un efecto positivo en su capacidad, que aumenta de 10,63 a 13,29 casas semanales. Esto incrementa el nivel de las barras del gráfico, acercándose al balance, pero con espacios de mejora. En forrado mantiene 1,5 puestos de trabajo de la iteración anterior, lo que representan una capacidad de 18,83 casas. Es importante considerar bien todas las tareas de los operarios en las distintas etapas, para que todos tengan trabajos definidos y no tengan tiempos muertos y se puedan justificar las adiciones de personal en cada etapa. De no ser así, no vale la pena tener mas personas en un lugar si no tienen trabajo para hacer.

- **4^{ta} Iteración:**

Tabla 4.8: Tabla de balance de línea, cuarta iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	2,3	1	6	2,7
Rendimiento/hora planta	10,79	24	83,94	100,28
Rendimiento casa/hora	0,33	0,52	0,57	0,91
Casas semanales	12,23	19,51	21,15	33,89

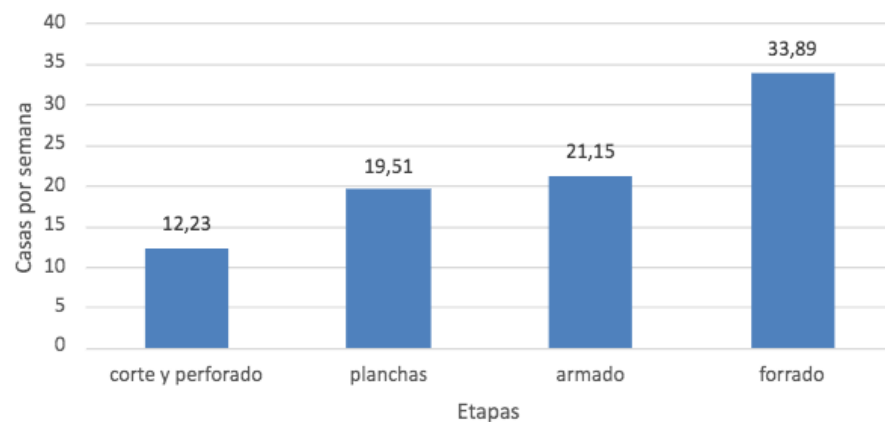


Figura 4.6: Capacidad semanal por etapa. Cuarta iteración del Balance de línea.

La cuarta iteración no es una buena. Se mantienen los puestos en las etapas de corte de planchas y armado con 1 y 6 respectivamente. Se prueba con dividir el tiempo de trabajo de una persona entre la zona de corte y perforado y la etapa de forrado de estructuras, con una distribución 70:30. Según la Tabla 4.8, en la zona de corte y perforado se dejan dos operarios fijos y uno móvil, con solo el 30% de su tiempo colaborando en ese lugar. Esto hace que disminuya su capacidad a 12,23 teniendo un efecto negativo con respecto a las tercera iteración. Paralelamente, en la etapa de forrado se aumenta a tres personas con uno proveniente del corte, lo que genera un aumento demasiado grande en la capacidad. Como se mencionó antes, esto no es positivo ni realista dado que el valor de 33,89 no se podría alcanzar con el resto de las capacidades limitando esa salida. Además, visualmente se ve la Figura 4.6 como las barras pierden ese balance buscado.

- **5^{ta} Iteración:**

Tabla 4.9: Tabla de balance de línea, quinta iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 – 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	3	1,5	6	2
Rendimiento/hora planta	14,07	36	83,94	74,24
Rendimiento casa/hora	0,43	0,78	0,57	0,67
Casas semanales	15,95	29,27	21,15	25,10

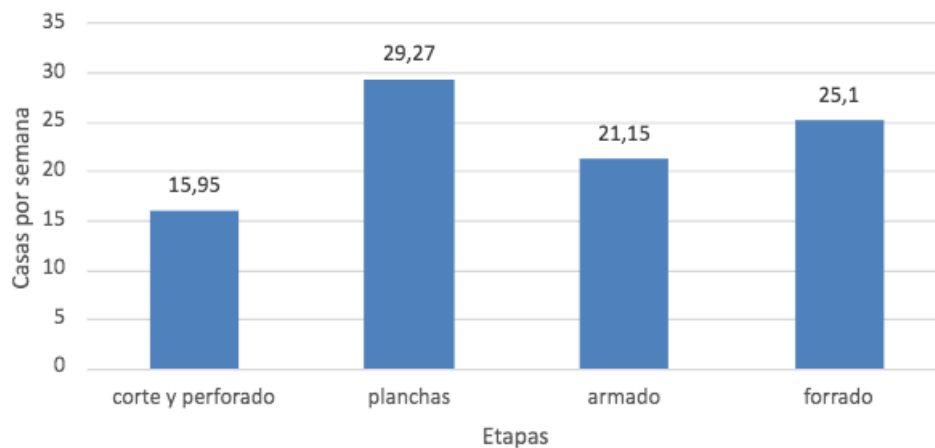


Figura 4.7: Capacidad semanal por etapa. Quinta iteración del Balance de línea.

