



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL



**Análisis y Mejora del Tiempo Interior en Planta de Camiones de Rollizos:
Impacto en Costos y Productividad en Celulosa Arauco y Constitución**

POR

Catalina Florencia García Parra

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

Profesor Guía

Hernaldo Reinoso Alarcón

Profesional Supervisor

Silvia Núñez Sánchez

Junio 2024

Concepción (Chile)

© 2024 Catalina Florencia García Parra

© 2024 Catalina Florencia García Parra

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

Dedicatoria

A mis padres, Amalia y Felipe, que siempre han estado a mi lado a lo largo de toda mi etapa formativa. Gracias por su inquebrantable apoyo, por motivarme a seguir adelante y por alentarme en los momentos de frustración. Su amor y dedicación han sido la base sobre la que he construido mis sueños.

A mis hermanos, Julieta y Felipe, por sus valiosos consejos tanto como ingenieros como en su papel de hermanos. Sus palabras y experiencias me han guiado y me han inspirado a alcanzar mis metas.

A mi querido Álvaro, por ser mi compañero de vida y mi apoyo constante. Gracias por compartir conmigo cada desafío y cada logro, por tu amor incondicional y por estar siempre a mi lado.

Agradecimientos

Quiero iniciar agradeciendo a mi familia. Gracias por estar conmigo en todas las circunstancias, por ser como son, y por darme buenos consejos y brindarme apoyo cuando más lo necesité. Gracias por abrazarme y alentarme tanto en los momentos de lágrimas como en los de éxito. Por siempre creer en mí, por sus buenas palabras y sus pensamientos positivos, los amo.

A mis buenos amigos que conocí en esta bella universidad. Gracias por estar ahí cuando teníamos que estudiar para los certámenes o hacer trabajos. Aprecio profundamente los buenos momentos que me dieron, las risas compartidas y la fortuna de haber coincidido en esta vida. Aunque ahora nuestros caminos se separan, con algunos para siempre y con otros no, estoy segura de que cada uno de ustedes será un excelente profesional, porque son buenas personas y se lo merecen.

A mi querido Álvaro, el regalo más hermoso que me dio la universidad. Mi compañero, amigo, partner y amor. A ti te debo tantas cosas que me faltarían hojas para escribirlo todo. Gracias por ser mi apoyo principal, quien me da fuerzas y me ama en las buenas y en las malas. Hemos pasado tanto en la universidad: estrés, llanto y felicidad. Pero aquí estamos, a punto de egresar como Ingenieros Civiles Industriales. Gracias por ser mi inspiración y mi pilar constante.

A mi segunda familia, los Moreno, gracias por ser como son, por acogerme como una más de ustedes, por su apoyo y felicitaciones. Gracias por compartir mis logros y alegrías, su cariño y generosidad es algo que los destaca.

A Silvia, Manuel, Carlos y Maximiliano de Arauco, gracias por enseñarme cuando lo necesité, por hacerme sentir como una más del equipo y por hacerme reír tanto. Aprecio profundamente los buenos momentos y las anécdotas compartidas.

Finalmente, quiero agradecerme a mí misma. Por no rendirme cuando todo se volvió oscuro, por cargar con más peso para salir adelante y lograrlo. Por el esfuerzo y la dedicación en cada momento, por haber dado lo mejor de mí. Este logro es el resultado de la suma de todos estos apoyos, y por ello, a todos y cada uno de ustedes, les doy las gracias.

Resumen

Esta memoria de titulación se centra en mejorar la eficiencia operativa en el patio de madera de la Planta Horcones de Celulosa Arauco y Constitución mediante el análisis y optimización del tiempo que los camiones de rollizos permanecen en planta. La justificación radica en que el tiempo de permanencia de los camiones afecta directamente a: la cadena de suministro, los costos operativos y la satisfacción del cliente. Actualmente, aunque se registran las horas de entrada y salida de los camiones, no se dispone de datos detallados sobre las actividades específicas que prolongan su estadía en planta, lo que impide detectar y resolver problemas que generan retrasos y disminuyen la eficiencia operativa.

La metodología utilizada en el proyecto es DMAIC de Seis Sigma, que consta de cinco etapas: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. En la etapa de definición, se identificaron los problemas y objetivos, estableciendo el alcance del estudio. En la fase de medición, se recolectaron y analizaron datos sobre el tiempo de permanencia de los camiones en planta a partir de mediciones manuales y del informe de ingresos y salidas de camiones correspondiente al año 2023. La etapa de análisis permitió identificar las causas de los problemas mediante herramientas estadísticas y gráficos. Posteriormente, en la fase de mejora, se proponen soluciones para eliminar las ineficiencias detectadas. Finalmente, en la etapa de control, se sugirieron formas de monitoreo en caso de implementar las propuestas.

Las conclusiones indican que la implementación de las mejoras propuestas permitiría reducir significativamente los tiempos de permanencia de los camiones en planta, resultando en: mayor eficiencia operativa, reducción de costos asociados a toda la cadena productiva y mejora en la satisfacción del cliente. Este proyecto no solo beneficiaría a la Planta Horcones, sino que también puede servir como modelo para otras plantas de la empresa. El impacto esperado incluye la reducción de costos al disminuir los tiempos de espera, el aumento de la productividad mediante la optimización del flujo de camiones y la mejora en la satisfacción del cliente al cumplir los planes de abastecimiento y reducir los retrasos. Aunque no se tenga una forma precisa de cuantificar el ahorro percibido, por no disponer de los valores monetarios específicos para estas variables, es evidente que agilizar el proceso en general permitiría cumplir eficientemente con los tiempos de entrega en otros centros productivos, generando menos pérdidas para ellos también.

Abstract

This project focuses on enhancing operational efficiency in the wood yard at the Horcones Plant of Celulosa Arauco y Constitución by analyzing and optimizing the time log trucks spend within the facility. The rationale for this project lies in the direct impact truck dwell times have on the supply chain, operational costs, and customer satisfaction. Currently, while the entry and exit times of trucks are recorded, there is no detailed data on the specific activities that extend their stay at the plant. This lack of detailed information hinders the identification and resolution of issues that cause delays and reduce operational efficiency.

The project employed the DMAIC approach from Six Sigma, which consists of five stages: Define, Measure, Analyze, Improve, and Control. In the Define stage, problems and objectives were identified, and the study's scope was established. During the Measure phase, data on truck dwell times within the plant were collected and analyzed using manual measurements and truck entry and exit reports for the year 2023. The Analyze stage allowed for the identification of root causes of the problems through statistical tools and charts. In the Improve phase, solutions were proposed to eliminate the identified inefficiencies. Finally, in the Control stage, methods for monitoring were suggested should the proposals be implemented.

The conclusions suggest that implementing the proposed improvements is expected to significantly reduce the trucks' dwell times within the plant, leading to greater operational efficiency, cost reductions across the entire production chain, and enhanced customer satisfaction. This project benefits the Horcones Plant and can also serve as a model for other plants within the company. The anticipated impacts include cost reductions by decreasing wait times, increased productivity through optimized truck flow, and improved customer satisfaction by more efficiently meeting supply plans and reducing delays. Although there is no precise method to quantify the perceived savings due to the absence of specific monetary values for these variables, it is evident that streamlining the overall process will allow for more efficient adherence to delivery schedules at other production centers, thereby minimizing their potential losses as well.

Contenido

Lista de Tablas	9
Lista de Figuras	10
1. Capítulo I: Introducción	11
1.1 Introducción	11
1.2 Justificación del tema	12
1.3 Objetivo del Tema	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Antecedentes.....	13
1.5 Planta Arauco	14
1.6 Origen del problema	15
1.7 Marco teórico.....	16
1.7.1 Recopilación y levantamiento de información.....	17
1.7.2 Metodología DMAIC	17
1.7.3 Fuentes utilizadas	19
2. Capítulo II: Desarrollo de investigación	20
2.1 Definir.....	20
2.1.1 Descripción del proceso	20
2.2 Medir	25
2.2.1 Datos generales de ingresos de camiones de rollizos en 2023	25
2.2.2 Observaciones	26
2.2.3 Registros manuales de los tiempos de espera y actividad.....	28
2.3 Analizar	32
2.3.1 Informe de ingresos de camiones de rollizos en 2023	32
2.3.2 Mediciones manuales	38
2.3.3 Causas raíz de retrasos y cuellos de botella	38
2.4 Mejorar	40
2.4.1 Propuestas de mejora.....	40
2.4.2 Implementación de las propuestas.....	47
2.5 Controlar.....	48
3. Capítulo III: Discusión y Conclusiones	49
4. Referencias	51

5. Anexos	52
5.1 Anexo A: Tabla de mediciones manuales en zona de desamarre.....	52
5.2 Anexo B: Tabla de mediciones manuales en zona de descarga en línea.....	53
5.3 Anexo C: Tabla de mediciones manuales en zona de descarga en cancha.....	55
5.4 Anexo D: Tabla de mediciones manuales en zona de limpieza y tecles.	56
5.5 Anexo E: Programación del modelo matemático de optimización.	58
6. Resumen FI	59

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Distancias y tiempo de destinos	26
Tabla 2.2: Clasificación de rollizos de madera por longitud.....	26
Tabla 2.3: Número de bancos según largo de la madera.....	27
Tabla 2.4: Promedios en zona de desamarre	29
Tabla 2.5: Promedios en zona de descarga en Línea Pacífico y Andes	29
Tabla 2.6: Promedios en zona de descarga en cancha.....	29
Tabla 2.7: Promedios en zona de limpieza y montaje de carros	30
Tabla 2.8: Tiempos totales promedio de permanencia en planta estimados	30
Tabla 2.9: Tiempos totales promedio de permanencia en planta ajustados	31
Tabla 2.10: Porcentaje de llegada de madera por largo	31

Lista de Figuras

Figura 1.1: Distribución del patio de madera.....	15
Figura 1.2: Las cinco etapas de un proyecto Seis Sigma	18
Figura 2.1: Diagrama del proceso de ingreso de camiones a planta	21
Figura 2.2: Circuito y actividades del proceso de ingreso de camiones de rollizos.....	24
Figura 2.3: Cantidad de camiones por mes año 2023	32
Figura 2.4: Promedio de minutos al interior del patio de madera por mes año 2023	33
Figura 2.5: Concentración de camiones por intervalos del tiempo al interior del patio de madera ...	33
Figura 2.6: Cantidad de camiones según día de la semana	34
Figura 2.7: Ingresos de camiones y promedio de tiempo por intervalo de hora	35
Figura 2.8: Ubicaciones en el patio de madera año 2023.....	37
Figura 2.9: Seguimiento de camiones de rollizos en tiempo real.....	48

1. Capítulo I: Introducción

1.1 Introducción

Dada la alta competitividad entre organizaciones, estas enfrentan constantes desafíos para mantener su relevancia y rentabilidad, la eficiencia operativa se ha convertido en un factor clave para el éxito a largo plazo. En esta memoria de título se busca abordar uno de los aspectos fundamentales de la gestión logística en la empresa, en particular el tiempo que los camiones pasan dentro de la planta.

La gestión efectiva de los tiempos de los camiones en planta no solo es vital para garantizar una cadena de suministro eficiente, sino que también impacta directamente en la capacidad de la empresa para cumplir con las expectativas de los clientes y mantener su competitividad en el mercado. Cada minuto que un camión queda en la planta tiene implicaciones significativas en términos de costos operativos, productividad y satisfacción del cliente.

El objetivo principal de este proyecto es analizar el proceso de “tiempo interior” de los camiones en planta, identificar posibles problemas o ineficiencias que estén afectando su desempeño y proponer soluciones para mejorar la eficiencia operativa. Para lograr este objetivo, se utilizan metodologías probadas en el campo de la gestión de la calidad y la mejora continua de procesos, como Seis Sigma, junto con herramientas avanzadas de análisis y visualización de datos.

La investigación se basa en el análisis de datos históricos de ingresos y salidas de camiones con mediciones manuales detalladas sobre el tiempo de espera al igual que el tiempo de demora en actividades en diferentes puntos del proceso. Este enfoque permitiría identificar patrones, tendencias y posibles cuellos de botella en el flujo operativo de la planta, así como evaluar el impacto de estas ineficiencias en los costos y la productividad de la empresa.

Además de abordar los desafíos operativos actuales, este proyecto también busca sentar las bases para una gestión eficiente y adaptable en el futuro. Se espera que los resultados obtenidos no solo beneficien directamente a la Planta Horcones y optimicen sus operaciones logísticas, sino que también contribuyan a otras plantas de la empresa.

1.2 Justificación del tema

La madera es transportada por camiones que acceden a la planta de manera continua, las 24 horas del día. Aunque se registra la hora de entrada y salida, no se recopilan datos sobre la duración de las actividades del proceso que influyen en el tiempo que permanecen los camiones dentro de la planta. Esta falta de información dificulta la detección de posibles problemas o ineficiencias que causan retrasos, tanto a los camiones que ya se encuentran en la planta como a los que esperan ingresar. Los retrasos afectan la fluidez del proceso, impactando de forma negativa a la productividad de la flota y la eficacia de la operación, ya que los camiones viajan más de una vez al día a los diferentes predios de la zona y regresan a planta o visitan otros clientes¹. Además, la planta debe cumplir con el plan de abastecimiento diario. Esto último es muy importante ya que existen estimaciones diarias de ingreso de metros cúbicos de madera para abastecer la planta y mantener la autonomía² de las pilas de astillas y biomasa, se debe haber un ingreso constante de materia prima lo que también permite disponer de stock en caso de alguna eventualidad.

En octubre de 2023, se desvinculó a 300 personas en Chile por reestructuración que consistió en fusionar el área de celulosa con forestal (Guzmán, 2023). Esto se produjo por diversas situaciones que han ido afectando a la empresa, tales como: la gran cantidad de incendios forestales, los casos polémicos de robo de madera, economía nacional débil, la baja del precio de la celulosa y las pérdidas monetarias. Entre enero y junio del mismo año, la empresa reportó pérdidas de aproximadamente US\$ 101 millones, cifra impactante si se compara con el mismo periodo del año anterior, donde las ganancias fueron de US\$630 millones. Por otro lado, se generaron despidos de 121 trabajadores en ese mismo año por el cierre del Aserradero Horcones 2, así como también el cierre de la Planta de Celulosa Licancel ubicada en la Región del Maule, por el desborde del Río Mataquito, sumando el despido de 160 trabajadores directos y 600 personas de empresas contratistas.

Dada la compleja situación de Arauco, se ha evidenciado una carga laboral adicional para los trabajadores por la reducción de personal y el aumento de responsabilidades. Con esto se suma la urgencia de mantener una producción estable para mitigar pérdidas y recuperar la rentabilidad. Por eso surgió un impulso propio por revisar tema y la presentación de propuestas para reducir costos, específicamente en relación con la gestión de camiones de rollizos en el patio de madera, elementos

¹ En este contexto, el término "clientes" se refiere a los centros productivos internos de la empresa.

² Cantidad de días durante los que se pueden producir chips de madera y biomasa en las líneas de producción sin necesidad de abastecimiento de rollizos, utilizando el inventario actual disponible en la planta.

esenciales en la cadena de suministro, para optimizar procesos actuales, reducir el tiempo de los trabajadores y contribuir al éxito de la empresa.

