

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un modelo integral para la optimización de la ubicación y gestión
operativa de un patio de contenedores

INGE-2751

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Yuma Del Rocío Kim Álvarez

Harry Bradd Zerda Saldarriaga

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria 1

Dedico este proyecto a Dios, quien ha sido la base de mi fortaleza y guía en todo momento. A mi mamá Rocío, por su incansable esfuerzo y por ser mi mayor fuente de inspiración y motivación. A toda mi familia, por su presencia y apoyo incondicional a lo largo de este proceso lleno de desafíos y aprendizajes.

Yuma Kim Álvarez

Dedicatoria 2

Dedico este proyecto a Dios, quien me ha bendecido siempre y me ha hecho posible llegar hasta aquí.

A mis padres, que me han apoyado y guiado siempre con su amor incondicional y sacrificio.

A mi hermano Bryan, quien me ha acompañado en cada etapa de mi vida con cariño y comprensión.

A mis hermanos no nacidos, que, aunque no estén físicamente, los llevo en mi corazón y me inspiran a ser mejor cada día.

A mis abuelos que me protegen y me guían desde el cielo y mi abuela Teresa que con su cariño me anima a seguir adelante.

Harry Zerda Saldarriaga

Agradecimientos 1

Mi más sincero agradecimiento a Dios por ser el pilar fundamental en mi vida. A mi mamá, Rocío, por siempre creer en mí y acompañarme en los momentos difíciles, ayudándome a superar cada desafío con su amor incondicional. A mis hermanos, por inspirarme a ser mejor cada día, alentándolos a soñar en grande. A mi tío, por su apoyo constante, ayudándome en cada obstáculo. A mi abuela, por brindarme su cariño siempre. A Harry, por ser mi mejor amigo, gracias por cada consejo, juntos hemos llegado lejos y por lo que nos falta. A mis amigos, Javiera, Rigo, Josué y Adrián, por su apoyo y palabras motivadoras. Finalmente, a la M.Sc. Ma. Belén Segovia, por motivarnos a dar lo mejor. Con aprecio y gratitud,

Yuma

Agradecimientos 2

A Dios, por bendecirme con la sabiduría, paciencia y salud necesarias para alcanzar esta meta. A mis padres y hermano, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante. Gracias por ser un ejemplo en mi vida, todo lo que soy y he logrado es gracias a ustedes. A mi familia, por su cariño, comprensión y palabras de aliento.

A Karelys, por estar a mi lado, por creer en mí, darme su amor y motivación.

A Yuma, mi mejor amiga, por su compromiso, dedicación y paciencia para alcanzar juntos este logro. A mis amigos:

César, Andrés, Camila, Adrián, José, Jesús, Juan, Mike, Cristhian, Luiggi, Rigo, Gilson, Luis, Angie, Lore, Made, Mary, Steph, Miloz, Gustavo, Sofi, Josue, Kleber, Mauro, Slather, Xavier, quienes con su compañía, risas y consejos han sido una parte fundamental de mi vida.

A todos ustedes, Gracias.

Harry

Declaración Expresa

Nosotros Yuma del Rocio Kim Alvarez y Harry Bradd Zerda Saldarriaga acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de octubre del 2024.



Yuma del Rocio Kim
Alvarez



Harry Bradd Zerda
Saldarriaga

Evaluadores

María Laura Retamales García, MSc.

Profesora de Materia

María Belén Segovia Navarrete, MSc.

Tutora de proyecto

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo desarrollar un modelo matemático para optimizar la asignación, ubicación y rotación de contenedores en un depósito, con el fin de reducir movimientos innecesarios y mejorar los tiempos de despacho. El análisis inicial evidenció que el tiempo promedio de despacho por contenedor era de 81 minutos, superando la meta de 75 minutos. Para abordar esta problemática, se implementó un modelo basado en el enfoque del Set Partitioning Problem, considerando restricciones como políticas de rotación, ubicación física, tiempo de estadía y características técnicas de los contenedores. La solución fue trasladada a Excel para facilitar su adopción por el personal operativo. Tras su implementación, el modelo logró reducir el promedio de los movimientos de contenedores de 16 a 11 por despacho y disminuir el tiempo de despacho a 74 minutos en promedio, alcanzando la meta establecida. Además, se garantizó el cumplimiento de las políticas de rotación, priorizando la extracción de contenedores con mayor tiempo de estadía, cuyo promedio se redujo de 37 a 26 días, alineándose con la meta operativa de 30 días máximos de permanencia en el depósito. Finalmente, se desarrolló un plano digital en tiempo real que mejora la visibilidad del inventario y respalda la toma de decisiones estratégicas.

Palabras clave: Optimización logística, Set Partitioning Problem, Rotación de contenedores, Visibilidad operativa.

Abstract

The objective of this project was to develop a mathematical model to optimize the allocation, placement, and rotation of containers in a depot, aiming to reduce unnecessary movements and improve dispatch times. The initial analysis revealed that the average dispatch time per container was 81 minutes, exceeding the target of 75 minutes. To address this issue, a model based on the Set Partitioning Problem approach was implemented, considering constraints such as rotation policies, physical location, length of stay, and technical characteristics of the containers. The solution was transferred to Excel to facilitate its adoption by operational staff. After implementation, the model successfully reduced the average number of container movements from 16 to 11 per dispatch and decreased dispatch time to an average of 74 minutes, achieving the established target. Additionally, compliance with rotation policies was ensured by prioritizing the extraction of containers with longer dwell times, reducing the average from 37 to 26 days, aligning with the operational goal of a maximum stay of 30 days in the depot. Finally, a real-time digital layout was developed to enhance inventory visibility and support strategic decision-making.

Keywords: Logistics optimization, Set Partitioning Problem, Container rotation, Operational visibility.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar (DMADV)	5
1.5.2 Voice of Customer	6
1.5.3 SIPOC.....	7
1.5.4 QFD (Despliegue de la Función de Calidad)	8
1.5.5 GEMBA	8
1.5.6 Política FIFO en depósito de contenedores	9
Capítulo 2	10
2. Metodología	11
2.1 Definir.....	11
2.1.1 Voz del cliente	11
2.1.2 Diagrama de afinidad	14
2.1.3 Árbol de la calidad (CTQ).....	15

2.1.4 Alcance del proyecto	16
2.1.5 Especificaciones técnicas de la calidad (QFD)	18
2.2 Medir	23
2.3 Análisis	31
2.4 Hallazgos	47
2.5 Propuestas de diseño.....	48
2.6 Análisis financiero.....	54
2.7 Diseñar.....	54
Capítulo 3	61
3. Resultados y análisis	62
3. Resultados de implementación.....	62
Capítulo 4	67
4. Conclusiones y recomendaciones.....	68
4.1 Conclusiones.....	68
4.2 Recomendaciones	70
Bibliografía.....	71

Abreviaturas

40RC	Contenedor de 40 pies Reffer Cube
CA	Control Atmosphere
DMADV	Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar
DMS	Depot Management System
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MIP	Mixed Integer Programming
QFD	Quality Function Development
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customer
TBL	Tripple Bottle Line
VOC	Voice of Customer

Simbología

FEU	Forty-Food Equivalent Unir
H_0	Hipótesis nula
H_1	Hipotesis alternative
Min	Minutos
N	Tamaño de muestra

Índice de figuras

Figura 2.1	Voz del cliente de subgerente de operaciones.....	12
Figura 2.2	Voz del cliente de jefe de operaciones.....	12
Figura 2.3	Voz del cliente de coordinador de operaciones.....	13
Figura 2.4	Voz de cliente de asistente logístico.....	13
Figura 2.5	Voz del cliente de operador de maquina portacontenedor.....	14
Figura 2.6	Diagrama de afinidad.....	15
Figura 2.7	Diagrama del árbol de la calidad CTQ (<i>Critical to Quality</i>).....	16
Figura 2.8	Macromapa de proceso de empresa.....	17
Figura 2.9	Diagrama SIPOC de empresa.....	17
Figura 2.10	Volumen de despachos en depósitos de contenedores.....	18
Figura 2.11	Diagrama de despliegue de función de Calidad (QFD).....	19
Figura 2.12	Capacitación a personal sobre como llenar información en forms.....	24
Figura 2.13	Información recolectada en forms.....	24
Figura 2.14	Información mostrada en panel de maquina portacontenedor.....	25
Figura 2.15	Información de formulario de horas en que la maquina estuvo en funcionamiento.....	26
Figura 2.16	Base de datos de paradas correctivas manejada por técnicos.....	26
Figura 2.17	Extracto de informe general del depósito de contenedores.....	27
Figura 2.18	Extracto de informe de control de inspección de configuración de temperatura.....	27
Figura 2.19	Extracto de reporte general de contenedores.....	28
Figura 2.20	Registro manual de exportación de contenedores.....	28
Figura 2.21	Extracto de reporte general de contenedores.....	29
Figura 2.22	Registro manual de importaciones de contenedores.....	29
Figura 2.23	Extracto de registro de devoluciones de contenedores.....	30
Figura 2.24	Extracto de reporte general de contenedores.....	31
Figura 2.25	Gráfico de probabilidad normal de X1.....	32
Figura 2.26	Gráfico de probabilidad normal de X2.....	33
Figura 2.27	Gráfico de probabilidad normal de X3.....	34
Figura 2.28	Gráfico de probabilidad normal de X5.....	36
Figura 2.29	Gráfico de probabilidad normal de X6.....	38
Figura 2.30	Serie de tiempo de tiempos promedios por despacho por semana.....	39

Figura 2.31 Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2022 vs 2023 y prueba t	40
Figura 2.32 Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2022 vs 2024 y prueba t	40
Figura 2.33 Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2023 vs 2024 y prueba t	40
Figura 2.34 Serie de tiempo de tiempos promedios por despacho por tipo de contenedor.....	41
Figura 2.35 Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor A vs B por semana y prueba t.....	42
Figura 2.36 Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor B vs C por semana y prueba t.....	42
Figura 2.37 Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor A vs C por semana y prueba t.....	42
Figura 2.38 Serie de tiempo de tiempo promedio de servicio por turno por semana (2024)	43
Figura 2.39 Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por turno por semana y prueba t	44
Figura 2.40 Serie de tiempo de despachos por semana 2022-2023-2024.....	45
Figura 2.41 Diagrama de cajas de despachos semanales 2022 vs 2023 y prueba t	45
Figura 2.42 Diagrama de cajas de despachos semanales 2023 vs 2024 y prueba t	45
Figura 2.43 Diagrama de cajas de despachos semanales 2022 vs 2024 y prueba t	46
Figura 2.44 Serie de tiempo por turno de trabajo por semana (2024).....	47
Figura 2.45 Diagrama de cajas de despachos semanales por turno (2024) y prueba t	47
Figura 2.46 Formulación en Gams	57
Figura 2.47 Modelo de optimización en Excel	58
Figura 2.48 Respuesta de solver	58
Figura 2.49 Plano de contenedores en el patio.....	59
Figura 3.1 Tiempo promedio de despacho previo a implementación	63
Figura 3.2 Tiempo promedio de despacho luego de implementación.....	63
Figura 3.3 Diagrama de cajas de tiempo promedio despachos, previo y luego de implementación y prueba t	64
Figura 3.4 Diagrama de proceso “asignación de contenedor para despacho”.....	64

Figura 3.5 Diagrama de cajas de tiempo promedio de estadía de contenedores en depósito, previo y luego de implementación y prueba t	65
Figura 3.6 Diagrama de cajas de movimientos en promedio por despacho, previo y luego de implementación y prueba t	66

Capítulo 1

1.1 Introducción

Un patio de contenedores es una instalación clave dentro de la cadena logística, destinada al almacenamiento temporal y gestión de contenedores utilizados en el transporte marítimo. En estos espacios, los contenedores son organizados, clasificados y preparados para su despacho o recepción, por lo que su disposición estratégica es fundamental para minimizar tiempos de espera, optimizar el uso del espacio y reducir movimientos innecesarios.

En el depósito donde se desarrolla este proyecto, la ausencia de un sistema optimizado para la asignación y ubicación de los contenedores ha generado ineficiencias operativas, incrementando los movimientos adicionales y retrasando las operaciones. Además, la alta demanda de ciertos tipos de contenedores resalta la necesidad de implementar estrategias que aseguren su rotación eficiente y disponibilidad oportuna para los clientes. La optimización de estos procesos permitirá mejorar la planificación operativa y garantizar un flujo de despacho más eficiente, alineándose con las necesidades del mercado y las políticas logísticas de la empresa.

En este contexto, la eficiencia en la gestión de contenedores no solo mejora la utilización del espacio disponible, sino que también reduce costos operativos y eleva la calidad del servicio al cliente. El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un modelo integral que optimice la asignación, disposición y gestión operativa de los contenedores en el depósito, asegurando un flujo más eficiente y ordenado.

Este modelo busca no solo alcanzar los tiempos de despacho establecidos, sino también ofrecer una solución sostenible a largo plazo que permita una administración eficiente de los recursos. A través de un enfoque sistemático, se abordarán las ineficiencias actuales y se explorarán soluciones basadas en técnicas matemáticas avanzadas, las cuales han demostrado ser exitosas en otros entornos logísticos, garantizando así una mejora continua en la gestión del depósito.

1.2 Descripción del Problema

El presente proyecto se centra en las ineficiencias operativas observadas en la gestión del patio de contenedores refrigerados de la empresa. Actualmente, el sistema de asignación y disposición de contenedores presenta deficiencias que afectan la eficiencia operativa. Aunque el objetivo es despachar los contenedores en un máximo de 75 minutos, los datos recopilados entre enero y septiembre de 2024 evidencian que el tiempo promedio de despacho es de 81 minutos, con solo el 51% de los despachos cumpliendo con la meta establecida.

La falta de un modelo de gestión eficiente se traduce en movimientos innecesarios de contenedores, aumentando la duración de las operaciones logísticas y generando retrasos en la manipulación y entrega. A través de entrevistas con el personal operativo y la recolección de datos, se identificó que la falta de políticas de ubicación y de un sistema estructurado para la gestión de contenedores afecta el stock, generando un desequilibrio entre la disponibilidad y la demanda. En consecuencia, ciertos tipos de contenedores se agotan rápidamente, mientras que otros permanecen almacenados por más tiempo del deseado, lo que dificulta la planificación operativa y eleva los costos de almacenamiento.

Adicionalmente, las restricciones actuales incluyen un inventario limitado, la necesidad de una mejor planificación en la recepción de contenedores y la variabilidad en las preferencias de los clientes. Por lo tanto, se vuelve imperativo desarrollar un modelo integral que optimice el uso del espacio del patio y el flujo de trabajo, considerando variables clave como la reducción de tiempos de despacho, la asignación eficiente del espacio y la minimización de movimientos innecesarios.

1.3 Justificación del Problema

El diseño de un modelo integral para optimizar la ubicación y gestión operativa de un patio de contenedores es crucial para evitar demoras en los tiempos de despacho y minimizar movimientos innecesarios. Actualmente, la falta de un sistema eficiente genera congestión en el patio, incrementa los costos operativos y afecta la disponibilidad de contenedores, lo que puede derivar en retrasos en la cadena logística y pérdidas económicas.

Si no se soluciona este problema, la empresa enfrentará una mayor ineficiencia operativa, un aumento en los costos por tiempos improductivos y una disminución en la satisfacción del cliente debido al incumplimiento de los tiempos de despacho, fijados en un promedio de 75 minutos. Para mitigar estos riesgos, es fundamental implementar un sistema con políticas claras de asignación y disposición de contenedores, garantizando un control preciso del inventario sin generar gastos adicionales.

Además, este proyecto busca proporcionar un análisis detallado de las cantidades a manejar para mejorar la eficiencia en el flujo de trabajo y lograr un control efectivo de las operaciones logísticas. La optimización del patio no solo incrementará la eficiencia interna, sino que también fortalecerá la competitividad de la empresa en el sector, asegurando un servicio más ágil y confiable.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Desarrollar un modelo integral para optimizar la asignación, disposición y gestión operativa de los contenedores en el depósito, para reducir movimientos innecesarios y mejorar

los tiempos de despacho para cumplir con la meta de la empresa de 75 minutos, en un plazo de 4 meses.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el flujo operativo actual de la manipulación de contenedores para identificar las principales ineficiencias relacionadas con los movimientos innecesarios y su impacto en los tiempos de expedición.
2. Investigar diferentes modelos matemáticos aplicables a la optimización de la asignación y gestión de contenedores para seleccionar el modelo más adecuado a la situación planteada.
3. Desarrollar un modelo matemático funcional que optimice la asignación y disposición de contenedores, minimizando los movimientos requeridos para su recuperación y expedición, mejorando así la eficiencia operativa.
4. Validar la efectividad del modelo propuesto mediante su implementación y comparando las operaciones actuales con el diseño optimizado, midiendo su impacto en los tiempos de despacho y en la rotación de contenedores.
5. Garantizar la aplicabilidad del modelo en las operaciones diarias a través del desarrollo de una interfaz operativa intuitiva, que facilite su implementación y uso por parte del personal del depósito.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Verificar (DMADV)

El proceso DMADV forma parte de la metodología Six Sigma y está enfocado en el diseño de nuevos productos o procesos. Se utiliza principalmente cuando es necesario crear algo desde

cero o cuando los procesos actuales no cumplen con los estándares de calidad requeridos (Peterka, 2008). A continuación, se describen las fases del proceso:

1. **Definir:** En esta etapa, se identifican las necesidades del cliente (VOC, Voice of Customer) y se traducen en objetivos del proyecto. Esto puede incluir la recopilación de información tanto cualitativa como cuantitativa del cliente.
2. **Medir:** En esta fase, se establecen las métricas necesarias para evaluar el rendimiento del proceso. Se identifican las variables críticas que afectan la calidad del producto o proceso y se comienza la recolección de datos.
3. **Analizar:** Aquí se llevan a cabo estudios detallados para comprender las causas fundamentales de los problemas. Se utilizan herramientas como el análisis de causa raíz, análisis de varianza (Prueba T) y estudios de capacidad del proceso.
4. **Diseñar:** A partir de los datos obtenidos, se diseña una solución que cumpla con las necesidades identificadas en la fase inicial. Esto puede incluir la creación de prototipos o la simulación de nuevos procesos.
5. **Verificar:** Finalmente, el diseño es validado mediante pruebas, simulaciones o proyectos piloto para asegurarse de que cumple con las expectativas del cliente. También se verifica que el nuevo proceso o producto pueda ser replicado de manera eficiente a gran escala.

