

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

Diseño e implementación de un sistema de gestión operativo para un depósito de
contenedores

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por:

Byron Fernando Vizcarra Ocampo

Jonathan Cristian Poveda Baque

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

Querida madre, hermanos e hijos: Sin vuestro apoyo, sin vuestra confianza, sin vuestro cariño...hoy no estaría celebrando este logro, simplemente gracias por ser mi familia. Y como olvidar a mi padre y mi eterno superhéroe, Dr. Homero, quien ha sido mi fuente de inspiración y motivación ante los momentos más difíciles.

Byron Vizcarra Ocampo

Dedicado a mi madre, Nelly Nancy Baque Pérez, por su amor inquebrantable y apoyo constante a lo largo de mi trayectoria académica. Gracia por ser mi héroe y modelo a seguir, por tu sacrificio para que pudiera alcanzar este logro.

Jonathan Poveda Baque

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todos mis profesores, quienes contribuyeron en mi formación académica a lo largo de mi carrera universitaria. A mi compañero y amigo Jonathan, quien fue mi mancuerna en el desarrollo del presente proyecto.

Byron Vizcarra Ocampo

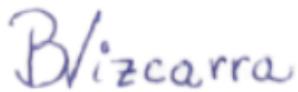
A Byron por su gran dedicación y empeño en el presente proyecto. Sus cualidades y habilidades fueron esenciales para la culminación de nuestra tesis. Gracias por su amistad invaluable.

A mi amigo Genner un agradecimiento especial por su apoyo emocional y consejos oportunos. Gracias por ser un mentor excepcional, siempre lo llevaré en mi corazón.

Jonathan Poveda Baque

Declaración Expresa

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jonathan Cristian Poveda Baque, Byron Fernando Vizcarra Ocampo y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Byron Vizcarra O.



Jonathan Poveda B.

Evaluadores

Mgtr. Carlos Ronquillo F.

Profesor de Materia

Msc. David De Santis B.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto está enfocado en mejorar la eficiencia de manipulación y almacenamiento de contenedores en un depósito mediante la simulación matemática. El objetivo es optimizar la operación, estableciendo indicadores clave a través de un sistema operativo diseñado para un aplicativo web. Esto permitirá un control preciso y registro, reduciendo los movimientos de contenedores y abordando desafíos logísticos en el intercambio comercial marítimo. Para lograrlo, se utilizaron equipos informáticos avanzados y software especializado como FlexTerm, aplicando técnicas logísticas y normativas. La metodología empleada permitió modelar detalladamente las operaciones del depósito y proponer soluciones efectivas. Tras una evaluación exhaustiva, se analizaron aspectos cruciales como flujo operativo, tiempo de procesamiento y disponibilidad. Las simulaciones de 52 semanas resaltaron la semana 42 con el mayor flujo (1435 camiones y contenedores). La estadística de permanencia de contenedores fue ajustada, identificando un rendimiento de 275 contenedores en la semana 42. Se detectaron problemas en el bloque T8 (Reparación Reefer) y en el uso de grúas, señalando oportunidades para mejorar la planificación y eficiencia operativa. Finalmente, se observó una eficiencia variable en el procesamiento de contenedores reefer, cuellos de botella en operaciones de evacuación y exportación; así como oportunidades para optimizar el espacio de almacenamiento. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar mejoras operativas y logísticas en aras de un funcionamiento más fluido y rentable del depósito.

Palabras Clave: Simulación Matemática, FlexTerm, Almacenamiento, Operaciones.

Abstract

The present project is focused on enhancing the efficiency of container handling and storage in a depot through mathematical simulation. The objective is to optimize operations by establishing key indicators using an operating system designed for a web application. This will allow for precise control and recording, reducing container movements and addressing logistical challenges in maritime trade exchange. To achieve this, advanced computer equipment and specialized software like FlexTerm were utilized, applying logistics techniques and regulations. The employed methodology enabled detailed modeling of depot operations and proposing effective solutions. Following a comprehensive evaluation, crucial aspects such as operational flow, processing time, and availability were analyzed. Simulations over 52 weeks highlighted week 42 with the highest flow (1435 trucks and containers). Container dwell time statistics were adjusted, identifying a throughput of 275 containers in week 42. Issues were detected in block T8 (Reefer Repair) and crane utilization, indicating opportunities for improving planning and operational efficiency. Ultimately, variable efficiency was observed in reefer container processing, bottlenecks in evacuation and export operations, as well as opportunities for optimizing storage space. These findings underscore the importance of implementing operational and logistical improvements for a smoother and more profitable depot functioning.

Keywords: *Mathematical Simulation, FlexTerm, Storage, Operations.*

Índice general

Evaluadores	5
Resumen	6
Abstract	7
Índice general	8
Abreviaturas	11
Índice de figuras	12
Índice de tablas	13
Capítulo 1	14
1.1 Introducción	14
1.2 Descripción del Problema	15
1.3 Justificación del Problema	18
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo general	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5 Marco teórico	19
1.5.1 Definición de contenedor	20
1.5.2 Carga en el transporte marítimo	21
1.5.3 Operaciones en depósitos de contenedores	22
1.5.4 Simulación matemática en el sector logístico	22
1.5.5 Gestión operativa en depósitos de contenedores	22
1.5.6 Indicadores de gestión logística	23
1.5.7 Gestión de datos en la logística	23
1.5.8 Distribución de espacios en patios de contenedores	23
Capítulo 2	25

2. Metodología.....	25
2.1 Diseño de la solución.....	25
2.2 Análisis del problema.....	26
2.2.1 Zonificación del depósito.....	26
2.2.2 Optimización del espacio y accesos.....	29
2.2.3 Generación de alternativas.....	29
2.2.4 Selección de la mejor solución.....	31
2.3 Plan de trabajo.....	31
2.3.1 Recolección de la información.....	32
2.3.2 Investigación.....	33
2.3.3 Reporte Power BI.....	33
2.3.4 Simulación en FlexTerm.....	34
2.3.5 Diseño del aplicativo web.....	35
2.4 Análisis de la información recopilada.....	35
2.4.1 Entrevista semiestructurada.....	37
2.4.2 Información relevada de registros históricos.....	38
2.5 Modelo matemático.....	40
2.6 Uso de software.....	42
2.6.1 Microsoft Power BI.....	42
2.6.2 FlexTerm.....	42
2.6.3 Visual Studio Code.....	42
2.7 Consideraciones éticas y legales.....	43
2.8 Cronograma de trabajo.....	43
Capítulo 3.....	44
3. Resultados y análisis.....	44
3.1 Análisis de costos.....	49

Capítulo 4	51
4. Conclusiones y recomendaciones.....	51
4.1 Conclusiones.....	51
4.2 <i>Recomendaciones</i>	52
Referencias	53

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

PTI Pre Travel Inspection

DMS Depot Management System

YAP Yard Allocation Problem

RR Reparación Reefer

Índice de figuras

Figura 1.1 Participación de las operaciones de patio 2022	16
Figura 1.2 Layout de depósito 2023.....	18
Figura 1.3 Contenedores apilados en un bloque de almacenamiento de 4 filas, 8 bahías y 4 niveles de altura.	24
Figura 2.1 Zonificación del depósito CFS 2023.	27
Figura 2.2 Resumen de la capacidad de almacenamiento del depósito CFS 2023.	28
Figura 2.3 Plan de trabajo	32
Figura 2.4 Reporte de movimientos de contenedores CFS 2022-2023.....	33
Figura 2.5 Representación general del modelo para el depósito de contenedores.....	34
Figura 2.6 Representación del modelo de simulación para el depósito de contenedores en el software FlexTerm.	35
Figura 2.7 Estructura de los datos recopilados asociados a las operaciones en el depósito de contenedores.....	36
Figura 2.8 Modelo Entidad-Relación correspondiente al movimiento de contenedores.	37
Figura 2.9 Collage de fotos de las visitas al depósito y entrevistas a personal que labora en el patio de contenedores.	38
Figura 2.10 Total, de movimientos de las operaciones (importación, exportación, evacuación y reposición) de las navieras.	39
Figura 2.11 Total, de movimientos de la operación importación, efectuados por las navieras	39
Figura 2.12 Representación de los 35 bloques de almacenamiento del modelo matemático de simulación.	41
Figura 2.13 Diseño del depósito de contenedores en el software FlexTerm que valida el modelo matemático.	41
Figura 2.14 Representación del cronograma de trabajo mediante un diagrama de Gantt.....	43

Figura 3.1 Patrón de llegada semanal para establecer los días y horas en que los camiones (y contenedores) arriban a la puerta del depósito.	44
Figura 3.2 Resumen estadístico (A), ajuste automático de los datos (B) e histograma de densidad (C), correspondientes a los días de permanencia de los contenedores en el depósito.....	46
Figura 3.3 Principales indicadores de rendimiento de los contenedores entrantes (In) y salientes (Out) y días de permanencia de los contenedores para flujo saliente y entrante.....	47

Índice de tablas

Tabla 3.1 Medidas de rendimiento de los bloques pertenecientes a las áreas de Almacenamiento y Reparación Reefer.	48
Tabla 3.2 Indicadores de desempeño de las grúas de carga lateral.	49
Tabla 3.3 Costos asociados a la simulación.	50

Capítulo 1

1.1 Introducción

Uno de los elementos de carga más empleados en el transporte marítimo es el contenedor, ya que su diseño facilita el transporte de mercancías por uno o más medios, contribuyendo así al intercambio comercial. Previo a ser transportados, los contenedores son examinados por técnicos para garantizar que estos se encuentren totalmente operativos y luego apilados en terminales o depósitos. Estos últimos demandan múltiples y complejas operaciones de apilamiento a diario. Por lo tanto, la comunidad científica ha centrado su atención en el problema de manipulación y apilamiento de contenedores.

De acuerdo a la Cámara Marítima del Ecuador (CAMA E), en la provincia del Guayas existen 10 depósitos de contenedores, de los cuales nueve de ellos están ubicados en Guayaquil y uno en Durán. Estos tienen en común la compleja tarea de satisfacer la demanda de tráfico de contenedores de forma eficaz y eficiente. Si bien es cierto que las operaciones relacionadas a la manipulación de contenedores se pueden estudiar de mejor manera analizando los modelos de colas, también es cierto que las operaciones llevadas a cabo en los depósitos o patios de contenedores son difíciles de comprobar analíticamente con los modelos de colas. En consecuencia, el empleo de técnicas de simulación logra ser una opción eficaz para el análisis de sistemas de depósito de contenedores.

La simulación matemática es quizás el mejor instrumento utilizado para estudiar el comportamiento de cualquier sistema del mundo real no trivial. Para el análisis de sistemas complejos, la simulación se usa a menudo antes de la operación del sistema del mundo real como mediador de una situación dinámica. Por consiguiente, se ha elegido la metodología de simulación para evaluar y analizar las operaciones de manipulación y apilamiento de contenedores en las instalaciones del patio pertenecientes a la empresa estudiada.

