

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del tiempo de ciclo promedio del proceso mantenimiento y
reparación de contenedores en un patio logístico

INGE – 2813

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Thalia Angeline Mena Morán

Claudio André Alvia Córdova

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, quién estuvo conmigo en cada etapa de mi vida. A mi esposo, Ronny García, que confió en mí desde antes de comenzar mi etapa universitaria, brindándome siempre su apoyo incondicional. A mi hija, Thaylee García, mi fuente constante de inspiración y motivación para seguir adelante cada día. A mi madre, Mildred, por sus oraciones, su fe y su amor inquebrantable. A mi padre, Hugo, quien desde mis años escolares se esforzó incansablemente para que yo pudiera estudiar, a pesar de los obstáculos. A toda mi familia por acompañarme en este camino.

Thalia Angeline Mena Morán

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mi Dios, mis
padres, mis hermanos y mi enamorada.

Claudio André Alvia Córdova

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, hermanos, suegros, esposo, hija, pastores y compañeros de trabajo quienes fueron un pilar fundamental para culminar esta etapa universitaria. A la MSc. María Belén Segovia, que no solo me ha transmitido su conocimiento, sino también ha sido una guía para mi formación académica, gracias miss por ayudarme a seguir avanzando. A la MSc. María Laura Retamales, que con sus tutorías, correcciones y consejos ha hecho posible este gran proyecto, porque a la final se convirtió en una gran amiga y ahora colega. A cada persona que ha sido parte de este proceso, mi más sincero agradecimiento. En especial, agradezco a mis amigos Christopher Muentes y Keneth Pacheco por estar presente, a mi compañero de tesis, Claudio, por su compromiso en este gran logro.

Thalia Angeline Mena Morán

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a Dios, mis padres, mi enamorada y mi compañera de tesis, quienes han sido un pilar para mí, así en la vida como en el desarrollo de este proyecto. Gracias por estar para mí siempre que lo he necesitado y por ver lo mejor en mí, se lo debo todo a ustedes.

Claudio André Alvia Córdova

Declaración Expresa

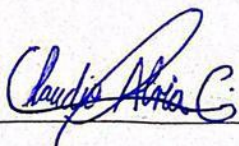
Nosotros Claudio André Alvia Córdova y Thalia Angeline Mena Morán acordamos y reconocemos que:

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.

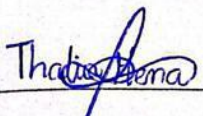
La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada 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 nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de 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, 28 de mayo del 2025.



Claudio André Alvia Córdova



Thalia Angeline Mena Morán

Evaluadores

M.Sc. María Fernanda López Sarzosa

Profesor de Materia

M.Sc. María Laura Retamales García

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto tuvo como objetivo reducir el tiempo de ciclo promedio por contenedor en el proceso de mantenimiento y reparación en un patio logístico, el cual se situaba en 9.07 días a 5.9 días por contenedor desde enero de 2025. Para lograr alcanzar el objetivo se utilizó la metodología DMAIC, enfocándose en identificar y eliminar fuentes de variabilidad. El análisis de los procesos reveló que el mayor tiempo de ciclo se encontraba en la reparación de la estructura del contenedor, especialmente en aquellas que requerían repuestos. A través de esta metodología se identificaron las causas raíz y se implementaron soluciones como el diseño de un plan de tareas diarias, el desarrollo de una aplicación de entradas y salidas de inventario con alertas automáticas y la automatización del proceso de revisión de correos para la aprobación o rechazo de reparaciones de contenedores. Estas acciones permitieron reducir el tiempo de ciclo promedio semanal a 4.42 días por contenedor. Adicional a ello, se logró una disminución en el consumo de agua de 7,5 m³ semanales, un aumento de al menos \$682 de la ganancia semanal y un incremento en la satisfacción laboral del 23%.

En conclusión, el patio logístico presenta ahora una operación más eficiente en términos de gestión de tareas, repuestos e información.

Palabras clave: DMAIC, mejora continua, variabilidad, contenedores operativos, criterios de priorización.

Abstract

This project aimed to reduce the average cycle time per container in the maintenance and repair process at a logistics yard, which stood at 9.07 days, to 5.9 days per container as of January 2025. To achieve this goal, the DMAIC methodology was used, focusing on identifying and eliminating sources of variability. Process analysis revealed that the longest cycle time occurred during structural repairs of the containers, especially those requiring spare parts.

Through this methodology, root causes were identified, and solutions were implemented, such as the design of a daily task plan, the development of an inventory check-in/check-out application with automatic alerts, and the automation of the email review process for container repair approvals or rejections.

These actions allowed the average weekly cycle time to be reduced to 4.42 days per container. Additionally, a weekly water consumption reduction of 7.5 m³ was achieved, a weekly profit increase of at least \$682, and a 23% improvement in job satisfaction.

In conclusion, the logistics yard now operates more efficiently in terms of task management, spare parts handling, and information flow.

Keywords: DMAIC, continuous improvement, variability, operational containers, prioritization criteria.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XIII
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1. Introducción	2
1.2. Descripción del Problema	3
1.3. Justificación del Problema	4
1.4. Alcance del Proyecto	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Marco teórico	6
1.6.1. El contenedor y sus tipos	6
1.6.2. Lean Manufacturing y Six Sigma	8
Capítulo 2.....	1

2.	Metodología	11
2.1.	Definición	11
2.1.1.	Voz del Cliente y Diagrama de Afinidad.....	11
2.1.2.	Árbol CTQ	12
2.1.3.	Definición de la Variable	12
2.1.4.	Declaración de Oportunidad	13
2.1.5.	Triple Bottom Line (TBL)	14
2.2.	Medición	14
2.2.1.	Mapeo del Proceso	15
2.2.2.	Plan de Recolección de Datos.....	16
2.2.3.	Análisis de confiabilidad.....	17
2.2.4.	Análisis de capacidad de la variable de respuesta	23
2.2.5.	Estratificación y problema enfocado	26
2.3.	Análisis	29
2.3.1.	Diagrama de Ishikawa.....	29
2.3.2.	Matriz Causa – Efecto.....	30
2.3.3.	Verificación de causas	32
2.3.4.	Análisis de las causas potenciales.....	37
2.4.	Mejora	39
2.4.1.	Matriz Impacto – Esfuerzo.....	40

2.4.2.	Análisis económico	40
2.4.3.	Plan de implementación	41
2.4.4.	Implementación.....	42
Capítulo 3.....		51
3.	Resultados y Análisis	52
3.1.	Análisis de resultados	52
3.1.1.	Análisis de series de tiempo.....	52
3.1.2.	Prueba de normalidad	53
3.1.3.	Límites de control	54
3.1.4.	Análisis de capacidad.....	55
3.1.5.	Comparación del tiempo de ciclo del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores	55
3.2.	Evaluación de la Triple Línea Base después de la implementación de las soluciones	57
3.2.1.	Impacto ambiental.....	57
3.2.2.	Impacto económico	57
3.2.3.	Impacto social	58
3.3.	Control	60
3.3.1.	Plan de Control	60
Capítulo 4.....		63
4.	Conclusiones y Recomendaciones	64

4.1.	Conclusiones	64
4.2.	Recomendaciones	65
	Bibliografía	66

Abreviaturas

CTQ	Critical to Quality
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
EIR	Equipment Interchange Receipt
PTI	Pre-Trip-Inspection
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers
TBL	Triple Bottom Line
VOC	Voice of Customer
YMS	Yard Management System

Simbología

H_0	Hipótesis nula
H_1	Hipótesis alterna
N	Tamaño de muestra

Índice de figuras

Figura 1 <i>Tiempo de ciclo promedio semanal en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores</i>	4
Figura 2 <i>Diagrama de Afinidad del proceso mantenimiento y reparación (M&R) de contenedores</i>	11
Figura 3 <i>Críticos de la Calidad</i>	12
Figura 4 <i>Diagrama de flujo funcional del Proceso de Mantenimiento y Reparación de Contenedor</i>	15
Figura 5 <i>Diagrama de caja de los datos de tiempo de inspección en relación con la data recolectada</i>	19
Figura 6 <i>Diagrama de caja de los datos de tiempo de PTI en relación con la data recolectada</i>	20
Figura 7 <i>Prueba de comparación de dos varianzas de los datos de tiempo de inspección</i>	20
Figura 8 <i>Prueba de comparación de dos varianzas de los datos de tiempo de PTI</i>	21
Figura 9 <i>Diagrama de caja de los datos de tiempo de estimación en relación con la data recolectada</i>	22
Figura 10 <i>Diagrama de caja de los datos de tiempo de reparación en relación con la data recolectada</i>	22
Figura 11 <i>Diagrama de caja de los datos de tiempo de lavado en relación con la data recolectada</i>	23

Figura 12 <i>Gráficas de normalidad para los procesos de estimación, reparación y lavado.....</i>	23
Figura 13 <i>Distribución normal de la variable de respuesta</i>	25
Figura 14 <i>Límites de control de las observaciones.....</i>	25
Figura 15 <i>Análisis de capacidad del proceso de mantenimiento y reparación</i>	26
Figura 16 <i>Diagrama de caja de los tiempos por proceso</i>	27
Figura 17 <i>Diagrama de caja entre las reparaciones de estructura y de máquina en el proceso de reparación</i>	28
Figura 18 <i>Gráficos de intervalos del requerimiento de repuestos en el proceso de reparación de estructura.....</i>	29
Figura 19 <i>Diagrama de Ishikawa de las causas potenciales</i>	30
Figura 20 <i>Diagrama de Pareto de las posibles causas en el proceso de reparación estructura del contenedor que requiere repuestos.....</i>	32
Figura 21 <i>Diagrama de caja de los tiempos de reparación.....</i>	34
Figura 22 <i>Diagramas de caja de las reparaciones grandes y pequeñas</i>	35
Figura 23 <i>Diagramas de caja de tiempo de reparación en condiciones normales y tiempo de reparación cuando se presenta desabasto</i>	36
Figura 24 <i>Diagramas de caja de tiempo de ciclo promedio y del tiempo de ciclo promedio con notificaciones de aprobaciones tardías</i>	37
Figura 25 <i>Matriz Impacto - Esfuerzo de las soluciones potenciales</i>	40
Figura 26 <i>Criterios de priorización</i>	42

Figura 27	<i>Plan de tareas diarias</i>	43
Figura 28	<i>Capacitación con el jefe de patio</i>	44
Figura 29	<i>Maestro de artículos</i>	45
Figura 30	<i>Movimiento de inventario</i>	45
Figura 31	<i>Artículos no registrados</i>	46
Figura 32	<i>Aplicación para el registro de salidas y entrada de artículos</i>	46
Figura 33	<i>Alerta de consumo por encima del máximo permitido</i>	47
Figura 34	<i>Alerta de consumo dentro del rango permitido</i>	47
Figura 35	<i>Alerta de No movimiento</i>	48
Figura 36	<i>Capacitación con el asistente de bodega</i>	48
Figura 37	<i>Lista de correos activos</i>	49
Figura 38	<i>Lista de correos revisados</i>	49
Figura 39	<i>Capacitación con el supervisor de patio</i>	50
Figura 40	<i>Series de tiempo antes y después de las implementaciones</i>	53
Figura 41	<i>Gráfica de probabilidad de la variable de respuesta</i>	54
Figura 42	<i>Gráfica de control antes y después de las implementaciones</i>	54
Figura 43	<i>Análisis de capacidad antes y después de las implementaciones</i>	55
Figura 44	<i>Hipótesis y valor p de la prueba t para 2 muestras</i>	56
Figura 45	<i>Tiempo de ciclo antes y después de la implementación de las soluciones</i>	56
Figura 46	<i>Caudalímetro usado para medir el volumen de agua</i>	57

Figura 47 <i>Encuesta de satisfacción laboral en el mes de junio</i>	59
Figura 48 <i>Encuesta de satisfacción laboral en el mes de agosto</i>	59

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Diagrama SIPOC del proceso mantenimiento y reparación (M&R) de contenedores</i>	5
Tabla 2 <i>Escenarios de definición de objetivo</i>	14
Tabla 3 <i>Análisis de valor del proceso</i>	16
Tabla 4 <i>Plan de recolección de datos – 1</i>	16
Tabla 5 <i>Plan de recolección de datos – 2</i>	17
Tabla 6 <i>Datos para calcular el tamaño de la muestra</i>	18
Tabla 7 <i>Datos de contenedores operativos</i>	24
Tabla 8 <i>Matriz Causa y Efecto</i>	31
Tabla 9 <i>Plan de verificación de causas</i>	33
Tabla 10 <i>Análisis de los 5 por qué de las causas verificadas 2 y 4</i>	38
Tabla 11 <i>Análisis de los 5 por qué de las causas verificadas 10 y 12</i>	38
Tabla 12 <i>Soluciones potenciales a partir de las causas potenciales</i>	39
Tabla 13 <i>Costos de implementación</i>	41
Tabla 14 <i>Plan de implementación de soluciones</i>	41
Tabla 15 <i>Ganancia y promedio de contenedores reparados semanal antes y después de la implementación de soluciones</i>	58
Tabla 16 <i>Plan de control del uso del plan de tareas diarios con criterios de priorización</i>	60

Tabla 17 <i>Plan de control del registro inmediato de entradas/salidas del consumo de inventario e integración del ROP</i>	61
--	----

Tabla 18 <i>Plan de control de la revisión de aprobación/rechazo de contenedores</i>	62
--	----

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Introducción

En el contexto logístico actual, la optimización de procesos y la reducción de tiempos operativos son factores determinantes para garantizar un servicio eficiente y competitivo en el mercado (Sydle, 2023). Por este motivo, la gestión de operaciones en centros logísticos desarrolla una posición estratégica en el cumplimiento de tiempos de entrega y en la satisfacción del cliente.

El flujo operativo inicia con una inspección estructural para identificar posibles daños visibles, seguida de una verificación técnica de la máquina, como el sistema de refrigeración en el caso de contenedores reefer, mediante el proceso conocido como Pre-Trip-Inspection (PTI). A partir de estos diagnósticos, se determinan las acciones correctivas requeridas y se gestionan los repuestos necesarios desde bodega, lo cual puede impactar directamente en los tiempos de ciclo del proceso. Además, es importante llevar a cabo acciones de limpieza, tanto en el exterior como en el interior del contenedor. Estas medidas ayudan a prevenir la oxidación y la aparición de moho, ya que la acumulación de suciedad, polvo y escombros acelera el deterioro de la estructura del contenedor. Por lo cual, estos procesos son esenciales para prolongar la vida útil de los contenedores, y así asegurar el cumplimiento de estándares internacionales (Contenex, 2024).

En consecuencia, el presente proyecto se centra en la identificación y análisis de las causas que presentan altos tiempos de ciclo en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores en un centro logístico, a través de la implementación de una metodología de mejora continua, con la finalidad de reducir demoras y aumentar la productividad sin incrementar los recursos actuales.

1.2. Descripción del Problema

La empresa dedicada al mantenimiento y reparación de contenedores actualmente está presentando alto tiempo de ciclo promedio en su proceso. Este problema afecta la productividad, los costos y la competitividad, debido a que reduce la disponibilidad de contenedores operativos y afecta la percepción de confiabilidad del servicio. Por lo tanto, se busca disminuir el tiempo de ciclo promedio en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores. Sin embargo, algunas restricciones que se pueden presentar son:

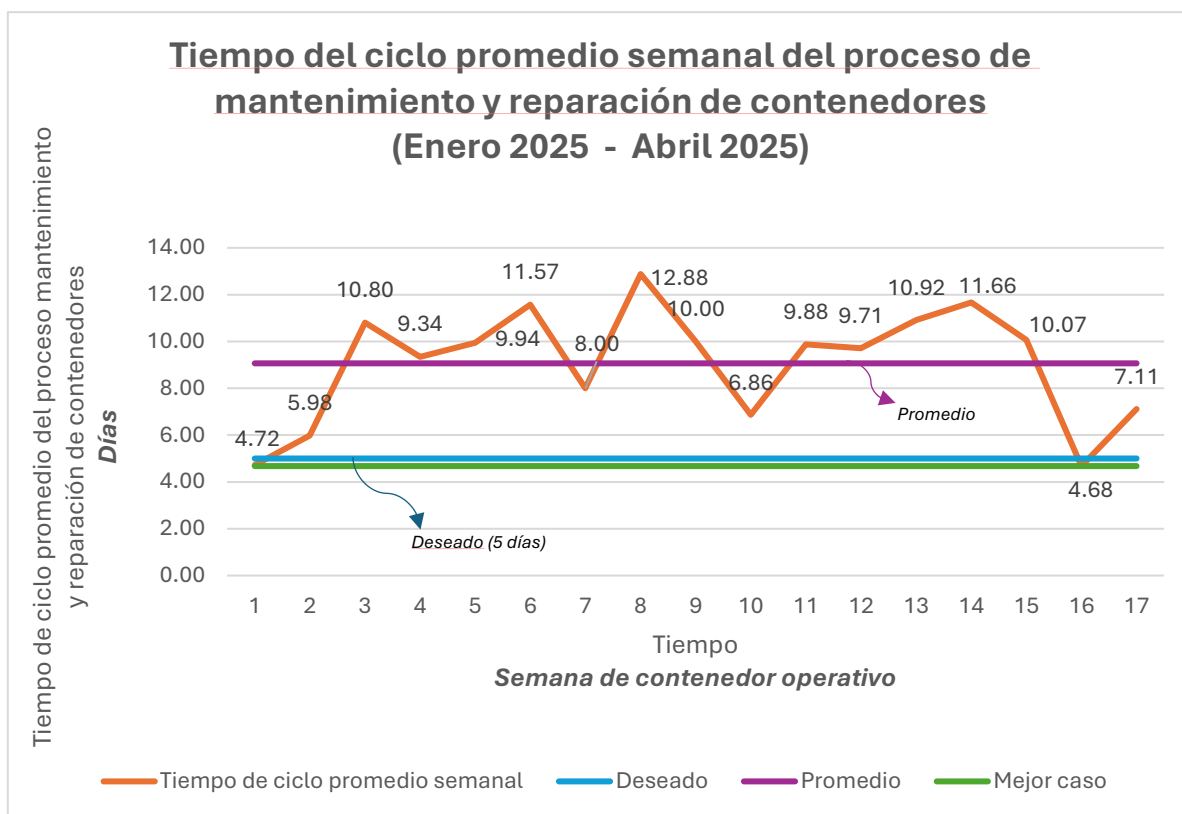
- Demanda estocástica en el arribo de contenedores
- Disponibilidad inmediata de repuestos

Asimismo, es relevante contemplar sus potenciales obstáculos, como la resistencia al cambio por parte del personal administrativo como del personal operativo, y la falta de planificación estratégica de acuerdo con las necesidades de prioridad en el proceso.