Para la quinta iteración los cambios fueron los siguientes: se aumentó a tres puestos en la zona de corte y perforado, a 1,5 en la etapa de corte de planchas y se disminuyó a dos en la etapa de forrado; el armado se mantuvo en seis mesas de trabajo independientes. Los efectos que estos cambios producen son claramente aumentar las capacidades de las primeras dos zonas mencionadas y restituir el valor del forrado con dos operarios. El corte y perforado aumenta su capacidad a 15,95, mientras que el corte de planchas vuelve a tener 29,27, considerado alto en este contexto. De igual manera, según lo mostrado en la Figura 4.7 las barras del gráfico se comienzan a acercar cada vez más a un equilibrio y se pasa la barrera de las 15 casas semanales producidas en todas las etapas.

- **6^{ta} Iteración:**

Tabla 4.10: Tabla de balance de línea, sexta iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	3	1	7	2
Rendimiento/hora planta	14,07	24	97,93	74,24
Rendimiento casa/hora	0,43	0,52	0,66	0,67
Casas semanales	15,95	19,51	24,68	25,10

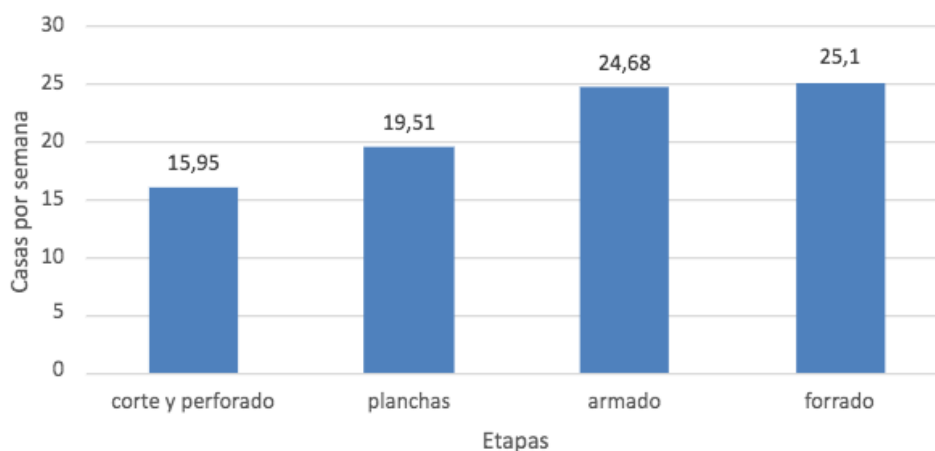


Figura 4.8: Capacidad semanal por etapa. Sexta iteración del Balance de línea.

En esta sexta iteración, se realizaron ajustes específicos en la distribución de recursos. Con el fin de corregir la capacidad de la etapa de corte de planchas de la quinta iteración, en la sexta la cantidad de puestos de trabajo Como resultado, la capacidad de la etapa de planchas disminuyó a 19,51 como en casos anteriores, mientras que armado alcanzó 24,68 incrementando nuevamente a siete trabajadores. Según lo mostrado en la Figura 4.8, las barras del gráfico reflejan un mayor equilibrio entre las estaciones de trabajo, con diferencias mínimas en los tiempos de ciclo. Este ajuste mantiene las 15 casas semanales como mínimo en todas las etapas del proceso, consolidando una mejora significativa en la productividad global. En total contempla trece trabajadores en total.

- **7^{ma} Iteración:**

Tabla 4.11: Tabla de balance de línea, séptima iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	3,7	1,3	6	2
Rendimiento/hora planta	17,35	31,2	83,94	74,24
Rendimiento casa/hora	0,53	0,68	0,57	0,67
Casas semanales	19,67	25,37	21,15	25,10

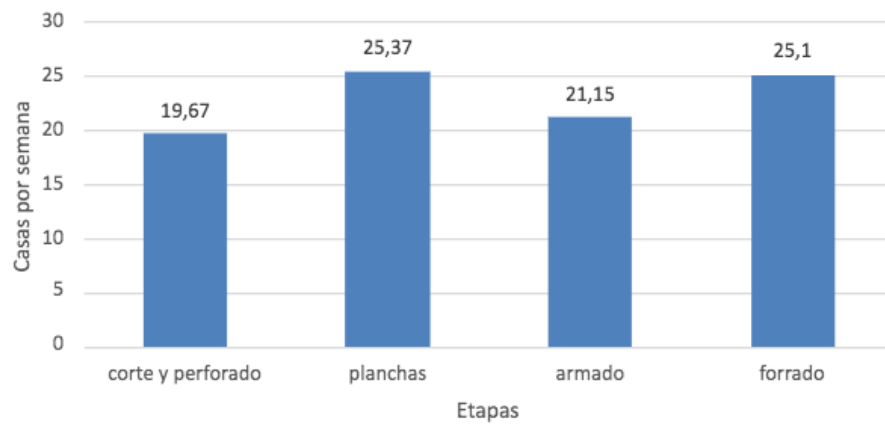


Figura 4.9: Capacidad semanal por etapa. Séptima iteración del Balance de línea.