1.5.2 *Voice of Customer*

La Voz del Cliente (VOC) es un elemento clave en cualquier proceso de mejora de calidad, ya que permite recoger y analizar las expectativas, necesidades y deseos de los clientes. Su principal objetivo es asegurar que el desarrollo de productos o procesos esté alineado con lo que los clientes realmente esperan, evitando depender de suposiciones internas sobre lo que se

creo que necesitan (ASSIS PELICIONI, CARLOS KAMINSKI, ARMELLINI, & BASSETTO, 2017).

Para recolectar el VOC, se utilizan diversas técnicas como encuestas, entrevistas, grupos focales y análisis de redes sociales. Estas herramientas permiten obtener información directa de los clientes y comprender sus requerimientos de manera más precisa.

En el marco del proceso DMADV, el VOC juega un papel fundamental, ya que proporciona la base para definir los parámetros que deben medirse y las expectativas que deben cumplirse durante todo el proceso de diseño.

1.5.3 SIPOC

El diagrama SIPOC es una herramienta visual utilizada en la gestión de procesos para proporcionar una visión general de alto nivel de un proceso. Su propósito es identificar y mapear los elementos clave que participan en un proceso, lo que ayuda a comprender cómo fluye la información y los recursos, y cómo se conectan los diferentes actores involucrados. El acrónimo SIPOC representa: proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes.

El diagrama SIPOC se utiliza principalmente en la fase de definición de proyectos, especialmente en metodologías como Six Sigma o Lean, para mapear un proceso de manera clara y sencilla. Permite identificar las relaciones entre los diferentes elementos del proceso y asegura que todas las partes involucradas (proveedores, clientes, y miembros del equipo de trabajo) comprendan sus roles y responsabilidades (Liao & Kao, 2014).

1.5.4 QFD (*Despliegue de la Función de Calidad*)

El QFD (Desarrollo de la Calidad Funcional) es un enfoque estructurado utilizado para garantizar que las características técnicas de un producto estén alineadas con las expectativas y necesidades del cliente. Este proceso se basa en la creación de matrices (como la *Casa de la Calidad*) que vinculan directamente los requerimientos del cliente con las especificaciones técnicas del producto. (Liao & Kao, 2014)

1.5.5 GEMBA

Gemba, que en japonés significa "el lugar real", es un concepto clave en metodologías como Lean y Six Sigma. Se refiere al lugar donde realmente se lleva a cabo el trabajo, ya sea en una planta de producción, en el área de servicio o en cualquier otro entorno operativo.

Gemba Walk es una práctica en la que los gerentes y líderes recorren el lugar de trabajo para observar directamente los procesos, interactuar con los empleados y detectar oportunidades de mejora (Cherrafi, y otros, 2019). Esta actividad fomenta la mejora continua y ayuda a crear una cultura de responsabilidad y compromiso entre los trabajadores.

La observación directa en el Gemba Walk permite identificar problemas de eficiencia, calidad y seguridad que a menudo no son evidentes desde oficinas o niveles jerárquicos superiores. Al estar en el lugar donde ocurren las actividades, los líderes pueden comprender mejor las condiciones del trabajo y aplicar soluciones más efectivas y apropiadas para mejorar el rendimiento.

1.5.6 Política FIFO en depósito de contenedores

El sistema FIFO (First In, First Out) se aplica para garantizar que los contenedores que ingresan primero sean los primeros en ser retirados o enviados. Este enfoque organiza el flujo de contenedores de manera ordenada y eficiente, priorizando el despacho de los más antiguos.

Uno de los principales beneficios de este sistema es la gestión de los tiempos de estadía de los contenedores. Al priorizar la salida de los contenedores más antiguos, se evita la saturación del espacio y se reducen los costos asociados al almacenamiento prolongado, como los cargos por demoras. Esto resulta esencial en depósitos con alta rotación de contenedores (Rodríguez, 2018).

Capítulo 2

2. Metodología

2.1 Definir

2.1.1 Voz del cliente

Se realizó reuniones con los principales actores involucrados en el proceso para el desarrollo del proyecto y así poder identificar los puntos críticos dentro de las operaciones y sus necesidades específicas, los cuales implican:

- Subgerente de Operaciones: En la figura 2.1, se muestra la recopilación de los comentarios realizados por el cliente directo de este proyecto. Su análisis estuvo enfocado en evaluar tanto los costos directos como los indirectos asociados a las operaciones.
- Jefe de operaciones: En la figura 2.2, presenta los comentarios recopilados, los cuales abarcan desde los tiempos de despacho hasta la gestión operativa realizada.
- Coordinador de Operaciones: En la figura 2.3, se detallan los comentarios relacionados con la falta de sistemas y la gestión de asignaciones de tareas.
- Asistente logístico: En la figura 2.4, muestra comentarios específicos sobre la falta de acceso a la información y la visibilidad del stock de contenedores.
- Operador de maquina portacontenedor: En la figura 2.5, se incluyen los comentarios del personal operativo, destacando los problemas de visibilidad del stock y la ausencia de sistemas que faciliten la asignación de contenedores.

Figura 2.1

Voz del cliente de subgerente de operaciones

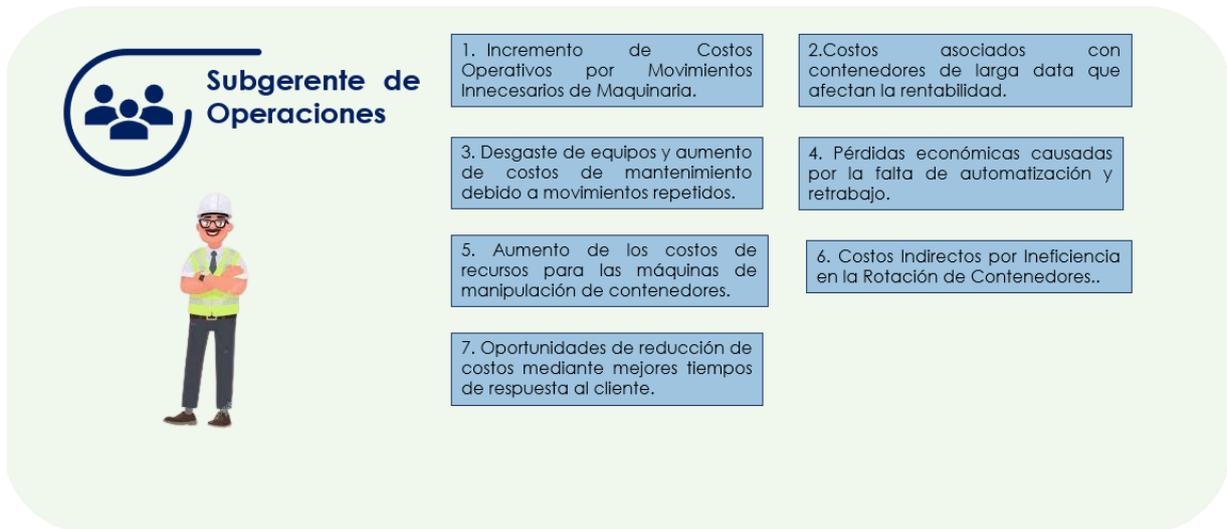


Figura 2.2

Voz del cliente de jefe de operaciones

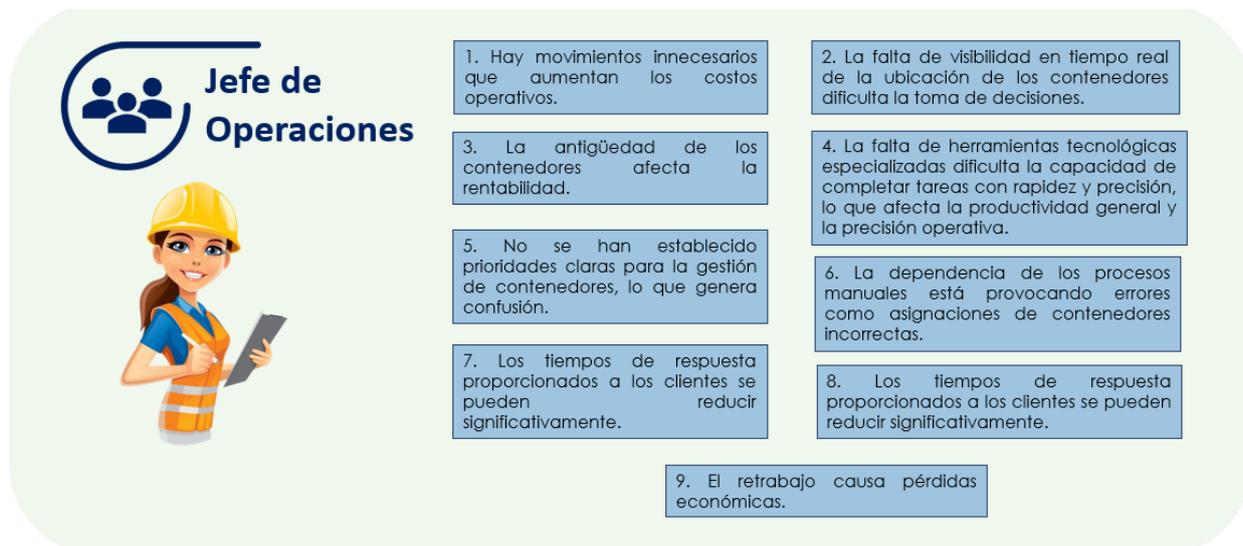


Figura 2.3

Voz del cliente de coordinador de operaciones



Coordinador de Operaciones



1. La falta de sistemas centralizados está obstaculizando la coordinación eficaz de los equipos de operaciones y mantenimiento, lo que provoca retrasos y sobrecarga de trabajo.
2. La falta de comunicación entre los departamentos de reparación de cajas y maquinaria provoca retrasos en las operaciones.
3. Los tiempos de espera para acceder a los contenedores son elevados y afectan la productividad de los operadores y la calidad del servicio.
4. La información del flujo del estado de los contenedores no es accesible ni está centralizada, lo que dificulta una rápida toma de decisiones.
5. A menudo, los esfuerzos para mantener operaciones fluidas son insuficientes.
6. Hay contenedores ubicados en las capas inferiores de los bloques de almacenamiento que, por su difícil acceso, no están siendo rotados adecuadamente.
7. Se necesita más apoyo para la implementación de nuevas tecnologías.
8. Para expedir un contenedor se deben satisfacer las necesidades del cliente.
9. La asignación diaria de contenedores a despachar es manual.
10. Hay contenedores asignados a clientes específicos que deben ser enviados únicamente a ellos. Sin embargo, se están produciendo errores en el envío que dan lugar a envíos incorrectos.

Figura 2.4

Voz de cliente de asistente logístico



Asistente Logístico



1. No existe un acceso rápido a la información del contenedor necesaria para el trabajo.
2. Los procedimientos para la gestión y rotación de contenedores no están claros.
3. Hay retrabajo debido a información desactualizada sobre el estado del contenedor.
4. Se debe priorizar el envío de contenedores con larga estadía.
5. La falta de claridad en las tareas afecta la eficiencia del equipo.
6. No existe un sistema adecuado para el seguimiento de contenedores.
7. Falta de visibilidad sobre las características del stock de contenedores.
8. La comunicación es clave para el envío de contenedores.
9. En todo momento deberá existir visibilidad del depósito para asignar contenedores.

Figura 2.5

Voz del cliente de operador de maquina portacontenedor



Los comentarios presentados destacan problemas en costos, tiempos de despacho, asignación de tareas y acceso a la información. La falta de sistemas adecuados afecta la visibilidad del stock y la eficiencia operativa, evidenciando la necesidad de mejorar procesos y tecnología.

2.1.2 Diagrama de afinidad

Para identificar relaciones entre las distintas opiniones recogidas, se elaboró un diagrama de afinidad, representado en la figura 2.6.

En este diagrama, los requerimientos mencionados por los actores entrevistados fueron organizados en tres grupos principales o impulsores de calidad, que son:

- Rotación de contenedores
- Costos operativos
- Satisfacción del cliente

Figura 2.6

Diagrama de afinidad



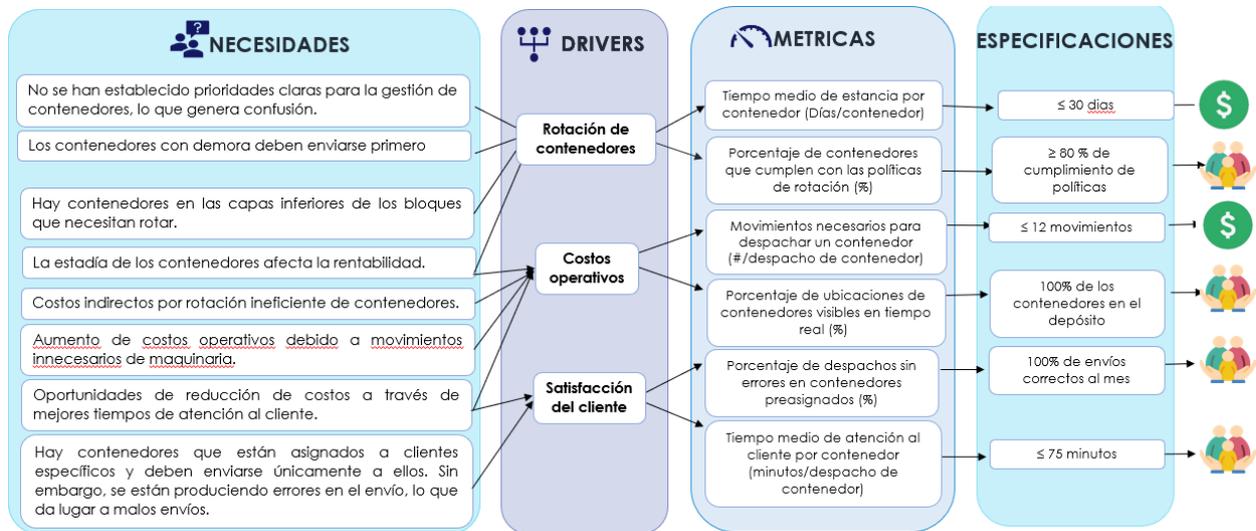
2.1.3 Árbol de la calidad (CTQ)

El diagrama de afinidad se utilizó como base para la construcción del árbol de calidad (CTQ), representado en la figura 2.7. Este diagrama permitió transformar las necesidades del cliente en especificaciones medibles, facilitando así su integración en el proceso de diseño y mejora.

Posteriormente, el árbol de calidad sirvió como fundamento para desarrollar el diagrama de la casa de la calidad (QFD), que se detalla en la sección 2.1.5, con el objetivo de alinear los requerimientos del cliente con las características técnicas del diseño.

Figura 2.7

Diagrama del árbol de la calidad CTQ (Critical to Quality)



El análisis del árbol de calidad reveló que se debe reducir movimientos de las máquinas portacontenedores a un máximo de 12 movimientos por despachos y mejorar la rotación de contenedores son clave para optimizar los tiempos de despacho y reducir costos. También se identificó la falta de visibilidad en tiempo real como un obstáculo en la planificación. Se definieron indicadores clave, como el tiempo de estadía por contenedor y los movimientos requeridos por despacho de contenedor, para evaluar el impacto de la solución en la gestión operativa del depósito. Estos indicadores contribuirán a mejorar el desempeño en términos del Triple Bottom Line (TBL), abarcando beneficios en las dimensiones económica, social y ambiental.

2.1.4 Alcance del proyecto

Para comprender plenamente el contexto del proyecto, se comenzó elaborando el macro mapa de procesos (Figura 2.8). En este análisis, se seleccionó el proceso clave "Container Dispatch Control" como el enfoque principal, dado que este proceso es crítico para la planificación y ejecución del despacho de contenedores en el depósito. Este proceso clave incluye actividades esenciales para garantizar la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente.

La estructura detallada del proceso se presenta mediante el diagrama SIPOC, que se encuentra en la figura 2.9.

Figura 2.8

Macromapa de proceso de empresa



Figura 2.9

Diagrama SIPOC de empresa

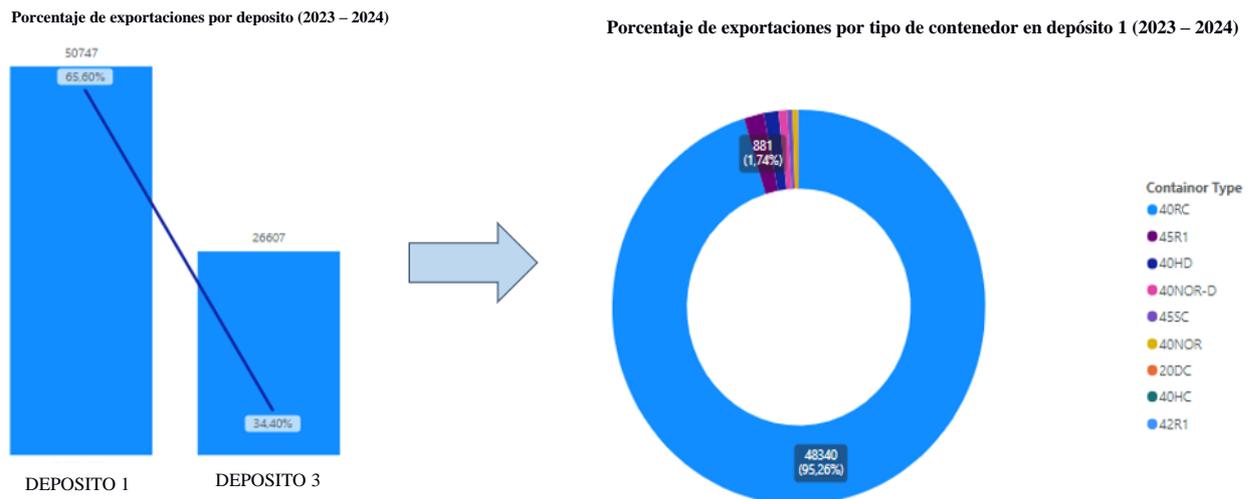
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	CLIENTES
Líneas navieras	Contenedores	Suministro de contenedores	Stock de contenedores para envío	Equipo de Operaciones
Exportadores	Documentación (Turno, Reserva, Carta de Temperatura)	Solicitud de Contenedor para Exportación	Documentación y seguimiento	
Transportistas	Maquinaria (Chasis)	Entrada de camiones por la puerta	Validación y Monitoreo en Sistema	
Equipo de Operaciones	Máquina de manipulación de contenedores	Verificación de información	Aprobaciones de contenedores Contenedores en Puertos para Exportación	Exportadores Líneas Navieras/Transportistas
		Entrega de sellos de envío		
		Asignación de Contenedores Según Especificaciones de Fabricación y Tecnología		
		Configuración de la Máquina Contenedora Según Parámetros Establecidos		
		Lavado de contenedores según tipo de lavado asignado		
		Inspección de los 7 Puntos Generales del Contenedor Según Normas IICL		
Salida del vehículo por la Puerta				

El proceso en el que se enfocó fue definido claramente, y con ello, se estableció el alcance del proyecto. Este se centró en las etapas del proceso donde se asignan contenedores con

características específicas y se gestionan para su despacho. A partir de un análisis de los despachos por categoría, se seleccionó la categoría con mayor volumen de despachos, basándose en los datos históricos de 2022 y 2023. Se optó por la categoría de contenedores 40RC, ya que representa el mayor porcentaje de despachos totales, según los datos históricos. La estratificación del estudio se fundamentó en la demanda de contenedores del depósito 1, que maneja un volumen superior de despachos en comparación con el depósito 2, como se ilustra en la figura 2.10.