El proyecto en curso enfoca su estudio en una empresa especializada en contenedores con experiencia en el servicio naviero, la cual inicia sus operaciones en Ecuador en el año 2006. En el año 2015 se consolidó como proveedor de servicios logísticos y portuarios, realizando el cabotaje de carga a las Islas Galápagos. Entre los principales servicios prestados por la empresa, se tienen:

- Almacenamiento de contenedores.
- Mantenimiento y reparación de contenedores secos y refrigerados.
- Limpieza y reacondicionamiento.
- Venta y arrendamiento de contenedores.
- Gestión de almacenaje e inventario.
- Consolidación y desconsolidación de contenedores con almacenamiento transitorio de carga.

Es por tales motivos, que se propone diseñar e implementar un sistema de gestión operativo para un depósito de contenedores aplicando una técnica de simulación matemática.

1.2 Descripción del Problema

Ubicada en la ciudad de Guayaquil, CFS Container Feeder Services es una empresa especializada en contenedores con experiencia en el servicio naviero; la cual opera 24 horas al día, 7 días a la semana y los 365 días del año. Por lo tanto, hay que atender las necesidades y requerimientos de las líneas navieras las 24 horas del día. Dentro de las instalaciones del depósito se llevan a efecto operaciones de manipulación de contenedores tipo refrigerados, tales como: importación, reposición, exportación y evacuación, véase la Figura 1.1.

Figura 1.1

Participación de las operaciones de patio 2022



Al interior del depósito las operaciones de manipulación se manejan de acuerdo al flujo de los contenedores, categorizándose en operaciones entrantes (importación y reposición) y operaciones salientes (exportación y evacuación). Primero, los contenedores entrantes son receptados en el área de Recepción y Despacho, donde un técnico verifica la condición de la estructura externa del contenedor; este proceso tiene una duración aproximada de 15 minutos. Segundo, un camión grúa con cargador lateral apila los recipientes de carga en el bloque PTI (Pre Trip Inspection), sitio en el que se examina el rendimiento del contenedor para identificar problemas en el funcionamiento de la máquina; este procedimiento es llevado a cabo en aproximadamente 4 horas. Finalmente, los contenedores son trasladados al bloque de almacenamiento Operativo, lugar en el que se apilan en varios niveles de altura (máximo seis) para ahorrar espacio.

En un mundo ideal, la recepción de contenedores podría ser resumida en tres pasos: verificación de caja, revisión de máquina y almacenamiento. Sin embargo, en la práctica las operaciones de manipulación de contenedores se tornan complejas cuando los contenedores presentan algún tipo de daño, ya sea en la caja o en máquina. Estos dos últimos problemas generan colas en los procesos, provocando la ralentización de las operaciones, aumento en la

manipulación de los recipientes de carga, causando las no deseadas recolocaciones de los contenedores.

Existen tres casos genéricos con respecto al daño que puedan llegar a presentar los contenedores, estos se enlistan a continuación:

- Daño de caja
- Daño de máquina
- Daño de caja y máquina

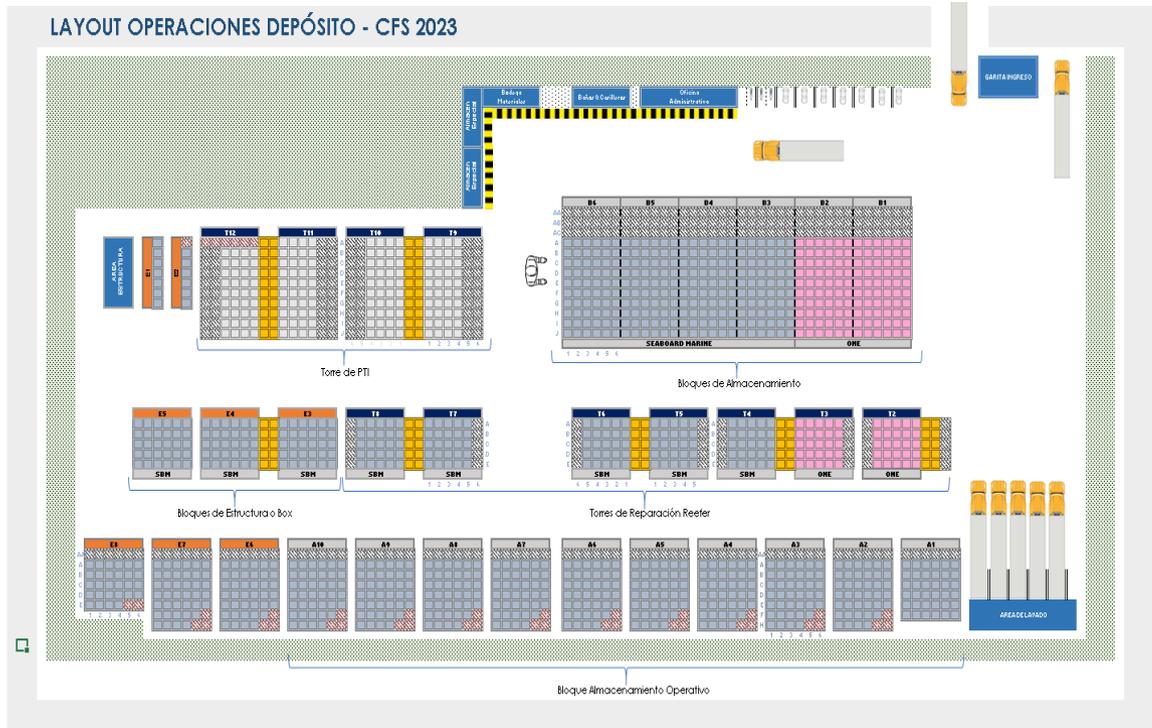
El primer caso lo constituyen los contenedores que presentan daño de caja, los cuales son evaluados y si el monto de reparación no supera los 250 dólares, estos son enviados automáticamente al bloque de Estructuras o Box, no sin antes pasar por el bloque PTI para la verificación del estado de la máquina de refrigeración y sus componentes. Caso contrario, si el monto de reparación de la estructura externa supera el valor de 250 dólares, se levanta un informe, el cual es reportado a la línea naviera. Por tal motivo, los contenedores son apilados en el bloque de Estructuras, a la espera de la aprobación del informe para la posterior reparación del recipiente de carga, véase la Figura 1.2.

El tercero y último caso está vinculado con los contenedores que presentan tanto un daño en la caja, así como de máquina. El proceso para seguir con respecto a la posible reparación y posterior almacenamiento es el mismo expuesto anteriormente, con la diferencia de que el impacto relacionado a los niveles de operatividad de patio se ve altamente afectado, ya que los contenedores tienden a permanecer más tiempo almacenados.

La empresa que es objeto de estudio posee un Sistema de Administración de Depósito (SAD) que le permite gestionar y controlar las operaciones. Sin embargo, al no tener implementada una política integral de registro detallado de cada uno de los movimientos de los contenedores en las diferentes operaciones, estas últimas se tornan ineficientes.

Figura 1.2

Layout de depósito 2023



Fuente: Depósito de Contenedores estudiado

La situación del depósito de contenedores anteriormente expuesta ha sido el motivo y el punto de partida para llevar a cabo el presente Proyecto, cuya finalidad es diseñar e implementar un sistema de gestión operativo fundamentado en una técnica de simulación matemática, de tal manera que permita registrar, controlar y minimizar el número de movimientos de contenedores.

1.3 Justificación del Problema

El presente estudio centra su atención en las operaciones de manipulación de contenedores en un depósito y cuya finalidad es aplicar una técnica de simulación matemática para evaluar y analizar los niveles de operatividad, así como establecer los principales indicadores de gestión a través de la visualización de datos y finalmente diseñar e implementar un sistema de gestión de patio. Esto posibilitaría no solo aumentar la eficiencia en relación con el

número de movimientos de contenedores efectuados durante las distintas operaciones (importación, exportación, reposición y evacuación), sino también registrar, controlar y monitorear estos importantes recipientes de carga.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un sistema de gestión operativo aplicando una técnica de simulación matemática, para minimizar el número de manipulaciones de contenedores dentro de un depósito.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Aplicar la técnica de simulación matemática utilizando el software de simulación de eventos FlexTerm, para evaluar los niveles de operatividad en un depósito de contenedores.
2. Establecer los principales indicadores de depósito a través de la visualización de datos, a fin de medir la gestión logística.
3. Diseñar un sistema de gestión operativo mediante la implementación de un aplicativo web, que permita registrar, controlar y minimizar el número de movimientos de contenedores.

1.5 Marco teórico

El transporte marítimo representa la columna vertebral en el comercio global, siendo el medio de elección para la transferencia de una amplia variedad de bienes a través de las fronteras internacionales. En el núcleo de esta industria subyacen los contenedores, unidades estándar de carga que han revolucionado la forma en que se manejan las mercancías en todo el mundo. Estos contenedores, con su diseño meticuloso y su capacidad para viajar a través de múltiples modos

de transporte, han facilitado la logística en el comercio internacional de una manera sin precedentes.

La eficiencia en la gestión de los contenedores, tanto en los puertos como en los depósitos de contenedores, es crucial para mantener el flujo ininterrumpido de mercancías en la cadena de suministro global. Sin embargo, esta tarea es cada vez más compleja debido a la creciente demanda de servicios de transporte marítimo y la necesidad de una coordinación precisa en un entorno logístico en constante evolución.

El presente apartado se sumerge en el mundo de la gestión de contenedores, explorando las definiciones clave, las operaciones fundamentales en los depósitos de contenedores, y las herramientas y técnicas que han surgido para abordar los desafíos logísticos en este contexto. Además, se analizará el papel de la simulación matemática y la gestión de datos en la optimización de las operaciones de contenedores, así como la relevancia de herramientas como FlexTerm en este contexto.

A medida que avanzamos en el desarrollo de esta herramienta analítica, exploraremos las investigaciones y el conocimiento actual en el campo, respaldando nuestro enfoque en el análisis y la mejora de las operaciones de gestión de contenedores. Los conocimientos abordados en esta sección servirán como base sólida para el desarrollo del presente proyecto integrador, que se centra en la implementación de un sistema de gestión operativa utilizando técnicas de simulación matemática y gestión de datos para optimizar las operaciones en un depósito de contenedores específico.

1.5.1 Definición de contenedor

En el contexto del transporte marítimo, los contenedores desempeñan un papel central como unidades estándar de carga. Según Smith (2018), un contenedor se define como "una estructura metálica o de otro material resistente diseñada para contener mercancías de manera

segura y eficiente durante su transporte multimodal, lo que facilita la transferencia eficaz de bienes entre diferentes modos de transporte, como barcos, trenes y camiones".

El contenedor moderno, con sus dimensiones estandarizadas y sistema de bloqueo seguro, revolucionó el comercio internacional al permitir la carga y descarga rápida de mercancías y simplificar las operaciones logísticas en todo el mundo.

