



UNIVERSIDAD
SAN SEBASTIAN
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL
SEDE LAS TRES PASCUALAS - CONCEPCIÓN

Estudio de la Simulación del armado y funcionamiento de las canchas del patio de maderas de la planta Nueva Aldea, Celulosa Arauco

Proyecto de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial
de la Universidad San Sebastián

Docente Guía: Dr. Maichel Aguayo Bustos

Alumnos: Nicole Herrera Martínez

Braulio Herrera Barriga

© Nicole Herrera Martínez y Braulio Herrera Barriga.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra en cualquier forma, medio o procedimiento, sin permiso por escrito del o los autores.

CONCEPCION - CHILE

2024

HOJA DE CALIFICACIÓN

En _____, el ____ de _____ de _____ los abajo firmantes dejan constancia que el estudiante _____ de la carrera o programa de *Ingeniería Civil Industrial* ha aprobado la tesis para optar al título o grado académico de *Ingeniero Civil Industrial* con una nota de _____.

Profesor Evaluador

Profesor Evaluador

Profesor Evaluador

Dedicatoria (Nicole Herrera):

Amada familia, pareja y queridos amigos,

Este proyecto de título está dedicado con todo mi corazón a ustedes. Su amor, apoyo y comprensión han sido la fuerza que me ha impulsado a lo largo de este viaje académico.

A mi familia, por su constante aliento, paciencia y sacrificio. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí incluso en los momentos de duda y por ser mi refugio en los momentos difíciles.

A mi pareja y mis amigos, por llenar estos años de risas, alegría y compañerismo. Su amistad y amor han sido mi luz en los días oscuros y un recordatorio constante de que no estuve sola en este camino.

Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes, quienes han compartido conmigo cada desafío y celebrado cada pequeño triunfo. Gracias por ser parte de mi vida.

Dedicatoria (Braulio Herrera):

Familia y amigos,

El proyecto de título está dedicado a los amigos y familia que apoyaron a lo largo de toda esta etapa educativa, gracias por su comprensión, compañía y palabras de aliento.

Amigos queridos gracias por las sonrisas y alegrías regaladas en los momentos donde todo se puso cuesta arriba.

Queridos padres y hermano, este logro no es solo mío sin ustedes y sus esfuerzos jamás hubiera sido posible, gracias de todo corazón.

Agradecimientos :

Queremos expresar nuestro agradecimiento al profesor Maichel Aguayo por brindarnos la oportunidad de participar en este proyecto, así como por su paciencia, apoyo y enseñanzas a lo largo de nuestra carrera.

Agradecemos a nuestra jefa de carrera, Claudia Fuentes Neira, por su constante ayuda, orientación, escucha y apoyo a lo largo de nuestra trayectoria académica, la cual no ha sido fácil. Además, le expresamos nuestro agradecimiento por habernos brindado diversas oportunidades que han contribuido a nuestro desarrollo como futuros profesionales.

También a todos nuestros profesores, les agradecemos su dedicación, la orientación y los conocimientos compartidos, los cuales han enriquecido nuestra formación académica y han contribuido de manera significativa a la calidad de este trabajo.

Finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a Celulosa Arauco y Constitución S.A., planta Nueva Aldea, por permitirnos llevar a cabo este proyecto. Además, agradecemos a Bioforest y especialmente a Sebastián Larrain, quien fue un pilar fundamental y gran apoyo en cuanto a conocimientos, observaciones e información, herramientas necesarias para poder lograr este desafío.

Tabla de contenidos

I	Antecedentes Generales	12
1.1	Introducción	12
1.2	Objetivos	13
1.3	Alcances	14
1.4	Limitaciones y delimitaciones	15
II	Problema y solución	16
2.1	Caracterización de la empresa	16
2.2	Antecedentes de la problemática	18
2.3	Problemática detectada	19
2.4	Planteamiento de solución	20
III	Revisión bibliográfica y metodología	21
3.1	Revisión bibliográfica	21
3.2	Metodología	24
3.3	Modelo de Simulación	26
IV	Resultados	27
4.1	Área patio de maderas	27
4.2	KPI	28
4.3	Simulación	29
4.4	Cálculo de réplicas	33
4.5	Experimentos realizados	36
4.6	Propuesta	39
4.7	Resultados de la simulación	41

V Conclusión	42
V Bibliography	43
5.1 Bibliografía utilizada para el desarrollo de la investigación.	43
VI Anexos	47

Figuras

3.1	Metodología por etapas.	24
4.1	Área patio de maderas y cuarteles.	27
4.2	Simulación del área del patio de maderas.	29
4.3	Simulación del cargamento.	30
4.4	Simulación de la Cancha 5.	31
4.5	Simulación del primer cuartel de la Cancha 5.	31
4.6	Simulación de los camiones.	32
4.7	Simulación las líneas de producción.	32
4.8	Estadísticas del tiempo de ciclo de 10 réplicas.	34
4.9	Estadísticas del tiempo de ciclo de 10 réplicas.	35
4.10	Resultados estadísticos en Horas de los ciclos de réplicas sin grúas adicionales. Fuente: Resultados de la simulación creada en SIMIO.	37
4.11	Escenarios con sus respectivas réplicas. Fuente: Resultados de las réplicas en SIMIO en minutos.	38
4.12	Escenarios ordenados de las réplicas realizadas en SIMIO. Fuente: Elaboración propia.	38
4.13	Gráfico de barras de los tiempos en minutos de cada escenario. Fuente: Elaboración propia.	38
4.14	Resultados estadísticos en Horas de los ciclos de réplicas con 2 grúas adicionales. Fuente: Resultados de la simulación creada en SIMIO.	39
4.15	Escenarios con sus respectivas réplicas. Fuente: Resultados de las réplicas en SIMIO en minutos.	40
4.16	Escenarios ordenados de las réplicas realizadas en SIMIO. Fuente: Elaboración propia.	40

4.17 Gráfico de barras de los tiempos en minutos de cada escenario. Fuente: Elaboración propia.	40
4.18 Resultados comparativos de ambas simulaciones. Fuente: Elaboración propia	41
VI.1 Simulación cancha 5.	47
VI.2 Simulación cancha 6.	48
VI.3 Simulación cancha 7.	49

Resumen

La simulación desempeña un rol importante en la optimización de operaciones en la industria forestal, particularmente en las áreas de acopio de rollizos. Este estudio se centra en la importancia de la simulación para comprender el funcionamiento de estas áreas en una empresa como Arauco, específicamente en la planta de Nueva Aldea. Se seleccionaron tres canchas de acopio de las ocho que lo conforman, para analizar diversos aspectos como el flujo de camiones, los tiempos de operación y la distribución de los rollizos.

El modelo de simulación se concentra en crear una representación del trabajo realizado en las canchas de acopio cinco, seis y siete, donde se identificaron y midieron diferentes tiempos de procesos, lo que ofrece oportunidades de mejora para la empresa. Esto permitirá la reducción de tiempos en la línea de producción, la optimización de recursos y la disminución de desperdicios, gracias al trabajo realizado en el programa Simio.

Inicialmente, se desarrolló la simulación del trabajo imitando la realidad, considerando los parámetros pertinentes como la cantidad de cuarteles, columnas y grúas. Con esto se identificaron los tiempos de retraso mediante tres escenarios diferentes. En el primer escenario que fue de 10 réplicas, se obtuvo un tiempo total promedio de procesamiento de 112,579 minutos. En el segundo escenario con 12 réplicas, el tiempo total promedio fue de 102,680 minutos. Finalmente, en el tercer escenario con 40 réplicas, se obtuvo un tiempo total promedio de procesamiento de 121,523 minutos.

Basándose en estos datos, surgió la pregunta: "¿Cómo se puede optimizar el proceso?". Por lo cual, tras evaluar las posibilidades de modificación, se decidió agregar dos grúas adicionales debido a la detección de tiempos de espera prolongados dentro de la línea productiva.

Por esa razón se desarrollaron nuevos escenarios, ahora con dos grúas adicionales. En el primer escenario con 10 réplicas, se obtuvo un tiempo total promedio de proceso de 100,656 minutos. En el segundo escenario con 27 réplicas, el tiempo total promedio de proceso fue de 102,243 minutos. Finalmente, en el tercer escenario con 40 réplicas, se obtuvo un tiempo total promedio de proceso de 103,427 minutos.

Palabras Claves: Simulación, SIMIO, flujo de camiones, Cuarteles, Canchas, réplicas, optimización.

Abstract

Simulation plays an important role in optimizing operations in the forestry industry particularly in log storage areas. This study focuses on the significance of simulation in understanding the functioning of these areas in a company like Arauco specifically at the Nueva Aldea plant. Three of the eight storage yards were selected to analyze various aspects such as truck flow, operation times, and log distribution.

The simulation model focuses on creating a representation of the work carried out in storage yards five, six, and seven, where different process times were identified and measured offering improvement opportunities for the company. This will enable the reduction of processing times on the production line resource optimization and waste reduction thanks to the work done in the SIMIO program.

Initially the simulation of work was developed by mimicking reality considering relevant parameters such as the number of blocks, columns and cranes. Delay times were identified through three different scenarios. In the first scenario which involved 10 replica an average total processing time of 112.579 minutes was obtained. In the second scenario with 12 replica the average total time was 102.680 minutes. Finally in the third scenario with 40 replica, an average total processing time of 121.523 minutes was obtained.

Based on this data, the question arose: "How can the process be optimized?" Therefore after evaluating modification possibilities, it was decided to add two additional cranes due to the detection of prolonged waiting times within the production line.

For this reason new scenarios were developed now with two additional cranes. In the first scenario with 10 replica an average total process time of 100.656 minutes was obtained. In the second scenario with 27 replica the average total process time was 102.243 minutes. Finally in the third scenario with 40 replica an average total process time of 103.427 minutes was obtained.

Keywords: Simulation, SIMIO, truck flow, Barracks, Courts, replicas, optimization.

Chapter I: Antecedentes Generales

1.1 Introducción

Arauco es una de las empresas líderes nacionales en la industria forestal que enfrenta el desafío constante de mantener y fortalecer su posición en un mercado dinámico, además de ofrecer precios competitivos. La empresa se esfuerza por preservar la calidad distintiva que caracteriza a sus productos. En este sentido, la adopción de prácticas asociadas a la industria 4.0 se revela como una necesidad para mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados a las líneas productivas.