En la Figura 1, se puede observar una serie de tiempo que muestra el tiempo de ciclo promedio semanal en el proceso. Desde enero del 2025 hasta abril del 2025 se puede evidenciar como existen tiempos mayores al deseado que es de 5 días en promedio semanal y un tiempo mínimo durante ese periodo que es de 4.68 días en promedio semanal.

Figura 1

Tiempo de ciclo promedio semanal en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores



1.3. Justificación del Problema

El alto tiempo de ciclo promedio semanal en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores en un patio logístico, está superando el promedio esperado por la empresa quienes son medidos por un indicador mensual de la naviera fijado en 5 días promedio. Por lo que, la necesidad de disminuir este tiempo de ciclo promedio es fundamental de tal manera que se tenga un impacto positivo en el proceso de dicha empresa, así como aumentar la productividad, la automatización de procesos y el nivel de servicio lo que favorecerá a la empresa en próximas licitaciones, facilitando la solicitud de más contenedores a la naviera.

1.4. Alcance del Proyecto

Este proyecto se llevó a cabo en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores, en cual se encuentra descrito en el diagrama SIPOC de la Tabla 1.

El proceso inició con la llegada del contenedor al patio por parte de la línea naviera y la respectiva orden de ingreso. Adicional, se realiza la inspección estructural y del sistema de refrigeración, seguida de la estimación de costos y aprobación para reparación. Luego, se ejecuta el mantenimiento con los repuestos e implementos de limpieza correspondientes y, finalmente, se almacena el contenedor reparado y se genera el informe respectivo.

Tabla 1

Diagrama SIPOC del proceso mantenimiento y reparación (M&R) de contenedores

SUPPLIERS	INPUT	PROCESS	OUTPUT	CUSTOMERS
Línea de la naviera	Contenedores	Recepción de contenedor	Contenedor registrado en YMS	Personal operativo
	Orden de ingreso			
Garita de transporte	Contenedor registrado en YMS	Inspección de estructura y sistema de refrigeración del contenedor	Informe técnico de inspección	Coordinador administrativo
Personal operativo	Informe técnico de inspección	Estimación de costos de reparación	Proforma del contenedor	Línea de la naviera
Línea de la naviera	Contenedor aprobado para reparación	Mantenimiento y reparación	Contenedor reparado	Coordinador administrativo
Proveedor de repuestos	Repuestos e Implementos de limpieza			
Coordinador administrativo	Contenedor operativo	Almacenamiento de contenedor	Contenedor almacenado	Línea de la naviera
			Informe post - reparación (EIR)	

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Reducir el tiempo de ciclo promedio del proceso de mantenimiento y reparación de 9.07 días por contenedor a 5.9 días, mediante la implementación de un proyecto DMAIC, hasta agosto del año 2025.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Recopilar datos del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores para identificar problemas y oportunidades de mejora.
- Aplicar herramientas de mejora continua para analizar las causas potenciales e identificar la causa raíz.
- Implementar soluciones para cada causa raíz para reducir el tiempo de ciclo promedio semanal del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores.

1.6. Marco teórico

La presente sección incluye información técnica del contenedor, así como los fundamentos teóricos de la metodología Lean Manufacturing y Six Sigma.

1.6.1. *El contenedor y sus tipos*

Es una unidad estructural estandarizada que permite el transporte eficiente de mercancías a nivel global. Su invención permitió transformar de manera radical la logística internacional al permitir el traslado de grandes volúmenes de carga de manera segura, rápida y con mínima manipulación. Esta innovación se atribuye a Malcolm McLean, quien en la década de 1950 implementó el uso de contenedores metálicos modulares para optimizar la carga en el transporte marítimo (Inbound Logistics, 2023).

Por otro lado, según Cargo Flores (2024), la variedad de tipos de contenedores permite atender necesidades logísticas puntuales conforme el tipo de carga, dimensiones, condiciones de conservación y requisitos operativos. Esta clasificación técnica se basa en dimensiones, diseño estructural y funcionalidad.

Los principales tipos de contenedores son los siguientes (Cargo Flores, 2024):

- **Contenedor Dry Van:** Es el tipo más frecuente y se utiliza para el transporte de mercancías secas, empaquetadas o paletizadas. Se encuentra completamente cerrado y ofrece protección contra el ambiente exterior, ideal para cargas que no requieren ventilación ni refrigeración.
- **Contenedor High Cube:** Variante del Dry Van, con una altura interna superior (aproximadamente 30 cm más) que permite el transporte de mercancías voluminosas. Suele emplearse para cargas ligeras, pero de gran volumen.
- **Contenedor Open Top:** Cuenta con una estructura abierta en la parte superior, cubierta con una lona removible. Este diseño permite cargar mercancías de gran altura con grúas, siendo útil para maquinaria pesada, tuberías o estructuras metálicas.
- **Contenedor Flat Rack:** Diseñado sin paredes laterales ni techo, permite el transporte de cargas sobredimensionadas o que requieren una carga y descarga lateral. Sus extremos pueden ser fijos o plegables para facilitar su manipulación y apilamiento.
- **Contenedor Reefer:** Es un contenedor térmico con sistema de refrigeración incorporado, utilizado para transportar productos perecederos como alimentos, flores o productos farmacéuticos. Permite mantener temperaturas controladas entre -30 °C y +30 °C, dependiendo del equipo.
- **Contenedor Isotank:** Diseñado para el transporte de líquidos a granel, químicos, aceites o gases licuados. Cuenta con un tanque de acero inoxidable montado dentro de una estructura de contenedor estándar.

La correcta elección del tipo de contenedor es fundamental para asegurar la integridad de la carga, optimizar la eficiencia logística y garantizar el cumplimiento de normativas de seguridad. Además, afecta directamente los tiempos de carga y descarga, los costos operativos y la planificación en patios logísticos (Kensa Logistics, 2025).

1.6.2. *Lean Manufacturing y Six Sigma*

Lean Manufacturing es una metodología cuyo eje principal es la de identificación y eliminación de desperdicios, busca optimizar los procesos y mejorar la calidad de los productos, hoy en día, su aplicabilidad va más allá de la manufactura, incluyendo múltiples industrias y áreas comerciales (Lugo Marín, 2025).

En cambio, Six Sigma es una metodología de gestión de calidad que busca reducir la variabilidad y eliminar defectos u errores mediante análisis estadísticos, utilizando el enfoque DMAIC. Se divide en cinco etapas, cada una con un propósito claro para mejorar procesos existentes: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, las cuales serán utilizadas a lo largo de este proyecto. Por medio de esto, se busca reducir la variabilidad, mejorar la eficiencia y satisfacer de manera productiva al cliente (Gould, 2022).

A pesar de que, las organizaciones orientadas a la mejora continua tienen un enfoque claro a la adopción de nuevas metodologías para optimizar la producción, esto conlleva impactos significativos en toda la estructura empresarial. Las decisiones estratégicas necesitan planificación rigurosa y un compromiso institucional sostenido; no pueden tomarse de forma precipitada ni implementarse de manera parcial (Gould, 2022).

Más que elegir entre una metodología y otra, la clave es identificar qué elementos de Lean y Six Sigma pueden integrarse de manera óptima dentro del sistema o proceso actual, con el fin de generar mayor valor para el cliente. Para ellos, es importante evaluar si la empresa tiene la capacidad operativa, técnica y cultura para sostener los cambios en el tiempo. Estudios han revelado que cerca del 60% de las compañías que implementan por primera vez proyectos bajo estas metodologías no

alcanzan los resultados esperados, en gran parte por la falta de seguimiento en la aplicación de mejoras indica (Gutiérrez, 2010).

Según Womack & Jones (2003), cuando se inicia un proyecto Lean o Six Sigma, suele observarse un alto nivel de motivación inicial y voluntad de cambio. Sin embargo, esta energía tiende a disminuir con el paso del tiempo, y muchas organizaciones terminan regresando a los métodos tradicionales que inicialmente identificaron como ineficientes. Este retroceso suele estar relacionado con la ausencia de una cultura organizacional sólida que respalde la sostenibilidad del cambio.

El tipo de industria también desempeña un papel determinante al momento de elegir el enfoque metodológico. Por ejemplo, los sectores intensivos en maquinaria y procesos estandarizados encuentran mayores beneficios en la aplicación de Six Sigma, debido a su enfoque en la reducción de variabilidad y defectos. En cambio, los entornos de manufactura con alta participación de mano de obra se alinean más fácilmente con los principios Lean, que priorizan la eliminación de desperdicios y la mejora del flujo de trabajo (Laoyan, 2025).

En este contexto, la capacidad que tiene una empresa para adaptarse de forma rápida y eficaz a los cambios tanto internos como externos se posiciona como un factor clave para facilitar la implementación y sostenibilidad de transformaciones ágiles en los procesos productivos y de gestión. Considerando que Lean y Six Sigma son metodologías reconocidas y validadas a nivel internacional, su aplicación estructurada no solo permite alcanzar estándares de calidad y certificación, sino también posibilita la realización de análisis y evaluaciones de desempeño más precisos, sistemáticos y efectivos.

Capítulo 2

2. Metodología

2.1. Definición

Durante la etapa de definición, se estudió el proceso y se identificaron los problemas para establecer una definición clara del mismo.

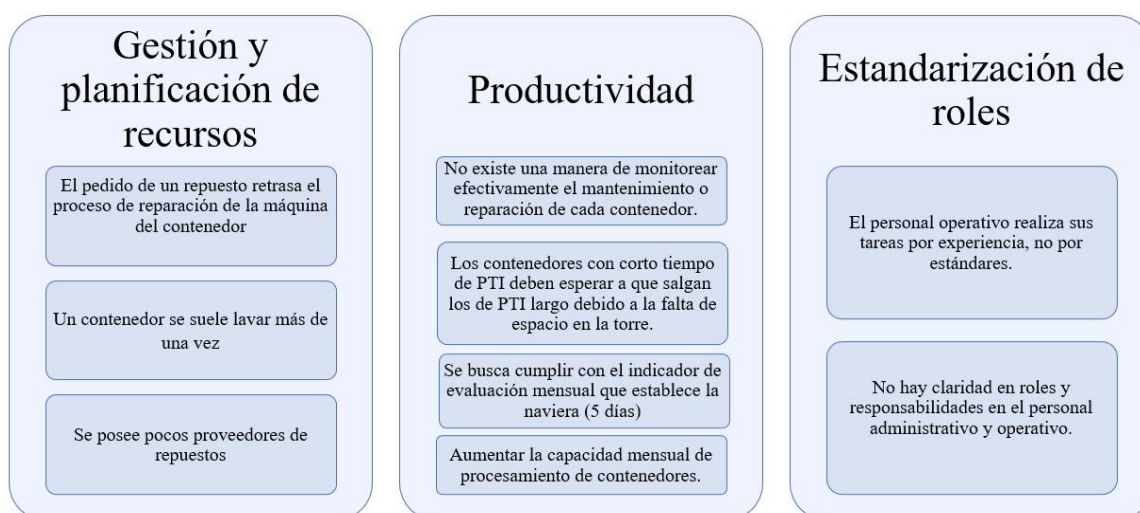
2.1.1. *Voz del Cliente y Diagrama de Afinidad*

Para identificar los requerimientos, se realizaron entrevistas con los principales actores del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores, utilizando la herramienta Voz del Cliente. Los actores involucrados fueron el jefe de patio, el coordinador de patio, el asistente de bodega y los operadores.

Las necesidades y percepciones obtenidas de los actores se organizaron mediante un Diagrama de Afinidad; los cuales se agruparon en tres categorías clave, tal como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Diagrama de Afinidad del proceso mantenimiento y reparación (M&R) de contenedores

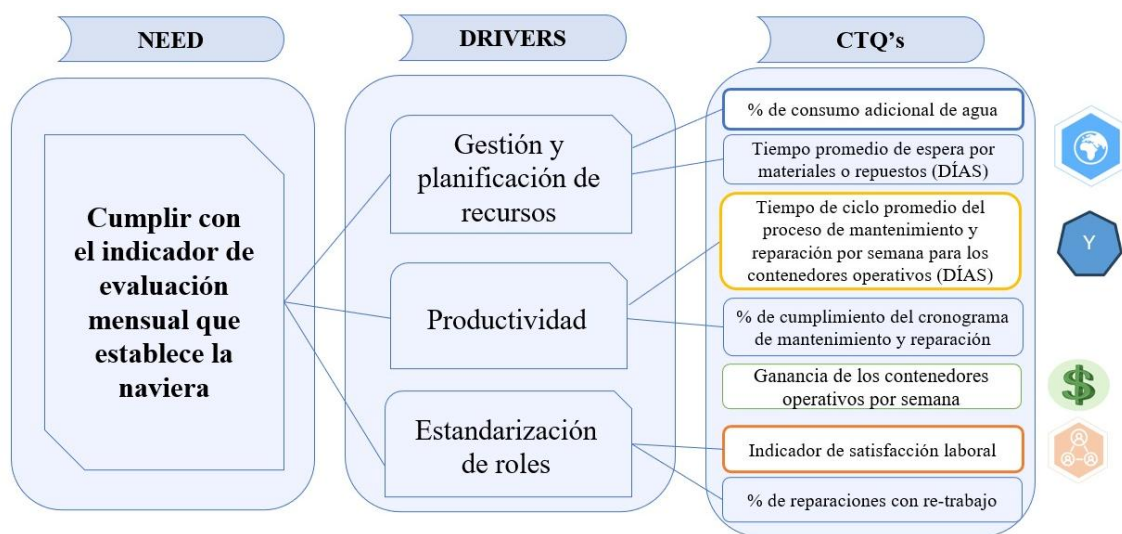


2.1.2. Árbol CTQ

Para traducir las necesidades del cliente, se construyó un Árbol CTQ que se observa en la Figura 3. Este árbol descompone las necesidades generales en "Drivers" y, finalmente, en críticos de la calidad con sus respectivas especificaciones.

Figura 3

Críticos de la Calidad



2.1.3. Definición de la Variable

La variable de respuesta principal es el *Tiempo de ciclo promedio del proceso de mantenimiento y reparación por semana para contenedores operativos*. Esta variable se definió como el tiempo transcurrido desde el momento en que un contenedor es recibido hasta que se encuentre disponible para ser devuelto a su operación habitual.

$$Y = \frac{\sum[(E - G_{in}) + (C_{op} - A)]}{\text{Número de contenedores ingresados por semana}} \quad (2.1)$$

donde:

Y = Tiempo de ciclo promedio semanal del proceso de M&R

C_{op} = Fecha de almacenamiento del contenedor operativo en el patio logístico

G_{in} = Fecha de ingreso del contenedor al patio logístico

E = Fecha de envío de la estimación de la máquina y la estructura a la línea naviera

A = Fecha de aprobación del presupuesto para la máquina y la estructura por parte de la naviera

2.1.4. Declaración de Oportunidad

El estudio del proceso representado en la Figura 1 reflejó una variabilidad significativa en los tiempos de ciclo promedio del proceso de mantenimiento y reparación, así como una falta de estándares de trabajo claros. En este contexto, se identificó una oportunidad de mejora al comparar el desempeño actual con un *benchmark* histórico de 4.68 días, correspondiente al menor tiempo de ciclo registrado en el proceso. A partir de este valor de referencia, se plantearon tres escenarios: pesimista (40 %), objetivo (70 %) y optimista (90 %), lo cual se detalla en la Tabla 2. El escenario objetivo fue seleccionado como meta de mejora en conjunto con los principales actores del proceso, proponiendo una reducción del tiempo de ciclo hasta alcanzar los 5,99 días en promedio.

