

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción del Tiempo promedio de Ciclo de Camiones en el proceso de recepción
de contenedores para exportación

INGE-2918

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

Allison Denise Jaramillo Cruz

Ashley Verónica Calderón Yépez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mi mamá, mi papá y mi hermano querido, por su amor incondicional y su fe en mí. A mis gatas, Plomita, Cristi y Cosita, cuya compañía alegró mis días y me dio calma en las noches de estudio. A mis amigos, que me acompañaron en cada etapa de mi vida universitaria y con quienes compartí esfuerzos, aprendizajes y victorias.

Ashley Calderón

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y a mis amigos, por estar siempre en las buenas y en las malas, por su apoyo constante y por recordarme el porqué de este camino. A mis mascotas, por su cariño silencioso que tantas veces fue impulso. A mí misma, por la perseverancia, la disciplina y el sacrificio que hicieron posible esta meta. Y a mis profesores, por su tiempo, exigencia y generosidad al enseñarme tanto; su guía marcó la diferencia en mi formación.

Ashley Calderón

Dedicatoria

A Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, quien me ha concedido las oportunidades necesarias para alcanzar cada meta a lo largo de mi vida.

A mi madre, Karina Alexandra Cruz Barreto, quien con paciencia siempre me escuchó, me aconsejó y apoyó cada uno de mis anhelos, mi consuelo en momentos de dolor, la mujer que forjó mi esencia y me enseñó a no rendirme jamás.

A mi padre, Rommel Robert Jaramillo Villavicencio, con su ejemplo de disciplina, me enseñó el valor del trabajo duro, la perseverancia y la importancia de perseguir los sueños con carácter determinación.

A mis eternos ángeles, quienes ya no caminan conmigo en este mundo, pero siempre vivirán en mi corazón. A Clara Villavicencio, Jorge Jaramillo y a mi hermano Ronnie. Ustedes son mi inspiración y la razón que me impulsa a seguir adelante.

Allison Jaramillo

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, por su apoyo incondicional y por enseñarme con su ejemplo el esfuerzo, el amor y la importancia del trabajo duro.

A mí, por nunca rendirme, por sostener mi disciplina, amor y pasión en cada etapa de este proyecto, demostrando que la perseverancia es el camino para alcanzar mis sueños.

A mi tutora de tesis, María Belén Segovia, por su guía constante, paciencia y por brindarnos sus conocimientos con emoción, convirtiéndose en un pilar para la realización de este trabajo.

A mis queridos profesores de la facultad, siempre dispuestos a escucharnos y enseñarnos con admiración la maravillosa carrera de Ingeniería Industrial.

A los grandes amigos que la universidad me regaló, por su compañerismo y los aprendizajes compartidos que se convierten en recuerdos inolvidables.

Allison Jaramillo

Declaración Expresa

Nosotros Allison Denise Jaramillo Cruz y Ashley Verónica Calderón Yépez 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 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, 29 de mayo del 2025.



Allison Denise Jaramillo

Cruz



Ashley Verónica

Calderón Yépez

Evaluadores

MSc. Sofía Anabel López Iglesias

Profesora de Materia

MSc. María Belén Segovia Navarrete

Tutora de proyecto

Resumen

El objetivo del presente proyecto es reducir el tiempo promedio de ciclo de camiones (TTAT) en un terminal portuario de Guayaquil a 23 minutos, frente a un promedio de 46 minutos en 2024, situación que afectaba la satisfacción del cliente, los costos del equipo portuario y la eficiencia del proceso. Se aplicó la metodología DMAIC, con la que se identificó causas raíz y se diseñó tres soluciones complementarias: mejorar la estrategia de distribución de carga en patio mediante un modelo de programación lineal, eliminar recursos estáticos como el uso de papel sustituyéndolos por guías digitales en tiempo real, y emplear modelos predictivos para gestionar la carga no programada recomendando horarios a los clientes en el sistema de turnos. Las tres soluciones se evaluaron de forma integral bajo dos escenarios, ideal y mejorado, comparándolos con la situación actual. En el escenario ideal se alcanzó un TTAT promedio de 19 minutos por camión y una reducción de la variabilidad del 19 % respecto a la línea base, gracias a la optimización de la ejecución operativa del patio; además, la satisfacción del cliente aumentó un 38 % y los costos horarios del equipo disminuyeron un 30 %. Para asegurar la sostenibilidad de los resultados, se establecieron medidas de control de KPIs y procesos estandarizados que permiten monitorear el desempeño y garantizar el cumplimiento de las soluciones. En conjunto, el proyecto reduce de manera significativa el TTAT, estabiliza la operación del patio y eleva la satisfacción del cliente, generando ahorros sostenidos en costos y tiempo. El terminal opera con decisiones basadas en datos, con un sistema de control y mejora continua que mantiene los resultados y posibilita su escalamiento.

Palabras Clave: Metodología DMAIC, Modelos de programación lineal, Tiempo de ciclo promedio, Modelos predictivos.

Abstract

The objective of this project is to reduce the average truck turnaround time (TTAT) in a port terminal in Guayaquil to 23 minutes, compared to an average of 46 minutes in 2024, a situation that affected customer satisfaction, port equipment costs, and process efficiency. The DMAIC methodology was applied, through which root causes were identified and three complementary solutions were designed: improving the yard cargo distribution strategy through a linear programming model, eliminating static resources such as the use of paper by replacing them with real-time digital guides, and employing predictive models to manage unscheduled cargo by recommending schedules to customers in the appointment system. The three solutions were comprehensively evaluated under two scenarios, ideal and improved, comparing them with the current situation. In the ideal scenario, an average TTAT of 19 minutes per truck was achieved and variability was reduced by 19% compared to the baseline, thanks to the optimization of yard operational execution; in addition, customer satisfaction increased by 38% and equipment hourly costs decreased by 30%. To ensure the sustainability of the results, KPI control measures and standardized processes were established to allow performance monitoring and guarantee the fulfillment of the solutions. Overall, the project significantly reduces TTAT, stabilizes yard operations, and increases customer satisfaction, generating sustained savings in costs and time. The terminal operates with data-driven decision-making, supported by a control and continuous improvement system that maintains the results and enables their scaling.

Keywords: DMAIC methodology, Linear programming models, Average cycle time, Predictive models.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	X
Capítulo 1	1
1.1. Introducción	2
1.2. Descripción del Problema	3
1.3. Justificación del Problema	3
1.3.1 <i>Justificación Económica</i>	4
1.3.2 <i>Justificación Social</i>	4
1.3.3 <i>Justificación Ambiental</i>	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Marco teórico	6
1.5.1 <i>Metodología DMAIC</i>	6
1.5.2 <i>VOC</i>	7
1.5.3 <i>CTQ</i>	7
1.5.4 <i>SIPOC</i>	7
1.5.5 <i>Análisis de Capacidad y Cartas de control</i>	8
1.5.6 <i>Diagrama ISHIKAWA</i>	8
1.5.7 <i>Random Forest Regressor</i>	9
2. Metodología	11

2.1. Definición	11
2.1.1. Diagramación del proceso (SIPOC)	11
2.1.2. Necesidades del cliente	13
2.1.3. Árbol Crítico de la Calidad	17
2.1.4. Variable de respuesta (Y)	19
2.1.5. Serie de Tiempo y Declaración del Problema	20
2.1.6. Definición del objetivo	22
2.2. Medición.....	23
2.2.1. Mapeo del proceso.....	23
2.2.2. Plan de recolección de datos	31
2.2.3. Análisis de confiabilidad de datos	32
2.2.4. Prueba de Normalidad	42
2.2.5. Análisis de estabilidad	45
2.2.6. Análisis de Capacidad.....	47
2.2.7. Estratificación	48
2.2.8. Problema enfocado	52
2.3. Análisis.....	53
2.3.1. Lluvia de ideas	53
2.3.2. Diagrama Ishikawa.....	54
2.3.3. Matriz causa-efecto.....	56
2.3.4. Diagrama de Pareto de causas ponderadas	57
2.3.5. Matriz Impacto-Control.....	59
2.3.6. Plan de verificación de causas	60
2.3.7 Verificación de causas	62
2.3.8 Análisis de causa raíz.....	77
2.4 Mejora.....	82
2.4.1 Lluvia de idea de soluciones	82

2.4.1 Matriz de prioridad	83
2.4.2 Matriz Impacto-Esfuerzo	83
2.4.3 Plan de implementación	85
2.4.4 Análisis Económico	87
2.4.4 <i>Simulación de Soluciones</i>	89
2.5 Simulación de soluciones	100
2.5.1 <i>Modelo</i>	101
2.5.2 <i>Modelo M/D/1</i>	104
3. Resultados y análisis	108
3.1 Análisis del Tiempo promedio de ciclo de camiones	108
3.2 Análisis de los indicadores de la Triple Línea Base	117
3.3 Plan de control	118
4.1 Conclusiones y recomendaciones	124
4.1.1 <i>Conclusiones</i>	124
4.1.2 <i>Recomendaciones</i>	125

Abreviaturas

ESPOL – Escuela Superior Politécnica del Litoral

TTAT – Truck TurnAround Time

DMAIC – Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar

VOC – Voice of the Customer

CTQ – Critical to Quality

SIPOC – Supplier, Input, Process, Output, Customer

KPI(s) – Key Performance Indicators

RTG – Rubber Tyred Gantry Crane

RS – Reach Stacker

TBL – Triple Bottom Line

VCC – Variables Críticas de Calidad

CSAT – Customer Satisfaction Score

OCR – Optical Character Recognition

Índice de figuras

Figura 2.1. Mapa de actores y partes interesadas	15
Figura 2.2. Árbol Crítico de la Calidad (CTQs Tree)	17
Figura 2.3. Indicadores sostenibles del Triple Bottom line.....	19
Figura 2.4. Serie temporal de la variable TTAT del proceso de recepción de la exportación del 2024.....	21
Figura 2.5. Serie de tiempo de los escenarios para definición de objetivos.....	22
Figura 2.6. Diagrama de flujo funcional: Área Gate-In Báscula	25
Figura 2.7. Diagrama de flujo funcional: Zona de Escáner	26
Figura 2.8. Diagrama de flujo funcional: Área de Stacking.....	26
Figura 2.9. Diagrama de flujo funcional: Área Gate-Out Báscula.....	27
Figura 2.10. Plan de Recolección de Datos.....	32
Figura 2.11. Hoja propuesta para la recopilación de información sobre el proceso de recepción	35
Figura 2.12. Enfoque de medición - Estudio de Tiempo Cronométrico para la variable TTAT ..	36
Figura 2.13. Diagrama de cajas entre el TTAT (minutos) del sistema y del estudio cronométrico	37
Figura 2.14. Diagrama de cajas entre el TTAT (minutos) del estudio cronométrico por día	37
Figura 2.15. Diagrama de dispersión entre el TTAT del estudio cronométrico y del sistema.....	38
Figura 2.16. Resultados de la regresión lineal del TTAT (minutos) del sistema.....	39
Figura 2.17. Gráfica de Probabilidad de la variable Y: Tiempo de ciclo de camiones para el proceso de recepción de unidades para exportación.....	43
Figura 2.18. Análisis de la Distribución de la variable Y: Tiempo de ciclo de camiones para el proceso de recepción de unidades para exportación	44
Figura 2.19. Carta de Control de Media – Rango Móvil para la variable Y transformada.....	46
Figura 2.20. Carta Bajo Control de Media – Rango Móvil para la variable Y transformada	46
Figura 2.21. Análisis de Capacidad de la variable Y transformada	48
Figura 2.22. Diagrama de cajas del TTAT (promedio) por turno	49
Figura 2.23. Diagrama de pastel del porcentaje de contenedores por turno	49
Figura 2.24. Diagrama de cajas del TTAT promedio por tipo de contenedor	50
Figura 2.25. Diagrama de pastel del porcentaje de contenedores por tipo de contenedor	50
Figura 2.26. Diagrama de cajas del TTAT en minutos por tipo de carga	51
Figura 2.27. Diagrama de barras del volumen de contenedores por tipo de carga	52

Figura 2.28. Diagrama de Pareto del tiempo total por actividad del proceso de retorno	53
Figura 2.29. Lluvia de ideas con actores internos y externos	54
Figura 2.30. Diagrama de Ishikawa del tiempo de identificación de locación	55
Figura 2.31. Diagrama de Ishikawa del tiempo de espera y servicio del proceso de recepción de exportación	55
Figura 2.32. Diagrama de Ishikawa del tiempo de desplazamiento de Gate-Out	56
Figura 2.33. Matriz causa-efecto por cada causa potencial.....	57
Figura 2.34. Pareto de causas potenciales con mayor peso.....	58
Figura 2.35. Matriz impacto-control con las causas resultantes del Pareto	60
Figura 2.36. Resultados de la prueba de Mann-Whitney U de la priorización de otras actividades	64
Figura 2.37. Diagrama de cajas para la verificación de la priorización de otras actividades	65
Figura 2.38. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la acumulación de proyecciones en un solo bloque	67
Figura 2.39. Diagrama de cajas para la acumulación de proyecciones en un solo bloque.....	68
Figura 2.40. Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para el cambio de proyección	70
Figura 2.41. Diagrama de cajas para los cambios de proyección	71
Figura 2.42. Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para cambios de turno.....	72
Figura 2.43. Diagrama de cajas del TTAT (minutos) por cambio de turno	73
Figura 2.44. Resultados de la Regresión Lineal para baja disponibilidad de máquinas	75
Figura 2.45. Resultados de la correlación de Spearman para baja disponibilidad de máquinas ...	76
Figura 2.46. Diagrama de dispersión de la baja disponibilidad de máquinas	76
Figura 2.47. Soluciones Propuestas para las causas raíz.....	82
Figura 2.48. Matriz de prioridad de soluciones propuestas.....	83
Figura 2.49. Matriz Impacto-Esfuerzo	85
Figura 2.50. Papel entregado en Gate-In.....	94
Figura 2.51. Utilización del dispositivo	95
Figura 2.52. Contenedores Requeridos	96
Figura 2.53. Sistema de turnos propuesto	100
Figura 2.54. Tiempos tomados solución 2	106
Figura 3.1. Diagrama de cajas comparación escenarios.....	109
Figura 3.2. Resultados de TTAT por día.....	110
Figura 3.3. Diagrama de pastel de porcentaje de camiones por hora.....	111
Figura 3.4. Resultados de la prueba Mann-Whitney	113

Figura 3.5. Diagrama de cajas Escenario Ideal vs Actual	113
Figura 3.6. Diagrama de cajas de TTAT por escenario solo 2 soluciones	114
Figura 3.7. Diagrama de pastel de porcentaje de camiones por hora- 2 soluciones.....	115
Figura 3.8. Resultados de la prueba Mann-Whitney-2 soluciones.....	116
Figura 3.9. Diagrama de cajas Escenario Ideal vs Actual – 2 soluciones	116
Figura 3.10. Plan de control	119
Figura 3.11. Análisis Comparativo para verificar el cumplimiento del proceso.....	120
Figura 3.12. Tablero para medir el desempeño Operativo del patio	120
Figura 3.13. Registro de mantenimiento de los dispositivos electrónicos	121
Figura 3.14. Lista de verificación para la Auditoría Operativa.....	121
Figura 3.15. Tablero para medir el desempeño de los dispositivos electrónicos	122
Figura 3.16. Tablero para medir el desempeño del sistema de turnos	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. SIPOC del proceso: Recepción de unidades para exportación	12
Tabla 2.2. Diagrama de afinidad de necesidades de los clientes identificados	16
Tabla 2.3. Herramienta 3W2H – Definición del problema central	21
Tabla 2.4. Desglose de cuellos de botella del proceso de recepción de carga para exportación....	28
Tabla 2.5. Desglose de fábricas ocultas del proceso de recepción de carga para exportación.....	28
Tabla 2.6. Evaluación de Fábricas Ocultas y Cuellos de Botella en la Recepción de carga para exportación	29
Tabla 2.7. Resumen de Valor Operacional por Etapa del Proceso de Recepción de Unidades	30
Tabla 2.8. Prueba piloto – Datos preliminares del proceso de recepción	33
Tabla 2.9. Resumen de la verificación de la confiabilidad y validez de los componentes de la variable Y y de las variables del Triple Bottom Line	39
Tabla 2.10. Prueba de Bondad de Ajuste	44
Tabla 2.11. Aplicación de 3W+2H para la declaración del problema enfocado.....	52
Tabla 2.12. Escala de clasificación para la matriz causa-efecto	57
Tabla 2.13. Causas potenciales para la matriz impacto-control	59
Tabla 2.14. Plan de verificación de causas.....	61
Tabla 2.15. Datos utilizados para la verificación de la priorización de otras actividades	63
Tabla 2.16. Datos utilizados para la verificación de la acumulación de proyecciones en un solo bloque.....	66
Tabla 2.17. Datos utilizados para la verificación del cambio de proyección.....	69
Tabla 2.18. 5 Por qué para la priorización de otras actividades.....	78
Tabla 2.19. Por qué para la acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio	80
Tabla 2.20. Plan de implementación de las soluciones	86
Tabla 2.21. Análisis Económico S1	87
Tabla 2.22. Análisis económico S2.....	88
Tabla 2.23. Análisis económico S2	88
Tabla 2.24. Comparación Sin optimización y Con Optimización.....	93
Tabla 2.25. Variables predictivas del modelo	98
Tabla 2.26. Métricas de desempeño del modelo	99
Tabla 2.27. Resultados del modelo predictivo	101
Tabla 2.28. Resultados modelos de colas.....	105

Tabla 3.1. Escenarios considerados.....	108
Tabla 3.2. Resultados indicadores de sostenibilidad-3 soluciones.....	117
Tabla 3.3. Resultados indicadores de sostenibilidad-2 soluciones.....	118

CAPÍTULO 1

1.1. Introducción

Durante el primer trimestre de 2025, las exportaciones en Ecuador registraron un crecimiento del 3,2 % en comparación con el trimestre anterior (Banco Central del Ecuador, 2025). Este incremento resalta la necesidad de que los puertos del país cuenten con la capacidad operativa adecuada para recibir y despachar cargas de manera eficiente, garantizando así su crecimiento comercial y su competitividad tanto en el mercado nacional como internacional. Una de las variables clave para lograr eficiencia portuaria es la gestión del tiempo de recepción de contenedores destinados a la exportación, ya que impacta directamente en el flujo logístico y en la optimización de los recursos disponibles.

Una recepción rápida y organizada de contenedores no solo incrementa la productividad operativa del puerto, sino que también genera beneficios significativos, como la mejora en la planificación logística, la reducción de los tiempos de espera, el aumento en la satisfacción del cliente y una mayor rotación de unidades, lo cual repercute positivamente en la imagen del terminal. En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo reducir el Tiempo Promedio de Ciclo de Camiones (TTAT) durante el proceso de recepción de contenedores de exportación en un puerto ubicado estratégicamente en el sur de Guayaquil.

Este terminal cuenta con una capacidad operativa anual de 1.300.000 TEUs. Sus servicios incluyen atraque, estiba y desestiba, almacenamiento de contenedores llenos y vacíos, manejo de carga suelta, inspecciones, operaciones especiales, servicios de Depot y atención a contenedores refrigerados. En 2024 atendió 342 embarcaciones, consolidándose como un terminal especializado en la manipulación de carga contenerizada y en el almacenamiento. El presente estudio se enfocará en el Patio 1, ya que es allí donde se concentra la recepción de contenedores para exportación. Para abordar este problema, se aplicará la metodología DMAIC del enfoque Seis Sigma, junto con herramientas de mejora continua, con el fin de identificar las causas raíz

de los altos tiempos de recepción y proponer soluciones efectivas que permitan optimizar el proceso.

1.2. Descripción del Problema

Durante el período comprendido entre enero y diciembre de 2024, el terminal registró un Tiempo Promedio de Ciclo de Camiones (TTAT) excesivo en el proceso de recepción de contenedores para exportación en el Patio 1. Este indicador, que mide el tiempo total que un camión permanece dentro del terminal desde su ingreso por la báscula de entrada hasta su salida por la báscula correspondiente, alcanzó un promedio de aproximadamente 42,89 minutos, con una desviación estándar de 31,72 minutos. Este valor supera de forma considerable el objetivo establecido por la empresa, el cual se ha fijado en un máximo de 15 minutos por camión.

La diferencia entre el valor real y el valor meta representa una brecha significativa que evidencia deficiencias en el proceso. Este retraso operativo puede generar acumulación de camiones en el patio, afectación en la puntualidad de las operaciones de exportación y una menor productividad. En este contexto, resulta necesario identificar las causas que generan estos altos tiempos de ciclo y desarrollar soluciones que permitan reducir el TTAT, mejorando así el desempeño y la competitividad del puerto.

1.3. Justificación del Problema

La reducción del Tiempo Promedio de Ciclo de Camiones (TTAT) representa una necesidad crítica para asegurar la eficiencia operativa del puerto. Un TTAT elevado no solo limita la capacidad y productividad del patio, sino que también deteriora la calidad del servicio brindado a exportadores y transportistas, comprometiendo la competitividad del terminal frente a otros puertos. Por consiguiente, optimizar dicho indicador permite mejorar la rotación de camiones, reducir los tiempos de espera y reforzar la planificación logística del proceso de exportación.

1.3.1 Justificación Económica

Actualmente, el terminal presenta costos horarios de operación del equipo portuario de 750 USD/h, asociados a desplazamientos frecuentes y a ciclos operativos prolongados por congestión. Esta estructura de costos restringe los márgenes y condiciona la competitividad del servicio, evidenciando la necesidad de intervenir el proceso para contener el gasto operativo y racionalizar el uso de recursos.

1.3.2 Justificación Social

Desde una perspectiva social, el estado vigente del servicio hacia los transportistas revela un nivel de satisfacción promedio de 3 puntos, indicador consistente con tiempos de espera extensos y condiciones operativas exigentes. Tales factores inciden negativamente en el bienestar de los conductores y en la calidad de la interacción entre los actores logísticos, lo que sustenta la necesidad de priorizar mejoras en la gestión del flujo y en la atención en patio.

1.3.3 Justificación Ambiental

Desde la perspectiva ambiental, la operación actual de las grúas RTG registra 536 kg de CO₂ por hora, magnitud vinculada a la duración de los ciclos y a la utilización intensiva de maquinaria. Este nivel de emisiones constituye una carga ambiental relevante para el terminal y justifica la revisión de prácticas operativas orientadas a minimizar tiempos de uso y consumos asociados.

1.4 Alcance

Este trabajo se centrará particularmente en las siguientes etapas del proceso:

- **Ingreso a Báscula:** Inicia cuando se abre la barrera para permitir el ingreso del camión a la báscula. En esta etapa, el conductor realiza el registro biométrico, se lleva a cabo el pesaje del vehículo y se proyecta la ubicación asignada para la entrega del contenedor.

También se entrega el *drop-off*, un papel que indica la posición exacta donde se debe realizar la descarga.

- **Ingreso a Zona Escáner:** Una vez dentro del patio, el conductor se sube al camión y lo dirige a través del escáner, donde se realiza el escaneo de seguridad correspondiente.
- **Recepción de la unidad en área de Stacking:** El conductor se dirige a la ubicación indicada en el *drop-off*, donde se posiciona para que la RTG realice la recepción del contenedor. Una vez descargado, el camión se desplaza hacia la báscula de salida.
- **Salida de Báscula:** El camión ingresa a la báscula de salida, y tras completar el proceso correspondiente, se le habilita la barrera para salir del puerto hacia la calle.

Cada una de estas etapas será analizada con el objetivo de identificar cuellos de botella que puedan estar afectando el desempeño del proceso. Este análisis permitirá detectar las causas raíz de las ineficiencias y proponer soluciones orientadas a reducir el TTAT y optimizar la operación en el terminal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Reducir el tiempo promedio de ciclo de camiones (TTAT) en el proceso de recepción de contenedores de exportación en el terminal de 42.89 a 28.95 minutos (50% de la brecha) en un plazo de 4 meses, mediante la optimización de la ejecución de operaciones en patio, una planificación eficiente de las actividades y una asignación óptima de los recursos disponibles.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Evaluar el desempeño actual del proceso de recepción de contenedores mediante la recopilación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, con el fin de construir un diagnóstico respaldado estadísticamente.

2. Identificar las causas raíz del alto TTAT promedio mediante la recolección y análisis de datos, utilizando herramientas estadísticas y análisis causa-efecto, con el fin de detectar cuellos de botella y factores críticos que afectan significativamente el flujo del proceso.
3. Diseñar soluciones orientadas a eliminar cuellos de botella e ineficiencias, seleccionando la alternativa de mejora más adecuada y evaluando su impacto real a través de simulaciones o implementación directa.
4. Establecer procedimientos estandarizados e indicadores clave de desempeño (KPIs) para asegurar la sostenibilidad de las mejoras mediante un sistema de monitoreo de mejora continua.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Metodología DMAIC

DMAIC es una metodología estructurada de mejora continua utilizada en proyectos *Six Sigma*, compuesta por cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Su fortaleza radica en que combina el uso riguroso de datos con un enfoque sistemático, permitiendo identificar y eliminar las causas raíz de errores, defectos y retrasos en los procesos (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

Six Sigma actúa como una estrategia tanto estratégica como táctica: a nivel organizacional, orienta el negocio hacia el cliente y su satisfacción; a nivel operativo, mejora indicadores como tiempos de entrega, costos por no calidad y defectos por unidad; y a nivel de proceso, reduce la variabilidad y optimiza el desempeño (Gutiérrez, 2020).