Entre las operaciones complejas, las canchas de acopio de rollizos en la planta de Nueva Aldea de Arauco cumplen un rol importante en la gestión de los recursos forestales; sin embargo, optimizar estas áreas se presenta como un desafío complejo y multifacético. La simulación ha surgido como una herramienta valiosa en este ámbito, ofreciendo una visión clara y escalable de cómo operan estas áreas y proporcionando la capacidad de identificar posibles cuellos de botella, ineficiencias o áreas de mejora.

Esta investigación se centra en comprender los procesos llevados a cabo en las canchas de acopio de Arauco, específicamente en la planta de Nueva Aldea, con el objetivo de identificar los principales cuellos de botella.

Mediante un enfoque mixto que combina la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos, y haciendo uso de herramientas de simulación como SIMIO, esta investigación busca proporcionar nuevas perspectivas que no solo benefician a Arauco, sino que también contribuyan al avance del conocimiento en el campo de la industria forestal, ofreciendo un modelo replicable para otras empresas del sector.

1.2 Objetivos

- El objetivo general de esta tesis es mejorar el manejo de rollizos dentro de las canchas de acopio del mismo, mediante la correcta simulación de las canchas del patio de maderas, así como comprender los procesos operativos en las canchas de acopio de rollizos de la planta de Nueva Aldea de Arauco.

Objetivos específicos:

- Realizar un levantamiento de información del espacio disponible en el patio de maderas, incluyendo dimensiones de las canchas, columnas y cuarteles.
- Desarrollar un modelo de simulación en el software SIMIO, que permita visualizar la actividad dentro de las canchas.
- Implementar y validar la simulación para tener un alto grado de confianza.
- Analizar los resultados obtenidos en la simulación, junto al impacto que generan y se desarrollarán mejoras.

1.3 Alcances

Para una simulación factible, se deben conocer y definir los alcances dentro de los procesos involucrados, desde la revisión bibliográfica hasta la simulación y posterior a eso la revisión de sus resultados.

- **Revisión bibliográfica:** Investigación bibliográfica mediante el uso de palabras clave y filtros específicos centrados en el enfoque principal del proyecto. Se explorarán aspectos relacionados con la gestión de inventario, administración de canchas, operatividad, alimentación y bloqueo de columnas, apilado, restricciones de consumo, la industria de celulosa, así como la simulación mediante SIMIO o similares y organización del inventario.
- **Ámbito de aplicación:** Esta simulación se centra en el análisis y la simulación del patio de madera donde se almacenan los rollizos. Esto incluye la gestión de los camiones desde su ingreso y asignación a las canchas, donde descargan el suministro y se retiran, así como también la coordinación de los carros ya suministrados que ingresan para abastecer las líneas de producción.
- **Simulación de escenarios:** Esta simulación facilitará la comparación entre diferentes escenarios. El primer escenario se centrará en la representación de la actividad actual de la planta, mientras que los demás estarán dirigidos a la optimización de recursos, espacios e inventario dentro de las instalaciones.
- **Visualización de Procesos y Maquinaria:** Facilitara la visualización de los procesos llevados a cabo y la maquinaria implicada en la cancha específica, junto con sus respectivos cuarteles dentro de la planta de Nueva Aldea.

1.4 Limitaciones y delimitaciones

Al igual que los alcances, se deben conocer las limitaciones y delimitaciones, ya sean internas o externas al proyecto.

Limitaciones:

- Preasignación de orden de las columnas dentro del cuartel: La planta maneja ciertos criterios para organizar y apilar los rollizos en la conformación de las columnas.
- Información confidencial propia de la planta y empresa: Se utilizarán datos proporcionados por la empresa Arauco para llevar a cabo el análisis y las simulaciones, modificando algunos valores para mantener la confidencialidad de los datos.
- Limitaciones propias del software simio: Esta herramienta da una simulación que es aproximada a la realidad, lo que implica cierto porcentaje de error al aplicar los cambios en la vida real.

Delimitaciones:

- Estudio escalar: El estudio se limitó exclusivamente al área de las canchas y operaciones de la planta de Nueva Aldea, dejando fuera otras áreas e instalaciones dentro de la planta.
- Tiempo dedicado a proyecto: El tiempo dedicado al proyecto se estableció en un plazo de cuatro meses. Este lapso presentó desafíos para el equipo, ya que debían conciliar sus estudios universitarios, así como otros proyectos académicos y el trabajo.

Chapter II: Problema y solución

2.1 Caracterización de la empresa

Arauco es una empresa conocida en Chile con una larga historia en el sector forestal y de celulosa. Se estableció en septiembre de 1979 como resultado de la unión de dos empresas forestales importantes en Chile, Celulosa Constitución S.A. y Bosques Arauco S.A. Esta empresa ha producido productos utilizando recursos forestales a lo largo de los años. Sin embargo, Arauco ha logrado aumentar su presencia en el mercado global y establecer una posición destacada en varios países de América del Sur, América del Norte, Europa y Asia. De esta manera, sus productos forman parte de la cadena de valor en las industrias de papel, ropa, construcción, empaque y energía renovable. También, esta organización tiene varios negocios distribuidos de la siguiente manera. Las áreas comerciales más relevantes son las siguientes:

- El área forestal incluye todas las actividades relacionadas con la plantación, mantenimiento, cosecha, transporte y compraventa de árboles y terrenos.
- El área de derivados de madera, abarca los productos y procedimientos utilizados para obtener derivados de madera, principalmente mediante procesos físicos realizados en aserraderos. La madera aserrada, los paneles, las molduras, las chapaduras y otros productos se encuentran entre estos productos.
- El área de producción de celulosa se encarga de transformar la madera en materia prima para diversos fines. Este proceso abarca operaciones logísticas y una serie de procedimientos físicos y químicos. La celulosa se obtiene mediante el proceso de pulpage, el cual implica separar las fibras de la madera de la lignina, un componente que aporta dureza y resistencia. Para ello, se utilizan productos químicos conocidos como licores. Una vez eliminado el porcentaje adecuado de lignina, la pulpa se somete a un proceso de blanqueamiento para asegurar la pureza y eliminar cualquier residuo remanente que haya quedado de lignina.

Finalmente, es importante destacar que Arauco opera cuatro plantas de celulosa a nivel nacional y una en el extranjero. Sin embargo, este estudio se centrará en la planta de Nueva Aldea, ubicada en Autopista del Itata Km. 21, Nueva Aldea, Ránquil, la cual contempla una capacidad productiva anual de 1.027.000 toneladas métricas de celulosa kraft blanqueada, tanto de Pino como de Eucalipto.

Misión: La empresa produce y gestiona recursos forestales renovables. Es una entidad global que asume los desafíos de su presencia en el mundo. Además, se dedica a la creación de productos que mejoran la vida de las personas.

Visión: Arauco se compromete a contribuir a mejorar la vida de las personas mediante el desarrollo de productos forestales diseñados para abordar los desafíos de un mundo sostenible.

Valores:

- Seguridad (siempre, lo primero): Priorizan la seguridad de las personas, ya que tener cero accidentes es su meta.
- Compromiso (trabajan con pasión): Aceptan desafíos y trabajan con pasión y esfuerzo para hacerlos realidad.
- Excelencia e innovación (quieren ser mejores): Son líderes en lo que emprenden porque desafían sus capacidades y deben ser exigentes con sus metas, logrando ser eficientes e innovadores al lograrlas.
- Trabajo en equipo (juntos son más): Respetan a las personas, valoran el aporte de cada uno y reconocen que avanzan más rápido y alcanzan mayores logros cuando trabajan en equipo."
- Buen ciudadano (Respetan el entorno y crean valor): Actúan pensando en el futuro. Su trabajo contribuye al bienestar social, al mismo tiempo respeta el medio ambiente y a sus comunidades vecinas.

2.2 Antecedentes de la problemática

Arauco, una empresa forestal con medio siglo de experiencia, se sitúa en el sur de Chile dedicada al desarrollo de productos de recursos forestales renovables. Ofrece una amplia gama de productos sustentables y de alta calidad, como celulosa, celulosa textil, madera, paneles y energía. Asimismo, cuenta con un centro de investigación y desarrollo enfocado en garantizar la sostenibilidad a largo plazo, mediante el estudio investigativo, desarrollo y aplicación de avances tecnológicos en diversas áreas.

El estudio se enfocará en la planta de Nueva Aldea, especializada en la producción de pulpa de celulosa de tres especies distintas: Pino Radiata, Eucalipto Globulus y Eucalipto Nitens, ubicada en la región de Ñuble, comuna de Ránquil, de la cual solo trabajará con el Eucalipto Globulus.

Con el fin de poder comprender los diversos procesos realizados en la planta de Nueva Aldea, se realizará la simulación de los procesos dentro de las canchas 4, 6 y 7, conformadas por 3 cuarteles cada una y de 4 columnas. Esto ayudará no solo a la comprensión de los procesos realizados, sino también, se podrá observar el tiempo de proceso y de viajes dentro de la planta. Además, se buscará detectar posibles errores o fallos en los procesos, así como, posibles cuellos de botella que puedan existir dentro de las líneas productivas.

Es por eso que cobra importancia el programa SIMIO, el cual, será utilizado para la tarea de la simulación de dichos procesos. Este programa generará simulaciones escalares lo más cercanas a la realidad, aunque se reconoce que estas serán representativas y no podrán simular la realidad al cien por ciento.

2.3 Problemática detectada

Al comienzo del modelo de simulación, se encontraron diversas dificultades en la representación precisa de la logística dentro de la planta de Nueva Aldea. Aquí radica la importancia de contar con datos confiables, tiempos de proceso precisos y una visualización clara de los diversos procesos que intervienen en la línea productiva.

El proyecto, abarca desde la recepción de los rollizos tanto en cancha como el porcentaje de camiones enviado directamente a las líneas, pasando por su almacenamiento en los cuarteles, hasta aspectos como la logística de los camiones, finalizando con el envío de los rollizos a las líneas productivas.