1.5.1.1 Contenedores refrigerados (reefer). Los contenedores reefer "es el equipo de transporte de cadena de frío más utilizado para alimentos perecederos que requieren control atmosférico" (Kaptan & Bayazit, 2023). Este tipo de contenedor es el más destacado en la transportación de mercancía de productos perecederos o sensibles como carnes, lácteos, verduras, frutas, etc., evitando su descomposición al ser transportado a grandes distancias por tierra y mar manteniendo su temperatura constante garantizando, que los alimentos o productos químicos lleguen en buen estado a su destino final.

1.5.1.2 Contenedores secos (dry). Los contenedores secos o contenedor dry son de carga estándar y unos de los más comunes para transportar una gran variedad de productos secos y no perecederos por mar y tierra y no requieren control de temperatura (Castrellon et al., 2023).

1.5.2 Carga en el transporte marítimo

El transporte marítimo desempeña un rol fundamental dentro del comercio global, ya que constituye el medio de transporte preferido para la mayoría de las mercancías que se mueven a nivel internacional. Según Johnson (2017), "el transporte marítimo es el motor del comercio mundial, siendo responsable de transportar más del 80% de los productos comercializados a nivel internacional".

Este hecho subraya la importancia crítica de la eficiencia y la precisión en las operaciones relacionadas con los contenedores en los puertos y depósitos, ya que cualquier retraso o error puede tener un impacto significativo en la cadena de suministro global.

1.5.3 Operaciones en depósitos de contenedores

Los depósitos de contenedores, también conocidos como patios de contenedores, son centros neurálgicos donde las mercancías se almacenan y distribuyen en el ámbito del transporte marítimo. Como señala González (2019), "los depósitos de contenedores son esenciales para gestionar la carga entrante y saliente, realizando operaciones críticas como la manipulación, el apilamiento y el almacenamiento de contenedores".

Estas operaciones son fundamentales para garantizar el flujo constante de bienes en el comercio internacional y requieren una planificación y ejecución precisas para evitar congestiones y retrasos.

1.5.4 Simulación matemática en el sector logístico

La simulación matemática es una herramienta poderosa para modelar y analizar sistemas logísticos complejos. Robinson (2016) señala que "la simulación matemática permite crear representaciones digitales precisas de sistemas logísticos, lo que facilita la experimentación con diferentes escenarios y la toma de decisiones basadas en datos".

En el contexto de los depósitos de contenedores, la simulación matemática se convierte en una herramienta invaluable para evaluar la eficiencia operativa y optimizar los procesos logísticos, lo que contribuye a la reducción de costos y tiempos de espera.

1.5.5 Gestión operativa en depósitos de contenedores

La gestión operativa en depósitos de contenedores implica la coordinación de una serie de actividades críticas, desde la recepción de contenedores entrantes hasta su almacenamiento y posterior envío. Según Lee (2018), "una gestión operativa eficiente es esencial para minimizar los costos de manipulación, reducir los tiempos de espera y garantizar un flujo continuo de contenedores".

La implementación de sistemas de gestión operativa basados en tecnología y técnicas de simulación matemática se ha vuelto cada vez más esencial para abordar estos desafíos de manera efectiva.

1.5.6 Indicadores de gestión logística

Los indicadores de gestión logística son métricas claves utilizadas para evaluar el rendimiento de las operaciones logísticas. Smith (2020) afirma que "los indicadores de gestión logística permiten medir la eficiencia, la productividad y la calidad de los procesos logísticos, lo que facilita la identificación de áreas de mejora y la toma de decisiones estratégicas".

Estos indicadores proporcionan una visión clara del desempeño de un depósito de contenedores y ayudan a los responsables de la toma de decisiones a identificar oportunidades para optimizar la gestión y la eficiencia.

1.5.7 Gestión de datos en la logística

La gestión de datos desempeña un papel crítico en la toma de decisiones logísticas informadas. Kumar (2019) destaca que "la gestión de datos en logística implica la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos relacionados con la cadena de suministro y las operaciones logísticas, lo que permite obtener información valiosa para la planificación y la optimización".

La capacidad de gestionar y analizar datos de manera efectiva es esencial para la implementación exitosa de sistemas de gestión operativa en depósitos de contenedores.

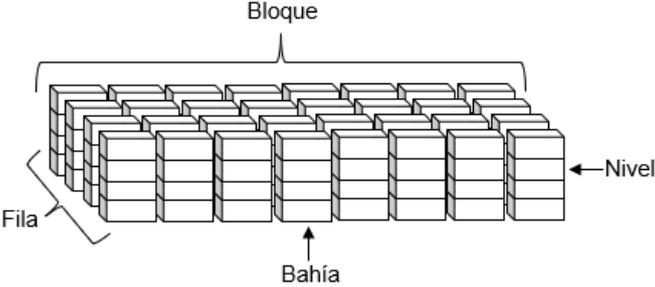
1.5.8 Distribución de espacios en patios de contenedores

Un bloque típico consta de varias filas de contenedores, cada una de las cuales consta de bahías. Los contenedores se pueden apilar en niveles hasta varios contenedores (Carlo et al., 2014). La Figura 1.3 representa el diseño de un bloque de cuatro filas y ocho bahías, apilados en

cuatro niveles. La distribución de fila, bahía y nivel depende del tipo de contenedor, optimización de espacios y de los elementos para su manipulación.

Figura 1.3

Contenedores apilados en un bloque de almacenamiento de 4 filas, 8 bahías y 4 niveles de altura.



Capítulo 2

2. Metodología.

En esta sección se presenta de manera detallada la formulación de las alternativas para la solución al problema de manipulación y apilamiento de contenedores, la descripción y elección de la mejor opción, el diseño conceptual y los procedimientos de diseño a implementarse, de tal manera que se dé cumplimiento a los objetivos planteados.

Para empezar, se especifican las técnicas que se utilizaron en el proceso del levantamiento de los datos, cuáles son los datos de interés, para luego realizar una evaluación de la situación actual de la empresa estudiada a través de un reporte Power BI. Más tarde, se procede a describir las alternativas de solución basadas en modelos matemáticos, uno de simulación y otro de optimización. La aplicación de los modelos matemáticos mencionados está supeditada a los objetivos y particularidades del problema a resolver. Por último, se efectuó una breve descripción de las diferentes plataformas computacionales a emplearse en la resolución del problema abordado, no sin antes tener en cuenta los principios, normas y regulaciones que deben considerarse en el ámbito de la investigación en el que se enmarca este proyecto.

2.1 Diseño de la solución

El diseño de la solución engloba al conjunto de procedimientos que permiten desarrollar y planificar una estrategia para cumplir con un objetivo trazado. Es decir, la implementación de un plan detallado y estructurado que especificará cómo se abordará y resolverá el problema de la manipulación y apilamiento de contenedores en un depósito. A continuación, se describen brevemente los aspectos considerados

2.2 Análisis del problema

Al problema del almacenamiento y manipulación de contenedores reefer (refrigerados) en el depósito perteneciente a la empresa en estudio, subyacen retos adicionales en vista de la necesidad de mantener condiciones de temperatura controlada para salvaguardar la calidad de la carga. Dos de los aspectos a considerarse en el presente proyecto para abordar este problema son la zonificación de depósito y la optimización del espacio.

2.2.1 Zonificación del depósito.

Para una gestión más efectiva de la temperatura y una mejor organización, el depósito está dividido en zonas específicas para la manipulación y apilamiento de los contenedores refrigerados. En la Figura 2.1 se muestra los diferentes bloques para el almacenamiento de los recipientes de carga, los cuales se distribuyen como se enumera a continuación:

1. Bloque de Almacenamiento Operativo (A): Este bloque está destinado para los contenedores que se encuentran totalmente operativos (sin daño de estructura y/o máquina). Dispone de 387 y 447 posiciones en capacidad total y capacidad máxima, respectivamente. Es decir, cuenta con un remanente de capacidad de almacenamiento de 60 posiciones para poder operar al límite de su capacidad.
2. Bloque de Almacenamiento (B): En esta zona se almacenan los contenedores que presentan algún desperfecto, ya sea de estructura y/o máquina y que están a la espera de que la naviera dé el visto bueno para proceder con la reparación de estos importantes recipientes de carga. Este bloque dispone de 360 posiciones en capacidad total y 468 posiciones en capacidad máxima. Por lo tanto, este bloque cuenta con 108 posiciones reservadas para extender el nivel operativo al máximo.
3. Bloques de Estructura o Box (E): Destinado al almacenamiento de contenedores que presentan daños estructurales y que necesitan la intervención de técnicos especializados para

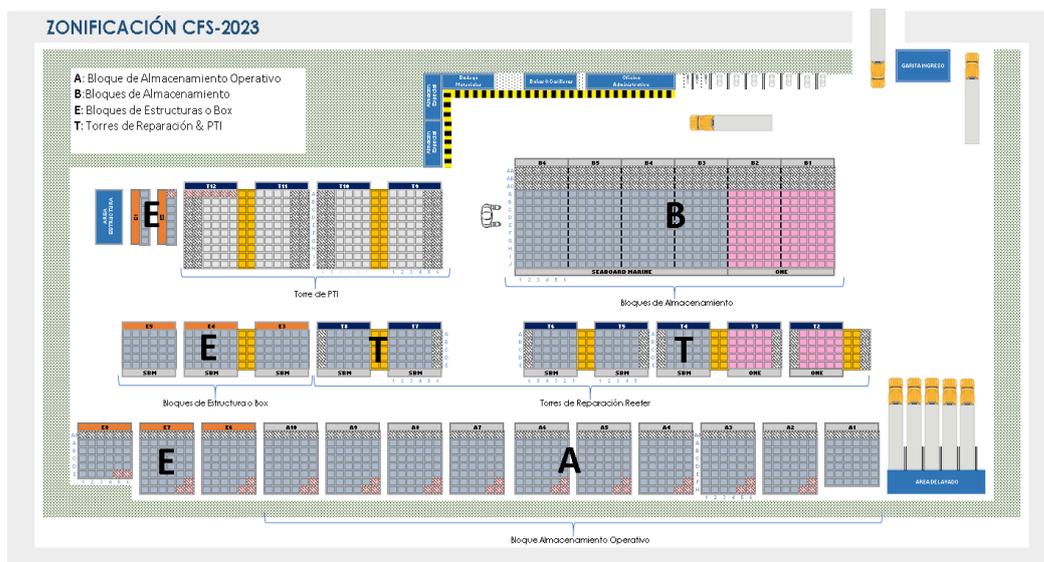
poder efectuar la reparación correspondiente. Esta área cuenta con 209 posiciones de almacenamiento en capacidad total y 228 posiciones de almacenamiento en capacidad máxima, lo que implica que se disponen de 19 ranuras de almacenamiento para operar al tope de su capacidad.