Una de sus principales características es asegurar que todos los procesos cumplan consistentemente con los requerimientos del cliente en términos de calidad, cantidad, tiempo y

servicio. Para ello, se basa en el análisis de datos y pensamiento estadístico, lo que permite identificar las variables críticas de calidad (VCC) y enfocar los esfuerzos de mejora donde realmente se generen impactos tangibles para el cliente (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

1.5.2 VOC

La Voz del Cliente (VOC) es una metodología utilizada para identificar y comprender las necesidades, expectativas y preferencias de los clientes de forma estructurada. Esta técnica, ampliamente aplicada en el desarrollo de productos y servicios, permite recopilar y organizar de manera jerárquica los requerimientos del cliente, asignándoles un nivel de prioridad según su importancia percibida y el grado de satisfacción con las soluciones existentes (Kabel et al., 2024).

1.5.3 CTQ

El método QFD (Quality Function Deployment), también conocido como *Casa de la Calidad* o *Diseño Orientado al Cliente*, es una herramienta desarrollada en 1972 que ha sido ampliamente utilizada en la industria para garantizar que los productos y servicios respondan eficazmente a las necesidades del cliente. Su principal función es traducir los requerimientos del cliente en especificaciones técnicas adecuadas en cada etapa del desarrollo y la producción.

1.5.4 SIPOC

El diagrama SIPOC (por sus siglas en inglés: *Supplier, Input, Process, Output, Customer*) es una herramienta utilizada para representar de forma general los elementos clave de un proceso. Su objetivo es ofrecer una visión de alto nivel (*high-level*) del flujo de actividades, sin detallar decisiones específicas, enfocándose únicamente en los bloques principales del proceso (Shankar, 2009).

Este diagrama permite visualizar la relación entre los proveedores, las entradas requeridas, las actividades del proceso, los resultados generados (productos, servicios, información o recursos) y los clientes que reciben dichas salidas. Una parte fundamental de su

análisis consiste en identificar las entradas críticas y sus respectivos proveedores, ya que estos determinan en gran medida el desempeño del proceso (Moszyk & Deja, 2023).

1.5.5 *Análisis de Capacidad y Cartas de control*

Las cartas de control son herramientas estadísticas utilizadas para observar y analizar el comportamiento de un proceso a lo largo del tiempo, mediante el uso de muestras generalmente pequeñas. Su propósito es distinguir entre la variación inherente al sistema (causas comunes) y aquella generada por factores inusuales (causas especiales), permitiendo así tomar decisiones informadas sobre el control y la mejora del proceso (Gutiérrez, 2020).

En el enfoque Seis Sigma, se considera que un proceso alcanza calidad de clase mundial cuando su desempeño a corto plazo equivale a $Cpk = 2$ ($Zc = 6$), y a largo plazo a $Ppk = 1.5$ ($ZL = 4.5$), lo cual implica una variación mínima respecto a los límites de especificación (Gutiérrez, 2020).

1.5.6 *Diagrama ISHIKAWA*

El diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, fue desarrollado por el Dr. Kaoru Ishikawa como una herramienta gráfica para representar de manera estructurada las posibles causas de un problema de calidad. Esta herramienta permite organizar y visualizar el conocimiento colectivo de un equipo en torno a un problema específico, facilitando la identificación de las causas raíz mediante una clasificación lógica de los factores involucrados (Pyzdek & Keller, 2018).

Una de las formas más comunes de aplicar esta herramienta es a través del método de las 6M, que agrupa las posibles causas en seis categorías clave que abarcan la totalidad del proceso: mano de obra, métodos, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente. Cada una de estas ramas representa una dimensión del proceso que puede contribuir a la variabilidad del producto o servicio final (Gutiérrez & de la Vara, 2013).

1.5.7 *Random Forest Regressor*

Un Random Forest Regressor es un conjunto de múltiples árboles de decisión entrenados de forma independiente y con baja correlación entre sí. Se construye mediante bagging, es decir, se generan muestras bootstrap del conjunto de entrenamiento y se entrena un árbol con cada una de ellas, y además se seleccionan de manera aleatoria subconjuntos de variables en cada división del árbol (El Mrabet et al., 2022). Esta aleatoriedad en instancias y características introduce diversidad entre los árboles, reduce su correlación, disminuye la varianza del modelo, lo vuelve más robusto al ruido y a los valores atípicos, y la predicción final se obtiene promediando las salidas de todos los árboles (Özen, 2024).

Desde una perspectiva probabilística, cada árbol divide el espacio de entrada en regiones y ajusta en cada región una distribución gaussiana multivariada sobre la salida. Durante el entrenamiento, las divisiones se eligen para reducir la incertidumbre de esa distribución, utilizando criterios de ganancia de información basados en entropía diferencial o medidas como el índice de Gini (El Mrabet et al., 2022). Una vez entrenado el bosque, se combinan las distribuciones aportadas por todos los árboles y se promedia su contribución para producir una predicción estable y con buena capacidad de generalización (Özen, 2024).

Capítulo 2

2. Metodología.

El presente proyecto fue desarrollado bajo un enfoque estructurado de la metodología DMAIC, mediante un análisis exhaustivo compuesto por cinco etapas diferenciadas.

2.1. Definición

Durante esta etapa inicial del estudio, resultó fundamental la inmersión en el contexto organizacional y el conocimiento profundo de la empresa. Para esto, se declaró el alcance del proyecto, determinando el enfoque específico y los puntos críticos en cuanto a las actividades dentro del proceso de recepción de carga destinada a exportación.

2.1.1. Diagramación del proceso (SIPOC)

En el marco del análisis del presente proceso logístico, la implementación de la herramienta SIPOC (proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes) permitió establecer una visión integral del sistema, facilitando su delimitación, análisis y posterior mejoramiento.

En el contexto de la recepción de unidades destinadas a exportación, cada contenedor debe atravesar una serie de fases operativas secuenciales que garantizan el flujo continuo y controlado de las unidades dentro del patio. Dichas fases para el estudio comprenden únicamente desde la *Báscula Gate-In* (zona de ingreso), *Zona del Escáner* (inspección no intrusiva para control aduanero y de seguridad), *Área de Stacking* (recepción y posicionamiento de unidades en bloques) hasta la *Báscula Gate-Out* (zona de salida).

A continuación, se presenta una tabla de la herramienta SIPOC sobre el proceso analizado en el presente proyecto:

Tabla 2.1.*SIPOC del proceso: Recepción de unidades para exportación*

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Línea Naviera /Exportador	-Reserva del Booking con Línea Naviera -DISV creado/Generación de turno -Generación de fecha Cut-off -Contenedor	Generación del Pre-Gate	-Datos de unidad registrada en sistemas -EIR generado -Cabina revisada por Guardia de Seguridad	Transportista
	-Registro de datos del contenedor y camión -Registro de condiciones del contenedor -Escaneo de sellos (unidades full)		-Confirmación de unidad vacía por Guardia (vacíos) -Captura del peso de unidad en báscula	Gate Clerk
Transportista	-TAG RFID, registro del transportista y camión activo -Captura de identificación biométrica (facial)	Ingreso a Báscula (Gate-In)	-Confirmación de unidad vacía por Guardia (vacíos) -Captura del peso de unidad en báscula	Gate Clerk
Gate Clerk	-EIR registrado -Registro de TARA -Validación de DISV creado -Registro de unidad vacía en sistema Ecuapass		-EIR electrónico -Ingreso válido de unidad -Notificación de bloqueo en el sistema por arribo tardío (fuera del horario de cut-off)	Exportador
Yard Planner	-Proyección en sistema TMS		-Ticket Drop-off	Transportista
Operador del Escáner	-Verificación de data en sistema RAPISCAN -Verificación de condiciones (imagen no cortada) -Registro manual de tipo de transacción	Ingreso a Zona Escáner	-Resultado de la inspección no intrusiva (aprobado/reescaneo) -Certificado del escaneo	Exportador/ UIPA
Yard Planner/ Dispatcher	-Proyección asignada (reubicaciones) -Asignación de equipos y bloques en sistema	Recepción de la unidad en área de Stacking	-Listado de tareas asignadas en sistema Radar	Operador de máquinas (RTG/RS)
Transportista	-Ubicación del ticket en patio		-Camión posicionado en bloque asignado	
Operador de equipo portuario	-Máquina RTG o Reach Stacker disponible		-Posicionamiento/ maniobra de la unidad en el área de stacking	Transportista

	-Tarea de recepción asignada en sistema Radar visualizado en Tablet -Camión con contenedor embarcada		-Registro final de ubicación en patio en sistema Radar -Conexión de unidad Reefer	Terminal/ Técnico Reefer
Transportista	-Captura de identificación biométrica -Camión vacío (sin contenedor)		-Información registrada -Captura del peso del camión en báscula	Gate Clerk
Gate Clerk	-Consulta de transacción en sistema DISV -Verificación de novedades (sinistros) -Peso del camión vacío capturado	Salida de Báscula	-Notificación de bloqueo (diferencia de pesos/late arrival) en sistema -Registro de transacción terminada en sistema Attack -Certificado VGM	Terminal/ Exportador/ Policía Nacional Antinarcóicos

2.1.2. Necesidades del cliente

Para poder comprender de manera integral las necesidades, expectativas y experiencias de quienes intervienen o se ven afectados por el proceso de recepción de unidades para exportación, resulta imprescindible identificar y analizar a las partes interesadas (stakeholders) más relevantes, tal como se demuestra en la Figura 1.

Los *stakeholders internos* corresponden a áreas que forman parte de la estructura organizacional de la terminal y que inciden directamente en la planificación, ejecución y soporte del proceso de recepción. Se han identificado tres subáreas clave dentro del área de Operaciones:

Área de Planificación

- Jefe de Yard Planner / Yard Planner: Responsables de la definición de estrategias de ubicación y asignación de espacios en el patio. Su planificación anticipada y nivel de coordinación impactan directamente en la fluidez del ingreso de camiones.

Área de Ejecución y Control

- Subgerente de Ejecución y Control: Cliente clave del proceso (key customer) y quien supervisa globalmente el cumplimiento de los indicadores de desempeño operativo.

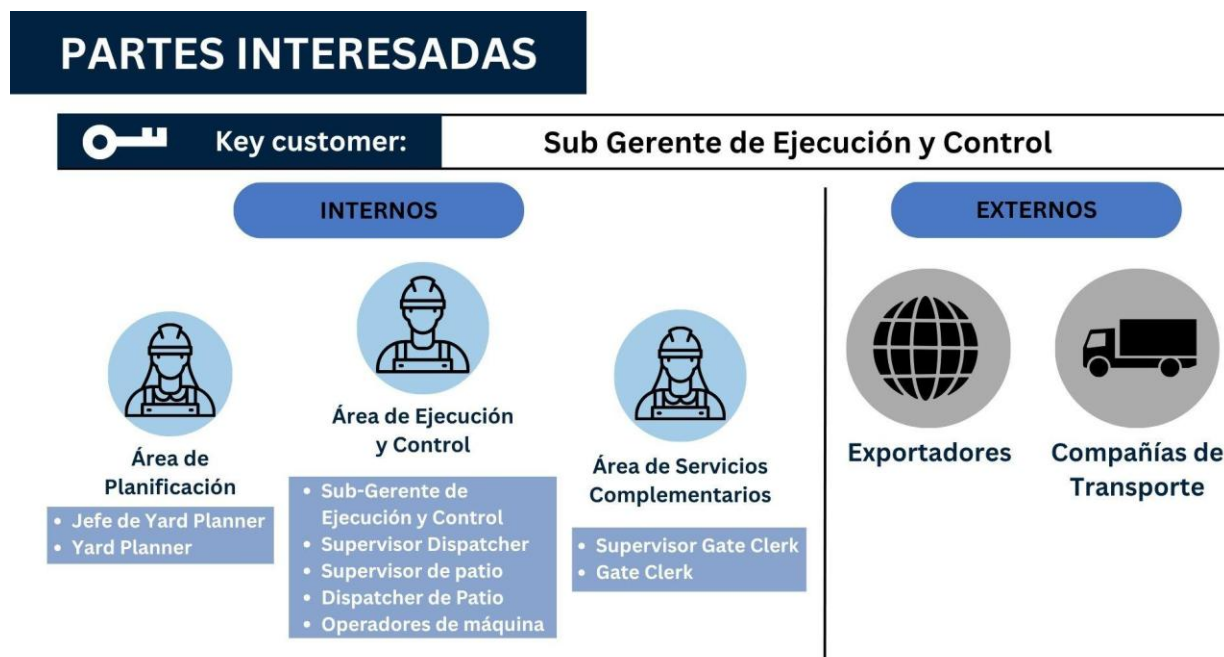
- Supervisor Dispatcher / Dispatcher de Patio / Supervisor de Patio: Ejecutan en tiempo real la asignación de recursos y la secuencia de movimientos de unidades en el patio, en el cual su criterio operativo y su nivel de comunicación influyen en la fluidez del proceso.
- Operadores de Máquina: Ejecutores directos de las operaciones de posicionamiento de contenedores.

Área de Servicios Complementarios

- Supervisor de Gate Clerk / Gate Clerk: Puntos de contacto y control con el transportista, donde validan la correcta documentación para el ingreso y salida del terminal portuario.

Por otro lado, los *stakeholders externos* no forman parte directa de la estructura interna de la organización, sin embargo, interactúan en el proceso como beneficiarios o usuarios del servicio, cuyas expectativas influyen directamente en la eficiencia operativa, la calidad percibida y el cumplimiento del flujo logístico. A continuación, se establecen los siguientes actores:

- Jefe Comercial de Exportación: Encargado de gestionar la relación con los clientes exportadores y actores externos, canalizando sus requerimientos, reclamos y expectativas hacia el equipo operativo.
- Cliente exportador: Dueño de la carga y usuario final del servicio portuario, donde deben coordinar la entrega oportuna de sus unidades y sus expectativas en cuanto a trazabilidad, tiempos de atención y confiabilidad del proceso impactan directamente en la percepción de calidad del servicio.
- Transportista / Empresa de Transporte: Encargados de trasladar físicamente las unidades hasta la terminal y quienes enfrentan directamente los efectos de las ineficiencias operativas, el cual los convierte en actores clave para evidenciar problemas reales del proceso y retroalimentar oportunidades de mejora.

Figura 2.1.*Mapa de actores y partes interesadas*

Una vez identificadas los representantes más relevantes dentro del proceso, se utilizó la herramienta Voz del Cliente con el objetivo de captar de forma estructurada las necesidades, expectativas y percepciones de los principales stakeholders, tanto internos como externos.

Por consiguiente, se realizó entrevistas a cada uno para la idónea generación de ideas colaborativa e instituir evidencia directa sobre los puntos críticos del proceso a través de la herramienta Lluvia de Ideas.

Entre los demás hallazgos del análisis, se detectó congestión interna y alta tasa de ocupación del patio, lo que deriva en cuellos de botella operacionales y dificulta la ejecución fluida de las tareas programadas. Finalmente, enfrentan problemas de limitaciones funcionales en el sistema TMS, que provocan reprocesos, inconsistencias en la asignación de recursos y pérdida de trazabilidad a lo largo del flujo operativo.

En base a la consolidación de las ideas recabadas y mediante un análisis estructurado de la información, se identificaron cuatro ejes estratégicos o conductores principales que agrupan las problemáticas detectadas. Estos fueron determinados a través de la construcción del Diagrama de

Afinidad, presentado en la Tabla 2.2, lo que permitió organizar los hallazgos de manera lógica y facilitar su priorización, a través de los siguientes: Gestión eficiente de equipos e infraestructura, Eficiencia en la ejecución operacional, Desarrollo y gestión del personal operativo y Optimización de procesos de planificación.

Tabla 2.2.

Diagrama de afinidad de necesidades de los clientes identificados

Gestión de equipos/Infraestructura	Daños imprevistos en grúas (RTG/RS)
	Problemas de conexión en sistemas
	Bloques llenos (falta de espacio)
	Bloqueos de máquinas durante la operación
	Terreno en mal estado / irregular
	Falta de señalización en el patio
	Error en la validación biométrica de transportistas
	Limitaciones operativas del sistema TMS
Ejecución Operacional	Alta tasa de utilización de máquinas
	Trasteo innecesario en stacking
	Reinspección no intrusiva (Scanner)
	Unidad sin DISV creado (creación en báscula)
	Altos tiempos de atención en báscula de ingreso/salida
	Unidades con ingreso fuera del Cut-off
	Unidades sin turno generado en el sistema
	Alto tiempo de espera para desconexión de unidad Reefer
	Tiempos de ciclo elevados para camiones en patio
	Transportistas perdidos en el patio
	Atención diferenciada a unidades diferenciadas
	Siniestros durante operación
Gestión del personal	Información incompleta de unidad al ingreso de báscula
	Problemas de comunicación entre áreas
	Sobrecarga de trabajo para operadores
	Elevado tiempo en cambios de turno
	Falta de capacitación para el personal

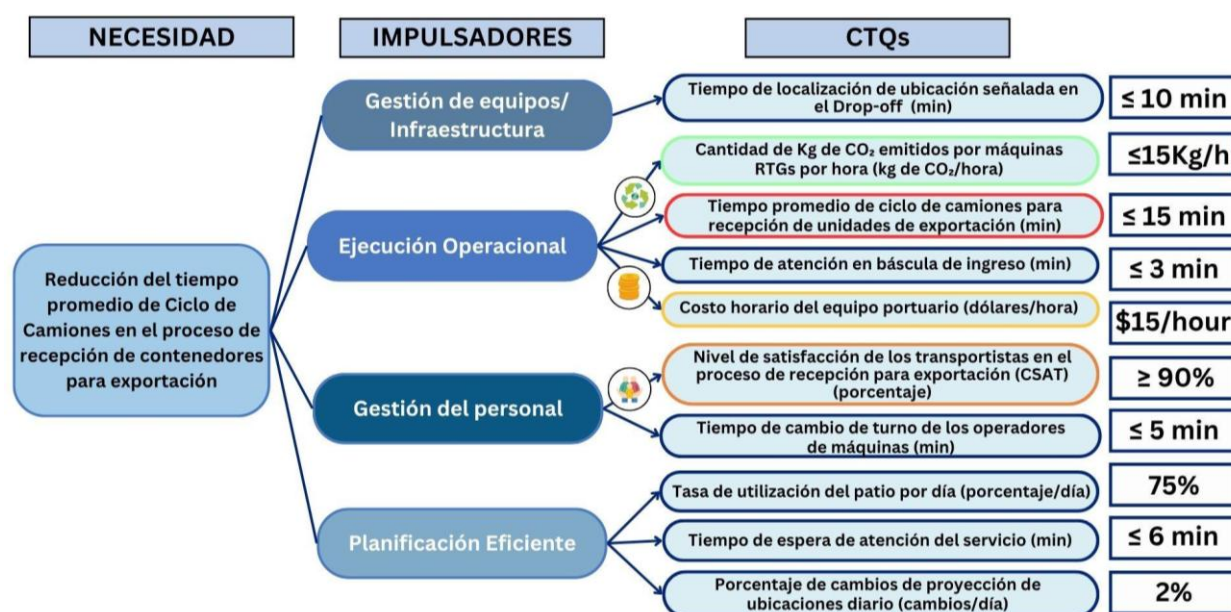
Planificación Eficiente	Falta de descansos programados
	Prioridad en atención de unidades con destino a buque
	Planificación ineficiente de proyección de unidades
	Reubicación de unidades en stacking
	Interferencia simultánea de procesos
	Congestión interna en patio
	Mezcla de servicios en patio (desorganización)

2.1.3. Árbol Crítico de la Calidad

En analogía, se desarrolló el Árbol Crítico de la Calidad con el objetivo de transformar cada una de las necesidades identificadas a través de la Voz del Cliente en indicadores o características de calidad, alineadas con los ejes impulsores previamente definidos. La Figura 2.2 permite visualizar la trazabilidad de los requerimientos operativos y estableció una base objetiva para la medición y seguimiento del desempeño del proceso de recepción de unidades para exportación.

Figura 2.2.

Árbol Crítico de la Calidad (CTQs Tree)



A partir de estos críticos de calidad, se definió 3 medidas representativas que permiten establecer una relación con los tres pilares de la sostenibilidad según el enfoque Triple Bottom Line: impacto ambiental, económico y valor social, tal como se visualiza en la Figura 2.3.

En el ámbito ambiental, se propuso como indicador la cantidad de kilogramos de CO₂ emitidos por los equipos portuarios RTG (kg CO₂/hora), debido a que, evalúa el impacto derivado del consumo de combustible durante la actividad de recepción. Por lo que, los tiempos prolongados de operación de estos equipos aumentarían significativamente tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO₂, derivando a una mayor huella ambiental. Asimismo, se presenta la ecuación para la respectiva medición:

$$\text{Cantidad de kilogramos de CO}_2 \text{ emitidos por equipos portuarios RTG } \left(\frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{hora}} \right) = \text{Consumo de combustible por hora (litros/hora)} \times \text{Factor de emisión de CO}_2 \text{ (Kg/Litros)} \quad (2.1)$$

El nivel de satisfacción de los transportistas en el proceso de recepción para exportación (CSAT) [%] fue establecido como el indicador representativo en el ámbito social, ya que mide cómo los conductores perciben la calidad del servicio durante la entrega de sus unidades en el patio. Este indicador refleja directamente su experiencia a lo largo del proceso, donde tiempos prolongados de atención reducen significativamente la percepción de la eficacia y calidad del servicio, afectando negativamente su satisfacción. A continuación, se presenta la ecuación para la respectiva medición:

$$\text{Nivel de satisfacción de transportistas en el proceso de recepción (CSAT)}(\%) = \frac{\text{Cantidad de respuestas positivas (Categoría satisfecho" y "muy satisfecho")}}{\text{Cantidad total de respuestas}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Por último, se planteó el costo horario del equipo portuario (USD/hora) como indicador representativo del ámbito económico, ya que refleja el costo operativo asociado al uso de

maquinaria portuaria como Reach Stacker y RTG. Cuando se presentan tiempos excesivos en la recepción de unidades, estos equipos permanecen activos más tiempo del necesario, lo que genera costos adicionales por mantenimientos no planificados y sobrepasa el presupuesto operativo establecido, comprometiendo la eficiencia económica del proceso. A continuación, se presenta la ecuación para la respectiva medición:

$$\text{Costo horario del equipo portuario} \left(\frac{\text{dólares}}{\text{hora}} \right) = \frac{\text{Costo de mantenimiento preventivo (USD)} + \text{Costo de mantenimiento correctivo (USD)}}{\text{Total de horas operativas del equipo portuario (horas)}} \quad (2.3)$$

Figura 2.3.

Indicadores sostenibles del Triple Bottom line



2.1.4. Variable de respuesta (Y)

La variable de respuesta que se tomó en cuenta para medir el proceso de recepción de unidades para exportación fue el TTAT (*Truck TurnAround Time*), cuyo significado en español es *Tiempo de Ciclo de Camiones*.

En los procesos logísticos portuarios, la variable TTAT representa uno de los indicadores operativos más críticos para evaluar la eficiencia en la recepción de unidades de exportación. Tradicionalmente, esta variable se mide de forma generalizada como la diferencia entre el tiempo de salida y el tiempo de entrada del camión al terminal.

Con el objetivo de facilitar la medición más detallada y promover una mejor trazabilidad de las causas que afectan este tiempo, en el presente estudio se optó por dividir el TTAT en 6 diferentes componentes operativos, expresados en minutos. Esta descomposición permite evaluar el desempeño de cada etapa del flujo de recepción y enfocar las acciones de mejora en los puntos de mayor impacto.

La ecuación 1 representa la medición propuesta de la variable del Tiempo de ciclo de camiones para el proceso de recepción para carga de exportación:

$$\text{Tiempo de ciclo de camiones (TTAT)} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6$$

T_1 : Tiempo de atención en Gate – In Báscula (min)

T_2 : Tiempo de inspección no intrusiva en Zona Scanner (min)

T_3 : Tiempo de localización de ubicación del ticket Drop – Off (min)

T_4 : Tiempo de espera y atención del servicio (min)

T_5 : Tiempo de desplazamiento a salida (min) de atención en Gate – In Báscula (min)

T_6 : Tiempo de atención en Gate – Out Báscula (min)

2.1.5. Serie de Tiempo y Declaración del Problema

Para el análisis del desempeño en el proceso de recepción de unidades para exportación, se utilizó una base de datos histórica correspondiente al año 2024, registrando de forma diaria la variable de respuesta del tiempo promedio de atención de los camiones. En la serie de tiempo presentada en la Figura 2.4, se observa una alta variabilidad en los datos, con picos recurrentes que superan los 60 minutos en distintos periodos del año. A su vez, se resaltó un promedio general, que alcanzó los 42,89 minutos y, según el estándar o valor deseado por la compañía, se estableció un máximo de 15 minutos por camión, por lo que, esta comparación puso en evidencia un GAP de 27,89 minutos respecto al objetivo ideal, confirmando una diferencia significativa en

el desempeño del proceso. Con base en esta evidencia crucial, se identificó a través de la herramienta 3W2H el siguiente problema, visualizado en la Tabla 2.3.

Figura 2.4.