Figura 2.10

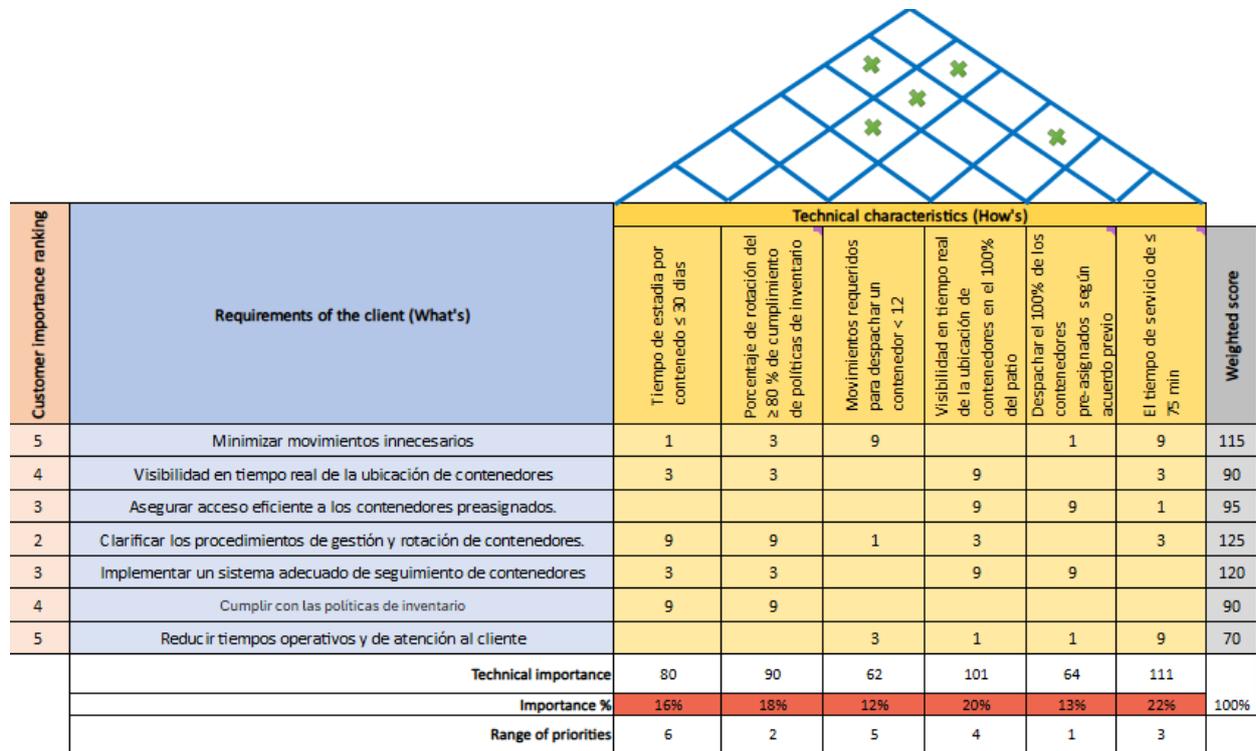
Volumen de despachos en depósitos de contenedores



2.1.5 Especificaciones técnicas de la calidad (QFD)

El Diagrama de Despliegue de la Función de Calidad (QFD), como se detalló en la sección 2.1.3, se construyó a partir de la identificación y clasificación de los requisitos de los clientes en impulsores de calidad. Estos requisitos fueron luego cuantificados para establecer las especificaciones técnicas del cliente, lo que permitió elaborar el diagrama QFD, que se presenta en la figura 2.11.

Figura 2.11
Diagrama de despliegue de función de Calidad (QFD)



A continuación, se presentan los requerimientos del cliente junto con sus especificaciones técnicas respectivas y el nivel de importancia asignado a cada uno.

2.1.5.1 Requerimientos del cliente

Para establecer las especificaciones técnicas, se utilizó el Diagrama de Despliegue de la Función de Calidad (QFD), el cual permitió identificar y priorizar los requerimientos expresados por los clientes entrevistados. Los requisitos presentados en la tabla 2.1 fueron evaluados y clasificados según su nivel de importancia, basado en la percepción del usuario clave. Es importante señalar que la escala utilizada asigna un valor de 5 a los más importantes y 0 a los aspectos de menor importancia.

Tabla 2.1

Requerimientos del cliente por escala de importancia

Requerimientos del cliente	Escala de importancia
Minimizar movimientos innecesarios	5
Reducir tiempos operativos y de atención al cliente	5
Visibilidad en tiempo real de la ubicación de contenedores	4
Cumplir con las políticas de inventario	4
Asegurar acceso eficiente a los contenedores preasignados.	3
Clarificar los procedimientos de gestión y rotación de contenedores.	2
Implementar un sistema adecuado de seguimiento de contenedores	1

2.1.5.2 Especificaciones técnicas

Para el desarrollo del diseño, las especificaciones técnicas esperadas por el cliente se detallan en la tabla 2.2. Las tres primeras especificaciones, que presentan el mayor porcentaje de importancia según lo mostrado en la figura 2.11, se consideran prioritarias y, por ende, reciben mayor atención en la propuesta de solución al problema identificado.

Tabla 2.2

Requerimientos técnicos por escala de importancia

Especificaciones técnicas	Escala de importancia
El tiempo de servicio de ≤ 75 min	1
Visibilidad en tiempo real de la ubicación de contenedores en el 100% del patio	2
Porcentaje de rotación del ≥ 80 % de cumplimiento de políticas de inventario	3
Tiempo de estadía por contenedor ≤ 30 días	4
Despachar el 100% de los contenedores preasignados según acuerdo previo	5
Movimientos requeridos para despachar un contenedor < 12	6

2.1.6 Restricciones del diseño

Como parte fundamental para la propuesta de diseño, en colaboración con el usuario clave del proyecto, se identificaron las siguientes posibles restricciones de diseño:

- **Demanda variable:** Las fluctuaciones estacionales y necesidades específicas generan alta variabilidad en los despachos, lo que requiere una gestión eficiente para mantener el servicio.
- **Stock operativo limitado:** La disponibilidad de contenedores es restringida, por lo que es necesario optimizar su uso para responder a los picos de demanda.
- **Espacio reducido en el depósito:** Las limitaciones físicas del depósito demandan soluciones que aprovechen eficientemente el espacio sin exceder los límites operativos.
- **Disponibilidad de Máquinas Portacontenedores:** Las máquinas tienen restricciones operativas, por lo que el diseño debe minimizar movimientos innecesarios y prevenir tiempos de inactividad.

2.1.7 Métricas de sostenibilidad

2.1.7.1 Pilar social

La capacidad de realizar despachos sin errores en los contenedores preasignados es esencial para la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente. Por ello, se definió el indicador "Porcentaje de despachos sin errores en contenedores preasignados", que mide el porcentaje de entregas correctas frente al total de despachos preasignados. Este indicador se evalúa mensualmente utilizando registros operativos, con una meta de alcanzar al menos un 95% de precisión, reflejando el compromiso de la empresa con la mejora continua en sus operaciones. A continuación, se presenta la fórmula para el cálculo del indicador:

$$\frac{\text{\# de despachos correctos de contenedores preasignados}}{\text{Total de despachos de contenedores preasignados}} \times 100 \quad (2.1)$$

2.1.7.2 Pilar económico

El tiempo promedio de permanencia de los contenedores en el patio es un indicador fundamental para evaluar la eficiencia operativa y el uso del espacio disponible. Este indicador calcula el promedio del tiempo transcurrido entre la recepción y el despacho de los contenedores. Se analiza mensualmente con el objetivo de mantener el tiempo de permanencia por debajo de 30 días, optimizando así los recursos y reduciendo costos asociados al almacenamiento prolongado. A continuación, se presenta la fórmula para el cálculo del indicador:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Fecha de despacho del contenedor } i - \text{Fecha de recepción del contenedor } i)}{n} \quad (2.2)$$

Nota: Donde n es el número de contenedores en el deposito

2.1.7.3 Pilar ambiental

El número promedio de movimientos necesarios para despachar un contenedor es un indicador esencial para evaluar la eficiencia operativa y el impacto ambiental de las operaciones logísticas. Un menor número de movimientos no solo reduce los costos operativos, sino que también disminuye el consumo energético y las emisiones asociadas al uso de maquinaria.

Definido como "Número promedio de movimientos requeridos para despachar un contenedor", este indicador calcula el promedio de movimientos realizados para despachar los contenedores, evaluándose mensualmente. Este análisis permite identificar oportunidades de mejora en la disposición y organización de los contenedores, contribuyendo a una operación más sostenible y eficiente. La meta es mantener este valor por debajo de 12 movimientos por contenedor. A continuación, se presenta la fórmula para el cálculo del indicador:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\text{movimientos requeridos para despachar el contenedor } i)}{n} \quad (2.3)$$

Nota: Donde n es el número de contenedores despachados

2.1.8 Plan de recolección de datos

A través de la implementación del plan de recolección de datos, detallado en la tabla 2.3, se recopiló información relevante para los objetivos e indicadores definidos en la fase inicial del proyecto, garantizando una ejecución adecuada. Esta información fue obtenida directamente del sistema de la empresa.

Tabla 2.3

Plan de recolección de datos

No.	Datos a recopilar	Unidad de medida	Tipo de datos	¿Dónde conseguir?	¿Dónde conseguirlo?	Factores de estratificación	Objetivo de colección	Responsable	Método de validación
1	Número de movimientos realizados por la máquina	cantidad por día	Cuantitativo	Informe de la máquina contenedora	Información de la empresa	Área de depósito	Identificar las causas de la inactividad.	Operador de manejo de contenedores	GEMBA
2	Disponibilidad de máquina de manipulación de contenedores.	Porcentaje (%)	Cuantitativo	Base de datos proporcionada por la empresa	Información de la empresa	Día de la semana	Restricciones del modelo de asignación.	Departamento de Mantenimiento	TEST - RETEST
3	Tiempo de servicio por despacho por semana	Minutos por contenedor	Cuantitativo	Base de datos proporcionada por la empresa	Información de la empresa	Tipo de contenedor Por semana	Para conocer el tiempo medio de atención al cliente	Departamento de Operaciones	Method of Alternate Forms
4	Número de contenedores despachados por semana	Número de contenedores	Cuantitativo	Base de datos proporcionada por la empresa	Información de la empresa	Tipo de contenedor	Conocer la demanda de cada tipo de contenedor	Departamento de Operaciones	GEMBA
5	Número de contenedores recibidos por semana	Número de contenedores	Cuantitativo	Base de datos proporcionada por la empresa	Información de la empresa	Tipo de contenedor	Para saber el número de contenedores que entran al depósito	Departamento de Operaciones	GEMBA
6	Número de contenedores devueltos por exportadores por mes	Unidades por contenedor	Cuantitativo	Base de datos proporcionada por la empresa	Información de la empresa	Tipo de contenedor	Conocer el número de contenedores devueltos por los exportadores	asistente logístico	TEST-RETEST

2.2 Medir

2.2.1 Validación de datos

Para validar los datos recopilados, se emplearon diversas técnicas, como el método de Test-Retest, observación directa y la metodología Gemba. Estas herramientas permitieron verificar la confiabilidad de los datos. A continuación, se detallan las validaciones realizadas para cada base de datos y se presentan las conclusiones sobre su fiabilidad:

2.2.1.1 Número de movimientos realizados por máquina por turno

Se validó los datos de la variable "Número de movimientos realizados por máquina por turno" mediante un formulario digital, en el cual los operadores registraron manualmente los movimientos según lo mostrado en el panel de la máquina. Los operadores recibieron

capacitación sobre cómo completar el formulario correctamente y registrar los datos del panel como se muestra en la figura 2.12.

Figura 2.12
Capacitación a personal sobre como llenar información en forms



Para validar los datos, se aplicó la técnica de Gemba, la cual permitió observar y verificar la consistencia de los registros en los formularios. El criterio de validación consistió en comparar la cantidad de movimientos registrados en los formularios como ilustra la figura 2.13 con la cantidad de movimientos reportados en los twistlocks del panel de la máquina como muestra la figura 2.14.

Figura 2.13
Información recolectada en forms

NOMBRE DE OPERA	NOMBRE DE MAQU	GUARDIA	SELECCION NIVEL	CANTIDAD DE MOVIMIENTOS 1	CANTIDAD DE MOVIMIENTOS 2	HOROMETRO
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	7	133737	133737	27447
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	7	133824	1338824	27458
PEDRO VEGA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	5	133973	133973	27471
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	10	134119	134119	27482
PEDRO VEGA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	10	134115	134115	27491
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	3	133680	133680	27511
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	DIURNA	2	133805	133805	27524
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	9	133956	133956	27536
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	7	134168	134168	27548
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	7	134184	134184	27549
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	4	134339	134339	27560
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	3	134446	134446	27572
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	DIURNA	8	134695	134695	27596
GEOVANNY CHANCAY	KALMAR MERLUZA	NOCTURNA	6	133704	133704	27616
PEDRO POVEDA	KALMAR MERLUZA	DIURNA	10	133801	133801	37627

Figura 2.14
Información mostrada en panel de maquina portacontenedor



La validación reveló que los movimientos registrados en los formularios coincidían con los movimientos mostrados en el panel de la máquina en cada turno. Esto demuestra que la información es coherente y confiable. Por lo tanto, se puede concluir que los datos recolectados para esta variable son precisos y confiables, lo que respalda la calidad de la información utilizada en el análisis del proyecto.

2.2.1.2 Disponibilidad de la máquina portacontenedores por semana

Se validó los datos de la variable "Disponibilidad de la máquina portacontenedores por semana" mediante el registro de las horas operativas realizadas por dos actores distintos. Los operadores registran las lecturas del medidor de horas en un formulario como se muestra en la figura 2.15, representando el total de horas que la máquina estuvo en funcionamiento. Para garantizar la precisión de los datos, se aplicó la técnica de Test-Retest, comparando los registros de ambos actores y asegurando que coincidieran.

Figura 2.15
Información de formulario de horas en que la maquina estuvo en funcionamiento

APR	MES	DA	FECHA	MÁQUINA	OPERADOR	TURNO	COMB. INICIAL	COMB. FINAL	TOTAL COMBUSTIBLE	MOV. INICIAL	MOV. FIN	TOTAL MOVIMIENTO	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	TOTAL HOROMETRO
2024	10	31	31-10-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO POVEDA	DIURNA	7	7	0	133737	133737	0	27447	27447	0
2024	11	1	01-11-2024	KALMAR MERLUZA	CARLOS TERAN	DIURNA	8	6	2	133707	133970	236	27459	27473	14
2024	11	1	01-11-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO VEGA	NOCTURNA	5	10	5	133973	13415	142	27471	27481	10
2024	11	2	02-11-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO VEGA	DIURNA	10	7	3	13415	13436	151	27481	27493	12
2024	11	2	02-11-2024	KALMAR ALBACORA	CARLOS TERAN	NOCTURNA	7	5	2	13436	13436	132	27493	27505	12
2024	11	3	03-11-2024	KALMAR ALBACORA	PABLO CHOIZ	DIURNA	5	2	3	13436	13454	150	27500	27511	11
2024	11	3	03-11-2024	KALMAR MERLUZA	GEOWANNY CHANCAY	NOCTURNA	2	3	1	133800	133805	125	27511	27524	13
2024	11	4	04-11-2024	KALMAR ALBACORA	CARLOS TERAN	DIURNA	10	9	1	133805	133856	151	27524	27536	12
2024	11	4	04-11-2024	KALMAR MERLUZA	PABLO CHOIZ	NOCTURNA	9	7	2	133856	13488	212	27536	27548	12
2024	11	5	05-11-2024	KALMAR ALBACORA	BYRON VICUÑA	DIURNA	7	4	3	13484	13433	155	27549	27560	11
2024	11	5	05-11-2024	KALMAR MERLUZA	CARLOS TERAN	NOCTURNA	7	3	4	13433	13446	107	27560	27573	13
2024	11	6	06-11-2024	KALMAR PARDO	PEDRO VEGA	DIURNA	3	8	5	13446	13485	249	27572	27584	12
2024	11	6	06-11-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO POVEDA	NOCTURNA	8	4	4	13485	13491	148	27584	27596	12
2024	11	7	07-11-2024	KALMAR MERLUZA	GEOWANNY CHANCAY	DIURNA	9	6	3	133719	133464	165	27579	27591	12
2024	11	7	07-11-2024	KALMAR PARDO	PABLO CHOIZ	NOCTURNA	6	2	4	133464	133594	130	27591	27603	12
2024	11	8	08-11-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO POVEDA	DIURNA	10	6	4	133594	133704	110	27603	27616	13
2024	11	8	08-11-2024	KALMAR MERLUZA	PEDRO VEGA	NOCTURNA	6	10	4	133704	133801	97	27616	27627	11

Figura 2.16
Base de datos de paradas correctivas manejada por técnicos

Fecha	Máquina	Horas de trabajo	Inicio de pa	Fin de pa	Horas Paro	Horas Operativas	MINUTOS OPERATIVOS	Disponibilidad día
31/10/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00	0:01:00	23:59:00	24:00:00	0:00:00	0	0%
1/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
2/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
3/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
4/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
5/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
6/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
7/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%
8/11/2024	Kalmar 10 / Merluza	24:00:00			0:00:00	24:00:00	1440	100%

La validación también incluyó el seguimiento de las paradas correctivas realizadas por los técnicos, quienes registran cualquier falla en una base de datos como se muestra en la figura 2.16. Los resultados confirmaron que las horas operativas reportadas por ambos actores eran idénticas, lo que asegura la consistencia de los datos. Así, se concluye que la información obtenida es confiable y precisa.

2.2.1.3 Tiempo de servicio por despacho por semana

Se validaron los datos de la variable "Tiempo de servicio por despacho por semana" utilizando dos informes diferentes descargados del sistema del depósito: el "Informe General" y el "Informe de Control de Inspección de Configuración de Temperatura". El primer informe almacena toda la información relacionada con el servicio proporcionado como se muestra en la

figura 2.17, calculando el tiempo de servicio como la diferencia entre la fecha y hora de entrada y salida del contenedor. El segundo informe proporciona un desglose detallado de los tiempos involucrados en cada proceso hasta completar el despacho como se muestra en la figura 2.18.