1.3 Objetivo del Tema

1.3.1 Objetivo general

Realizar un análisis del tiempo interior en planta de los camiones de rollizos, identificando posibles cuellos de botella o ineficiencias que causan retrasos, tanto para los camiones en planta como para aquellos en espera de ingreso. Además, desarrollar propuestas de mejora para reducir estos, costos y aumentar la eficiencia en el proceso de descarga, evaluando su impacto en el área del patio de maderas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar mediciones manuales del tiempo en el interior de planta y análisis.
- Identificar las causas de los retrasos e ineficiencias que afectan el tiempo interior de los camiones en planta utilizando metodología Seis Sigma.
- Comparar los datos obtenidos con los registros de ingresos y salidas correspondientes al año 2023 e identificar discrepancias y patrones.
- Desarrollar e implementar soluciones basadas en los principios de Seis Sigma y análisis de datos para mejorar el proceso de descarga y reducir el tiempo interior en planta.
- Evaluar el impacto de las mejoras propuestas en los costos y operación del área del patio de maderas.

1.4 Antecedentes

La sociedad Celulosa Arauco y Constitución S.A., como se conoce actualmente, nació a partir de la fusión de las compañías Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A., ambas creadas por la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo). Posteriormente fue adquirida por la Compañía de Petróleos de Chile S.A., conocida hoy en día como empresas Copec (Arauco, 2022). Esta empresa se encuentra presente en los negocios: forestal, celulosa, maderas, paneles y energía, tanto a nivel nacional como internacional.

Según el Reporte Integrado del año 2022, la empresa dispone 63 instalaciones industriales en distintos países. En Chile: 5 plantas de celulosa, 2 plantas de paneles, 2 plantas de terciados, 7 aserraderos y 10 plantas de energía, siendo esta última generada a partir de biomasa. Los 37 restantes, están distribuidas en Canadá, México, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Alemania, España, Portugal y Sudáfrica,

siendo aproximadamente el 65% de estas plantas de paneles. En territorio nacional posee aproximadamente 1.000.000 de hectáreas de patrimonio forestal y 644.000 hectáreas entre en Argentina, Brasil y Uruguay. Además, cuenta con alrededor de 21.000 trabajadores y más de 4.800 clientes, siendo Asia y Europa sus principales mercados. Anualmente, produce 3,2 millones de toneladas de celulosa, 10,8 millones de metros cúbicos en madera y paneles, y 779 [MW] de capacidad instalada de energía limpia y renovable, generando alrededor de 7.102 millones de USD en ventas.

A partir de la celulosa se puede generar productos tales como: papeles de impresión y escritura, papeles de embalaje, filtros, pañales, productos de higiene femenina, maderas y paneles para remanufacturación, molduras, madera aserrada.

En las diferentes plantas de la empresa, se producen cinco tipos de celulosa, las cuales son:

- La celulosa blanqueada de fibra larga (BSKP), derivada de pino radiata o taeda, proporciona resistencia y mayor absorción al producto final debido a sus fibras largas.
- La celulosa blanqueada de fibra corta (BHKP), obtenida de eucalipto, aporta suavidad al producto y se caracteriza por su versatilidad de usos y excelentes capacidades morfológicas.
- La celulosa no blanqueada de fibra larga (UKP), proveniente de pino, es empleada en la industria del embalaje y fibrocemento.
- La pulpa soluble o textil, fabricada a partir de eucalipto, se utiliza como materia prima en la producción de tela de viscosa o rayón.
- La celulosa Fluff, obtenida de pino taeda, se utiliza en productos de higiene personal debido a su alta capacidad de absorción.

1.5 Planta Arauco

Planta Arauco (también conocida como Planta Horcones), se encuentra situada entre Laraquete y Arauco, dirección Horcones ruta 160, Arauco, Región del Bío-Bío. Se dedica a la producción de celulosa blanqueada de fibra corta y larga. En esta planta se inician las operaciones de la empresa por primera vez con la línea de producción más conocida como Línea 1, logrando en 1971 el primer fardo de celulosa y con capacidad para 800 [T/d]. En 1990 se inicia la construcción de Línea 2, que comenzó a operar en 1992 con una capacidad de 1500 [T/d] de celulosa. En 2011, se dio inicio al proyecto de Modernización y Ampliación de la Planta Arauco (MAPA), con una inversión cercana a los US\$ 2.850

millones. Este proyecto incluyó: la adopción de las tecnologías más avanzadas, la detención de la histórica Línea 1 de producción, la modernización de Línea 2 y la implementación de una nueva Línea 3 equipada con modernas tecnologías, con una capacidad aproximada de producción de 4200 [T/d]

En la Figura 1.1 se presenta lo que es el patio de madera de la Línea 2 y es el centro de este estudio. Aquí, ingresan los camiones con la materia prima y se encuentran las canchas de acopio y las líneas de astillado: Línea Pacífico y Línea Andes.

Figura 1.1: Distribución del patio de madera



Fuente: Celulosa Arauco y Constitución.

Tanto la Línea Pacífico como Línea Andes tienen como materia prima el Pino Radiata y deben producir entre 5500-8000 [m^3/d] de chips de madera, que luego, a través de harneros, son transportados en dirección al digestor para iniciar el proceso de producción de celulosa. En el patio de madera se encuentra también la Línea de astillado de Eucaliptus, ya que la Línea 3 opera con este tipo de madera, pero no posee suficientes astilladoras para satisfacer su consumo. Por lo tanto, envía estos rollizos a Línea 2 para astillarlos y luego estos chips son trasladados nuevamente a Línea 3.

1.6 Origen del problema

Durante enero y febrero del presente año, se plantearon una serie de mejoras a realizar, desde automatización de procesos hasta la creación de KPI. Carlos Ríos Barra, Ex Ingeniero de Patio de

Madera de Línea 2 realizó el levantamiento de información para iniciar el proceso del desarrollo de esta memoria de título. Sin embargo, el interés en este tema en particular surge porque habían solicitado por gerencia reducir el tiempo que los camiones de rollizos permanecen en planta de 42 minutos a 37 minutos. Esto llamó la atención porque se hizo esta solicitud sin saber el impacto real si se generaba esta reducción y ahí nace la necesidad de investigar en el tema, cumplir con lo especificado y entender tanto los efectos positivos como negativos que esto provoca en la planta.

1.7 Marco teórico

En la investigación sobre estudios similares a este proyecto de MT se encontró la Tesis “Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir tiempos de permanencia de la flota vehicular de una empresa de transporte de cargo en el distrito de Santa Anita” con el objetivo de reducir los tiempos de permanencia de la flota vehicular aplicando la metodología Six Sigma en una empresa de transporte, específicamente pasando de un tiempo de permanencia de 4.55 horas a 3 horas. Los resultados de este estudio aplicando esta metodología fue una reducción de 1.61 horas, es decir, pasó de 4.55 horas a 2.94 horas, cumpliendo exitosamente con su objetivo. (Alegría, 2021, p. 4-7 y 131).

Por otro lado, la Tesis “Mejora del cumplimiento y la productividad de los servicios de transporte en una empresa de traslado de caudales aplicando la filosofía Lean Six Sigma” tuvo como objetivo mejorar el cumplimiento y productividad en el proceso de traslados aplicando metodología Six Sigma, los resultados de este estudio se reflejaron en el incremento a 2.645 en la productividad y alcanzando un cumplimiento del 100%. (Champi, 2020, p. 10-15 y 117-119).

La puntualidad es uno de los atributos más influyentes en la satisfacción de un cliente, para cumplir con esto la empresa debe llevar un control y estimación de los tiempos reales de demora en cada una de las fases por las cuales pasa el camión al llegar a planta y dentro de esta. Por esto, productividad, eficiencia y eficacia son conceptos muy importantes que se abordan en este estudio.

En este caso de estudio los conceptos de eficiencia, eficacia y productividad se interrelacionan en el proceso de recepción y descarga de camiones en la planta. La eficiencia se concentra en la capacidad de ejecutar el proceso de manera óptima, reduciendo los tiempos de espera, minimizando el desperdicio y optimizando el uso de la maquinaria y mano de obra. Esto implica identificar y eliminar cuellos de botella, implementar prácticas de trabajo más ágiles y mejorar continuamente los procedimientos operativos para aumentar la productividad y reducir los costos asociados al proceso. Por otro lado, la eficacia se refiere a la capacidad del proceso para cumplir con los objetivos y requisitos establecidos por la empresa, como la puntualidad en la entrega de la materia prima, cumplir

con el tiempo interior planta, precisión en las mediciones y la satisfacción del cliente interno. La eficacia del proceso se mide en términos de su capacidad para alcanzar los estándares de calidad y rendimiento esperados, garantizando la entrega oportuna de la materia prima y la optimización de los recursos disponibles.

1.7.1 Recopilación y levantamiento de información

Primeramente, de forma individual y dentro de planta, se aplicó el método "mosca en la pared" para la obtención de las mediciones manuales en cada una de las actividades o paradas de los camiones dentro de planta. Esta una técnica de observacional que permite a un investigador recopilar datos mediante la observación y la escucha. Por lo general, los investigadores emplean este método para obtener una visión de las personas, el entorno, las interacciones y los objetos en un espacio. Es responsabilidad principal del investigador permanecer completamente desapercibido durante la observación para no sesgar de ninguna manera ni interferir con el participante y evitar que el sujeto de investigación se desvíe de su comportamiento natural bajo el escenario o circunstancia.

Además de la observación, se realizan reuniones con diferentes trabajadores del área, quienes aportan con información en base a sus años de experiencia, así como sus opiniones y sugerencias con respecto al tema, con la finalidad de guiar mejor el análisis.

Por otro lado, se revisa el informe de ingresos y salidas de camiones correspondientes al año 2023 para analizar el comportamiento histórico, identificar tendencias o patrones y comparar con la situación actual. En base a esta información, se pueden proponer mejoras, considerando que se trata de un año completo de datos.

1.7.2 Metodología DMAIC

Se utiliza la metodología Seis Sigma para identificar las causas de los problemas en el proceso hasta la propuesta de posibles mejoras y mecanismos de control. “A nivel proceso Seis Sigma es utilizada para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, así como también disminuir los costos directos. Por lo que Seis Sigma es una iniciativa estratégica y táctica para la gestión del negocio, con la capacidad de enfocar la empresa hacia las necesidades de los clientes y alcanzar su satisfacción”. (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004, p. 398). La meta de 6 sigma es llegar a los 3,4 defectos por cada millón de eventos, es decir, tener un 99,99% de eficiencia de un proceso.

esto se pueden aplicar diagramas como el de Ishikawa, Pareto, entre otros, según lo requiera el problema.

En la etapa de Mejorar se presentan las posibles propuestas para solucionar el problema con base la información presentada en las fases anteriores, y, por último, en la fase Controlar se verifica el impacto de la implementación de las soluciones con objetivos al plazo que se estime, capacitación, retroalimentación, etc.

En la Figura 1.2 se presenta un diagrama resumen de la metodología DMAIC.

1.7.3 Fuentes utilizadas

Las principales fuentes consultadas han sido tesis de diferentes temas, pero que tienen en común el uso de la metodología DMAIC de Seis Sigma. Además, se ha obtenido información sobre la metodología del texto *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2004) de Humberto Gutiérrez y Román de la Vara. Sobre los antecedentes generales de la empresa y la planta, se obtuvo información del reporte integrado del año 2022, el más reciente a la fecha.

2. Capítulo II: Desarrollo de investigación

En este capítulo se aplica la metodología DMAIC para abordar el problema identificado. Como fue mencionado anteriormente, esta estructura metódica comienza con la fase Definir.

2.1 Definir

El alcance del proyecto se concentra entre el área posterior a la medición de volumen y el Patio de Madera de Línea 2, considerando los tiempos asociados a las actividades que realizan en el interior de la planta. Se excluye el ingreso de rollizos por medio del ferrocarril, ya que estos no generan una congestión en la llegada de materia prima al ingresar por otro lado del área. Se utilizó un reporte del tiempo interior en planta del año 2023 que muestra los datos de ingreso y salida de camiones. Además, la toma de muestras de forma manual por al menos dos semanas para observar el comportamiento dentro de planta.

Los principales *stakeholders* involucrados en el proceso son: el personal de planta, los conductores de los camiones, la gerencia de operaciones, los distintos proveedores, los centros productivos internos de la empresa y la empresa prestadora de servicios Serfocol. Esta última es responsable de proporcionar servicios para el manejo del patio de madera, lo que incluye el movimiento de rollizos, astillas y biomasa utilizando equipos como grúas, cargadores frontales y tractores industriales, entre otros.

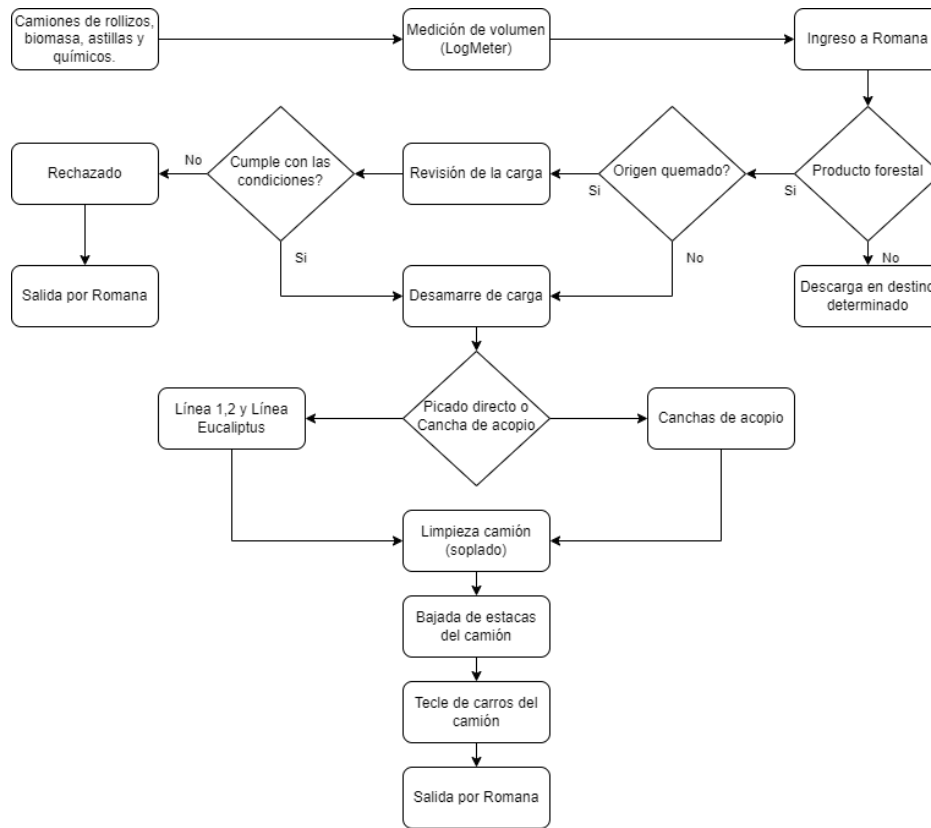
Se espera también que este proyecto establezca una mejor comunicación con estos para comprender sus necesidades y preocupaciones, de forma que todas las partes participantes puedan ser beneficiadas. Para esto, se realizarán reuniones para recopilar información sobre las preocupaciones y sugerencias de cada parte interesada.