A partir de esta evaluación, se utilizó la herramienta 3W+2H para la definición del problema: *Desde enero de 2025, se ha observado un tiempo de ciclo promedio semanal elevado para los contenedores operativos en el proceso de mantenimiento y reparación de un patio logístico. Se ha registrado un tiempo de ciclo promedio semanal de 9,07 días para los contenedores operativos, frente al promedio deseado por la empresa de 5,99 días semanales.*

Tabla 2*Escenarios de definición de objetivo*

Pesimista	Objetivo	Optimista
40%	70%	90%
7.31	5.99	5.12

2.1.5. Triple Bottom Line (TBL)

Posterior a esto, el impacto de este proyecto fue evaluado considerando los aspectos más relevantes, tomando en cuenta las tres dimensiones que conforman el enfoque para la Triple Línea Base:

- **Económico:**

$$\sum_i^n (\text{Número de contenedores operativos por semana}) * (\text{Carga mínimo por contenedor procesado}) \quad (2.2)$$

- **Social:**

$$\frac{\sum_i^n \text{Puntaje obtenido}}{\text{Puntaje máximo} * n} * 100 \quad (2.3)$$

- **Ambiental:**

$$\frac{\text{Número de lavados realizados por semana} - \text{Número de lavados previstos por semana}}{\text{Número de lavados previstos por semana}} * 100 \quad (2.4)$$

2.2. Medición

En la etapa de medición, se recolectaron datos de cada fase del proceso donde se validó y se estratificó hasta la detección del problema enfocado.

2.2.1. Mapeo del Proceso

Se elaboró un diagrama de flujo funcional para lograr visualizar de forma clara las actividades, puntos de decisión, cuellos de botella y la presencia de fábricas ocultas. El cual se detalla en la Figura 4

Asimismo, se clasificó las actividades en tres categorías claves como se muestra en la Tabla 3.

Figura 4

Diagrama de flujo funcional del Proceso de Mantenimiento y Reparación de Contenedor

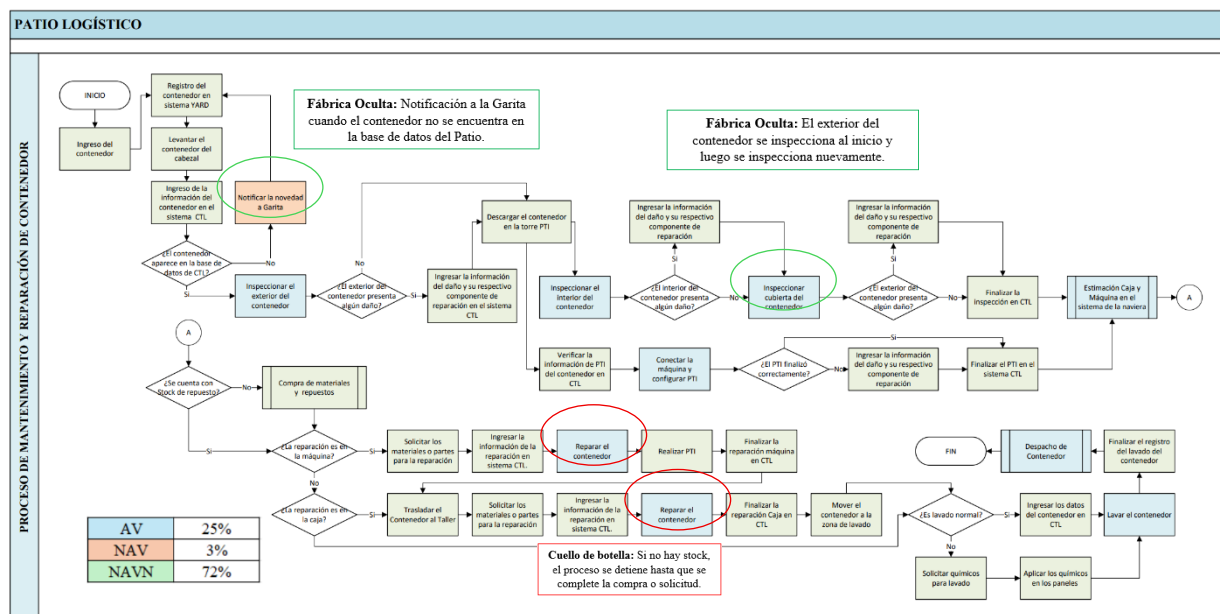


Tabla 3*Análisis de valor del proceso*

Actividades	Porcentaje
Agrega Valor (AV)	25%
No agrega Valor (NAV)	3%
No Agrega Valor, pero es Necesario (NAVN)	72%

2.2.2. Plan de Recolección de Datos

Se elaboró un plan de recolección de datos, el cual especifica las variables clave que fueron medidas para su posterior análisis. Como se muestra en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4*Plan de recolección de datos – I*

No.	Datos a recolectar	Unidad de medida	¿Qué?			¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cómo?	¿Por qué?	¿Quién?	Estado
			Tipo de dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación						
1	Tiempo de procesamiento	Días	Continua	Ene 2025 - Ago 2025	Año de contenedor, tipo de reparación, disponibilidad de repuestos, tipo de lavado, tipo de PTI	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El sistema externo de recolección de datos externos en tiempo real de la empresa (YARD)	Determinar el tiempo total que tarda un contenedor en pasar por el proceso de M&R	Líderes de proyecto	Completo
2	Tiempo de inspección	Días	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Número de operadores disponibles, nivel de experiencia del operador	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El Sistema interno de recolección de datos en tiempo real de la empresa (CTL)	Identificar si la inspección está tomando más tiempo del necesario y afectando el resto del proceso	Líderes de proyecto	Completo
3	Tiempo de PTI	Días	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Año de contenedor, marca de contenedor	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El Sistema interno de recolección de datos en tiempo real de la empresa (CTL)	Determinar si el tiempo de PTI es constante o variable, y cómo afecta la duración total del servicio	Líderes de proyecto	Completo
4	Tiempo de estimación	Días	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Compañía naviera	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El Sistema interno de recolección de datos en tiempo real de la empresa (CTL)	Identificar si la etapa de estimación es un cuello de botella administrativo	Líderes de proyecto	Completo
5	Tiempo de reparación	Días	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Tipo de reparación, necesidad de repuestos	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El Sistema interno de recolección de datos en tiempo real de la empresa (CTL)	Medir el tiempo de reparación para determinar si es el componente más crítico del proceso	Líderes de proyecto	Completo
6	Tiempo de lavado	Días	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Tipo de lavado, Nivel de experiencia del operador	Desde 10 de Junio, 2025	Archivo de Excel	El Sistema interno de recolección de datos en tiempo real de la empresa (CTL)	Medir si el proceso de lavado introduce retrasos que afectan la satisfacción del cliente	Líderes de proyecto	Completo

Tabla 5*Plan de recolección de datos – 2*

No.	Datos a recolectar	Unidad de medida	¿Qué? Tipo de dato	Tamaño de la muestra	Factores de estratificación	¿Cuándo? Fecha	¿Dónde? Método de recolección	¿Cómo? Método de recolección	¿Por qué? Uso futuro	¿Quién? Persona responsable	Estado
7	Ganancia semanal por contenedores procesados	\$ (USD)	Continua	Abril 2025 - Junio 2025	Tipo de PTI, tipo de lavado, tipo de reparación	Desde 10 de junio, 2025	Archivo de Excel	El sistema externo de recolección de datos externos en tiempo real de la empresa (YARD)	Identificar que tipo de reparación genera mayores ganancias	Líderes de proyecto	Completo
8	Satisfacción del operador	Escala (1-5)	Discreto	7 operadores	Por operador, por rol de trabajo	Desde 10 de junio, 2025	GOOGLE FORMS	Encuesta interna	Evaluar la percepción interna de eficiencia y las posibles causas del bajo rendimiento	Líderes de proyecto	Completo
9	Número de lavadas realizadas	Unidades	Discreto	Números de contenedores operativos desde el 1 de julio	Tipo de lavado	Desde 10 de junio, 2025	Archivo de Excel	Medición manual	Monitorear el número de lavados para identificar si se están realizando más de lo necesario	Líderes de proyecto	Completo
10	Número de contenedores procesados	Unidades	Discreto	Ene 2025 - Ago 2025	Tipo de reparación, tipo de lavado	Desde 10 de junio, 2025	Archivo de Excel	El sistema externo de recolección de datos externos en tiempo real de la empresa (YARD)	Medir cuántos contenedores se están manejando durante el período	Líderes de proyecto	Completo

2.2.3. Análisis de confiabilidad

Se compararon los datos históricos con los datos de muestra levantados en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedor. Como antecedente, se evaluó el sistema de registro de actividades, donde se encontraron registros incompletos y fechas poco confiables.

Cálculo del tamaño de la muestra. El tamaño de muestra requerido para cada proceso se calculó mediante la ecuación 2.5, tomando como referencia los datos de la Tabla 6.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2} \quad (2.5)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z = Nivel de confianza

σ = Desviación estándar de la población

e = Error permitido

N = Tamaño de la población

Tabla 6

Datos para calcular el tamaño de la muestra

Desviación estándar	8,38
Media	9,26
Error	5%
Nivel de confianza	95%
Tamaño poblacional	29

Se determinó que el tamaño de muestra mínima es de 28 observaciones, las cuales fueron recolectadas a través de muestreos diarios con los datos registrados.

Validación estadística de los datos. Se aplicaron diversas técnicas, entre ellas la prueba T para dos muestras. Esta prueba permitió determinar si la media de los datos obtenidos presentaba diferencias estadísticamente significativas respecto a la media de los datos históricos, considerando el siguiente planteamiento de hipótesis:

$$H_0: u_1 - u_2 = 0 \text{ (Medias iguales)}$$

$$H_1: u_1 - u_2 \neq 0 \text{ (Medias diferentes)}$$

Asimismo, se aplicó la prueba de comparación de dos varianzas en aquellos procesos donde no se encontró evidencia para rechazar la hipótesis nula. Esto permitió analizar la variabilidad entre los datos. Las hipótesis correspondientes fueron las siguientes:

$$H_0: \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 1 \text{ (Desviaciones estándar iguales)}$$

$$H_1: \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \neq 1 \text{ (Desviaciones estándar diferentes)}$$

En los procesos de inspección y PTI, la prueba T de dos muestras indicó que no existían diferencias estadísticamente significativas entre la media de la data histórica y la media de la muestra recolectada, obteniéndose valores de p de 0.718 y 0.159.

Por lo tanto, no se rechazó la hipótesis nula. Este resultado fue complementado con un análisis visual mediante el diagrama de caja, tal como se observa en la Figura 5 y en la Figura 6.

Figura 5

Diagrama de caja de los datos de tiempo de inspección en relación con la data recolectada

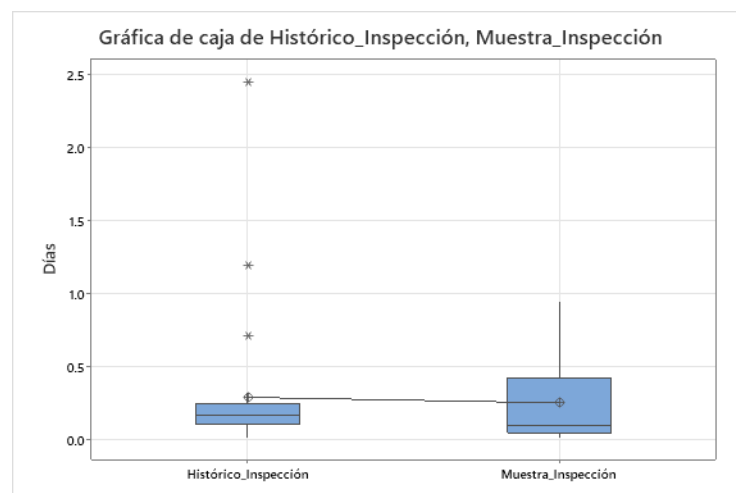
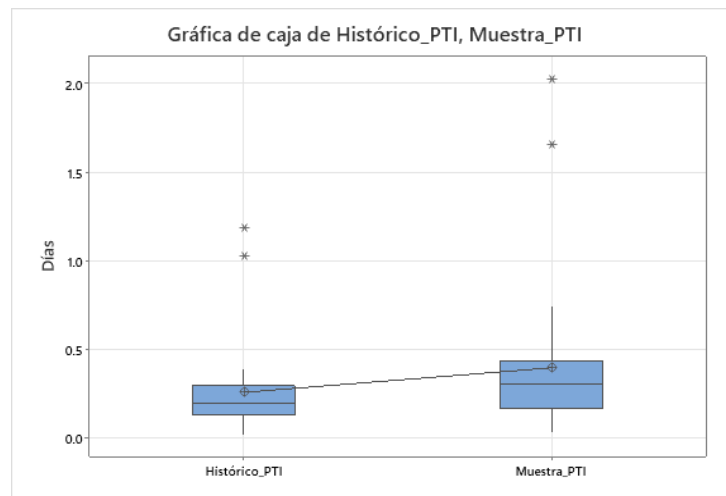


Figura 6

Diagrama de caja de los datos de tiempo de PTI en relación con la data recolectada



Además, se aplicó la prueba de comparación de dos varianzas, cuyos resultados se presentan en la Figura 7 y 8. Para el proceso de inspección se obtuvieron valores p de 0.444 y 0.908, mientras que para el proceso PTI fueron de 0.271 y 0.176. En todos los casos, no se encontró evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Con ello, se cumplió el objetivo de verificar la homogeneidad en la dispersión de los datos entre muestras.

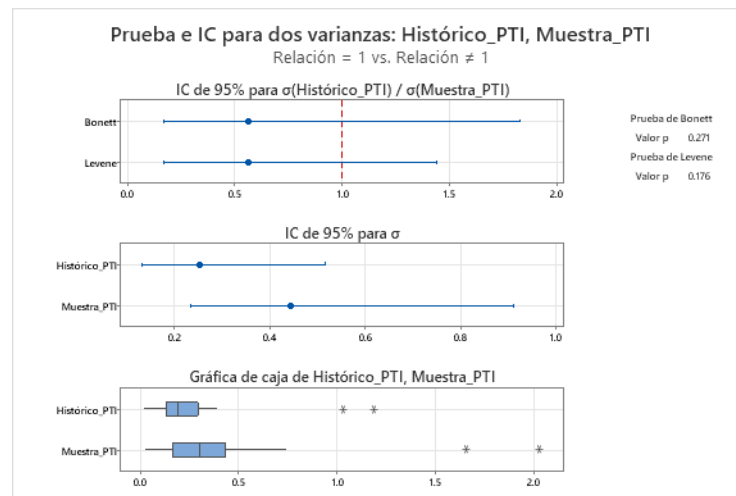
Figura 7

Prueba de comparación de dos varianzas de los datos de tiempo de inspección



Figura 8

Prueba de comparación de dos varianzas de los datos de tiempo de PTI



Los procesos de estimación, reparación y lavado fueron analizados de igual manera mediante una prueba T de dos muestras. Los resultados mostraron valores p de 0.036, 0.034 y 0.030, respectivamente, lo que indicó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la data histórica y la muestra recolectada. Esto permitió rechazar la hipótesis nula. Asimismo, se presenta el diagrama de caja correspondiente a cada proceso en la Figura 9, 10 y 11, facilitando una interpretación visual de los resultados.