Mediante el análisis de los datos recopilados y las visualizaciones generadas por el modelo de simulación, se pueden identificar diversas fallas y errores que impactan en la optimización de los procesos, en los que se encuentran los tiempos de descarga de camiones para la formación de columnas, los tiempos de carga de los camiones que abastecen las líneas desde las columnas, así como los tiempos de espera para los camiones cuando las columnas están ocupadas con actividad en ellas, ya sea su carga o descarga de rollizos. Por otro lado, la falta de optimización del proceso se refiere a la ineficiencia en la ejecución de las actividades logísticas, lo que respecta a los tiempos prolongados y recursos subutilizados, los cuales pueden manifestarse en retrasos en la carga y descarga de camiones, congestión en las áreas de trabajo y una utilización inadecuada de los espacios disponibles. Asimismo, se destaca la complejidad del proceso logístico en las canchas, que abarca aspectos como el volumen de camiones, la subutilización de espacios disponibles y la identificación de varios cuellos de botella como los ya mencionados.

Por lo tanto, se puede inferir que las simulaciones realizadas han revelado que las principales problemáticas detectadas se deben a la falta de optimización en los procesos, una distribución ineficiente de espacios y una subutilización de los recursos disponibles para el suministro de la planta. Estas problemáticas representan un riesgo para la empresa, ya que descuidar la optimización de estos recursos podría resultar en una inestabilidad en la planta debido a problemas de suministro y pérdida de recursos económicos.

2.4 Planteamiento de solución

El estudio se centra en abordar las problemáticas identificadas en el programa de simulación SIMIO, con el objetivo de proponer soluciones efectivas que mejoren la eficiencia y operatividad.

Para ello, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Primero, al abordar la problemática al ser desarrolladas en el programa de simulación SIMIO, se realiza un reordenamiento de las canchas para observar si existen cambios positivos en temas de reducción de tiempos de viajes y distancias entre los distintos puntos.
- Segundo, para abordar los cuellos de botella identificados, se propondrá agregar una grúa estática adicional por cancha, además de las cinco grúas móviles existentes que tiene, con el objetivo reducir los tiempos de carga de los camiones que abastecen las líneas desde las columnas, así como también disminuir el tiempo de espera por la actividad dentro de la misma, esto aplicado en el modelo de simulación.
- Tercero, al desarrollar las problemáticas en el modelo de simulación, se agrega camiones para verificar si existen cambios respecto a la disminución de tiempos en los procesos y verificar si genera estabilidad en los suministros de la planta.

Chapter III: Revisión bibliográfica y metodología

3.1 Revisión bibliográfica

Como se sabe, la antigüedad después del corte de los rollizos altera la producción de celulosa, ya que, se intenta priorizar su consumo sin perjudicar el producto final, que en este caso sería la pulpa de celulosa. Según Vidal (2018), se realizó un estudio para desarrollar un software como propuesta de gestión para los patios de madera en las plantas de Celulosa Arauco. Este software aborda la optimización del tiempo, medido en horas-hombre, de los jefes de patio. En lugar de generar un informe, se muestra el estado actual de la cancha con una propuesta de consumo diario a través de un reporte automático, basado en información proporcionada por el área de consumo. Para su desarrollo, se utilizaron diversas herramientas como Business Intelligence (BI), Tableau, Power BI, Qlik Sense, entre otras. Esta iniciativa generó una propuesta de consumo que fue experimentada y resultó en mejoras notables, llegando a reemplazar más de 150 correos electrónicos gracias a la aplicación. Esta aplicación fue utilizada exitosamente por ingenieros, técnicos, gerentes y subgerentes, lo que permitió detectar malas prácticas debido a la prevención de alteraciones.

Por otro lado, García Hernández (2013), realizó un estudio con modelos de simulación enfocados en los terminales ferroviarios. Estos terminales tenían la necesidad de ser flexibles y simples ante la variedad de situaciones que podrían ocurrir durante el cargamento y la entrega de pedidos en terminales ferroviarios de contenedores. Dado que los contenedores tenían diferentes características y urgencias, este desafío se abordó en la tesis doctoral de la Universidad Carlos III de Madrid, titulada "Diseño y desarrollo de una plataforma de simulación para apoyar el diseño y rediseño de terminales ferroviarias de contenedores". Este problema fue resuelto mediante la creación de una plataforma de simulación flexible, construida a través de modelos desarrollados con Witness, complementada con una sección de posibles mejoras futuras.

Fuentes Rosas, L., López Cabrera, A. G., Rojas Mora, L. (2021), realizaron un estudio de simulación a un sitio de taxis que ofrece los servicios de transporte colectivo y especial, con el objetivo de determinar el número de unidades óptimo a utilizar. Para estimar las características del sistema se tomaron datos de las variables independientes: tiempo entre llegadas de los pasajeros y tiempo de viaje redondo a los diferentes destinos.

Las bases de datos de las variables fueron tratadas estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste, encontrando que se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. Para la construcción del modelo de simulación (MS) se utilizó el simulador SIMIO, que ofrece las ventajas de relativa facilidad en su programación y provee una animación en 3D que lo hace sumamente atractivo.

Se obtuvo, con un 95% de confianza un modelo representativo del sistema real. Los resultados arrojaron una utilización promedio de las unidades de transporte colectivo del 73%. Por medio de Teoría de líneas de espera se determinó el número de unidades óptimas a emplear, mismas que al correrse nuevamente el modelo arrojaron un porcentaje de utilización del 87%, ofreciendo una mejora del 14% en el indicador.

Sánchez (2017), presentó propuestas de mejora a través de la simulación por eventos discretos de procesos para dar solución al tiempo promedio de ciclo en que un camión se encuentra dentro del área de preparación de maderas en la Planta Celulosa Nueva Aldea, ARAUCO S.A. Actualmente el tiempo de estadía promedio que se encuentra un camión al interior de la planta es de 45 minutos, la meta propuesta es reducir dicho parámetro en un tiempo inferior a 40 minutos disminuyendo cerca de un 18% el tiempo que se tiene en la actualidad.

La investigación contempla, la recopilación de datos y el análisis de la situación actual, la descripción del modelo de atención de los camiones que ingresan a la planta, así como, la identificación de las variables relevantes que ayuden a solucionar el problema de tiempos, la identificación de los cuellos de botella que ralentizan el proceso, la propuesta de nuevos escenarios que eventualmente disminuirán dicho parámetro y que permitirán decidir sobre la mejor alternativa bajo el criterio del menor tiempo al interior de la planta y, finalmente el impacto operativo que genera la nueva propuesta en términos de costos por ralentí de la flota de camiones los cuales son cercanos a los 9 mil millones de pesos chilenos anuales. Todo esto con la ayuda del software de simulación SIMIO LLC Simulator.

S. Candia (2023), llevó a cabo un estudio de simulación en el área de recepción y almacenamiento de madera en la planta de Celulosa Arauco y Constitución SA, Planta Nueva Aldea, con el propósito de evaluar estrategias que optimizaran el sistema de patio de maderas. El estudio se enfocó en abordar el problema identificado, que consistía en que el 32% de los camiones excedían el tiempo máximo permitido dentro de la planta, establecido en 50 minutos.

Mediante la implementación de Simio, pudo identificar las causas del prolongado tiempo de espera experimentado por los camiones, problemas que se originaban en los tiempos de espera en las líneas de producción, donde se encontró que la Línea 1 tenía un tiempo de espera promedio de 4,20 minutos, mientras que la Línea 2 presentaba un tiempo de espera promedio de 25,32 minutos . Asimismo, las canchas 2, 5 y 7 mostraron tiempos de espera promedio de 3,81 minutos, 5,42 minutos y 142,38 minutos respectivamente. Sin embargo, el mayor tiempo de espera promedio se registró en Pehuén, con 237,55 minutos.

Para abordar estos problemas desarrolló diversas soluciones, entre las cuales destacó la ejecución del segundo experimento que lograba reducir los tiempos de espera en un 8,29%, sin requerir inversión económica. Además, se identificó un tercer experimento que redujo la cola de espera en las líneas 2 y 3, disminuyendo así el número de camiones en espera.

3.2 Metodología

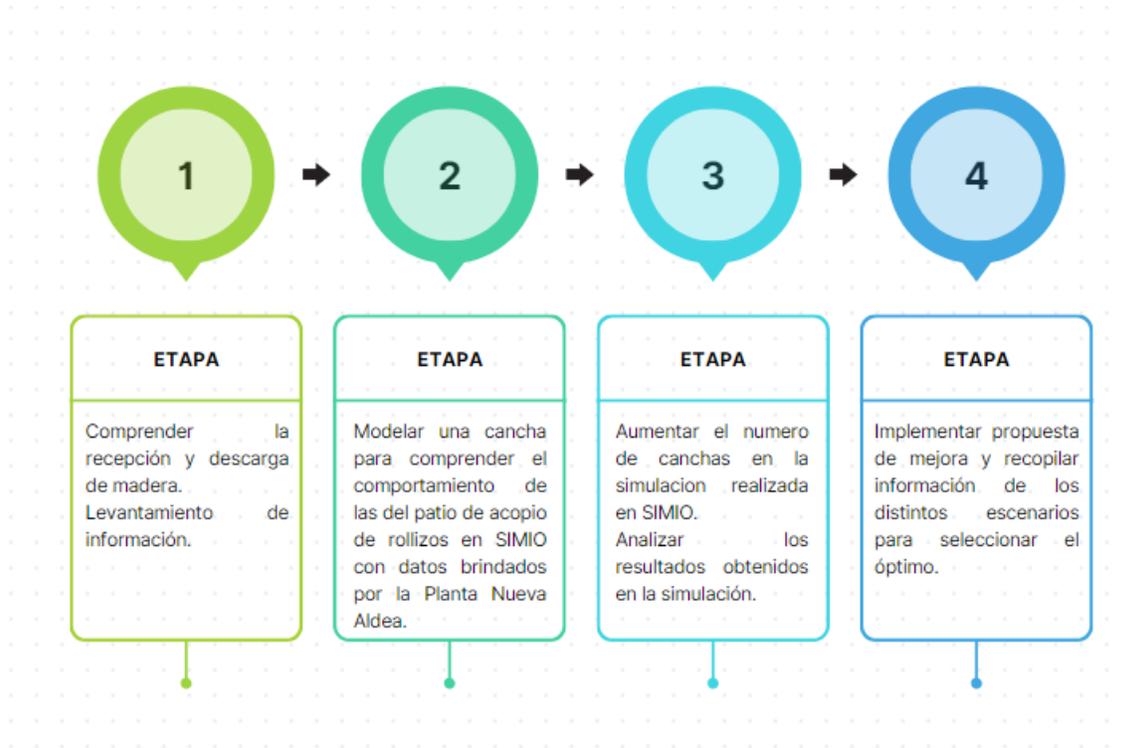


Figure 3.1: Metodología por etapas.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de este proyecto comprende cuatro etapas, como se observa en la figura 3.1:

Etapa 1: Recolección de información. En esta etapa, se necesita comprender cómo se recibe y descarga la madera en las canchas, así también el proceso en creación de columnas que conforman los cuarteles, para comenzar a recopilar datos.