Serie temporal de la variable TTAT del proceso de recepción de la exportación del 2024

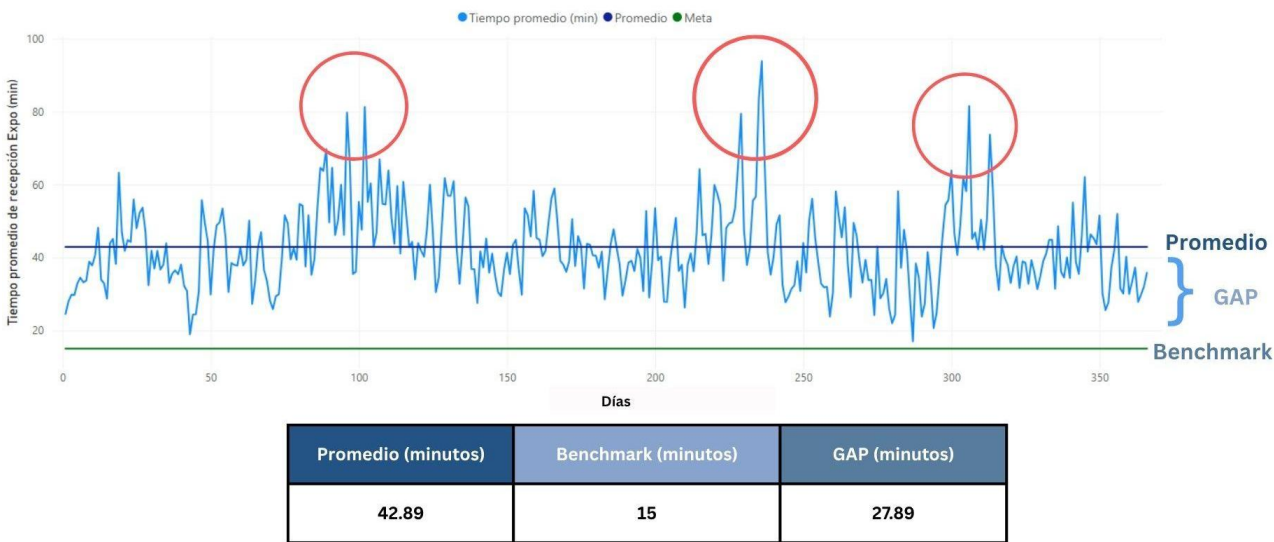


Tabla 2.3.

Herramienta 3W2H – Definición del problema central

¿Qué?	Incremento del tiempo de ciclo de camiones
¿Dónde?	Proceso de recepción de unidades para exportación del patio 1 en un terminal portuario
¿Cuándo?	Durante los meses de enero y diciembre del 2024
¿Cuánto?	Se evidencia un tiempo de 42.89 minutos en promedio
¿Cómo lo sé?	La compañía tiene un objetivo de 15 minutos por camión

En definitiva, el problema definido fue el siguiente: “Durante el periodo comprendido entre enero a diciembre del año 2024, se ha evidenciado un incremento del tiempo de ciclo de camiones en el proceso de recepción de unidades para exportación en el patio 1 en un terminal

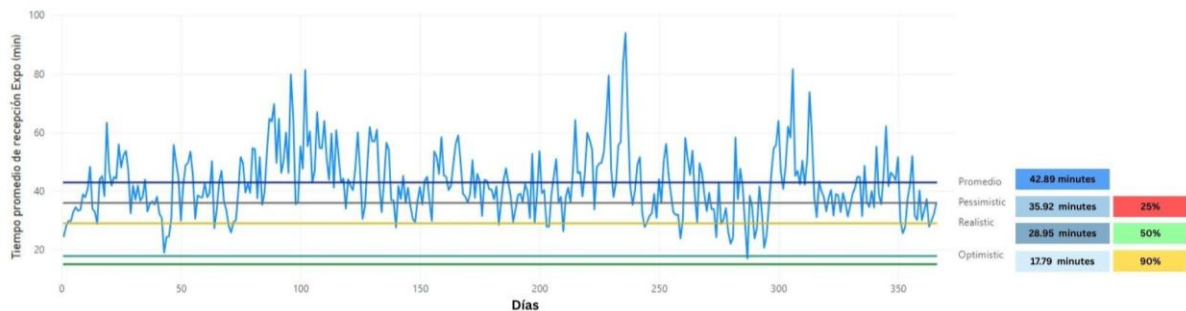
portuario de la ciudad de Guayaquil. Se evidencia un promedio de 42,89 minutos, superando el objetivo definido por la compañía correspondiente a un máximo de 15 minutos por camión.”

2.1.6. Definición del objetivo

Identificado el problema del alto TTAT durante el proceso de recepción de unidades, se evaluaron tres distintos escenarios de mejora con el objetivo de seleccionar el más viable en función de los recursos disponibles, las capacidades operativas y las condiciones reales que posea la empresa. Para ello, se estableció como referencia los siguientes niveles o porcentaje de reducción del GAP: escenario optimista (90%), realista (50%) y pesimista (25%), visualizado en la Figura 2.5.

Figura 2.5.

Serie de tiempo de los escenarios para definición de objetivos



	Promedio (min)	Benchmark (min)	Gap (min)	Porcentaje de Reducción	Objetivo (min)
Escenario Optimista	42.89	15	25.1	90%	17.79
Escenario Realista	42.89	15	13.95	50%	28.95
Escenario Pesimista	42.89	15	6.97	25%	35.92



Se optó por un escenario de mejora realista, en alineación con el cliente clave, considerando la sensibilidad temporal del proceso y la necesidad de ajustarse a las condiciones operativas actuales del terminal.

Para la definición del objetivo general en función del escenario seleccionado, se utilizó la estructura metodológica de la herramienta SMART, la cual permite establecer metas claras, medibles y alcanzables en un marco temporal definido. A continuación, se presenta la

declaración del objetivo bajo el enfoque previamente mencionado: “Reducir el tiempo promedio de ciclo de camiones (TTAT) en el proceso de recepción de contenedores para exportación en el terminal de 42,89 a 28,95 minutos (50% del GAP) en un plazo de 4 meses, mediante la optimización de la ejecución operacional en patio, una planificación eficiente de las actividades, la asignación óptima de los recursos disponibles.”

2.2. Medición

En esta etapa del proyecto, se desarrolló un mapeo del flujo del proceso con el propósito de obtener una visión clara de las operaciones y detectar puntos críticos que afectan su desempeño. Esta representación permitió identificar limitaciones como cuellos de botella y actividades no visibles (fábricas ocultas).

2.2.1. Mapeo del proceso

Principalmente, se elaboró el diagrama de flujo funcional que detalla las actividades interrelacionadas con los distintos actores involucrados. En este caso, se estructuró cada diagrama en función de las principales zonas operativas que intervienen en el ciclo logístico de la recepción de la exportación: Gate In Báscula, Zona de Escáner, Área de Stacking y Gate Out Báscula.

La representación por zonas permitió identificar con mayor claridad la secuencia operativa debido a la cantidad de actividades sustanciales involucradas en el proceso, facilitando la identificación de aquellas actividades que obstaculizan el flujo eficiente del proceso. Se puede verificar más detalladamente mediante la Figura 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9.

A continuación, se detalla a breves rasgos cada una de las etapas con los principales hallazgos:

- **Área Gate In Báscula:** Es el punto de ingreso al terminal para los camiones que transportan contenedores de exportación. En esta etapa se realiza el registro del vehículo, la validación de la documentación del transportista y el pesaje inicial (bruto). Dentro del

presente, se determinó principales cuellos de botella desde problemas con el registro biométrico en el sistema ZK, demoras por actualización en la reserva del cliente y por proyección de ubicación en patio para la generación del ticket. Por otra parte, se manejó fábricas ocultas como ajustes manuales requeridos por inconsistencias en los datos registrados del sistema, registro manual de la TARA (ingresado previamente en la etapa Pre-Gate) y ausencia de registro del Pre-Gate.

- **Zona de Escáner:** Área destinada a la inspección no intrusiva de los contenedores mediante equipos de rayos X, donde se verifica el cumplimiento normativo, se previenen ilícitos y se colabora con las autoridades como SENA y la Policía Nacional Antinarcóticos. Se encontró cuellos de botella como reescaneos requeridos (captura de imagen incompleta) y falla en la lectura OCR. En cambio, se detectó correcciones manuales por inconsistencias en la información registrada en sistema o bloqueo de flujo de vehículos desde báscula para evitar congestionamiento, identificados como fábricas ocultas.
- **Área de Stacking:** Se lleva a cabo la recepción operativa del contenedor, su posicionamiento temporal en patio (stacking) y, posteriormente, el proceso de embarque al buque correspondiente. En analogía, se declaró cuellos de botella relevantes como desequilibrio en la distribución de las actividades para operadores, priorización de actividades como embarque o camiones para movilización interna no respetan el orden de llegada. Mientras que, como principales fábricas ocultas se esclareció que los planificadores de patio desconocen los cambios de ubicación realizados por operadores, generación de errores en la planificación de ubicaciones o transportista busca reiteradamente personal para orientación de la ubicación del ticket.
- **Área Gate Out Báscula:** Se refiere a la salida del camión sin el contenedor, en el cual se realiza el pesaje en vacío y se cierra el tiempo de ciclo del transportista dentro del patio. Por último, se verificó como fábrica oculta, la realización de correcciones manuales de la

información de la transacción u operadores dan ubicación final en el sistema en la presente etapa. A su vez, como cuellos de botella se manifestó inconvenientes con el registro biométrico en el sistema ZK y demoras en guardar la información de la transacción en el sistema ATTACK.

Figura 2.6.

Diagrama de flujo funcional: Área Gate-In Báscula

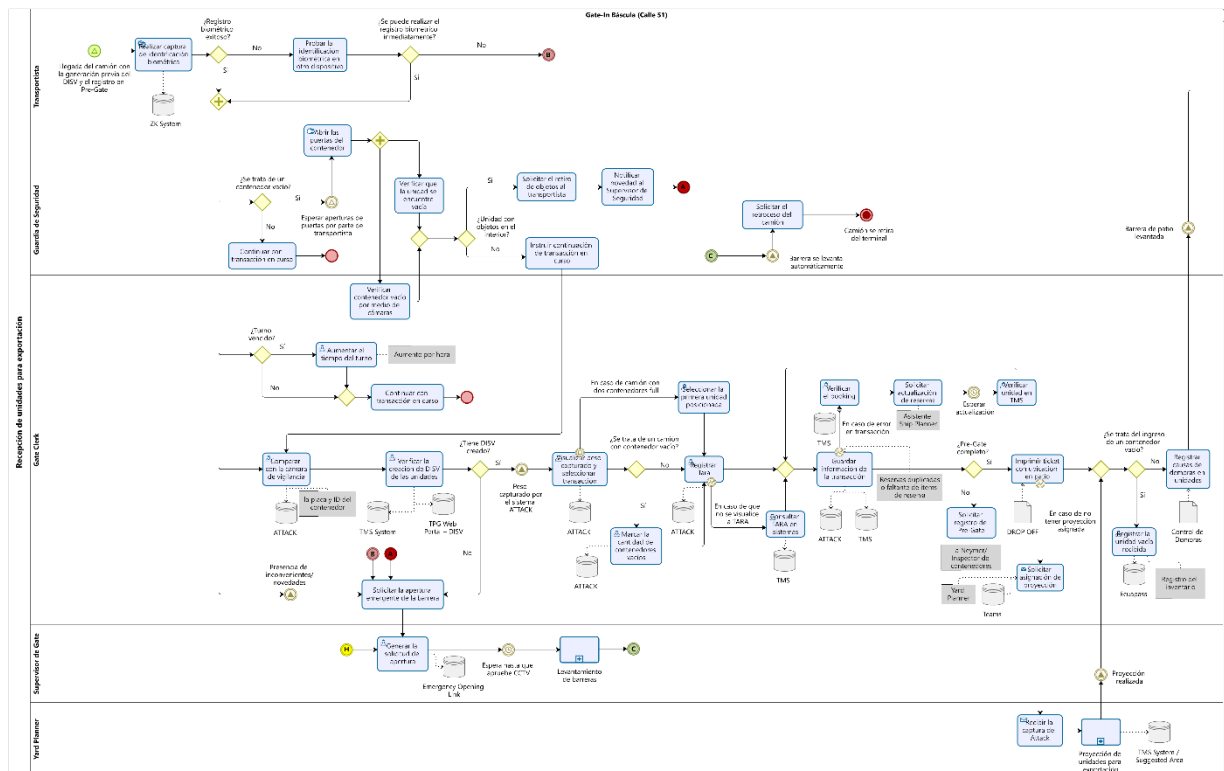


Figura 2.7.

Diagrama de flujo funcional: Zona de Escáner

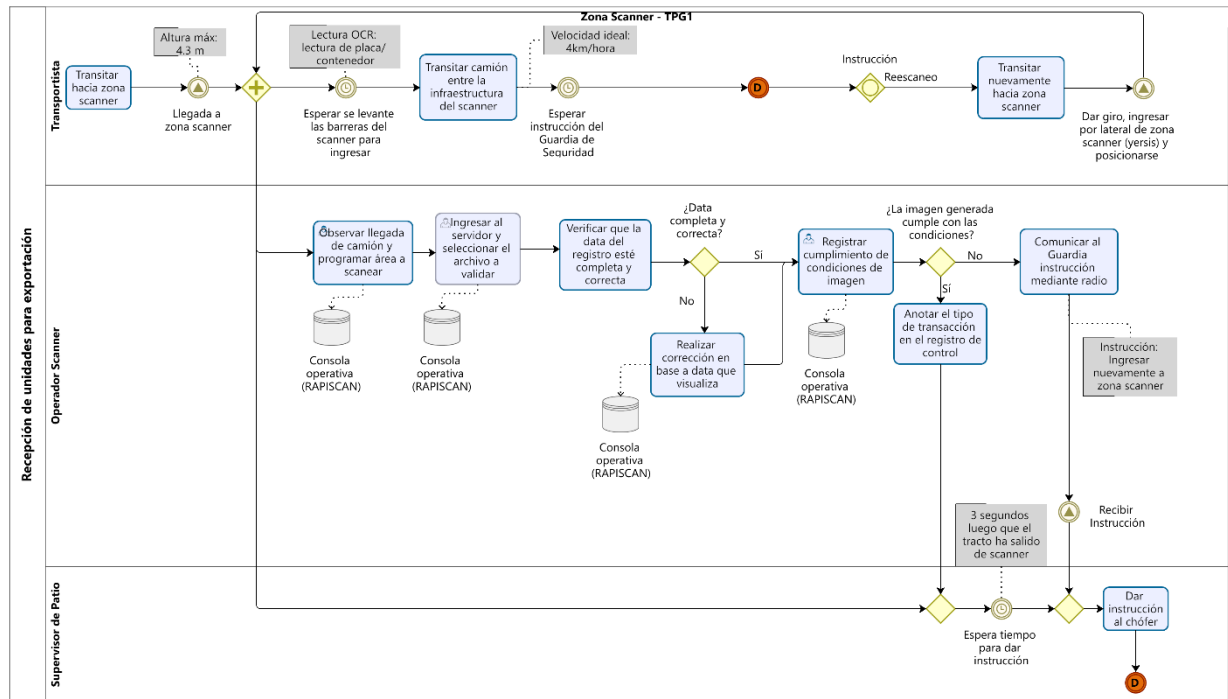


Figura 2.8.

Diagrama de flujo funcional: Área de Stacking

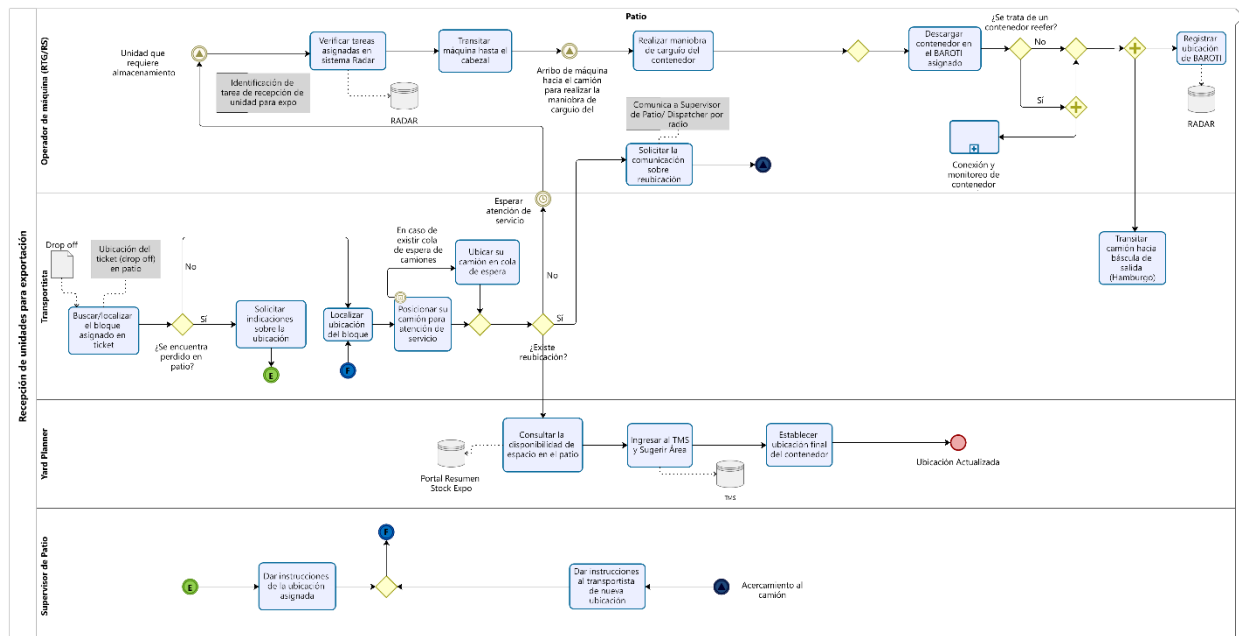
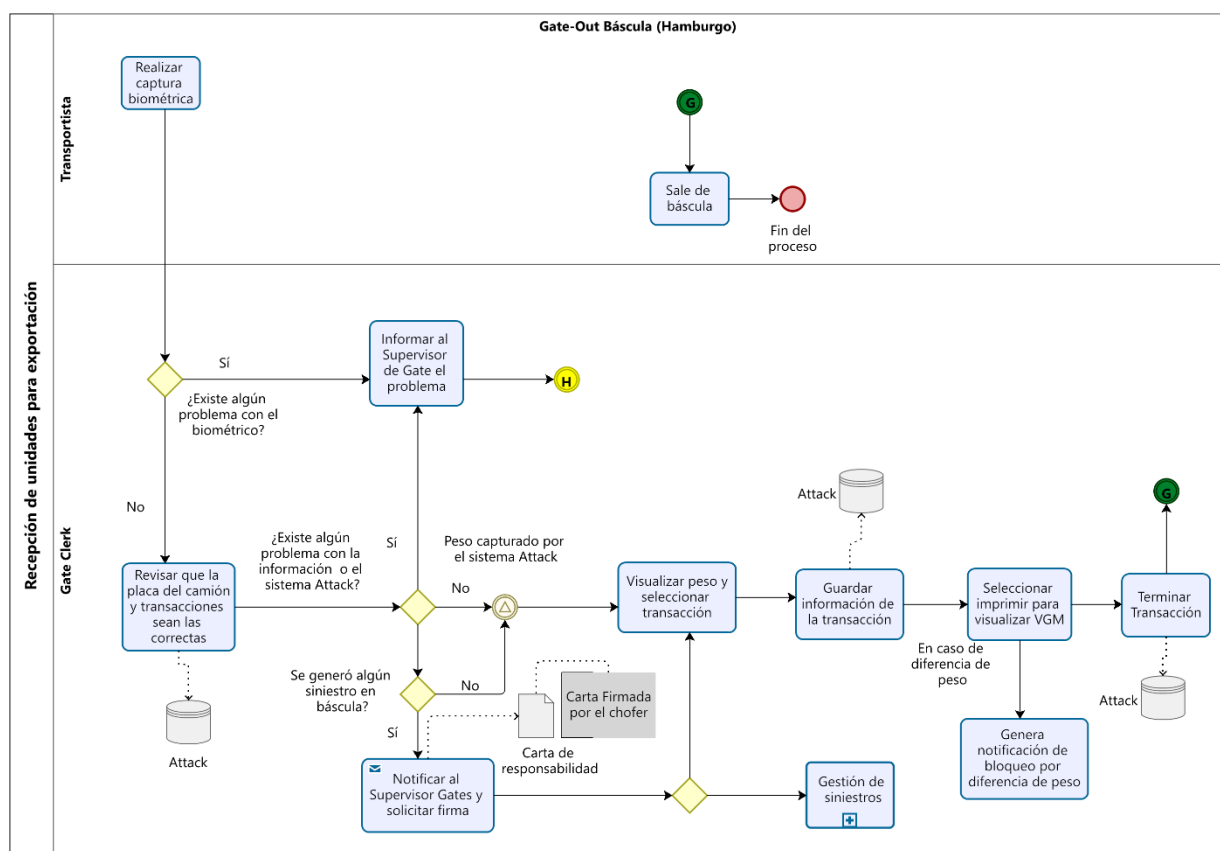


Figura 2.9.*Diagrama de flujo funcional: Área Gate-Out Báscula*

Para ilustrar de forma más detallado, se presentó un desglose de todos los cuellos de botella y fábricas ocultas identificados durante el análisis del proceso, demostrado en la Tabla 2.4 y Tabla 2.5.

A partir del análisis presentado en la Tabla 2.6, se revela que las principales ineficiencias en la recepción de unidades se concentran en el área de Stacking y Gate In Báscula. La zona del Stacking presenta el mayor porcentaje de cuellos de botella (43,48%) y una alta incidencia de fábricas ocultas (35%), indicando saturación operativa. La báscula de ingreso también muestra un alto nivel de fábricas ocultas (40%) y cuellos de botella (26,09%).

Tabla 2.4.*Desglose de cuellos de botella del proceso de recepción de carga para exportación*

Área Gate In Báscula	Demora en la apertura emergente de la barrera de salida
	Problemas con el registro biométrico en el sistema ZK
	Demora en el retiro de los objetos encontrados
	Espera por actualización de reservas por parte del Asistente Ship Planner
	Demora en la proyección por parte del Yard Planner
Zona de Escáner	Tara no visible en el camión
	Falla en la lectura OCR
	Reescaneo requerido (captura incompleta de imagen)
Área de Stacking	Registro manual del tipo de transacción
	Desequilibrio en la distribución de actividades entre operarios
	Sistema robusto no permite realizar las reubicaciones de forma ágil
	Transportistas incorrectamente parqueados (impiden el paso de las RTGs)
	Máquinas bloqueadas
	Priorización a otras actividades como embarque
	Largos tiempos de espera en cola por congestión
	Camiones de embarque no respetan el orden en la cola de espera
Área Gate Out Báscula	Congestión de camiones para la salida
	Problemas con el registro biométrico en el sistema ZK
	Demora en la apertura emergente de la barrera de salida
Área Gate In Báscula	Problemas con guardar la información en el sistema Attack

Tabla 2.5.*Desglose de fábricas ocultas del proceso de recepción de carga para exportación*

Área Gate In Báscula	Intervención del personal de Gate por demora del conductor (apertura de las puertas del contenedor)
	Ajustes manuales requeridos por inconsistencias entre los datos del sistema y lo que se ve en cámara
	Registro manual de la TARA (registro ingresado en el Pre-Gate)
	Reproceso operativo generado por inconsistencias en la reserva del cliente (ítems faltantes o duplicados)

Zona de Escáner	Algunos Gate Clerk omiten el paso de anotar las causas de las demoras
	Corrección manual debido a omisiones o errores en el Pre-Gate
	Bloqueo de paso de vehículos en báscula por congestión en el patio
Área de Stacking	Correcciones manuales por inconsistencias en la información del sistema
	Reproceso operativo por fallas de escaneo (velocidad inadecuada de parte del transportista)
	Demora por desorientación de transportistas al no encontrar su ubicación asignada
Área Gate Out Báscula	Transportistas no encuentran personal que los oriente en el patio
	Transportistas no son notificados de las reubicaciones
	Yard Planner comete errores en la planificación de las ubicaciones
	Operario realiza movimientos innecesarios de contenedores en stacking
	Yard Planner desconoce cambios de ubicación realizados por operadores
Área Gate Out Báscula	Problemas de comunicación entre áreas por radio
	Realizar correcciones manuales de la información en el sistema

Tabla 2.6.

Evaluación de Fábricas Ocultas y Cuellos de Botella en la Recepción de carga para exportación

Zona	Fábricas Ocultas		Cuello de Botella	
	Cantidad	Porcentaje (%)	Cantidad	Porcentaje (%)
Gate In Báscula	8	40,00	6	26,09
Escáner	4	20,00	3	13,04%
Stacking	7	35,00	10	43,48%
Gate Out Báscula	1	5,00	4	17,39%

Total	20	23
--------------	----	----

En este sentido, se procedió a realizar un examen más profundo de las actividades al clasificarlas en tres categorías clave: AV (Actividades de Valor), NAV (Actividades No de Valor) y NAVN (Actividades No de Valor No Necesarias). Con esto, se obtuvo resultados sustanciales presentados en la Tabla 2.7, los cuales facilitaron un enfoque más estratégico y focalizado sobre las zonas o áreas con mayor potencial de mejora dentro del proceso.

El análisis muestra que solo el 12,09% de las actividades agregan valor, mientras que un 38,46% no aportan valor y un 49,45% son necesarias, pero no productivas por sí mismas. La etapa más crítica es la zona del Escáner (66,67% de actividades sin valor agregado), seguido del Gate In Báscula con una alta carga operativa (57,5% de actividades necesarias), solo un 10% agregan valor, lo que sugiere una operación con baja eficiencia directa. El área de Stacking mantiene una mejor proporción, con aproximadamente un 20% de actividades con valor. Asimismo, área Gate In Báscula mantiene un alto nivel de actividades que no agregan valor, sin embargo, son necesarias (60%).