2.1.1 Descripción del proceso

En el proceso de recepción de materia prima, se debe asegurar que la madera proviene de fuentes legales y, además, garantizar la calidad y autenticidad de esta. Para cumplir con regulaciones y legislaciones nacionales e internacionales relacionadas con la tala, transporte y comercialización, la trazabilidad es fundamental. Esta última facilita la gestión y seguimiento de la cadena de suministro, desde el bosque hasta el consumidor final.

Para comprender de mejor forma el funcionamiento de este sistema, se presenta un diagrama de proceso en la Figura 2.1.

Figura 2.1: Diagrama del proceso de ingreso de camiones a planta



Fuente: Elaboración propia.

Llegada de camiones de diferentes tipos de materiales: En el proceso de ingreso de camiones, se manejan distintos tipos de materiales, incluyendo rollizos de pino, eucaliptus, astilla, biomasa y también camiones que transportan insumos químicos. Cada uno de estos materiales tiene sus propias características y requisitos específicos en términos de medición de volumen y seguridad durante el transporte.

Medición de Volumen: Este proceso se realiza por el dispositivo *Logmeter*, el cual es un sistema automático para obtener mediciones de volumen de alta precisión y estimar características biométricas de la madera cargada en los remolques de camiones. (Woodtech Measurement Systems, n.d.) El Logmeter utiliza tecnología láser, proporcionando una medición precisa y confiable sin intervención directa del operador. Además, está equipado con un módulo opcional que permite la medición de

materiales a granel, como: astillas, biomasa, carbón y cualquier otro material a granel cargado en contenedores abiertos.

Ingreso a Romana: En esta etapa se busca calibrar el peso del equipo, es decir, conocer los kilogramos de carga que llegan a la planta en cada camión. Este pesaje se realiza principalmente por dos motivos: primero, para cumplir con el límite legal de peso vehicular establecido en 45.000 Kg por el Decreto 158 del Ministerio de Obras Públicas; y segundo, para medir la densidad de la materia prima entregada a la planta. Esta medición es crucial, ya que sirve como filtro de ingreso a las instalaciones, el cual puede ser rechazado de no cumplir con las especificaciones. Además, en esta etapa se corrobora que la información entregada por el Logmeter sea consistente con el volumen registrado por el proveedor en la guía de despacho, ya que el pago es según el volumen ingresado y esta medición la realiza el proveedor manualmente. Una vez que los datos del conductor y su carga se registran en el tótem, se autoriza su ingreso a planta y estos datos se guardan en la base de datos del *Rmadera*.

Producto forestal: Son los rollizos de madera, definidos así para distinguirlos de los otros productos que ingresan.

Origen quemado: Muchos de los camiones que transportan rollizos provienen de predios que han sido afectados por incendios. El sistema identifica automáticamente el origen de la carga, y en caso de que se determine que proviene de un área quemada, el tótem de ingreso rechaza la entrada automática y muestra un mensaje indicando que la carga viene de un origen quemado. Cabe señalar que, aunque proviene de un predio de origen quemado, no implica que la madera esté totalmente quemada, ya que podría haber sido afectada parcialmente por el incendio, sin implicar que los rollizos extraídos provengan específicamente de esa área afectada. Luego de rechazado el ingreso automático, el operador de la Romana debe verificar esta información y examinar la presencia de rollizos que aparenten estar quemados. Si se detectan más de 5 rollizos con apariencia quemada, se rechaza el ingreso a planta; de lo contrario, el operador realiza un ingreso manual al camión y luego debe pasar una revisión adicional en la cancha más cercana, la cancha número 2.

Revisión de la carga: Durante la revisión de carga, se realiza un minucioso proceso para asegurar que de la carga total del camión no existan más de 5 rollizos quemados y que tampoco se exceda el límite de 5 rollizos con un diámetro mayor a 50 cm. Este procedimiento garantiza el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad establecidos para la recepción de la madera. En caso de sobrepasar cualquiera de estas dos especificaciones, el camión se rechaza y debe salir de planta por Romana.

Desamarre de Carga: Una vez aceptada la materia prima, los camiones se dirigen a la zona de retiro de eslingas que sujetan su carga. Allí, cada conductor procede a retirar las eslingas de su camión para dejar la carga libre.

Picado directo (Línea) o acopio en cancha: Una vez que la carga del camión es aceptada en la romana de ingreso, se le asigna un destino de entrega. Este destino puede ser las líneas de astillado o las canchas de acopio, dependiendo del estado de la madera transportada y de la operatividad de las líneas. La opción preferida es llevar la carga a producción directa; sin embargo, si la línea se encuentra en mantenimiento y operando a máxima capacidad, el camión debe llevarse a la cancha para dejar la carga.

Limpieza de camión: Tras cualquier descarga de materia prima, los equipos deben pasar por una estación de limpieza. El objetivo es que el camión salga de la planta sin cortezas, restos de madera, acumulaciones de barro, u otros elementos.

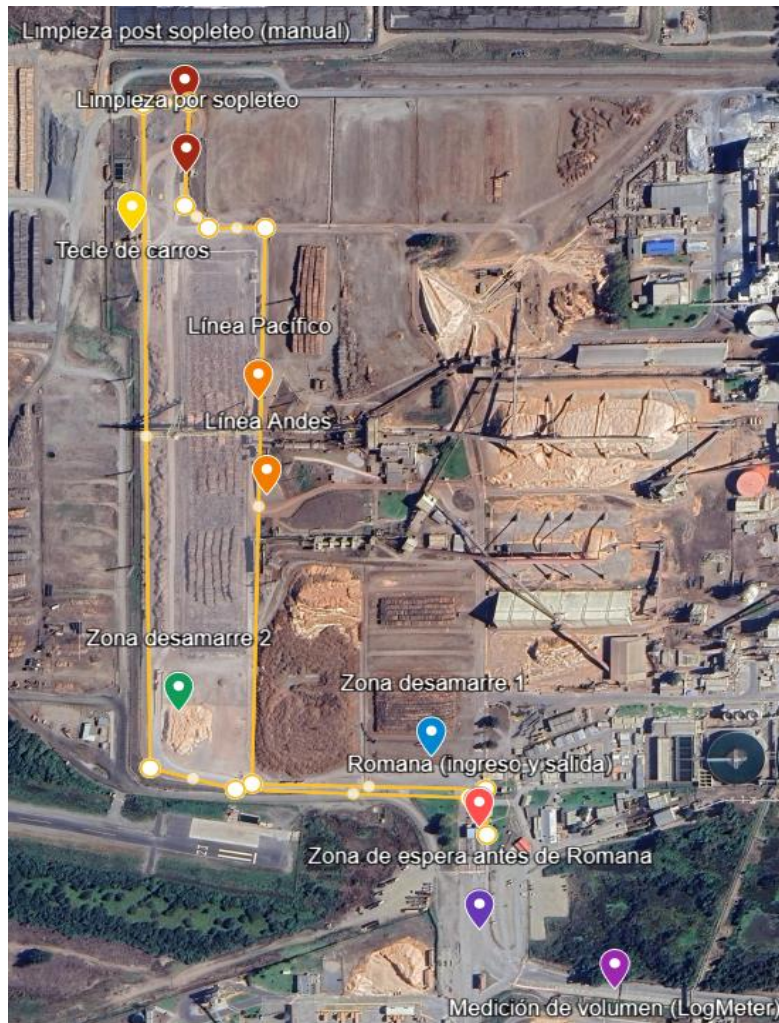
Bajada de estacas: Para equipos forestales con carrocerías o remolques con estacas abatibles, es necesario detenerse en la estación de bajada de estacas. Allí, cada camión estaciona y su conductor, mediante una herramienta, procede a bajar las estacas de la carrocería y, si es necesario, del carro.

Teclé de carros: De forma similar a la bajada de estacas, los equipos forestales que posean remolques estructurales deben ingresar a los tecles de montaje de carros. Allí, el conductor, con la ayuda de un operario y mediante un sistema hidráulico, levanta el carro forestal para luego posicionarlo sobre la estructura del camión. Posteriormente, se asegura que el carro quede firmemente fijado mediante sistemas de amarre, para luego retirarse de la estación.

Romana de Salida: Esta romana se encuentra adyacente a la romana de ingreso y busca identificar la tara del equipo forestal vacío, tanto de forma estática como dinámica. Esto es crucial para determinar la carga exacta que el camión entregó a la planta. Una vez completada la actividad y verificada la precisión, el equipo forestal puede retirarse de la planta.

Para facilitar el recorrido que hacen los camiones, en la Figura 2.2 se muestran puntos de colores que representan cada una de las paradas.

Figura 2.2: Circuito y actividades del proceso de ingreso de camiones de rollizos



Fuente: Google Earth.

Se estima que el tiempo promedio de permanencia de los camiones dentro de la planta, desde su ingreso hasta su salida por la romana, es de aproximadamente 42 minutos, según los datos entregados por el personal en planta. Dada la situación actual, se busca reducir este a 37 minutos para mejorar la eficiencia operativa y evitar afectar a otras áreas clave de la empresa en el sector forestal. Es importante destacar que, aunque se cuenta con esta información, no se dispone de un método para calcular el tiempo de espera de los camioneros antes de pasar por la romana ni en las actividades dentro de planta.

Hasta antes del 2023, Planta Arauco contaba con la grúa portal más grande de Sudamérica, siendo capaz de realizar la descarga completa de un camión de una sola vez. La garra toma los troncos desde los camiones y los deposita en la cancha de acopio o en los transportadores de los descortezadores,

según corresponda. Esta se trasladaba a través de los rieles de traslación de 335 [m] de largo, moviendo la grúa en dirección Pacífico-Andes y viceversa. A finales del año 2023, esta grúa dejó de funcionar debido a la cantidad de costosas mantenciones que debían realizarse de manera mensual a causa de la antigüedad de la máquina, lo que supuso un desafío significativo para la empresa. La interrupción en las operaciones de la grúa portal afectó la eficiencia y la velocidad del proceso de descarga de camiones de rollizos, lo que resultó en tiempos de espera más largos y una menor capacidad para descargar. Esta situación hizo que se contrataran grúas y tractores para disminuir el impacto de su discontinuación, no obstante, los números no han mejorado de forma significativa desde entonces con respecto al tiempo interior planta. Pese a la salida de la grúa portal, los registros de tiempo en planta de Arauco no se ajustaron, manteniendo la idea de que los camiones demoraban 42 minutos.

2.2 Medir

Se utilizaron informes de ingresos y salidas de camiones correspondientes al año 2023 para obtener una visión amplia del desempeño histórico de los tiempos al interior de la planta. Estos registros contienen datos sobre: número de camiones ingresados, tipo de madera, origen de esta, fecha de ingreso y, los tiempos de entrada y salida, útiles para analizar patrones o tendencias del proceso. Los únicos datos temporales disponibles son la hora de ingreso y la hora de salida, a partir de los cuales se calcula el tiempo de estadía, también conocido como el tiempo interior en planta. Con respecto a la limpieza de datos, para los cálculos no se consideraron los valores de tiempo interior planta menores a 25 minutos ni mayores a 3 horas, ya que puede alterar los valores finales que son más cercanos a la realidad. Los ingresos relacionados a esos valores representan errores que no fueron eliminados o corregidos en el programa Rmadera.

Por otro lado, para comprender la situación actual, se realizaron mediciones manuales detalladas del tiempo que los camiones de rollizos pasan en la planta en cada punto de parada mencionado en el diagrama de la Figura 2.1.

2.2.1 Datos generales de ingresos de camiones de rollizos en 2023

Sin entrar en detalle, algunos datos generales extraídos del informe de ingresos del año 2023 indican que ingresaron un total de 14740 camiones, con un promedio de 51,70 minutos de tiempo interior planta y un volumen ingresado promedio de 28,48 [m³ssc]. De este total, 8870 camiones eran de pino radiata externo, 5876 de pino aserrable, 193 aserrable rechazo y 30 de eucaliptus.

Los principales orígenes de donde proviene el pino radiata externo y pino aserrable ordenados por relevancia son: Angol, Santa Juana, Arauco, Chillán, Penco, Coelemu, Collipulli y Coihueco.

Es importante considerar la Ley 20.271, que prohíbe conducir por más de 5 horas seguidas, y la Ley 18.290, que establece una velocidad máxima de 90 [km/h] para vehículos pesados. También se deben tener en cuenta las distancias de viaje para cada destino desde Arauco. En la siguiente tabla se muestra las distancias en [km] y [h] estimadas de viaje según el lugar.

Tabla 2.1: Distancias y tiempo de destinos

Lugar	Distancia [km]	Tiempo estimado [h]
Angol	166,3	1,85
Santa Juana	71,9	0,80
Chillán	170,0	1,89
Penco	84,5	0,94
Coelemu	129,6	1,44
Collipulli	191,4	2,13
Coihueco	201,8	2,24

Fuente: Elaboración propia.

Dada la información presentada en la Tabla 2.1, es importante no usar más de 1 hora en las actividades realizadas dentro de planta, así los conductores pueden regresar a sus destinos, evitar cancelaciones de clientes y pérdidas de giro (ida y vuelta al mismo lugar).

2.2.2 Observaciones

Los tiempos en algunas zonas de actividad de los camiones varían según el largo de la madera, dependiendo del largo se clasifican como: madera corta, madera de largo variable y madera larga. Ver Tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación de rollizos de madera por longitud




Tipo	Longitud [m]	Número de bancos
Corta	2,44	5
Largo variable	3,50 – 4,10 – 4,60	3
Larga	5,0 – 6,0	2

Fuente: Elaboración propia.

Cada camión tiene múltiples bancos donde se apilan los rollizos. Por lo tanto, cuando se dice que “mientras más corta la madera, entonces hay más bancos”, se refiere a que, si los troncos son más cortos, se necesitarán más compartimentos dentro del camión para transportar el mismo volumen de madera, resultando en más bancos dentro del camión.

A modo de simplificar la información recopilada para análisis y los cálculos posteriores, cuando se mencione madera de largo 4,10 [m], se estará refiriendo al tipo de largo variable y lo mismo para el caso de madera de largo 6,0 [m] que se refiere al tipo de madera larga.

Tabla 2.3: Número de bancos según largo de la madera

Tipo de madera	Número de bancos
Corta	
Largo variable	
Larga	

Fuente: Elaboración propia.

Aunque se ha establecido el objetivo de reducir el tiempo de permanencia de los camiones en el patio de madera a 37 minutos, surge una inquietud que no ha sido considerada por los trabajadores. Se refiere al prolongado tiempo de espera que a menudo ocurre antes de que los camiones ingresen a la Romana, e incluso antes del Logmeter, dependiendo del flujo de vehículos en ese momento.

Durante los meses de enero y febrero, se observó que, en ocasiones, el tiempo de espera para que los camiones puedan ingresar al patio de madera puede extenderse hasta tres horas. Esto ocurre cuando existe congestión por: la saturación del patio, interrupciones en la línea o problemas con el sistema de

gestión de datos de los camiones. Esta situación es preocupante porque no se registra ni contabiliza de ninguna forma. El tiempo de espera puede exceder considerablemente el tiempo de permanencia de los camiones dentro del patio de madera, a veces duplicándolo o triplicándolo. Este impacto es aún mayor que el tiempo que los camiones pasan dentro de la planta. Es crucial resolver este problema, ya que puede ser una de las principales causas de pérdidas operativas y cancelaciones por parte de los clientes.