- **Comprensión del funcionamiento de la cancha y suministro:** Se requiere entender el proceso desde que los camiones llegan a la planta, hasta que son dirigidos a sus zonas de descarga respectivas según la necesidad operativa.
- **Levantamiento de información y recolección de datos:** Se inicia la recopilación de información proveniente de fuentes primarias, principalmente de los trabajadores de Arauco.

Etapa 2: Simulaciones en SIMIO y pruebas. En esta etapa, se ajusta la información recopilada y el comportamiento observado de la planta para realizar una simulación acotada.

- Simulación acotada: Se selecciona una de las canchas para realizar una simulación acotada, comenzando con la cancha 7 y sus cuarteles y columnas, con el objetivo de comprender la realidad de la planta en términos generales.

Etapa 3: Simulación y validación. En esta etapa, se examinan los resultados de la simulación acotada y se crea una simulación de la planta más cercana posible a la situación real, realizando ajustes y sugerencias de mejoras.

- Simulación de las tres canchas: Se incorporan las dos canchas restantes con sus cuarteles y columnas, realizando modificaciones para mantener un flujo constante de camiones y reducir los cuellos de botella.
- Análisis de resultados: Se estudian y analizan los resultados obtenidos en SIMIO, definiendo las mejoras correspondientes a partir de la identificación de cuellos de botella y otros problemas.

Etapa 4: Posible propuesta. En esta última etapa, se analizan los datos de los distintos escenarios simulados para seleccionar la mejor propuesta de mejora que optimice recursos y tiempo.

- Resultados de los escenarios: Se comparan los resultados del modelo diseñado con los escenarios propuestos para determinar cuál ofrece un cambio con un tiempo menor que la situación actual en Nueva Aldea.

3.3 Modelo de Simulación

Introducción a la simulación: La simulación, es una técnica utilizada en diversos campos para imitar el comportamiento de sistemas complejos a través de modelos computacionales (Law & Kelton, 2000). Permite entender cómo funcionan estos sistemas y cómo podrían reaccionar ante diversos escenarios. La simulación ofrece un entorno virtual donde se pueden probar hipótesis, evaluar estrategias y tomar decisiones informadas en lugar de experimentar en el mundo real, donde los costos y los riesgos pueden ser altos.

Los modelos de simulación van desde simples representaciones, hasta sistemas extremadamente detallados que incluyen múltiples variables y relaciones (Robinson, 2004). Se utilizan en áreas como la ingeniería, la logística, la medicina, la economía, la gestión empresarial y muchas otras para resolver problemas difíciles de manera eficiente.

La simulación se basa en la generación de datos y resultados a partir de la interacción de variables definidas por el usuario (Kelton et al., 2022). Estos datos pueden ser analizados para obtener una mejor comprensión acerca del comportamiento del sistema y de esa manera optimizar su funcionamiento. Asimismo, la simulación permite realizar experimentos virtuales que serían difíciles, costosos o incluso imposibles de realizar en la realidad.

Simio: Es un software de modelización, simulación y animación 3D utilizado en diversos campos como la ingeniería, la logística, la medicina, la economía y la gestión empresarial (SIMIO, 2024). Este programa combina la técnica de eventos discretos con una interfaz intuitiva y estándares comunes de interfaces, lo que lo vuelve una herramienta flexible y adaptable a diversas industrias. Por otro lado, su principal función es facilitar la toma de decisiones al proporcionar análisis predictivos del sistema y una visión prospectiva del rendimiento con capacidad para replicar el verdadero comportamiento de procesos físicos.

Chapter IV: Resultados

4.1 Área patio de maderas

La planta Celulosa Nueva Aldea, operada por Arauco, cuenta con un sistema logístico y de almacenamiento para garantizar un flujo eficiente de materias primas hacia sus líneas de producción. Dispone de nueve áreas designadas para el acopio de rollizos o astillas, lo que le permite manejar diversos tipos de madera, como Pino, Eucalipto Nitens y Eucalipto Globulus. Estas áreas de almacenamiento están organizadas de manera específica para cada especie, de la cancha 1 a la 3 y la 8 se destinan al Pino, mientras que la 4, 5 y la 7 se reservan para el Nitens, y la 6 y la 9 para el Globulus.

Dentro de cada cancha, se disponen de cuarteles subdivididos por pasillos divisores de veinte metros para facilitar el ingreso de los camiones y el acceso a los materiales. Estos cuarteles están conformados con al menos quince columnas de diversas dimensiones, lo que posibilita un almacenamiento seguro de los rollizos. Para mantener la continuidad operativa de materiales hacia las líneas de producción, la planta cuenta con tres líneas de alimentación y cinco grúas encargadas de la carga y descarga de los camiones.



Figure 4.1: Área patio de maderas y cuarteles.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 KPI

El presente trabajo se centra en la descripción y aplicación de un KPI específico orientado a identificar y eliminar los cuellos de botella. Para su elaboración, se han considerado una serie de puntos claves que abarcan desde la selección de métricas hasta la evaluación continua del desempeño del KPI:

- El objetivo del KPI consiste en identificar el tiempo promedio de permanencia de los camiones en planta desde el momento que ingresan a las canchas y abandonan la misma, simulando los procesos en SIMIO.
- La métrica seleccionada para la medición del tiempo dentro del proceso es el promedio de tiempos de "Tally", el cual se encarga de la medición del tiempo en proceso por cada entidad.
- El objetivo de rendimiento es mejorar la eficiencia al disminuir los tiempos de procesamiento dentro de la simulación.
- Los resultados obtenidos se compararán con los tiempos de planta; al observar las coincidencias y haber encontrado los tiempos, se implantarán mejoras y se compararán los tiempos.
- Se observarán las tendencias a lo largo del tiempo para identificar patrones recurrentes que puedan indicar tiempos de demora.
- Una vez identificados los tiempos promedios de permanencia, es importante abordar la raíz del problema. Las soluciones serán pensadas y sugeridas dentro del rango de acción del proyecto.
- Se desarrollarán múltiples simulaciones adicionales para la comparación de datos, involucrando más tiempo dentro de estas.

4.3 Simulación

Para validar el correcto funcionamiento del modelo, se llevaron a cabo simulaciones de 4 días durante las cuales se registraron la cantidad de rollizos inventariados, la cantidad de camiones que ingresaron a las canchas, la cantidad de rollizos retirados de las columnas para alimentar las líneas de producción, así como la cantidad de camiones enviados directamente a las líneas de producción. De acuerdo con el funcionamiento explicado en esta área de la planta, se procedió a realizar el modelado dentro del programa Simio, el cual se presenta en la Figura 4.2.

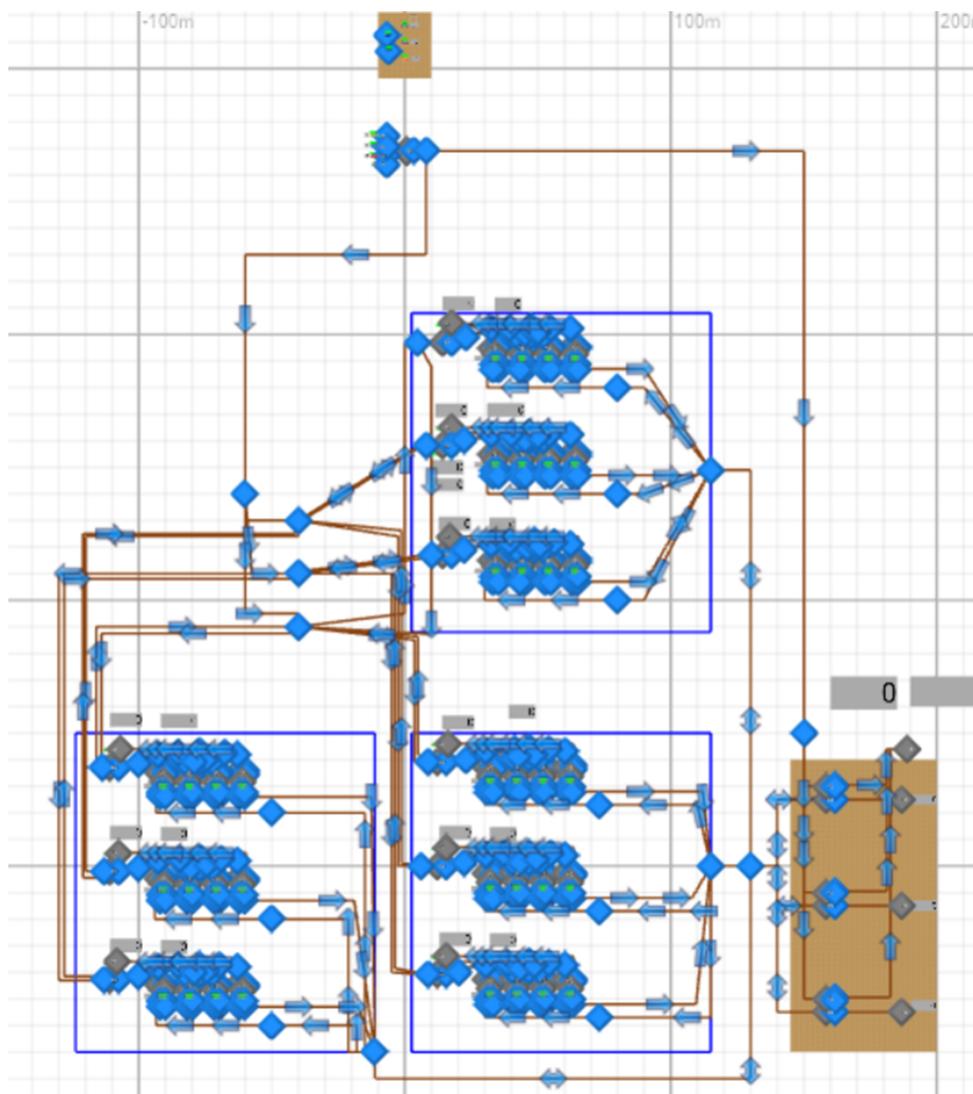


Figure 4.2: Simulación del área del patio de maderas.