En la séptima iteración, se aplicaron cambios relacionados con un nuevo aumento de puestos de trabajo en el aún cuello de botella, corte y perforado, además de un moderado aumento el corte de planchas. Estas modificaciones tuvieron un impacto directo en la etapa de corte y perforado, cuya capacidad aumentó a 19,67, mientras que el corte de planchas aumentó a un rendimiento estable de 25,37. Nuevamente se empleó la distribución de trabajo 70:30. Tal como se observa en la Figura 4.9, las barras del gráfico muestran una alineación cercana al equilibrio óptimo, con una mejora notable en la fluidez del flujo de trabajo. Este resultado asegura que la producción de 19,67 se mantenga constante, consolidando la eficiencia operativa alcanzada. Esto es volviendo a seis maestros armadores y teniendo un total de trece operarios designados.

- **8^{va} Iteración:**

Tabla 4.12: Tabla de balance de línea, octava iteración.

	Corte & perforado	Planchas	Armado	Forrado
1 casa	656 - 74	46	148,43	110,67
Rendimiento/hora	4,69	24	13,99	37,14
Puestos de trabajo	4	1	6	2
Rendimiento/hora planta	18,77	24	83,94	74,24
Rendimiento casa/hora	0,57	0,52	0,57	0,67
Casas semanales	21,27	19,51	21,15	25,10

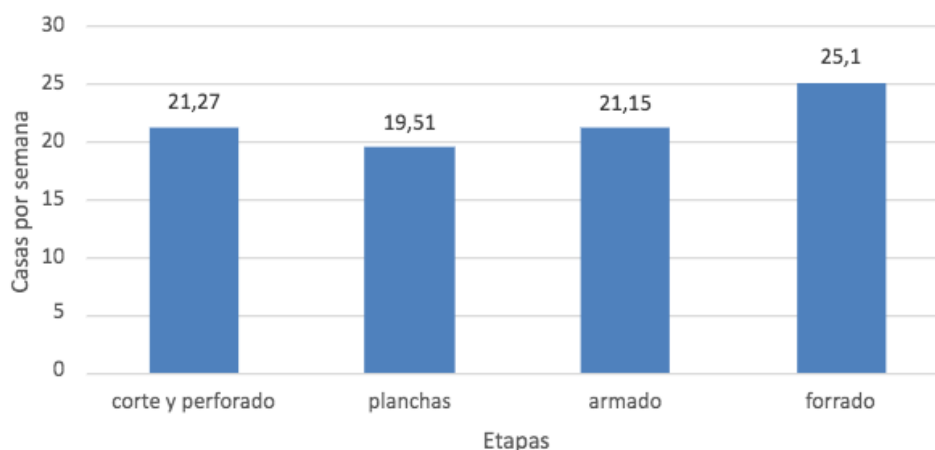


Figura 4.10: Capacidad semanal por etapa. Octava iteración del Balance de línea.

En esta última iteración, con distribución muy parecida a la séptima, se dejan fijos cuatro trabajadores en la zona de corte y perforado teniendo una capacidad de rendimiento de 21,27. En general se alcanza con esta distribución un rango entre 19,51 y 25,1 casas semanales entre todas las zonas de trabajo, lo cual representa un valor muy positivo en cuanto a producción para la empresa. En la Figura 4.10 se puede ver representada esta estabilidad y se observan las etapas balanceadas.

En las distintas figuras de esta sección se observan los gráficos de los distintos casos de balance de línea. Con este proceso se busca poder encontrar una configuración que pueda igualar o intentar acercarse al rendimiento general de cada una de las etapas o estaciones presentadas. En las Figuras 4.1 a 4.10 se puede ver como el cambio en puestos de trabajo provoca un cambio en la capacidad de cada etapa. Con esto se debería poder tener las cinco barras con una altura similar de tal forma de que

en cada etapa se esté produciendo la misma cantidad de viviendas, o por lo menos valores muy similares.