4. Bloque de Reparación & PTI (T): En esta zona se agrupan dos bloques, las Torres de Reparación Reefer y las Torres PTI. Las primeras están destinadas al almacenamiento de contenedores que presentan un daño de máquina y que requieren ser reparadas, mientras que las segundas se emplean para realizar una revisión integral del estado de la máquina.

Estos dos bloques en conjunto cuentan con 331 posiciones de almacenamiento en capacidad total y 444 posiciones en capacidad máxima, lo que significa que hay 113 posiciones de almacenamiento remanente para llevar la operatividad al máximo.

Figura 2.1

Zonificación del depósito CFS 2023.



Nota. Zonificación detallada del depósito de contenedores. Adaptado de CFS, 2023.

En la Figura 2.2 se muestra el resumen detallado de las capacidades de almacenamiento de cada uno de los bloques en los que se ha zonificado el depósito, así como la capacidad total de almacenamiento. El depósito de contenedores cuenta con 1287 posiciones de almacenamiento en condiciones normales, mientras que en capacidad máxima el patio dispone de 1587 posiciones.

Figura 2.2
Resumen de la capacidad de almacenamiento del depósito CFS 2023.



Nota. Capacidad total y capacidad máxima de almacenamiento del depósito y los bloques de almacenamiento. Adaptado de CFS, 2023.

2.2.2 Optimización del espacio y accesos.

La asignación eficiente de los espacios de almacenamiento juega un rol fundamental en las operaciones de manipulación y apilamiento de contenedores refrigerados ya que ayuda a optimizar el flujo de las operaciones y a reducir costos.

2.2.3 Generación de alternativas

En este apartado se presentan varios enfoques para abordar el problema de asignación de patio. Las opciones consideradas varían en términos de viabilidad, eficacia, complejidad y costos.

2.2.3.1 Algoritmos Metaheurísticos. Hasta hace unos años atrás no se contaba con una definición idónea y pulcra de la palabra metaheurística, es por tal motivo que en este apartado adoptamos la definición de Sörensen y Glover (2013).

“Una metaheurística es un marco algorítmico independiente del problema de alto nivel que proporciona un conjunto de pautas o estrategias para desarrollar algoritmos de optimización heurística. El término también se usa para referirse a una implementación específica de un algoritmo para resolver un problema de optimización heurística de acuerdo con las pautas expresadas en tal estructura.”

Algunos ejemplos de técnicas metaheurísticas que se pueden aplicar para resolver el YAP son algoritmos basados en búsqueda local, algoritmos basados en colonias de hormigas, algoritmos genéticos, entre otros.

2.2.3.2 Modelos matemáticos de optimización. Están basados en la programación matemática y permiten modelar el YAP como un problema de optimización. Se pueden aplicar varios enfoques de programación lineal o programación entera, de tal manera que el problema se formule y se resuelva, optimizando una función objetivo (maximizando o minimizando) sujeta a restricciones específicas de acuerdo al comportamiento del sistema a modelarse.

2.2.3.3 Modelos matemáticos de simulación. Los modelos fundamentados en simulación matemática pueden emplearse para evaluar un abanico de políticas y estrategias de asignación de patio mediante la implementación de modelos que repliquen el comportamiento del sistema en estudio.

2.2.3.4 Métodos de inteligencia artificial. Algunos de los enfoques de la inteligencia artificial que hacen uso de algoritmos y modelos para aprender patrones a partir de datos históricos y tomar decisiones acertadas en tiempo real, son el aprendizaje automático y la optimización basada en agentes. Las dos técnicas mencionadas forman parte de las opciones que permitan resolver el YAP.

2.2.3.5 Investigación operativa. La investigación de operaciones no dispone de una técnica general única que permita abordar y resolver los modelos que se generan en la práctica, por lo que es considerada como un campo interdisciplinario que emplea métodos matemáticos y modelos para resolver problemas complejos asociados a la toma de decisiones. En vista de lo anteriormente expuesto, este campo permite implementar diferentes enfoques de investigación operativa, tales como teoría de grafos, teoría de colas, programación lineal entera mixta, entre otros.

2.2.4 Selección de la mejor solución

En este segmento se expone brevemente los criterios de selección de la alternativa más adecuada para resolver el YAP. La toma de decisión está sustentada en los pros y los contras, así como la consideración de los objetivos y requerimientos que demanda el problema.

Como se expuso en la sección anterior, se disponen de algunas alternativas para resolver el YAP, cada uno con su correspondiente enfoque. Debido a la transversalidad y versatilidad en términos de los resultados proporcionados, se decidió escoger la simulación matemática debido a que genera resultados que permiten analizar y comprender el comportamiento del sistema, identificar cuellos de botella y analizar diferentes escenarios. Además, los modelos matemáticos de simulación permiten comprender el comportamiento dinámico de un sistema en el tiempo.

2.3 Plan de trabajo

El plan de trabajo es una herramienta que facilita la coordinación del trabajo a realizarse, además ayuda a garantizar el cumplimiento de los plazos que previamente se establecieron. De acorde al plan de trabajo presentado en la Figura 2.3, se realizaron cinco actividades principales entre las que se tienen la recolección de datos, investigación, creación del reporte Power BI, ejecución de la simulación matemática y el diseño del aplicativo web.

Figura 2.3

Plan de trabajo

PLAN DE TRABAJO	
ACTIVIDADES	ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS
1. Recolección de información	1.1 Reuniones con: Subgerente de operaciones, jefe de patio, jefe de seguridad industrial y coordinador de patio.
	1.2 Levantamiento de información
	1.3 Solicitud de datos
	1.4 Depuración y análisis de datos
2. Investigación	2.1 Microsoft Power BI
	2.2 Software FlexTerm
	2.3 HTML, CSS y JavaScript
	2.4 Lectura de papers
3. Reporte Power BI	3.1 Modelo entidad-relación
	3.2 Visualización de datos
	3.3 Carga de reporte
4. Simulación Flexterm	4.1 Selección del modelo de simulación
	4.2 Configuración de los elementos del sistema Puerta-Depósito-Puerta
	4.3 Ajuste y calibración de los datos
	4.4 Compilación de la simulación, generación de indicadores y análisis de resultados
5. Aplicativo Web (IGU)	5.1 Estructurar y desplegar el contenido (HTML)
	5.2 Estructurar la presentación (CSS)
	5.3 Programar las funcionalidades e interactividad

Nota. Del lado izquierdo de la tabla se muestran las cinco principales actividades a realizarse, mientras que en el lado derecho se presentan las actividades complementarias

2.3.1 Recolección de la información

Para empezar, se efectuaron las reuniones y entrevistas con el subgerente de operaciones, jefe de patio, jefe de seguridad industrial y coordinador de patio. A través de estas técnicas de levantamiento de datos se pudo conocer los detalles y pormenores de los procesos asociados a las operaciones de manipulación y almacenamiento de contenedores en el depósito. Luego, se hizo el levantamiento de la información, permitiendo proporcionar una base sólida de datos y conocimientos sobre los cuales se pudieron fundamentar acciones y la planificación de estrategias. Más tarde, se realizó la solicitud de los datos, cumpliendo con el tema de la confidencialidad. Finalmente se procedió con el tratamiento, depuración y posterior análisis de los datos.

2.3.2 Investigación

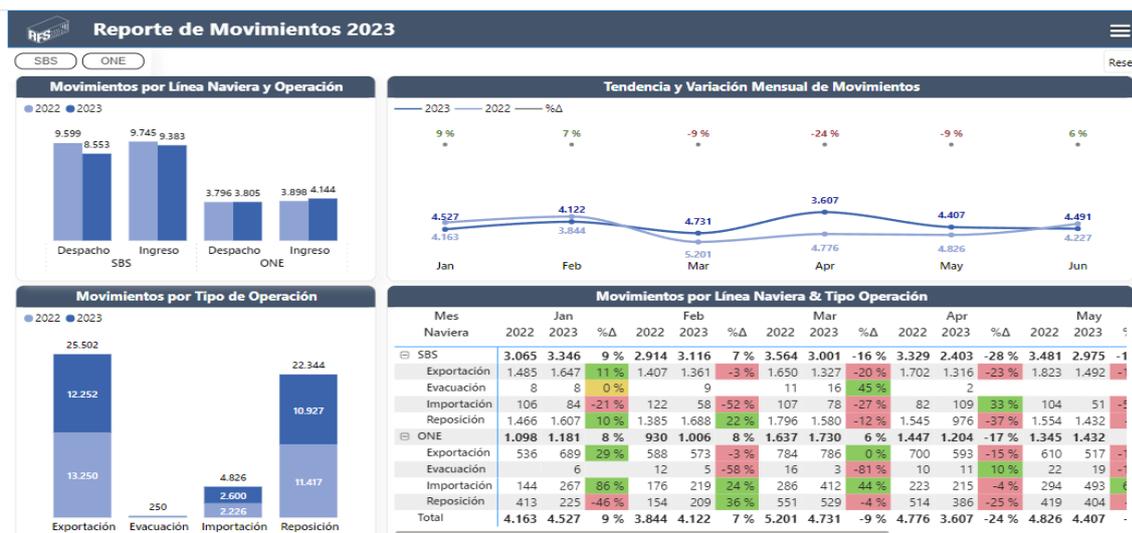
Para empezar, en esta actividad se profundizó en el problema del YAP, consultando artículos de revistas científicas fidedignas relacionadas a la problemática abordada en este proyecto. A continuación, se realizaron las consultas relacionadas a las diferentes plataformas y herramientas computacionales utilizadas para producir los entregables prometidos en la realización del presente proyecto.

2.3.3 Reporte Power BI

El análisis de los datos y posterior visualización de la información se decidió realizarlo en Microsoft Power BI, debido a que este entorno tiene una amplia gama de menús de visualizaciones, los cuales son atractivos para el detallado y presentación de la información. En la Figura 2.4 se muestra el reporte de movimientos realizados en el interior del depósito de contenedores.

Figura 2.4

Reporte de movimientos de contenedores CFS 2022-2023.



Nota. El reporte está elaborado en base a los datos de los movimientos de contenedores correspondientes a los años 2022 y 2023, con corte al 30 de junio del 2023.

2.3.4 Simulación en FlexTerm

Para la implementación de la simulación matemática en el software FlexTerm se eligió una interfaz maestra de puertas, la cual desempeña el rol de la fuente, desde la que se genera el flujo de contenedores hacia la interna del patio de contenedores. En la Figura 2.5 se muestra el esquema del sistema general a replicar en la simulación. En lo que respecta a la configuración de los elementos que intervienen en el sistema previamente descrito, se seleccionan los objetos que repliquen el comportamiento, distribución física de los bloques de almacenamiento, así como las estructuras de soporte y equipo necesario que se emplean en las operaciones de patio. Véase la Figura 2.6. Más tarde, se hicieron los ajustes necesarios para la calibración de los datos, los cuales siguen el comportamiento de ciertas distribuciones estadísticas y finalmente se compiló el modelo matemático de simulación para ver el comportamiento del sistema mediante la generación de indicadores de patio.