Tabla 2.7.

Resumen de Valor Operacional por Etapa del Proceso de Recepción de Unidades

	Zona	Agrega Valor	No Agrega Valor	Necesario	Total
Gate In Báscula	Cantidad de actividades	4	13	23	40
	Porcentaje (%)	10,00	32,50	57,50	43,96
Escáner	Cantidad de actividades	2	10	3	15
	Porcentaje (%)	13,33	66,67	20,00	16,48

Stacking	Cantidad de actividades	4	7	10	21
	Porcentaje (%)	19,05	33,33	47,62	23,08
Gate Out Báscula	Cantidad de actividades	1	5	9	15
	Porcentaje (%)	6,67	33,33	60,00	16,48
Resumen General de Análisis de Actividades					
Cantidad de actividades		11	35	45	91
Porcentaje (%)		12,09	38,46	49,45	100

2.2.2. Plan de recolección de datos

Una vez identificadas las variables críticas de calidad mediante el árbol CTQ, se procedió a la planificación sistemática de la recolección de datos, como se muestra en la Figura 2.10. El plan elaborado detalla aspectos fundamentales como variables, unidad de medida, el tamaño de muestra, el punto de recolección, el propósito de la medición, entre otras características.

Asimismo, las variables seleccionadas representan los componentes clave de la variable de

respuesta Y del presente estudio, además de los indicadores vinculados al enfoque del Triple Bottom Line (TBL).

Figura 2.10.

Plan de Recolección de Datos

Qué				Dónde	Cuándo	Cómo	Por qué		Quién	Estado	Estratificación		
Medición operacional	Unidad de medida	Tamaño de Muestra	Tipo de Data	¿Dónde recolectar?	¿Cuándo fue recolectado?	Método de recolección	¿Por qué recolectar?	Método de verificación	Responsables				
Tiempo de ciclo de Camiones (TTAT)	Minutos	87 camiones	Continuo	Archivo Excel – Reporte de indicadores logísticos	Junio 11–21, 2025	Estudio de tiempos – Revisión de datos históricos	Evaluar el rendimiento actual del proceso e identificar las condiciones óptimas para cumplir el objetivo.	Se evaluará la confiabilidad usando formularios alternos a través de correlación y regresión lineal. La validez de criterio se confirmará comparando resultados en días predeterminados y la validez de contenido verificará la alineación con las necesidades del cliente.	Ashley y Allison	En progreso	Tipo de contenedor		
												Tipo de carga	
												Tipo de máquina	
												Bloque	
												Turnos	
Tiempo de atención en Gate-In Báscula		87 camiones			Reporte de báscula - Reporte de indicadores logísticos	Junio 11–21, 2025	Revisión de datos históricos	Identificar cuellos de botella en la entrada del patio que contribuyen a retrasos en el TTAT.	La confiabilidad se evaluará usando el método de formularios alternos entre diferentes fuentes, aplicando regresión lineal. La validez de contenido se confirmará con el área de TI para garantizar consistencia.	Ashley y Allison	Completo	Tipo de contenedor	
												Tipo de carga	
												Turnos	
Tiempo de inspección no intrusiva en Zona Scanner				87 camiones		Archivo de Excel	Junio 11–21, 2025	Estudio de tiempos	Determinar los cuellos de botella en la etapa de inspección que afectan la eficiencia.	Se usará el método Test-Retest (Kruskal-Wallis), con diferentes personas aplicando el mismo enfoque en distintos momentos. La validez de contenido se confirmará mediante consulta con el OSR sobre las variables y tiempos medidos.	Ashley y Allison	En progreso	Tipo de contenedor
													Tipo de carga
										Turnos			
Tiempo de localización de ubicación del ticket Drop-Off		87 camiones		Archivo de Excel	Junio 11–21, 2025	Estudio de tiempos	Evaluar la efectividad del proceso de orientación (Drop-Off) e identificar posibles cuellos de botella.	Método Test-Retest (Kruskal-Wallis) con distintas personas aplicando el mismo método en diferentes momentos. La validez de criterio se confirmará comparando datos de varios días	Ashley y Allison	En progreso	Tipo de contenedor		
											Tipo de carga		
											Bloque		
Tiempo de espera y atención del servicio		87 camiones		Archivo de Excel	Junio 11–21, 2025	Estudio de tiempos	Cuantificar el tiempo de espera antes del servicio y determinar los cuellos de botella que afectan la atención.	Método Test-Retest (Kruskal-Wallis). La validez de criterio se evaluará comparando datos de varios días y la validez de contenido evaluará que las variables reflejen la experiencia de los clientes	Ashley y Allison	En progreso	Turnos		
											Tipo de contenedor		
											Tipo de carga		
											Bloque		
											Turnos		
											Tipo de máquina		
Tiempo de desplazamiento a báscula de salida	Minutos	87 camiones	Continuo	Archivo Excel – Reporte de indicadores logísticos	Junio 11–21, 2025	Estudio de tiempos – Datos históricos	Identificar los cuellos de botella que afectan la llegada a la báscula de salida.	Se evaluará la confiabilidad mediante formularios alternos usando correlación y regresión lineal. La validez de criterio se evaluará comparando datos de días seleccionados para garantizar consistencia y alineación con los patrones esperados.	Ashley y Allison	En progreso	Turnos		
											Bloque		
Tiempo de atención en Gate-Out Báscula	Minutos	87 camiones	Continuo	Reporte de indicadores logísticos	Junio 11–21, 2025	Revisión de datos históricos	Determinar los cuellos de botella en la salida de camiones que afectan negativamente el TTAT.	Se evaluará la confiabilidad usando el método Test-Retest, con comparaciones de medianas aplicando la prueba de Kruskal-Wallis. La validez de criterio será evaluada por el área de TI.	Ashley y Allison	Completo	Tipo de contenedor		
											Tipo de carga		
											Turnos		
Cantidad de kilogramos de CO2 emitidos por equipos portuarios RTG	kg CO2/h	12 meses	Continuo	Reporte de emisiones de CO2 (Otorgado por HSE)	2024 Completo	Reporte general de emisiones	Conocer el impacto ambiental generado por el uso de las máquinas.	Se utilizará el método Test-Retest junto con regresión lineal entre consumo de combustible y emisiones de CO2. Además, los boxplots comparativos no mostraron diferencias significativas entre datos reportados y calculados, confirmando consistencia.	Ashley y Allison	Completo	Tipo de máquina		
											Turnos		
Costo horario del equipo portuario	Dólares/hora	12 meses	Continuo	EAM Sistema	2025 Completo	Reporte financiero	Determinar el número requerido de actividades de mantenimiento según las horas de uso efectivo y su impacto económico.	Se evaluará usando formularios alternos entre dos fuentes de datos, aplicando regresión lineal para examinar la correlación entre las variables. La validez de criterio se confirmará comparando los resultados contra el TTAT.	Ashley y Allison	Completo	Tipo de máquina		
											Turnos		
Nivel de satisfacción de transportistas en el proceso de recepción (CSAT)	Porcentaje	41 respuestas	Discreto	Encuesta de satisfacción (Otorgado por el área comercial)	Junio 2025- Nov-Dec 2024	Encuestas mensuales a los clientes	Evaluar el impacto de las condiciones de trabajo en el desempeño operativo.	La confiabilidad se evaluará analizando la correlación entre los ítems considerados. La validez de contenido se confirmará revisando la encuesta con el gerente comercial y la validez de criterio comparando respuestas con las fechas que registraron mayores TTAT.	Ashley y Allison	Completo	Turnos		
											Tipo de máquina		
											Operador		

2.2.3. Análisis de confiabilidad de datos

Con el objetivo de garantizar la confiabilidad y representatividad estadística de los datos recolectados, se llevó a cabo una prueba piloto inicial con 15 camiones, cuya trazabilidad se documentaron individualmente, como se detalla en la Tabla 8. Esta muestra preliminar permitió

obtener valores clave para el establecimiento de la muestra para el presente estudio, brindando un promedio de 29,75 minutos y una desviación estándar de 12,96 minutos, lo que sugiere una variabilidad moderada en el proceso de recepción para exportación.

Tabla 2.8.

Prueba piloto – Datos preliminares del proceso de recepción

N°	ID contenedor	Placa	Fecha	Hora de Entrada	Hora de Salida	TTAT Total	TTAT (min)
1	TXGU8827077	GBP1732	11/06/2025	14:40:49	15:24:44	0:43:55	43,92
2	TLLU5013630	GBP7186		15:42:21	16:41:05	0:58:44	58,73
3	KOCU4301544	PQF0508		12:24:14	12:45:56	0:21:42	21,70
4	SEGU4425281	GOP0426		12:25:30	12:51:55	0:26:25	26,42
5	CMAU7872653	GBP7185		12:37:09	13:01:55	0:24:46	24,77
6	FFAU5383712	GBP2985		12:41:11	12:57:14	0:16:03	16,05
7	FBIU5212675	LAA2168		10:07:07	10:35:55	0:28:48	28,80
8	SEKU9132491	PAA5709		14:04:25	14:26:26	0:32:24	32,40
9	CGMU5111890	GB07541	12/06/2025	19:43:22	20:15:46	0:22:01	22,02
10	BMOU9828050	PKI0335		9:52:59	10:13:31	0:20:32	20,53
11	ONEU5242370	OBW0095		10:06:46	10:28:18	0:21:32	21,53
12	TXGU8595222	GSC4971		10:25:19	11:11:26	0:46:07	46,12
13	SEGU9473195	RAA5273		10:18:10	10:40:27	0:22:17	22,28
14	KKFU6781510	GB03559		15:10:36	15:56:31	0:45:55	45,92
15	DFIU3336625	UAA2259		15:54:46	16:09:47	0:15:01	15,02

A partir de estos resultados, se logró definir un tamaño muestral adecuado, diseñado para poblaciones finitas, de tipo continua y con un margen de error relativo aceptable. El propósito fue asegurar que las observaciones incluidas sean estadísticamente significativas y reflejen con

precisión el comportamiento de la población objetivo. A continuación, se presenta la ecuación utilizada y características inmersas para su respectivo cálculo:

$$n = \left(\frac{t_{\alpha/2} \cdot s}{E \cdot \bar{X}} \right)^2 \quad (3.1)$$

n : tamaño de muestra requerido

$t_{\alpha/2}$: valor crítico de la distribución t de Student con un nivel de confianza del 95% (2,145)

s : desviación estándar muestral (12,96 min)

$\bar{X}$: media muestral (29,75 min)

E : error relativo deseado (10%)

Mediante la fórmula, se procede a realizar el cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \left(\frac{2,145 \times 12,96}{0,10 \times 29,75} \right)^2$$

$n = 87 \text{ observaciones (camiones)}$

Con base al cálculo, se estableció que una muestra de 87 camiones sería estadísticamente representativa para analizar el proceso de recepción de unidades de exportación.

Además, cabe destacar que la estrategia de recolección adoptada fue mediante una muestra única por camión (enfoque global), permitiendo así la trazabilidad completa del flujo operativo desde el ingreso hasta la salida del camión en el terminal. Esta metodología asegura la cobertura total del proceso, elimina discontinuidades y refleja el TTAT real por unidad, lo cual permite detectar cuellos de botella globales a lo largo del sistema.

Con fines de estandarización y por disposiciones de seguridad, solo se consideraron datos del turno 1 (7:00 – 15:00) y 2 (15:00 – 23:00), excluyendo el turno 3 (23:00 – 7:00) por restricciones de acceso impuestas por el terminal portuario.

La Figura 2.11 muestra el formato diseñado en una hoja de cálculo de Excel, en el cual, el registro incluyó una serie de variables temporales clave, con el objetivo de medir y

descomponer el TTAT en subprocesos operativos específicos. Entre las variables incluidas se encuentran: número de observación, identificador del contenedor, placa del vehículo, hora de inicio en cada etapa del proceso (Báscula de Ingreso, Zona Escáner, Localización de Ubicación, Tiempo de Espera y Atención del servicio, Desplazamiento hacia Gate Out y Báscula de Salida). Asimismo, se calcularon de forma automática los tiempos individuales de duración por etapa y el TTAT global por camión, expresado en minutos. El alcance manejado se puede visualizar mediante la Figura 2.12.

Conjuntamente, se incorporaron factores o condiciones operacionales con el fin de enriquecer el análisis mediante estratificación, incluyendo el tipo de carga, tipo de contenedor, fecha del Cut-off, fecha de turno, Línea Naviera, turno (1 o 2), equipo de patio portuario, número de buques en operación, bloque de proyección asignado, ubicación del contenedor, existencia de proyección anticipada, nivel de conocimiento del patio por parte del transportista, cambios de proyección y observaciones de campo.

Figura 2.11.

Hoja propuesta para la recopilación de información sobre el proceso de recepción

[illegible]

Figura 2.12.

Enfoque de medición - Estudio de Tiempo Cronométrico para la variable TTAT



Con el propósito de garantizar la confiabilidad y validez del indicador TTAT, se aplicó el método de formas paralelas alternativas, que consiste en comparar dos fuentes independientes de datos. La Fuente 1 tomó en cuenta el informe de indicadores logísticos extraído del sitio web oficial del terminal, mientras que la fuente 2 utilizó el estudio cronométrico realizado en campo con mediciones directas del proceso operativo.

Las Figura 2.13 y 2.14 muestran un análisis de la variable TTAT (Truck Turnaround Time) para evaluar su validez. La comparación entre los datos del sistema y los obtenidos mediante un estudio cronométrico indica una alta concordancia, ya que ambas fuentes presentan distribuciones similares y medianas casi idénticas (alrededor de 30,5 minutos), lo que valida la medición generada por el sistema. Además, el análisis por días revela que los miércoles y jueves tienen mayores medianas y variabilidad en el TTAT, lo cual coincide con los patrones históricos de mayor actividad en el terminal, reforzando la validez de los datos.

Figura 2.13.

Diagrama de cajas entre el TTAT (minutos) del sistema y del estudio cronométrico

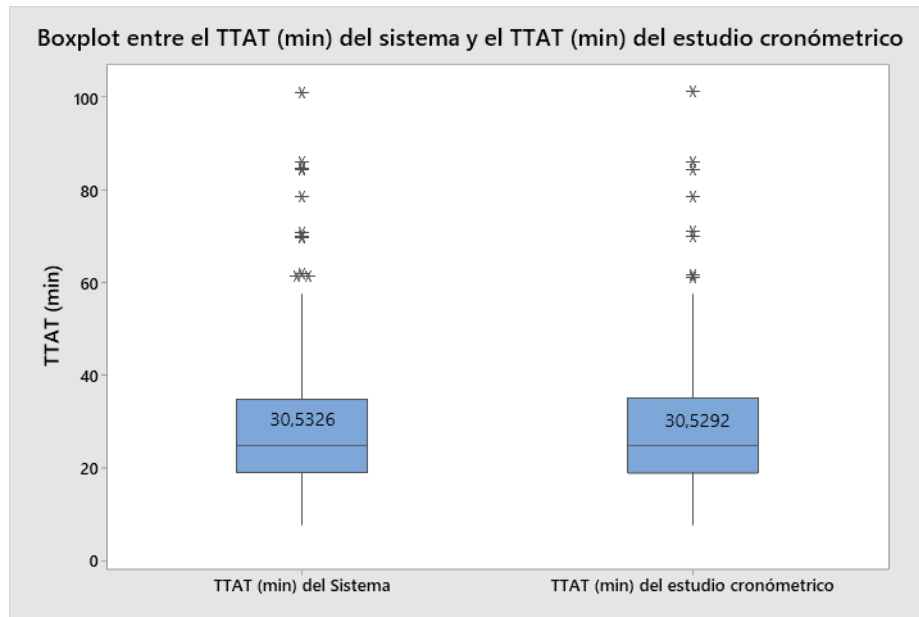
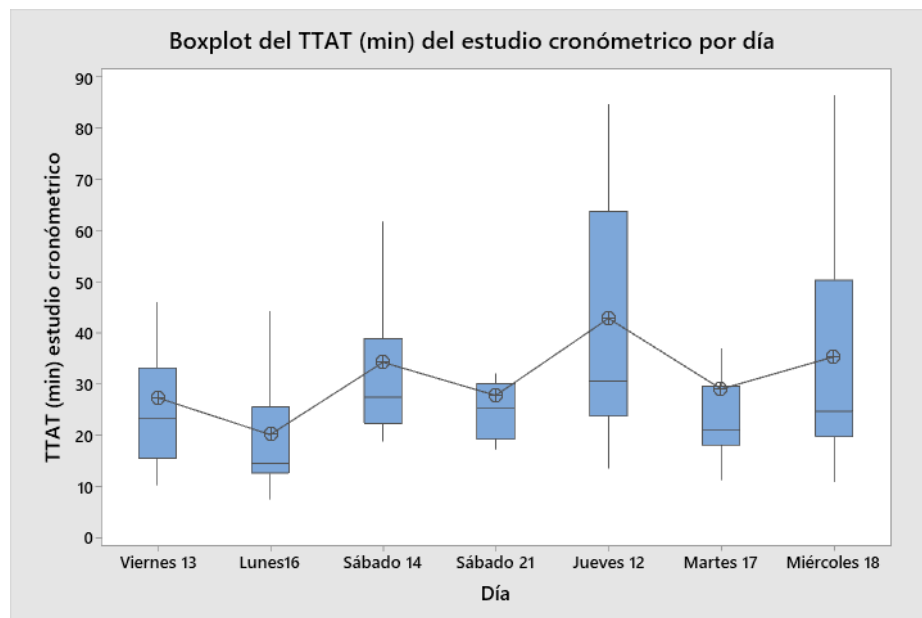
**Figura 2.14.**

Diagrama de cajas entre el TTAT (minutos) del estudio cronométrico por día



La Figura 2.15 y 2.16 muestran la verificación de la confiabilidad de la variable TTAT (Truck Turnaround Time) comparando los datos del sistema con los obtenidos en un estudio cronométrico.

El diagrama de dispersión (scatterplot) evidencia una relación lineal perfecta entre ambos métodos de medición, con una correlación de Spearman de $r = 1$. Esto significa que los valores coinciden casi exactamente y no hay diferencias sistemáticas.

El modelo de regresión confirma esta relación con un R-cuadrado de 99,99 %, una pendiente de 0,9997 y un valor p altamente significativo ($p < 0,001$). Estos resultados indican que los datos del sistema son consistentes y confiables, ya que reproducen de forma casi idéntica los tiempos registrados manualmente, sin sesgo ni errores sistemáticos.

En resumen, esta evidencia demuestra que la variable TTAT obtenida del sistema tiene excelente confiabilidad y validez.

Figura 2.15.

Diagrama de dispersión entre el TTAT del estudio cronométrico y del sistema

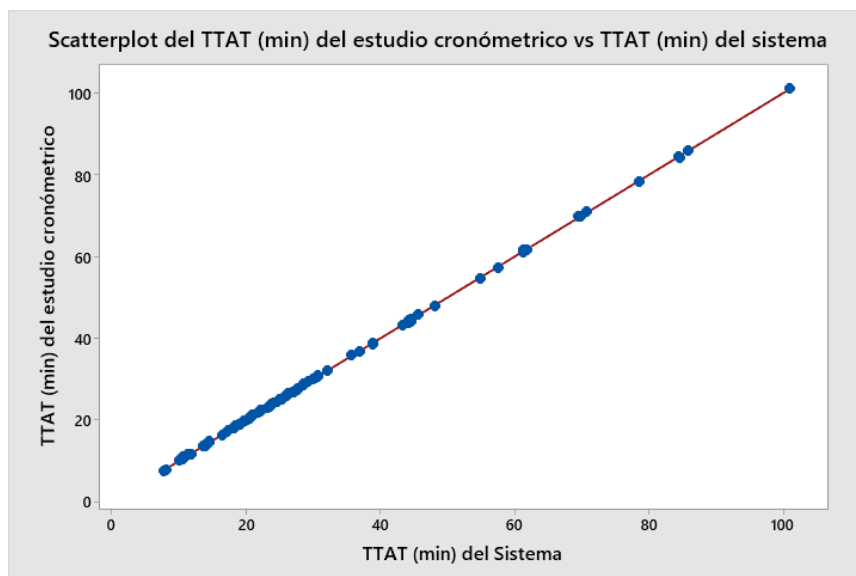


Figura 2.16.

Resultados de la regresión lineal del TTAT (minutos) del sistema

Regression Equation

TTAT (min) del sistema = 0,0128 + 0,999786 TTAT (min) estudio cronométrico

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,0128	0,0355	0,36	0,720	
TTAT (min) estudio cronométrico	0,999786	0,000984	1016,15	0,000	1,00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,186174	99,99%	99,99%	99,99%

Con base en este método de verificación de confiabilidad y validez, en la Tabla 2.9 se presenta el procedimiento aplicado para evaluar la confiabilidad y validez de los demás componentes de la variable Y y de las variables del Triple Bottom Line. Asimismo, se incluyen las principales observaciones obtenidas durante la recolección de datos y el plan de acción propuesto. Los resultados muestran que todas las variables evaluadas son confiables.

Tabla 2.9.

Resumen de la verificación de la confiabilidad y validez de los componentes de la variable Y y de las variables del Triple Bottom Line

Variables	Verificación de confiabilidad y validez	Observaciones	Plan de acción	Estado
Tiempo de Procesamiento en Gate-In Control	Se compararon dos fuentes independientes utilizando formularios paralelos alternos. El análisis de regresión mostró una relación lineal perfecta ($R^2 = 100\%$), lo que confirma una total consistencia entre ambos sistemas. La validez de criterio fue confirmada con el área de TI en relación con el rango de duración desde la apertura de la primera barrera hasta la segunda.	Se observó una ligera diferencia de $\pm 1-2$ segundos entre ambos sistemas, atribuible al redondeo de milisegundos. La báscula registrada no coincide con la báscula real que atendió al camión.	Coordinar con el departamento de TI para garantizar la sincronización de datos entre ambos reportes. Capacitar al personal en el registro correcto de la información en báscula.	Confiable

Tiempo de Escaneo	La confiabilidad de estas mediciones de tiempo fue evaluada mediante el método Test-Retest. Se realizaron comparaciones de medianas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.484$) y diagramas de caja. La validez de criterio fue verificada con el OSR, confirmando el rango de medición desde la apertura de la barrera del patio hasta la salida del escáner.	A pesar de que la barrera ya se encontraba levantada, los conductores tardaban en abordar el camión antes de avanzar hacia la zona de escaneo.	Implementar soluciones automatizadas (reconocimiento facial o impresión de tickets) para eliminar la necesidad de que el conductor descienda del vehículo.	Confiable
Tiempo de Localización de Ubicación	La confiabilidad fue evaluada mediante el método Test-Retest. Se realizaron comparaciones de medianas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.300$) y boxplots. La validez de criterio se analizó en función de los patrones por día de la semana, coincidiendo con tendencias históricas que muestran mayores tiempos de atención los miércoles y jueves.	No existen registros históricos ni mediciones de tiempo para esta etapa del proceso.	Instalar sensores físicos que automaticen la captura de tiempos sin intervención humana. Incorporar esta medición al sistema de indicadores de desempeño operativo.	Confiable
Tiempo de Espera y Tiempo de Servicio en la Recepción de Exportación	La confiabilidad de estas mediciones de tiempo fue evaluada mediante el método Test-Retest. Se realizaron comparaciones de medianas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.545$) y diagramas de caja. La validez de criterio fue evaluada por turno, con base en datos históricos que indican mayores tiempos de atención durante el segundo turno.	La fecha de stacking registrada en el sitio web de Indicadores mostró una variación promedio del 45% en comparación con el tiempo real observado en el estudio. Se identificó que algunos registros de stacking se generan durante el control de salida (Gate Out), lo que distorsiona el proceso real. Asimismo, se detectó que en algunos casos las máquinas asignadas en el sistema no coinciden con las observadas durante el estudio.	Capacitar a los operadores para que registren la actividad de stacking en el sistema a más tardar un minuto después de haber sido ejecutada. Instruir a los operadores para que informen de inmediato al Dispatcher si la tarea fue realizada por una máquina distinta a la asignada en el sistema.	Confiable