Dentro de las iteraciones presentadas, la octava iteración muestra una capacidad semanal relativamente bien balanceada. En este caso, se involucran a trece trabajadores en total, dos más que en la situación inicial, lo que se puede traducir en costos adicionales para la operación de la línea, pero un porcentaje mayor de viviendas producidas. Es pertinente explicar que las personas destinadas a la estación de corte y perforado deben distribuir sus tareas entre ambas operaciones de tal manera de que los operarios se mantengan ocupados, evitando tiempos muertos a medida que avanzan la producción. En el caso de la octava iteración, en esta zona se tienen cuatro personas; una que se podría encargar de cargar la máquina con madera y darle “start”; otra persona recibiendo los cortes e identificando a que corte corresponde; el siguiente marcando y disponiendo la madera para ser cortada y finalmente el cuarto encargado de hacer la perforación en sí. En caso de no tener que perforar esa cuarta persona podría ordenar los cortes en los carros y llevarlos a las mesas.

5. Consideraciones para el desarrollo futuro

Con un crecimiento sostenido de la empresa, al largo plazo se recomienda hacer algunos cambios que permitan a IDV seguir avanzando en alcanzar la excelencia de sus procesos. Parte de estos trabajos para el futuro tienen que ver con un rediseño del proceso actual, adoptando nuevas técnicas y tecnología, manteniendo lo que hoy en día funciona. El espacio que dispone la empresa para llevar a cabo sus operaciones resulta ser limitado cuando el volumen de producción es alto, debido a que no hay suficiente lugar para poder acopiar paneles o madera. Si bien hay planes para en el corto plazo agrandar el galpón, IDV necesitaría instalaciones de mayor envergadura para poder llevar una operación ordenada y con mayor capacidad de producción al nivel actual. Actualmente existe un radier terminado y es por donde hoy en día se cargan y descargan los camiones. Este espacio corresponde a aproximadamente 430 metros cuadrados adicionales (18m x 24m) y donde se pretende ampliar el galpón actual.

Tomando en cuenta uno de los problemas actuales de la empresa, el cuello de botella en la estación de corte y perforado de madera, se propone destinar una nueva sección a la planta. Se pretende dejar disponible un espacio de almacenamiento para el material en proceso (madera perforada lista para ser armada). A medida que vayan saliendo los cortes de madera, estos son llevados hacia esta “zona de espera” mostrada con el rectángulo rojo de la Figura 5.2, donde se acopia la madera cortada y se hacen las perforaciones respectivas. Este lugar permite organizar todos los cortes por panel y disponer de un stock de paneles a la espera de ser armados, evitando que las mesas de armado tengan altos tiempos muertos de espera del material.

Esto se pensó para poder cortar madera sin interrupciones y evitar que se pierda tiempo entre los procesos de corte, perforado y armado. Para llevar esto a cabo sería necesario tener un sistema de almacenamiento, posiblemente con racks, que se adecuen a las dimensiones de la madera y acorde al volumen que se espera tener, para que el manejo de estos materiales entre las estaciones no se vea entorpecido y tengan un flujo correcto.

Otro esfuerzo futuro para la planta es la incorporación de mesas de armado modernas especializadas en el armado de componentes estructurales de madera, que aporten al proceso productivo con mayor eficiencia. La marca sueca “Randek” se especializa en producir y comercializar máquinas y sistemas completos de alto nivel de innovación, para la manufactura de casas prefabricadas. Manteniendo un

proceso similar al actual, la incorporación de mesas Randek “mariposa” BS20 permite armar, forrar y transportar los paneles de manera mucho más eficiente, rápida y segura.

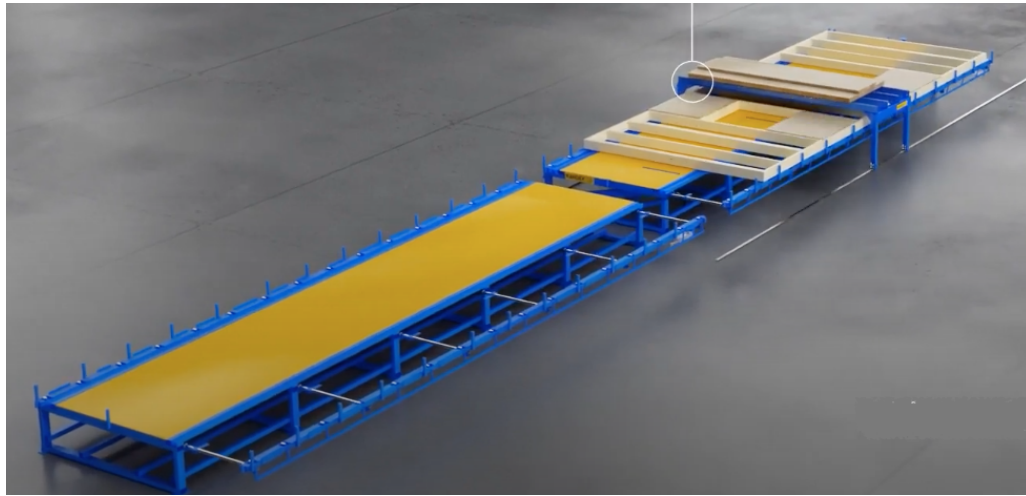


Figura 5.1: Imagen de mesas Randek.