Fuente: Elaboración propia.

En el inicio del modelo, se da comienzo con la llegada de los camiones, los cuales están representados como "ModelEntity" y entran al modelo gracias a su asociación con sus respectivos "Source". Estos últimos contienen los tiempos de arribo proporcionados por la Planta, los cuales fueron utilizados para un "Rate Table", determinados por un "Expression Property" que utiliza la distribución "Random.Uniform", considerando tres tipos diferentes de camiones, cada uno con tiempos de llegada distintos. Tanto los camiones como los rollizos deben ingresar al "Combiner" para generar camiones con cargamento de rollizos de madera. Todos los recorridos que realizan los camiones dentro del modelo están representados por "Path" (programados según la distancia entre los puntos) o "TimePath" (programados según el tiempo del trayecto).

Para la distribución de los camiones con carga se emplea un "transfernode", el cual determina la cancha de destino según la disponibilidad y respetando la repartición del 80% que va destinado a las canchas, mientras que el otro 20% es enviado directamente a las líneas. Todos estos procesos están ilustrados en la Figura 4.3.

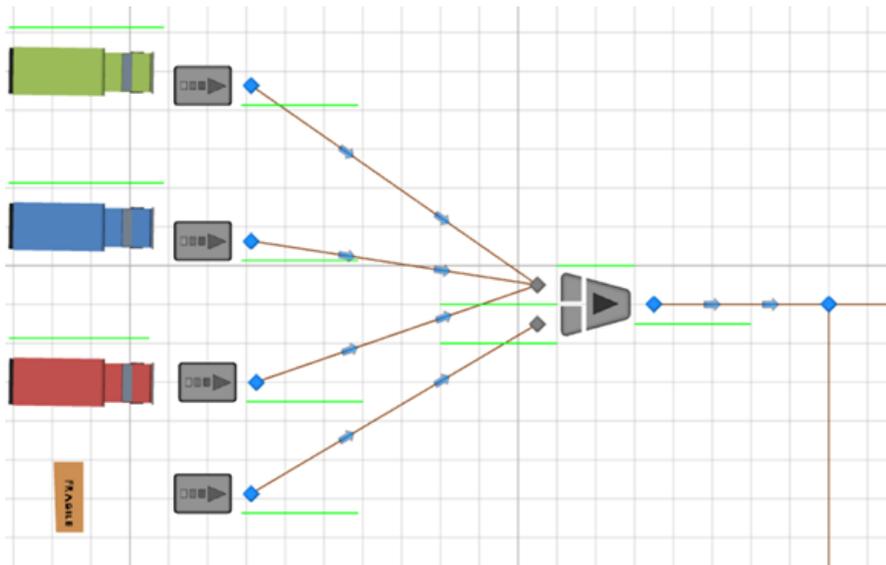


Figure 4.3: Simulación del cargamento.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a lo comentado, el modelo continua hacia las canchas estudiadas que se encuentran representadas por la Figura 4.4. En específico, ésta es la representación de la Cancha 5.

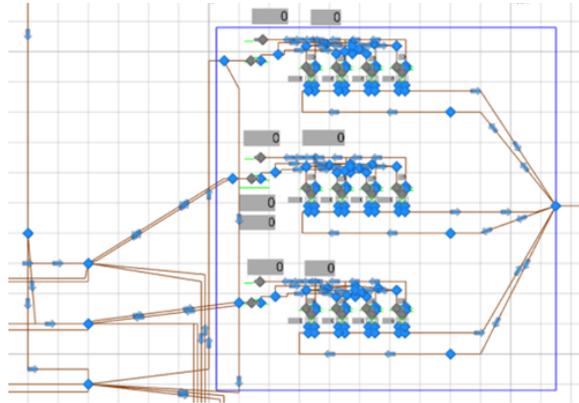


Figure 4.4: Simulación de la Cancha 5.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la Cancha se encuentran tres cuarteles, cada uno con cuatro columnas. Para representar estas secciones e ingresar a las canchas, se emplearon "Servers" que están encargados de verificar que las columnas dentro de cada cuartel estén activas. Para ello, se seleccionó el primer cuartel de esta Cancha.

Después de la llegada de los camiones, estos se dirigen mediante la decisión de disponibilidad del "transfernode", ya sea a las columnas internas (2 y 3) o a las extremas (1 y 4) según el nivel de stock. Dentro de las columnas mencionadas, se utilizaron "Separators" con el propósito de separar los camiones del cargamento de rollizos y organizar este cargamento en los "Shelf" que corresponde a la formación de las columnas. Además, una vez descargado el camión, este se retira de la columna mediante un "Sink".

Estos elementos pueden observarse en la Figura 4.5.

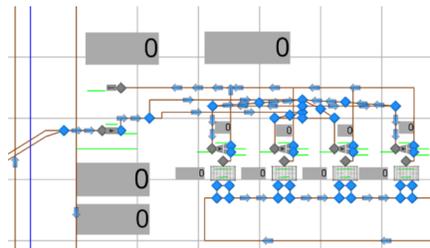


Figure 4.5: Simulación del primer cuartel de la Cancha 5.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, los rollizos son retirados por las grúas encargadas del abastecimiento de las líneas de producción. En este caso, se utilizaron cinco vehículos, lo que reduce la necesidad de crear dos entidades y se les asignó un tiempo de retiro de rollizos de las columnas similar al tiempo requerido en planta para este proceso, seguido de un tiempo de descarga en las líneas para la producción de pulpa respetando el tiempo correspondiente. Como se pueden observar en las Figuras 4.6 y 4.7.



Figure 4.6: Simulación de los camiones.

Fuente: Elaboración propia.

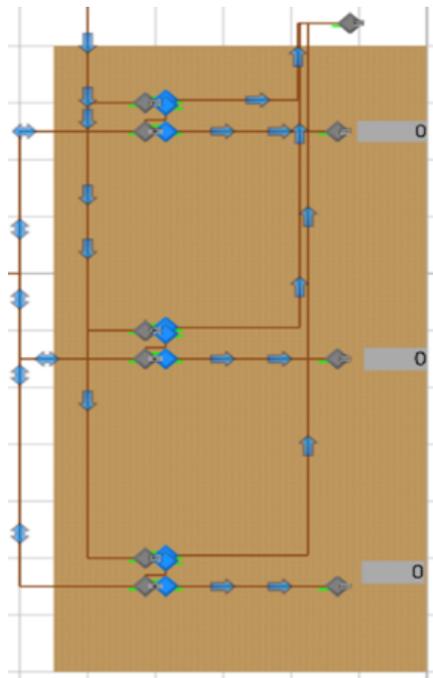


Figure 4.7: Simulación las líneas de producción.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Cálculo de réplicas

Para validar el correcto funcionamiento del modelo, se realizaron replicas, valor que se pudo determinar mediante el uso de la formula planteada en Banks et al.2010.

$$R \geq \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} \cdot S_o}{\epsilon} \right)^2$$

donde:

- S_o representa la desviación estándar de las R_o réplicas iniciales realizadas.
- El nivel de confianza es $1 - \alpha$. Para esto se utiliza el $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ (valor de la tabla normal)=1,96 para un intervalo de confianza del 95%. Para calcular S_o (Banks, 2010), podemos utilizar:

$$S_o = h_w \cdot \left(\frac{\sqrt{R_o}}{Z_{\frac{\alpha}{2}}} \right)$$

- ϵ denota el error de la verdadera media desconocida (diferencia entre la media muestral y la media poblacional).

Para la obtención del número de réplicas R,

- Primero se debe asumir una muestra inicial, la cual sera llamada R'_o .
- Esa muestra inicial de R_o (Réplicas independientes), será utilizado para obtener los estimadores iniciales de S_o (Varianza poblacional).
- Posteriormente se encuentra el valor de R.

Cálculo de las réplicas del modelo sin modificaciones:

Para ello se utilizaran los siguientes datos que se pueden observar en la Figura 4.8:

- $R_o = 10$ (número de réplicas iniciales).
- $h_w = 4,6043$ (ancho del intervalo de confianza obtenido de la simulación).
- $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1,96$ (valor estadístico obtenido desde la tabla de probabilidades normal).
- $\epsilon = 4,199$ (es el 1% del promedio del valor esperado).

						Scenario 1			
Object Type ▲▼	Object Name ▼	Data Source ▲▼	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▼	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Model	Model	TiempoPlanta	UserSpecified	TallyValue	Observations	419,9000	411,000	430,0000	4,6043
					Minimum (Hou...	0,8037	0,8028	0,8043	0,0004
					Maximum (Ho...	13,5656	8,2671	20,0273	2,2536
					Average (Hou...	1,8763	1,4858	2,2261	0,1417

Figure 4.8: Estadísticas del tiempo de ciclo de 10 réplicas.

Fuente: Resultados de la simulación realizada en SIMIO sin modificaciones.

Calculamos,

$$S_o = 4.6043 \cdot \frac{\sqrt{10}}{1.96} = 7.43$$

Luego,

$$R \geq \left(\frac{1.96 \cdot 7.43}{4.199} \right)^2 = 12$$

En este caso, donde la simulación se ajusta fielmente a la situación actual de la planta, se ha obtenido una varianza poblacional de 7.43. Esto ha permitido determinar la cantidad final de réplicas que deben realizarse en este escenario, resultando en un total de 12 réplicas.

Cálculo de las réplicas del modelo con modificaciones (2 grúas adicionales):

Para ello se utilizaran los siguientes datos que se pueden observar en la Figura 4.9:

- $R_o = 10$ (número de réplicas iniciales).
- $h_w = 5.9029$ (ancho del intervalo de confianza obtenido de la simulación).
- $Z_{\frac{\alpha}{2}} = 1.96$ (valor estadístico obtenido desde la tabla de probabilidades normal).
- $\epsilon = 3.571$ (es el 1% del promedio del valor esperado).