2.2.3 Registros manuales de los tiempos de espera y actividad

Las muestras se tomaron en diversas instancias durante la jornada laboral, entre el 21 de marzo y el 6 de mayo. Estas recolecciones no se realizaron de manera continua, sino que se planificaron en intervalos variados para capturar la variabilidad de la información.

Se consideraron un total de 228 muestras utilizando un cronómetro y una tabla para registrar el día, hora de llegada, inicio de la actividad y hora de salida. Con esta información, se calculó el tiempo de espera para iniciar la actividad y la duración de cada una. Las muestras se tomaron en la zona de desamarre, la zona de descarga tanto en la línea de producción como en cancha, y la zona de limpieza y montaje de carros. Estas muestras son suficientes para explicar los resultados y observaciones realizadas.

Es importante notar que el ingreso de camiones se encuentra controlado por el operador de la Romana para evitar la saturación del patio de madera, en este sentido se debe cumplir con la restricción de admitir hasta un máximo de 18 camiones por hora, dado que actualmente existen 6 grúas en funcionamiento y cada una puede tener hasta 3 camiones por hora.

A continuación, se presentan los resultados de las muestras obtenidas. Los cálculos, que incluyen sumas y promedios, se realizaron con Excel.

2.2.3.1 Muestras de zona de desamarre

Se obtuvieron 50 muestras (ver Anexo A), tomando en cuenta la longitud de la madera. Los promedios resultantes son los siguientes:

Tabla 2.4: Promedios en zona de desamarre

Tipo	Tiempo [min]
General	0:05:41
2,44	0:07:26
4,10	0:05:00
6,0	0:04:30

Fuente: Elaboración propia.

Es importante recordar que, cuando se mencione 2,44 [m], se refiere al tipo de madera corta; 4,10 [m], a la madera de largo variable; y 6,0[m], a la madera larga. Por otro lado, el de tipo General hace referencia a todos los camiones sin importar el largo.

La actividad considera dos áreas designadas para que los camiones se posicionen y desamarren las eslingas de la carga. Durante la toma de muestras, no se registraron tiempos de espera de otros camiones para utilizar este espacio.

2.2.3.2 Muestras de zona de descarga en línea de producción

En esta zona se realizaron 76 muestras (ver Anexo B) tomando en cuenta la longitud de la madera.

Los promedios resultantes son los siguientes:

Tabla 2.5: Promedios en zona de descarga en Línea Pacífico y Andes

Tipo	Tiempo descarga [min]	Tiempo de espera [min]
General	0:07:01	0:07:48
2,44	0:10:38	0:08:16
4,10	0:05:26	0:08:41
6,0	0:05:42	0:05:48

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.3 Muestras de zona de descarga en cancha

Se realizaron 46 muestras (ver Anexo C) tomando en el largo de la madera. Los promedios resultantes son los siguientes:

Tabla 2.6: Promedios en zona de descarga en cancha

Tipo	Tiempo descarga [min]	Tiempo de espera [min]
General	0:06:26	0:04:43
2,44	0:10:00	0:03:15
4,10	0:06:23	0:04:05
6,0	0:05:49	0:05:48

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.4 Muestras de zona de limpieza y montaje de carros

Se tomaron un total de 56 muestras (ver Anexo D) sin considerar la variable del largo, ya que no se observó un impacto significativo en los tiempos al incluirla. En cuanto a la limpieza, se refiere al proceso de soplado (que dura 15 segundos), la limpieza manual que realizan los camioneros cuando el soplado no elimina todos los residuos, y el proceso de bajar las estacas del carro. La limpieza y la bajada de estacas se agrupan en una sola categoría, ya que ambas actividades se llevan a cabo en el mismo lugar, eliminando la necesidad de desplazamiento entre una y otra.

Los promedios resultantes son los siguientes:

Tabla 2.7: Promedios en zona de limpieza y montaje de carros

Actividad	Tiempo [min]
Tecele	0:02:36
Limpieza	0:04:54

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.5 Tiempos totales promedios obtenidos

El recorrido de los camiones es de aproximadamente 3,0 [km], ya sea para descargar a la Línea de producción o a Cancha. Considerando que la velocidad máxima permitida de desplazamiento es de 20 [km/h], el tiempo de traslado sería alrededor de 9 [min], aunque en la realidad son aproximadamente 10,5 [min]. A este tiempo se suman los tiempos de espera y los promedios de duración de cada actividad.

Sumados todos los valores, se obtienen los tiempos totales promedios según el largo y la ubicación, que se muestran a continuación en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8: Tiempos totales promedio de permanencia en planta estimados

Ubicación	2,44 [m]		4,10 [m]		6,0 [m]	
	Cancha	Línea	Cancha	Línea	Cancha	Línea
Tiempo desamarre	00:07:26	00:07:26	00:05:00	00:05:00	00:04:30	00:04:30
Tiempo descarga	00:10:00	00:10:38	00:06:23	00:05:26	00:05:49	00:05:42
Tiempo espera desc.	00:04:43	00:07:48	00:04:43	00:07:48	00:04:43	00:07:48
Tiempo limpieza	00:04:54	00:04:54	00:04:54	00:04:54	00:04:54	00:04:54
Tiempo tecele	00:02:36	00:02:36	00:02:36	00:02:36	00:02:36	00:02:36
Tiempo traslado	00:10:30	00:10:30	00:10:30	00:10:30	00:10:30	00:10:30
Promedio	00:40:09	00:43:53	00:34:06	00:36:15	00:33:02	00:36:00

Fuente: Elaboración propia.

Luego, a los tiempos promedio resultantes se les aplican diferentes factores de corrección (dividiendo el valor total para compensar factores como el tiempo muerto, condiciones adversas u otras variables no consideradas inicialmente). Estos valores se registran en la Tabla 2.9 como "Ajustado", especificando el factor utilizado, que puede ser del 80%, 85% o 90%.

Durante el año, se prioriza la descarga en la línea de producción sobre la cancha. Según los datos de 2023, el 35% de los destinos correspondieron a cancha y el 65% a la línea de producción. Estos datos influyen en el promedio, se utiliza el promedio real obtenido según la ubicación multiplicado por la participación correspondiente. Es decir, el promedio que se muestra en la Tabla 2.9 se calcula para cada longitud de madera como: promedio en cancha * 0.35 + promedio en línea * 0.65.

Tabla 2.9: Tiempos totales promedio de permanencia en planta ajustados

Longitud de Madera	Promedios [min]					
	En Cancha	En Línea	Real	Ajustado (0,80)	Ajustado (0,85)	Ajustado (0,90)
2,44 [m]	00:40:09	00:43:53	00:42:35	00:53:13	00:50:05	00:47:18
4,10 [m]	00:34:06	00:36:15	00:35:30	00:44:22	00:41:45	00:39:26
6,0 [m]	00:33:02	00:36:00	00:34:58	00:43:42	00:41:08	00:38:51

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos del programa Rmadera en 2023, los porcentajes de llegada de madera por largos son los que se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10: Porcentaje de llegada de madera por largo

Longitud [m]	$m^3 ssc$	% del total
2,44	341.911,7	20%
4,10	473.323,9	27%
6,0	922.069,7	53%
Total	1.737.305,3	100%

Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos se basan en los metros cúbicos sólidos sin corteza ($m^3 ssc$) que ingresaron. Este dato también se puede interpretar en términos de la cantidad de camiones, ya que al dividir el volumen total por el promedio de metros cúbicos que transporta cada camión, se obtiene el número de camiones correspondientes.

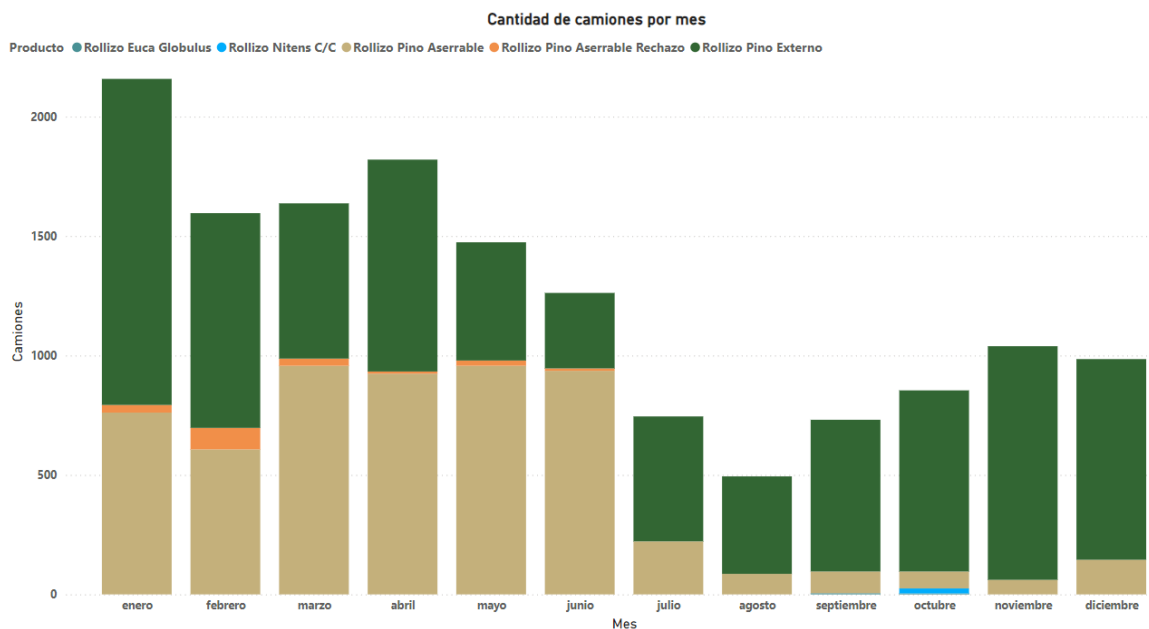
2.3 Analizar

2.3.1 Informe de ingresos de camiones de rollizos en 2023

Para analizar el informe de ingresos del 2023, se utilizaron los programas Excel y Power BI para limpiar los datos, transformarlos y generar visualizaciones.

Analizando la cantidad ingresada de camiones por mes (Figura 2.3), se muestra una tendencia a la baja de la cantidad de camiones que ingresan en el primer semestre en comparación con el segundo semestre. Específicamente, los camiones ingresados de enero a junio fueron 9896 y de julio a diciembre 4844, siendo entonces menos de la mitad. Esto puede suceder porque durante enero y febrero la madera está muy seca y presenta un alto riesgo de incendios. Por lo tanto, es necesario retirar la mayor cantidad posible de madera de los predios en el primer semestre para evitar futuras pérdidas de terreno y materia prima. Asimismo, durante la temporada de lluvias, es difícil acceder a los predios, ya que los caminos no están pavimentados y la madera está demasiado húmeda, lo que reduce la cantidad de madera a ingresar en el segundo semestre.

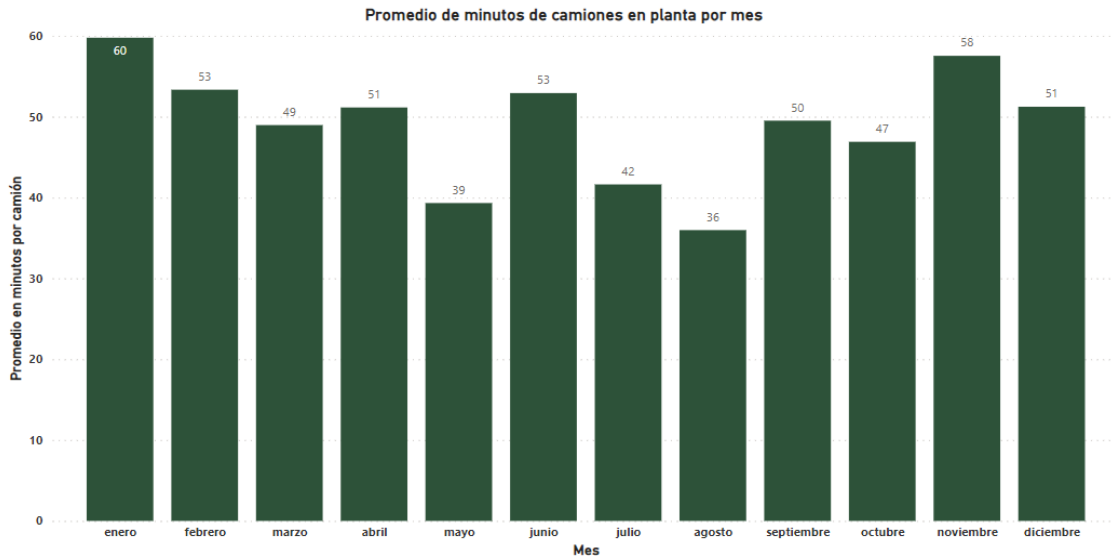
Figura 2.3: Cantidad de camiones por mes año 2023



Fuente: Elaboración propia.

Luego, se obtuvo el promedio en minutos que los camiones pasaron al interior de la planta. Como se observa en el gráfico de la Figura 2.3, dado que los ingresos disminuyeron en el segundo semestre, se puede inferir que el tiempo interior en el patio de madera también sería menor. Esto se comprobó, mostrando una disminución de 52,52 [min] a 48,60 [min], lo cual se presenta en la Figura 2.4.

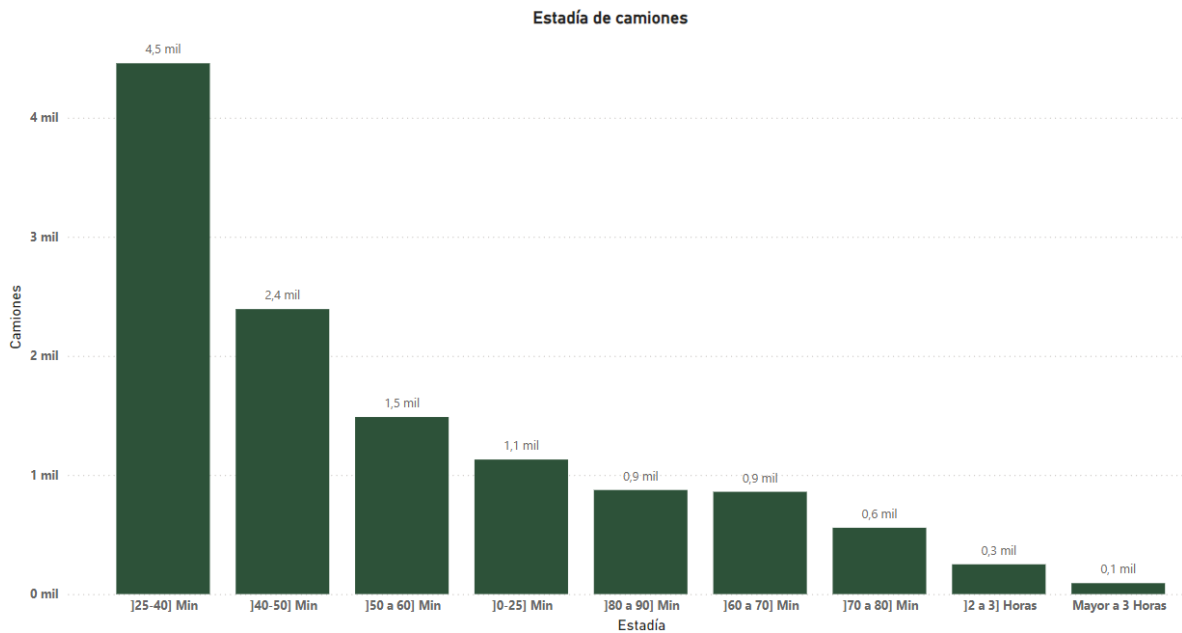
Figura 2.4: Promedio de minutos al interior del patio de madera por mes año 2023



Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del promedio de minutos al interior del patio de madera, es importante considerar la concentración de camiones respecto de la estadía en intervalos de tiempo. Según Nicolás Keller, Ingeniero de Simulación y Sistemas, los camiones no pueden estar menos de 25 minutos dentro del patio de madera, así como tampoco deberían demorarse en lo teórico más de 1 hora. Ver Figura 2.5.