Tiempo de Desplazamiento hacia Gate-Out	Se compararon dos fuentes independientes utilizando formularios paralelos alternos. El análisis de regresión mostró una relación lineal perfecta ($R^2 = 100\%$), lo que confirma una total consistencia entre los sistemas. La validez de criterio se evaluó en función de los patrones por día de la semana, en concordancia con las tendencias históricas que muestran mayores tiempos de atención (TTAT) los días miércoles y jueves.	No existe información histórica ni registros de tiempo para esta etapa del proceso. Algunos camiones se dirigieron a otros bloques para realizar otra transacción (despacho de contenedor vacío), por lo que los datos oficiales consideraron ese recorrido como parte del tiempo total de recepción de exportación.	Instalar sensores físicos que automaticen la captura de tiempos sin intervención humana. El sistema debe registrar el tiempo de stacking como el fin del proceso de recepción de exportación cuando un camión realiza dos transacciones distintas.	Confiable
Tiempo de Procesamiento en Gate-Out Control	La confiabilidad de estas mediciones de tiempo fue evaluada mediante el método Test-Retest. Se realizaron comparaciones de medianas utilizando la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.681$). La validez de criterio fue confirmada con el área de TI en relación con el rango de duración desde la apertura de la primera barrera hasta la segunda.	No existe información histórica ni registros de tiempo para esta etapa del proceso en la página de indicadores de la empresa.	Incorporar en “Indicadores TPG” los mismos indicadores utilizados para Gate In, asegurando que se registre correctamente la báscula de salida utilizada.	Confiable
Costo horario del equipo portuario (dólares/hora)	Se compararon datos de consumo y horas del Departamento de Mantenimiento con los reportes de costos del Departamento Financiero. La regresión mostró alta correlación ($R^2 = 92,2\%$, $p = 0,000$), confirmando consistencia. La validez de criterio se apoyó en la relación positiva entre horas operativas y TTAT promedio mensual.	No hubo discrepancias entre ambas fuentes.	Mantener la verificación mensual entre Mantenimiento y Finanzas.	Confiable
Nivel de satisfacción de los transportistas en el proceso de recepción para exportación (CSAT) (porcentaje)	Se utilizó el método Test-Retest, tomando encuestas de junio 2025 y noviembre-diciembre 2024. Se analizaron 8 preguntas tipo Likert, mostrando altas correlaciones internas (valores $>0,60$), lo que confirma consistencia. La validez de criterio se evidenció con la relación inversa entre TTAT y satisfacción: al bajar el TTAT de 42,51 a 34,71 min, el CSAT subió de 3 a 4.	Existieron preguntas que tenían respuestas en blanco	Utilizar el método de respuestas obligatorias para evitar preguntas en blanco en las encuestas	Confiable

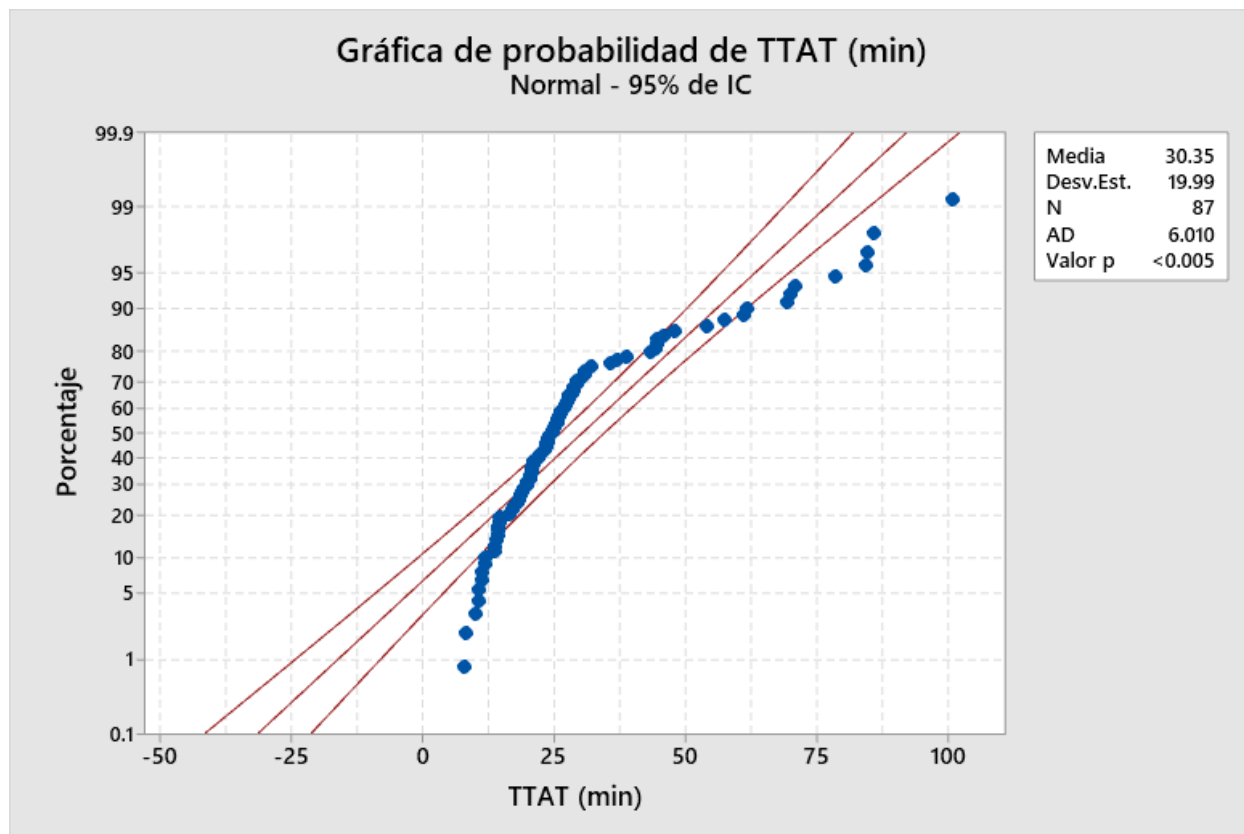
Se compararon los datos del consumo mensual de combustible y las emisiones de CO ₂ reportadas por el área ambiental.				
Cantidad de Kg de CO ₂ emitidos por máquinas RTGs por hora (kg de CO ₂ /hora)	El análisis de regresión mostró una correlación muy alta ($r = 0,993$, $R^2 = 99,79\%$, $p = 0,000$) entre emisiones y consumo, confirmando consistencia.	La relación emisiones-consumo es consistente y confiable para la medición ambiental.	Mantener el control cruzado mensual de consumo y emisiones del área ambiental.	Confiable
	Los boxplots demostraron valores muy similares entre datos reportados y calculados, validando la información.			

2.2.4. Prueba de Normalidad

Por consiguiente, para realizar análisis estadísticos posteriores que requieren datos con distribución normal, se llevó a cabo una evaluación de la distribución del tiempo de ciclo de camiones (TTAT). Inicialmente, se generó un gráfico de probabilidad bajo el supuesto de normalidad como se puede verificar en la Figura 2.17, el cual se evidenció visualmente que los datos no seguían una distribución normal. Esta observación fue confirmada estadísticamente mediante la prueba de Anderson-Darling (AD), que arrojó un valor de $AD = 6.010$ y un p-valor menor a 0.005, indicando una clara desviación respecto a la normalidad.

Figura 2.17.

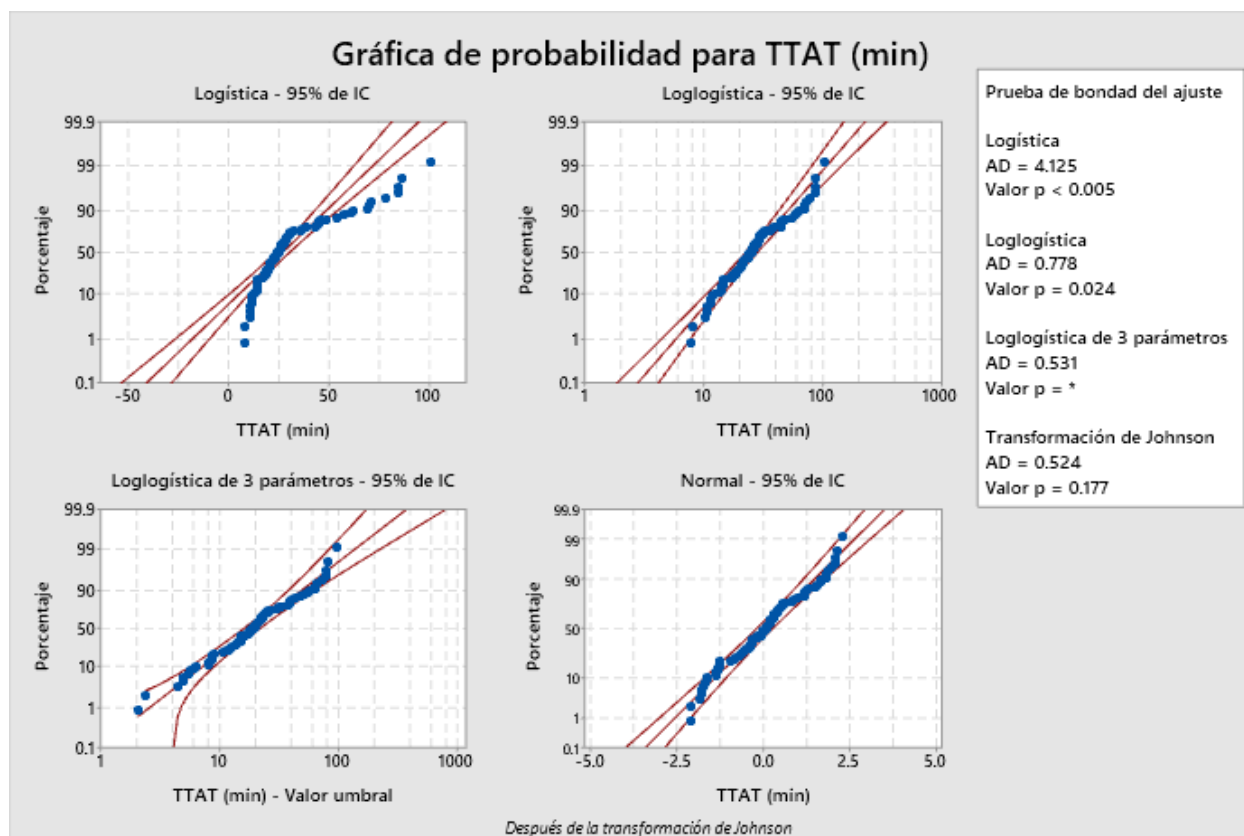
Gráfica de Probabilidad de la variable Y: Tiempo de ciclo de camiones para el proceso de recepción de unidades para exportación



Ante estos resultados, se exploraron diversas alternativas de ajuste y transformación para la variable Y. Como resultado de este análisis comparativo, se identificó que la transformación de Johnson fue la opción que proporcionó el mejor ajuste a la normalidad, registrando un valor de Anderson-Darling (AD) de 0.524 y un p-valor de 0.177. Estos indicadores sugieren que, tras aplicar dicha transformación, los datos pueden considerarse normalmente distribuidos, cumpliendo con los supuestos requeridos para la aplicación de análisis estadísticos posteriores. Esta conclusión fue respaldada tanto por las gráficas de probabilidad, visualizado en la Figura 2.18, así como por los resultados de la Prueba de Bondad de Ajuste dentro de la Figura 2.19.

Figura 2.18.

Análisis de la Distribución de la variable Y: Tiempo de ciclo de camiones para el proceso de recepción de unidades para exportación

**Tabla 2.10.**

Prueba de Bondad de Ajuste

Distribución	AD	P	LRT P
Normal	6.010	<0.005	
Transformación Box-Cox	0.651	0.087	
Lognormal	1.009	0.011	
Lognormal de 3 parámetros	0.698	*	0.096
Exponencial	8.779	<0.003	
Exponencial de 2 parámetros	2.518	<0.010	0.000
Weibull	3.103	<0.010	
Weibull de 3 parámetros	1.372	<0.005	0.000
Valor extremo más pequeño	9.318	<0.010	

Valor extremo por máximos	2.226	<0.010	
Gamma	2.188	<0.005	
Gamma de 3 parámetros	1.328	*	0.002
Logística	4.125	<0.005	
Loglogística	0.778	0.024	
Loglogística de 3 parámetros	0.531	*	0.059
Transformación de Johnson	0.524	0.177	

2.2.5. Análisis de estabilidad

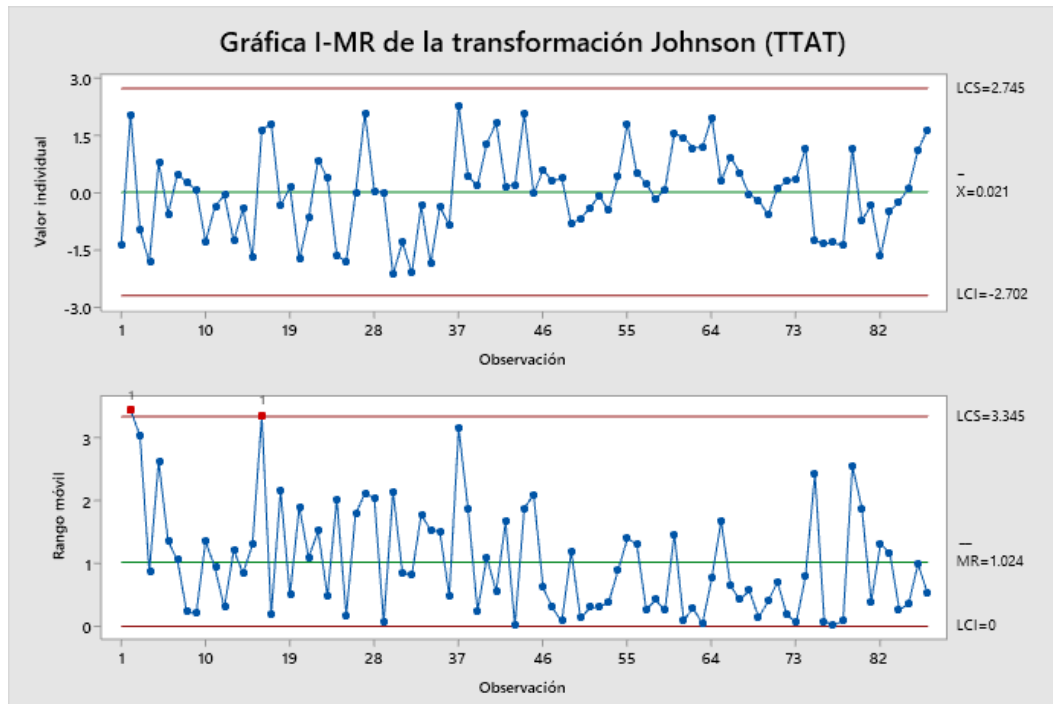
Con el objetivo de evaluar la estabilidad del proceso asociado al tiempo de ciclo de camiones en el proceso de recepción para la carga de exportación, y una vez aplicada la transformación de Johnson, se emplearon herramientas estadísticas reconocidas como las cartas de control de Media y Rango Móvil (I-MR charts). Estas cartas son ampliamente utilizadas para verificar la consistencia de procesos.

En primera instancia, se detectaron cuatro observaciones fuera de los límites de control (observaciones 2, 15, 16 y 34), las cuales fueron clasificadas como causas especiales de variación, y no forman parte de la variabilidad inherente del proceso. Tras un proceso de revisión, se determinó que dichas observaciones respondían a situaciones excepcionales, por lo que se recomienda implementar acciones correctivas que mitiguen o eliminen su ocurrencia futura, tal como se verifica en la Figura 2.19.

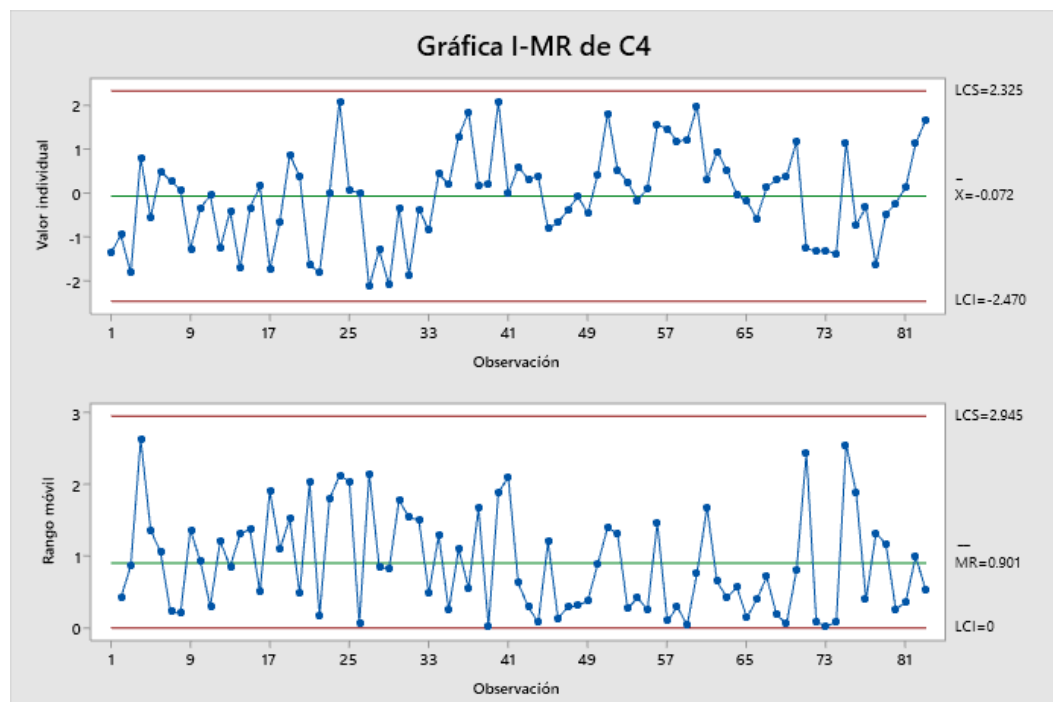
Luego de eliminar estos puntos atípicos de la Figura 2.20, se reconstruyeron las cartas de control y se evidenció una mejora significativa en la estabilidad del proceso. Los límites de control cambiaron, la variabilidad disminuyó y no se identificaron nuevas señales de causas especiales, sugiriendo que el proceso es ahora estadísticamente estable, adecuado y predictivo.

Figura 2.19.

Carta de Control de Media – Rango Móvil para la variable Y transformada

**Figura 2.20.**

Carta Bajo Control de Media – Rango Móvil para la variable Y transformada



2.2.6. Análisis de Capacidad

En virtud de la variable Y transformada, se realizó un análisis de capacidad del proceso con el objetivo de determinar si este es capaz de operar de manera consistente y cumplir con los parámetros establecidos por la organización. Para este caso, se consideraron como límites de especificación un objetivo central de 12 minutos, con una tolerancia de ± 3 minutos, es decir, un LEI de 9 minutos y un LES de 15 minutos. Este análisis mostrado en la Figura 2.21 permitió evaluar si el desempeño del proceso se encuentra dentro de los rangos aceptables y si satisface los requerimientos operativos definidos por la compañía.

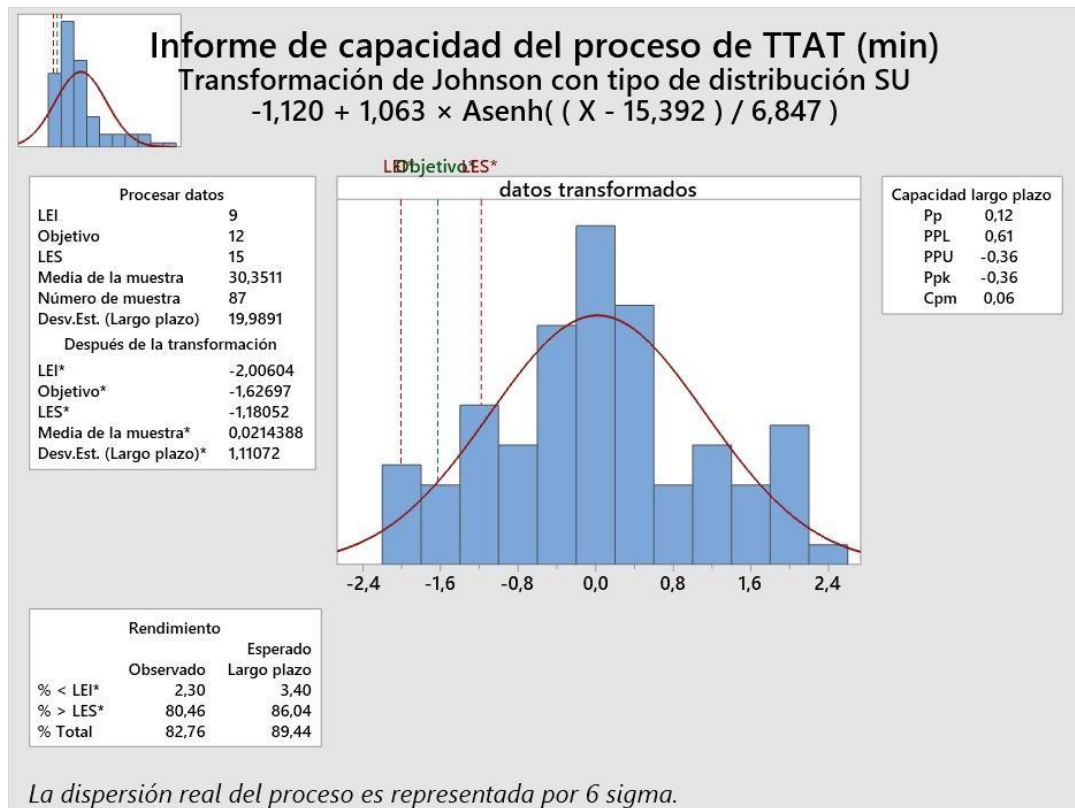
En este sentido, se analizaron los índices de capacidad establecidos, donde se encontró que el índice Pp, que representa la capacidad potencial del proceso fue de **0.12**. Este valor es significativamente bajo, lo que indica que el proceso presenta una dispersión considerable con relación al intervalo de especificación y que su variabilidad actual no permitiría operar de manera confiable dentro de los límites establecidos.

Por su parte, el índice Ppk, que evalúa la capacidad real considerando tanto la dispersión como el centrado, obtuvo un valor de -0.36 . Un Ppk negativo es un indicador crítico, ya que confirma que la media del proceso se encuentra fuera de los límites de especificación, particularmente por encima del límite superior.

En definitiva, el análisis previamente establecido confirma que el proceso actual no es confiable ni sostenible desde una perspectiva de calidad operativa, además de no poder ser capaz de cumplir con las especificaciones de la empresa. Por tanto, es indispensable aplicar mejoras estructurales al proceso que permitan controlar su desempeño y garantizar la entrega dentro de los tiempos especificados.

Figura 2.21.

Análisis de Capacidad de la variable Y transformada



2.2.7. Estratificación

La Figura 2.22 muestra valores de TTAT similares entre turnos, siendo el turno 1 ligeramente superior (38,30 min) y con mayor variabilidad en comparación con el turno 2 (37,16 min), según los datos históricos del primer semestre de 2025. Según la Figura 2.23, el análisis se centrará en el turno 2, ya que concentra el mayor volumen de procesamiento de contenedores (41 %), lo que lo convierte en el periodo más crítico para orientar los esfuerzos de mejora.

Figura 2.22.

Diagrama de cajas del TTAT (promedio) por turno

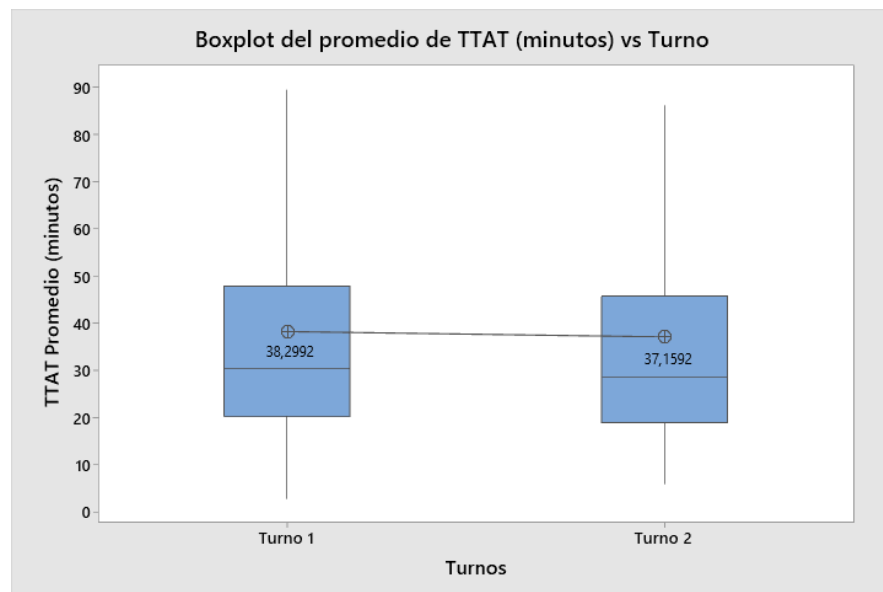
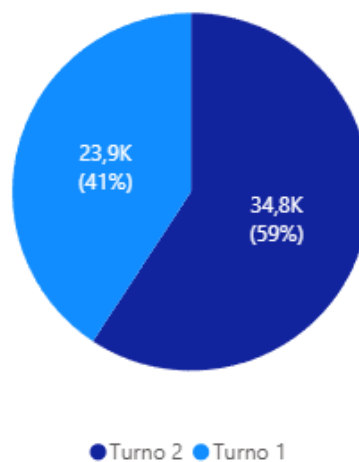
**Figura 2.23.**

Diagrama de pastel del porcentaje de contenedores por turno

Número de contenedores por turno



Según el análisis de la Figura 2.24 y 2.25 se priorizará los contenedores llenos, ya que representan la mayor parte de las operaciones (72 %), constituyendo el área de mayor impacto para las acciones de mejora. Por otro lado, los datos históricos del primer semestre de 2025

muestran que los contenedores vacíos presentan un TTAT ligeramente superior y una mayor variabilidad en comparación con los contenedores llenos.

Figura 2.24.