Figura 9

Diagrama de caja de los datos de tiempo de estimación en relación con la data recolectada

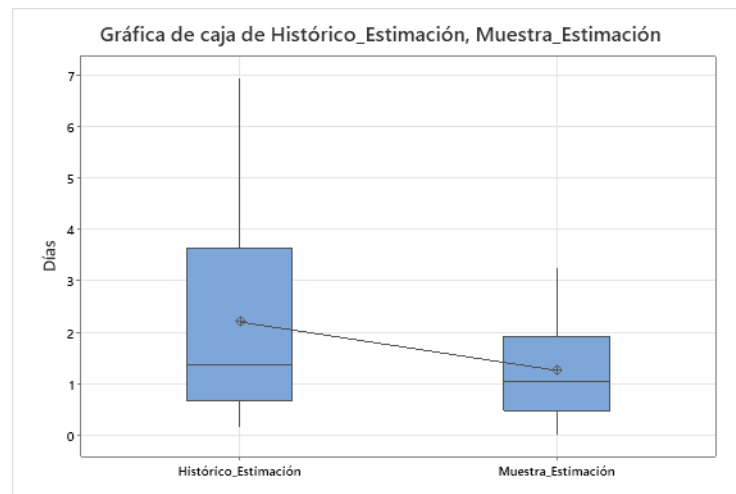
**Figura 10**

Diagrama de caja de los datos de tiempo de reparación en relación con la data recolectada

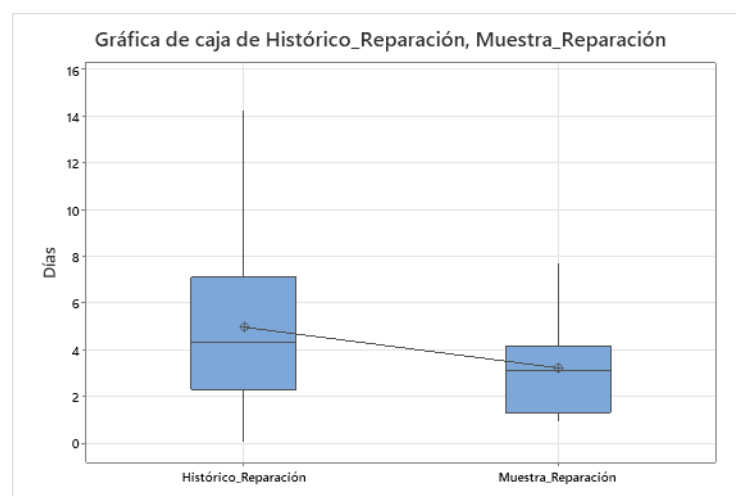
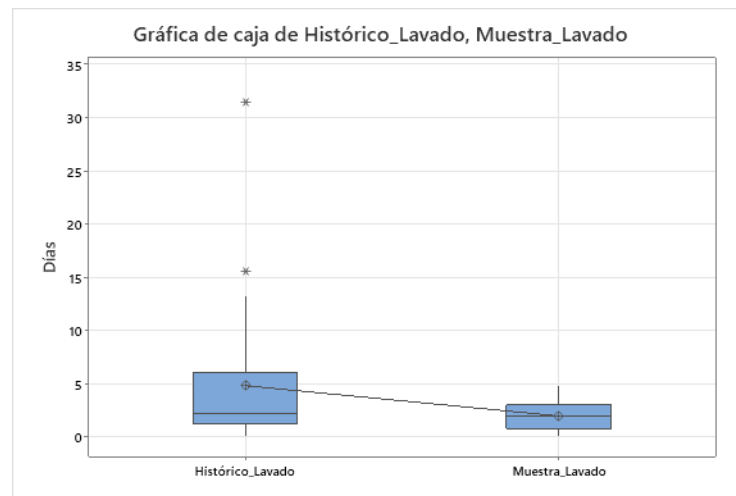


Figura 11

Diagrama de caja de los datos de tiempo de lavado en relación con la data recolectada



Adicional a ello, se aplicó la prueba de normalidad a la muestra recolectada. Con un valor $p \geq 0,05$, se determinó que las muestras correspondientes a los procesos de estimación, reparación y lavado, dentro del proceso M&R de contenedores, seguían una distribución normal. Este comportamiento se evidencia en la Figura 12.

Figura 12

Gráficas de normalidad para los procesos de estimación, reparación y lavado



2.2.4. Análisis de capacidad de la variable de respuesta

En la Tabla 7 se observa el periodo muestral de 17 semanas, abarcando desde enero hasta abril. Durante este periodo se registró el tiempo de ciclo promedio semanal de los

contenedores operativos, correspondiente a la variable de respuesta, así como la cantidad de contenedores operativos en cada semana.

Tabla 7

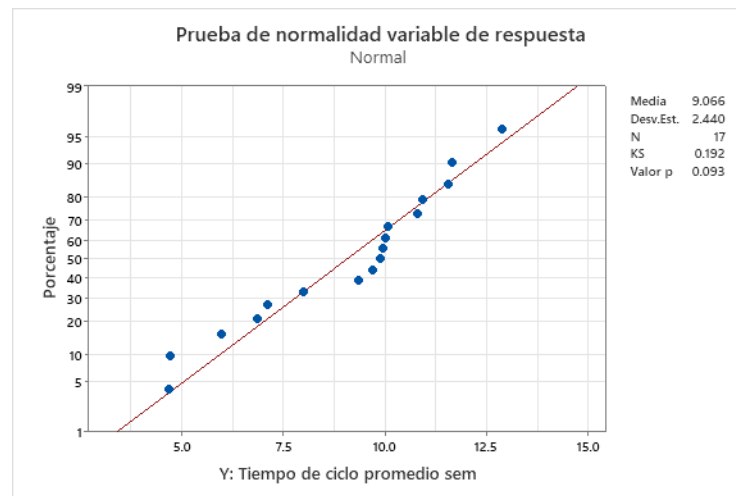
Datos de contenedores operativos

	Semana N°	Periodo	Y	Contenedores operativos
Enero	1	2/1/2025 - 8/1/2025	4,72	76
	2	9/1/2025 - 15/1/2025	5,98	41
	3	16/1/2025 - 22/1/2025	10,80	96
	4	23/1/2025 - 29/1/2025	9,34	125
	5	30/1/2025 - 5/2/2025	9,94	112
	6	6/2/2025 - 12/2/2025	11,57	103
	7	13/2/2025 - 19/2/2025	8,00	20
	8	20/2/2025 - 26/2/2025	12,88	103
	9	27/2/2025 - 5/3/2025	10,00	95
	10	6/3/2025 - 12/3/2025	6,86	117
	11	13/3/2025 - 19/3/2025	9,88	113
	12	20/3/2025 - 26/3/2025	9,71	134
	13	27/3/2025 - 2/4/2025	10,92	109
	14	3/4/2025 - 9/4/2025	11,66	117
	15	10/4/2025 - 16/4/2025	10,07	105
	16	17/4/2025 - 23/4/2025	4,68	113
Abril	17	24/4/2025 - 30/4/2025	7,11	114

En la Figura 13, se observa que los datos seguían una distribución normal, con una media de 9,07 y una desviación estándar de 2,44. Los puntos se alinearon con la recta teórica y el valor p de 0,093 confirmó la normalidad.

Figura 13

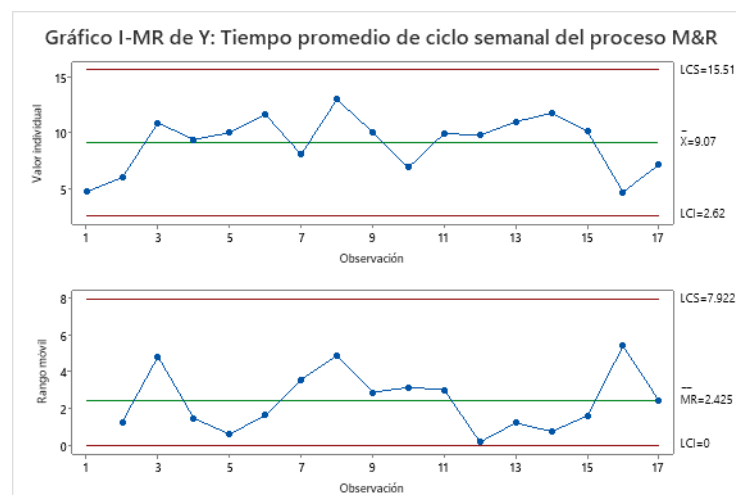
Distribución normal de la variable de respuesta



Asimismo, se elaboró una gráfica de control para datos individuales. Los resultados mostraron que el proceso se encontraba bajo control estadístico, tal como se evidencia en la Figura 14.

Figura 14

Límites de control de las observaciones

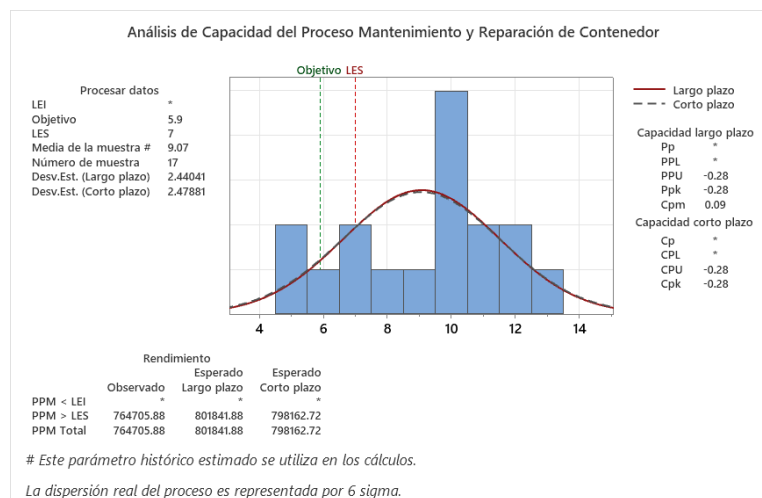


Para el análisis de capacidad del proceso, se consideró el límite de especificación superior de 7 días establecido por la empresa. El resultado obtenido fue un Cpk de -0.28, lo

que reflejó una alta variabilidad y un desempeño muy por encima del límite permitido, tal como se observa en la Figura 15. Es decir, en la situación actual, 80 de cada 100 contenedores, tanto a corto como a largo plazo, presentaron tiempos de ciclo superiores a 7 días.

Figura 15

Análisis de capacidad del proceso de mantenimiento y reparación

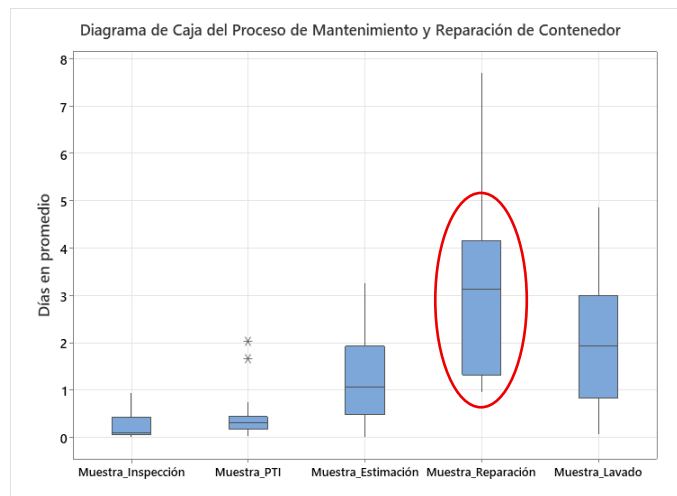


2.2.5. Estratificación y problema enfocado

Se analizó el comportamiento de los tiempos por proceso mediante técnicas de estratificación. Para ello, se elaboró un diagrama de caja que permitió comparar visualmente la variabilidad y dispersión de los tiempos registrados para cada proceso tal como se observa en Figura 16.

Figura 16

Diagrama de caja de los tiempos por proceso

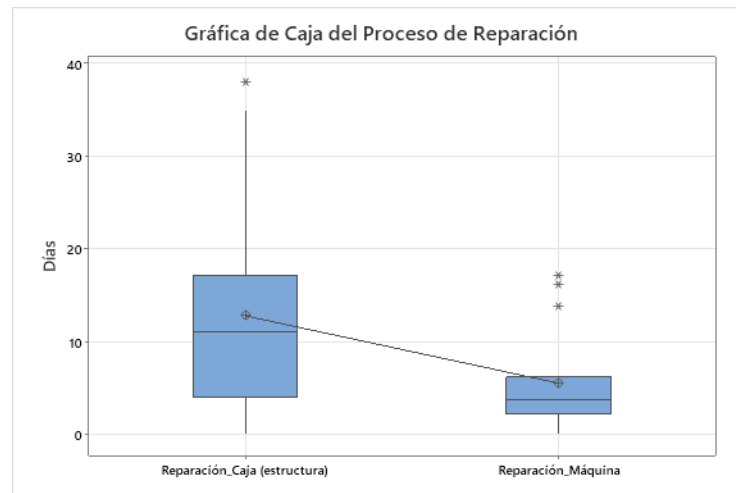


El análisis reveló que el proceso de reparación presentaba una alta variabilidad, reflejada en la amplitud de la caja y la longitud de los bigotes en el diagrama de caja. Debido a su impacto en el tiempo de ciclo y a la dispersión observada en los tiempos registrados, se concluyó que el proceso de reparación debía ser priorizado para su intervención y optimización.

Posteriormente, se diferenciaron los dos escenarios existentes en el proceso de reparación: reparaciones caja (estructura) y reparaciones máquina. Las reparaciones estructurales registraron una mayor dispersión en los tiempos y un promedio superior, lo que permitió identificarlas como el principal cuello de botella dentro del proceso, tal como se evidencia en la Figura 17.

Figura 17

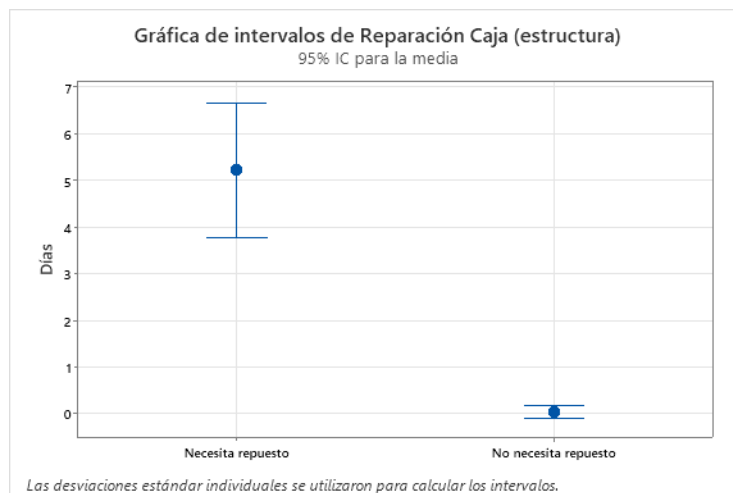
Diagrama de caja entre las reparaciones de estructura y de máquina en el proceso de reparación



Finalmente, se analizó el comportamiento de los tiempos de reparación caja (estructura) en función de si se requiere o no de repuestos. Mediante el gráfico de intervalos, se evidenció que la disponibilidad y gestión de repuestos constituían un factor crítico que impactaba directamente en los retrasos del proceso, como se observa en la Figura 18.

Figura 18

Gráficos de intervalos del requerimiento de repuestos en el proceso de reparación de estructura



Por consiguiente, el problema se enfocó en: *Desde enero de 2025, se ha observado un tiempo de ciclo promedio semanal elevado para los contenedores operativos en un patio logístico. En promedio, se ha registrado un tiempo de reparación de estructura de 5,27 días para los contenedores operativos que requieren repuesto de bodega, en comparación con la media prevista de 2,2 días por semana.*

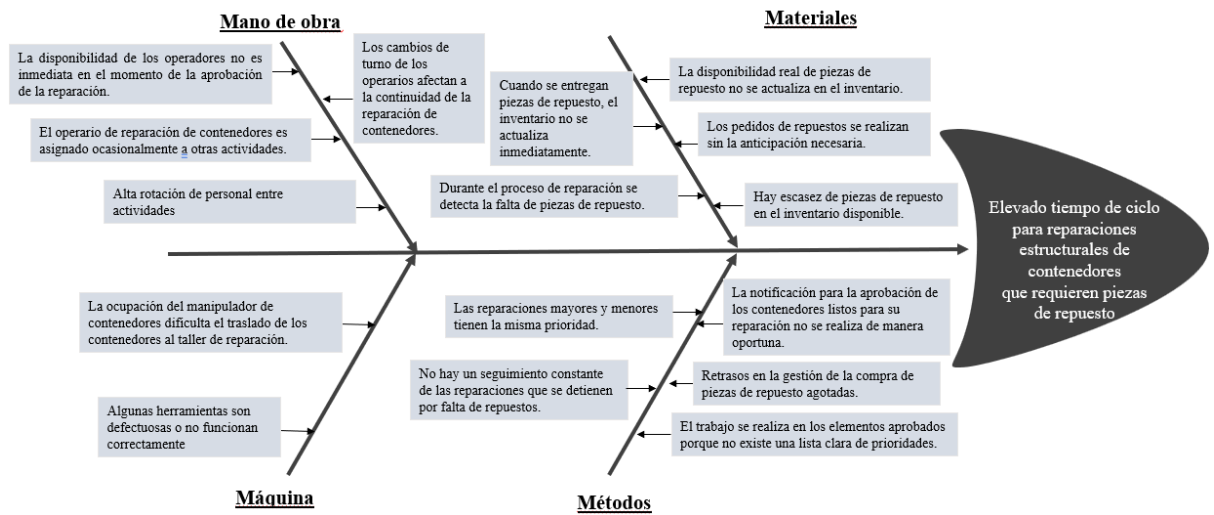
2.3. Análisis

2.3.1. Diagrama de Ishikawa

Para identificar las posibles causas de los tiempos elevados en el proceso de reparación de estructura de los contenedores que requieren repuesto, se elaboró un diagrama de Ishikawa a partir de una lluvia de ideas realizada en conjunto con los actores involucrados, tal como se observa en la Figura 19.

Figura 19

Diagrama de Ishikawa de las causas potenciales



2.3.2. Matriz Causa – Efecto

A partir del análisis del diagrama de Ishikawa, se elaboró una matriz causa-efecto en conjunto con el jefe de patio, coordinador de patio, asistente de bodega y operador con el objetivo de priorizar las causas identificadas según su impacto y frecuencia tal como se muestra en la Tabla 8.