Figura 2.5: Concentración de camiones por intervalos del tiempo al interior del patio de madera

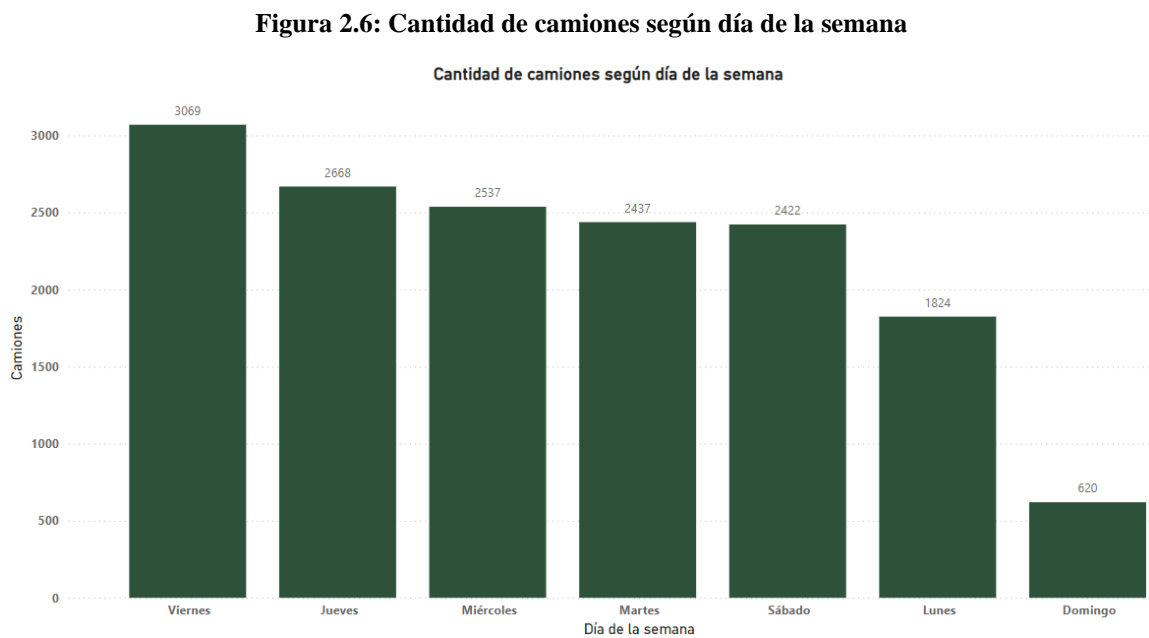


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de estadía, se observa que la mayor frecuencia corresponde a tiempos de estadía de entre 25 y 40 minutos, esto se considera normal. Aproximadamente la mitad de estos datos se encuentran en el rango de 40 a 50 minutos y entre 1 y 2 horas, siendo 3000 y 2800 camiones respectivamente. Los tiempos de estadía que están fuera de los límites normales establecidos son aquellos menores de 25 minutos y superiores a 2 horas, siendo estos los datos menos frecuentes.

El primer caso, estadías de menos de 25 minutos, puede ocurrir cuando la madera viene siniestrada y el operador de Romana no lo detecta inicialmente. En este escenario, la madera pasa a revisión en la cancha 2, se detecta el problema y se procede a la salida del camión. El segundo caso, estadías superiores a 2 horas, puede deberse a la acumulación de factores como detenciones inesperadas en la línea de producción, que pueden extenderse hasta 3 horas, o el sobreingreso de camiones que genera cuellos de botella, causando demoras debido a tiempos de espera en lugar de tiempos de actividad.

En terreno, se observó una variación significativa en el flujo de camiones entre diferentes días. Por esta razón, se tomó el dato "Día de Ingreso" del informe y, utilizando funciones de Power BI, se asignó la fecha con el día de la semana correspondiente. Estos datos se organizaron según la cantidad de camiones por día de la semana y se ordenaron de mayor a menor. Ver Figura 2.6.



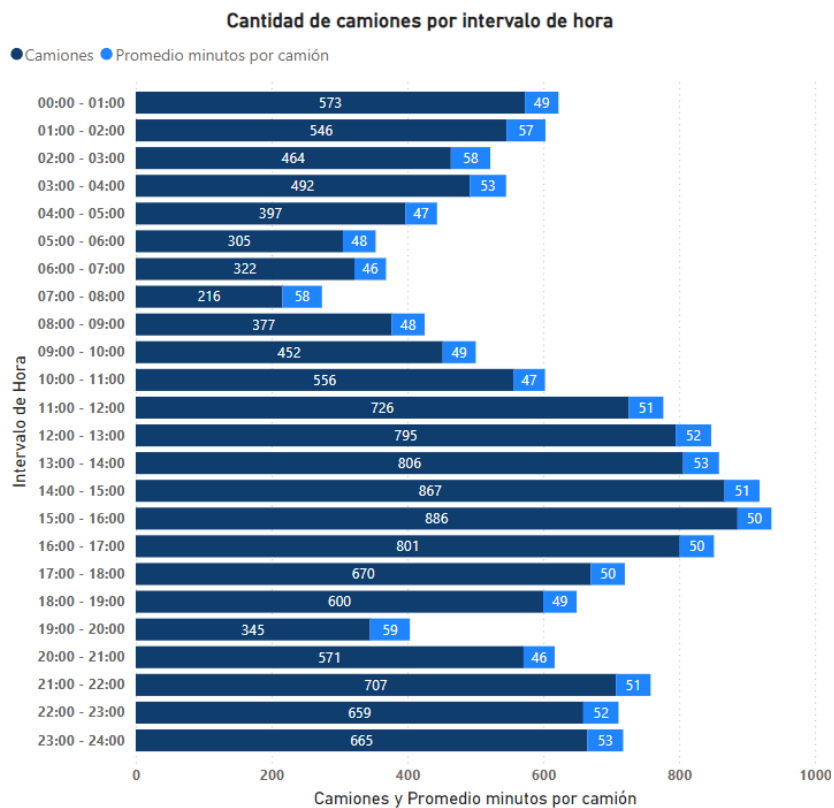
Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior se puede observar que el día con mayor afluencia de camiones es el viernes, mientras que el día con menor afluencia es el domingo. Esto es normal, ya que los camioneros suelen

descansar los domingos y el plan de abastecimiento se considera de lunes a sábado por esta misma razón. Aunque eventualmente pueden llegar camiones los domingos, como se espera una cantidad reducida, se aprovecha este día para trasladar los rollizos almacenados en las canchas de acopio hacia la línea de producción.

Por otra parte, es relevante conocer los horarios en los que llegan más camiones, ya que se observó que en ciertos momentos el sistema colapsaba mientras que en otros estaba vacío. Para analizar esto, se separaron los horarios de llegada en intervalos de una hora, como se muestra en la siguiente Figura 2.7.

Figura 2.7: Ingresos de camiones y promedio de tiempo por intervalo de hora



Fuente: Elaboración propia.

Los camiones mostrados en la Figura 2.7 representan aquellos que ingresaron a lo largo del año, lo que permite visualizar claramente los horarios con mayor y menor afluencia. Se analizó este comportamiento de forma mensual para ver si variaba, aunque el comportamiento de los horarios se mantuvo.

Inicialmente, se plantearon dos hipótesis: la primera sugería que, si ingresaban más camiones, el promedio de minutos que pasaban dentro de la planta sería mayor. La segunda hipótesis era la opuesta: si ingresaban menos camiones, el promedio de tiempo dentro de la planta sería menor. Sin embargo, los datos no respaldan estas hipótesis, ya que se observan horarios en los que ingresan más camiones y el promedio de permanencia es menor, y viceversa.

Un aspecto relevante son los cambios de turno, específicamente entre las 07:00-08:00 horas y las 19:00-20:00 horas. Como se muestra en el gráfico, durante estos periodos ingresan menos camiones, pero el tiempo de permanencia dentro de la planta es mayor que en cualquier otro horario. Mes a mes esto también sucedió.

En cuanto al flujo de camiones, las horas de menor actividad son entre las 05:00 y las 09:00 de la mañana. El flujo comienza a aumentar después de las 09:00, alcanzando su punto máximo entre las 15:00 y las 16:00 horas. Posteriormente, hay una ligera disminución, con el punto más bajo en la tarde entre las 19:00 y las 20:00 horas. Tras este periodo, el flujo vuelve a incrementarse.

El aumento inicial en el flujo de camiones se explica por la logística del área, donde se establece que los camiones empiezan a ingresar a los predios entre las 06:00 y las 07:00 de la mañana. Este proceso incluye la carga de materia prima y el hecho de que los principales orígenes de los camiones están ubicados a una distancia de 1 a 2 horas en comunas cercanas. Esta dinámica justifica el incremento del flujo a partir de las 10:00 de la mañana.

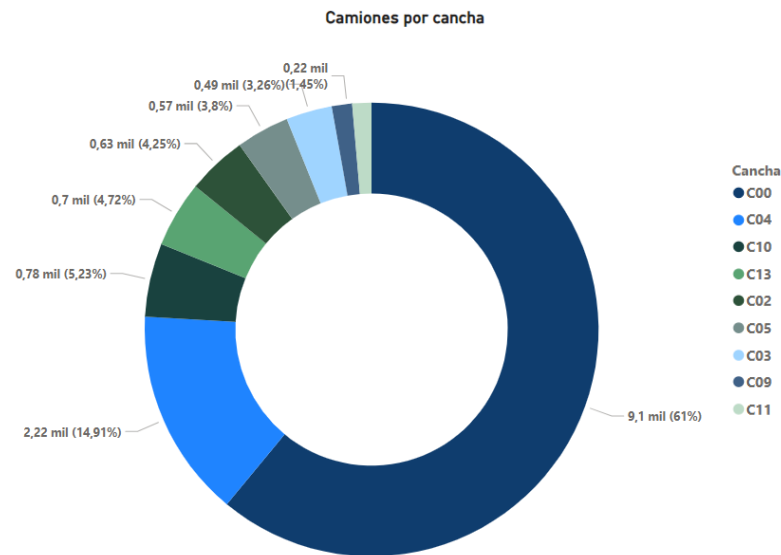
En cuanto a los horarios de la tarde, los retrasos suelen ser causados por la distancia desde los orígenes y las frecuentes congestiones vehiculares en las comunas de San Pedro y Coronel, lo que puede duplicar el tiempo de viaje habitual. Entre los principales destinos en el patio de madera están las líneas de producción, denominada cancha 0 en el programa Rmadera, seguida de las canchas designadas para la descarga, donde las que destacan son la 4, 10 y 2.

La gestión y coordinación de las actividades relacionadas con los ingresos de camiones, el movimiento de carga y la maquinaria en el patio de madera recae en la empresa SERFOCOL, el contrato con esta empresa abarca únicamente las operaciones dentro del patio de madera; cualquier actividad fuera de este perímetro conlleva un costo adicional. Es importante mencionar esto, ya que la cancha 13,

conocida como "cancha la playa", está fuera del patio de madera y su uso implica un cargo adicional de 5-7 dólares por metro cúbico descargado y transportado, ya que no tiene una grúa fija para operarla.

En la Figura 2.8 que se muestra a continuación, se pueden ver las ubicaciones a las que se destinaron los camiones a lo largo del año.

Figura 2.8: Ubicaciones en el patio de madera año 2023



Fuente: Elaboración propia.

De enero a junio, la proporción de estos valores no experimenta cambios significativos, a diferencia del periodo de julio a diciembre. Específicamente en lo que respecta a la cancha 13, durante el primer semestre ingresaron 276 camiones, mientras que en el segundo semestre se registraron 459. Resulta extraño este aumento considerando que en el segundo semestre ingresó la mitad de la cantidad de camiones en comparación con el primer semestre. No obstante, este fenómeno podría atribuirse a la salida de la grúa portal, provocando que en lugar de utilizar la cancha donde se encuentra la portal, estos camiones se destinaron a la cancha 13.

Teniendo en cuenta esto y que el promedio ingresado por camión son 28 metros cúbicos, se puede calcular un costo adicional para la planta al enviar camiones a esta cancha. El costo anual fue entre \$102,900 y \$144,060 dólares, pero el costo del segundo semestre fue entre \$64,260 y \$89,964 dólares, lo que en porcentaje representó un 62,44% del costo anual.

2.3.2 Mediciones manuales

A partir de las Tablas 2.4, 2.5 y 2.6 ubicadas en la etapa Medir, se puede analizar que el tiempo varía según la longitud de la madera. En este caso, se comprobó que, a menor longitud, mayores son los tiempos debido a la cantidad de bancos, como también se explica en la Tabla 2.3.

En la zona de desamarre, la madera de 2,44 [m] tarda entre 2,5 a 3 minutos más en completar la actividad en comparación con la madera de 4,10 [m] y 6,0 [m]. Esta tendencia se repite en la zona de descarga, tanto en cancha como en la línea de producción, ya que la madera de tipo corta demora entre 4,5 a 5 minutos más que las otras longitudes.

En la zona de tecele y limpieza, la longitud no es relevante, ya que el tiempo es similar para cualquier camión.

Por lo tanto, se observa que el tiempo promedio total para la madera de 2,44 [m] es casi 10 minutos mayor que en el caso de las otras longitudes. Dado esto, si se quieren reducir los tiempos de estadía debería ingresar menos porcentaje de madera corta y priorizar madera larga y de largo variable.

Actualmente, los tiempos de permanencia en planta tienden a ser un 20% mayores que lo estimado, asemejándose al promedio ajustado con un factor de 0,80. Esto significa que, en lugar de acercarse a los tiempos esperados, se observa un retraso significativo. Por lo tanto, para lograr una reducción efectiva en los tiempos de operación, no solo es crucial considerar la longitud del proceso, sino también adherirse a un estándar bien definido para cada actividad que permita acercarse más a los tiempos estimados.

Si se lograra reducir la pérdida de tiempo a solo un 10%, es más probable que los camiones puedan completar su proceso en menos de 40 minutos. Además, si se disminuyen los tiempos de espera, se podría acercar aún más al objetivo deseado, que es de 37 minutos. Estas mejoras en la eficiencia no solo optimizarían el tiempo total de operación, sino que también contribuirían a una mayor consistencia y predictibilidad en los tiempos de permanencia en la planta.