						Scenario 1			
Object Type ▲▼	Object Name ▼	Data Source ▲▼	Category ▲	Data Item ▲	Statistic ▼	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Model	Model	Tiempoplanta	UserSpecified	TallyValue	Observations	357,1000	348,000	374,0000	5,9029
					Minimum (Hou...	0,8037	0,8028	0,8043	0,0004
					Maximum (Ho...	4,8132	3,4998	6,3127	0,5757
					Average (Hou...	1,6776	1,4177	1,8619	0,0900

Figure 4.9: Estadísticas del tiempo de ciclo de 10 réplicas.

Fuente: Resultados de la simulación realizada en SIMIO sin modificaciones.

Calculamos,

$$S_o = 5.9029 \cdot \frac{\sqrt{10}}{1.96} = 9.52$$

Luego,

$$R \geq \left(\frac{1.96 \cdot 9.52}{3.571} \right)^2 = 27$$

Distinto al caso anterior, en este escenario se han añadido 2 grúas encargadas de retirar el suministro de las columnas, lo que ha resultado en una varianza poblacional de 9.52. Esto ha permitido determinar la cantidad final de réplicas que deben realizarse en este escenario, resultando en un total de 27 réplicas.

4.5 Experimentos realizados

Para el adecuado estudio y comprensión de los procesos llevados a cabo en las canchas cinco, seis y siete, se realizaron tres escenarios con sus respectivas réplicas:

- Escenario 1: Para el primer escenario, se utilizaron inicialmente 10 réplicas para determinar el tiempo actual que demora la simulación, valor necesario para calcular la cantidad de réplicas requeridas para el modelo.
- Escenario 2: Para este segundo escenario, se utilizó el tiempo obtenido en el primer escenario y se aplicó la fórmula propuesta por Banks et al. (2010), previamente trabajada para calcular la cantidad de réplicas necesarias. Para el primer modelo que no contempla ninguna modificación, se obtuvieron 12 réplicas, mientras que para el segundo modelo que incorpora las 2 nuevas grúas, se obtuvieron un total de 27 réplicas.
- Escenario 3: Finalmente para este escenario, se asignaron 40 réplicas a ambos modelos con el fin de resaltar de manera más efectiva la diferencia entre ellos y el impacto que implica la incorporación de la mejora.

Todo este procedimiento se llevó a cabo con el objetivo de obtener información más detallada sobre los tiempos de procesos. Para analizar los datos obtenidos, se decidió evaluar los "FlowTime" como los "Tally", los cuales se obtuvieron mediante la creación de una "Estadística de Tally", la cual permitió generar procesos en cada "Sink", lugar donde finalmente se retiran los camiones con el propósito de calcular el tiempo de permanencia de los camiones por cuarteles desde su ingreso hasta su salida, herramientas que fueron facilitadas por SIMIO.

Para la visualización de los análisis realizados en ambos modelos, se emplearon gráficos de barras y línea, los cuales se explicaran a continuación:

- Un gráfico de barras, se utiliza para representar visualmente datos discretos, tales como datos categóricos o agrupados en intervalos. Permiten comparar cantidades, mostrar relaciones y facilitar la interpretación rápida de la información.
- Un gráfico de líneas, muestra la relación entre dos variables continuas a lo largo del tiempo o de diferentes categorías. Es utilizado para seguir tendencias, comparar datos y realizar predicciones.

Para explicar lo anterior, es necesario aclarar los elementos de SIMIO utilizados:

- El objeto "Sink", es comúnmente utilizado para representar el final de un proceso o un destino para entidades en un sistema. Es un objeto importante en Simio para modelar y simular sistemas con un punto final o destino definido para las entidades.
- El "FlowTime", en Simio se refiere al tiempo que una entidad pasa en el sistema, ya sea por población o por un Sink. Es un concepto clave para medir el tiempo que una entidad permanece en el sistema durante una simulación. El "FlowTime" es un indicador importante para comprender el rendimiento y la eficiencia de un sistema modelado en Simio.
- El objeto "Tally", en Simio se utiliza para contar un valor especificado en el elemento de cuenta estadística. Es una herramienta importante en la simulación de procesos industriales y logísticos, ya que permite llevar un registro de los valores de tiempo que demora una entidad durante el proceso de simulación.
- El "Tally Statistic", en Simio es una herramienta utilizada para contar y registrar valores específicos durante la simulación de procesos industriales y logísticos.

	Escenario 1				Escenario 2				Escenario 3			
	Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Observations	419,9000	411,0000	430,0000	4,6043	356,8333	348,0000	374,0000	4,8072	424,2250	411,0000	454,0000	2,8956
Minimum	0,8037	0,8028	0,8043	0,0004	0,8038	0,8028	0,8052	0,0004	0,8039	0,8028	0,8054	0,0002
Maximum	13,5656	8,2671	20,0273	2,2536	5,0236	3,4998	6,8037	0,5919	15,5871	8,2671	29,7045	1,3020
Average	1,8763	1,4858	2,2261	0,1417	1,7113	1,4177	1,9176	0,0886	2,0254	1,4858	3,3614	0,0985

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Average	1,8763	1,7113	2,0254

Figure 4.10: Resultados estadísticos en Horas de los ciclos de réplicas sin grúas adicionales.
Fuente: Resultados de la simulación creada en SIMIO.

Como se puede observar en la Figura 4.10, se encuentran representados los tres distintos escenarios previamente mencionados. Estos escenarios arrojaron un "Average" de 1,8763 horas para el primer caso, 1,7113 horas para el segundo y finalmente 2,0254 horas para el tercero. Estos valores permiten conocer el tiempo promedio de permanencia de los camiones de suministro que ingresan a los cuarteles dentro del modelo de simulación.

En la Figura 4.11, se pueden observar los escenarios realizados junto a la cantidad de réplicas realizadas. Además, es importante recordar que la cantidad de réplicas en el segundo escenario se obtuvo mediante la fórmula mencionada anteriormente, mientras que las réplicas

del tercer escenario fueron seleccionadas con el propósito de representar un mayor impacto en los resultados.

Scenario		Replications		Responses	
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Tiempo (Mi...
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Idle	10	10 of 10	112,579
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario3	Idle	40	40 of 40	121,523
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Comple...	12	12 of 12	102,68

Figure 4.11: Escenarios con sus respectivas réplicas.
Fuente: Resultados de las réplicas en SIMIO en minutos.

Los tiempos obtenidos fueron de 112,579 minutos para el primer escenario, 102,68 minutos para el segundo y finalmente 121,523 minutos para el tercero, mostrando un incremento de aproximadamente 18 minutos, lo cual indica una falta de estabilidad a medida que se generan más réplicas a pesar de la disminución en el segundo escenario.

Como se pueden observar en las Figura 4.12 y en la Figura 4.13, se ha representado gráficamente el tiempo promedio de permanencia de los camiones de suministro dentro de la planta en los distintos escenarios y repeticiones realizadas. Específicamente, este tiempo fue de 121.523 minutos, lo que equivale aproximadamente a 2 horas siendo el tiempo promedio más alto. Por otro lado, se registró un tiempo promedio más bajo de 102.680 minutos aproximadamente 1 hora con 43 minutos.

Sin grúa extra			
Scenario	Repeticiones		Responses
Name	Realizadas	Completed	Tiempo antes de mejora (minutos)
Scenario 1	10	10 of 10	112,579
Scenario 2	12	12 of 12	102,680
Scenario 3	40	40 of 40	121,523

Figure 4.12: Escenarios ordenados de las réplicas realizadas en SIMIO.
Fuente: Elaboración propia.



Figure 4.13: Gráfico de barras de los tiempos en minutos de cada escenario.
Fuente: Elaboración propia.

4.6 Propuesta

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se buscó mejorar el proceso desarrollado dentro de la planta agregando una grúa extra al sistema. Como propuesta de mejora, se implementó inicialmente un escenario que incorporaba una grúa adicional para la descarga y carga de camiones. Sin embargo, los resultados no mostraron una mejora significativa, por lo que se decidió agregar otra grúa adicional a la anteriormente incluida, sumando un total de dos grúas nuevas.

En el caso anterior se emplearon 12 réplicas. Sin embargo, con la incorporación de las nuevas grúas y considerando la simulación de las primeras 10 réplicas, basada en el cálculo previo realizado se determinó que para esta nueva simulación deberían ser 27 réplicas. Por consiguiente, los resultados comprenden 10 réplicas para el primer escenario, 27 réplicas para el segundo y 40 réplicas para el tercero.

Estos valores se detallan en la Figura 4.15:

	Scenario 1				Scenario 2				Scenario 3			
	Average	Minimum	Maximun	Half Width	Average	Minimum	Maximun	Half Width	Average	Minimum	Maximun	Half Width
Observations	357,1000	348,0000	374,0000	5,9029	358,5556	348,0000	374,0000	2,5721	357,4250	348,0000	374,0000	1,9116
Minimum	0,8037	0,8028	0,8043	0,0004	0,8038	0,8028	0,8052	0,0002	0,8039	0,8028	0,8054	0,0002
Maximun	4,8132	3,4998	6,3127	0,5757	5,0886	3,4998	6,8037	0,3759	5,1725	3,4998	7,1236	0,2918
Average	1,6776	1,4177	1,8619	0,0900	1,7040	1,4177	1,9210	0,0498	1,7238	1,4177	2,0630	0,0407

Figure 4.14: Resultados estadísticos en Horas de los ciclos de réplicas con 2 grúas adicionales.
Fuente: Resultados de la simulación creada en SIMIO.

Como se puede observar en la Figura 4.15, se encuentran representados los tres distintos escenarios previamente mencionados. Estos escenarios arrojaron un "Average" de 1,6776 horas para el primer caso, 1,7040 horas para el segundo y finalmente 1,7238 horas para el tercero. Estos valores permiten conocer el tiempo promedio de permanencia de los camiones de suministro que ingresan a los cuarteles dentro del modelo de simulación.