Fuente: randek.com.

Este tipo de mesas permite ajustar el ancho dependiendo de la altura del panel. Además, pueden fijar soleras o vigas y cuadrar los pies derechos de manera muy simple para ser clavados, por lo que el tiempo de armado se ve disminuido considerablemente. También, esto hace que el método del proceso de armado sea estándar para todos los armadores, cosa que hoy en día varía. Una vez armado el panel, la mesa contiene un sistema similar a una cinta transportadora que sirve para mover el panel sin mayor esfuerzo. En la figura 5.1 se logra ver un muro sobre una de las mesas descritas, sobre la cual se están ubicando planchas sobre la estructura (etapa de forrado).

Las planchas se transportan a lo largo del panel por una mesa con rieles que se mueve por encima de la mesa mariposa. El manejo de materiales y el esfuerzo físico que deben hacer los operarios al usar esta tecnología, evidentemente se vería mejorado en comparación a las técnicas actuales. Las mesas reciben el nombre de mariposas porque utilizando un sistema neumático o hidráulico, pueden voltearse en 90 grados para el manejo de la estructura armada y tienen conexiones neumáticas para las herramientas.

En términos técnicos, resulta difícil poder calcular el efecto de estos cambios en la producción, ya que a pesar de que el proceso se agiliza, este sigue siendo manual. Solo se podrían calcular los cambios en la producción haciendo mediciones reales en planta, con el uso de estos productos en sistemas donde se tenga experiencia, pero se estima una disminución en el tiempo de ciclo de estos procesos de manera ergonómica y segura.

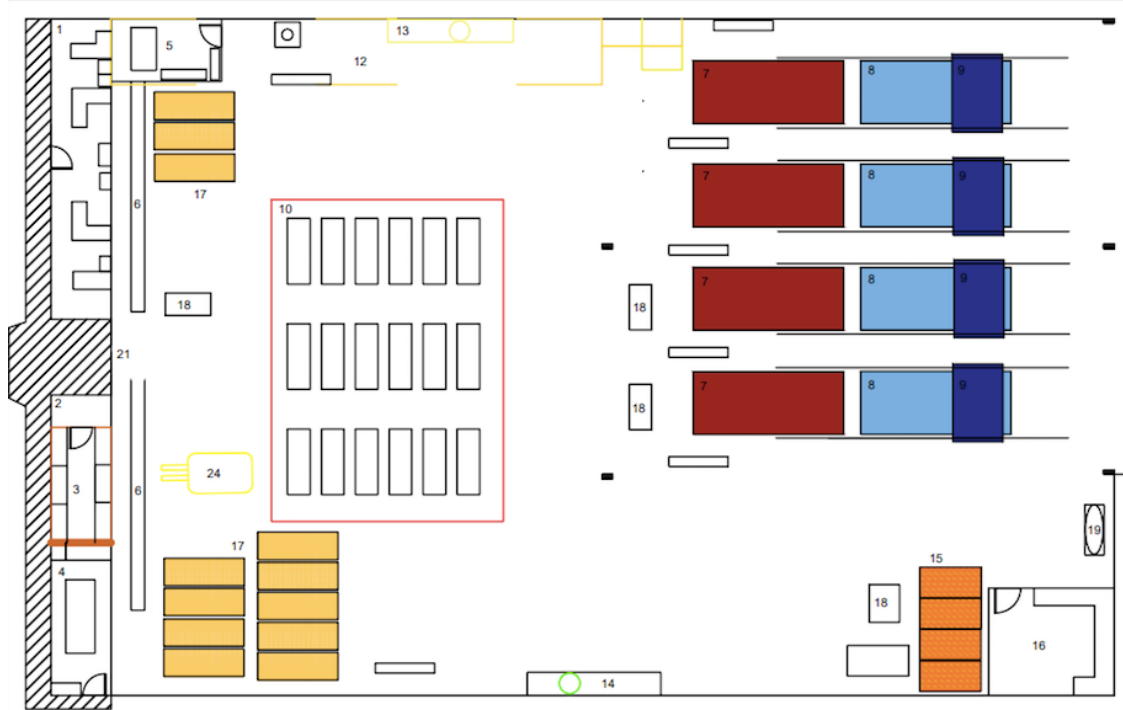


Figura 5.2: Propuesta de layout .
Fuente: elaboración propia en AutoCAD.