Figura 2.17
Extracto de informe general del depósito de contenedores.

Figura 2.18
Extracto de informe de control de inspección de configuración de temperatura

Para garantizar la confiabilidad de los datos, se utilizó la técnica del Método de Formas Alternativas, comparando los tiempos de servicio calculados en ambos informes. Se verificó que ambos informes coincidieran en el cálculo del tiempo de servicio, y se encontró un alto porcentaje de coincidencia en los tiempos de servicio entre los dos informes. Con base en esta comparación, se concluye que los datos son confiables y precisos, ya que ambos informes proporcionados por el sistema de la empresa están alineados.

validación confirma que la información es coherente y precisa, lo que nos permite concluir que los datos recolectados son confiables.

2.2.1.5 Número de contenedores recibidos por semana

Se validaron los datos de la variable "Número de contenedores recibidos por semana" utilizando el sistema del depósito, que registra automáticamente las importaciones de contenedores como lo muestra la figura 2.21. Para verificar la precisión de los datos, se aplicó la técnica de Gemba, comparando los contenedores físicamente recibidos con los datos registrados en el sistema.

Figura 2.21
Extracto de reporte general de contenedores

Figura 2.22
Registro manual de importaciones de contenedores

Número	Identificación del Contenedor
1	BH0U0654825
2	OMFU4311632
3	BH0U0872014
4	OTFU6322144
5	GMFU000633
6	CAIU5537077
7	BH0U0600215
8	IKSU2514308
9	TLLU7006631
10	TLLU4007235
11	SZLU9570434
12	BH0U0513364
13	ISU2516539
14	TTNU0606170
15	0H0U0000634
16	BA0U0600230
17	SB6U990375
18	FSLU594061
19	TCLU7326622
20	BH0U986025
21	FSLU5758950
22	BH0U0626281
23	BH0U0757168
24	U6U9027534
25	ISU2508862

Los datos manualmente registrados sobre el número de contenedores recibidos por turno coincidieron con los datos descargados del sistema para el mismo turno. Esta validación confirma que los datos son coherentes y confiables, lo que permite concluir que la información obtenida sobre la cantidad de contenedores recibidos es precisa y fiable.

2.2.1.6 Número de contenedores devueltos por los exportadores por mes

Se validaron los datos de la variable "Número de contenedores devueltos por los exportadores por mes" utilizando el registro de devoluciones de contenedores realizado por los exportadores. Este registro se llenó manualmente por los asistentes de operaciones, quienes anotaron cuando los exportadores notificaron la devolución de un contenedor, incluyendo la razón y la fecha de entrada del contenedor al depósito como se muestra en la figura 2.23.

Figura 2.23
Extracto de registro de devoluciones de contenedores

Comentario	Fecha de Registro	Cliente	Fecha Notificación Devolución	Unid	País	Motivo Rechazo	Motivo Devolución	Observaciones de Devolución o Rechazo
SMU5475490	5/1/2024	EXPORTADORES DEL PA	26/12/2023	Rechazo	Reefer	PANTALLA SE APAGADA		La unidad se encendió previo a su inicio en ruta para plet
TRU17780309	4/1/2024	ECU WORLDWIDE ECU	27/12/2023	Devolución				Unidad fue inspeccionada por el inspector del cliente, per
SMU17802483	17/1/2024	EUROFISH S.A.	28/12/2023	Rechazo	Operaciones	Fuente olor a pintura		Cliente reporta que la unidad SMU18020309 salió del depós
SMU17913175	17/1/2024	CARGO LOGISTICS SCL	28/12/2023	Rechazo	Operaciones	Olor a diluyente / pintura		Se devuelve la unidad ya que en su interior tenía olor a di
SMU5460990	16/1/2024	TECHVAGREX SA	30/12/2023	Rechazo	Operaciones	Mal Asignación de Unidad		La unidad fue despachada pero no pudo ser embarcada ya
SMU54717196	23/1/2024	EXPORTADORA DE FUT	31/12/2023	Rechazo	Reefer	Mal Asignación de Unidad		Cliente devuelve unidad porque requiere un equipo CA, en
TMAR1774342	30/2/2024	CONSERVA SMIEL SCS	2/1/2024	Devolución				Unidad fue devuelta por que en planta se daño el keloport
SMU17939530	14/2/2024	OSV GL ECUADOR SA	2/1/2024	Devolución				CLIENTE INDICA QUE FILTRACION DE AGUA EN LAS PUERTAS
TMAR1886849	17/2/2024	NAVEGUADOR S.A.	3/1/2024	Rechazo	Reefer	Falla de Maquinaria		Cliente procede a devolver la unidad debido a que no hub
SMU17943540	20/2/2024	EUROFISH S.A.	4/1/2024	Rechazo	R&D	Inspección o Despacho Errado		Unidad fue rechazada por el cliente debido a que present
SMU18407232	19/2/2024	EXPORTADORA COME	9/1/2024	Rechazo	R&D	Inspección o Despacho Errado		Cliente rechaza unidad ya que al momento de realizar la i
SMU5559626	25/1/2024	CEVALCON S.A.	6/1/2024	Rechazo	R&D	en correos no indica claramente motivo de		CLIENTE RECHAZA UNIDAD POR DAÑO IND ESPECIFICA EL TIPO
OMR1847498	1/2/2024	FAULETTA SA	7/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Cliente rechaza unidad ya que al llegar a la planta la unit
SMU1798389	26/2/2024	NESTLE ECUADOR S.A	6/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Unidad presenta una reparación reciente lo que llegó al crite
TMAR1749823	26/2/2024	EL FRUITAL SAS	9/1/2024	Rechazo	Operaciones	Inspección o Despacho Errado		Cliente rechaza unidad porque carta temperatura requier
TMAR1849664	29/2/2024	EXPORTALISA & PROX	11/1/2024	Rechazo	Estructura	Daños en Estructura		El cliente reporta que la unidad presenta filtraciones de a
SMU17951375	29/2/2024	BURTON	12/1/2024	Rechazo	Estructura	Daños en Estructura		la unidad que se recibió hoy en la planta para cargar vino
TMAR1859377	20/2/2024	EUROFISH S.A.	18/1/2024	Rechazo	Estructura	Daños en Estructura		Nota que Eurofish no ocupa esta contenedor, la filtración
SMU5453205	4/3/2024	TROPICALFRUIT EXPORT	14/1/2024	Rechazo	Reefer	Falla de Maquinaria		SMU5453205 no pasó la prueba de válvula del compresor
SEGUS32565	4/3/2024	TROPICALFRUIT EXPORT	15/1/2024	Rechazo	Reefer	Falla de Maquinaria		SEGUS32565 no pasó la prueba del compresor (P5-S) esta
SMU18445379	6/3/2024	D LEO FRUIT SAS	26/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		unido 3402797 con muchas pildas follo soldaduras techo
SMU5451000	6/3/2024	TROPICALFRUIT EXPORT	17/1/2024	Rechazo	Reefer	Falla de Maquinaria		UNIDAD CON FALLAS EN MAQUINARIA.
SMU5463345	13/3/2024	D LEO FRUIT SAS	19/1/2024	Rechazo	Operaciones	Mal Asignación de Unidad		Cliente devuelve unidad por motivos de que la misma est
SMU17961795	18/3/2024	NESTLE S.A.	20/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Unidad es devuelta al depósito por daños en estructura.
SMU1782849	18/3/2024	NESTLE S.A.	21/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Cliente devuelve unidad por daños en estructura.
SMU1911579	13/3/2024	LA FABRIL S.A.	22/1/2024	Devolución				Cliente devuelve unidad por fuente olor a pintura.
SMU1960715	13/3/2024	LA FABRIL S.A.	23/1/2024	Devolución				Unidad es devuelta por el cliente ya que la misma tenía m
SMU1798362	12/3/2024	NESTLE S.A.	24/1/2024	Rechazo	R&D	UNIDAD NO ADTA PARA LA CARGA		CLIENTE DEVUELVE LA UNIDAD POR CONTROL DE CALIDAD
SMU1979715	12/3/2024	NESTLE S.A.	25/1/2024	Rechazo	R&D	NO APTA PARA ALIMENTOS		UNIDADES DEVUELTA POR CONTROL DE CALIDAD
SMU1983987	19/3/2024	OSV GL ECUADOR SA	26/1/2024	Devolución				unidades fue rechazadas por filtración de luz
SEGUS19321	13/3/2024	REYBANCAL REY BANAN	27/1/2024	Rechazo	R&D	Lavado mal Ejecutado		UNIDAD PRESENTA FUERTE OLORES A MARISCO, POR LO QUE FUI
TRU1747630	21/3/2024	ALMARESA SA	28/1/2024	Devolución				INSPECTOR OTIVADO INSPECCIONA LA UNIDAD FUERA DEL DE
TMAR1823440	27/3/2024	PCC CONGELADOS Y FR	29/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Unidad es devuelta por tener daño en estructura, especifi
TMAR1840006	27/3/2024	TRANSTEINER S.A.	30/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Cliente devuelve la unidad por presentar desaminación d
SEGUS899380	28/3/2024	KUEHNE NAGEL S.A.	31/1/2024	Rechazo	R&D	Daños en Estructura		Cliente devuelve unidad debido a que presenta filtración d

Para validar estos datos, se utilizó el informe general descargado del sistema como se muestra en la figura 2.24, con el fin de verificar que todos los contenedores reportados como rechazados realmente fueron devueltos al depósito. Se aplicó la técnica de Test-Retest para asegurar la precisión de la información. La validación mostró que el 100% de los contenedores reportados como rechazados fueron efectivamente devueltos al depósito.

Figura 2.24
Extracto de reporte general de contenedores

Fecha/Deposito	Desembarco	Estado	Tipo	Servicio	Origen	Activo	Tipo de Servicio	ESE/Desembarco	Fecha de Salida	Fecha de Llegada	Origen del Contenedor	Tipo de Contenedor	Saldo	ESE/Desembarco	Origen Local	Fecha de Salida	Fecha de Llegada	ESE/Desembarco	
2024-09-10	000000	OK	000000	0000	-	-	0000	0	2024-09-10 00:00	2024-09-10 00:00	000000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
2024-09-10	000000	OK	000000	0000	-	-	0000	0	2024-09-10 00:00	2024-09-10 00:00	000000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
2024-09-10	000000	OK	000000	0000	-	-	0000	0	2024-09-10 00:00	2024-09-10 00:00	000000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Con base en esta comparación, se concluye que los datos sobre los contenedores rechazados por los exportadores son precisos y confiables, lo que confirma la fiabilidad de los datos recolectados.

2.3 Análisis

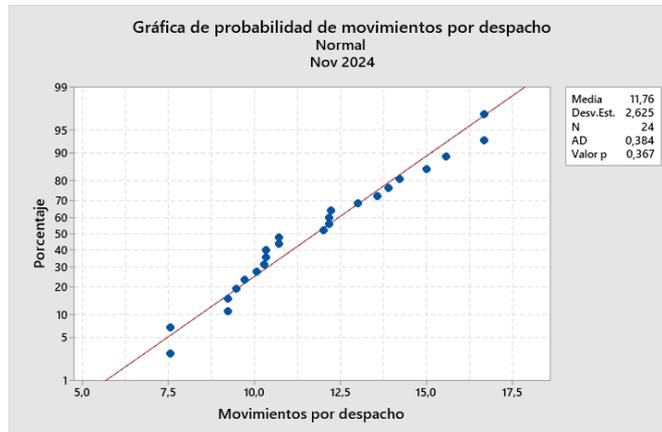
2.3.1 Número de movimientos realizados por máquina por turno

Con el objetivo de conocer el comportamiento de los movimientos realizados por la máquina por turno, se realizó en Minitab la prueba de normalidad Anderson-Darling, con las siguientes hipótesis:

- **H₀ (hipótesis nula):** Los datos siguen una distribución normal.
- **H₁ (hipótesis alternativa):** Los datos no siguen una distribución normal.

Figura 2.25

Gráfico de probabilidad normal de X1



El resultado de la prueba se muestra en la figura 2.25, donde se observa que el valor de p es mayor a 0.05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que los datos siguen una distribución normal. Esto implica simetría alrededor de la media, con los valores distribuidos igualmente a ambos lados. Este ajuste permite la aplicación de métodos estadísticos que asumen normalidad, como el análisis de varianza o la prueba t , sin necesidad de transformaciones o métodos no paramétricos alternativos.

2.3.2 Disponibilidad de la máquina portacontenedores por semana

Con el objetivo de analizar la disponibilidad semanal de la máquina portacontenedores, se llevó a cabo en Minitab la prueba de normalidad Anderson-Darling, estableciendo las siguientes hipótesis:

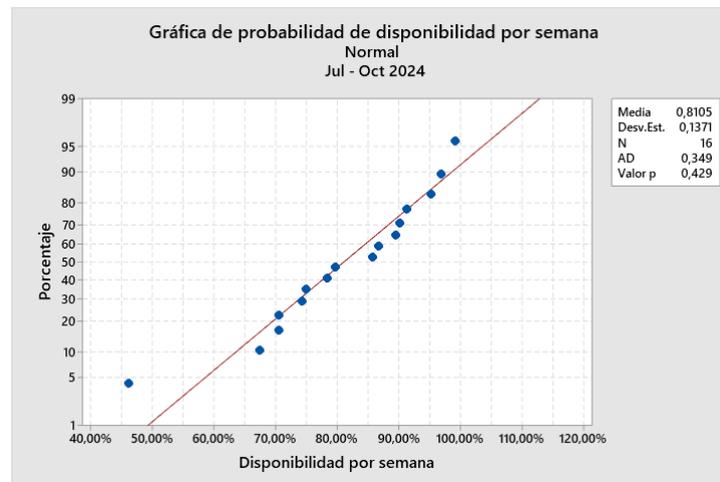
- **H_0 (hipótesis nula):** Los datos siguen de una distribución normal.
- **H_1 (hipótesis alternativa):** Los datos no siguen de una distribución normal.

Los resultados obtenidos, mostrados en la figura 2.26, indican que el valor de p es mayor a 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que los datos tienen una

distribución normal, lo que implica simetría en torno a la media y valores distribuidos de manera equilibrada en ambos lados. Este ajuste permite el uso de métodos estadísticos como el análisis de varianza o la prueba t , sin requerir transformaciones o métodos no paramétricos.

Figura 2.26

Gráfico de probabilidad normal de X2



Posteriormente, se realizó una prueba t para comparar la media semanal de los datos con la media histórica registrada de disponibilidad de la máquina, que es de 0.8. Las hipótesis establecidas fueron:

- **H₀**: $\mu = 0.8$ (la media semanal es igual a la media histórica).
- **H₁**: $\mu \neq 0.8$ (la media semanal es diferente de la media histórica).

El análisis mostró un T-Value de -0.86 y un P-Value de 0.402, indicando que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que la media semanal de disponibilidad no presenta diferencias significativas con la media histórica, validando la consistencia de los datos obtenidos.

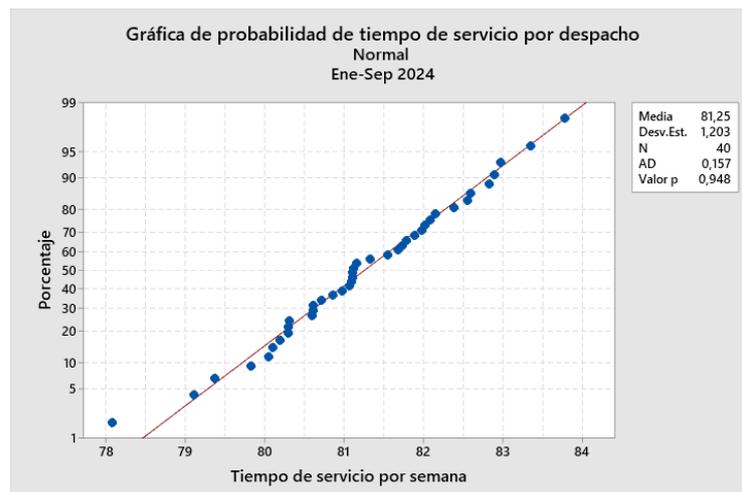
2.3.3 Tiempo de servicio por despacho por semana

Para analizar el tiempo de servicio por despacho por semana, se llevó a cabo en Minitab la prueba de normalidad Anderson-Darling, estableciendo las siguientes hipótesis:

- **H₀ (hipótesis nula):** Los datos provienen de una distribución normal.
- **H₁ (hipótesis alternativa):** Los datos no provienen de una distribución normal.

Figura 2.27

Gráfico de probabilidad normal de X3



Los resultados, mostrados en la figura 2.27, indican que el valor de p es mayor a 0.05. Esto implica que no se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que los datos siguen una distribución normal. La simetría de los valores alrededor de la media permite utilizar métodos estadísticos basados en la normalidad, como pruebas t o análisis de varianza, sin necesidad de realizar transformaciones adicionales.

Posteriormente, se realizó una prueba t para comparar la media semanal del tiempo de servicio con la media histórica registrada de 81 minutos. Las hipótesis formuladas fueron:

- **H₀:** $\mu = 81$ (la media semanal es igual a la media histórica).

- **H₁:** $\mu \neq 81$ (la media semanal es diferente de la media histórica).

El análisis mostró un T-Value de 1.33 y un P-Value de 0.193, lo que indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que la media semanal del tiempo de servicio no presenta diferencias significativas con la media histórica, validando la consistencia de los datos analizados.

2.3.4 Número de contenedores despachados por semana

Para analizar la variable "Número de contenedores despachados por semana", se realizó una prueba *t* en Minitab con el objetivo de comparar la media semanal de los datos actuales con la media histórica registrada, que es de 565 contenedores despachados por semana. Las hipótesis establecidas fueron las siguientes:

H₀ (hipótesis nula): $\mu = 565$ (la media semanal es igual a la media histórica).

H₁ (hipótesis alternativa): $\mu \neq 565$ (la media semanal es diferente de la media histórica).

El análisis arrojó un T-Value de 1.55 y un P-Value de 0.150, lo que indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que no se puede afirmar que exista una diferencia significativa entre la media semanal del número de contenedores despachados y la media histórica.

Por lo tanto, se concluye que el número de contenedores despachados semanalmente se mantiene consistente con los datos históricos, validando la estabilidad de esta variable en el período analizado.