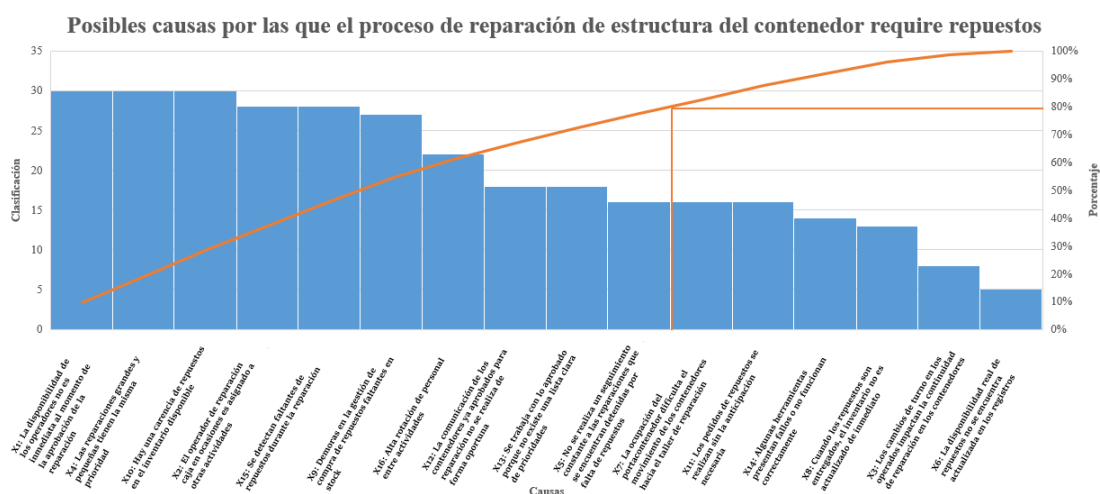
Tabla 8*Matriz Causa y Efecto*

No.	Factor	Jefe de Patio	Coordinador de Patio	Operador reparación caja	Asistente de Bodega	Total
X1	La disponibilidad de los operadores no es inmediata al momento de la aprobación de la reparación	3	9	9	9	30
X2	El operador de reparación caja en ocasiones es asignado a otras actividades	9	9	9	1	28
X3	Los cambios de turno en los operados impactan la continuidad de reparación en los contenedores	3	3	1	1	8
X4	Las reparaciones grandes y pequeñas tienen la misma prioridad	9	9	9	3	30
X5	No se realiza un seguimiento constante a las reparaciones que se encuentran detenidas por falta de repuestos	3	9	1	3	16
X6	La disponibilidad real de repuestos no se encuentra actualizada en los registros	1	3	0	1	5
X7	La ocupación del portacontenedor dificulta el movimiento de los contenedores hacia el taller de reparación	3	3	1	9	16
X8	Cuando los repuestos son entregados, el inventario no es actualizado de inmediato	3	9	0	1	13
X9	Demoras en la gestión de compra de repuestos faltantes en stock	9	9	0	9	27
X10	Hay una carencia de repuestos en el inventario disponible	9	9	3	9	30
X11	Los pedidos de repuestos se realizan sin la anticipación necesaria	3	9	1	3	16
X12	La comunicación de los contenedores ya aprobados para reparación no se realiza de forma oportuna	3	9	3	3	18
X13	Se trabaja con lo aprobado porque no existe una lista clara de prioridades	3	9	3	3	18
X14	Algunas herramientas presentan fallos o no funcionan correctamente	1	9	1	3	14
X15	Se detectan faltantes de repuestos durante la reparación	1	9	9	9	28
X16	Alta rotación de personal entre actividades	3	9	9	1	22

Considerando las 16 causas calificadas, se elaboró un diagrama Pareto que permitió determinar que 10 de ellas representaban el 80% del problema, tal como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Diagrama de Pareto de las posibles causas en el proceso de reparación estructura del contenedor que requiere repuestos



Posteriormente, mediante una matriz de impacto-control, se evaluaron dichas causas y se seleccionaron aquellas con alto impacto y bajo control sobre el problema. Como resultado se priorizaron las causas número 2, 4, 10 y 12.

2.3.3. Verificación de causas

Una vez seleccionadas las causas mediante la matriz de impacto-control, se procedió a verificar su validez con los métodos que se observan en la Tabla 9.

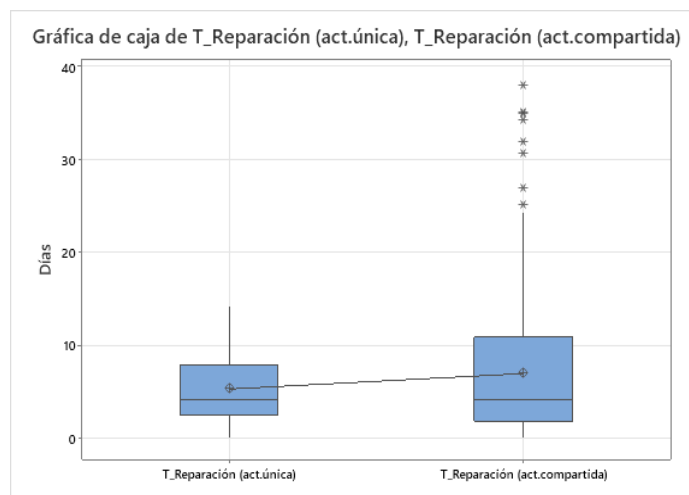
Tabla 9*Plan de verificación de causas*

N°	Causas Potenciales	Teoría del Impacto	Método de verificación	Responsables	Estado
2	El operador de reparación caja en ocasiones es asignado a otras actividades	La asignación de operadores a otras tareas interrumpe la continuidad y el enfoque especializado, generando demoras directas en las reparaciones de contenedores	Verificación in situ y recopilación de datos de CTL para su análisis con estadística descriptiva y la aplicación de la prueba T para dos muestras	Líderes del proyecto	Significativo
4	Las reparaciones grandes y pequeñas tienen la misma prioridad	Tratar todas las reparaciones por igual genera desorganización, impide atender lo crítico a tiempo y dispersa los recursos, aumentando los tiempos de espera	Verificación in situ y recopilación de datos de CTL para su análisis con estadística descriptiva y la aplicación de la prueba T para dos muestras	Líderes del proyecto	Significativo
10	Hay una carencia de repuestos en el inventario disponible	La falta de piezas necesarias paraliza completamente las reparaciones hasta que los repuestos sean adquiridos o localizados, generando tiempos de inactividad significativos	Verificación in situ y recopilación de datos de CTL y Kardex para su análisis con estadística descriptiva y la aplicación de diagrama de caja	Líderes del proyecto	Significativo
12	La comunicación de los contenedores ya aprobados para reparación no se realiza de forma oportuna	La falta de información puntual retrasa el inicio de las actividades de reparación, ya que el personal no puede comenzar a trabajar sin la aprobación o el conocimiento de los contenedores listos	Recopilación de los correos con fechas que indican aprobación por parte de la naviera vs la aprobación de CTL por parte del equipo administrativo para su análisis con estadística descriptiva y la aplicación de diagrama de caja	Líderes del proyecto	Significativo

Verificación de causa 2: El operador de reparación caja en ocasiones es asignado a otras actividades. Las muestras analizadas correspondieron al tiempo de reparación en condiciones normales y al tiempo de reparación cuando el operador fue asignado a otras actividades. Con un valor de p de 0,033, inferior al nivel de significancia de 0,05 se rechazó la hipótesis nula con un 95% de confianza. Esto demostró estadísticamente que la asignación ocasional del operador de reparación de estructura a otras tareas tiene un efecto negativo, generando un aumento en los tiempos de reparación de contenedores, tal como se observa en la Figura 21.

Figura 21

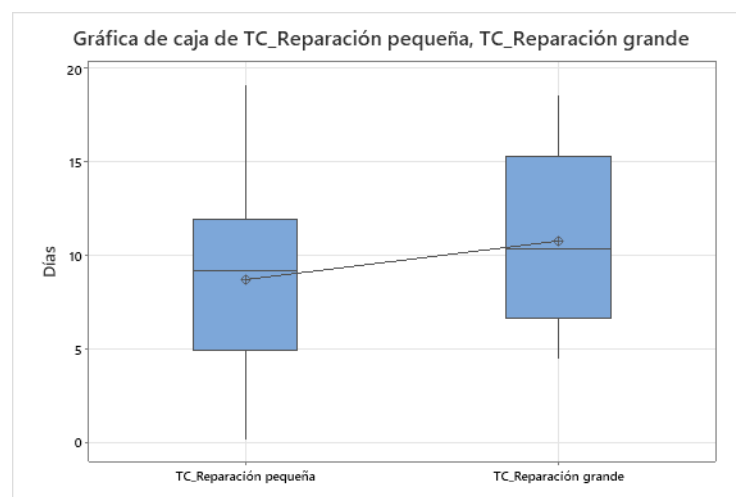
Diagrama de caja de los tiempos de reparación



Verificación de causa 4: Las reparaciones grandes y pequeñas tienen la misma prioridad. Las muestras analizadas correspondieron al tiempo de ciclo de reparaciones grandes y al de reparaciones pequeñas. Se obtuvo un p -value de 0,113, superior al nivel de significancia de 0,05, por lo que no se rechazó la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Este resultado indicó que, no existe una priorización efectiva entre los diferentes tipos de reparaciones, ya que ambas fueron tratadas de manera similar, obteniendo tiempos de ciclo promedio semejantes, tal como se observa en la Figura 22.

Figura 22

Diagramas de caja de las reparaciones grandes y pequeñas

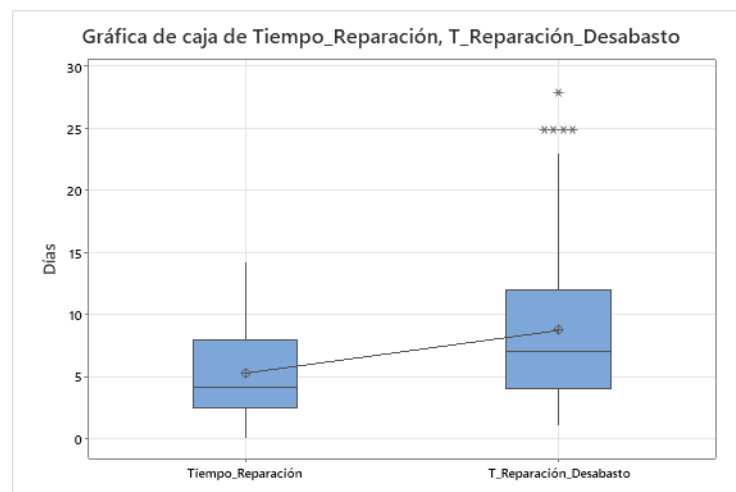


Verificación de causa 10: Hay una carencia de repuestos en el inventario

disponible. Las muestras analizadas correspondieron al tiempo de ciclo promedio bajo condiciones normales y al tiempo de ciclo promedio cuando existieron notificaciones de aprobaciones tardías. Se obtuvo un valor p de 0,00, inferior al nivel de significancia de 0,05, por lo que se rechazó la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Tal como se muestra en la Figura 23, el tiempo promedio de reparación en presencia de aprobaciones tardías fue mayor que el registrado bajo condiciones normales.

Figura 23

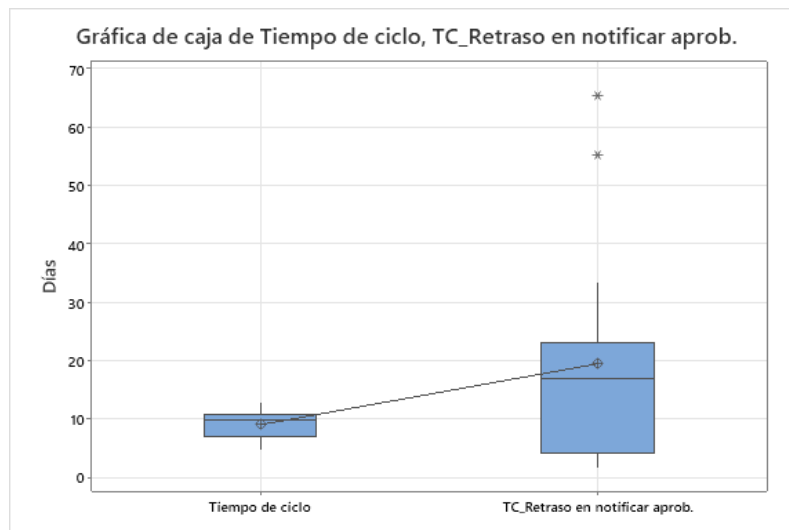
Diagramas de caja de tiempo de reparación en condiciones normales y tiempo de reparación cuando se presenta desabasto



Verificación de causa 12: La comunicación de los contenedores ya aprobados para reparación no se realiza de forma oportuna. Las muestras analizadas correspondieron al tiempo de ciclo promedio bajo condiciones normales y al tiempo de ciclo promedio cuando la aprobación de los contenedores por parte del área administrativa presentó demoras. Se obtuvo un valor p de 0,035, inferior al nivel de significancia de 0,05, por lo que se rechazó la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%. Por lo tanto, se comprobó estadísticamente que la forma y oportunidad en que se comunica la aprobación por parte de la línea naviera tiene un impacto significativo en el tiempo del ciclo de reparación, tal como se observa en la Figura 24.

Figura 24

Diagramas de caja de tiempo de ciclo promedio y del tiempo de ciclo promedio con notificaciones de aprobaciones tardías



2.3.4. Análisis de las causas potenciales

Con el objetivo de profundizar en las causas significativas previamente verificadas y llegar a su causa raíz, se aplicó la herramienta de análisis de los 5 por qué cómo se observa en la Tabla 10 y 11.

Tabla 10

Análisis de los 5 por qué de las causas verificadas 2 y 4

Causas Potenciales	Preguntas				
	¿Por qué el operador es asignado a otras actividades?	¿Por qué se le pide al operador que ayude sin considerar sus tareas principales?	¿Por qué las decisiones de asignación de personal no siguen un criterio claro de priorización?	Root cause	Posibles soluciones
El operador de reparación caja en ocasiones es asignado a otras actividades	Porque surge una necesidad de personal en otras áreas, y se le pide al operador que ayude, sin considerar si tiene reparaciones importantes pendientes.	Porque las decisiones de asignar personal en el día a día no siguen un criterio claro que dé más importancia a la continuidad de las reparaciones del operador sobre otras necesidades que puedan surgir.	Porque no hay una guía o un método establecido que ayude a organizar dónde debe trabajar cada persona, considerando la importancia de sus tareas principales y la necesidad de priorizar ciertas actividades para mantener el flujo de trabajo.		
Las reparaciones grandes y pequeñas tienen la misma prioridad	¿Por qué no existe una priorización efectiva entre ellas? Porque los contenedores que requieren reparación, sin importar si su intervención es compleja o sencilla, son asignados y se empiezan a trabajar sin un orden predefinido que los distinga o les dé prioridad según lo que implican.	¿Por qué los contenedores son asignados y trabajados sin un orden predefinido que los distinga o priorice según lo que implican? Porque la persona encargada de asignar las tareas del día no tiene una guía clara que le indique cómo diferenciar un contenedor que requiere una reparación grande de uno que necesita una pequeña, y cómo usar eso para organizar su secuencia de atención.	¿Por qué no tienen una guía clara o sencilla para diferenciar y organizar los contenedores? Porque no existe organización en el área de reparaciones que contemple la priorización de los contenedores a reparar.	Ausencia de una planificación diaria estructurada basada en criterios de priorización	Implementación de una planificación diaria de tareas basada en criterios de priorización

Tabla 11

Análisis de los 5 por qué de las causas verificadas 10 y 12

Potential Causes	Questions					
	¿Por qué hay carencia de repuestos en el inventario?	¿Por qué el Asistente de Bodega no realiza los pedidos de forma oportuna?	¿Por qué no se entra de manera inmediata de los niveles críticos de stock?	¿Por qué el sistema de control de inventario no genera estas alertas automáticas?	Root cause	Posibles soluciones
Hay una carencia de repuestos en el inventario disponible	Porque el Asistente de Bodega, responsable de la gestión de stock, no realiza las solicitudes de reposición o las órdenes de compra de manera oportuna antes de que los repuestos se agoten.	Porque su visibilidad de inventario depende de las revisiones manuales, y no se entra de manera inmediata cuando los niveles de stock de un repuesto específico alcanzan un punto crítico.	Porque actualmente el sistema de control de inventario no posee la funcionalidad de generar alertas o notificaciones automáticas al asistente de bodega cuando el stock de un repuesto está por caer en desabasto	Porque esta funcionalidad específica de notificación de stock bajo no ha sido implementada, dejando la tarea de monitoreo de niveles en una actividad manual.	Falta de alertas o notificaciones que informen oportunamente al Asistente de Bodega sobre niveles bajos de repuestos	Implementación de alertas automáticas y notificaciones oportunas al Asistente de Bodega
	¿Por qué la comunicación no es oportuna?	¿Por qué el operador de reparación no recibe una notificación inmediata?	¿Por qué el levantamiento de información sobre los contenedores aprobados se lleva a cabo de manera retroactiva?	¿Por qué el encargado realiza una revisión visual antes de consultar en el sistema?	Root cause	Posibles Soluciones
La comunicación de los contenedores ya aprobados para reparación no se realiza de forma oportuna	Porque el operador de reparaciones no recibe una notificación inmediata y directa una vez que un contenedor es aprobado para su intervención.	El levantamiento de información sobre los contenedores aprobados se lleva a cabo de manera retroactiva, se comienza revisando los contenedores físicos que aún no han sido atendidos. Se registran y, posteriormente, se verifica si han sido aprobados o no.	La persona responsable de informar a los operadores sobre los contenedores aprobados realiza primero una revisión visual antes de consultar el sistema. De esta manera, puede identificar directamente los contenedores pendientes que están físicamente presentes.	Porque no existe un procedimiento claro o estandarizado para manejar la información de los contenedores aprobados.	Inexistencia de un procedimiento estandarizado para el manejo de la información relacionada con los contenedores aprobados	Elaboración de un procedimiento estandarizado para manejar la información de los contenedores aprobados