Diagrama de cajas del TTAT promedio por tipo de contenedor

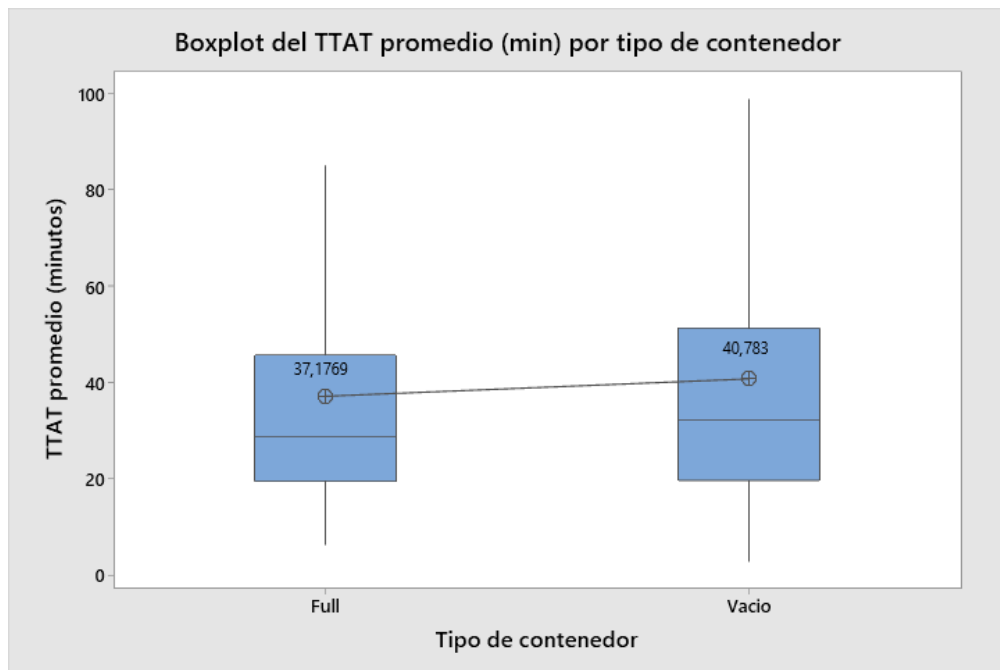
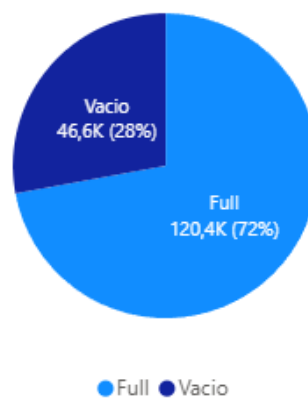


Figura 2.25.

Diagrama de pastel del porcentaje de contenedores por tipo de contenedor

Número de contenedores por tipo de contenedor



Con base en los datos históricos del primer semestre de 2025 y el análisis mostrado en las Figuras 26 y 27, el estudio se segmentará para enfocarse en los contenedores RE20, RH40 y RE40, lo que permitirá un análisis más específico de las causas que generan demoras y variabilidad en la manipulación de carga refrigerada. Los resultados evidencian que los contenedores refrigerados presentan el mayor TTAT promedio y la mayor variabilidad en comparación con otros tipos de carga. Además, representan una proporción considerable del volumen total movilizado, destacando especialmente los contenedores RH40, lo que resalta su relevancia operativa dentro del estudio.

Figura 2.26.

Diagrama de cajas del TTAT en minutos por tipo de carga

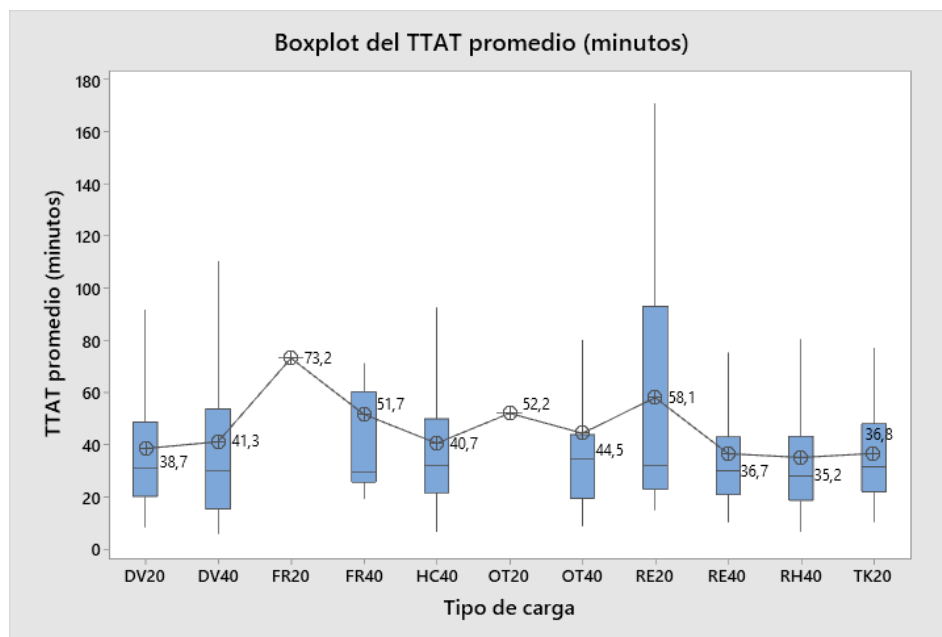
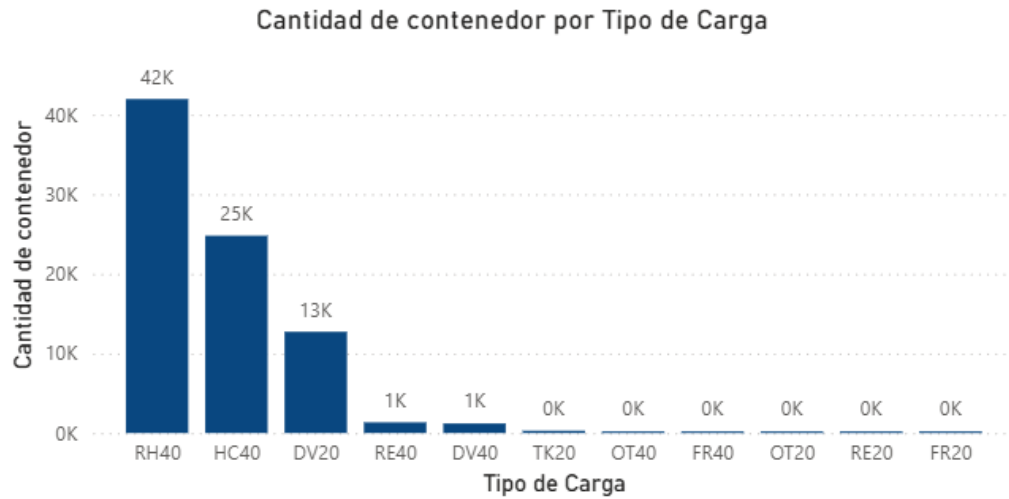


Figura 2.27.

Diagrama de barras del volumen de contenedores por tipo de carga



2.2.8. Problema enfocado

Para declarar un problema enfocado se usaron los tiempos totales de cada actividad durante el procesamiento. Según el gráfico a continuación se muestra que el 98.58% del tiempo se desperdicia en la espera. Aplicando 3W+2H, el problema enfocado es:

Tabla 2.11.

Aplicación de 3W+2H para la declaración del problema enfocado

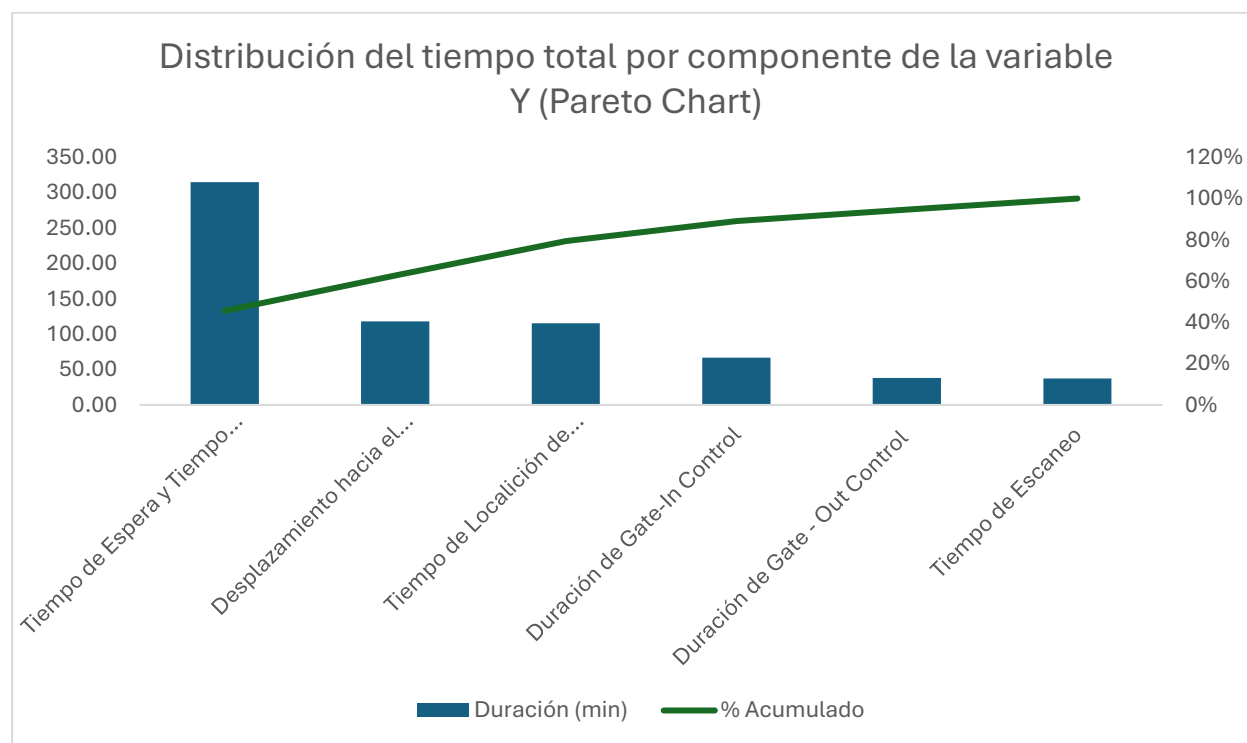
¿Qué?	Tiempo promedio de ciclo de camiones excesivo en el proceso de recepción de contenedores refrigerados llenos
¿Dónde?	Proceso de recepción de contenedores de exportación en el Patio 1 de la terminal portuaria
¿Cuándo?	Durante el último mes de 2025 en el Turno 2
¿Cuánto?	El TTAT promedio es de 30,77 minutos
¿Cómo lo sé?	La empresa ha establecido un objetivo de 15 minutos por camión

El gráfico de Pareto de la Figura 28 se elaboró con el objetivo de identificar en qué componentes del proceso se concentran los mayores tiempos y, por lo tanto, los principales problemas que afectan el TTAT. Los resultados muestran que el 80 % del tiempo total se acumula en tres etapas: tiempo de espera y tiempo de servicio, desplazamiento hacia el Gate-Out

y tiempo de localización de ubicación. Por esta razón, en la siguiente fase del análisis se pondrá el foco en investigar las causas que generan los altos tiempos en estos tres componentes críticos.

Figura 2.28.

Diagrama de Pareto del tiempo total por actividad del proceso de retorno



2.3. Análisis

En esta etapa se identificaron las causas potenciales del problema, concentrándose únicamente en aquellas asociadas a las etapas priorizadas mediante el análisis de Pareto. Posteriormente, se aplicaron diversas herramientas de mejora continua para depurar estas causas, seleccionar las más relevantes y verificarlas, con el fin de determinar finalmente las causas raíz del problema.

2.3.1. Lluvia de ideas

Se llevó a cabo una lluvia de ideas considerando todas las causas potenciales identificadas durante el estudio de observación. Además, se realizaron reuniones con los distintos actores involucrados en las etapas priorizadas en el diagrama de Pareto, entre ellos el

gerente de planificación de patios, el planificador de patio, el gerente de ejecución y control, los supervisores de despachadores y de patio, los despachadores, los operadores de equipo y los conductores de camión; con el fin de que expusieran las causas que desde su experiencia consideraban relevantes. Estas sesiones permitieron que todos los participantes expresaran libremente sus opiniones y percepciones.

Figura 2.29.

Lluvia de ideas con actores internos y externos

	Actores internos y externos							
	Gerente de planificación de patios	Planificador de patio	Gerente de ejecución y control (cliente clave)	Supervisor de despachadores	Supervisor de patio	Despachador de patio	Operadores de equipos	Conductor de camión
Tiempo de identificación de ubicación	Cambio de proyección de ubicación	Conductores de camión perdidos en el patio	Cambios de turno o guardia	Camiones dañados bloquean el paso	Conductores de camión no siguen la ruta de drop-off	Superficie del patio irregular o dañada	Congestión en el patio	Falta de señalización en el patio
Tiempo de espera y de servicio para la recepción de exportación	Máquinas ocupadas en otros bloques	Cuentas de operadores bloqueadas	Interferencia en la comunicación por radio	Máquinas bloqueadas	Proyecciones fantasmas en el sistema	Errores en las proyecciones de contenedores	Baja disponibilidad de máquinas	Falta de coordinación entre áreas
	Change of projection locations	Problemas de conectividad o internet	Priorización de otros tipos de actividades	Los operadores no respetan el orden de llegada	El sistema impide a los operadores iniciar tareas	Retrasos por escasez de combustible	Falta de capacitación de los operadores	Operadores no obedecen al despachador
	Cambios de turno o guardia	Espacio limitado en el patio	El flujo de las filas no sigue una única dirección	Camiones no siguen el orden de llegada	Superficie del patio irregular o dañada	Acumulación de tareas en máquinas paradas	Desequilibrio en la ocupación de bloques	Acumulación de proyecciones en un solo bloque
	El supervisor del patio no comunica los cambios de ubicación	Ciertos tipos de carga no tienen asignado un turno de cita	Los operadores sugieren la ubicación de las unidades	Cambios inesperados en la asignación de máquinas	Las marcas en el piso no coinciden con la ubicación real de los patios	Los despachadores se equivocan al asignar máquinas	Reinicio de dispositivos electrónicos en la sala de control	Combinación de servicios afecta la disposición del patio
Tiempo de desplazamiento hacia el Gate-Out (salida)	Congestión en el patio	Reinicio de dispositivos electrónicos	Camiones dañados bloquean el paso	Cambios de turno o guardia	Superficie del patio irregular o dañada	Falta de señalización en el patio	2 transacciones realizadas durante el tiempo del camión en el patio	

2.3.2. Diagrama Ishikawa

Posteriormente, se elaboraron tres diagramas de Ishikawa, uno para cada una de las etapas priorizadas en el análisis de Pareto: tiempo de identificación de ubicación, tiempo de espera y servicio, y tiempo de desplazamiento hasta la salida. El propósito de estos diagramas fue clasificar las causas propuestas en la lluvia de ideas de acuerdo con las categorías de las 6M: personas, máquina/infraestructura, método, entorno y materiales/insumos.

Figura 2.30.

Diagrama de Ishikawa del tiempo de identificación de locación

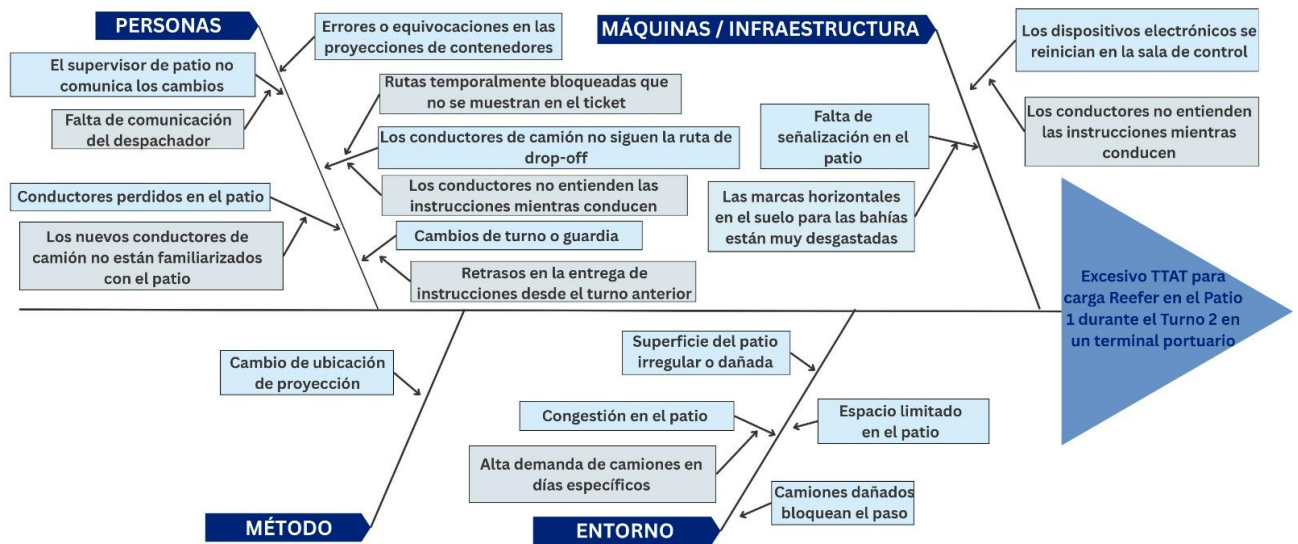


Figura 2.31.

Diagrama de Ishikawa del tiempo de espera y servicio del proceso de recepción de exportación

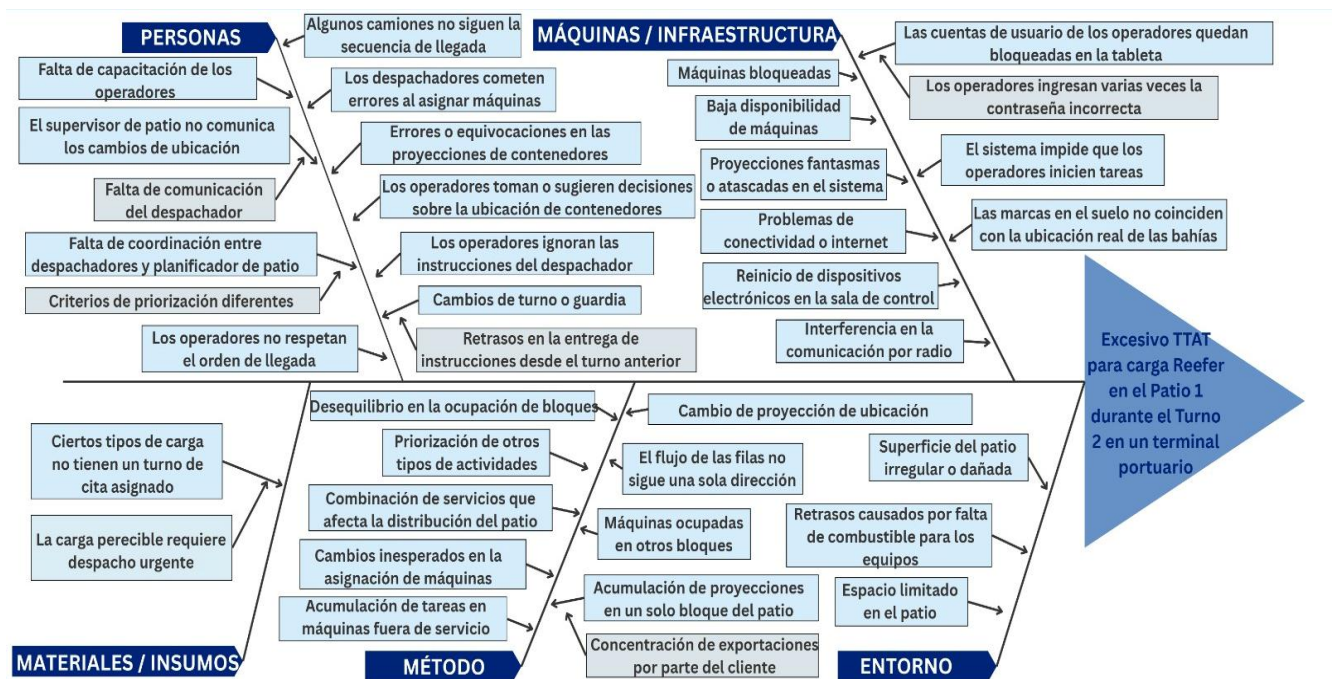
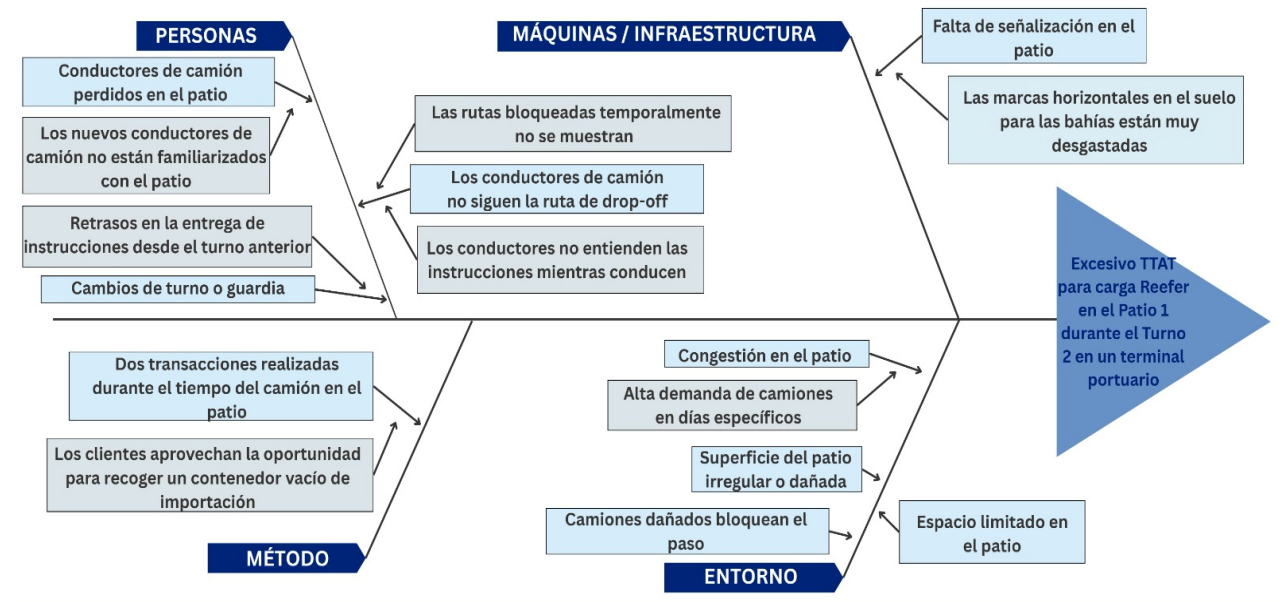


Figura 2.32.

Diagrama de Ishikawa del tiempo de desplazamiento de Gate-Out



2.3.3. Matriz causa-efecto

A partir de las causas potenciales identificadas se elaboró una matriz causa-efecto (tabla X), en la cual todos los actores involucrados en el proceso priorizado evaluaron cada causa utilizando una escala de 0 a 9, donde 9 representa la mayor correlación con el problema y 0 la ausencia de correlación. Para este análisis se realizaron entrevistas al Gerente de Ejecución y Control (cliente clave), al Gerente de Planificación de Patio, al Planificador de Patio, al Supervisor de Despacho, al Supervisor de Patio, a los despachadores de patio, a siete operadores de equipo y a diez conductores de camión. El total de la matriz corresponde a la suma de las calificaciones otorgadas a cada causa por todos los evaluadores y refleja su impacto global respecto del problema; a mayor total, mayor prioridad de intervención.

Figura 2.33.