2.3.5 Número de contenedores recibidos por semana

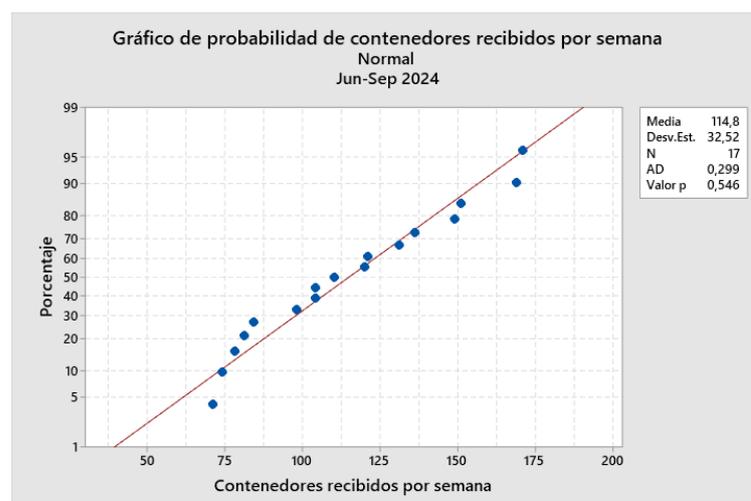
Para analizar la variable "Número de contenedores recibidos por semana", se llevó a cabo en Minitab la prueba de normalidad Anderson-Darling. Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- **H₀ (hipótesis nula):** Los datos provienen de una distribución normal.
- **H₁ (hipótesis alternativa):** Los datos no provienen de una distribución normal.

Los resultados mostrados en la figura 2.28, indican que el valor de p es mayor a 0.05, lo que significa que no se rechaza la hipótesis nula. Esto permite concluir que los datos siguen una distribución normal, implicando simetría alrededor de la media y una distribución uniforme en ambos lados. Este ajuste facilita el uso de métodos estadísticos que asumen normalidad, como pruebas t o análisis de varianza, sin necesidad de transformaciones adicionales.

Figura 2.28

Gráfico de probabilidad normal de X5



Posteriormente, se realizó una prueba t para comparar la media semanal de contenedores recibidos con la media histórica de 120 contenedores por semana. Las hipótesis establecidas fueron:

- **H₀:** $\mu = 120$ (la media semanal es igual a la media histórica).
- **H₁:** $\mu \neq 120$ (la media semanal es diferente de la media histórica).

El análisis arrojó un T-Value de -0.66 y un P-Value de 0.521, lo que indica que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que la media semanal del número de contenedores recibidos no presenta diferencias significativas respecto a la media histórica, validando la estabilidad de esta variable.

2.3.6 Número de contenedores devueltos por los exportadores por mes

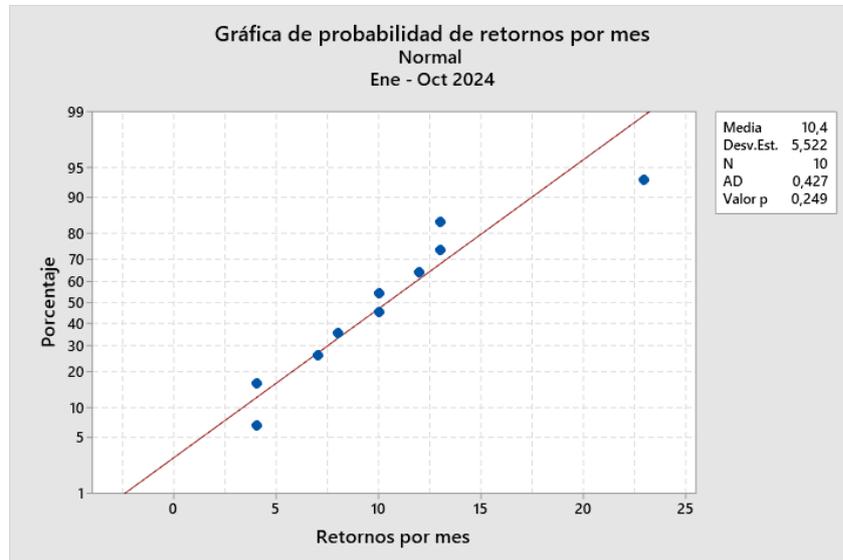
Para analizar la variable "Número de contenedores devueltos por los exportadores por mes", se realizó en Minitab la prueba de normalidad Anderson-Darling, con las siguientes hipótesis:

- **H₀ (hipótesis nula):** Los datos provienen de una distribución normal.
- **H₁ (hipótesis alternativa):** Los datos no provienen de una distribución normal.

El análisis mostró un valor de p mayor a 0.05 como se indica en la figura 2.29, lo que implica que no se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, se concluye que los datos siguen una distribución normal, con simetría alrededor de la media y valores distribuidos uniformemente. Este resultado permite utilizar métodos estadísticos que asumen normalidad, como el análisis de varianza o pruebas t , sin necesidad de transformaciones adicionales.

Figura 2.29

Gráfico de probabilidad normal de X6



Posteriormente, se realizó una prueba t para comparar la media semanal de contenedores devueltos por los exportadores con la media histórica registrada de 9 contenedores por semana.

Las hipótesis formuladas fueron:

- H_0 : $\mu = 9$ (la media semanal es igual a la media histórica).
- H_1 : $\mu \neq 9$ (la media semanal es diferente de la media histórica).

El resultado del análisis presentó un T-Value de 0.80 y un P-Value de 0.443, indicando que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Esto significa que no se puede afirmar que exista una diferencia significativa entre la media semanal actual y la media histórica de contenedores devueltos. Por lo tanto, se concluye que los datos son consistentes y reflejan estabilidad en este indicador.

2.3.7 Tiempo de servicio por semana 2022 - 2023 – 2024

Se realizó una prueba de hipótesis para comparar el tiempo de servicio por semana en los años 2022, 2023 y 2024 a partir de la serie de tiempo mostrada en la figura 2.30, con el fin de determinar si existían diferencias significativas. La hipótesis nula planteada indicaba que no habría diferencias, mientras que la hipótesis alternativa afirmaba lo contrario.

Los resultados de la prueba indicaron que se rechazó la hipótesis nula tal como se muestra en la figura 2.31, 2.32 y 2.33, lo que significa que sí existen diferencias significativas en los tiempos de servicio entre esos años. Esto sugiere que cambios operativos o la carga de trabajo pueden haber influido en esas variaciones. Este hallazgo resalta la importancia de investigar más a fondo estos factores para mejorar la eficiencia operativa.

Figura 2.30

Serie de tiempo de tiempos promedios por despacho por semana

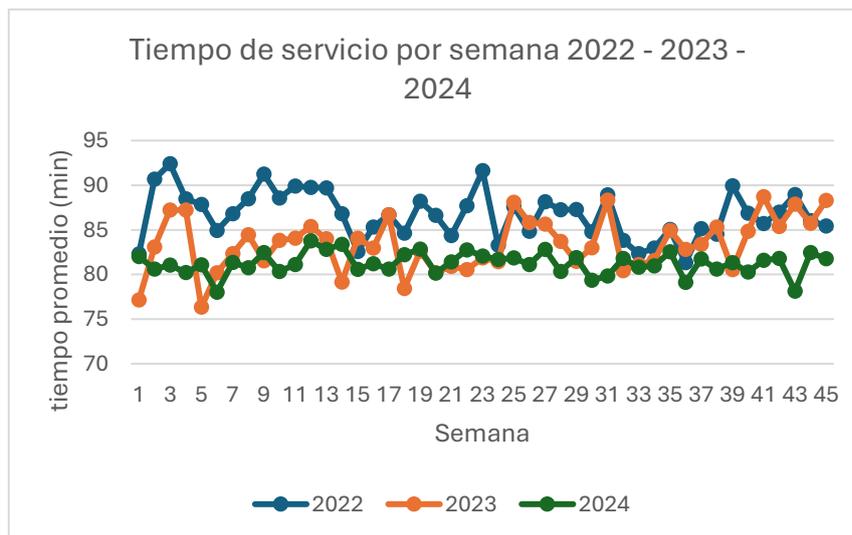
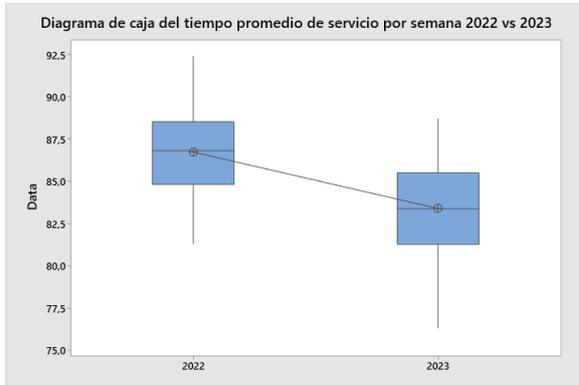


Figura 2.31

Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2022 vs 2023 y prueba t



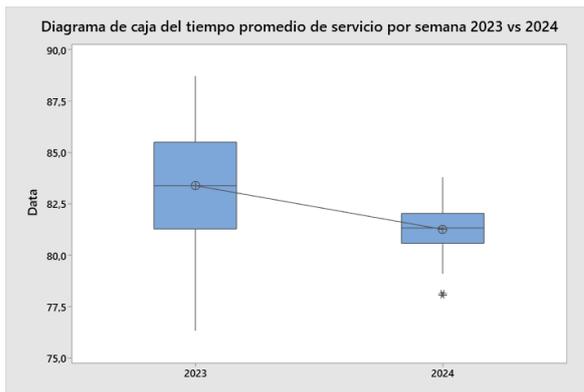
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
5,56	86	0,000

Figura 2.32

Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2023 vs 2024 y prueba t



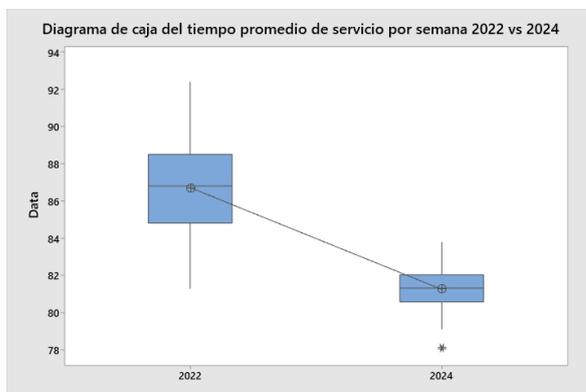
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
12,49	61	0,000

Figura 2.33

Diagrama de cajas de tiempo de servicio promedio por semana 2023 vs 2024 y prueba t



Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
4,38	58	0,000

2.3.8 Tiempo de servicio por tipo de contenedor por semana 2022 - 2023 – 2024

Se realizó una prueba de hipótesis para determinar si existían diferencias significativas en el tiempo de servicio por tipo de contenedor durante las primeras 39 semanas de 2024, a partir de la serie de tiempo mostrada en la figura 2.34. La hipótesis nula planteada fue que no hay diferencias significativas en los tiempos de servicio entre los diferentes tipos de contenedores, mientras que la hipótesis alternativa indicaba lo contrario.

Los resultados de la prueba mostraron que no se rechaza la hipótesis nula, lo que indica que no hay suficiente evidencia para afirmar que el tiempo promedio de servicio por semana difiere de manera significativa según el tipo de contenedor, como se muestra en las figuras 2.35, 2.36 y 2.37. Esto sugiere que, en el periodo analizado, el tipo de contenedor no tuvo un impacto considerable en los tiempos de servicio, lo que podría indicar una uniformidad en los procesos operativos independientemente del tipo de contenedor manejado.

Figura 2.34

Serie de tiempo de tiempos promedios por despacho por tipo de contenedor

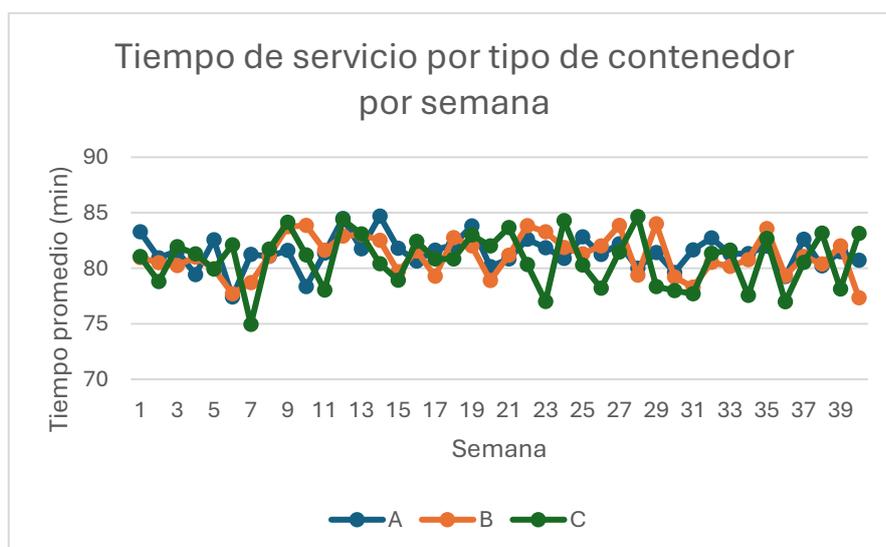
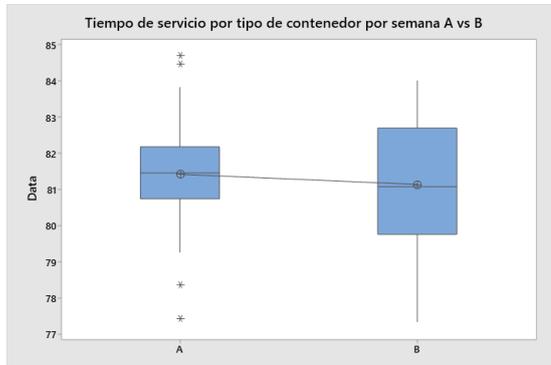


Figura 2.35

Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor A vs B por semana y prueba t



Prueba

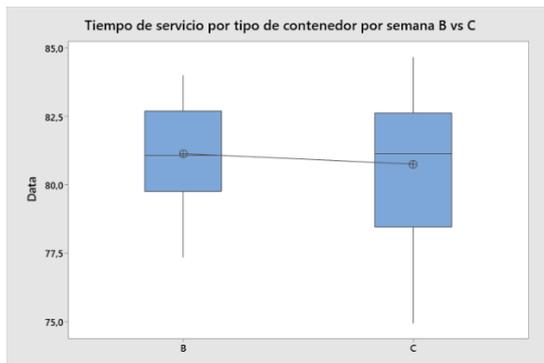
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0,76	74	0,449

Figura 2.36

Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor B vs C por semana y prueba t



Prueba

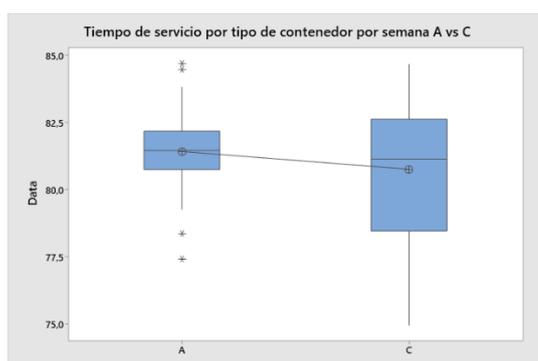
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0,81	72	0,423

Figura 2.37

Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por tipo de contenedor A vs C por semana y prueba t



Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1,50	64	0,140

2.3.9 Tiempo promedio de servicio por turno por semana (2024)

Se realizó una prueba de hipótesis para verificar si existen diferencias significativas en el tiempo de servicio por turno durante la semana de 2024, a partir de la serie de tiempo mostrada en la figura 2.38. La hipótesis nula establecía que no hay diferencias significativas en los tiempos

de servicio entre los distintos turnos laborales, mientras que la hipótesis alternativa sugería lo contrario.

Los resultados de la prueba indicaron que no se rechaza la hipótesis nula, lo que implica que no hay suficiente evidencia para afirmar que el tiempo promedio de servicio por turno de trabajo difiera de manera significativa, tal como se muestra en la figura 2.39. Esto sugiere que los tiempos de despacho son consistentes entre los diferentes turnos y que factores como la carga de trabajo o el personal asignado no tienen un impacto significativo en los tiempos de servicio.

Figura 2.38

Serie de tiempo de tiempo promedio de servicio por turno por semana (2024)

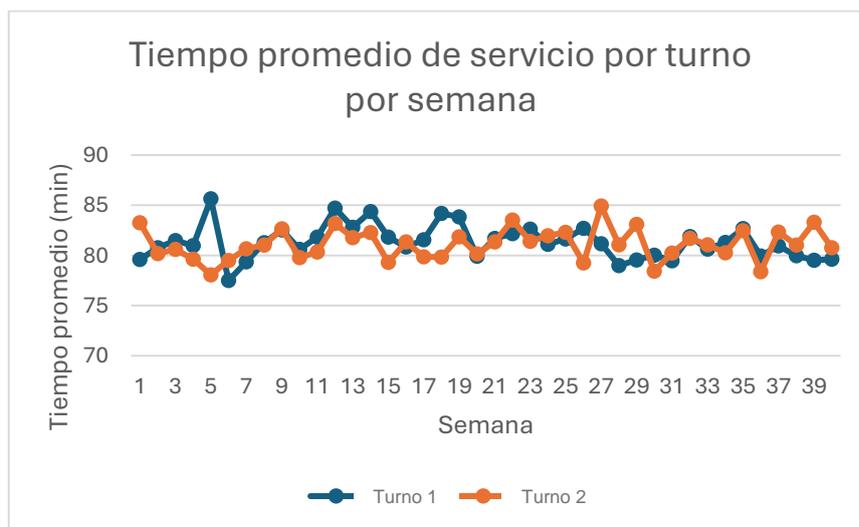
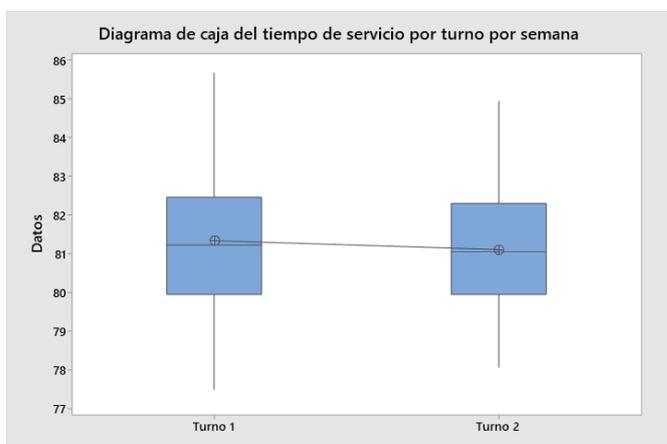


Figura 2.39

Diagrama de cajas de tiempo promedio de servicio por turno por semana y prueba t



Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p

0,63 77 0,529

2.3.10 Despachos por semana 2022-2023-2024

Se realizó una prueba de hipótesis para determinar si existían diferencias significativas en el número de despachos semanales entre los años 2022, 2023 y 2024, con la información mostrada en la figura 2.40. La hipótesis nula planteaba que no hay diferencias significativas en el número de despachos entre los tres años, mientras que la hipótesis alternativa sugería lo contrario.