En la Figura 4.15, se pueden observar los escenarios realizados junto a la cantidad de réplicas realizadas. Además, es importante recordar que la cantidad de réplicas en el segundo escenario se obtuvo mediante la fórmula mencionada anteriormente, mientras que las réplicas del tercer escenario fueron seleccionadas con el propósito de representar un mayor impacto en los resultados. A diferencia del caso anterior, la implementación de estas 2 nuevas grúas ocasionó que el segundo escenario pasara de requerir 12 a 27 réplicas.

Scenario			Replications		Responses
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Tiempo (Minutes)
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Idle	10	10 of 10	100,656
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario2	Idle	40	40 of 40	103,427
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario3	Comple...	27	27 of 27	102,243
<input type="checkbox"/>					

Figure 4.15: Escenarios con sus respectivas réplicas.
Fuente: Resultados de las réplicas en SIMIO en minutos.

Los tiempos obtenidos fueron de 100,656 minutos para el primer escenario, 102,243 minutos para el segundo y finalmente 103,427 minutos para el tercero, lo cual indica una estabilidad a medida que se generan más réplicas.

Como se pueden observar en las Figura 4.16 y en la Figura 4.17, se ha representado gráficamente el tiempo promedio de permanencia de los camiones de suministro dentro de la planta en los distintos escenarios y repeticiones realizadas con la incorporación de estas dos grúas adicionales. Específicamente, este tiempo fue de 103,427 minutos, lo que equivale aproximadamente a 1 hora con 43 minutos siendo el tiempo promedio más alto. Por otro lado, se registró un tiempo promedio más bajo de 100.656 minutos aproximadamente 1 hora con 40 minutos.

Con dos grúas extras			
Scenario	Repeticiones		Responses
Name	Realizadas	Completed	Tiempo grúas extras (minutes)
Scenario 1	10	10 of 10	100,656
Scenario 2	27	27 of 27	102,243
Scenario 3	40	40 of 40	103,427

Figure 4.16: Escenarios ordenados de las réplicas realizadas en SIMIO.
Fuente: Elaboración propia.



Figure 4.17: Gráfico de barras de los tiempos en minutos de cada escenario.
Fuente: Elaboración propia.

4.7 Resultados de la simulación

Los tiempos promedios de permanencia de los camiones en planta se vieron disminuidos en comparación con el primer caso, que es el funcionamiento actual de planta.

Esta disminución se evidencia en los siguientes valores, tal como se muestra en la Figura 4.20, resultando ser de 112.579 minutos, equivalente a aproximadamente 1 hora con 53 minutos siendo este el valor mínimo para el escenario 1, y 121.523 minutos, aproximadamente 2 horas para el escenario 3.

En los escenarios que implementaron la mejora, el tiempo promedio más alto se registró en el escenario 3 con 103.427 minutos, aproximadamente 1 hora con 43 minutos, a diferencia del otro escenario donde el tiempo promedio más bajo fue de 100.656 minutos, aproximadamente 1 hora con 40 minutos que corresponde al escenario 1.

Estas variaciones se visualizan de manera más clara en la Figura 4.20:

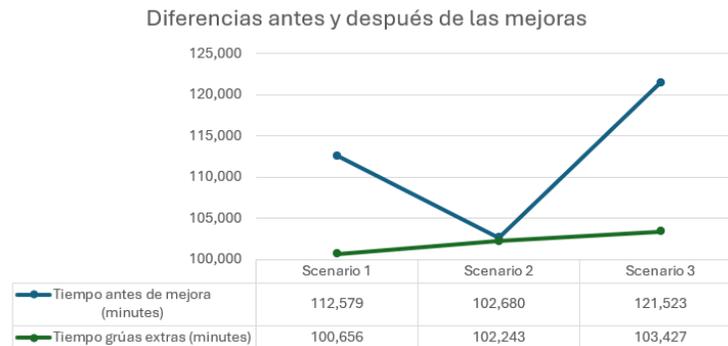


Figure 4.18: Resultados comparativos de ambas simulaciones.

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la simulación sin la implementación de la mejora muestra variaciones a medida que se realizan más réplicas. Por el contrario, el escenario con la mejora implementada tiende a ser más estable a medida que se generan más réplicas del caso.

Chapter V: Conclusión

El proyecto presentado resalta la importancia de realizar simulaciones previas de los procesos productivos, ya que estas proporcionan una mayor comprensión de la interacción entre los distintos elementos involucrados. A su vez, permite evaluar la eficacia de las mejoras propuestas evitando los costos asociados en la realidad.

En la simulación, se examina el funcionamiento de la Planta de Nueva Aldea, desde la entrada de la materia prima hasta el estudio del flujo de alimentación de las líneas productivas, pasando por las canchas cinco, seis y siete, así como su interacción con los cuarteles y columnas. También se visualiza la complejidad en estos procesos, identificando posibles áreas de mejora..

Los resultados de las simulaciones realizadas muestran la efectividad de este enfoque y para garantizar la fiabilidad de los resultados, se llevaron a cabo múltiples replicas tomando como referencia el promedio de estas para obtener un modelo matemático representativo. Por ende, los escenarios de simulación inicialmente incluyeron 10, 12 y 40 replicas, mientras que para las simulaciones con mejoras se utilizaron 10, 27 y 40 replicas.

En cuanto a los resultados, se calculó el tiempo promedio total de procesamiento, que representa el tiempo que una unidad permanece en el modelo desde su entrada hasta su salida. En los tres escenarios iniciales los tiempos promedio fueron de 112,579 minutos (10 replicas), 102,680 minutos (12 replicas) y 121,523 minutos (40 replicas).

Se evaluó una opción de mejora para reducir estos tiempos promedio y optimizar los procesos, por lo cual se añadieron dos grúas adicionales. Esto resultó en una disminución del tiempo total de producción con una reducción promedio del 8,64%, una mediana del 10,59% y un máximo del 14,89%.

Después de la implementación de las mejoras, los tiempos promedio de producción fueron de 100,656 minutos (10 replicas), 102,243 minutos (27 replicas) y 103,427 minutos (40 replicas). Finalmente, la adición de dos grúas extras en el modelo de simulación representa una mejora significativa en el ciclo productivo como se evidencia en las mediciones realizadas, por lo cual se recomienda considerar la implementación de esta medida en la práctica real.

5.1 Bibliografía utilizada para el desarrollo de la investigación.

Simulación y optimización de la logística de materiales y productos finales asociados a una línea de envasado de latas. (Achkara, 2015) de Achkara V., Picechb L. y Méndez C..

Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos (Alejandro, 2014) Fález Blasco, Alejandro

Diseño de una línea de costura mediante la simulación en SIMIO y balanceo de líneas. (Aguilar Lasserre, 2018) de Aguilar Lasserre, Alberto Alfonso. Alavés Durán, R. Rodríguez Durán, Airam. Moras Sánchez, Constantino Gerardo. Alvarado Elías, A.

Estudio de simulación del patio de maderas de celulosa Arauco y constitución planta nueva aldea (Candia Rodríguez, 2023) de Candia Rodríguez, Solange.

Vehicle Routing Problem with Split Delivery and Transshipment (Maynard Etchepare, 2023) de Maynard Etchepare, Renato.

Diseño de una línea de costura mediante la simulación en simio y balanceo de líneas. Computers (Aguilar Lasserre, 2018) de Aguilar Lasserre, Alberto Alfonso. Alavés Durán, R. Rodríguez Durán, Airam. Moras Sánchez, Constantino Gerardo. Alvarado Elías, A.

Evaluación de una línea de producción de embutidos utilizando Simulación en Simio y la Teoría de Triz para proponer estrategias de mejora en las células de trabajo (Hernández Bonilla, 2021) de Cortés Robles, Guillermo. Hernández Bonilla, Marisol. Moras Sánchez, Constantino Gerardo.

Análisis de la red logística de un cruce vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo (Fuentes Rosas. L, 2019) de Fuentes Rosas. L, López Cabrera A.G, Tobón Galicia. L. G, Moras Sánchez. C. G.

Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxis, usando simulación en Simio (Fuentes Rosas. L, 2021) de Fuentes Rosas. L, López Cabrera A.G, Rojas Mora. L.

Simulación de la descarga de rollizos para la mejora de tiempos en el área de recepción y preparación de maderas, Planta Celulosa Arauco, Nueva Aldea (Hoz Riquelme, 2017) de Hoz Riquelme, Diego Andrés.

Simulation Modeling with SIMIO: A Workbook, Fourth Edition (Fuentes Rosas. L, 2019) de Joines, Jeffrey Allen. Roberts, Stephen Dean.

Estudio comparativo de diferentes modelos de simulación de producción con “Simio” y “Arena” (Martínez Carrasco, 2015) de Martínez Carrasco, Cristina.

Diseño e implementación de herramientas de asignación diaria de contenedores minimizando el costo logístico para una empresa forestal (URREA, 2020) de Pérez Urrea, Juan Francisco Javier.

Bibliografía

- Achkara, L. M. C. A., Victoria G. Picechb (2015). Simulación y optimización de la logística de materiales y productos finales asociados a una línea de envasado de latas. *Simulation Logistics*, 11, 125–136.
- Aguilar Lasserre, R. R. D. A. M. S. C. G. A. E. A., Alberto Alfonso. Alavés Durán (2018). Diseño de una línea de costura mediante la simulación en simio y balanceo de líneas. *Computers, Industrial Engineering, Simulation Logistics*, 6, 742–746.
- Alejandro, F. B. (2014). *Modelización y simulación con SIMIO de procesos industriales y logísticos*. Ph.D. thesis Universidad Zaragoza.
- Candia Rodríguez, S. (2023). Estudio de simulación del patio de maderas de celulosa arauco y planta nueva aldea en constitución.
- Fuentes Rosas. L, R. M. L., López Cabrera A.G (2021). Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxis, usando simulación en simio. *Journal of Operations Research*, 1, 1–5.
- Fuentes Rosas. L, T. G. L. G. M. S. C. G., López Cabrera A.G (2019). Análisis de la red logística de un cruceo vial utilizando simulación en simio para evaluar la alternativa de colocar un semáforo. *Computers Industrial Engineering*, 1, 1–6.
- Hernández Bonilla, M. (2021). *Evaluación de una línea de producción de embutidos utilizando Simulación en Simio y la Teoría de Triz para proponer estrategias de mejora en las células de trabajo*. Ph.D. thesis Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Hoz Riquelme, D. A. (2017). *Simulación de la descarga de rollizos para la mejora de tiempos en el área de recepción y preparación de maderas, Planta Celulosa Arauco, Nueva Aldea*. Ph.D. thesis Universidad Andres Bello.
- Martínez Carrasco, C. (2015). *Estudio comparativo de diferentes modelos de simulación de producción con “Simio” y “Arena”*. Ph.D. thesis Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.