Figura 2.5

Representación general del modelo para el depósito de contenedores

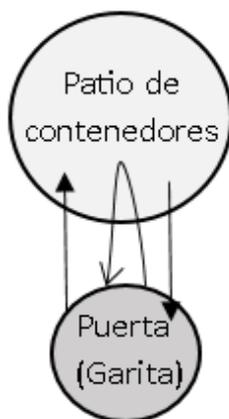
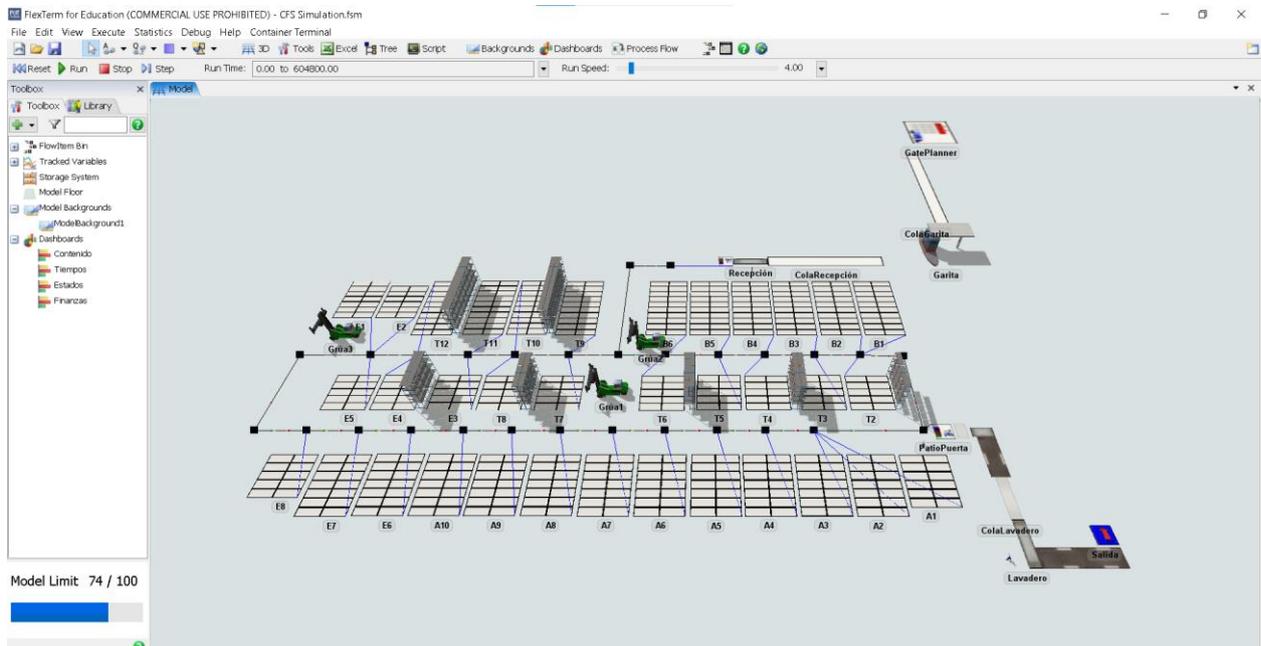


Figura 2.6

Representación del modelo de simulación para el depósito de contenedores en el software FlexTerm.



2.3.5 *Diseño del aplicativo web*

Esta última actividad es la que representó mayor inversión de tiempo debido a la complejidad para poder diseñar una eficiente Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) que se adapte a las necesidades de la empresa estudiada. Primero se realizó la estructuración del contenido del aplicativo web mediante el conjunto de etiquetas HTML, para luego estructurar la presentación de la plataforma web a través del lenguaje para diseño gráfico CSS, para finalmente programar todas las funcionalidades y darle interactividad al aplicativo mediante JavaScript.

2.4 **Análisis de la información recopilada**

A través de las técnicas de levantamiento de datos anteriormente descritas y posterior solicitud de los datos, se recibió un archivo de Excel correspondiente a los movimientos que se generaron en el depósito de contenedores en los años 2022 y 2023, con corte al 30 de junio del

2023. Este archivo consta de 109 campos y 140991 registros, tal y como se puede apreciar en la Figura 2.7.

Figura 2.7

Estructura de los datos recopilados asociados a las operaciones en el depósito de contenedores

Pat.	Contenedor	Modelo Máqu	Código R	SIZE	TIPO CCF	Gate In / Gate O	Booking	Naviera	Operación	Fecha de Ingres	ARC	M	SEMAH
RFS.1	SMLU5475773	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7478003A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 19:37:17	2023	Ene	52
RFS.1	SEGUS735232	CARRIER	45RH	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7475486A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 19:40:47	2023	Ene	52
RFS.1	CAIUS559441	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7478007A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 19:43:56	2023	Ene	52
RFS.1	BMOU9243678	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477015A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 19:46:30	2023	Ene	52
RFS.1	CAIUS454622	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7478007A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 21:28:19	2023	Ene	52
RFS.1	SZLUS9304394	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7478007A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 22:22:41	2023	Ene	52
RFS.1	SMLUS4545556	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477260A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	1/1/2023 22:54:07	2023	Ene	52
RFS.1	SMLUS451025	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477485A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 2:06:04	2023	Ene	1
RFS.1	CKRU1594303	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477829A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 2:26:22	2023	Ene	1
RFS.1	SZLUS9301862	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477838A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 4:05:50	2023	Ene	1
RFS.1	SEGUS820519	DAIKIN	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477507A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 5:10:23	2023	Ene	1
RFS.1	SMLUS474078	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477885A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 5:18:37	2023	Ene	1
RFS.1	TEMU9464889	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477259A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 6:02:32	2023	Ene	1
RFS.1	TTNU8277664	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477259A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 6:07:21	2023	Ene	1
RFS.1	SEGUS429628	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7477414A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 6:20:14	2023	Ene	1
RFS.1	SMLUS476738	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7478057A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 7:24:48	2023	Ene	1
RFS.3	SMLU2324280		20DC	20 DRY	DRY	Gate Out	7478370A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 7:30:07	2023	Ene	1
RFS.3	SMLU3134021		20DC	20 DRY	DRY	Gate Out	7478370A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 7:33:32	2023	Ene	1
RFS.1	BMOU9850943	DAIKIN	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 8:34:22	2023	Ene	1
RFS.1	SEGUS916483	CARRIER	45RH	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 8:41:28	2023	Ene	1
RFS.3	DRYU9720072		40HD	40 DRY	DRY	Gate In	N/A	ONE	Importación	2/1/2023 8:42:09	2023	Ene	1
RFS.1	SEGUS383260	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 8:47:09	2023	Ene	1
RFS.3	ONEU0320171		40HD	40 DRY	DRY	Gate In	N/A	ONE	Importación	2/1/2023 8:50:52	2023	Ene	1
RFS.1	CAIUS544122	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 8:54:29	2023	Ene	1
RFS.1	TEMU9464883	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 8:59:07	2023	Ene	1
RFS.1	SMLUS467612	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 9:02:58	2023	Ene	1
RFS.1	BMOU9293771	CARRIER	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate In	N/A	SEABOARD MARINE LINE	Reposición	2/1/2023 9:06:48	2023	Ene	1
RFS.1	SMLUS468028	STARCOOL	40RC	40 REEFER	REEFER	Gate Out	7479646A	SEABOARD MARINE LINE	Exportación	2/1/2023 9:18:24	2023	Ene	1

Nota. Los datos son descargados en formato tipo reporte desde el Sistema de Gestión de Depósito de la empresa. Adaptado de CFS, 2023.

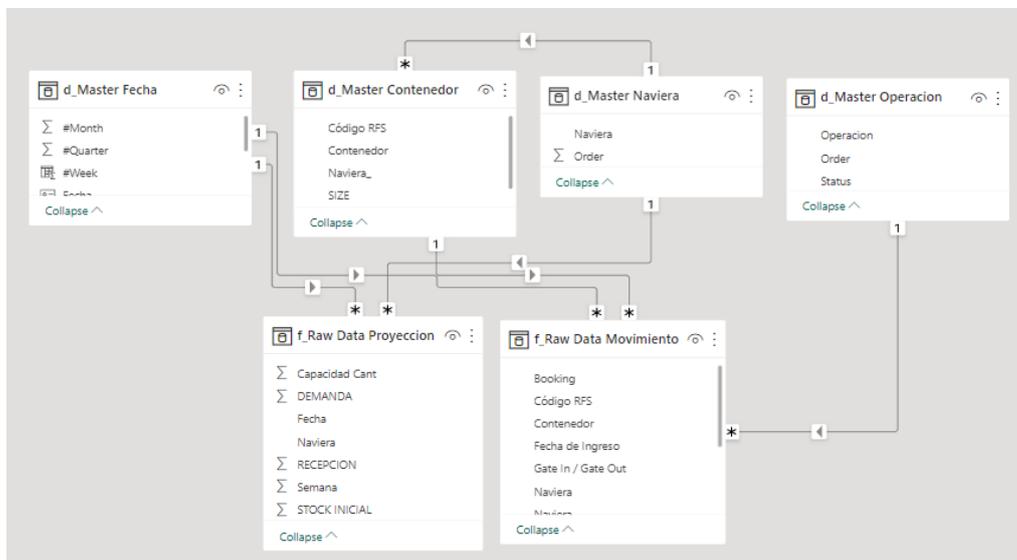
Una vez que se recibió la información, se procedió a depurar y tratar los datos, para luego proceder con la generación del Modelo Entidad-Relación (véase la Figura 2.8), el cual tiene tres componentes principales:

- Entidad: Representación de un objeto.
- Relación: Asociación entre dos entidades.
- Atributo: Característica de la identidad.

Posteriormente se llevó a cabo la representación de los datos a través de un tablero donde se muestra tendencias, patrones, participación entre otros. Todo esto se traduce en la creación de nuevas estrategias con la finalidad de satisfacer las necesidades y requerimientos de la empresa estudiada. Véase la Figura 2.4.

Figura 2.8

Modelo Entidad-Relación correspondiente al movimiento de contenedores.