Los resultados de la prueba indicaron que no se rechaza la hipótesis nula respecto a los despachos entre 2022 y 2024, lo que significa que no se encontraron diferencias significativas en el número de despachos entre esos años como se muestra en la figura 2.43. Sin embargo, sí se rechazó la hipótesis nula cuando se compararon los años 2022-2023 y 2023-2024, encontrando diferencias significativas. Este hallazgo sugiere que, mientras los despachos anuales no muestran una variación considerable, hubo cambios significativos en los despachos entre los años 2022 y 2023 como se muestra en la figura 2.41, así como entre 2023 y 2024, como indica la figura 2.42. Esto puede estar relacionado con cambios operativos, demanda o factores estacionales específicos en esos períodos.

Figura 2.40
Serie de tiempo de despachos por semana 2022-2023-2024

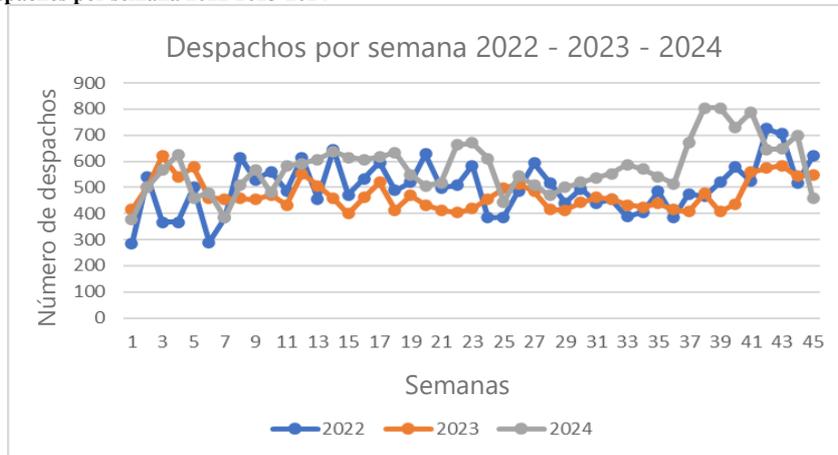
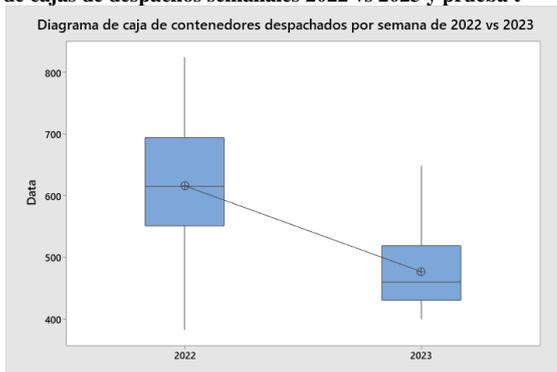


Figura 2.41
Diagrama de cajas de despachos semanales 2022 vs 2023 y prueba t



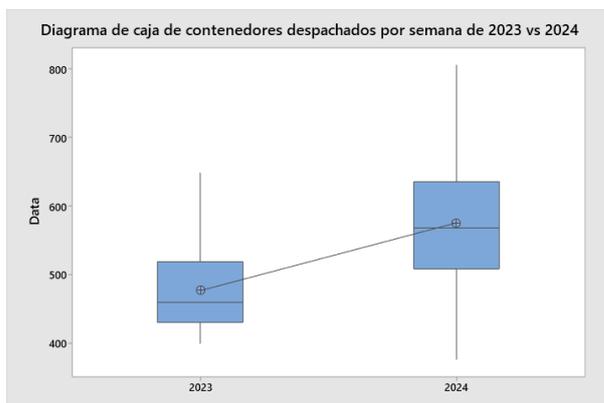
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p
 7,83 69 0,000

Figura 2.42
Diagrama de cajas de despachos semanales 2023 vs 2024 y prueba t



Prueba

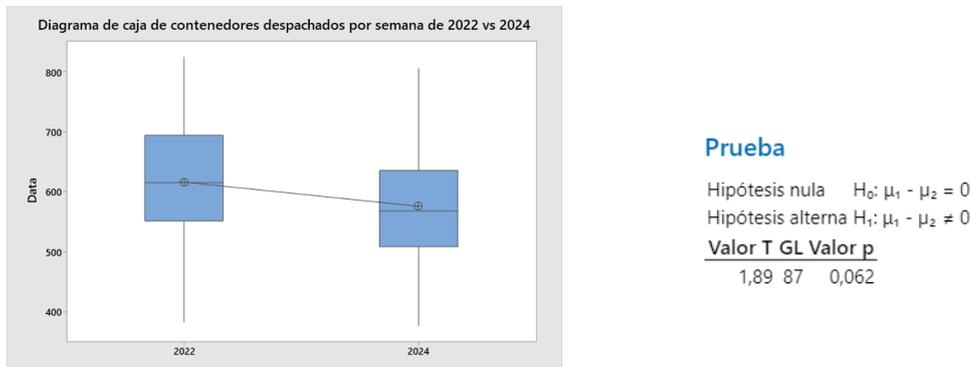
Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T GL Valor p
 -5,75 71 0,000

Figura 2.43

Diagrama de cajas de despachos semanales 2022 vs 2024 y prueba t



2.3.11 Despachos por turno por semana (2024)

Se realizó una prueba de hipótesis para determinar si existían diferencias significativas en el número de despachos por turno durante la semana de 2024, a partir de la serie de tiempo mostrada en la figura 2.44. La hipótesis nula planteaba que no hay diferencias significativas en el número de despachos según el turno de trabajo, mientras que la hipótesis alternativa sugería que sí podría haber diferencias.

Los resultados de la prueba indicaron que no se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que no hay suficiente evidencia para afirmar que el número de despachos varía significativamente según el turno de trabajo como se muestra en la figura 2.45. Esto sugiere que el desempeño operativo en cuanto al número de despachos es consistente entre los distintos turnos, y no parece haber un patrón que dependa del horario laboral.

Figura 2.44

Serie de tiempo por turno de trabajo por semana (2024)

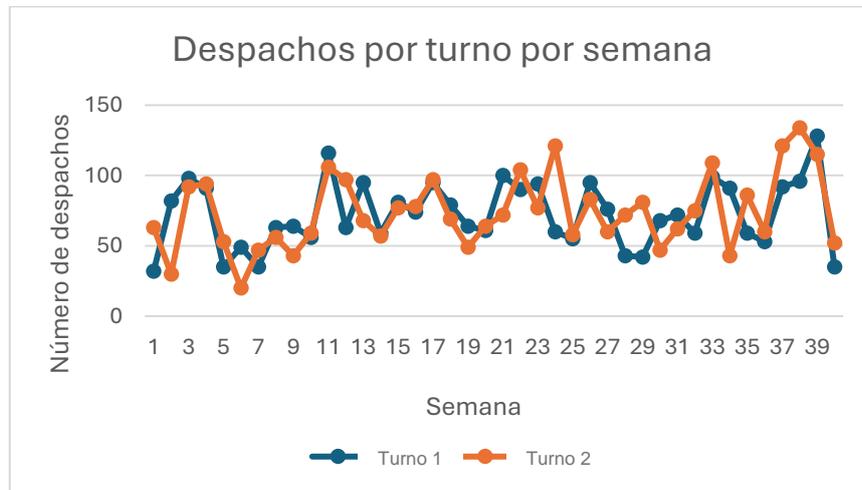
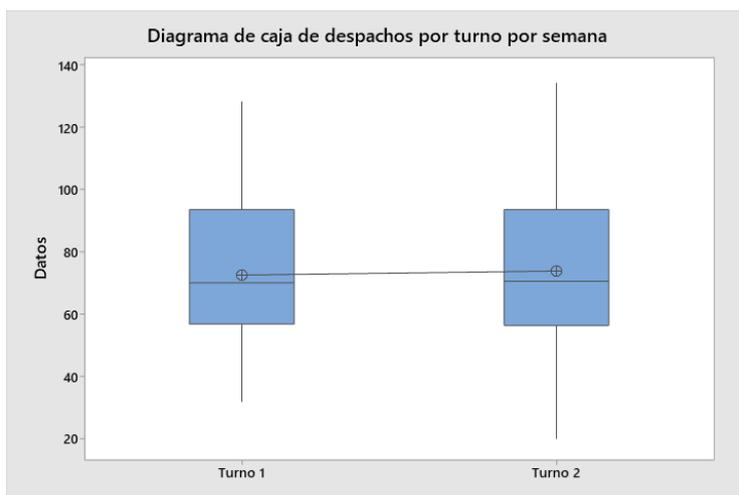


Figura 2.45

Diagrama de cajas de despachos semanales por turno (2024) y prueba t

**Prueba**Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ **Valor T GL Valor p**

-0,23 77 0,816

2.4 Hallazgos

- No se identificó diferencias significativas en los movimientos ni en los despachos semanales entre turnos. Esto sugiere que las operaciones son consistentes a lo largo de los turnos de trabajo. Aunque el número total de despachos no cambió significativamente entre 2022 y 2024, se observó un aumento en los despachos de contenedores tipo "A", mientras que los despachos de contenedores tipo "B" y "C" disminuyeron significativamente, lo que indica una redistribución de prioridades.

- No se encontró diferencias significativas en los tiempos promedio de despacho semanales basados en el turno de trabajo o el tipo de contenedor.
- Sin embargo, se encontró diferencias significativas en los tiempos promedio de despacho semanales entre los años 2022, 2023 y 2024. Esto podría reflejar cambios en la eficiencia operativa, los volúmenes manejados o la complejidad de los despachos.

2.5 Propuestas de diseño

Habiendo realizado el análisis de la data recolectada, se evaluó las siguientes propuestas de diseño:

2.5.1 Container Pre-Marshalling Problem

El objetivo principal de esta propuesta de diseño es minimizar los movimientos necesarios para cumplir con un orden de salida predeterminado, asegurando que cada contenedor se encuentre en su posición final sin obstrucciones. El Problema de Pre-Marshalling de Contenedores (CPMP) busca organizar y reorganizar los contenedores de manera eficiente, reduciendo los costos operativos asociados con la manipulación y el retiro de contenedores. Este objetivo se alinea con la optimización del proceso general de despacho de contenedores, donde cada uno debe ser accedido y despachado según un orden de prioridad establecido. (Martínez Barría, 2019)

Parámetros:

- **Número de movimientos necesarios:** Es importante minimizar los movimientos para mejorar la eficiencia y reducir los costos.
- **Altura máxima de las pilas de contenedores:** Limitar la altura para garantizar que los contenedores sean fácilmente accesibles.

- **Prioridad de contenedores:** Los contenedores deben organizarse según el orden de despacho, asegurando que los de alta prioridad estén al frente.
- **Configuración inicial y final del depósito:** Se debe organizar el espacio para facilitar el acceso y el retiro de contenedores según el plan de despacho.

Restricciones:

- **Altura máxima de pilas:** Para evitar dificultades en el acceso a los contenedores, se debe mantener un límite de altura.
- **Impacto mínimo en operaciones:** La reorganización debe causar el menor trastorno posible a las operaciones en curso.
- **Orden de acceso:** Los contenedores deben ser retirados en el orden especificado, priorizando los más urgentes.

2.5.2 Block Stacking Model

El objetivo principal de esta propuesta es optimizar la disposición de las pilas de contenedores en el área de almacenamiento, minimizando los movimientos requeridos y maximizando la eficiencia de acceso según las prioridades operativas. Este modelo se enfoca en mejorar el flujo de trabajo y la organización en el área de almacenamiento de contenedores. (Pfrommer, 2020)

Parámetros:

- **Número de bloques y pilas disponibles:** Es fundamental contar con una cantidad adecuada de bloques y pilas para organizar el espacio de forma eficiente.

- **Distancia entre bloques y puntos de carga:** Para mejorar la eficiencia, se debe minimizar la distancia entre las pilas y los puntos de carga y descarga.
- **Prioridad o frecuencia de acceso de cada bloque:** Los bloques más solicitados deben estar más accesibles para reducir tiempos de operación.
- **Altura máxima permitida por pila:** Limitar la altura de las pilas para garantizar que sean estables y fáciles de manejar.

Restricciones:

- **Limitación de la altura y peso de cada pila:** Para garantizar la estabilidad y el acceso a los contenedores, la altura y el peso de las pilas deben ser controlados.
- **Acceso fácil a los bloques más importantes:** Los bloques que contienen los contenedores más demandados deben ser fácilmente accesibles.
- **Utilización del espacio sin exceder los límites físicos:** Se debe aprovechar al máximo el espacio disponible, sin violar las limitaciones físicas como las distancias entre estantes.

2.5.3 Class-Based Storage Model

El objetivo de este modelo es organizar los contenedores en zonas designadas según su categoría o clase, con el fin de reducir el tiempo y los movimientos necesarios para su acceso. Esta estrategia busca optimizar la eficiencia del sistema de almacenamiento al agrupar los contenedores de acuerdo con sus características y frecuencia de uso. (Bahrami, 2019)

Parámetros:

- **Clases de contenedores definidas:** Los contenedores se agrupan en clases específicas según sus características (por ejemplo, contenedores de tipo A, B o C) para su almacenamiento y manejo más eficiente.
- **Áreas de almacenamiento asignadas a cada clase:** Cada clase de contenedores se almacena en áreas específicas para facilitar el acceso y la organización.
- **Frecuencia de acceso o prioridad de los contenedores:** Los contenedores más utilizados o de mayor prioridad deben estar más accesibles.
- **Distancias entre posiciones de almacenamiento:** Minimizar las distancias dentro de la zona de almacenamiento para reducir el tiempo de acceso.

Restricciones:

- **Cada clase debe almacenarse en su área designada sin exceder la capacidad:** Las zonas de almacenamiento deben ser utilizadas de manera eficiente, asegurando que no se sobrepasen las capacidades asignadas para cada clase.
- **Los contenedores de alta prioridad deben ser más accesibles:** Los contenedores que deben ser despachados con mayor frecuencia o que tienen una mayor urgencia deben estar ubicados en lugares de fácil acceso.
- **Minimizar las distancias promedio dentro del área de almacenamiento asignada:** La disposición debe optimizar los recorridos dentro del área de almacenamiento.

- **Utilizar el espacio disponible respetando las dimensiones físicas:** Es importante aprovechar al máximo el espacio disponible sin exceder las limitaciones físicas del área de almacenamiento.

2.5.4 Set Partitioning Problem

Busca seleccionar subconjuntos óptimos dentro de un conjunto mayor, asegurando que cada elemento del conjunto principal sea cubierto exactamente una vez. Este enfoque es especialmente útil en problemas logísticos y de asignación donde se deben cumplir múltiples restricciones. (Randin, 2013)

Parámetros:

- **Elementos del conjunto principal:** Los contenedores que deben ser organizados según sus características y ubicación.
- **Subconjuntos posibles:** Agrupaciones de contenedores basadas en criterios como ubicación, tiempo de estadía o prioridad.
- **Costos asociados:** Número de movimientos necesarios, tiempo de acceso, o cumplimiento de políticas de rotación.
- **Capacidades y restricciones de operación:** Límite de espacio y accesibilidad en el patio.

Restricciones:

- **Cobertura única:** Cada contenedor debe pertenecer a un único subconjunto seleccionado.

- **Cumplimiento de políticas:** Los subconjuntos deben priorizar contenedores según su tiempo de estadía, ubicación y rotación requerida.
- **Capacidades del patio:** Los subconjuntos seleccionados no deben exceder la capacidad del depósito ni violar restricciones físicas.
- **Reducción de movimientos:** Los subconjuntos deben minimizar los movimientos necesarios para alcanzar los contenedores seleccionados.

Una vez que se definieron las propuestas de diseño, se elaboró una matriz de decisión que permitió evaluar, de manera preliminar, en qué medida cada una de las propuestas se ajusta a las restricciones y especificaciones de diseño establecidas, como se muestra en la tabla 2.3, donde las calificaciones van del 1 al 5 (1 = Cumplimiento bajo, 5 = Cumplimiento alto).

Tabla 2.4

Matriz de decisión

Opciones de diseño	Container Pre-Marshalling Problem	Block Stacking Model	Adaptation of the Set Partitioning Problem	Class-Based Storage Model
¿El diseño garantiza el uso eficiente de los recursos de manipulación y almacenamiento, como grúas y espacio de almacenamiento? (Especificación de diseño)	4	3	5	2
¿La propuesta minimiza el tiempo promedio de despacho por contenedor?	5	3	3	4
¿El diseño es fácil de usar y adaptable para el personal, facilitando la capacitación y la operación diaria? (Especificación de diseño)	3	4	5	4
¿La propuesta optimiza la rotación de contenedores en el almacenamiento, garantizando que los contenedores se muevan de manera que cumpla con la política de rotación?	5	3	5	3
¿El diseño permite el manejo eficiente de los picos de demanda estacionales y los cambios de demanda a corto plazo?	4	3	4	5
¿El diseño permite el manejo eficiente de los picos de demanda estacionales y los cambios de demanda a corto plazo?	3	4	5	5

Se puede observar que las cuatro propuestas cumplen con los parámetros a considerar, pero la que los cumple de mejor forma es la propuesta #3, misma que será seleccionada para la solución.

2.6 Análisis financiero

El análisis realizado tuvo en cuenta el número de operadores que utilizarán la propuesta de diseño, la cantidad de horas de capacitación requeridas para garantizar la adaptación del personal, las cuales fueron definidas como 2, así como también el desarrollo, implementación y construcción del modelo propuesto para la optimización del sistema de gestión y despacho de contenedores como se muestra en las tablas 2.4 y 2.5.