Maynard Etchepare, R. (2023). Vehicle routing problem with split delivery and transshipment.

URREA, J. F. J. P. (2020). *Diseño e implementación de herramientas de asignación diaria de contenedores minimizando el costo logístico para una empresa forestal*. Ph.D. thesis Universidad de Chile.

Chapter VI: Anexos

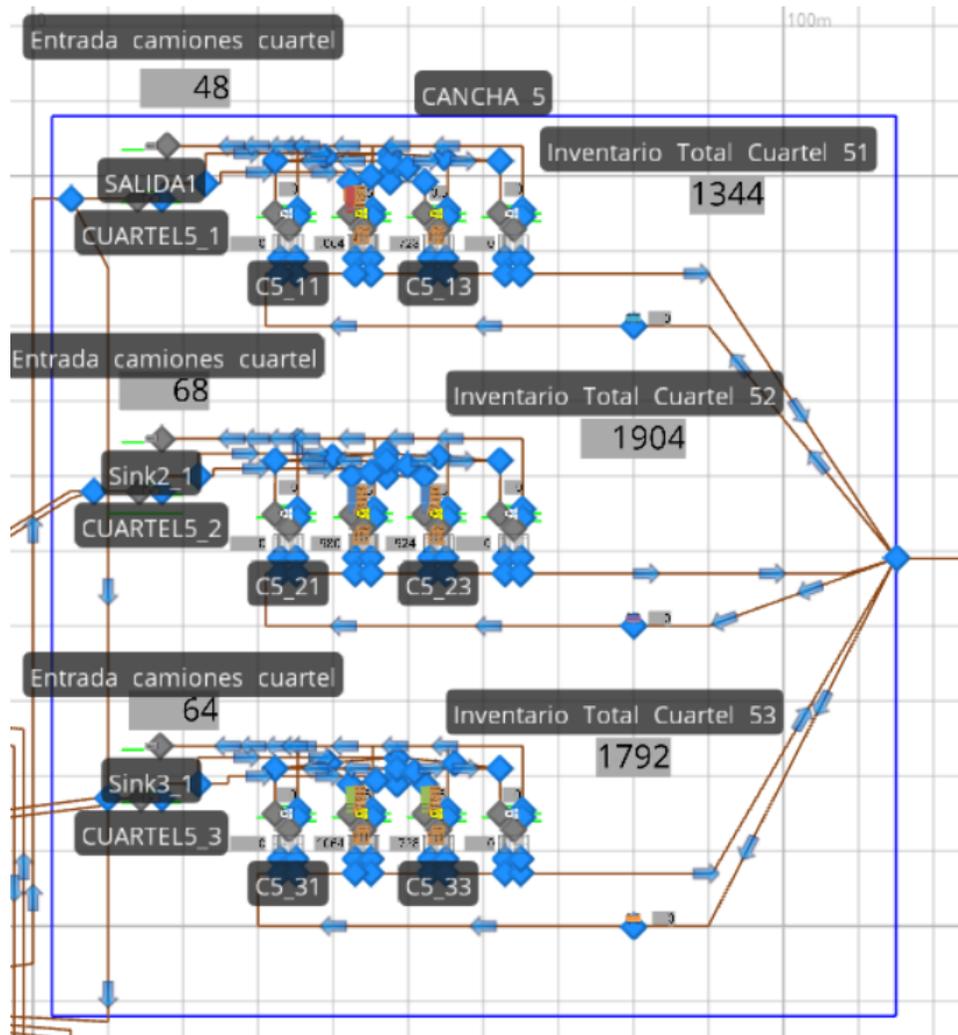


Figure VI.1: Simulación cancha 5.

Fuente: Elaboración propia.

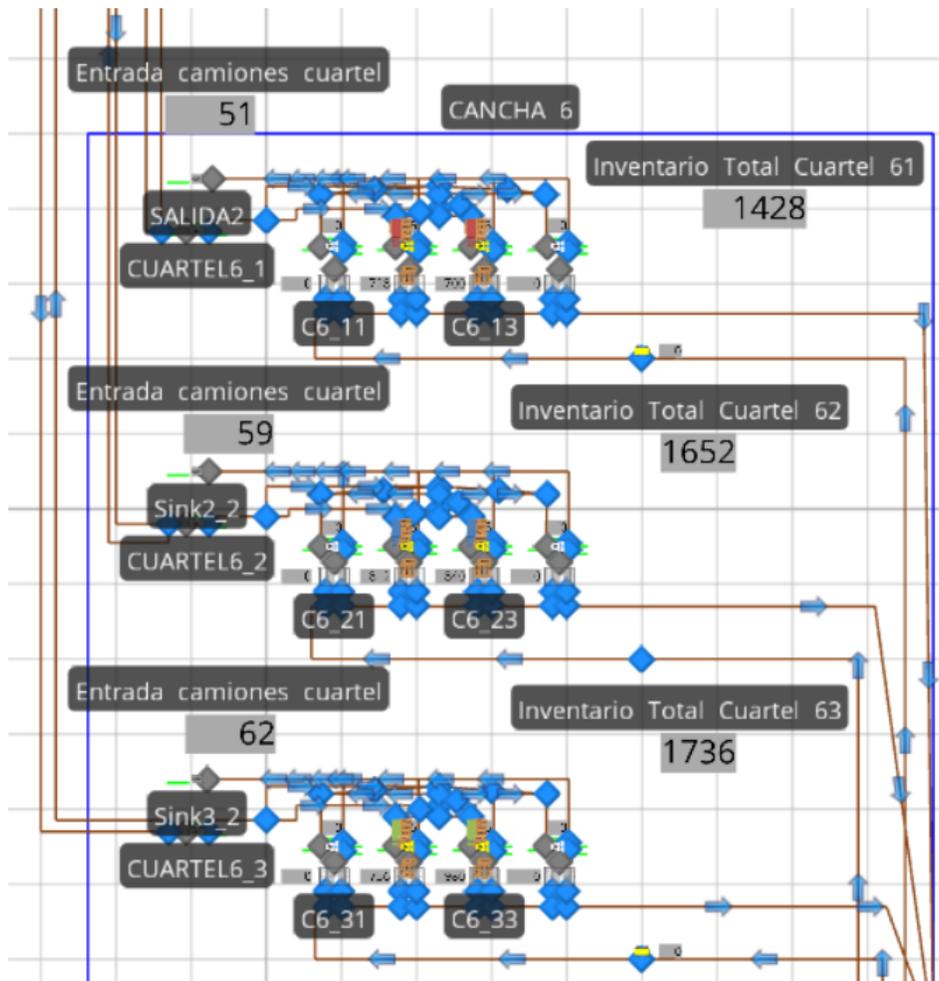


Figure VI.2: Simulación cancha 6.

Fuente: Elaboración propia.

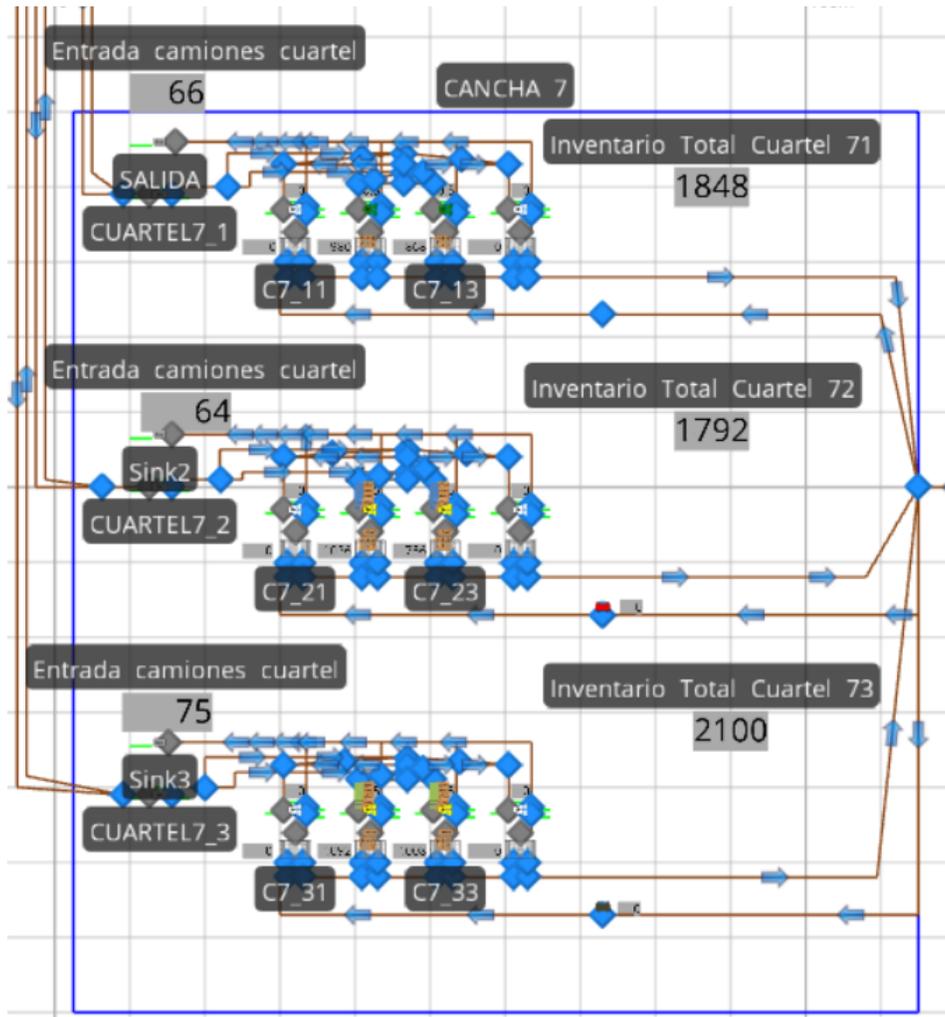


Figure VI.3: Simulación cancha 7.

Fuente: Elaboración propia.