2.3.3 Causas raíz de retrasos y cuellos de botella

En base a lo observado en terreno, al análisis de las muestras recopiladas y al informe de ingresos del año 2023, se pudieron identificar algunas causas que provocan los cuellos de botella en el patio de madera y retraso en general.

Las principales causas son:

- Cambios de turno (07:00-08:00 y 19:00-20:00): Durante estos periodos, la transición entre turnos laborales provoca una notable disminución en la eficiencia operativa debido a la reducción temporal del personal disponible. Esta situación genera acumulación de camiones y por consecuencia aumentan los tiempos de espera para la descarga.
- Detenciones inesperadas de la línea con camiones al interior del patio de madera: Las interrupciones prolongadas en la línea de producción, especialmente cuando los camiones ya están en proceso de descarga, ocasionan retrasos considerables. Estos eventos imprevistos no solo detienen la descarga, sino que también congestionan las áreas de maniobra y espera.
- Fallas en el sistema de ingreso y salida de Romana: La caída del sistema de control de entrada y salida de Romana, crucial para la gestión del flujo de camiones, resulta en una incapacidad para procesar los camiones de manera eficiente. Aunque estos incidentes no son frecuentes, su impacto es significativo cuando ocurren.
- Disponibilidad del operador de grúa de Serfocol: La dependencia de la disponibilidad de los operadores de grúa de Serfocol es un factor crítico, la ausencia de ellos ralentiza el proceso de descarga, generando demoras adicionales, esto suele suceder en los cambios de turno y en los horarios de colación por la rotación de personal.
- Operatividad de la grúa en el lugar correspondiente: La asignación ineficiente de las grúas a diferentes áreas del patio de madera también contribuye a los cuellos de botella. Las grúas no siempre están ubicadas donde se necesitan porque dependen de la ubicación que se les asigne en el momento a los camiones que ingresan, provocando retrasos en la descarga de los camiones.
- Demora en la descarga de madera de longitud 2,44 metros: Comparado con la madera de longitudes de 4,10 y 6,0 metros, la madera de 2,44 metros toma en promedio 10 minutos más para ser descargada. Esta diferencia significativa en los tiempos de descarga contribuye a la acumulación de camiones y aumenta el tiempo total de permanencia en la planta.
- Desempeño de los conductores en actividades dependientes: En las tareas que dependen exclusivamente de los conductores, algunos tienden a tomar más tiempo del necesario para completarlas. Esta variabilidad en la eficiencia de los conductores introduce retrasos y crea inconsistencias en el flujo de trabajo. Por ejemplo, en la zona de limpieza algunos podían

demorar 12 minutos, cuando los tiempos en promedio eran de 5 minutos. De igual forma, esto sucede en la zona de desamarre.

- Retiro de la grúa portal: La grúa portal, que anteriormente desempeñaba un papel crucial en las operaciones de descarga, ha sido retirada a finales de segundo semestre del 2023. Las grúas que han reemplazado a la grúa portal no alcanzan la misma velocidad ni capacidad de descarga, lo que afecta negativamente la eficiencia operativa general.

Ahora, de estas causas, las más importantes son los cambios de turno, mayor demora con madera de largo 2,44 [m], actividades que dependen netamente de los conductores y la salida de la grúa portal.

2.4 Mejorar

El objetivo de esta etapa es desarrollar e implementar soluciones para abordar las causas raíz de los problemas identificados y poder mejorar el rendimiento del patio de maderas.

2.4.1 Propuestas de mejora

Las siguientes propuestas son en base a variables que Arauco puede controlar ya sea de forma directa o generando cambios en el contrato con Serfocol.

Propuesta 1: Modelo matemático para optimización del porcentaje de llegada de madera según largos.

Dado que la madera corta se demora en promedio 10 minutos más que los largos 4,10 y 6,0 [m] y se quiere reducir el tiempo interior planta, un modelo de optimización puede ofrecer varios valores en el porcentaje de madera que deba llegar de estos largos para cumplir con lo requerido, es decir, se busca reducir la cantidad de camiones que lleguen con largo 2,44 de modo de agilizar las operaciones al interior del patio de maderas.

Variables de Decisión:

- P_i : Porcentaje de llegada de camiones de longitud de madera de i metros [%].

$$; i = [2.44, 4.10, 6.0].$$

Parámetros:

- TP_i : Tiempo promedio en minutos que un camión con madera de longitud i metros pasa dentro de la planta [min].

Función Objetivo:

Se busca minimizar el tiempo total promedio de permanencia de los camiones en la planta, considerando como variable el porcentaje de llegada de madera según las diferentes longitudes.

$$\text{Min } (Z) = (P_i * TP_i)$$

Restricciones:

1. Restricción de porcentaje de llegada:

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

2. Restricciones de porcentajes mínimos:

$$P_1 \geq 0.15$$

$$P_2 \geq 0.15$$

$$P_3 \geq 0.15$$

3. Valores establecidos:

$TP_1 = 53.13$, $TP_2 = 44.22$ y $TP_3 = 43.42$ para un factor de corrección de 0.8, $TP_1 = 50.5$, $TP_2 = 41.45$ y $TP_3 = 41.08$ para el factor 0.85 y $TP_1 = 47.18$, $TP_2 = 39.26$ y $TP_3 = 38.51$ para un factor de 0.9.

Luego de realizar manualmente el modelo matemático, este fue programado en Python con la biblioteca “Pulp” de forma de encontrar la solución óptima a este problema. Ver Anexo E.

Consideraciones:

1. El código se corrió tres veces para ver los resultados con cada tiempo promedio (TP) según los factores de corrección. Estos tiempos totales promedio ajustados se mostraron anteriormente en la Tabla 2.9.
2. Se establecieron restricciones de valor de $P_1 \geq 0.15$, $P_2 \geq 0.15$ y $P_3 \geq 0.15$ que corresponden a un valor mínimo de llegada de madera para cualquier largo.

Resultados

Luego de correr el programa se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Para un factor de 0.8: $P_1 = 0.15$, $P_2 = 0.15$ y $P_3 = 0.70$, logrando un tiempo total de permanencia aproximado de 45.0 [min]
2. Para un factor de 0.85: $P_1 = 0.15$, $P_2 = 0.15$ y $P_3 = 0.70$, logrando un tiempo total de permanencia aproximado de 42.3 [min]
3. Para un factor de 0.9: $P_1 = 0.15$, $P_2 = 0.15$ y $P_3 = 0.70$, logrando un tiempo total de permanencia aproximado de 40.0 [min]

Con esto queda claro entonces que se debe minimizar el porcentaje de llegada de madera de largo 2,44 metros y priorizar el traer la mayor cantidad de madera larga. Notar que incluso en la opción con menor tiempo perdido, es decir, en el caso del factor 0.9, el tiempo no es menor a 40 minutos, con se demuestra que la meta de 37 minutos propuesta por Arauco no es realista. Además, esto se respalda con los datos obtenidos del 2023, donde el promedio de estadía en planta era de 51,70 minutos y según la empresa el promedio en el que estaban actualmente era de 42 minutos, lo cual tampoco es verdad.

Propuesta 2: Seguimiento de los camiones al interior de la planta en tiempo real.

Los camiones de rollizos traen un denominado “Tag” o etiqueta la cual suele ir generalmente pegada al parabrisas y sirve para la identificación del vehículo. La lectura de este Tag se realiza inicialmente en el Logmeter para asociar el volumen calculado con la patente del camión correspondiente. Posteriormente, este se vuelve a leer en la entrada de la Romana para levantar la barrera. El sistema funciona mediante tecnología de identificación por radio frecuencia o RFID (Radio Frequency Identification) la que utiliza ondas de radio para poder obtener la información que se encuentra almacenada en la etiqueta y leerla.

Kunstmann (2023) explica que tecnología es bastante utilizada en las cadenas de suministro de las empresas ya que permite tener una mayor visibilidad para supervisar, tomar decisiones y responder a los problemas de forma más ágil. También puede automatizar procesos como almacenamiento, recepción y seguimiento de forma que ayuda a reducir tiempos y costos.

Dipole RFID (s.f.) destaca los diferentes tipos de sistemas RFID:

- Baja Frecuencia RFID o LF (Low Frequency) con un rango de lectura de 10 [cm] y una lenta velocidad de lectura.
- Luego están los de Alta Frecuencia RFID o HF (High Frequency) con un rango de lectura que va de los 10 [cm] hasta 1 [m].
- Y por último RFID de Ultra Alta Frecuencia o UHF (Ultra High Frequency) con un rango de lectura de hasta 12 [m]

Para optimizar el flujo de trabajo y reducir los tiempos de espera en la planta, se propone un sistema que registre y analice detalladamente los tiempos que cada camión pasa en las distintas actividades dentro de la planta. Este sistema sumará el tiempo total que un camión permanece en la planta desde su entrada hasta su salida y lo comparará con el tiempo empleado en cada actividad específica, como la descarga o el movimiento entre áreas. La diferencia entre el tiempo total y el tiempo en actividades específicas representará el tiempo de espera total antes de iniciar cada actividad. Esto es muy importante porque, aunque un camión pueda completar sus tareas rápidamente, el tiempo total en la planta no reflejaría posibles demoras causadas por la espera para acceder a las áreas de actividad debido a la congestión por otros camiones u otras razones.

Los datos recolectados se almacenarán en una base de datos centralizada. Esta información permitirá no solo el análisis del comportamiento y patrones, sino también la toma de decisiones informadas en tiempo real y la previsión de futuras situaciones de congestión. Este sistema es esencial para una mejor gestión del patio de madera.

Para mejorar aún más la visibilidad y la gestión del tráfico dentro del patio de madera, se sugiere implementar un mapeo visual del patio. Este mapa mostraría en tiempo real la ubicación de los camiones y las áreas de actividad, utilizando iconos para identificar los puntos de congestión. Esta visualización podría asemejarse a aplicaciones como Waze, que indica el tráfico con colores en rutas, y Uber, que muestra el movimiento de vehículos en tiempo real en diferentes puntos de una ciudad. Esta herramienta permitiría a los operadores ver de un vistazo dónde se están formando cuellos de botella y responder rápidamente a estas situaciones.

La integración de este nuevo sistema con las plataformas ya utilizadas en Logmeter y Romana sería un paso estratégico. Al aprovechar la infraestructura existente y extender su funcionalidad, se lograría una gestión unificada de datos y una mejora en la eficiencia de los procesos mediante el seguimiento

continuo de los camiones y la optimización de su flujo en la planta. Esta integración permitiría una solución más coherente y simplificada para manejar los datos operativos.

Dado que las patentes de los camiones suelen repetirse, ya que a menudo son los mismos vehículos los que ingresan la materia prima, se podría rastrear y analizar el rendimiento individual de cada camión. Esto ayudaría a identificar cuáles camiones tienden a exceder los tiempos promedio de las actividades y, por lo tanto, entender quienes necesitan un control más estricto. Por ejemplo, si se detecta una demora significativa en el proceso de descarga, se podría determinar que la responsabilidad recae en el operador de la grúa, quien supervisa esa actividad. Por otro lado, actividades como el desamarre de eslingas, la limpieza y la bajada de estacas son exclusivamente responsabilidad del conductor del camión. Con esto se permite un enfoque más específico para abordar y mejorar los tiempos de espera y la eficiencia operativa.

Implementar este sistema mejorado ofrecería una vista completa y detallada del flujo de trabajo en la planta. Esto permitirá identificar cuellos de botella en tiempo real y tomar acciones correctivas inmediatas, al mismo tiempo que proporcionará datos históricos al ser guardados en la base de datos para la planificación futura y la mejora continua. Esta propuesta no solo reducirá los tiempos de espera y optimizará la capacidad de manejo de la planta, sino que también mejorará la coordinación y la eficiencia operativa a lo largo de todo el proceso logístico.

Propuesta 3: Incorporación de grúas adicionales como apoyo para descarga de rollizos en horarios críticos.

Se propone la incorporación de grúas adicionales durante los períodos de mayor actividad. Esta propuesta se fundamenta en el análisis detallado del informe de ingresos del 2023, que mostró patrones específicos de congestión basados en la hora, el día y el mes. Se identificó que los meses con mayor afluencia de camiones son de enero a junio, con un pico notable en los jueves y viernes, mientras que los lunes presentan el flujo más bajo. Además, se observó que, en los cambios de turno y los periodos de colación, presentan un impacto significativo en la operatividad de la planta. A esto se suma el impacto negativo que ha tenido la salida de la grúa portal, que era capaz de manejar grandes volúmenes de carga de manera rápida y eficiente.

Para mitigar los retrasos en la descarga y el procesamiento de rollizos, se sugiere la implementación de grúas adicionales que operen específicamente durante estos períodos de alta demanda. Estas grúas

extras deberían estar estratégicamente ubicadas en la cancha disponible que cuente con suficiente capacidad para almacenar los m^3_{ssc} (metros cúbicos sólidos sin corteza). Esta estrategia no solo mejorará la capacidad de respuesta de la planta durante los picos de actividad, sino que también reducirá significativamente los tiempos de espera de los camiones. La implementación de grúas adicionales permitirá una descarga más rápida y eficiente, aliviando la presión sobre las líneas de producción y evitando la acumulación de camiones en espera.

Dado que la ubicación de los camiones y las canchas disponibles puede variar a lo largo del día, se recomienda adoptar una estrategia de ubicación dinámica para las grúas adicionales. Esta estrategia implica mover las grúas a las áreas de la planta que requieren más apoyo en tiempo real. Por ejemplo, durante los cambios de turno o los periodos de colación, las grúas adicionales pueden ser reubicadas en las canchas o líneas de producción que están experimentando la mayor carga de trabajo. Este enfoque flexible maximiza el uso de los recursos disponibles y asegura que la capacidad de descarga se ajuste de forma continua a la demanda operativa de la planta.

En los meses de enero a junio, cuando se experimenta el mayor volumen de camiones, se recomienda extender el horario operativo de las grúas adicionales o, si es necesario, contratar personal temporal para cubrir estas posiciones. Esto permitirá que la planta maneje el aumento en el flujo de camiones sin sacrificar la eficiencia de la operación. Durante estas temporadas, la programación anticipada de los turnos y la asignación de recursos adicionales serán fundamentales para mantener el ritmo de trabajo y evitar cuellos de botella.

Propuesta 4: Implementación de sistemas de monitoreo y respuesta para minimizar las detenciones inesperadas en la línea de producción y optimizar la gestión del flujo de camiones en el patio de madera.

Para abordar las detenciones inesperadas en la línea de producción, especialmente cuando los camiones ya están en proceso de descarga o esperando en la línea, es crucial implementar soluciones que minimicen el impacto de estos eventos imprevistos y optimicen el flujo de operaciones en el patio de madera.

En primer lugar, se propone la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real que utilice sensores para supervisar el estado de los equipos y detectar fallas potenciales antes de que ocurran.