Tabla 2.5
Costos únicos de análisis financiero

COSTO ÚNICO					
Cantidad	Actores de diseño	Actividad	Costo	Horas	Costo total
1	Señalización	Señalización de zona	\$100	-	\$100
2	Jefe de operaciones	Costo de capacitación	\$5	2	$\$5 \times 2 = \10
2	Coordinador de operaciones	Costo de capacitación	\$5	2	$\$5 \times 2 = \10
2	Asistente logístico	Costo de capacitación	\$5	2	$\$5 \times 2 = \10
2	Operador de maquina portacontenedor	Costo de capacitación	\$5	2	$\$5 \times 2 = \10
Total					\$140

Tabla 2.6
Costos anuales de análisis financiero

COSTOS ANUALES			
Cantidad	Actores de diseño	Actividad	Costo anual total
1	Software	GAMS license	\$1400,00
1	Software	Office 365 License	\$ 249,99
Total			\$1649,99

2.7 Diseñar

Según la matriz de priorización, el enfoque que mejor se alinea con las especificaciones de diseño y las limitaciones operativas del depósito de contenedores es el set partitioning problem (SPP). Este modelo de optimización se adaptó para considerar las características únicas de los contenedores, como su ubicación, tiempo de estadía y prioridades operativas, junto con las limitaciones físicas y de capacidad del depósito. Al utilizar este marco, el modelo garantiza que

la asignación de contenedores minimice los movimientos innecesarios y al mismo tiempo maximice el cumplimiento de las políticas de rotación y la eficiencia operativa.

2.7.1 Modelo

Conjuntos

- C Conjunto de Contenedores $\{1,2,\dots,85\}$
- B Conjunto de Bahías $\{A1,A2,\dots,A10\}$
- T Conjunto de Torres $\{A,B,\dots,K\}$
- L Conjunto de Niveles dentro de cada torre $\{N1, N2,\dots,N6\}$

Parámetros

- $D(C, B) = \begin{cases} 1; & \text{Si el contenedor C está en la bahía B} \\ 0; & \text{Caso contrario} \end{cases}$
- $I(C, T) = \begin{cases} 1; & \text{Si el contenedor C está en la torre T} \\ 0; & \text{Caso contrario} \end{cases}$
- $N(C, L) = \begin{cases} 1; & \text{Si el contenedor C está en el nivel L} \\ 0; & \text{Caso contrario} \end{cases}$
- H (C) Tecnología del contenedor (Regular = 1, Atmósfera controlada = 2)
- K (C) Clase del contenedor (A=1, B=2, C=3)
- S(C) Línea del contenedor (Línea 1=1, Línea 2=2)
- E (C) Días de estadía del contenedor
- M(C) Movimientos requeridos para alcanzar el contenedor c

Escalares

- TR Tecnología requerida (Regular = 1, Atmósfera controlada = 2)
- CR Clase requerida (A = 1, B = 2, C =3)
- LR Línea requerida (Línea 1 = 1, Línea 2 = 2)

Variables binarias

$$x(C) = \begin{cases} 1; & \text{Si el contenedor C es seleccionado} \\ 0; & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Variables positivas

Z Cantidad de movimientos para acceder a contenedores y días de estadía de los contenedores

Función Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{c \in C} (m(C) * x(C)) - \sum_{c \in C} (E(C) * x(C)) \quad (3.1)$$

Función objetivo (Z): busca minimizar los movimientos necesarios para acceder al contenedor deseado, mientras que simultáneamente da prioridad a los contenedores que han permanecido más tiempo en el depósito, cumpliendo con las políticas de rotación.

Restricciones:

$$\sum_c x(C) = 1 \quad (3.2) \quad \text{Restricción para seleccionar exactamente un contenedor}$$

$$\sum_c ((x(C) * H(c)) - TR) = 0 \quad (3.3) \quad \begin{array}{l} \text{Cumplimiento de requisitos del usuario} \\ \text{(Tecnología de contenedor)} \end{array}$$

$$\sum_c ((x(C) * K(c)) - CR) = 0 \quad (3.4) \quad \begin{array}{l} \text{Cumplimiento de requisitos del usuario} \\ \text{(Clase Contenedor)} \end{array}$$

$$\sum_c ((x(C) * S(c)) - LR) = 0 \quad (3.5) \quad \begin{array}{l} \text{Cumplimiento de requisitos del usuario} \\ \text{(Línea Contenedor)} \end{array}$$

$$x(C) \in \{0,1\} \quad \text{Restricción de tipo de variable}$$

El modelo desarrollado se diseñó como una herramienta de apoyo para ser utilizada de manera continua en las actividades diarias de despacho en el depósito de contenedores. Debido a la naturaleza dinámica del inventario de contenedores y a los requerimientos específicos de los clientes, no existe una única solución óptima que sea aplicable en todos los escenarios. Más bien, el modelo se ajusta en tiempo real al estado actual del inventario y las demandas operativas.

Para validar su desempeño, el modelo fue probado utilizando el inventario disponible en la empresa al momento de su implementación. Este inventario, junto con los parámetros definidos, permitió evaluar el impacto de la solución bajo condiciones reales. Los detalles del

inventario inicial utilizado para estas pruebas se muestran en la tabla 2.7, que incluye las características de los contenedores y sus ubicaciones en el depósito.

Tabla 2.7
Inventario de contenedores con sus características

BAHIA	NIVE	COLUMNA	MOVIMIENTOS	Contenedor	MAQUINA	D BOX	D MAQ	TECNOLOGIA	STATUS LINEA	LAVADO	FECHA DE INGRESO	DIA DE ESTADIA
A1	M1	F	1	KSU252928	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	23/12/2024 13:13	3
A1	N2	G	2	TINU886880	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	7/12/2024 20:18	7
A1	N1	G	4	BMOU830307	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	10/12/2024 22:42	4
A1	N1	H	4	TLLU897770	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	28/11/2024 15:53	16
A1	N1	I	5	KSU2529544	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	24/11/2024 15:16	20
A2	N3	D	1	SEKU8272404	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	10/12/2024 18:44	4
A2	N2	D	2	ONEU839561	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	9/12/2024 17:21	5
A5	M5	E	1	ONEU839726	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 10:11	3
A5	N4	E	2	BMOU885434	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 10:25	3
A5	N3	E	3	ONEU840760	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 10:30	3
A5	N2	E	4	ONEU829076	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 10:30	3
A5	N1	E	5	FSCU76194511	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 10:30	3
A5	N6	F	6	OTPU834958	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 12:47	2
A5	M5	F	7	ONEU823986	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 12:51	2
A5	N4	F	8	ONEU878512	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 12:58	2
A5	N3	F	9	TLLU893909	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 13:28	2
A5	N2	F	10	OTPU890327	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 14:06	2
A5	N1	F	11	TEMU864774	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 16:07	2
A5	M6	G	12	KSU2528444	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-03 13:11	11
A5	M5	G	13	KSU2528244	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-02 10:23	13
A5	N4	G	14	KSU8205124	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-06 10:22	9
A5	N3	G	15	ONEU814984	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-10 22:10	4
A5	N2	G	16	SZLU857496	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-11 04:08	4
A5	N1	G	17	FBU8255931	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-11 04:13	4
A5	N3	H	18	FSCU725862	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 11:55	4
A5	N2	H	19	TLLU898600	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 12:55	3
A5	N1	H	20	TINU892018	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 14:20	3
A5	N3	I	21	TRU8030004	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 8:23	14
A5	N2	I	22	TCLU1344671	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	10/12/2024 16:13	4
A5	N1	I	23	SEGU835764	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	3/12/2024 16:14	11
A6	N2	G	1	SMLU8473277	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	12/12/2024 5:11	3
A6	N1	G	2	TEMU8750362	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	12/12/2024 8:27	3
A6	M5	H	3	SEKU820778	DAIKIN	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 00:40	3
A6	N4	H	4	SZLU500004	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	2024-12-12 00:41	3
A6	N3	H	5	SZLU800688	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-11 02:28	4
A6	N2	H	6	SEGU8883626	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-11 11:13	4
A6	N1	H	7	SMLU8470560	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-07 16:09	7
A6	M5	I	8	SEKU893237	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	7/12/2024 17:00	7
A6	N4	I	9	SZLU801860	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	11/12/2024 5:54	4
A6	N3	I	10	SEGU8884391	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	11/12/2024 2:19	4
A6	N2	I	11	CTWU801808	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	10/12/2024 23:23	4
A6	N1	I	12	BMOU885950	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	11/12/2024 8:57	4
A6	N3	J	13	SZLU801822	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	11/12/2024 12:52	3
A6	N2	J	14	SZLU801816	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 13:16	3
A6	N1	J	15	SEGU8884863	DAIKIN	OK	OK	CA	OK	NO	11/12/2024 13:20	4
A7	N1	E	1	BMOU83847881	STARCOOL	OK	OK	NORMAL	OK	NO	12/12/2024 16:58	3
A7	M5	F	2	SEGU8432302	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	10/12/2024 15:11	4
A7	M5	F	3	SEGU8428926	CARRIER	OK	OK	NORMAL	OK	NO	11/12/2024 2:47	4

Figura 2.46
Formulación en Gams

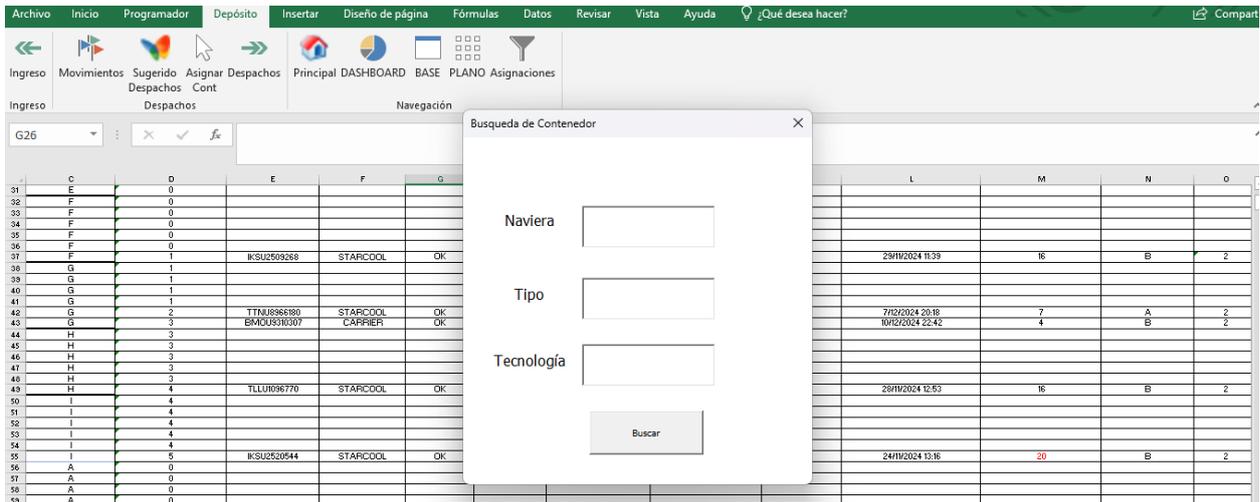
```

1600 188 0 0 0 1 0 0
1601 189 0 0 1 0 0 0
1602 190 0 1 0 0 0 0
1603 191 1 0 0 0 0 0
1604 192 0 1 0 0 0 0
1605 193 1 0 0 0 0 0
1606 194 0 0 1 0 0 0
1607 195 0 0 1 0 0 0
1608 196 0 1 0 0 0 0
1609 197 1 0 0 0 0 0
1610 ;
1611 scalar TR Tecnologia requerida /2/ ;
1612 scalar CR Clase requerida /2/ ;
1613 scalar LR Linea requerida /1/ ;
1614
1615 Binary Variables
1616 x(c) 1 si el contenedor C es seleccionado 0 otherwise
1617 ;
1618 Variable
1619 Z Cantidad de movimientos para acceder a contenedores y dias de estadia de los contenedores
1620 ;
1621
1622 Equations
1623 objfunc Funcion objetivo,
1624 Selectecontainter Restriccion para seleccionar un solo contenedor,
1625 Techreq Restriccion para cumplir con la tecnologia,
1626 Classreq Restriccion para cumplir con la clase,
1627 Linereq Restriccion para cumplir con la linea
1628 ;
1629
1630
1631 objfunc.. Z=e= sum(c,x(c)*(m(c))-x(c)*e(c));
1632 Selectecontainter.. sum(c,x(c))=e1;
1633 Techreq.. sum(c,x(c)*(h(c)-TR))=e0;
1634 Classreq.. sum(c,x(c)*(k(c)-CR))=e0;
1635 Linereq.. sum(c,x(c)*(s(c)-LR))=e0;
1636
1637 ;
1638
1639 Model ContainerSelection /all/;
1640 Solve ContainerSelection using mip minimizing Z;
1641 Display x.l;
1642
1643

```

El modelo desarrollado fue adaptado a Excel con el propósito de facilitar su implementación y uso por parte de la compañía, aprovechando una herramienta familiar para los usuarios y eliminando la necesidad de adquirir software especializado o realizar capacitaciones extensivas. En esta interfaz, los usuarios únicamente deben ingresar las características específicas requeridas por el cliente, como el tipo de contenedor, la tecnología necesaria o el tiempo de estadía mínimo como se muestra en la figura 2.47.

Figura 2.47
Modelo de optimización en Excel



A partir de estos datos, el modelo ejecuta una búsqueda para identificar el contenedor que mejor cumpla con los requisitos del cliente, priorizando aquellos con mayor cantidad de días de estadía y minimizando los movimientos necesarios para su extracción. El Solver de Excel, señala el contenedor óptimo para la operación, como se ilustra en la figura 2.48.

Figura 2.48
Respuesta de solver

MOVIMIENTOS	Contenedor	MAQUINA	D BOX	D MAQ	TECNOLOGIA	STATUS LINEA	LAVADO	FECHA DE INGRESO	DIA DE ESTADIA	TIPO CONT
1	IKSU2509268	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	23/11/2024	16	B
5	IKSU2520544	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	24/11/2024	20	B
13	IKSU5206244	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-02 10:23	13	B
14	IKSU5205124	STARCOOL	OK	OK	CA	OK	NO	2024-12-06 10:22	9	B

Además del modelo matemático desarrollado, se diseñó un plano digital que proporciona visibilidad en tiempo real del inventario de contenedores, sus ubicaciones exactas en el depósito y el estado operativo de cada uno como se muestra en la figura 2.49. Este plano permite a los operadores tomar decisiones informadas, agilizando la planificación y ejecución de las operaciones diarias, además de cumplir con los requerimientos establecidos en el diseño.

El plano se actualiza automáticamente a partir del listado digital de contenedores que la empresa ya gestionaba previamente, garantizando que la información reflejada sea siempre precisa y actualizada.

Figura 2.49
Plano de contenedores en el patio

		BLOQUE 3						
		A	B	C	D	E	F	G
EBN6								CONTENEDOR: 31LUS487309 / MAQUINA: CARRIER / D BOO: DAÑADO / D HAO: NO / TIJ: TECNOLOGIA: NORMAL / STATUS LINEA: PENDIENTE PTI / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 17/11/2024 / DIA DE ESTADIA: 244 / ASIGNADO: PENDIENTE PTI <i>Longstanding</i>
EBN5								CONTENEDOR: 11E1127111 / MAQUINA: DAMIR / D BOO: OPERATIVO / D HAO: OPERATIVO / TECNOLOGIA: CA / STATUS LINEA: OPERATIVO / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 02/10/2023 / DIA DE ESTADIA: / ASIGNADO: OPERATIVO <i>Longstanding</i>
EBN4								CONTENEDOR: 11H1217141 / MAQUINA: CARRIER / D BOO: DAÑADO / D HAO: NO PTI / TECNOLOGIA: NORMAL / STATUS LINEA: PENDIENTE PTI / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 22/10/2023 / DIA DE ESTADIA: 111 / ASIGNADO: PENDIENTE PTI <i>Longstanding</i>
EBN3								CONTENEDOR: 31LUS444197 / MAQUINA: CARRIER / D BOO: DAÑADO / D HAO: NO PTI / TECNOLOGIA: NORMAL / STATUS LINEA: PENDIENTE PTI / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 19/10/2023 / DIA DE ESTADIA: 157 / ASIGNADO: PENDIENTE PTI <i>Longstanding</i>
EBN2								CONTENEDOR: 31LUS444197 / MAQUINA: STARCOOL / D BOO: DAÑADO / D HAO: NO PTI / TECNOLOGIA: NORMAL / STATUS LINEA: PENDIENTE PTI / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 19/10/2023 / DIA DE ESTADIA: 157 / ASIGNADO: PENDIENTE PTI <i>Longstanding</i>
EBN1								CONTENEDOR: 31LUS444197 / MAQUINA: DAMIR / D BOO: DAÑADO / D HAO: NO PTI / TECNOLOGIA: CA / STATUS LINEA: PENDIENTE PTI / LAVADO: / FECHA DE INGRESO: 22/10/2023 / DIA DE ESTADIA: 154 / ASIGNADO: PENDIENTE PTI <i>Longstanding</i>

2.7.2 Plan de implementación

En esta sección se describe el plan de actividades realizadas para desarrollar y validar la solución propuesta para el modelo de optimización basado en el enfoque de Set Partitioning.

Tabla 2.8

Plan de implementación

¿QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿CÓMO?	¿DÓNDE?	¿QUIÉN?	¿CUÁNTO CUESTA?	¿CUANDO?
Programación entera mixta (MIP)	<ul style="list-style-type: none"> •Optimizar el manejo de contenedores en depósito, asegurando el cumplimiento de las políticas de rotación y minimizando los movimientos necesarios. •Reducir tiempos operativos y costos asociados a la reorganización de contenedores. 	Diseñar y parametrizar el modelo matemático en GAMS.	Depósito	Líderes de proyecto	\$1,400.00 Licencia de Gams	Nov
		Realizar simulaciones con datos reales para validar el modelo.				Dic
		Implementar modelo propuesto en Excel.			\$249.00 licencia de office 365	Dic
		Realizar simulaciones con datos reales para validar el modelo.				Ene
		Capacitar al personal para utilizar el modelo.				
\$126.90 Costo de entrenamiento						

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3. Resultados de implementación

Tras la implementación del modelo matemático en el depósito de contenedores, se realizó un análisis comparativo de los tiempos promedio de despacho. Los resultados mostraron una reducción significativa, pasando de un promedio de 81 minutos como se muestra en la figura 3.1.1 a 74 minutos como se ilustra en la figura 3.1.2, lo que representa una mejora del 9%. Esta diferencia se analizó mediante un análisis de medias, donde se comprobó que era una diferencia significativa, como se evidencia en la figura 3.1.3.

Además, se verificó que el modelo cumplió con los requerimientos de diseño establecidos. Esto incluye la priorización efectiva de contenedores según las políticas de rotación, la minimización de movimientos innecesarios y la correcta visualización del inventario en tiempo real mediante el plano digital actualizado. Estas mejoras no solo optimizaron los tiempos de despacho, sino que también facilitaron la toma de decisiones operativas y aseguraron el cumplimiento de los objetivos estratégicos del depósito.