Las Figuras 5.2 y 5.3 corresponden a un concepto de layout, que incluye las consideraciones propuestas en el capítulo 5. Toma en cuenta el espacio disponible actualmente del galpón de la planta además de la ampliación presentada. En el espacio adicional se considera también una zona exclusiva para la manufactura de las cerchas, evitando que las mesas de armado detengan su producción de paneles para hacer cerchas. Por su tamaño, las cerchas normalmente harán uso de más de una mesa de armado para su construcción, por lo que tener mesas especiales para estas estructuras sería de gran utilidad. También, se considera una estación de corte exclusivo para las cerchas, a un costado del armado, de modo que la madera utilizada para estas estructuras transite lo menos posible por la planta. Con este espacio adicional, se pueden acopiar más viviendas en inventario, a la espera de ser despachadas, por lo que el espacio disponible disminuye deja de ser una limitante para detener la producción.

Los cambios propuestos en esta sección no solo buscan resolver las limitaciones actuales de espacio y eficiencia en IDV, sino también preparar a la empresa para un futuro de crecimiento y expansión. La implementación de un nuevo layout de planta, junto con la adopción de tecnología avanzada como en las mesas de armado, son pasos cruciales hacia la estandarización y automatización del proceso de manufactura. Este enfoque no solo mejorará la capacidad de producción y reducirá los tiempos de operación, sino que también elevará la calidad del producto final. Al optimizar cada segmento del proceso productivo, IDV se asegura de mantener su competitividad y su capacidad de adaptarse a las demandas cambiantes del mercado, garantizando su éxito a largo plazo.

6. Conclusiones

El proyecto realizado para Industrializadora de Viviendas Chile (IDV), que se centró en el rediseño de la línea de producción de la empresa, ha permitido no solo identificar áreas clave de mejora dentro de la planta, sino también proponer soluciones que puedan optimizar su funcionamiento, incrementar la productividad y garantizar la sostenibilidad de su operación a largo plazo. Este trabajo ha abordado diversos aspectos del proceso productivo, desde la optimización del flujo de materiales hasta la incorporación de nuevas tecnologías y mejoras en la distribución de los recursos humanos. A continuación, se detallan las conclusiones más relevantes de este trabajo.

Uno de los principales problemas identificados en el diagnóstico inicial fue la ineficiencia en el flujo de materiales dentro de la planta. El sistema actual, caracterizado por el retroceso de materiales entre las distintas etapas del proceso y la congestión del pasillo central, provocaba demoras innecesarias en la producción y generaba ineficiencias operativas. La reorganización del layout de la planta propuesta en este trabajo busca eliminar estos problemas mediante la reubicación de las zonas de acopio, la optimización de los caminos de tránsito de materiales y la implementación de un flujo unidireccional. Esta reorganización no solo facilitará el movimiento de materiales, sino que también mejorará la circulación de las personas dentro de la planta, reduciendo los tiempos de desplazamiento entre estaciones de trabajo y aumentando la eficiencia de los operarios.

Un aspecto crucial para mejorar la eficiencia de la planta ha sido la identificación y solución de los cuellos de botella en el proceso productivo. El análisis del flujo de trabajo reveló que la etapa de corte de madera más el perforado, es el principal cuello de botella que limita la capacidad de producción. Esto se debe a que los tiempos de esta zona son elevados y afectan directamente a las siguientes etapas del proceso, generando retrasos en la producción y acumulación de materiales. A lo largo del trabajo, se busca actuar en función de mitigar este cuello de botella de modo que la producción no se vea restringida por una de las etapas del proceso de producción.

Las propuestas de mejora para este cuello de botella incluyen la reubicación de la materia prima cerca de la zona de corte, la instalación de mesas para facilitar la carga de la máquina de corte y la asignación de más operarios a esta etapa para reducir el tiempo de procesamiento. Estas modificaciones permitirán reducir los tiempos de corte y aumentar la cantidad de material disponible para las siguientes etapas, eliminando las demoras que actualmente afectan el flujo de trabajo. Además, la

optimización del proceso de perforado, al asignar un operario exclusivo para esta tarea, contribuirá a mantener un flujo continuo y sin interrupciones entre las distintas fases de la producción.

La introducción de tecnologías avanzadas constituye uno de los pasos más importantes hacia la modernización de la planta. Las mesas Randek, diseñadas específicamente para el ensamblaje de paneles de madera en la fabricación de viviendas prefabricadas, permiten una mayor precisión, eficiencia y seguridad en el proceso de armado. Estas mesas ofrecen la capacidad de ajustar el ancho de los paneles según sea necesario, fijar las soleras o vigas con mayor rapidez y transportar las estructuras de manera mucho más eficiente.

Aunque el impacto exacto de la implementación de estas mesas aún no se puede medir sin pruebas en planta, se estima que su adopción reducirá considerablemente los tiempos de ciclo en el proceso de armado de paneles. Además, mejorará la ergonomía de los operarios, ya que reducirá el esfuerzo físico necesario para manejar y transportar los paneles, lo que a su vez contribuirá a una mayor seguridad laboral. La estandarización del proceso de armado, facilitada por estas mesas, permitirá reducir las variaciones en los tiempos de trabajo entre operarios y mejorar la calidad del producto final.