2.4. Mejora

En esta etapa se clasificaron las soluciones que se obtuvieron del análisis de los 5 por qué, se priorizaron las soluciones, se realizaron los cálculos de los costos de implementar las soluciones y también se ejecutaron las implementaciones de las soluciones que se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12

Soluciones potenciales a partir de las causas potenciales

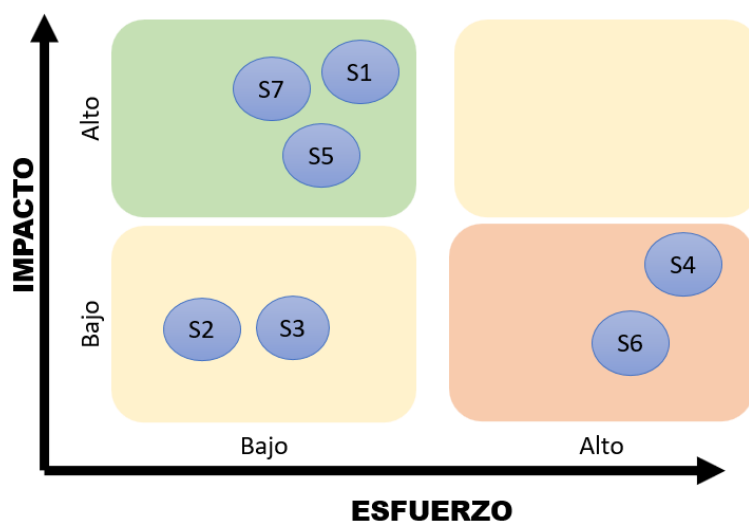
Causa Potencial	Causa Raíz	Nº	Solución Potencial
El operador de reparación caja en ocasiones es asignado a otras actividades Las reparaciones grandes y pequeñas tienen la misma prioridad	Ausencia de un plan diario estructurado basada en criterios de priorización	1	Diseño de un plan de tareas diarias basado en criterios de priorización
		2	Capacitación para el desarrollo de habilidades multifuncionales para el operador de reparación
		3	Elaboración de manuales de procedimientos para la reparación
		4	Elaboración de un bosquejo para identificación y priorización de contenedores críticos
Hay una carencia de repuestos en el inventario disponible	Falta de alertas o notificaciones que informen oportunamente al Asistente de Bodega sobre niveles bajos de repuestos	5	Desarrollo de un aplicativo para el ingreso y salida de inventario e integración del ROP a una lista maestra de artículos con el fin de obtener alertas automáticas en base a un criterio de proximidad
		6	Negociación de acuerdos de consignación o entrega Just-In-Time (JIT) con nuevos proveedores de repuestos
La comunicación de los contenedores ya aprobados para reparación no se realiza de forma oportuna	Proceso manual en la gestión de aprobación de contenedores vía correo electrónico	7	Automatización del proceso de aprobación de los contenedores para reparación

2.4.1. Matriz Impacto – Esfuerzo

Se evaluaron y se clasificaron las soluciones potenciales para enfocar la implementación en las soluciones que representen un menor esfuerzo para aplicarse y un mayor impacto en las causas raíz, se escogieron las soluciones 1, 5 y 7 según el resultado de la matriz que se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Matriz Impacto - Esfuerzo de las soluciones potenciales



2.4.2. Análisis económico

Los costos de implementación calculados para cada solución se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13*Costos de implementación*

No.	Solución	Costos Asociados	Valores		Subtotal	Total
1	Diseño de un plan de tareas diarias basado en criterios de priorización	Análisis, diseño y desarrollo del plan	Asistente de Procesos	Costo de trabajo por hora : \$4/hora	\$ 40	\$ 52
				Tiempo usado para la implementación: 10 horas		
			Jefe de Patio	Costo de trabajo por hora : \$12/hora	\$ 12	
				Tiempo usado para el levantamiento: 1 hora		
2	Desarrollo de una aplicación para el seguimiento de entradas y salidas de inventario e integración del ROP a un listado maestro de artículos para generar alertas automáticas en base a criterios de proximidad	Análisis, diseño y desarrollo del aplicativo y del flujo de automatización para alertas de proximidad	Asistente de Procesos	Costo de trabajo por hora : \$4/hora	\$ 40	\$ 59.5
				Tiempo usado para el levantamiento y desarrollo: 10 horas		
			Asistente de Bodega	Costo de trabajo por hora : \$4/hora	\$ 12	
				Tiempo usado para el levantamiento: 3 horas		
Analista de Proyectos	Costo de trabajo por hora : \$7.5/hora	\$ 7.5				
	Tiempo usado para el levantamiento: 1 hora					
3	Automatización de la revisión de correos que indican aprobación/rechazo de la reparación de contenedores	Horas de desarrollo para la automatización del flujo de trabajo	Asistente de Procesos	Costo de trabajo por hora: \$4/hora	\$ 60	\$ 76
				Tiempo usado para la automatización: 15 horas		
			Supervisor de Patio	Costo de trabajo por hora : \$8/hora	\$ 16	
				Tiempo usado para el levantamiento: 2 horas		

2.4.3. Plan de implementación

Se elaboró el plan de implementación para las soluciones que se obtuvieron de la matriz impacto esfuerzo, tal como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14*Plan de implementación de soluciones*

No.	Causa Raíz	Solución – ¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuánto?	¿Cuándo?	Estado
1	Ausencia de un plan diario de tareas basado en criterios de priorización	Diseño de un plan de tareas diarias basado en criterios de priorización	Optimizar la asignación de recursos y reducir los tiempos muertos en el patio logístico	1. Levantar los criterios técnicos de priorización. 2. Validar con el equipo administrativo. 3. Crear un formato de plan de tareas diarias. 4. Capacitar al personal. 5. Hacer seguimiento semanal.	Oficina del patio logístico	Líderes del Proyecto y Jefe de Patio	\$ 52	07/08/2025	Finalizado
5	Falta de alertas o notificaciones que informen oportunas al Asistente de Bodega sobre niveles bajos de repuestos	Desarrollo de una aplicación para el seguimiento de entradas y salidas de inventario e integración del ROP a un listado maestro de artículos para generar alertas automáticas en base a criterios de proximidad	Garantizar la disponibilidad de repuestos y evitar retrasos en las reparaciones por desabastecimiento	1. Mapear el flujo de la solución. 2. Identificar los códigos de la lista maestra de artículos. 3. Concatenar el archivo maestro de artículos con el archivo de artículos que tienen ROP. 4. Calcular el porcentaje de la media de consumo en relación al ROP. 5. Calcular la cantidad mínima y máxima de consumo. 6. Configurar alertas automáticas. 7. Probar funcionamiento. 8. Ajustar parámetros según comportamiento.	Bodega principal	Líderes del Proyecto y Asistente de Bodega	\$ 59.5	05/08/2025	Finalizado
7	Proceso manual para la gestión de aprobaciones de contenedores vía correo electrónico	Automatización de la revisión de correos que indican aprobación/rechazo de la reparación de contenedores	Evitar omisiones y retrasos derivados de la gestión manual de correos	1. Mapear el flujo automatizado. 2. Identificar información importante para la aprobación. 3. Configurar extracción automática desde correos. 4. Realizar flujos según la información del correo. 5. Pruebas piloto. 6. Ajustar y lanzar oficialmente.	Oficina del patio logístico	Líderes del Proyecto y Supervisor de Patio	\$ 76	05/08/2025	Finalizado

2.4.4. Implementación

Solución 1: Diseño de un plan de tareas diarias basadas en criterios de priorización. En conjunto con el jefe de patio, se establecieron los criterios para priorizar la atención de contenedores, tanto aquellos que requerían reparaciones como los que únicamente necesitaban lavado. Estos criterios se detallan en la Figura 26.

Figura 26

Criterios de priorización

			Días	Calificación
1	Tiempo en días en qué el contenedor ha estado en patio	Tiempo de estadío	[1,2]	3
			[3,4]	5
			[5]	10
			5 días o más	
2	Contenedor de Seatrade mayor prioridad, la misma semana que arriba es la misma de despacho	Naviera	Hapag Lloyd	0
			One	0
			Seatrade	1
3	Menor monto de reparación = Menor tiempo de reparación	Monto total \$	[1,150)	1
			[150]	
			Monto de \$150 o más	0
4	Tiempo en días en qué el contenedor ha empezado la reparación	Tiempo que ha estado en reparación	Mayor a 1 día	8
Total				20

Con estos criterios se elaboró un script de Python que automatiza la creación del plan de tareas diarias. Al ejecutarse, este script genera un archivo de Excel con tres hojas: el plan general, el plan de reparación y el plan de lavado.

Para facilitar la ejecución, se creó una carpeta donde, cada día, se debe cargar el reporte de contenedores con el nombre "reporte_contenedores". Luego, dar clic en el archivo ".bat" llamado "ejecutar_plan", que automatiza la ejecución del script. Como resultado, un nuevo archivo de Excel se

genera automáticamente con el nombre "plan_de_trabajo_completo", el cual se puede ver en la Figura 27.

Figura 27

Plan de tareas diarias

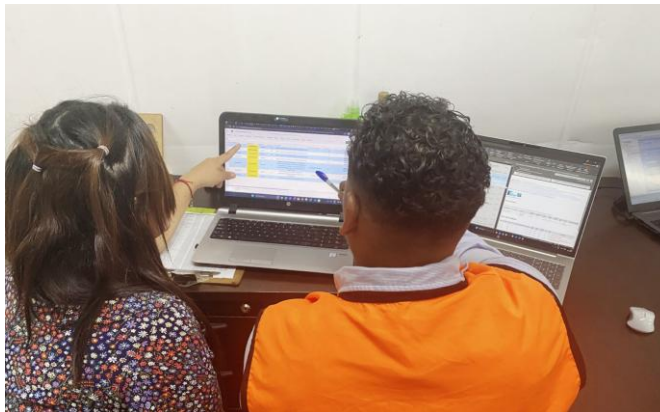
	A	B	C	D	E	F	AQ	AR	AS	AT	AZ
	Id	Contenedor	Tipo de PTI	Resultado PTI	cliente	Modelo	días_en_patio	días_a_partir_aprobación	días_ingreso_hasta_aprobación	días_en_reparación	Puntuación
1											
2	8417		PTI SHORT	DAÑADO	HAPAG-LLOYD	Star Cool	90	57	32	0	11
3	8743		PTI CA	DAÑADO	HAPAG-LLOYD	Star Cool	62	56	5	0	10
4	9253		PTI LONG	OK	ONE	Carrier	35	34	1	33	19
5	8841		PTI LONG	DAÑADO	ONE	Daikin	54	32	22	0	10
6	9345		PTI SMART	DAÑADO	HAPAG-LLOYD	Star Cool	33	31	1	0	11
7	9449		PTI LONG	OK	ONE	Carrier	29	26	2	12	19
8	9520		PTI LONG	OK	SEATRADE	Carrier	27	26	0	0	12
9	8867		PTI SHORT	DAÑADO	ONE	Carrier	51	26	24	0	10
10	9331		PTI SHORT	OK	HAPAG-LLOYD	Carrier	33	23	10	6	19
11	9499		PTI SHORT	OK	HAPAG-LLOYD	Carrier	27	23	4	10	19
12	9056		PTI LONG	DAÑADO	ONE	Star Cool	46	23	23	0	11
13	8956		PTI SHORT	DAÑADO	ONE	Daikin	48	23	25	0	10
14	9339		PTI CA	DAÑADO	HAPAG-LLOYD	Star Cool	33	23	9	0	10
15	9247		PTI LONG	DAÑADO	ONE	Star Cool	35	22	12	18	18
16	9009		PTI LONG	DAÑADO	ONE	Carrier	47	22	24	0	10
17	9232		PTI LONG	DAÑADO	ONE	Daikin	36	19	16	0	10
18	9642		PTI SHORT	DAÑADO	HAPAG-LLOYD	Star Cool	19	15	3	15	18
19	9699		PTI LONG	OK	ONE	Daikin	14	13	0	0	11
20	9673	KKFU6770413	PTI LONG	DAÑADO	ONE	Carrier	15	13	1	0	11

Al realizar las pruebas piloto junto con el jefe de patio se evidenció que varios contenedores estaban registrados como “En reparación”, cuando realmente ya se encontraban operativos.

Esta solución permitió reducir el tiempo de ciclo promedio, ya que se pudo ejecutar un plan de acción inmediato para los contenedores que tenían un tiempo de permanencia alto en patio. También se realizaron capacitaciones con el jefe de patio para el manejo correcto del plan de tareas diaria, como se observa en la Figura 28.

Figura 28

Capacitación con el jefe de patio



Solución 5: Desarrollo de una aplicación para el seguimiento de entradas y salidas de inventario e integración del ROP a un listado maestro de artículos para generar alertas automáticas en base a criterios de proximidad. Para esta solución se utilizó Power Automate y Power Apps para el desarrollo e implementación de una aplicación para el registro en tiempo real de las entradas y salidas de inventario, como se observa en la Figura 32, integrada con un listado maestro de artículos y con el ROP. Este archivo de Excel contiene tres hojas: Maestro de artículos, Movimiento de inventario, y Artículos no registrados que se pueden observar en la Figura 29, 30 y 31 respectivamente.

Figura 29

Maestro de artículos

	A	B	C	D	E
1	Número de artículo	Descripción del artículo	En stock	Grupo de artículos	Unidad de medida de compras
2	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	268	[M&R] QUIMICOS LAV	Litro
3	MRLAV00002	Sanizante Chemical	225	[M&R] QUIMICOS LAV	Litro
4	MRLAV00003	Desinfectante (acido) Chemical	159	[M&R] QUIMICOS LAV	Litro
5	MRLAV00004	Desincrustante spartan	0	[M&R] QUIMICOS LAV	Litro
6	MRLAV00005	Desengrasante spartan	20	[M&R] QUIMICOS LAV	Litro
7	MRMAQ00001	Cintas Aislantes	57	[M&R] INSUMOS VARIOS	Unidad
8	MRMAQ00002	Electrocleaner	6	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
9	MRMAQ00003	WD 40 11 ONZAS	17	[M&R] INSUMOS VARIOS	Unidad
10	MRMAQ00004	Varilla de plata al 15%	2	[M&R] INSUMOS VARIOS	Unidad
11	MRMAQ00005	AMARRA DE 30 CM	361	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
12	MRMAQ00006	CORTINA UNIDADES CA	36	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
13	MRMAQ00007	Fan Condenser [38-00620-01]	-14	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
14	MRMAQ00008	Contacto 12 Amp Carrier [10-00431-06]	3	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
15	MRMAQ00009	Contacto 30 Amp Carrier [10-00431-07]	2	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
16	MRMAQ00010	Sensor Carrier Thermistor [12-00395-01SV]	7	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
17	MRMAQ00011	INSULADOR 3M [22-50397-00]	10	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
18	MRMAQ00012	Terminal de ojo cable 10*1 4x100	70	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
19	MRMAQ00013	Terminal de ojo cable 10*3 16x100	59,01	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
20	MRMAQ00014	Terminales de uña 3 16x100	88	[M&R] CONSUM - MAQ	Unidad
21	MRMAQ00015	Condenser coil 819526B STARCOOL [819526B]	0	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad
22	MRMAQ00016	SWITCH PRESS (35A) UPS [12-00399-00]	2	[M&R] REPUESTOS MAQUINAS	Unidad

> MAESTRO DE ARTÍCULOS MOVIMIENTO DE INVENTARIO ARTÍCULOS NO REGISTRADOS +

Figura 30

Movimiento de inventario

	A	B	C	D	E
1	Fecha	Artículo	Producto	Cantidad	Acción
2	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	10	ingreso
3	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	20	ingreso
4	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	20	salida
5	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	20	ingreso
6	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	10	salida
7	26/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	10	salida
8	26/07/2025	MRMAQ00001	Cintas Aislantes	10	ingreso
9	28/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	6	salida
10	28/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	6	ingreso
11	29/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	6	salida
12	29/07/2025	MRLAV00001	Limpiador Multiusos Chemical	6	ingreso

> MAESTRO DE ARTÍCULOS MOVIMIENTO DE INVENTARIO ARTÍCULOS NO REGISTRADOS +

Figura 31*Artículos no registrados*

	A	B	C	D
1	CódigoSAI	Nombre	Observación	
2	MRLVD0002	Sanizante / Chemical		
3	MRLVD0001	Limpiador Multiusos / Chemical		
4	MRBXR0010	REMACHE POP 3/16 X 1"		
5	MRF00040	LAPIZ DE CARPINTERO		
6	MRF00050	TIZA INDUSTRIAL		
7	FCO00089	TRO DE ELEMENTO FUEL-FILTER F5502/TQ COMBUSTIBLE		
8	HRR00130	GUANTES DE SOLDAR		
9	PTMAQ00001	REPUESTOS MAQUINA LOCAL		
10	PTLAV00003	LAVADO QUITA OXIDO LOCAL	Recetas	
11	PTCAJ00001	REPUESTOS DE CAJA LOCAL		
12	PTLAV00012	LAVADO QUITA MANCHAS EXTERIOR	Recetas	
13	PTLAV00016	LAVADO QUITA MANCHAS Y OLOR V1 EXTERIOR	Recetas	
14	PTLAV00005	LAVADO QUITA MANCHAS Y OLOR V1 LOCAL	Recetas	
15	PTLAV00015	LAVADO QUITA MANCHAS Y OXIDO V1 EXTERIOR	Recetas	
16	PTLAV00009	LAVADO QUITA OLOR Y OXIDO LOCAL	Recetas	
17	PTLAV00014	LAVADO QUITA OXIDO EXTERIOR	Recetas	
18	PTCAJ00004	REPUESTOS DE CAJA EXTERIOR		
19	PTMAQ00003	REPUESTOS MAQUINA EXTERIOR		
20	PTLAV00001	LAVADO QUITA MANCHAS LOCAL	Recetas	
21	PTLAV00002	LAVADO QUITA OLOR LOCAL	Recetas	
22	PTLAV00006	LAVADO QUITA MANCHAS Y OXIDO LOCAL	Recetas	

> ≡ MAESTRO DE ARTÍCULOS MOVIMIENTO DE INVENTARIO **ARTÍCULOS NO REGISTRADOS**

Figura 32*Aplicación para el registro de salidas y entrada de artículos*




*** Artículo()**

Seleccione un artículo 

*** Cantidad**

Ingrese la cantidad

En stock

0

Registrar ingreso

Registrar salida

Con esta solución se logró pasar de un control reactivo a un control preventivo del inventario. Esto permitió anticipar compras, reducir riesgos de desabastecimiento y mejorar la eficiencia en la toma de decisiones. Adicional a ello, el tiempo de espera por repuestos se ha reducido gracias a que se envían 3 alertas al correo: cuando el consumo se encuentra por encima del máximo permitido, cuando está dentro del rango permitido, y una que indica que no se detectaron movimientos dentro del rango, esto se puede observar en la Figura 33, 34 y 35

Figura 33

Alerta de consumo por encima del máximo permitido

 Mensaje enviado con importancia Alta.
Si hay problemas con el modo en que se muestra este mensaje, haga clic aquí para verlo en un explorador web.