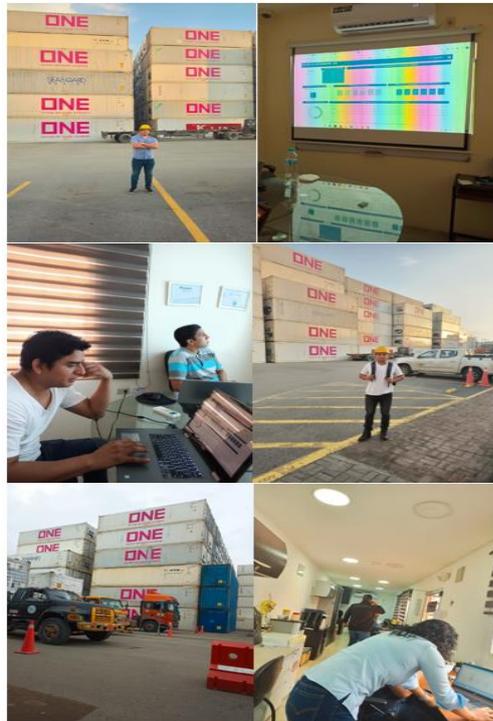


2.4.1 Entrevista semiestructurada

La entrevista semiestructurada es una técnica de recopilación de información que se empleó para efectuar una investigación cualitativa, con la finalidad de capturar información vital y detallada, mediante la interacción directa con el personal encargado de las principales y diferentes áreas operativas relacionadas con el depósito de contenedores. En la Figura 2.9 se muestra una de las entrevistas que se mantuvieron con el subgerente de operaciones del depósito de contenedores.

Figura 2.9

Collage de fotos de las visitas al depósito y entrevistas a personal que labora en el patio de contenedores.

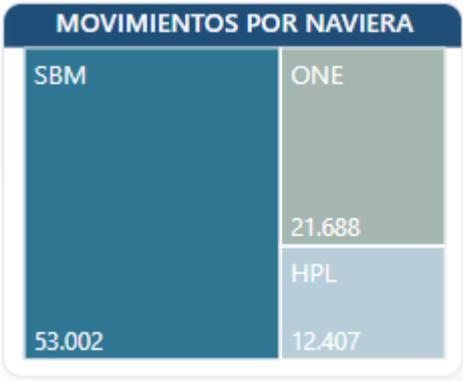


2.4.2 Información relevada de registros históricos

La información proveniente de registros históricos permitió obtener algunos detalles y evidencias concretas sobre los eventos asociados a las operaciones de manipulación y apilamiento de contenedores en el depósito. Conforme a la información recibida de los movimientos de los contenedores de todo el año 2022 hasta mayo del 2023, uno de los resultados obtenidos se muestra en la Figura 2.10.

Figura 2.10

Total, de movimientos de las operaciones (importación, exportación, evacuación y reposición) de las navieras.

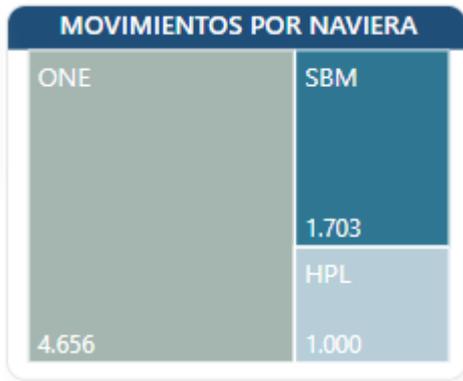


Nota. Se evidencia que la línea naviera Seaboard Marine, por sus siglas SBM realizó más movimientos dentro del patio en comparación con Hapag-Lloyd (HPL).

En la Figura 2.11 se puede apreciar que la línea naviera que realizó más movimientos con respecto a la operación de importación fue Ocean Network Express, por sus siglas ONE y la que menos movimientos realizó fue HPL.

Figura 2.11

Total, de movimientos de la operación importación, efectuados por las navieras



El rol que desempeña la investigación crítica y contextualizada al efectuar un análisis de los registros históricos es de vital importancia ya que permite determinar las limitaciones y el sesgo de los datos recolectados, así como el ámbito en que se originaron.

2.5 Modelo matemático

El modelo matemático de simulación que representa el comportamiento del sistema de las operaciones generadas en el depósito de contenedores es del tipo Puertas-Patio-Puertas (Gate-Yard), tal y como se expuso brevemente en la sección 2.3.4. Desde la puerta de acceso al depósito (fuente) fluyen contenedores entrantes (importación y reposición) hacia el patio, mientras que desde el patio hacia la puerta de salida (misma puerta de acceso) fluyen contenedores salientes (evacuación y exportación). La interfaz maestra que origina el flujo de los contenedores desde la puerta hacia el patio y desde el patio hacia la puerta en el modelo de simulación, viene representada por un planificador de patio (Gate Planner). En este último elemento se calibran los parámetros que reproducirán el arribo de camiones y/o contenedores a la puerta. El modelo cuenta con 35 bloques de almacenamiento de contenedores, de acuerdo al comportamiento del sistema. Véase Figura 2.12. Además, se cuenta con 28 nodos de red (Network Nodes), los cuales permiten generar las vías de acceso al interior del depósito tal y como se da en las operaciones reales. Finalmente, el modelo cuenta con un tamaño de flota de 3, correspondientes a las grúas de carga lateral, una puerta procesadora (Gate Process) y las colas que se genera en las zonas de recepción, despacho, control de temperatura y lavadero. Véase la Figura 2.13. El depósito tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 1587 contenedores diarios.

Figura 2.12

Representación de los 35 bloques de almacenamiento del modelo matemático de simulación.

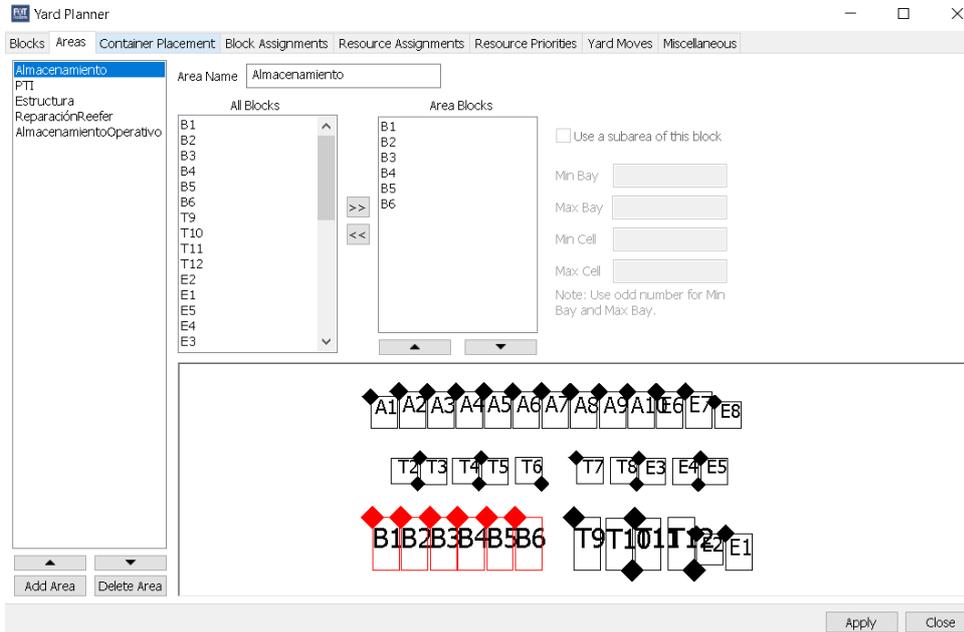
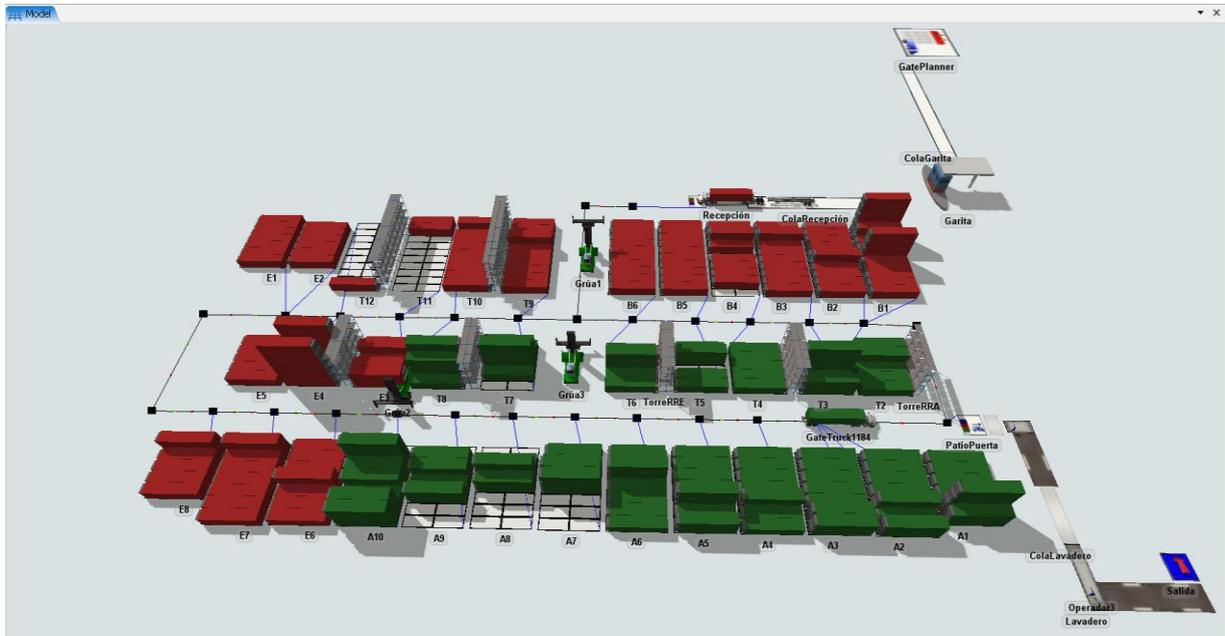


Figura 2.13

Diseño del depósito de contenedores en el software FlexTerm que valida el modelo matemático.



2.6 Uso de software

En esta sección se describe brevemente las plataformas computacionales empleadas en el desarrollo del presente proyecto.

2.6.1 *Microsoft Power BI*

Power BI es un servicio de análisis de datos de Microsoft enfocado a proporcionar visualizaciones interactivas y amigables con capacidades de inteligencia empresarial. Cuenta con una interfaz intuitiva de tal manera que los usuarios puedan crear reportes con estilo.

2.6.2 *FlexTerm*

“FlexTerm es una plataforma de simulación de eventos donde se estudian, diseñan, optimizan, desarrollan y prueban sistemas logísticos complejos antes de implementarlos en producción”. FlexTerm, 2023. Estos sistemas integran:

- Infraestructura
- Equipo
- Gente
- Sistemas de control automático
- Sensores
- Inteligencia artificial y aprendizaje automático

2.6.3 *Visual Studio Code*

Visual Studio Code es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft. Es software libre y multiplataforma. Cuenta con soporte para depuración de código, y dispone de un sinnúmero de extensiones, que básicamente te da la posibilidad de escribir y ejecutar código en cualquier lenguaje de programación.