Este sistema debe estar integrado con una plataforma que recopile y analice datos de diferentes puntos, permitiendo identificar patrones y condiciones que preceden a las fallas. Complementando el sistema de monitoreo, se sugiere el uso de análisis predictivo para programar el mantenimiento preventivo de los equipos. Utilizando algoritmos de aprendizaje automático, el sistema puede predecir cuándo es probable que ocurra una falla basándose en el historial de datos operativos, y así planificar intervenciones antes de que las fallas afecten la producción. Este enfoque no solo reducirá las interrupciones, sino que también optimizará la vida útil de los equipos y minimizará los costos de reparación. Actualmente, las tareas de mantenimiento se programan manualmente por el Planificador de Mantenimiento, Manuel Sanhueza, sin el uso de tecnología avanzada para la predicción de fallas. Además, para minimizar el tiempo de inactividad durante una detención inesperada, se deben desarrollar y entrenar protocolos de respuesta rápida. Estos protocolos deben incluir procedimientos claros para la identificación y resolución de fallas, la asignación de roles y responsabilidades, y la coordinación entre los equipos de mantenimiento y operación. La capacitación regular del personal en estos procedimientos es esencial para asegurar una respuesta eficaz. Se sugiere también la creación de un equipo especializado en respuesta de emergencia que esté disponible para intervenir rápidamente en caso de fallas.

La integración de un sistema de comunicación en tiempo real es también crucial. Este sistema permitiría coordinar las acciones entre el equipo de respuesta, los operadores de grúas y los conductores de camiones. Se recomienda el uso de radios bidireccionales o aplicaciones móviles de comunicación que permitan una comunicación instantánea y clara. La coordinación eficiente asegura que todos los involucrados estén informados de la situación y puedan actuar en consecuencia. Además, la integración de notificaciones automáticas en el sistema de gestión de la planta puede proporcionar actualizaciones en tiempo real sobre el estado de la línea de producción y las operaciones de descarga. Estas notificaciones deben ser enviadas a todos los operadores y conductores afectados, informándoles de las demoras previstas y proporcionando instrucciones sobre cómo proceder.

Al anticipar problemas y responder de manera eficiente, se reducirá significativamente el tiempo de inactividad que afecta al tiempo interior planta total, se mejorará la satisfacción de los camioneros y la eficiencia en la operación.

Propuesta 5: Sistema de gestión de ingreso y salida de Romana resiliente.

La eficiencia en el sistema de ingreso y salida de Romana es fundamental para mantener un flujo constante y bien gestionado de camiones en el patio de madera. Las interrupciones en este sistema, aunque no frecuentes, generan consecuencias notables cuando ocurren, afectando la capacidad de procesar camiones de manera eficaz.

El programa Rmadera, que es utilizado actualmente para gestionar los procesos en el patio de madera, presenta un problema significativo debido a que es antiguo. Cuando se intenta ejecutar múltiples acciones de manera simultánea, el sistema tiende a colapsar, lo que resulta en paralizaciones frecuentes y, en algunos casos, el cierre de la aplicación. Esta limitación tecnológica afecta la eficiencia operativa y ocasiona retrasos.

Para mitigar el impacto de estas fallas, es crucial tomar medidas que fortalezcan la resiliencia del sistema y mejoren su capacidad de recuperación frente a imprevistos.

Una propuesta clave es la implementación de un sistema de respaldo robusto. Este sistema actuaría como un mecanismo de emergencia que se activaría automáticamente en caso de que el sistema principal falle. Utilizando tecnología en la nube, se puede asegurar que los datos del flujo de camiones sean respaldados y estén disponibles, permitiendo la continuidad de las operaciones sin interrupciones tan notorias. Además, un sistema de respaldo en la nube no solo almacena datos, sino que también replica en tiempo real las funciones críticas del sistema de Romana, garantizando que la gestión de ingresos y salidas pueda seguir operando incluso si el sistema principal se desconecta.

2.4.2 Implementación de las propuestas

Dado que el periodo como memorista de Arauco finaliza el 28 de junio de 2024, no se podrá constatar la implementación de las propuestas. Además, esto se encuentra condicionado a que si la empresa está dispuesta a invertir en esas soluciones ya sea por su viabilidad o por consideraciones económicas.

De todas formas, la propuesta que se puede aplicar inmediatamente sin un costo de por medio es la primera, donde deben asegurar que los parámetros del modelo (tiempos promedio de permanencia y porcentajes mínimos de llegada) estén correctamente establecidos según los resultados óptimos requeridos.

responsables de Arauco de manera mensual, destacando las mejoras en los tiempos de procesamiento y recomendando ajustes estratégicos si fuera necesario.

En la propuesta 2, se deben realizar pruebas para verificar la precisión del sistema RFID en la identificación y seguimiento de camiones. Además, los trabajadores encargados deben revisar de forma regular los datos recolectados para asegurar su exactitud y consistencia. Por último, capacitar al personal en el uso del sistema de seguimiento RFID y en la interpretación de los datos para la toma de decisiones operativas.

La propuesta 3, requiere previamente la evaluación de la eficacia en la reducción de tiempos de espera y congestión en las áreas de descarga con grúas extra. Para ello se tienen que reubicar las grúas según sea necesario para cada momento de forma de optimizar su uso y adaptarse a cambios en el flujo de trabajo y la demanda operativa.

Para la propuesta 4, realizar pruebas simuladas de fallas para evaluar la efectividad de los protocolos de respuesta y la coordinación entre equipos. Para una optimización continua en el tiempo, se tienen que utilizar datos históricos y análisis predictivo para optimizar la programación de mantenimiento preventivo y mejorar la eficiencia operativa.

Finalmente, en la propuesta 5 se necesitan realizar pruebas regulares simuladas para verificar la capacidad del sistema de respaldo para asumir el control en situaciones de emergencia. Por último, realizar revisiones periódicas de seguridad para asegurar la protección de datos y la integridad del sistema de gestión de Romana.

3. Capítulo III: Discusión y Conclusiones

El análisis del tiempo de permanencia de los camiones en la planta de Celulosa Arauco y Constitución ha revelado discrepancias significativas entre los datos registrados por la empresa y las mediciones reales. Mientras que Arauco reportaba un promedio de 42 minutos de tiempo al interior planta, el tiempo de permanencia real en promedio de los camiones es cercano a 52 minutos según los datos recopilados por el informe de ingresos correspondiente al año 2023 y a las mediciones obtenidas manualmente. Esta diferencia de aproximadamente 10 minutos podría deberse a varios factores: errores en los cálculos, información desactualizada o datos incorrectamente presentados por el sistema.

Durante el análisis, se observó que el sistema Rmadera a veces registra tiempos erróneos, como camiones que permanecen solo 1 minuto o hasta 12-23 horas en la planta. Estos registros claramente no reflejan la realidad y sugiere la necesidad urgente de revisar y validar la calidad de la información obtenida para evitar decisiones basadas en datos incorrectos.

Es importante recalcar la congestión que se genera antes de ingresar por la Romana, es decir, entre el Logmeter y el ingreso. Este tiempo de espera puede incluso duplicarse o triplicarse cuando surgen problemas en el patio de madera. Por lo tanto, sería conveniente tomar medidas para no solo agilizar el flujo de camiones dentro del patio de madera, sino también para mejorar el flujo general desde que los camiones ingresan a la planta por el acceso sur, donde se encuentran las casetas de seguridad.

Con lo anterior, se recomienda implementar las propuestas señaladas para mejorar la precisión y la eficiencia en la gestión del tiempo de permanencia de los camiones:

Se debe asignar a una persona para revisar y validar los datos de permanencia de los camiones en planta de forma mensual. Esta revisión regular permitirá asegurar que los registros sean precisos y reflejen fielmente la realidad operativa, facilitando la adopción de buenas medidas correctivas.

En segundo lugar, es necesario reevaluar la meta actual impuesta a Serfocol de reducir el tiempo de permanencia a 37 minutos. Dados los datos actuales, esta meta parece inalcanzable bajo las condiciones presentes. Por lo tanto, se sugiere ajustar esta meta a un objetivo más realista, considerando las limitaciones y capacidades actuales de la planta.

Además, es crucial prepararse adecuadamente para manejar los picos de actividad. Los meses de enero a junio y los días de mayor actividad (jueves y viernes) requieren una planificación cuidadosa para evitar cuellos de botella y optimizar el flujo de camiones. Del mismo modo, se deben optimizar los recursos durante los días con menor flujo, como los lunes, para equilibrar la carga de trabajo a lo largo de la semana.

Finalmente, es esencial revisar y optimizar los costos relacionados con la descarga de camiones en la cancha 13. En el segundo semestre de 2023, los gastos en esta área fluctuaron entre 64,260 y 89,964 dólares, representando el 64% del gasto anual. Reducir estos costos es vital para mejorar la eficiencia financiera de la operación y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

4. Referencias

- Arauco. (2022). Reporte integrado. Recuperado de https://arauco.com/chile/wp-content/uploads/sites/14/2023/04/REPORTE_INTEGRADO_ARAUCO_2022.pdf
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2004). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. En H. Gutiérrez, & R. de la Vara, Control de la calidad y Seis Sigma (pág. 398). McGrill Haw Education.
- Guzmán, L. (2023). Arauco desvincula a 300 trabajadores tras fusión de dos áreas de la empresa. Diario Financiero. <https://www.df.cl/empresas/industria/arauco-desvincula-a-300-trabajadores-tras-fusion-de-dos-areas-de-la-empresa>
- Woodtech Measurement Systems. (s.f.). Logmeter. Recuperado de <https://www.woodtechms.com/logmeter>
- Champi Medina, F. R. (2020). Mejora del cumplimiento y la productividad de los servicios de transporte en una empresa de traslado de caudales aplicando la filosofía Lean Six Sigma. Tesis de licenciatura. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11615>
- Alegría Fabián, P. G. (2021). Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir tiempos de permanencia de la flota vehicular de una empresa de transporte de cargo en el distrito de Santa Anita. Tesis de licenciatura. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17531>
- Dipole RFID. (s.f.). Tipos de sistemas RFID. Recuperado de <https://www.dipolerfid.es/blog-rfid/Tipos-Sistemas-RFID>
- Kunstmann, N. (2023). Tecnología RFID: ¿Cuáles son sus ventajas en las cadenas de suministro? Drivin. Recuperado de <https://driv.in/blog/tecnologia-rfid-cuales-son-sus-ventajas>

5. Anexos

5.1 Anexo A: Tabla de mediciones manuales en zona de desamarre

Fecha	Ubicación	Largo madera	Tipo	Llegada	Inicio	Salida	Tiempo	Tiempo de espera
12-04-2024	C02	4,10	PINO	14:33	14:33	14:36	0:03	0:00
12-04-2024	C02	2,44	EUCA	14:39	14:39	14:46	0:07	0:00
12-04-2024	C02	2,44	EUCA	14:42	14:42	14:47	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	8:37	8:37	8:41	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	8:39	8:39	8:43	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	8:40	8:40	8:44	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	8:41	8:41	8:45	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	9:34	9:34	9:39	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	9:35	9:35	9:40	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	9:50	9:50	9:55	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	9:53	9:53	9:58	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	10:16	10:16	10:21	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	15:14	15:14	15:17	0:03	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	15:23	15:23	15:28	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	15:28	15:28	15:33	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	15:50	15:50	15:55	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	15:58	15:58	16:02	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	16:07	16:07	16:11	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	16:13	16:13	16:18	0:05	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	16:16	16:16	16:20	0:04	0:00
20-04-2024	C02	6,0	PINO	16:27	16:27	16:32	0:05	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	9:42	9:42	9:45	0:03	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	10:35	10:35	10:41	0:06	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	10:47	10:47	10:55	0:08	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	10:51	10:51	10:58	0:07	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	15:37	15:37	15:51	0:14	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	15:47	15:47	15:50	0:03	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	15:55	15:55	16:03	0:08	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	16:24	16:24	16:32	0:08	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	17:50	17:50	17:58	0:08	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	18:43	18:43	18:50	0:07	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	10:42	10:42	10:48	0:06	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	11:56	11:56	12:05	0:09	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	12:15	12:15	12:25	0:10	0:00
20-04-2024	C02	2,44	PINO	12:26	12:26	12:36	0:10	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	8:36	8:36	8:43	0:07	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	9:05	9:05	9:10	0:05	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	9:16	9:16	9:21	0:05	0:00

20-04-2024	C02	4,10	PINO	9:33	9:33	9:38	0:05	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	9:50	9:50	9:55	0:05	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	9:53	9:53	9:58	0:05	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	10:10	10:10	10:14	0:04	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	10:13	10:13	10:18	0:05	0:00
20-04-2024	C02	4,10	PINO	10:14	10:14	10:20	0:06	0:00

5.2 Anexo B: Tabla de mediciones manuales en zona de descarga en línea

Fecha	Ubicación	Largo madera	Tipo	Llegada	Inicio descarga	Salida	Tiempo de espera	Tiempo de descarga
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:05:00	14:17:00	14:23:00	0:12:00	0:06:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:15:00	14:17:00	14:24:00	0:02:00	0:07:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:22:00	14:25:00	14:30:00	0:03:00	0:05:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:25:00	14:32:00	14:38:00	0:07:00	0:06:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:31:00	14:32:00	14:40:00	0:01:00	0:08:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:34:00	14:41:00	14:48:00	0:07:00	0:07:00
18-04-2024	C00	6,0	PINO	14:35:00	14:41:00	14:45:00	0:06:00	0:04:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:43:00	14:46:00	14:51:00	0:03:00	0:05:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	14:45:00	14:55:00	15:03:00	0:10:00	0:08:00
18-04-2024	C00	6,0	PINO	15:03:00	15:04:00	15:09:00	0:01:00	0:05:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	15:07:00	15:07:00	15:13:00	0:00:00	0:06:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	15:11:00	15:14:00	15:19:00	0:03:00	0:05:00
18-04-2024	C00	4,10	PINO	15:12:00	15:14:00	15:20:00	0:02:00	0:06:00
19-04-2024	C00	4,10	PINO	15:18:00	15:27:00	15:33:00	0:09:00	0:06:00
19-04-2024	C00	4,10	PINO	15:31:00	15:35:00	15:40:00	0:04:00	0:05:00
19-04-2024	C00	6,0	PINO	15:41:00	15:42:00	15:48:00	0:01:00	0:06:00
19-04-2024	C00	4,10	PINO	15:44:00	15:47:00	15:56:00	0:03:00	0:09:00
19-04-2024	C00	6,0	PINO	15:54:00	15:56:00	16:04:00	0:02:00	0:08:00
19-04-2024	C00	6,0	PINO	15:57:00	16:04:00	16:12:00	0:07:00	0:08:00
19-04-2024	C00	4,10	PINO	16:03:00	16:05:00	16:12:00	0:02:00	0:07:00
20-04-2024	C00	6,0	PINO	8:49:00	8:53:00	8:59:00	0:04:00	0:06:00
20-04-2024	C00	2,44	PINO	8:49:00	9:00:00	9:05:00	0:11:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	9:53:00	10:00:00	10:04:00	0:07:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	9:53:00	10:06:00	10:11:00	0:13:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	9:54:00	10:07:00	10:12:00	0:13:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:07:00	10:13:00	10:17:00	0:06:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:08:00	10:14:00	10:19:00	0:06:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:08:00	10:27:00	10:30:00	0:19:00	0:03:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:10:00	10:31:00	10:34:00	0:21:00	0:03:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:13:00	10:34:00	10:38:00	0:21:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:18:00	10:38:00	10:43:00	0:20:00	0:05:00