Matriz causa-efecto por cada causa potencial

Número	Variable X	Gerente de planificación de patios	Gerente de ejecución y control (cliente clave)	Planificador de patio	Supervisor de despachadores	Supervisor de patio	Despachador de patio	Operadores de equipos	Conductor de camión	Total
Persona										
1	Falta de capacitación para los operadores	3	9	3	9	1	1	1	9	6561
2	Supervisor de patio no comunica cambios de ubicación	3	3	3	9	1	9	3	9	59049
3	Falta de coordinación entre Dispatchers y Yard planner	3	3	3	3	9	1	9	1	6561
4	Algunos camiones no respetan la secuencia de llegada en la fila	9	9	9	3	3	3	9	9	1594323
5	Transportistas perdidos en patio	9	3	9	9	9	9	9	3	4782969
6	Dispatchers se equivocan en asignar las máquinas	9	3	9	3	9	1	9	3	177147
7	Errores o equivocaciones en proyecciones de contenedores	3	9	3	9	3	3	9	1	59049
8	Transportistas no siguen las indicaciones del drop off	9	9	9	9	3	9	1	1	177147
9	Operadores deciden/sugieren ubicación de contenedores	1	9	9	3	1	9	3	1	6561
10	Cambio de turnos/guardia	9	9	9	9	3	9	3	9	4782969
11	Operadores no respetan turno de llegada	9	9	9	3	1	9	9	9	1594323
12	Operadores no acatan las indicaciones de los dispatchers	9	9	9	9	3	3	1	1	59049
Máquina/Infraestructura										
13	Máquinas bloqueadas	9	1	1	9	9	9	9	1	59049
14	Poca disponibilidad de máquinas	3	3	9	9	9	9	3	9	1594323
15	Proyecciones fantasmas o colgadas en el sistema	9	1	9	1	0	1	1	0	0
16	Problemas de conectividad/conexión a internet	3	3	9	9	9	9	9	3	1594323
17	Reinicio de dispositivos electrónicos del control room	3	1	3	1	3	3	0	0	0
18	Interferencias en la comunicación por radiofrecuencia	1	9	3	9	9	3	9	0	0
19	Usuarios de los operadores bloqueados en la tablet	3	3	3	9	9	3	9	1	59049
20	El sistema no permite el inicio de tareas para operadores	3	3	9	3	9	3	9	1	59049
21	Falta de señalización en el patio	9	3	9	9	9	9	3	9	4782969
22	Señalización del piso no coincide con la ubicación real de las bahías	9	1	3	9	1	9	1	1	2187
Material/Inputs										
23	Cierto tipo de carga no tiene turno	9	3	9	9	9	9	3	3	1594323
Método										
24	Desbalance en ocupación de bloques	9	3	9	9	3	3	3	3	177147
25	Acumulación de proyecciones de recepción en un solo bloque	3	3	9	9	9	9	9	9	4782969
26	Combinación de distintos servicios en la distribución del patio	9	9	9	9	9	3	9	1	1594323
27	Cambios imprevistos en la asignación de máquinas	9	9	3	9	9	3	1	3	177147
28	Acumulación de tareas en máquinas fuera de servicio	3	9	3	3	3	1	3	3	6561
29	Cambio de ubicaciones de proyección	3	9	3	9	9	9	9	9	4782969
30	Ejecución de 2 transacciones durante su estancia en patio	1	1	3	3	9	9	1	1	729
31	El flujo de la fila no sigue una única dirección	9	3	9	9	3	3	9	9	1594323
32	Máquinas ocupadas en otros bloques	1	9	3	3	9	9	9	9	531441
33	Priorización de otros tipos de actividades	9	9	3	9	9	3	9	9	4782969
Entorno										
34	Congestión en patio	3	3	3	9	9	9	3	9	531441
35	Pisos irregulares o con baches	3	9	3	3	9	1	9	9	177147
36	Camiones dañados obstaculizan el paso	9	1	3	9	9	3	3	1	19683
37	Demora por abastecimiento de combustible para máquinas	3	3	3	9	9	9	1	1	19683
38	Limitado espacio del patio	9	9	3	9	9	9	1	3	531441

Tabla 2.12.

Escala de clasificación para la matriz causa-efecto

Calificación	Descripción
0	Sin correlación
1	Baja correlación
3	Moderada correlación
9	Fuerte correlación

2.3.4. Diagrama de Pareto de causas ponderadas

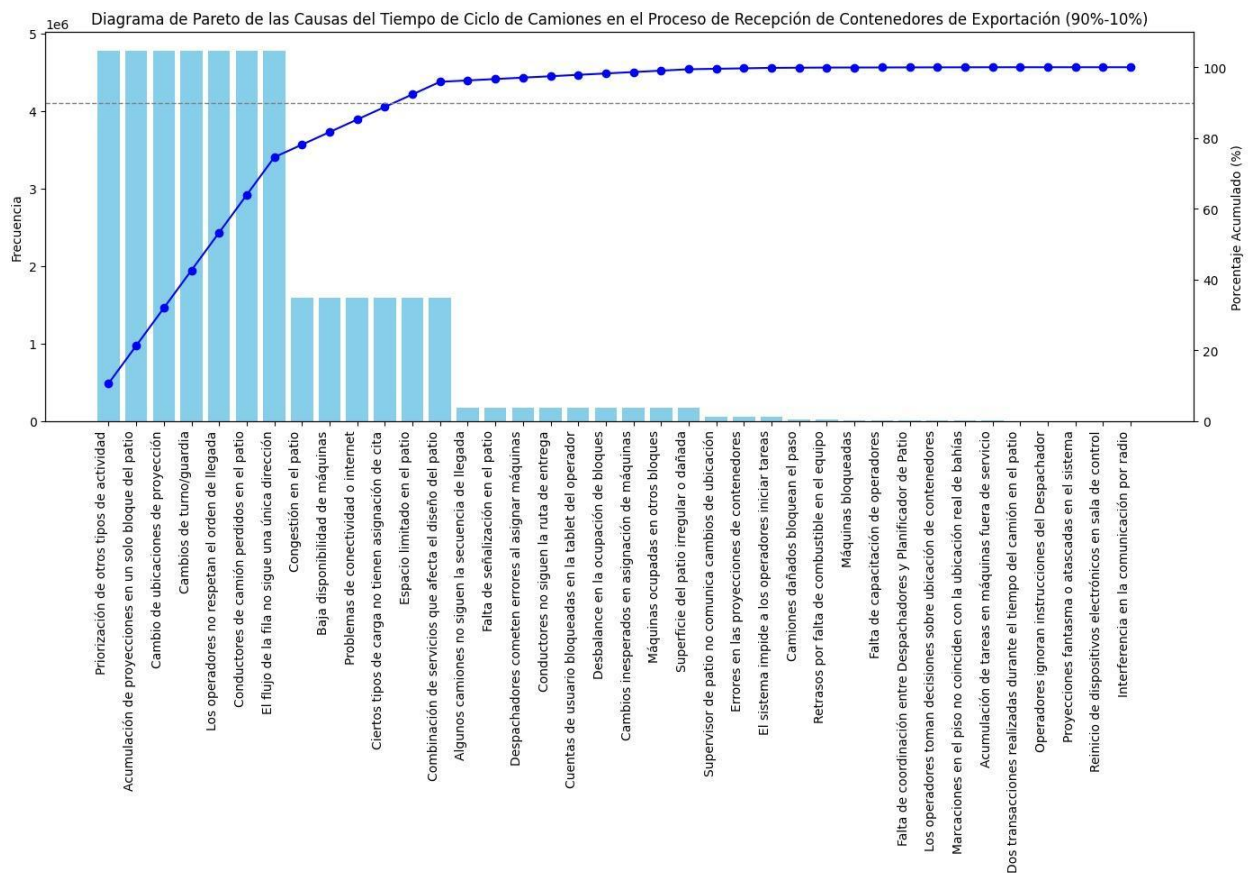
A continuación, se realizó un análisis de Pareto a partir de las calificaciones obtenidas en la matriz causa-efecto, seleccionándose once causas que concentraron el 90 % del impacto en los altos tiempos de TTAT durante la recepción de contenedores de exportación. Estas causas fueron:

- Priorización de otros tipos de actividades.
- Acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio.

- Cambios en las ubicaciones proyectadas.
- Flujo de filas sin una única dirección.
- Conductores de camión desorientados dentro del patio.
- Cambios de turno o guardia.
- Incumplimiento del orden de llegada por parte de los operadores.
- Problemas de conectividad o internet.
- Baja disponibilidad de máquinas.
- Congestión en el patio.
- Falta de asignación de turnos para ciertos tipos de carga.

Figura 2.34.

Pareto de causas potenciales con mayor peso



2.3.5. Matriz Impacto-Control

Se elaboró la matriz impacto-control utilizando las once causas resultantes del análisis de Pareto, clasificándolas según el nivel de impacto en la variable de respuesta y el grado de control requerido para su gestión. Este ejercicio se realizó en conjunto con el cliente clave. Finalmente, se seleccionaron aquellas causas que presentaban un mayor impacto y un menor nivel de control, siendo estas: cambios en las ubicaciones proyectadas, priorización de otros tipos de actividades, cambios de turno o guardia, baja disponibilidad de máquinas y acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio

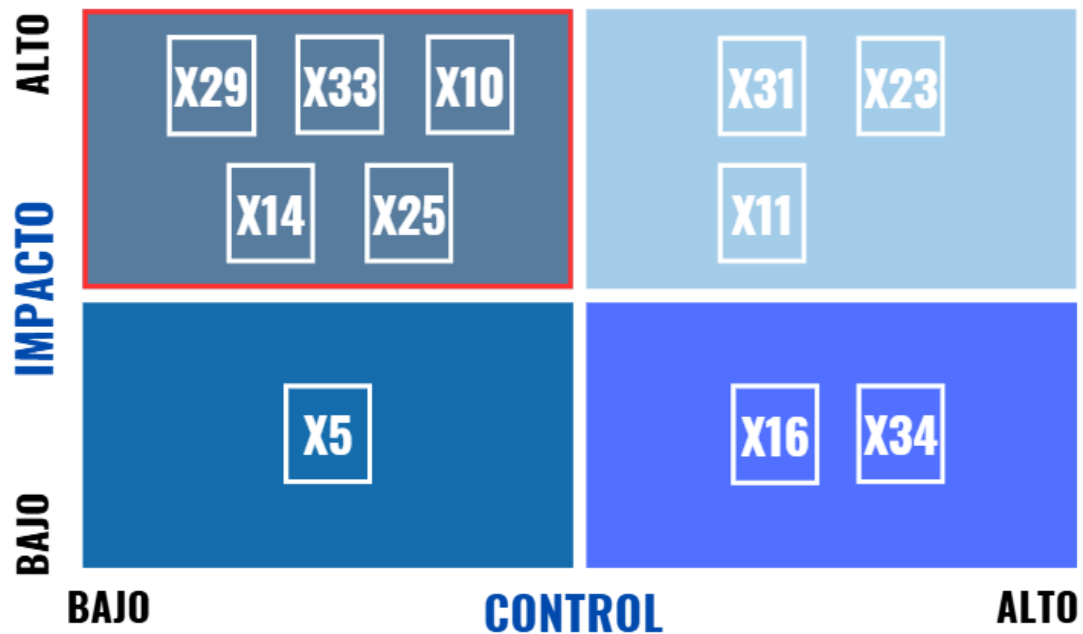
Tabla 2.13.

Causas potenciales para la matriz impacto-control

X's	Causas Potenciales
Método	
X33	Priorización de otros tipos de actividades
X25	Acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio
X29	Cambios en las ubicaciones proyectadas
X31	Flujo de filas sin una única dirección
Persona	
X5	Conductores de camión desorientados dentro del patio
X10	Cambios de turno o guardia
X11	Incumplimiento del orden de llegada por parte de los operadores
Máquina/Infraestructura	
X16	Problemas de conectividad o internet
X14	Baja disponibilidad de máquinas.
Entorno	
X34	Congestión en el patio
Material/Inputs	
X23	Falta de asignación de turnos para ciertos tipos de carga

Figura 2.35.

Matriz impacto-control con las causas resultantes del Pareto



2.3.6. Plan de verificación de causas

Se desarrolló un plan de verificación de causas para las causas seleccionadas a partir de la matriz impacto-control. En este plan se definió la teoría del impacto de cada una de ellas y se llevó a cabo su comprobación mediante métodos estadísticos y análisis de datos. El objetivo fue identificar, con base en evidencia cuantitativa, cuáles de estas causas tienen una relación significativa con los altos tiempos de TTAT y, por lo tanto, contribuyen de manera directa al problema.

Tabla 2.14.*Plan de verificación de causas.*

X's	Causas potenciales	Impacto X→Y (Teoría del impacto)	¿Cómo verificarlo?	Estado
X33	Priorización de otros tipos de actividades	Cuando otras actividades como despachos, movimientos internos para carga o transferencias son priorizadas, los camiones asignados al proceso de recepción deben esperar a que el equipo de patio esté disponible, lo que resulta en un aumento del TTAT.	La prueba Mann-Whitney U (prueba no paramétrica) se utilizará para identificar diferencias significativas en la mediana del TTAT entre escenarios con y sin priorización de actividades durante la recepción. También se usará un diagrama de caja (boxplot) para visualizar la dispersión y respaldar el análisis.	Significativo
X25	Acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio	Concentrar demasiadas proyecciones en un solo bloque provoca saturación de tareas, lo que lleva a congestión operativa y sobreutilización del equipo. Esto reduce la eficiencia, aumenta los tiempos de ciclo de las tareas y retrasa los camiones, incrementando directamente el TTAT.	La prueba Kruskal-Wallis (prueba no paramétrica) se usará para comparar los TTAT de camiones con concentración alta, media y baja de proyecciones. Un diagrama de caja (boxplot) ilustrará las diferencias entre los grupos.	Significativo
X29	Cambios en las ubicaciones proyectadas	Los cambios frecuentes en las ubicaciones proyectadas generan una falta de coordinación entre las áreas operativas y los conductores de camión. Esto obliga a los camiones a realizar movimientos adicionales o reprogramarse, lo que incrementa los tiempos de espera, reduce la eficiencia operativa y aumenta significativamente el TTAT.	La prueba Mann-Whitney U (no paramétrica) se aplicará para comparar las medianas del TTAT entre camiones con y sin cambios de proyección. Además, se utilizará un diagrama de caja (boxplot) para visualizar la dispersión y evaluar si esta diferencia tiene un impacto significativo en el TTAT.	No significativo
X10	Cambios de turno o guardia	Los cambios de turno provocan pausas operativas y una falta de continuidad en las tareas asignadas. Durante el relevo, los retrasos en la entrega de instrucciones al personal entrante resultan en una reanudación tardía de las actividades y largas colas de espera para los	Método de verificación: La prueba estadística no paramétrica Mann-Whitney U se utilizará para comparar las medianas del TTAT entre camiones atendidos durante un cambio de turno y aquellos atendidos en turnos regulares. También se usará un diagrama de caja (boxplot) para visualizar si esta diferencia tiene un impacto significativo en el TTAT.	No significativo

camiones en recepción, lo que incrementa el TTAT.

X14	Baja disponibilidad de máquinas	La baja disponibilidad de equipos durante la recepción de contenedores limita la capacidad para atender varios camiones de forma simultánea. Esto ralentiza la secuencia de servicio, aumenta los tiempos de espera, genera cuellos de botella y retrasa la posición de los camiones en el patio. Como resultado, se incrementan las colas en la entrada del patio y el TTAT.	Se realizará un análisis de correlación de Spearman (no paramétrico) entre la disponibilidad total de equipos (como porcentaje) y el TTAT. Adicionalmente, se aplicará una regresión lineal para evaluar la relación entre ambas variables, complementada con un gráfico de dispersión para identificar visualmente patrones. Estos métodos permitirán determinar si una menor disponibilidad de equipos está asociada con un mayor valor de TTAT.	No significativo
-----	---------------------------------	--	---	------------------

2.3.7 Verificación de causas

2.3.7.1 Priorización de otros tipos de actividades

Para esta etapa se procedió a verificar el impacto de la causa “Priorización de otros tipos de actividades” en el incremento de los tiempos de TTAT durante la recepción de contenedores de exportación. Esta causa hace referencia a situaciones en las que, mientras se está llevando a cabo el proceso de exportación, se da prioridad a otras actividades dentro del bloque del patio, como operaciones de embarque, movimientos internos de contenedores u otras tareas operativas. Cuando esto ocurre, la atención a los camiones que llegan con carga de exportación se interrumpe, obliga a que esperen o incluso a que se trasladen a otro bloque, generando retrasos adicionales.

Los datos utilizados provienen de la muestra cronometrada, considerando únicamente contenedores refrigerados (reefer) completos correspondientes al turno 2. En esta base de datos

se asignó el valor de 0 cuando no existió priorización y el valor de 1 cuando sí se dio prioridad a otra actividad distinta a la recepción como se puede ver en la Tabla 2.15.

Tabla 2.15.

Datos utilizados para la verificación de la priorización de otras actividades

Placa	TTAT (minutos)	Tipo de Carga	Tipo de contenedor	Turno	Priorización
GBP5731	13.73	RH40	FULL	2	0
RAA6516	84.50	RH40	FULL	2	1
TAR0358	27.18	RH40	FULL	2	1
MBD3196	20.78	RH40	FULL	2	1
GTA7435	14.47	RH40	FULL	2	0
PAC1321	20.28	RH40	FULL	2	0
GSF6057	69.62	RH40	FULL	2	1
RBA1141	10.63	RH40	FULL	2	0
GSW2635	86.02	RH40	FULL	2	1
GB08094	24.07	RH40	FULL	2	0
UCA0660	7.75	RH40	FULL	2	0
GBP7595	14.27	RH40	FULL	2	0
RBA2900	8.03	RH40	FULL	2	0
GBQ2360	20.92	RH40	FULL	2	0
PAC5666	10.12	RH40	FULL	2	0
GTI1038	17.12	RH40	FULL	2	0
GB06578	26.17	RH40	FULL	2	0
GBN6886	48.13	RH40	FULL	2	1
GTI1038	70.88	RH40	FULL	2	1
MBA9055	32.07	RH40	FULL	2	1
GBN8140	20.50	RH40	FULL	2	0
PUK0778	29.25	RH40	FULL	2	0
XAA3431	13.62	RH40	FULL	2	0

Para evaluar si esta causa tiene un efecto significativo en los tiempos de TTAT se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Mann–Whitney U, comparando los tiempos entre dos grupos: con priorización y sin priorización. Esta prueba determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,000$) entre ambos grupos, donde los tiempos medianos pasaron de 14,47 minutos cuando no hubo priorización a 58,88 minutos cuando la priorización ocurrió, con un intervalo de confianza del 95,1 %.

H₀: Las medianas de ambos grupos son iguales

H₁: Las medianas son diferentes

Figura 2.36.

Resultados de la prueba de Mann-Whitney U de la priorización de otras actividades

Descriptive Statistics

	Sample	N	Median
Sin priorización		15	14,4667
Priorizando otra actividad		8	58,8750

Test

Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$
W-Value	P-Value
125,00	0,000

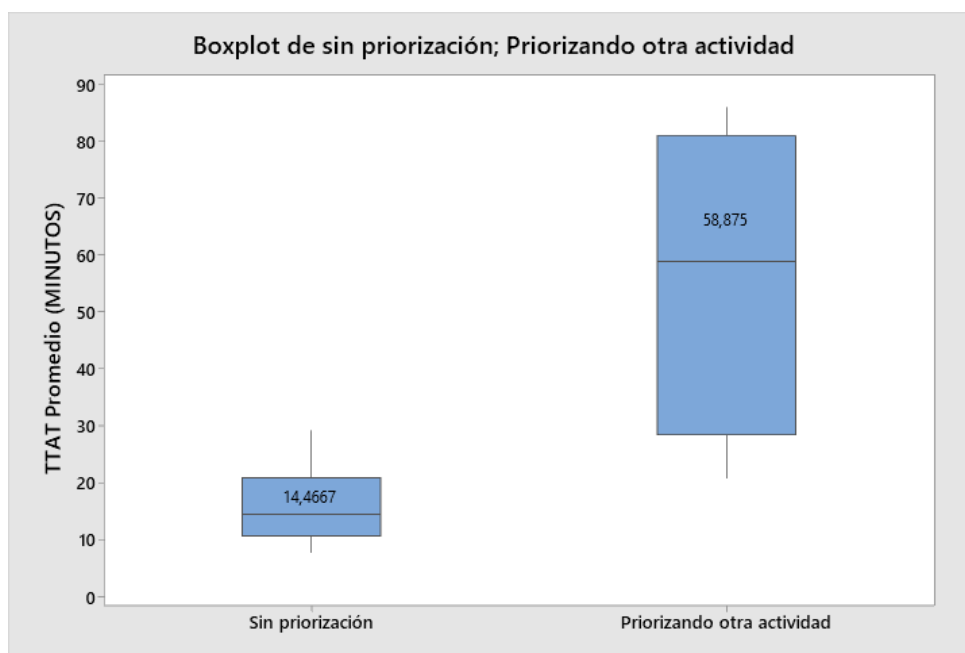
Adicionalmente, se utilizó un diagrama de caja (boxplot) para visualizar esta diferencia.

El gráfico mostró que los tiempos de TTAT son considerablemente mayores cuando existe priorización de otras actividades, alcanzando una mediana de 54,9 minutos frente a los 16,7

minutos cuando no existe priorización, además de evidenciar mayor variabilidad en los tiempos bajo esta condición.

Figura 2.37.

Diagrama de cajas para la verificación de la priorización de otras actividades



Los resultados permitieron rechazar la hipótesis nula y confirmar que la priorización de otras actividades constituye una causa significativa que incrementa el tiempo promedio de ciclo de camiones (TTAT).

2.3.7.2 Acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio

Se procedió a verificar la causa “Acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio”, identificada previamente como una de las más relevantes en el incremento del TTAT. Esta situación ocurre cuando, debido a la llegada simultánea de un gran número de camiones de exportación, los planificadores de patio proyectan la atención de todos estos vehículos en un mismo bloque. Como consecuencia, el bloque se congestiona y se generan filas extensas de espera dentro del área, lo que ralentiza el flujo operativo, obliga a los conductores a permanecer más tiempo en la cola y ocasiona un aumento significativo en los tiempos de ciclo de camiones (TTAT).

Para el análisis se utilizaron datos históricos correspondientes al mes de junio de 2025, en los que se registraron el número de camiones proyectados por bloque y por hora junto con sus tiempos promedio de atención. A partir de esta información se construyeron grupos de concentración utilizando intervalos de ocho camiones por hora, clasificando los datos en tres categorías: baja concentración, concentración media y alta concentración. Esta clasificación permitió segmentar los bloques de acuerdo con el nivel de demanda que soportaron en cada hora analizada.

Tabla 2.16.

Datos utilizados para la verificación de la acumulación de proyecciones en un solo bloque

Bloque	Número de contenedores	TTAT promedio (min)	Hora	Día	Categoría de concentración
A1	1	17.32	15	3	Baja concentración
A1	13	43.12	15	5	Concentración media
A1	5	29.88	15	7	Baja concentración
A1	1	14.07	15	10	Baja concentración
A1	5	24.14	16	5	Baja concentración
A1	7	59.07	16	6	Baja concentración
A1	5	23.68	16	7	Baja concentración
A1	2	61.46	16	9	Baja concentración
A1	2	19.93	16	10	Baja concentración
A1	2	22.40	17	3	Baja concentración
A1	2	13.35	17	5	Baja concentración
A1	24	38.38	21	13	Alta concentración
.					
.					
.					
B3	9	22.16	17	21	Concentración media
B3	3	17.08	18	21	Baja concentración
B3	3	20.43	20	21	Baja concentración
B3	2	18.10	21	21	Baja concentración
B3	1	20.33	22	21	Baja concentración

Con esta base de datos se aplicó la prueba estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis, que permite comparar las medianas de más de dos grupos independientes para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Los resultados obtenidos

mostraron un valor de $H = 10,38$ con un p-valor de 0,006, lo que llevó a rechazar la hipótesis nula e indica que al menos una de las medianas es diferente. Específicamente, los bloques de alta concentración presentaron los tiempos medianos más elevados (34,07 minutos), seguidos por los bloques con concentración media (26,76 minutos) y los de baja concentración (21,87 minutos). Estos resultados evidencian que una mayor acumulación de camiones en un bloque está directamente asociada a un incremento del TTAT.

H₀: Las medianas de ambos grupos son iguales

H₁: Las medianas son diferentes

Figura 2.38.

Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para la acumulación de proyecciones en un solo bloque

Descriptive Statistics

Segmento	N	Median	Mean Rank	Z-Value
Alta concentración	8	34,0667	337,5	1,78
Baja concentración	432	21,8736	240,3	-3,13
Media concentración	55	26,7574	295,3	2,60
Overall	495		248,0	

Test

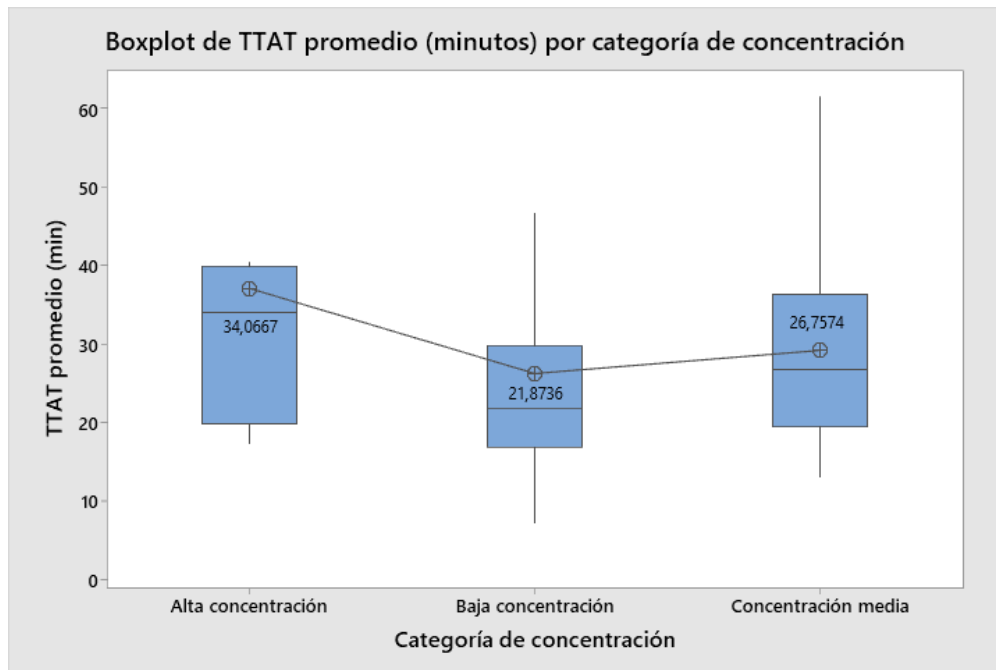
Null hypothesis	H ₀ : All medians are equal		
Alternative hypothesis	H ₁ : At least one median is different		
Method	DF	H-Value	P-Value
Not adjusted for ties	2	10,38	0,006
Adjusted for ties	2	10,38	0,006

Finalmente, para visualizar de forma gráfica esta tendencia se elaboró un diagrama de caja (boxplot), el cual confirma que el TTAT aumenta significativamente cuando los camiones se concentran en un solo bloque. Además, se observa que los bloques con alta concentración no

solo tienen los tiempos más altos, sino también la mayor dispersión de datos, lo que indica una mayor variabilidad en los tiempos de atención y, en consecuencia, un riesgo más elevado de retrasos cuando se genera esta acumulación.