Finalmente, se elaboró un diagrama del proceso de despacho de contenedores, en el cual se identificaron las diversas actividades en las que se utilizará la herramienta implementada. Estas actividades incluyen la revisión del inventario de contenedores, la asignación de contenedores a los despachos y la colocación final de los contenedores, de acuerdo con las especificaciones, luego de haber sido movilizados tras un despacho. Este proceso se ilustra en la figura 3.1.4.

Figura 3.1
Tiempo promedio de despacho previo a implementación

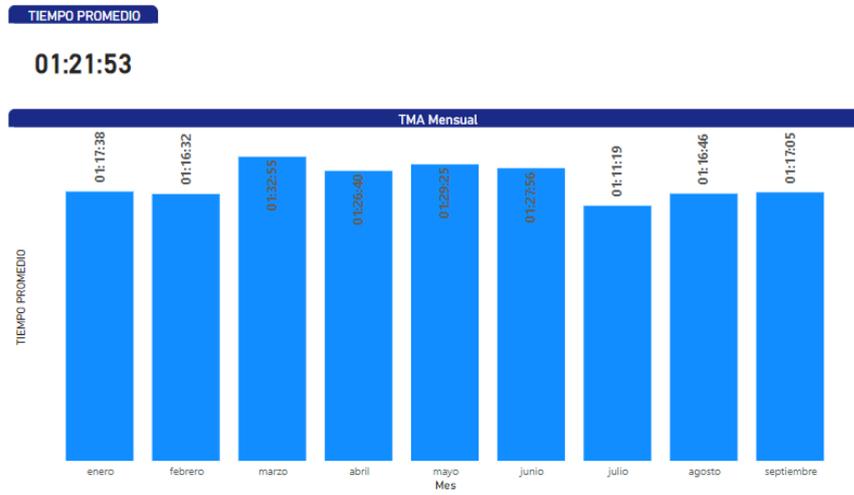


Figura 3.2
Tiempo promedio de despacho luego de implementación

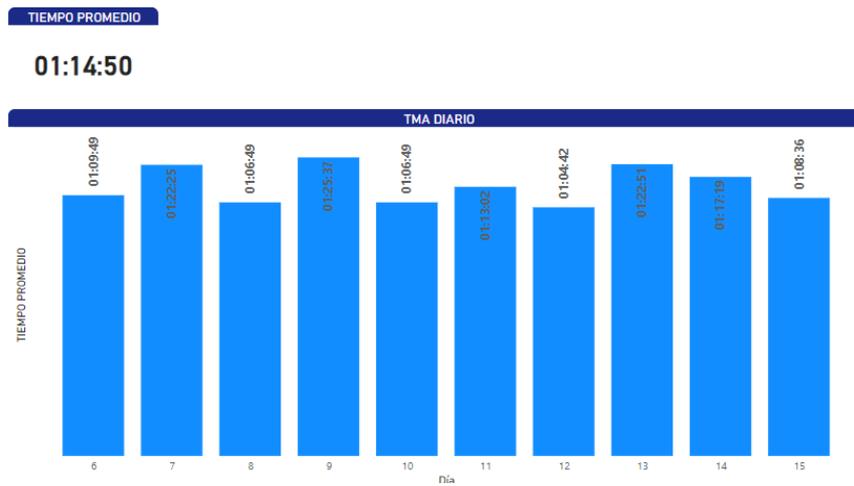


Figura 3.3

Diagrama de cajas de tiempo promedio despachos, previo y luego de implementación y prueba t

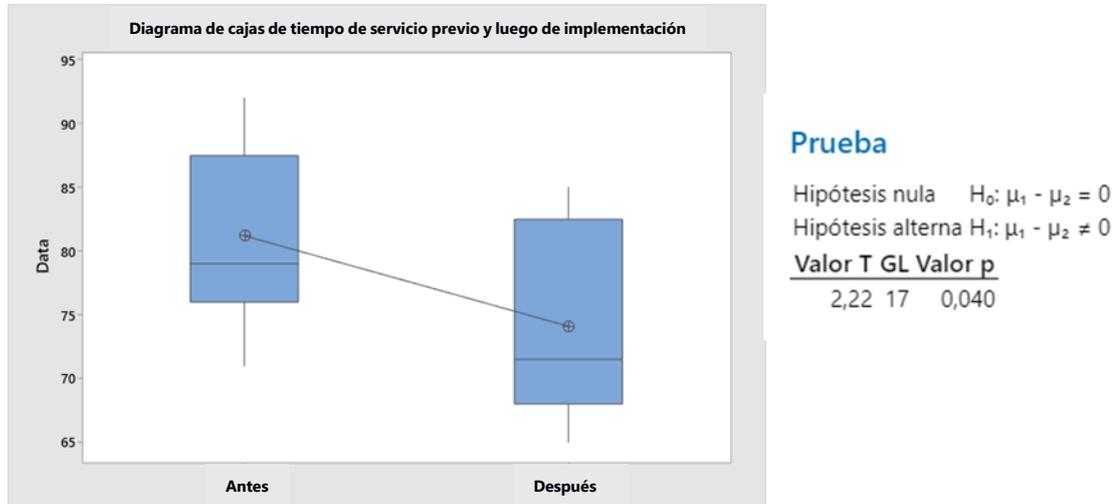
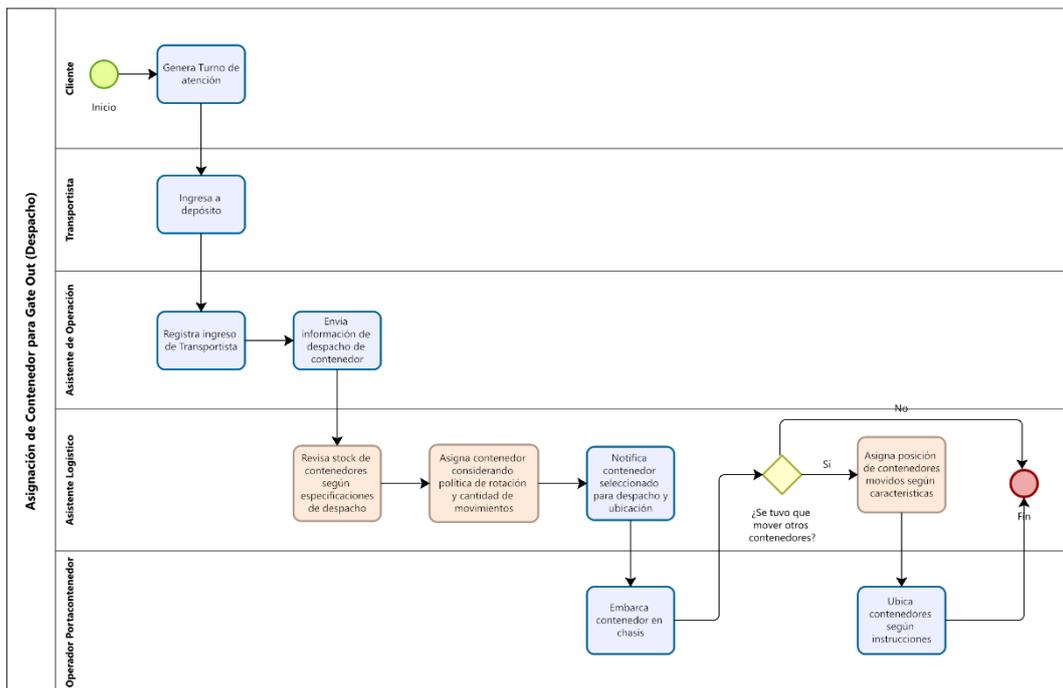


Figura 3.4

Diagrama de proceso “asignación de contenedor para despacho”



3.1 Resultados de las métricas de sostenibilidad

3.1.1 Pilar Social

En el ámbito social, se logró un 100% de despachos sin errores durante el periodo de evaluación. Esto no solo elimina los reprocesos, sino que también incrementa la satisfacción del cliente al cumplir con sus expectativas de manera precisa. Adicionalmente, la eficiencia

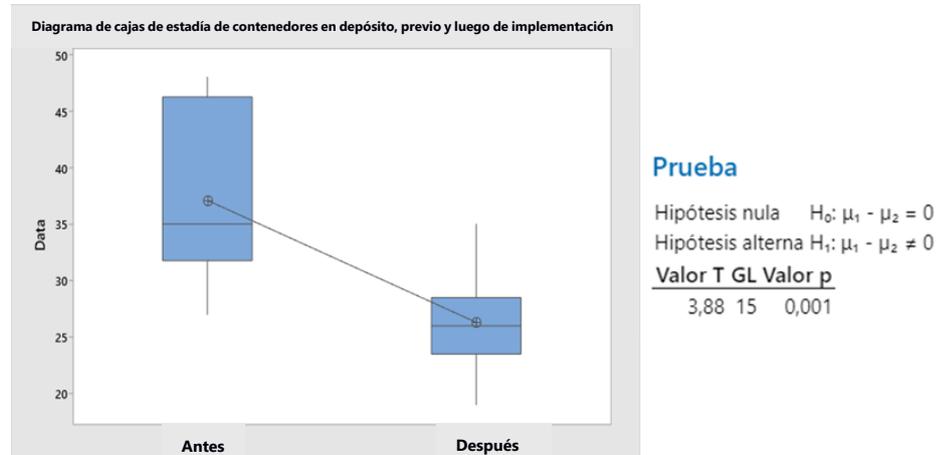
operativa reduce el estrés en los equipos de trabajo, promoviendo un ambiente laboral más organizado y colaborativo, con un enfoque en la calidad y precisión del servicio.

3.1.2 *Pilar económico*

En términos económicos, el promedio de días de estadía de los contenedores disminuyó de 37 a 26 días tras la implementación del modelo. Esta reducción asegura una rotación más eficiente, lo que evita incurrir en costos elevados por almacenamiento prolongado. Además, al optimizar la utilización del espacio disponible en el depósito, se mejora la capacidad operativa y se generan ahorros significativos, incrementando el valor económico del proceso logístico. Esta diferencia se analizó mediante un análisis de medias, donde se comprobó que la reducción era significativa como se muestra en la figura 3.1.4.

Figura 3.5

Diagrama de cajas de tiempo promedio de estadía de contenedores en depósito, previo y luego de implementación y prueba t



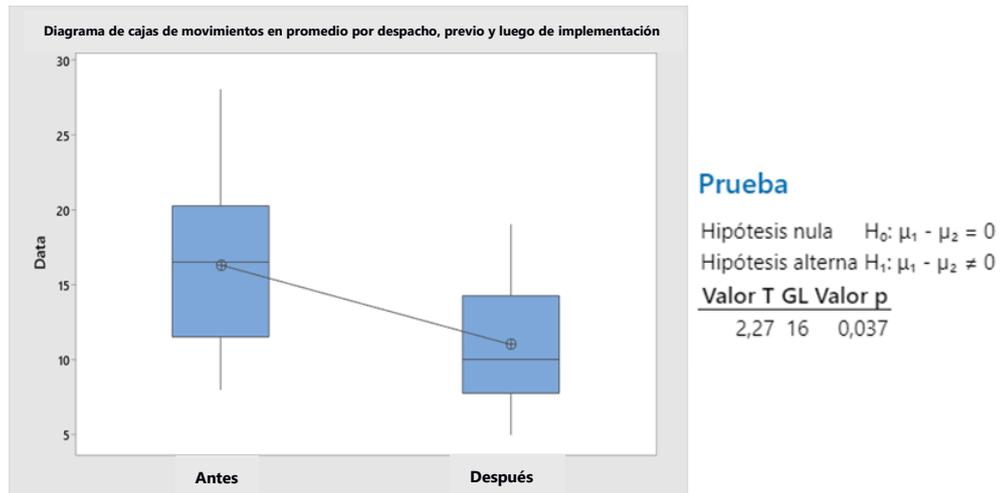
3.1.3 *Pilar ambiental*

En el pilar ambiental, el promedio de movimientos necesarios para despachar un contenedor en promedio pasó de 16 a 11 movimientos por despacho. Este cambio implica una disminución directa en el uso de maquinaria operativa, reduciendo el consumo de combustible y, por ende, las emisiones de gases contaminantes. La optimización de los movimientos contribuye a minimizar el impacto ambiental, alineando las operaciones con prácticas más sostenibles y

responsables. Esta diferencia se analizó mediante un análisis de medias, donde se comprobó que la reducción era significativa como se evidencia en la figura 3.1.5.

Figura 3.6

Diagrama de cajas de movimientos en promedio por despacho, previo y luego de implementación y prueba t



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El objetivo general de este proyecto fue desarrollar un modelo integral para optimizar la asignación, disposición y gestión operativa de los contenedores en el depósito, con el fin de reducir los movimientos innecesarios y mejorar los tiempos de despacho, cumpliendo con la meta de 75 minutos en un plazo de 4 meses. A continuación, se detallan cómo se cumplieron los objetivos específicos y los resultados obtenidos:

Se analizó el flujo operativo actual de la manipulación de contenedores para identificar las principales ineficiencias relacionadas con los movimientos innecesarios y su impacto en los tiempos de expedición. Este análisis permitió identificar ineficiencias críticas, como movimientos innecesarios de contenedores y la falta de un diseño digital en tiempo real para el layout del patio. Estas deficiencias afectaban directamente los tiempos de despacho, los cuales superaban el objetivo de 75 minutos.

Se investigó diferentes modelos matemáticos aplicables a la optimización de la asignación y gestión de contenedores para seleccionar el modelo más adecuado a la situación planteada. Se exploró diversas metodologías logísticas, incluidas el problema de Pre-Marshalling, el modelo de apilamiento por bloques, el modelo de almacenamiento basado en clases y el problema de partición de conjuntos. Finalmente, se seleccionó el modelo de partición de conjuntos debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a las necesidades del depósito.

Se desarrolló un modelo matemático funcional que optimizó la asignación y disposición de contenedores, minimizando los movimientos requeridos para su recuperación y expedición, mejorando así la eficiencia operativa. Se diseñó dicho modelo basado en el problema de partición de conjuntos, optimizando la asignación de contenedores en función de su ubicación,

tiempo de estadía, políticas de rotación y características técnicas. Este modelo permitió reducir los movimientos innecesarios, mejorando la eficiencia operativa del patio.

Se validó la efectividad del modelo propuesto mediante su implementación y comparando las operaciones actuales con el diseño optimizado, midiendo su impacto en los tiempos de despacho y en la rotación de contenedores. Tras la implementación, se logró una reducción en los tiempos de despacho, alcanzando un promedio de 74 minutos frente al objetivo de 75 minutos, lo que representa una mejora del 9%. Además, se redujo el promedio de movimientos necesarios para despachar un contenedor, pasando de 16 a 11 movimientos, lo que contribuye a una mayor eficiencia operativa. También se observó una disminución en el tiempo de estadía de los contenedores, que pasó de 37 a 26 días, mejorando la rotación y optimizando el uso del espacio. Estos resultados, junto con la mejora en la visibilidad en tiempo real del inventario, evidencian la efectividad del modelo.

Se garantizó la aplicabilidad del modelo en las operaciones diarias a través del desarrollo de una interfaz operativa intuitiva, que facilite su implementación y uso por parte del personal del depósito. El modelo fue trasladado a Excel, una plataforma familiar para los operadores, lo que permitió una implementación fluida sin necesidad de nuevas inversiones en herramientas o capacitación técnica adicional.

El modelo desarrollado optimizó la gestión operativa, mejorando la eficiencia en los procesos y reduciendo tiempos y movimientos innecesarios. Su implementación práctica facilitó la adopción sin requerir inversiones adicionales.

4.2 Recomendaciones

Garantizar que la información del inventario y los tiempos de estadía de los contenedores se mantenga actualizada para que el modelo pueda priorizar correctamente los despachos y minimizar movimientos innecesarios.

Implementar un sistema de seguimiento periódico que permita evaluar el desempeño del modelo en función de los objetivos de despacho. Esto garantizará que las restricciones de diseño sigan siendo pertinentes y se ajusten a las necesidades operativas, facilitando la realización de ajustes cuando sea necesario.

Recopilar comentarios de los operadores sobre el uso del modelo y del plano digital para identificar oportunidades de mejora. Esto permitirá optimizar la facilidad de uso y aumentar la efectividad de las herramientas implementadas.

Incorporar sensores o tecnologías de monitoreo automático para actualizar el plano digital de forma inmediata. Esto reducirá el margen de error en la visualización de la ubicación de los contenedores y garantizará una representación más precisa de la distribución del inventario, mejorando la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- ASSIS PELICIONI, R., CARLOS KAMINSKI, P., ARMELLINI, F., & BASSETTO, S. (Diciembre de 2017). *Voice of the client in the creative process*. Obtenido de <https://doi.org/10.19255/JMPM01401>
- Bahrami, B. P. (2019). *Class-based storage location assignment: An overview of the literature*. In *Proceedings of the 16th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2019)* (pp. 390–397). SCITEPRESS – Science and Technology Publications. Obtenido de <https://doi.org/10.5220/0007952403900397>
- Cherrafi, A., Elfezazi, S., Hurley, B., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Anosike, A., & Batista, L. (2019). Green and lean: a Gemba–Kaizen model for sustainability enhancement. 385-399. doi:<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1501808>
- Liao, C.-N., & Kao, H.-P. (2014). An evaluation approach to logistics service using fuzzy theory, quality function development and goal programming. *Computers & industrial engineering*, 54-64. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.12>.
- Martínez Barría, B. F. (2019). *Algoritmo heurístico para resolver el Container Pre-Marshalling Problem*.
- Mishra, P., & Kumar Sharma, R. (2014). A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network. *International journal of quality & reliability management*, 522-546. doi: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2012-0089>
- Olivo, A., Zuddas, P., Di Francesco, M., & Manca, A. (2005). An operational model for empty container management. *Maritime economics & logistics*, 199-222. doi:<https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100136>
- Peterka, P. (03 de 09 de 2008). *Diseño para Six Sigma*. Obtenido de <https://www.sixsigmaespanol.com/lean-six-sigma-articles/design-for-six-sigma/>
- Pfrommer, J. O. (2020). *Planning and operation of automated container terminals with artificial intelligence*. *European Journal of Operational Research*, 287(2), 527-541. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.022>
- Randin, R. L. (2013). Obtenido de <https://archive.org/details/optimizationinop0000rard>.
- Rodríguez, I. A. (Septiembre de 2018). *Análisis de políticas de operación en depósito de contenedores vacíos*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jimena-Pascual-2/publication/358823823_ANALYSIS_OF_OPERATIONAL_STRATEGIES_IN_AN_E

MPTY_CONTAINER_DEPOT/links/62178338cf3e20571e1fdbc9/ANALYSIS-OF-
OPERATIONAL-STRATEGIES-IN-AN-EMPTY-CONTAINER-DEPOT.pdf