2.7 Consideraciones éticas y legales

Entre los aspectos legales a considerarse se tiene en primer lugar, la Ordenanza que regula las condiciones de ordenamiento y de edificación de los depósitos de contenedores vacíos temporales en el cantón Guayaquil. Como segundo punto, se debe seguir a cabalidad el Protocolo para desinfección de contenedores vacíos y vehículos de carga en el terminal portuario y depósitos de contenedores vacíos que se emplean en el transporte de carga de comercio exterior. Finalmente se debe cumplir con el Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo.

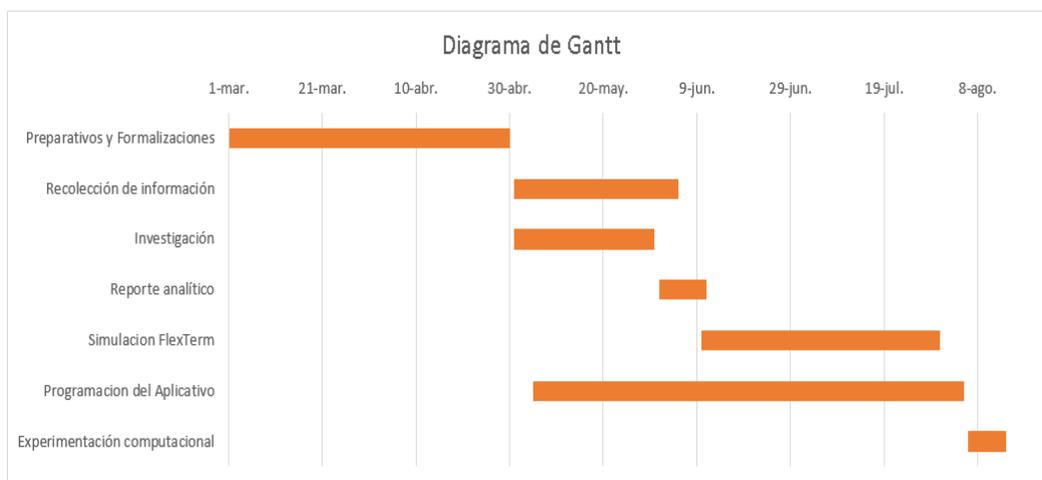
Con los aspectos considerados, el diseño e implementación de un sistema de gestión operativo para un depósito de contenedores, permitirá minimizar la exposición de un operario a las diferentes zonas del patio para la verificación manual de un contenedor, por citar un ejemplo.

2.8 Cronograma de trabajo

En esta sección se presenta el cronograma de trabajo que permitió planificar, controlar y monitorear el desarrollo del presente proyecto. En la Figura 2.14 se muestran los detalles y fechas pactadas de cumplimiento de actividades.

Figura 2.14

Representación del cronograma de trabajo mediante un diagrama de Gantt.



Capítulo 3

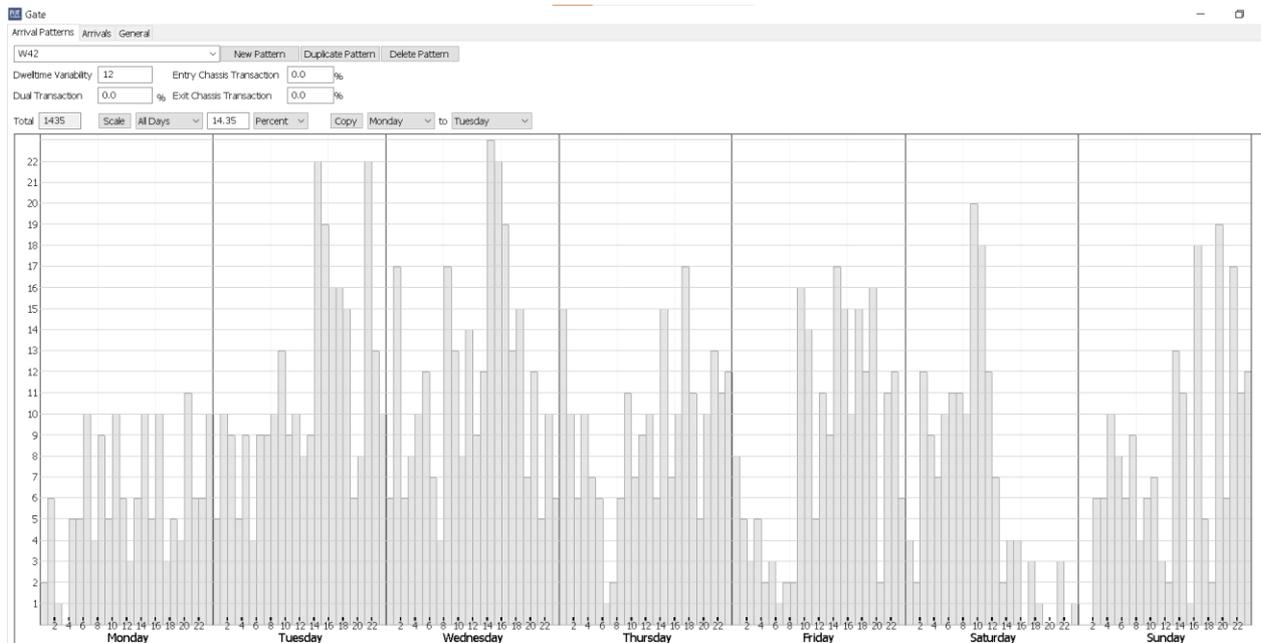
3. Resultados y análisis

En esta sección se presenta una evaluación detallada del funcionamiento del sistema (depósito de contenedores) en términos de eficiencia y rendimiento. Algunos de los aspectos claves que se consideraron fueron: flujo operativo, tiempo de procesamiento, capacidad y disponibilidad e indicadores de rendimiento.

Como se muestra en la tabla A1 en los anexos, se realizó la exploración minuciosa del sistema, generando simulaciones para las 52 semanas correspondientes al año 2022. La Figura 3.1, correspondiente a la semana 42, muestra la distribución con mayor flujo (1435) de camiones (y contenedores) durante el año 2022.

Figura 3.1

Patrón de llegada semanal para establecer los días y horas en que los camiones (y contenedores) arriban a la puerta del depósito.



La Figura 3.2.A muestra las principales estadísticas descriptivas, relacionadas a los días de permanencia de los contenedores en el patio. El número de observaciones fue de 10283,

registrando que el mínimo número de días que un contenedor permaneció en el patio fue de 0.01 días (15 minutos) y que el máximo número de días que un contenedor permaneció en el patio fue de 220. Así mismo, el promedio de permanencia de un contenedor en el patio fue de aproximadamente 15 días.

La Figura 3.2.B proyecta los resultados obtenidos después de haber realizado un ajuste automático a la variable de días de permanencia de los contenedores en el depósito. La distribución estadística que se ajustó al comportamiento de los datos fue Johnson SB, sin embargo, la herramienta Experfit empleada en dicho propósito, estableció que tal modelo estadístico no es el apropiado para caracterizar al parámetro de días de permanencia de los contenedores en el patio, por lo que se empleó una distribución empírica.

La Figura 3.2.C presenta un gráfico de histograma de densidad, el cual permitió comprender la forma y la naturaleza de la distribución de los datos.

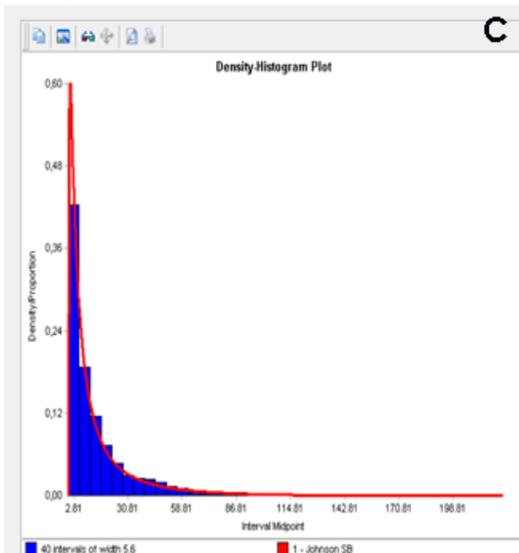
Figura 3.2

Resumen estadístico (A), ajuste automático de los datos (B) e histograma de densidad (C), correspondientes a los días de permanencia de los contenedores en el depósito.

Data-Summary Table

Data Characteristic	Value
Source file	Permanencia1RFS
Observation type	Real valued
Number of observations	10,283
Minimum observation	0.01000
Maximum observation	220.07000
Mean	14.67849
Median	7.36000
Variance	385.95432
Coefficient of variation	1.33840
Skewness	2.94800

Density-Histogram Plot



Automated-Fitting Results

Relative Evaluation of Candidate Models			
Model	Relative Score	Parameters	
1 - Johnson SB	100.00	Lower endpoint	0.00999
		Upper endpoint	220.29350
		Shape #1	2.36012
		Shape #2	0.69391
2 - Random Walk(E)	92.11	Location	0.00395
		Scale	0.42052
		Shape	0.08132
3 - Random Walk	90.79	Location	0.00000
		Scale	0.40240
		Shape	0.08201

20 models are defined with scores between 1.32 and 100.00

Absolute Evaluation of Model 1 - Johnson SB

Evaluation: Bad
 Suggestion: Use an empirical distribution.
 See Help for more information.

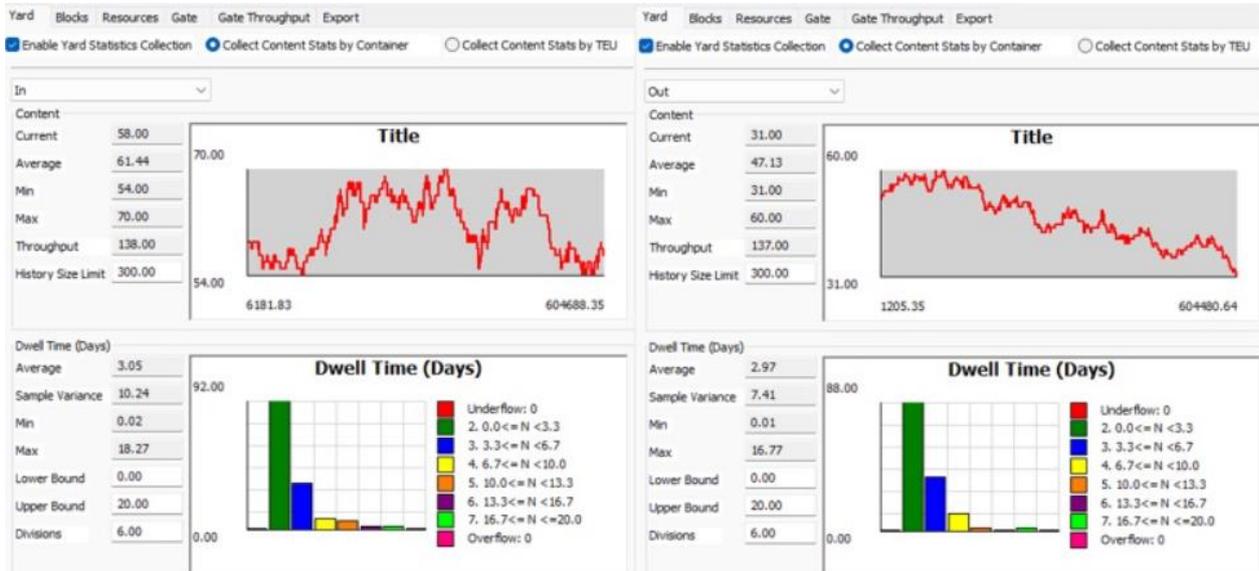
Additional Information about Model 1 - Johnson SB

"Error" in the model mean relative to the sample mean -0.34954 = 2.38%

La simulación realizada para estudiar el comportamiento del sistema en la semana con mayor flujo de contenedores (semana 42), permitió determinar que, al término de dicha semana, el número de contenedores que ingresaron al patio fue 138 (importaciones y reposiciones), mientras que el número de contenedores que egresaron del depósito fue 137 (exportaciones y evacuaciones), dando como resultado un rendimiento del patio de 275 contenedores. Véase la Figura 3.3.