Estimado,

Esta es la lista de artículos que sobrepasaron el rango de alerta para reabastecimiento.

Su consumo actual se encuentra por encima del máximo establecido, por lo cual, esta situación requiere atención inmediata, ya que podría estar presentando un posible desabastecimiento si no se toman las acciones correctivas a tiempo.

Por favor, revisar el detalle adjunto:

Número de artículo	Descripción del artículo	En stock	Consumo Actual	Mínimo	Máximo	ROP_Wk
MRLAV00002	Sanizante Chemical	225	42	7.76	23.84	61.55
MRMAQ00004	Varilla de plata al 15%	2	10	0.03	3.37	5.00

Departamento de Procesos y Mejora Continua

Figura 34

Alerta de consumo dentro del rango permitido

 Mensaje enviado con importancia Alta.
Si hay problemas con el modo en que se muestra este mensaje, haga clic aquí para verlo en un explorador web.

Estimado,

Esta es la lista de artículos que se encuentran dentro del rango de alerta para reabastecimiento.

Su consumo actual se encuentra por encima del mínimo y por debajo del máximo, por lo que es un momento clave para gestionar su compra y prevenir futuros quiebres de stock.

Por favor, revisar el detalle adjunto:

Número de artículo	Descripción del artículo	En stock	Consumo Actual	Mínimo	Máximo	ROP_Wk
MRLAV00003	Desinfectante (acido) Chemical	159	30	12.05	35.55	133.84

Departamento de Procesos y Mejora Continua

Figura 35

Alerta de No movimiento

Estimado,

Durante el análisis ejecutado, no se detectó ningún artículo cuyo consumo se encuentre **dentro** del rango establecido entre el mínimo y el máximo.

Si considera que debería haber artículos en este rango, le sugerimos revisar los parámetros de consumo o los datos de origen.

Departamento de Procesos y Mejora Continua

Para finalizar la implementación se realizó la capacitación con el asistente de bodega, tal como se observa en la Figura 36.

Figura 36

Capacitación con el asistente de bodega



Solución 7: Automatización de la revisión de correos que indican

aprobación/rechazo de la reparación de contenedores. Para la elaboración de este flujo automatizado se utilizó Power Automate, una vez que se recibe correos provenientes de la naviera, se activa al detectar si estos son de aprobación o rechazo. El sistema extrae la información clave como la fecha de aprobación, el número de contenedor, la naviera, el estado, los detalles de estimación y el monto total de reparación a un archivo Excel, organizando los datos en dos hojas: “Activos” para nuevos correos y “Revisados” para correos ya validados, como se puede observar en la Figura 37 y 38.

Figura 37

Lista de correos activos

	Fecha Aprobación	Contenedor	Naviera	Estado	Detalles	Comentario Naviera	Monto Total	Error	Revisado
107	18/08/2025		ONE LA	RQ	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJCC LIMPIEZA QUIMICA(22.00)	ACORDE FOTOS APLICARIA WW. SOLO SE PARECIA ALGO DE SULFATO EN T-FLOOR...	35		☐
108	18/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI LONG(25.00)+[TJTPC-USPHL02(22.00)		47		☐
109	18/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)+[UJSELLADO 120 CM(4.36)		27,36		☐
110	19/08/2025		ONE LA	RQ	[UJPTI LONG(25.00)+[UJCC LIMPIEZA QUIMICA (MAL OLOR A DETERGENTE)(22.00)	XFVR verificar item 023 ya que ultima carga fue < ORANGES, FRESH OR DRIED aplicaria WW acorde fotos	47		☐
111	19/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[TJTPC-USPHL02(22.00)		35		☐
112	19/08/2025		ONE LA	RQ	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJCC LIMPIEZA QUIMICA(22.00)	XFVR, ACORDE FOTOS CORRESPONDERIA WW,	35		☐
113	19/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI LONG(25.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)+[XJN - Instalar PIPPER *1 UND(1.81)+[XJREMACHE POP *6 UND(2.76)+[UJSELLADO 30 CM(1.87)		36,87		☐

Figura 38

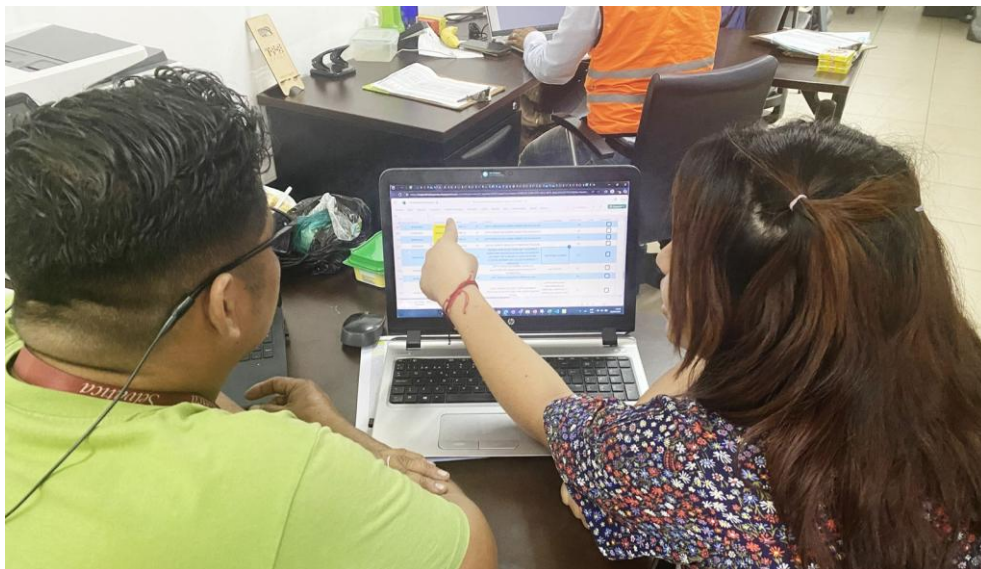
Lista de correos revisados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fecha	Contenedor	Naviera	Estado	Detalles	Comentario Naviera	Monto Total	Error	Revisado
2	12/08/2025		ONE LA	AP	SHORT(13.00)+[TJTPC-USPHL02(22.00)+[TJTPC-USPHL02(3.60)		38,6		SI
3	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW - Lavado con agua(10.00)		23		SI
4	14/08/2025		ONE LA	AP	SHORT(13.00)+[TJTPC-USNYC01(22.00)		35		SI
5	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)		23		SI
6	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)		23		SI
7	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)		23		SI
8	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO CON AGUA(10.00)		23		SI
9	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW - Lavado con agua(10.00)		23		SI
10	14/08/2025		ONE LA	AP	[UJPTI SHORT(13.00)+[UJWW LAVADO		23		SI

Para finalizar la implementación se realizó la capacitación con el supervisor de patio, tal como se observa en la Figura 39.

Figura 39

Capacitación con el supervisor de patio



Capítulo 3

3. Resultados y Análisis

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la implementación de las soluciones propuestas en el proyecto.

3.1. Análisis de resultados

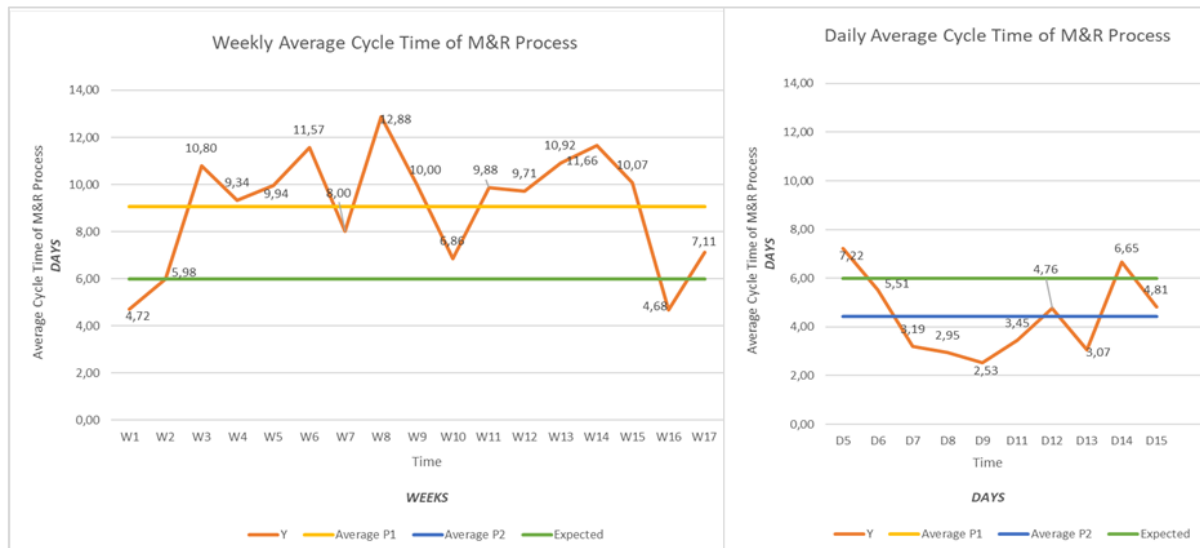
3.1.1. Análisis de series de tiempo

Se observa en la Figura 40 las series de tiempo correspondientes al desempeño del proceso antes y después de la implementación de las soluciones, donde en la etapa inicial el proceso mantenía un tiempo promedio de 9.07 días por contenedor, superando en un 53.7% el valor esperado de 5.9 días en promedio por contenedor.

Posteriormente, tras la implementación de las mejoras, la media del proceso se redujo a 4.42 días en promedio por contenedor, lo cual es inferior al estándar definido. Esto representa una disminución aproximada del 50.5% en el tiempo promedio del proceso respecto al escenario inicial, y también una mejora que supera la expectativa establecida en un 23.9% por debajo del tiempo esperado.

Figura 40

Series de tiempo antes y después de las implementaciones



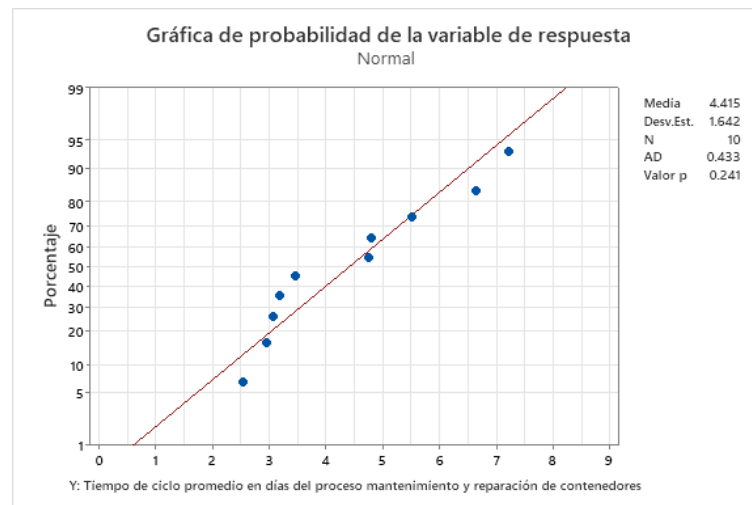
3.1.2. Prueba de normalidad

Para comprobar que los datos posteriores a la implementación de las soluciones se ajustan a una distribución normal, se elaboró el gráfico de probabilidad mostrado en la Figura 41. Se observan que los puntos se alinean adecuadamente con la línea de la distribución, lo cual implica un comportamiento normal de los datos.

Se observa que el proceso presenta una media de 4,42 días en promedio por contenedor y una desviación estándar de 1,64 días, lo que permite caracterizar su comportamiento en esta etapa. Además, el valor p obtenido fue de 0,241, superior al nivel de significancia de 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula de normalidad en la distribución de los datos.

Figura 41

Gráfica de probabilidad de la variable de respuesta

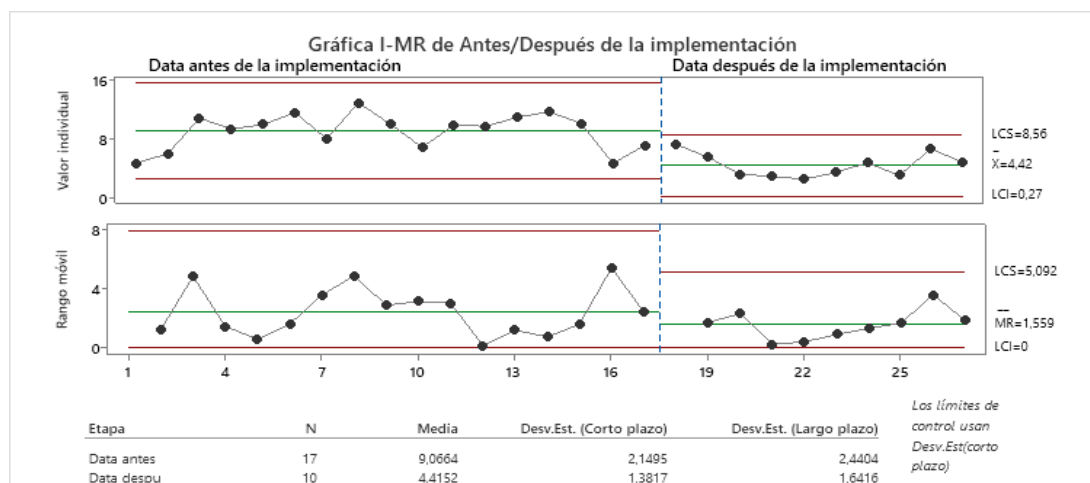


3.1.3. Límites de control

En la situación inicial, los gráficos de control mostraban una alta dispersión evidenciando un proceso inestable lo cual tras la implementación de las mejoras se redujo de manera significativa y todos los puntos permanecieron dentro de los límites de control. Esto confirma que las acciones aplicadas no solo redujeron el tiempo de ciclo promedio, sino que también lograron que el desempeño del proceso sea más confiable como se observa en la Figura 42.