20-04-2024	C00	6,0	PINO	10:24:00	10:44:00	10:48:00	0:20:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	10:30:00	10:49:00	10:56:00	0:19:00	0:07:00
20-04-2024	C00	6,0	PINO	10:32:00	10:58:00	11:07:00	0:26:00	0:09:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:00:00	14:12:00	14:17:00	0:12:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:00:00	14:17:00	14:22:00	0:17:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:13:00	14:23:00	14:28:00	0:10:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:14:00	14:30:00	14:35:00	0:16:00	0:05:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:27:00	14:37:00	14:41:00	0:10:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:30:00	14:38:00	14:42:00	0:08:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:42:00	14:45:00	14:51:00	0:03:00	0:06:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	14:43:00	14:49:00	14:53:00	0:06:00	0:04:00
20-04-2024	C00	4,10	PINO	17:50:00	17:50:00	17:56:00	0:00:00	0:06:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:09:00	9:09:00	9:14:00	0:03:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:15:00	9:15:00	9:21:00	0:07:00	0:06:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:23:00	9:23:00	9:30:00	0:01:00	0:07:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:31:00	9:31:00	9:36:00	0:07:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:34:00	9:34:00	9:40:00	0:06:00	0:06:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:52:00	9:52:00	9:57:00	0:03:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	9:56:00	9:56:00	10:01:00	0:10:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	10:10:00	10:10:00	10:14:00	0:01:00	0:04:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	10:13:00	10:13:00	10:18:00	0:00:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	10:17:00	10:17:00	10:22:00	0:03:00	0:05:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	10:20:00	10:20:00	10:26:00	0:02:00	0:06:00
23-04-2024	C00	6,0	PINO	10:28:00	10:28:00	10:33:00	0:06:00	0:05:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	9:07:00	9:16:00	9:30:00	0:09:00	0:14:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	10:28:00	10:32:00	10:41:00	0:04:00	0:09:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	10:39:00	10:40:00	10:51:00	0:01:00	0:11:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	10:40:00	10:43:00	10:54:00	0:03:00	0:11:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	11:08:00	11:10:00	11:18:00	0:02:00	0:08:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	12:29:00	12:36:00	12:45:00	0:07:00	0:09:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	13:37:00	13:39:00	13:47:00	0:02:00	0:08:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	13:35:00	13:43:00	13:55:00	0:08:00	0:12:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	13:51:00	13:55:00	14:11:00	0:04:00	0:16:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	13:54:00	14:05:00	14:15:00	0:11:00	0:10:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	13:54:00	14:08:00	14:23:00	0:14:00	0:15:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	15:33:00	15:40:00	15:48:00	0:07:00	0:08:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	15:36:00	15:49:00	16:02:00	0:13:00	0:13:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	16:07:00	16:20:00	16:28:00	0:13:00	0:08:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	16:54:00	17:00:00	17:12:00	0:06:00	0:12:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	17:08:00	17:14:00	17:22:00	0:06:00	0:08:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	17:12:00	17:31:00	17:50:00	0:19:00	0:19:00
06-05-2024	C00	2,44	PINO	18:04:00	18:18:00	18:27:00	0:14:00	0:09:00

5.3 Anexo C: Tabla de mediciones manuales en zona de descarga en cancha

Fecha	Ubicación	Largo madera	Tipo	Llegada	Inicio	Salida	Tiempo de espera	Tiempo de descarga
12-04-2024	C03	4,10	PINO	14:53:00	14:53:00	14:58:00	0:00:00	0:05:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:13:00	11:14:00	11:17:00	0:01:00	0:03:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:26:00	11:40:00	11:43:00	0:14:00	0:03:00
18-04-2024	C03	4,10	PINO	11:27:00	11:27:00	11:30:00	0:00:00	0:03:00
18-04-2024	C03	4,10	PINO	11:31:00	11:33:00	11:37:00	0:02:00	0:04:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:34:00	11:44:00	11:47:00	0:10:00	0:03:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:35:00	11:48:00	11:51:00	0:13:00	0:03:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:44:00	11:53:00	11:57:00	0:09:00	0:04:00
18-04-2024	C04	6,0	PINO	11:45:00	11:57:00	12:00:00	0:12:00	0:03:00
18-04-2024	C03	4,10	PINO	11:47:00	11:47:00	11:51:00	0:00:00	0:04:00
18-04-2024	C02	2,44	PINO	11:54:00	11:58:00	12:07:00	0:04:00	0:09:00
18-04-2024	C04	4,10	PINO	12:05:00	12:06:00	12:09:00	0:01:00	0:03:00
18-04-2024	C04	4,10	PINO	12:08:00	12:11:00	12:16:00	0:03:00	0:05:00
18-04-2024	C04	4,10	PINO	12:10:00	12:21:00	12:25:00	0:11:00	0:04:00
18-04-2024	C04	4,10	PINO	12:25:00	12:32:00	12:36:00	0:07:00	0:04:00
18-04-2024	C04	4,10	PINO	13:52:00	13:55:00	14:00:00	0:03:00	0:05:00
20-04-2024	C04	4,10	PINO	8:46:00	8:49:00	8:53:00	0:03:00	0:04:00
20-04-2024	C04	4,10	PINO	14:47:00	14:54:00	14:58:00	0:07:00	0:04:00
20-04-2024	C04	6,0	PINO	14:50:00	14:55:00	15:03:00	0:05:00	0:08:00
20-04-2024	C04	6,0	PINO	14:54:00	15:00:00	15:04:00	0:06:00	0:04:00
20-04-2024	C04	4,10	PINO	17:45:00	17:45:00	17:52:00	0:00:00	0:07:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	17:56:00	17:56:00	18:00:00	0:04:00	0:04:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	18:01:00	18:01:00	18:03:00	0:01:00	0:02:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	18:08:00	18:08:00	18:13:00	0:03:00	0:05:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	18:24:00	18:24:00	18:29:00	0:11:00	0:05:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	18:30:00	18:30:00	18:35:00	0:07:00	0:05:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	18:35:00	18:35:00	18:40:00	0:03:00	0:05:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:26:00	22:26:00	22:32:00	0:12:00	0:06:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:26:00	22:26:00	22:35:00	0:02:00	0:09:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:28:00	22:28:00	22:40:00	0:03:00	0:12:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:31:00	22:31:00	22:46:00	0:07:00	0:15:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:31:00	22:31:00	22:46:00	0:01:00	0:15:00
23-04-2024	C04	4,10	PINO	22:34:00	22:34:00	22:52:00	0:07:00	0:18:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:02:00	18:02:00	18:06:00	0:06:00	0:04:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:06:00	18:06:00	18:10:00	0:03:00	0:04:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:24:00	18:24:00	18:29:00	0:10:00	0:05:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:40:00	18:40:00	18:44:00	0:01:00	0:04:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:44:00	18:44:00	18:50:00	0:00:00	0:06:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	18:54:00	18:54:00	19:00:00	0:03:00	0:06:00

23-04-2024	C04	6,0	PINO	19:02:00	19:02:00	19:06:00	0:02:00	0:04:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	21:49:00	21:49:00	21:54:00	0:06:00	0:05:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	22:00:00	22:00:00	22:05:00	0:09:00	0:05:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	22:03:00	22:03:00	22:08:00	0:04:00	0:05:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	22:03:00	22:03:00	22:15:00	0:01:00	0:12:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	22:07:00	22:07:00	22:21:00	0:03:00	0:14:00
23-04-2024	C04	6,0	PINO	22:08:00	22:08:00	22:25:00	0:02:00	0:17:00
23-04-2024	C04	2,44	PINO	21:30:00	21:30:00	21:42:00	0:09:00	0:12:00

5.4 Anexo D: Tabla de mediciones manuales en zona de limpieza y tecles.

Fecha	Actividad	Llegada	Inicio	Salida	Tiempo
21-03-2024	Tecle	10:10:00	10:10:00	10:12:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:13:00	10:13:00	10:16:00	0:03:00
21-03-2024	Tecle	10:14:00	10:14:00	10:16:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:16:00	10:16:00	10:18:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:18:00	10:18:00	10:20:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:24:00	10:24:00	10:29:00	0:05:00
21-03-2024	Tecle	10:30:00	10:30:00	10:33:00	0:03:00
21-03-2024	Tecle	10:32:00	10:32:00	10:34:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:35:00	10:35:00	10:37:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:39:00	10:39:00	10:41:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:42:00	10:42:00	10:45:00	0:03:00
21-03-2024	Tecle	10:44:00	10:44:00	10:47:00	0:03:00
21-03-2024	Tecle	10:47:00	10:47:00	10:49:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:51:00	10:51:00	10:53:00	0:02:00
21-03-2024	Tecle	10:58:00	10:58:00	11:02:00	0:04:00
21-03-2024	Limpieza	11:03:00	11:03:00	11:13:00	0:10:00
21-03-2024	Limpieza	11:35:00	11:35:00	11:39:00	0:04:00
21-03-2024	Limpieza	11:37:00	11:37:00	11:42:00	0:05:00
21-03-2024	Limpieza	11:42:00	11:42:00	11:44:00	0:02:00
21-03-2024	Limpieza	11:45:00	11:45:00	11:47:00	0:02:00
21-03-2024	Limpieza	11:58:00	11:58:00	12:04:00	0:06:00
21-03-2024	Limpieza	12:18:00	12:18:00	12:22:00	0:04:00
21-03-2024	Limpieza	12:23:00	12:23:00	12:33:00	0:10:00
21-03-2024	Limpieza	12:31:00	12:31:00	12:36:00	0:05:00
21-03-2024	Limpieza	12:35:00	12:35:00	12:41:00	0:06:00
21-03-2024	Limpieza	12:36:00	12:36:00	12:40:00	0:04:00
21-03-2024	Limpieza	12:38:00	12:38:00	12:42:00	0:04:00
21-03-2024	Limpieza	12:40:00	12:40:00	12:41:00	0:01:00
21-03-2024	Limpieza	12:43:00	12:43:00	12:45:00	0:02:00
21-03-2024	Limpieza	12:44:00	12:44:00	12:46:00	0:02:00
21-03-2024	Limpieza	12:45:00	12:45:00	12:49:00	0:04:00

28-03-2024	Limpieza	14:30:00	14:30:00	14:34:00	0:04:00
28-03-2024	Limpieza	14:37:00	14:37:00	14:45:00	0:08:00
28-03-2024	Limpieza	14:39:00	14:39:00	14:47:00	0:08:00
28-03-2024	Limpieza	14:42:00	14:42:00	14:48:00	0:06:00
28-03-2024	Limpieza	14:48:00	14:48:00	14:55:00	0:07:00
28-03-2024	Limpieza	14:49:00	14:49:00	14:54:00	0:05:00
28-03-2024	Limpieza	14:55:00	14:55:00	15:02:00	0:07:00
28-03-2024	Limpieza	14:59:00	14:59:00	15:04:00	0:05:00
28-03-2024	Limpieza	15:13:00	15:13:00	15:16:00	0:03:00
28-03-2024	Limpieza	15:22:00	15:22:00	15:25:00	0:03:00
28-03-2024	Limpieza	15:25:00	15:25:00	15:31:00	0:06:00
28-03-2024	Limpieza	15:28:00	15:28:00	15:33:00	0:05:00
28-03-2024	Limpieza	15:35:00	15:35:00	15:41:00	0:06:00
28-03-2024	Limpieza	15:40:00	15:40:00	15:43:00	0:03:00
28-03-2024	Limpieza	15:38:00	15:38:00	15:43:00	0:05:00

5.5 Anexo E: Programación del modelo matemático de optimización.

```
1 !pip install pulp

1 from pulp import *
2
3 # Crear el problema de optimización
4 prob = LpProblem ("Optimización del porcentaje de llegada de madera según su largo para cumplir con un tiempo máximo de permanencia"
5 , LpMinimize)
6
7 # Variables de decisión
8 P = LpVariable.dicts("P", [1, 2, 3], lowBound=0)
9
10 # Parámetros
11 #TP = {1: 53.13 , 2: 44.22, 3: 43.42} # FACTOR 0.8 Valores de TP_1, TP_2, TP_3
12 #TP = {1: 50.05 , 2: 41.45, 3: 41.08} #FACTOR 0.85
13 TP = { 1: 47.18, 2: 39.26, 3: 38.51} #FACTOR 0.9
14
15 # Función Objetivo
16 prob += (P[1]*TP[1] + P[2]*TP[2] + P[3]*TP[3]), "Tiempo Total Promedio de Permanencia"
17
18 # Restricciones
19 prob += P[1] + P[2] + P[3] == 1, "Suma de porcentajes = 100%"
20 prob += P[1] >= 0.15, "Porcentaje Mínimo para P1"
21 prob += P[2] >= 0.15, "Porcentaje Mínimo para P2"
22 prob += P[3] >= 0.15, "Porcentaje Mínimo para P3"
23 prob += (P[1]*TP[1] + P[2]*TP[2] + P[3]*TP[3]) , "Tiempo Total Promedio de Permanencia"
24
25 # Para resolver el problema
26 prob.solve()
27
28 # Esto imprime el estado de la solución (óptimo o no)
29 print("Estado:", LpStatus[prob.status])
30 print("")
31
32 # Aquí imprime los valores óptimos de las variables de decisión
33 for v in prob.variables():
34     print(v.name, "=", v.varValue)
35
36 # Muestra el resultado del valor óptimo de la función objetivo
37 print("")
38 print("Tiempo total de permanencia:", value(prob.objective), "[min]")
```

6. Resumen FI

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA

RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento: Departamento de Ingeniería Industrial

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

Nombre del memorista: Catalina Florencia García Parra

Título de la memoria: Análisis y Mejora del Tiempo Interior en Planta de Camiones de Rollizos: Impacto en Costos y Productividad en Celulosa Arauco y Constitución

Fecha de la presentación oral:

Profesor(es) Guía: Hernaldo Reinoso Alarcón

Profesor(es) Revisor(es): Silvia Núñez Sánchez

Concepto:

Calificación:

Resumen (máximo 200 palabras)

Este proyecto se enfoca en optimizar la eficiencia operativa en el patio de madera de la Planta Horcones de Celulosa Arauco y Constitución. Utilizando la metodología DMAIC de Seis Sigma, que significa definir, medir, analizar, mejorar y controlar, se busca reducir el tiempo de permanencia de los camiones de rollizos dentro de la planta, actualmente estimado en 42 minutos, a 37 minutos. Esta reducción es crucial para mejorar la cadena de suministro, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente.

Hasta 2023, la Planta Arauco operaba con la grúa portal más grande de Sudamérica, capaz de descargar camiones completos rápidamente. Debido a la necesidad de costosos mantenimientos, la grúa dejó de funcionar, esto afectó la eficiencia y aumentó los tiempos de espera. A pesar de la implementación de grúas y tractores adicionales, los tiempos de permanencia no han mejorado.

El proyecto propone soluciones para abordar estas ineficiencias e identificar los cuellos de botella. Se espera que la implementación de estas propuestas no solo beneficie a la Planta Horcones, sino que también sirva como modelo para otras plantas, optimizando el flujo de camiones y mejorando los procesos en toda la cadena productiva de la empresa.