La capacidad de producción de IDV también se ve limitada por el espacio disponible en su planta actual, lo que se convierte en un obstáculo para aumentar la producción. Actualmente, el galpón de la planta tiene un tamaño limitado, lo que dificulta la organización de los materiales y productos, y afecta el flujo de trabajo. Para superar este desafío, se recomienda la ampliación del galpón con la construcción de un nuevo espacio destinado a la producción de cerchas y el almacenamiento de paneles. Este espacio adicional, de aproximadamente 430 metros cuadrados, permitirá optimizar la disposición de las estaciones de trabajo, mejorar el manejo de materiales y reducir las limitaciones de espacio que actualmente afectan la producción.

La expansión del espacio permitirá, además, incorporar más líneas de producción para cerchas, lo que reducirá el tiempo dedicado a esta tarea dentro del proceso de fabricación de paneles y permitirá a la planta operar de manera más eficiente.

Un aspecto clave para mejorar la eficiencia operativa de la planta es la planificación y estandarización de los procesos. Actualmente, la planta no tiene una planificación diaria detallada de los paneles a

producir, lo que provoca fluctuaciones en la productividad y retrasos en el cumplimiento de los plazos de entrega. Se recomienda implementar una planificación más detallada que permita asignar metas de producción claras y realizar un seguimiento constante del progreso de cada tarea.

La estandarización del proceso, especialmente en las etapas de armado y corte, será esencial para garantizar que todos los operarios trabajen de acuerdo con los mismos procedimientos y técnicas, lo que reducirá las variaciones en los tiempos de trabajo y mejorará la consistencia de la calidad de los productos.

El proyecto también se alinea con las tendencias del mercado y las necesidades actuales de la industria de la construcción en Chile. La crisis habitacional que enfrenta el país y la creciente demanda de viviendas accesibles hacen que la industrialización de la construcción sea una alternativa viable y necesaria. La optimización de la producción en IDV contribuirá a aumentar la oferta de viviendas, particularmente en el sector de viviendas sociales, mientras que el uso de materiales renovables como la madera refuerza el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono.

A lo largo del análisis, se calculó el tiempo de ciclo de cada etapa del proceso productivo, lo que permitió determinar la capacidad de producción de cada sección. Estos cálculos revelaron varias ineficiencias, especialmente en las etapas de corte y perforado, donde los tiempos de procesamiento eran excesivos y afectaban a las siguientes etapas. Al realizar un balance adecuado de la línea, se lograron identificar las estaciones de trabajo con mayor capacidad de mejora, lo que permitió implementar cambios significativos.

Uno de los principales hallazgos del balance de línea fue la identificación de la estación de corte de madera como el cuello de botella principal. Esta etapa presentaba un rendimiento significativamente menor en comparación con las demás, lo que limitaba la cantidad de paneles que podían ser producidos en una semana. Para abordar esta limitación, se propuso aumentar el número de operarios en esta estación y distribuir mejor las tareas, asignando operarios exclusivos para la perforación y el corte. Este ajuste permite que las etapas de corte y perforación se realicen en paralelo, optimizando los tiempos de ciclo y reduciendo los retrasos.

Por otro lado, el balance también indicó que la etapa de armado tenía una capacidad de producción mucho mayor que otras fases del proceso. Esto llevó a la recomendación de redistribuir los operarios, de modo que las etapas de corte y perforado pudieran avanzar más rápidamente, sin ser detenidas por la capacidad del armado.

Los cambios propuestos en la distribución de recursos y los ajustes en los tiempos de ciclo en las etapas críticas, como el corte y el armado, han permitido mejorar significativamente el rendimiento por vivienda. Al optimizar la asignación de operarios y aumentar la eficiencia en cada estación, la producción semanal podría incrementarse de 9 a 15 viviendas, lo que representa un aumento del 66%. Este avance es fundamental para que la planta de IDV pueda cumplir con los plazos de entrega y responder a la creciente demanda de viviendas sociales en el mercado.

En resumen, el balance de línea no solo ayudó a identificar los cuellos de botella en el proceso de producción, sino que también proporcionó una base sólida para optimizar el uso de los recursos humanos y las máquinas disponibles. Esto no solo aumentará la productividad de la planta, sino que también permitirá a IDV responder de manera más eficiente a los requerimientos del mercado y mejorar sus tiempos de entrega, lo que es fundamental para fortalecer su competitividad en la industria de la construcción industrializada. Para objetos de estudio, se recomienda poder probar las distintas iteraciones realizadas en algún software de simulación, en el cual se pueda replicar las distintas zonas de la planta y ver las distintas configuraciones. Esto sería de gran ayuda, ya que permite a la empresa plasmar lo planteado en el balance de línea, ver los resultados para evaluar, sin tener que alterar la producción.