Figura 42

Gráfica de control antes y después de las implementaciones

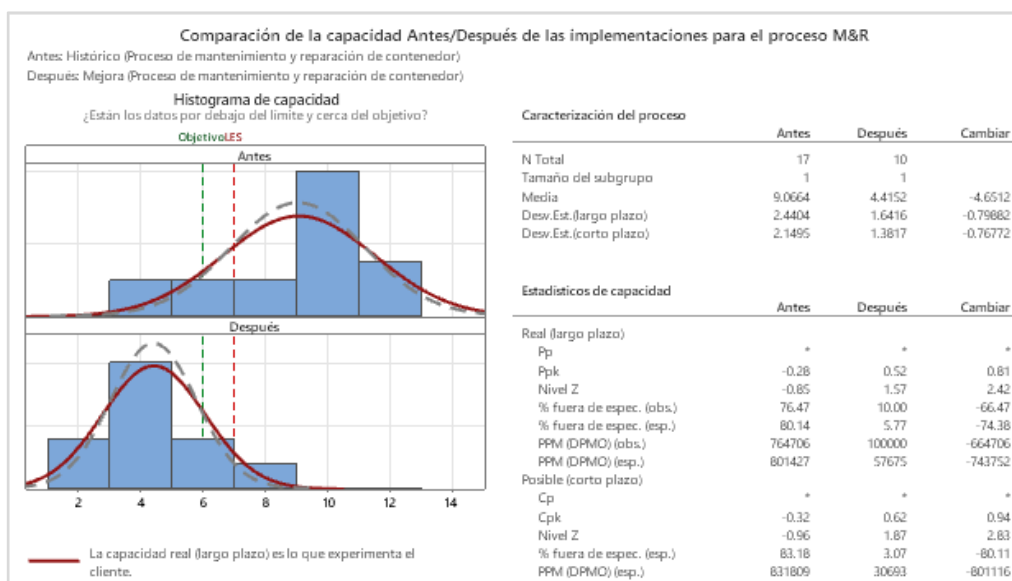


3.1.4. Análisis de capacidad

Tal como se observa en la Figura 43, el índice de capacidad del proceso se calculó para ambos escenarios. Antes de la mejora, el proceso no era capaz de cumplir con los límites de especificación, donde el Cpk fue de -0.32, evidenciando que el proceso estaba desalineado y con alta variabilidad. Después de la mejora, el Cpk se incrementó a 0.62, representando un cambio positivo de 0.94 puntos respecto a la situación inicial.

Figura 43

Análisis de capacidad antes y después de las implementaciones



3.1.5. Comparación del tiempo de ciclo del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores

Para evaluar el efecto de las mejoras se aplicó una prueba t para dos muestras independientes. La Figura 44 resume el planteamiento de hipótesis y el resultado estadístico,

donde se obtuvo un valor p menor a 0.05. Con un 95% de confianza, se rechaza H_0 y se confirma que la media posterior se diferencia de la media inicial.

En la Figura 45 se presenta los diagramas de caja para los periodos antes y después. Se aprecia el desplazamiento de la distribución hacia valores menores y una menor dispersión en la etapa posterior.

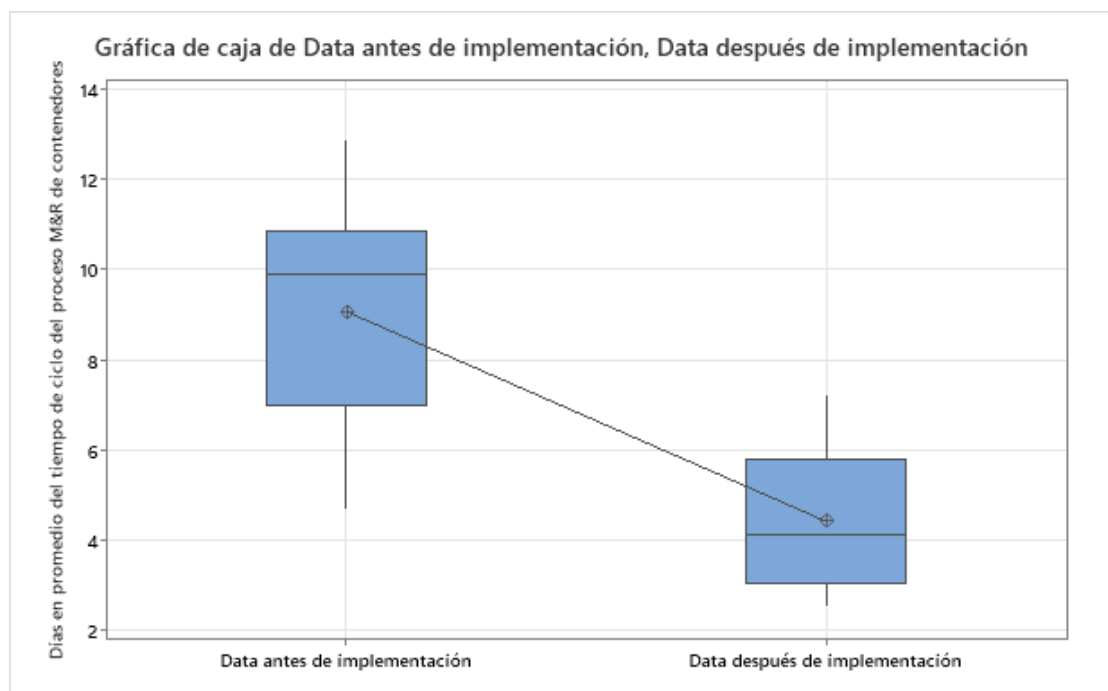
Figura 44

Hipótesis y valor p de la prueba t para 2 muestras

Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$	
Valor T	GL	Valor p
5.91	24	0,000

Figura 45

Tiempo de ciclo antes y después de la implementación de las soluciones



3.2. Evaluación de la Triple Línea Base después de la implementación de las soluciones

3.2.1. *Impacto ambiental*

La implementación del plan de asignación de tareas diarias optimizó el proceso de lavado, establecido para que se ejecute únicamente después de completar la reparación de los contenedores. A causa de esta medida se eliminó la necesidad de un segundo ciclo de lavado, reduciendo significativamente el consumo de agua.

De acuerdo con los registros obtenidos del caudalímetro observado en la Figura 46, entre el 24 de junio y el 4 de agosto (antes de la implementación) y del 5 al 18 de agosto (después de la implementación), se logró un ahorro promedio de 7,5 m³ de agua por semana.

Figura 46

Caudalímetro usado para medir el volumen de agua



3.2.2. *Impacto económico*

La reducción del tiempo de ciclo promedio permitió incrementar el número de contenedores operativos por semana. Este aumento en la productividad se reflejó en un crecimiento de la ganancia semanal, alcanzando un incremento mínimo de \$682.

Durante el período de enero a julio, el promedio semanal de contenedores reparados fue de 94, mientras que, del 5 al 16 de agosto, después de la implementación, el promedio aumentó a 138 contenedores por semana como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15

Ganancia y promedio de contenedores reparados semanal antes y después de la implementación de soluciones

	ANTES	DESPUÉS
	(Enero - Julio)	(5Ago - 16Ago)
PROMEDIO SEMANAL DE CONTENEDORES REPARADOS	94	138
GANANCIA SEMANAL	\$1.457,00	\$2.139,00

3.2.3. Impacto social

Se aplicaron encuestas mediante Google Forms a 7 operadores en los meses de junio como se observa en la Figura 47 y agosto como se observa en la Figura 48. Los resultados muestran un incremento en la satisfacción laboral, alcanzando un 82% en agosto, posterior a la implementación.

Este cambio se debe a que, con el plan de tareas diarias, cada operador conoce desde el inicio de la jornada las actividades asignadas, eliminando la incertidumbre y facilitando la planificación de su trabajo.

Figura 47

Encuesta de satisfacción laboral en el mes de junio

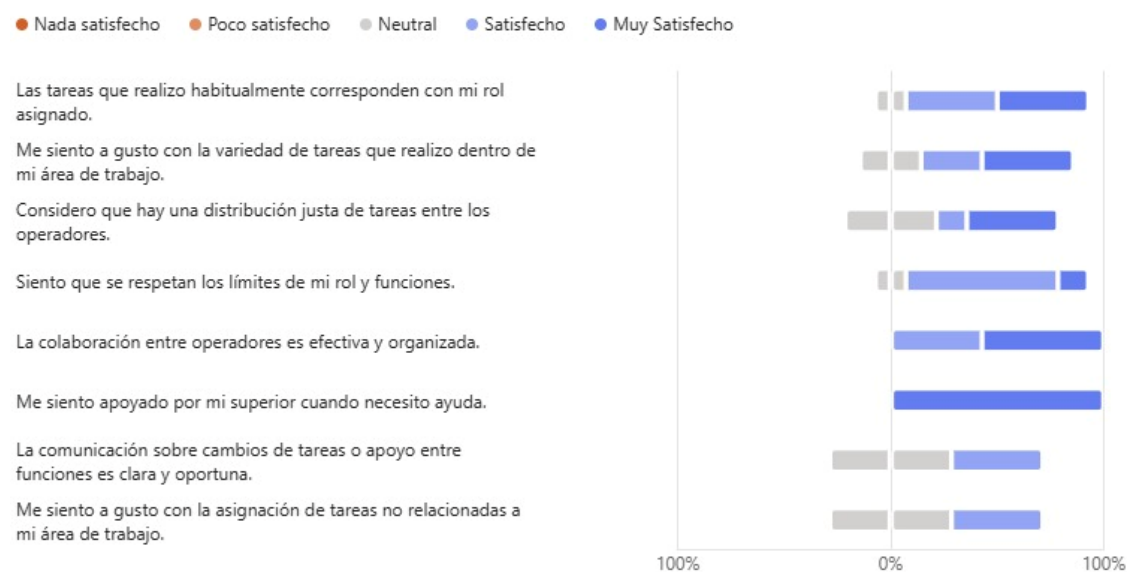
¿Cuál es tu nivel de satisfacción en relación con cada uno de los siguientes enunciados?



Figura 48

Encuesta de satisfacción laboral en el mes de agosto

¿Cuál es tu nivel de satisfacción en relación con cada uno de los siguientes enunciados?



3.3. Control

3.3.1. Plan de Control

Con el fin de garantizar la sostenibilidad de las mejoras alcanzadas en el proceso se diseñaron tres planes de acción en esta etapa. El primero corresponde al uso del plan de tareas diarias con criterios de priorización, el cual busca asegurar que las actividades se ejecuten de manera ordenada y eficiente, optimizando la asignación de recursos y tiempos, el plan realizado para la implementación de esta solución se observa en la Tabla 16.

Tabla 16

Plan de control del uso del plan de tareas diarios con criterios de priorización

Proceso: Uso del plan de tareas diarias con criterios de priorización						
Proyecto: Reducción del tiempo de ciclo promedio en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores				Líderes del Proyecto: Thalia Mena & Claudio Alvia		
Dueño del Proceso: Jefe de Patio				Fecha: Agosto 2025		
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Cuánto?	Documento
Plan diario de tareas para la reparación de contenedores utilizando los archivos y programas establecidos	Comparar el plan de tareas generado con el documento de criterios de priorización (AN-M&R-01) para confirmar que los contenedores asignados cumplen con las reglas establecidas	Jefe de Procesos y Mejora Continua	Garantizar que las actividades críticas se lleven a cabo de manera ordenada, evitando retrasos y repeticiones	Diario	\$ 0.00	Criterios de Priorización AN-M&R-01
	Validar la ejecución diaria del plan revisando la salida del archivo planificador.log y confirmando que el script ejecutar_plan.bat y planificador.py se ejecutaron sin errores					planificador.py planificador.log ejecutar_plan.bat

El segundo plan corresponde al registro inmediato de entradas y salidas del consumo de inventario, el cual se complementa con la integración del punto de reorden para generar alertas automáticas en base a criterios de proximidad, lo que facilita un control preventivo que se detalla en la Tabla 17.

Tabla 17

Plan de control del registro inmediato de entradas/salidas del consumo de inventario e integración del ROP

Proceso: Registro inmediato de entradas/salidas del consumo de inventario e integración del ROP para generar alertas automáticas en base a criterios de proximidad						
Proyecto: Reducción del tiempo de ciclo promedio en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores				Líderes del Proyecto: Thalia Mena & Claudio Alvia		
Dueño del Proceso: Asistente de Bodega				Fecha: Agosto 2025		
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Cuánto?	Documento
Disponibilidad de artículos para reparación	Mediante un correo automático al asistente de bodega (con copia al área de Procesos y Mejora Continua) indicando los productos a reabastecer	Jefe de Procesos y Mejora Continua	Para evitar faltantes de repuestos y asegurar la continuidad de las reparaciones sin interrupciones	Diario	\$ 0.00	articulos.xlsx

Finalmente, se desarrolló el plan para la revisión de la aprobación o rechazo de contenedores, con el fin de estandarizar la evaluación y seguimiento de este proceso crítico, garantizando la trazabilidad y transparencia en la toma de decisiones lo cual se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18

Plan de control de la revisión de aprobación/rechazo de contenedores

Proceso: Revisión de la aprobación/rechazo de contenedores						
Proyecto: Reducción del tiempo de ciclo promedio en el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores			Líderes del Proyecto: Thalia Mena & Claudio Alvia			
Dueño del Proceso: Supervisor de Patio			Fecha: August 2025			
¿Qué?	¿Cómo?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cuándo?	¿Cuánto?	Documento
Trazabilidad de las aprobaciones/rechazos enviados por correo sobre reparaciones de contenedores	Auditoría periódica del flujo automatizado para validar confiabilidad $Precisión = \frac{Correos\ correctamente\ procesados}{Total\ de\ correos\ revisados} * 100$	Jefe de Procesos y Mejora Continua	Para asegurar que la información de aprobación/rechazo se procese sin demoras ni errores por revisión manual	Semanal	\$ 0.00	notificaciones_naviera.xlsx

Capítulo 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

El desarrollo del proyecto en base a la aplicación de las fases planificadas permitió cumplir de manera satisfactoria con los objetivos planteados. De manera que se obtienen las siguientes conclusiones primordiales:

- Se logró reducir el tiempo de ciclo promedio semanal del proceso de mantenimiento y reparación de contenedores de 9,07 días a 4,42 días por contenedor, superando la meta establecida de 5,9 días por contenedor, lo que evidencia una mejora significativa en la eficiencia del proceso.
- Se recopilaron y analizaron datos del proceso en el sistema propio de la empresa que permitió identificar problemas críticos y oportunidades de mejora, garantizando una base sólida para la toma de decisiones durante la implementación del proyecto.
- Mediante la metodología DMAIC, se identificaron tres causas raíz de los retrasos en el proceso, lo cual permitió enfocar las acciones correctivas en estos factores que afectaban el desempeño.
- La implementación de soluciones específicas dirigidas a cada causa raíces permitió mejorar la capacidad del proceso, evidenciada por el incremento del índice Cpk de - 0,32 a 0,62. Además, se obtuvieron beneficios adicionales, tales como un aumento de \$682 en las ganancias semanales, un ahorro de 7,5 m³ de agua por semana y una mejora en la satisfacción del operador, que pasó del 59 % al 82 %.

4.2. Recomendaciones

En base en los resultados obtenidos y con el fin de garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas, se presentan las recomendaciones para el proceso de mantenimiento y reparación de contenedores:

- Mantener un seguimiento constante de los indicadores clave, como el tiempo de ciclo promedio y el cumplimiento del plan de tareas, para detectar desviaciones a tiempo y asegurar que las mejoras se mantengan en el largo plazo.
- Realizar revisiones semanales para garantizar la correcta aplicación de los nuevos métodos y el uso adecuado de las herramientas implementadas.
- Los registros generados por los planes de control y las soluciones implementadas deben analizarse regularmente para identificar nuevas oportunidades de mejora y aumentar la eficiencia del proceso.
- Mantener la comunicación constante con los operadores y supervisores sobre los resultados alcanzados y los objetivos del proceso fomentará la participación y el compromiso con la mejora continua.

Bibliografía

Cargo Flores. (2024). Obtenido de Containers: Tipos, Medidas y Usos:

<https://www.cargoflores.com/containers/>

Contenex. (2024). Obtenido de Consejos para maximizar la vida útil de los contenedores:

<https://contenex.com/consejos-para-maximizar-la-vida-util-de-los-contenedores/>

Gould, S. (2022). *Stephen Gould*. Obtenido de Lean Manufacturing vs. Six Sigma: ¿cuál es el adecuado para usted?: <https://www.stephengould.com/lean-manufacturing-vs-six-sigma-which-is-right-for-you/>

Gutiérrez, H. (2010). *Calidad Total y Productividad*. Colonia Desarrollo Santa Fe:

McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de <https://plataformaistphuando.com/wp-content/uploads/2023/05/Libro-Calidad-Total-y-Productividad-H.-Gutierrez-3ed.pdf>

ICOTAINERS. (2024). Obtenido de Guía de los distintos tipos de contenedores marítimos y sus dimensiones: <https://www.icotainers.com/es/tipos-de-contenedores-y-sus-dimensiones/>

Inbound Logistics. (2023). Obtenido de Contenedorización de contenedores marítimos:

definición, tipos y proceso: <https://www.inboundlogistics.com/articles/containerized-cargo/>

Kensa Logistics. (2025). Obtenido de Contenedores de carga: ¿cuántos tipos hay y cómo usarlos en el transporte?: <https://www.kensalogistics.com/contenedores-de-carga-tipos-y-como-usarlos-transporte>

Laoyan, S. (2025). *Asana*. Obtenido de Six Sigma: todo lo que necesitas saber sobre esta metodología de mejora de procesos: <https://asana.com/es/resources/six-sigma>

Lugo Marín, J. (2025). *INSPENET*. Obtenido de Las 2 características clave del Lean

Manufacturing: <https://inspenet.com/articulo/2-caracteristicas-del-lean-manufacturing/>

Sydle. (2023). Obtenido de Optimización de procesos: ¿Qué es y por qué es tan importante para tu negocio?: <https://www.sydle.com/es/blog/que-es-optimizacion-de-procesos-6126ac39b060f57604039a57>

Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking*. Barcelona: Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa. Obtenido de <https://todoproyectos1.com/wp-content/uploads/2021/03/lean-thinking.pdf>