Figura 3.3

Principales indicadores de rendimiento de los contenedores entrantes (In) y salientes (Out) y días de permanencia de los contenedores para flujo saliente y entrante.



Así mismo, en la tabla 3.1 se presenta un breve resumen de las principales medidas de rendimiento de los bloques pertenecientes a las áreas de Almacenamiento (B1, B2, B3, B4 B5, B6) y Reparación Reefer (T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8). Un hallazgo que llamó mucho la atención es que en la semana 42 se registra un tiempo de permanencia de los contenedores en el bloque T8 (Reparación Reefer) de aproximadamente 17 días, a sabiendas que esta área es transitoria, ya que en ella se efectúan las reparaciones de los contenedores con daños de máquina. Esto indica que, en la semana en cuestión se mantuvieron reparando varios contenedores con un daño representativo en la máquina.

Tabla 3.1

Medidas de rendimiento de los bloques pertenecientes a las áreas de Almacenamiento y Reparación Reefer.

	B1	B3	B3	B4	B5	B6	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Contenido Actual	13	10	10	10	9	6	4	3	4	4	6	5	5
Contenido Promedio	16	14	9	9	6	8	3	3	3	7	10	11	10
Contenido Mínimo	10	8	5	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4
Conenido Máximo	24	24	12	12	11	13	8	7	7	13	23	24	24
Tiempo Promedio de Permanencia (Días)	6.8	3.2	1.8	1.5	2	1.7	1.1	1.2	1.9	2.5	1.9	2.9	5.8
Varianza del Tiempo de Permanencia	24.2	2.5	3	2.1	2.8	1.1	1.6	2.1	3	3.4	2.1	2.9	12.5
Tiempo de Permanencia Mínimo	0.3	0.6	0.1	0	0	0.3	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.2
Tiempo de Permanencia Maximo	18.3	7.1	7.3	4.5	5.1	3.4	4.1	4.2	5.3	5.6	6.4	6.3	16.8

En lo que respecta al empleo de recursos como las grúas de carga lateral, la Tabla 3.2 permite identificar los factores más importantes asociados a estos elementos de gran relevancia en las operaciones. En la semana 42 se emplearon 2 grúas, las cuales sirvieron a 137 contenedores cada una y con un porcentaje de ocupación del 100%. El tiempo promedio de espera para la grúa 1 fue de 1 hora, mientras que para la grúa 2 fue de aproximadamente 7 horas. Este último indicador proporciona indicios de que alguna de las razones que impactaron en el tiempo de inactividad pudieron haber sido:

1. Problemas de programación y planificación
2. Problemas de coordinación y logística
3. Problemas de mantenimiento
4. Escasez de personal
5. Problemas relacionados a procesos de seguridad

Toda la información presentada puede ser relevante para evaluar la eficiencia y la utilización de recursos en el depósito y puede sugerir áreas donde se podrían realizar mejoras en la programación, coordinación u otros aspectos operativos.

Tabla 3.2

Indicadores de desempeño de las grúas de carga lateral.

	Grúa1	Grúa2
Contenido Actual de la Cola de Tareas	0.00	0.00
Promedio de Contenido de la Cola de Tareas	0.00	0.00
Contenido Mínimo de la Cola de Tareas	0.00	0.00
Contenido Máximo de la Cola de Tareas	1.00	1.00
Promedio de Tiempo de Espera	1.05	6.80
Varianza del Tiempo de Espera	16.20	138.40
Tiempo de Espera Mínimo	0.00	0.00
Tiempo de Espera Máximo	34.55	89.11
% de Ocupación	100.00	100.00
Rendimiento	137.00	137.00
Movimientos Brutos Por Hora	0.82	0.82
Movimientos Netos por Hora	0.82	0.82

3.1 Análisis de costos

En el análisis de costos de la simulación realizada para el depósito de contenedores reefer, se evaluarán y cuantificarán los diversos costos asociados con las operaciones simuladas. Esto proporcionará una comprensión completa de los aspectos económicos y ayudará en la toma de decisiones para optimizar la eficiencia y la rentabilidad del sistema.

La Tabla 3.3 presenta un resumen de los costos relacionados a la implementación de la propuesta de solución para el problema abordado en el presente proyecto.

Tabla 3.3

Costos asociados a la simulación.

<u>Licencia</u>		<u>Desarrollo Simulacion</u>	
FlexTerm	\$ 3,000	Costo por contenedor	4
		Total de contenedores	1,287.00
		Costo total	\$ 5,148
<u>Soporte y mantenimiento</u>		<u>Capacitacion</u>	
Actualizaciones	\$ 500	Numero de personas	4
Correccion de errores	\$ 700	Horas al mes	4
Optimizacion de rendimiento	\$ 900	Horas al año	48
Documentacion	\$ 200	Costo por persona	\$ 247.50
		Total	\$ 990

El rubro total relacionado a la simulación efectuada para evaluar los niveles de operatividad del depósito es de \$11430 dólares.

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este último apartado del proyecto abordado establece las conclusiones y recomendaciones, las cuales se centran en mejorar la planificación, coordinación, uso de recursos y procesos de inspección para optimizar el rendimiento general del depósito de contenedores reefer. La implementación de estas recomendaciones tiene el potencial de reducir los tiempos de espera, aumentar la eficiencia operativa y mejorar la satisfacción del cliente.

4.1 Conclusiones

- **Tiempo de Procesamiento:** Se observó que el tiempo promedio de procesamiento de los contenedores reefer es variable, con diferencias notables entre las operaciones. Las exportaciones tienden a requerir más tiempo, lo que podría estar relacionado con inspecciones y coordinación logística.
- **Cuellos de Botella:** Se identificaron cuellos de botella en las operaciones de evacuación y exportación, lo que lleva a retrasos significativos en la salida de los contenedores. Esto podría deberse a la falta de recursos o a la necesidad de optimizar los procesos de inspección.
- **Eficiencia de Espacio:** El espacio de almacenamiento está siendo utilizado de manera eficiente, pero se observaron áreas en las que se pueden aplicar estrategias de reorganización para maximizar la capacidad del depósito.

4.2 *Recomendaciones*

- Programación y Priorización: Implementar un sistema de programación más preciso y flexible para las operaciones de evacuación y exportación, asegurando que los contenedores críticos sean atendidos primero.
- Optimización de Recursos: Evaluar la asignación de personal y equipos en función de la demanda de operaciones. Incrementar la disponibilidad de recursos durante los picos de demanda.
- Automatización y Tecnología: Introducir sistemas de inspección automatizados para agilizar los procesos de control de calidad y cumplimiento normativo, reduciendo los tiempos de espera en las inspecciones.
- Reorganización del Espacio: Identificar áreas subutilizadas en el depósito y aplicar estrategias de reorganización para maximizar el espacio de almacenamiento sin comprometer la accesibilidad.
- Monitoreo Continuo: Establecer un sistema de monitoreo en tiempo real para rastrear el flujo de operaciones, identificar cuellos de botella y tomar medidas correctivas de manera proactiva.
- Capacitación del Personal: Proporcionar capacitación adicional al personal involucrado en las operaciones para mejorar la eficiencia y la coordinación en el manejo de los contenedores.

Referencias

Cheimanoff, N., Féliès, P., Kitri, M. N., & Tchernev, N. (2023). Exact and metaheuristic approaches to solve the integrated production scheduling, berth allocation and storage yard allocation problem. *Computers & Operations Research*, 153, 106174. ISSN 0305-0548. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106174>.

Bruglieri, M., Gerzelj, E., Guenzani, A., Maja, R., & de Alvarenga Rosa, R. (2015). Solving the 3-D Yard Allocation Problem for Break Bulk Cargo via Variable Neighborhood Search Branching. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 47, 237-244. ISSN 1571-0653. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2014.11.031>.

Yang, X., Hu, H., Jin, J., & Luo, N. (2022). Joint optimization of space allocation and yard crane deployment in container terminal under uncertain demand. *Computers & Industrial Engineering*, 172(Part A), 108425. ISSN 0360-8352. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108425>.

Hu, X., Liang, C., Chang, D., & Zhang, Y. (2021). Container storage space assignment problem in two terminals with the consideration of yard sharing. *Advanced Engineering Informatics*, 47, 101224. ISSN 1474-0346. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101224>.

Tan, C., He, J., & Wang, Y. (2017). Storage yard management based on flexible yard template in container terminal. *Advanced Engineering Informatics*, 34, 101-113. ISSN 1474-0346. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.10.003>.

Carlo, H. J., Vis, I. F. A., & Roodbergen, K. J. (2014). Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 412-430. ISSN 0377-2217. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.054>.

Jiang, X., Lee, L. H., Chew, E. P., Han, Y., & Tan, K. C. (2012). A container yard storage strategy for improving land utilization and operation efficiency in a transshipment hub port. *European Journal of Operational Research*, 221(1), 64-73. ISSN 0377-2217. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.011>.

Feng, X., He, Y., & Kim, K.-H. (2022). Space planning considering congestion in container terminal yards. *Transportation Research Part B: Methodological*, 158, 52-77. ISSN 0191-2615. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2022.02.012>.

Yang, X., Hu, H., Jin, J., & Luo, N. (2022). Joint optimization of space allocation and yard crane deployment in container terminal under uncertain demand. *Computers & Industrial Engineering*, 172(Part A), 108425. ISSN 0360-8352. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108425>.

Wang, W., Peng, Y., & Li, X. (2022). Chapter 1 - Introduction to port planning and management. En W. Wang & Y. Peng (Eds.), *Port Planning and Management Simulation* (pp. 3-22). Elsevier. ISBN 9780323901123. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90112-3.00011-X>.

Legato, P., Mazza, R. M., & Voß, S. (2023). Informed simulation for dynamic path finding in human-operated container terminals. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 125, 102752. ISSN 1569-190X. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2023.102752>.