El proyecto también se alinea con las tendencias del mercado y las necesidades actuales de la industria de la construcción en Chile. La crisis habitacional que enfrenta el país y la creciente demanda de viviendas accesibles hacen que la industrialización de la construcción sea una alternativa viable y necesaria. La optimización de la producción en IDV contribuirá a aumentar la oferta de viviendas, particularmente en el sector de viviendas sociales, mientras que el uso de materiales renovables como la madera refuerza el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono.

Bibliografía

Brito, M. (2023, 27 de Abril). Buenas noticias para la construcción industrializada.

Campillay, A. C. (2023, 12 de Junio). CONSTRUCCIÓN y diseño en madera: las nuevas tendencias sustentables. *Diario Financiero*.

Firake, S. T., & Inamdar, K. H. (2014). *Productivity improvement of automotive assembly line through line balancing*. *International Journal of Trend in Research and Development*, 2(3), 1-4. Recuperado de <https://www.ijtra.com/view/information-by-the-people-for-the-people-for-development.pdf>

Heizer, J., & Render, B. (2017). *Principles of Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson Education.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2022). *Plan de emergencia habitacional*. Recuperado de <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2022/07/Plan%20de%20Emergencia%20Habitacional.pdf>

Nahmias, S. (200). *Production and Operations Analysis* (5th ed.). Waveland Press.

Pereira, G. (Ed.). (2023, 12 de Junio). CENAMAD, investigación aplicada para la construcción sustentable en madera. *Diario Financiero*.

Poblete, C. (2023). LAS oportunidades para la construcción industrializada. *Diario Financiero*.

Randek. (2022). *Butterfly table BS20*. Recuperado 2024, de https://www.randek.com/images/pdf/BS20_en_sd-spread.pdf.

Santiago Mencia Oliver. (2022). *Deficit Cero*. Santiago, Chile. Recuperado 2022, de https://deficitcero.cl/uploads/estudios/Crisis-Habitacional-PDF_%281%29.pdf.

Stephens, M. P., & Meyers, F. E. (2013). *Manufacturing Facilities Design and Material Handling* (6th ed.). Purdue University Press.

Subsecretaria de vivienda y urbanismo. (2024). *Listado de Normas técnicas obligatorias*. Listado de Normas. <https://normastecnicas.minvu.cl/>

Vargas-Hernández, J. G., Jiménez Castillo, M. T., & Muratalla-Bautista, G. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta lean manufacturing. *Ciencias Administrativas*, (11), 020. <https://doi.org/10.24215/23143738e020>

(2023). Weinig. photograph. Retrieved from <https://www.weinig.com/en/solid-wood/optimizing-cross-cut-saws-with-positioning-pusher/opticut-s-50/opticut-s-50.html>.

Zimmermann, M. (2023, September 26). *Construcción industrializada, la clave para reducir el impacto ambiental de la industria*. 2024, <https://www.cemexventures.com/es/construccion-industrializada/#:~>

Anexos

Anexo 1: Datos de producción de enero a marzo 2024.

Tabla A1.1: Producción de paneles para vivienda tipo A, primer trimestre 2024.

Fecha	Cantidad	Fecha	Cantidad	Fecha	Cantidad
02/01/2024	29	05/02/2024	48	06/03/2024	72
03/01/2024	42	06/02/2024	86	07/03/2024	89
04/01/2024	50	07/02/2024	71	08/03/2024	77
05/01/2024	69	08/02/2024	76	09/03/2024	15
08/01/2024	82	09/02/2024	28	11/03/2024	60
09/01/2024	97	12/02/2024	74	12/03/2024	101
10/01/2024	75	13/02/2024	49	13/03/2024	90
11/01/2024	78	14/02/2024	95	14/03/2024	110
12/01/2024	31	15/02/2024	105	15/03/2024	72
15/01/2024	61	16/02/2024	23	16/03/2024	18
16/01/2024	58	19/02/2024	37	18/03/2024	35
17/01/2024	61	20/02/2024	84	19/03/2024	87
18/01/2024	55	21/02/2024	36	20/03/2024	36
19/01/2024	78	22/02/2024	58	21/03/2024	120
22/01/2024	31	23/02/2024	56	22/03/2024	35
23/01/2024	93	24/02/2024	36	25/03/2024	58
24/01/2024	25	26/02/2024	88	26/03/2024	52
25/01/2024	12	27/02/2024	65	27/03/2024	62
26/01/2024	56	28/02/2024	43	28/03/2024	58
29/01/2024	46	29/02/2024	49		
30/01/2024	28	01/03/2024	45		
31/01/2024	65	02/03/2024	48		
01/02/2024	47	04/03/2024	45		
02/02/2024	60	05/03/2024	64		

Anexo 2: Imagen de diseño BIM de la vivienda estudiada.



*Figura A2.1: Diseño BIM de la vivienda tipo A IDV.
Fuente: Diseño IDV.*