Figura 2.39.

Diagrama de cajas para la acumulación de proyecciones en un solo bloque



2.3.7.3 Cambios en las ubicaciones proyectadas

Se procedió a verificar la causa “Cambios en la proyección de ubicación de los camiones de exportación”, la cual ocurre cuando, después de que los camiones ingresan por Gate-In y reciben la instrucción de drop-off con la ubicación asignada para descargar el contenedor, se les realiza un cambio de proyección a otro bloque. El problema se agrava cuando estos cambios no son comunicados de manera oportuna, ya que los camiones permanecen esperando en un lugar equivocado durante largos periodos, generando retrasos innecesarios y aumentando el tiempo total del ciclo (TTAT).

Para analizar esta causa se utilizaron datos combinados de los registros del estudio cronometrado y datos históricos previamente depurados, con el fin de asegurar una muestra representativa. Se seleccionaron únicamente contenedores refrigerados completos

correspondientes al turno 2. En la base de datos se identificó un cambio de proyección cuando el bloque de apilamiento final no coincidió con el bloque inicialmente asignado al momento del Gate-In.

Tabla 2.17.

Datos utilizados para la verificación del cambio de proyección

Placa	TTAT (minutos)	Tipo de Carga	Tipo de contenedor	Turno	Cambio de proyección
GBP5731	13.73	RH40	FULL	2	No
RAA6516	84.50	RH40	FULL	2	No
TAR0358	27.18	RH40	FULL	2	No
MBD3196	20.78	RH40	FULL	2	Yes
GTA7435	14.47	RH40	FULL	2	No
PAC1321	20.28	RH40	FULL	2	No
GSF6057	69.62	RH40	FULL	2	No
RBA1141	10.63	RH40	FULL	2	Yes
GSW2635	86.02	RH40	FULL	2	Yes
GBO8094	24.07	RH40	FULL	2	No
UCA0660	7.75	RH40	FULL	2	No
GBP7595	14.27	RH40	FULL	2	No
RBA2900	8.03	RH40	FULL	2	Yes
GBQ2360	20.92	RH40	FULL	2	No
PAC5666	10.12	RH40	FULL	2	No
GTI1038	17.12	RH40	FULL	2	No
GBO6578	26.17	RH40	FULL	2	No
GBN6886	48.13	RH40	FULL	2	No
GTI1038	70.88	RH40	FULL	2	Yes
MBA9055	32.07	RH40	FULL	2	Yes
GBN8140	20.50	RH40	FULL	2	No
PUK0778	29.25	RH40	FULL	2	No
XAA3431	13.62	RH40	FULL	2	No

La validación estadística se realizó mediante la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U, la cual compara las medianas del TTAT entre dos grupos: camiones sin cambio de proyección y camiones con cambio de proyección. Los resultados mostraron que, aunque existió una ligera diferencia entre las medianas (20,500 minutos frente a 26,425 minutos), esta no fue estadísticamente significativa ($p = 0,600$), por lo que no se rechazó la hipótesis nula. Esto indica

que los cambios de proyección, en esta muestra analizada, no tienen un efecto significativo sobre los tiempos de TTAT.

H₀: Las medianas de ambos grupos son iguales

H₁: Las medianas son diferentes

Figura 2.40.

Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para el cambio de proyección

Descriptive Statistics

	Sample	N	Median
Sin cambio de proyección		53	24,0667
Con cambio de proyección		34	24,8083

Test

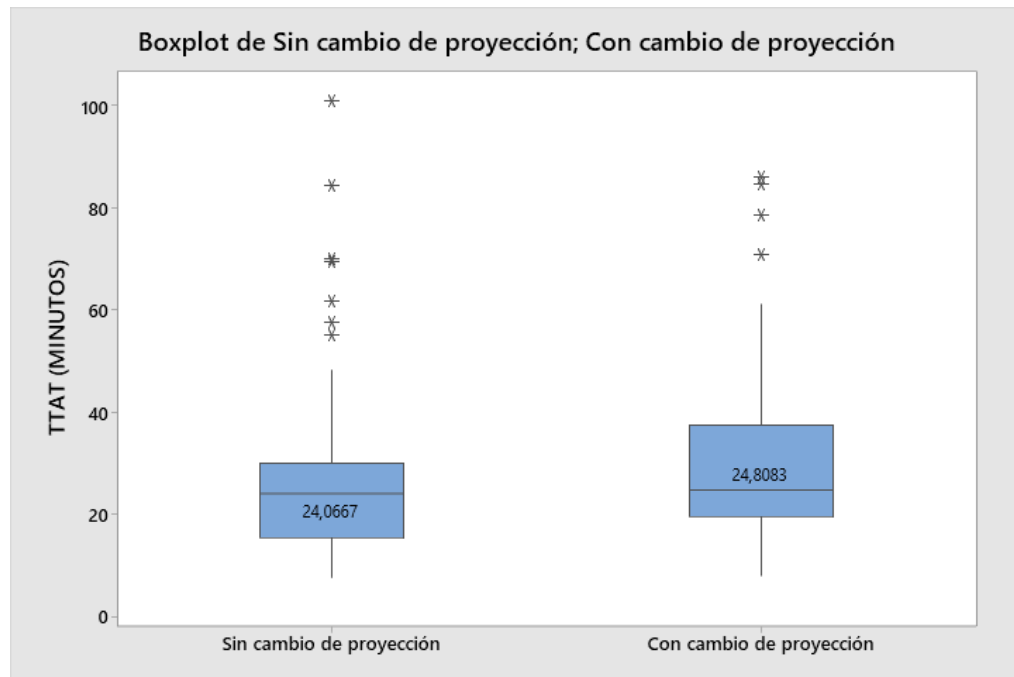
Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Method	W-Value	P-Value
Not adjusted for ties	2213,00	0,303
Adjusted for ties	2213,00	0,303

Finalmente, el boxplot permitió visualizar estas diferencias, mostrando medianas muy similares entre los grupos. Sin embargo, se observó que el grupo con cambios de proyección presenta una mayor dispersión en los tiempos, lo cual sugiere que, aunque el efecto promedio no sea significativo, en algunos casos específicos estos cambios pueden ocasionar retrasos

adicionales. Con base en este análisis, se concluye que la causa “cambio de proyección de ubicación” no es estadísticamente significativa como factor que incrementa el TTAT.

Figura 2.41.

Diagrama de cajas para los cambios de proyección



2.3.7.4 Cambios de turno o guardia

Se verificó la causa “Cambio de turno o guardia”, la cual se produce cuando, al momento del relevo de personal, el proceso toma un tiempo considerable que provoca que los operadores no se encuentren en sus máquinas de manera inmediata. Esta situación genera una disminución temporal en la capacidad operativa del patio, ocasionando que los camiones de exportación que llegan durante ese periodo deban esperar a ser atendidos, lo que incrementa el tiempo total del ciclo (TTAT).

Para analizar el impacto de esta causa se utilizaron datos históricos correspondientes al mes de junio, considerando únicamente los contenedores atendidos en el turno 2 (que inicia a las 15:00), ya que este horario coincide con el momento en que se realiza el cambio de turno. La base de datos incluyó los tiempos TTAT medidos en minutos para cada contenedor y una

identificación que permite diferenciar si fue atendido en horario de cambio de turno o fuera de este.

La validación estadística se realizó mediante la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U, que comparó los tiempos TTAT entre los camiones atendidos durante el cambio de turno y los atendidos fuera de ese periodo. Los resultados mostraron que la mediana del TTAT durante el cambio de turno fue de 26,87 minutos, mientras que en los periodos regulares fue de 25,23 minutos. La diferencia entre ambas medianas fue de apenas 1,2 minutos y no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,143$).

Figura 2.42.

Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para cambios de turno

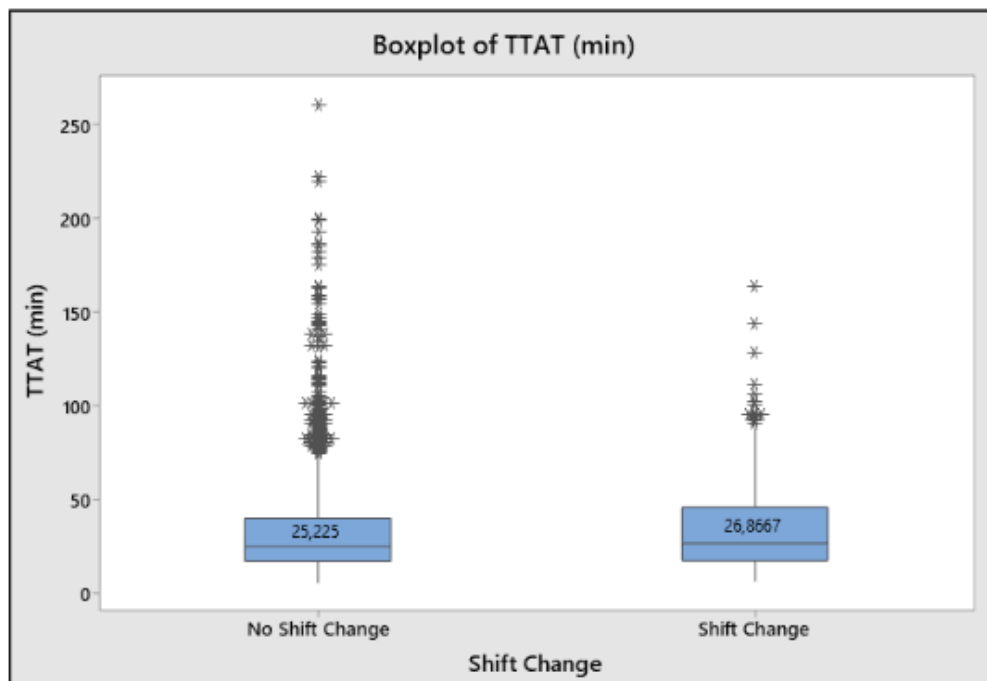
Descriptive Statistics		
Sample	N	Median
Shift Change	381	26,8667
No Shift Change	3370	25,2250
Test		
Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Method	W-Value	P-Value
Not adjusted for ties	744079,50	0,143
Adjusted for ties	744079,50	0,143

Posteriormente, se empleó un diagrama de caja (boxplot) para visualizar los resultados. Este gráfico evidencia que las medianas son muy similares entre los dos grupos y que existe una alta dispersión de datos en ambos casos, con presencia de valores atípicos. Estos hallazgos

confirman que el cambio de turno o guardia no tiene un efecto significativo en el incremento de los tiempos de TTAT.

Figura 2.43.

Diagrama de cajas del TTAT (minutos) por cambio de turno



2.3.7.5 Baja disponibilidad de máquinas

Se realizó la verificación de la causa “Baja disponibilidad de máquinas”, la cual ocurre cuando una parte considerable de los equipos RTG (grúas pórtico) y Reach Stacker se encuentran fuera de servicio debido a mantenimientos correctivos o preventivos, o bien están siendo utilizados en otras actividades distintas a la exportación, como movimientos internos o atención a otras operaciones. Esta situación genera una menor cantidad de equipos disponibles para el proceso de recepción de contenedores de exportación, lo que ralentiza la atención de los

camiones, ocasiona acumulación en los bloques y contribuye al aumento del tiempo promedio del ciclo de camiones (TTAT).

Para el estudio se recopilieron datos diarios del 12 al 30 de junio, exclusivamente para el turno 2, que corresponde a la franja horaria en la cual se registró el mayor flujo de camiones. Los registros incluyeron el número de máquinas operativas, en espera y fuera de servicio, tanto de RTG como de Reach Stacker, así como los tiempos TTAT obtenidos en las operaciones de patio. Con esta información se calculó el porcentaje de disponibilidad operativa, expresado como la relación entre el número de equipos en operación y el total de equipos disponibles cada día.

Con esta base de datos se aplicó en primer lugar un modelo de regresión lineal simple, con el objetivo de evaluar si existe una relación directa entre la disponibilidad de máquinas y el TTAT. Los resultados mostraron que el coeficiente de determinación (R^2) fue de apenas 2,7 %, indicando que la variación en la disponibilidad de máquinas explica una fracción mínima de la variabilidad observada en los tiempos TTAT. Además, el valor p obtenido para esta relación fue

0,502, superior al umbral de significancia de 0,05, por lo que no se pudo establecer que la relación sea estadísticamente significativa.

Figura 2.44.

Resultados de la Regresión Lineal para baja disponibilidad de máquinas

Regression Equation

Total TTAT (min) = 19,5 + 13,2 Total Machine Availability

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	19,5	12,6	1,54	0,142	
Total Machine Availability	13,2	19,3	0,69	0,502	1,00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6,90105	2,70%	0,00%	0,00%

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación no paramétrica de Spearman para confirmar esta relación. Los resultados arrojaron un coeficiente de correlación $r = 0,074$, el cual indica una correlación muy débil y sin significancia estadística. En paralelo, el gráfico de dispersión (scatter plot) mostró los puntos distribuidos de manera aleatoria y sin ninguna

tendencia definida, evidenciando que no existe un patrón consistente que relacione estas dos variables.

Figura 2.45.

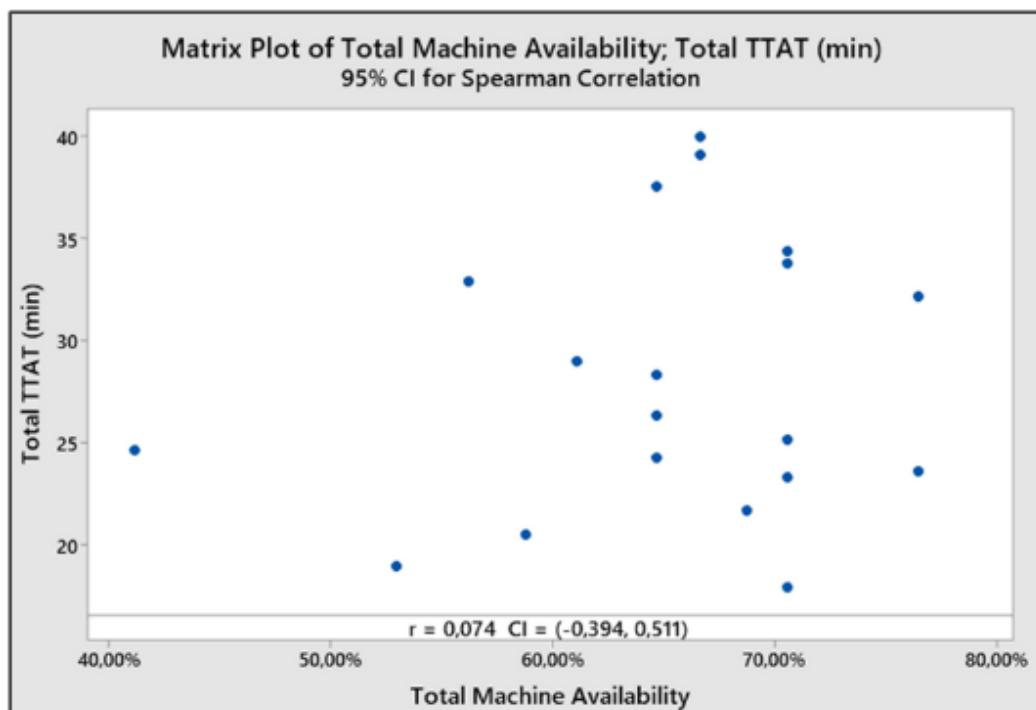
Resultados de la correlación de Spearman para baja disponibilidad de máquinas

Method	
Correlation type	Spearman
Rows used	19

Correlations	
	Total Machine Availability
Total TTAT (min)	0,074

Figura 2.46.

Diagrama de dispersión de la baja disponibilidad de máquinas



2.3.8 Análisis de causa raíz

Con el propósito de identificar las verdaderas causas raíz de los factores que resultaron significativos en la fase de verificación, se aplicó la metodología de los ‘5 porqués’, una herramienta ampliamente utilizada para profundizar en el origen de los problemas y evitar quedarse únicamente en los síntomas. Para este análisis se organizó un focus group con el cliente clave y los supervisores de cada área involucrada en el proceso. Durante esta reunión se analizó cada causa significativa, se indagó de manera sistemática hasta llegar a su origen y, finalmente, se definieron las posibles acciones que permitirán mitigar o eliminar su impacto en los tiempos del TTAT.

Tabla 2.18.*5 Por qué para la priorización de otras actividades*

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Hipótesis	Round 4	Acción
¿Por qué existe priorización de otros tipos de actividades?		¿Por qué los recursos disponibles se reasignan inesperadamente a otros tipos de actividades?		¿Por qué existe una mezcla o desorganización de múltiples actividades dentro del mismo bloque?		¿Por qué no se cumple con el plan de distribución, que está sectorizado por tipo de actividad, tipo de carga y servicio en bloques específicos?	Desarrollar un mecanismo automatizado de distribución que permita una planificación funcional y adaptable alineada con las condiciones reales del patio.
Porque los recursos disponibles se reasignan inesperadamente a otras actividades (como carga de buques, despachos, traslados entre patios, movimientos internos e inspecciones)	Sí	Porque existe una mezcla de actividades dentro del mismo bloque (desorganización operativa).	Sí	Porque el plan de distribución no se sigue, a pesar de que está sectorizado por tipo de actividad, tipo de carga y servicio en bloques específicos.	Sí	Porque la planificación actual no contempla de manera óptima los flujos reales ni la variabilidad operativa.	
Porque el personal encargado de asignar tareas establece prioridades de manera simultánea y sin coordinación.	Sí	¿Por qué el personal encargado de distribuir las tareas establece prioridades simultáneas?	Sí	¿Por qué el enfoque diferente de ambos despachadores genera confusión entre los operadores al ejecutar tareas?	Sí	¿Por qué no existe un criterio operativo definido o una regla común para regular la priorización de actividades según las condiciones operativas actuales?	Establecer un modelo colaborativo de toma de decisiones para los actores involucrados, con reglas de prioridad estandarizadas basadas en escenarios específicos.

Porque hay dos despachadores trabajando en paralelo (uno enfocado en operaciones de buques y el otro en operaciones de patio), aplicando criterios de prioridad diferentes, lo cual genera confusión entre los operadores al ejecutar las tareas.

Porque no existe un criterio operativo unificado ni una jerarquía clara de toma de decisiones que regule la priorización de actividades en situaciones o escenarios específicos.

Porque el proceso actual no incluye un modelo centralizado ni reglas estándar para priorizar entre actividades.

Tabla 2.19.

Por qué para la acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio

Round 1	Hipótesis	Round 2	Hipótesis	Round 3	Hipótesis	Round 4	Hipótesis	Round 5	Acción
¿Por qué hay una acumulación de proyecciones en un solo bloque del patio?		¿Por qué hay un alto volumen de clientes de exportación llegando al patio simultáneamente (concentración de exportación)?		¿Por qué la llegada simultánea de camiones del mismo cliente obliga al planificador del patio a asignarlos a un solo bloque?		¿Por qué los bloques cercanos no están disponibles para recibir ciertos camiones del mismo servicio y tipo de carga?		¿Por qué esto provoca una sobreasignación de equipo de patio para atender ciertas actividades?	Implementar un sistema de planificación operativa que permita una asignación de recursos equilibrada, adaptable y en tiempo real, considerando las diferentes condiciones del patio.
Porque un gran número de clientes de exportación llega al patio al mismo tiempo, lo que provoca concentración en el bloque.	Sí	Porque el cliente envía varios camiones al mismo tiempo con contenedores para el mismo servicio (buque) y tipo de carga, lo que obliga al planificador del patio a asignarlos a un solo bloque.	Sí	Porque los bloques cercanos no están disponibles para recibir camiones del mismo servicio y tipo de carga	Sí	Porque se están realizando actividades como carga de buques y, al coincidir con la presencia de un buque, se requiere más del 50 % del equipo de patio disponible para esas operaciones, lo que lleva a la sobreasignación de recursos.	Sí	Porque la planificación de los recursos operativos, como equipos de patio y personal, no está equilibrada y no se ajusta dinámicamente según la demanda específica de cada proceso.	
						Porque el número de bloques disponibles está limitado según el tipo de servicio y	Sí	¿Por qué los bloques del patio están limitados según el tipo de servicio y carga de	Implementar un sistema de planificación operativa que automatice y

		carga, de acuerdo con un plan predefinido.		acuerdo a un plan predefinido?	estandarice la distribución de tareas y la asignación de bloques, minimizando los ajustes manuales.
				Porque la planificación de la distribución de la carga no es flexible y los ajustes necesarios deben realizarse manualmente cada día utilizando criterios subjetivos.	
Porque existe una acumulación significativa de clientes que llegan sin un turno asignado (sin cita programada)	Sí	¿Por qué hay clientes que llegan sin un turno asignado para su atención (sin cita)? Porque se trata de carga perecible y el cliente exige atención inmediata sin registrarse ni programar un turno específico, lo que impide una planificación adecuada.	Sí	¿Por qué este tipo de carga perecible no permite una planificación operativa adecuada? Porque no existe un sistema de pronóstico de demanda ni una planificación anticipada para manejar citas no programadas.	Implementar un sistema de pronóstico de demanda que permita anticipar y gestionar de forma eficiente tanto los clientes programados como los no programados, optimizando la asignación de recursos operativos.

2.4 Mejora

Durante esta etapa se jerarquizaron las soluciones propuestas, se estimaron los costos de las alternativas seleccionadas y se procedió a su implementación.

2.4.1 Lluvia de idea de soluciones

A partir de la lluvia de ideas con las diferentes partes involucradas se propusieron las siguientes soluciones para cada causa raíz.

Figura 2.47.

Soluciones Propuestas para las causas raíz

Root Causes	Potential Solutions	Descripción	Beneficios	Riesgos
La planificación actual no considera de manera óptima los flujos reales ni la variabilidad operativa.	Implementación de zonas de contingencia como buffers de espacio dentro de la planificación diaria	Definir áreas temporales de reserva para absorber desviaciones o picos en el flujo operativo	Mejora la flexibilidad operativa, reduce congestión e improvisaciones	Reduce temporalmente la capacidad útil con la inadecuada gestión
	Rediseño de la estrategia de distribución de carga del patio mediante sectorización funcional, aplicando un método de optimización de asignación óptima de tipo de carga en bloques específicos	Reconfigurar el patio con zonas funcionales según tipo de carga y flujo operativo	Disminuye tiempos de traslado, mejora la utilización del espacio y reduce costos operativos	Puede requerir cambios físicos, reentrenamiento y pruebas piloto para validación
El proceso actual no incluye un modelo centralizado ni reglas estándar para priorización entre actividades.	Aplicación de un método (algoritmo TOPSIS) para la priorización dinámica de contenedores, integrado en un dashboard operativo que visualiza en tiempo real el ranking según criterios logísticos clave.	Asignar prioridades basadas en criterios como tiempos de entrega, tipo de carga y disponibilidad de recursos	Permite tomar decisiones más objetivas y rápidas durante la operación	Requiere integración con sistemas actuales y validación de criterios por validación de diversos escenarios para priorización
	Implementación un mapa 3D interactivo del patio con indicadores en tiempo real sobre su situación operativa, que recomiende asignaciones óptimas por tipo de contenedor y disponibilidad de espacio (mapas de calor para saturación de bloques).	Visualizar el estado del patio con alertas y recomendaciones de asignación por tipo de carga	Mejora la toma de decisiones, reduce errores humanos y permite una visión global del patio, evitando la búsqueda de bahía por bahía en actual sistema	Alta dependencia tecnológica y necesidad de mantenimiento constante

Root Causes	Potential Solutions	Descripción	Beneficios	Riesgos
La planificación de los recursos operativos (equipos de patio y el personal) no está equilibrada y no se ajusta de forma dinámica según la demanda específica de cada proceso.	Diseño de un modelo de optimización con programación entera mixta (MILP) para establecer la cantidad de recursos requeridos (equipos y personal) de manera eficiente considerando prioridades de proceso, disponibilidad de maquinaria y carga operativa proyectada, complementando al sistema existente.	Permitir asignar recursos críticos de forma óptima y alineada con la demanda operativa	Mejora la eficiencia del uso de recursos, reduce tiempos de espera y evita subutilización o sobrecarga.	Requiere datos históricos consistentes, personal capacitado y validaciones constantes
	Implementación de Heijunka Board Operativo (tablero visual), que muestre la asignación personal-máquina en tiempo real.	Gestionar mediante una herramienta visual la carga de trabajo nivelada, identificando desequilibrios operativos	Facilita la toma de decisiones, balancear la carga de trabajo, optimizar la asignación de recursos y evitar la sobrecarga en equipos o personal específico	No reflejar con precisión si no se actualiza automáticamente y requiere disciplina operativa
	Implementación de dispositivos electrónicos con pantalla gráfica que permitan visualizar la ubicación en tiempo real, la máquina asignada y actualizaciones automáticamente ante cambios imprevistos para los transportistas dentro del patio.	Utilizar un dispositivo entregado en la entrada para mayor visión en el patio, guiando al transportista sin intervención verbal	Reduce tiempos de búsqueda y errores, mejora la trazabilidad operativa y experiencia del usuario	Requiere inversión inicial, mantenimiento de los dispositivos y dependencia del sistema para su funcionamiento
La distribución de carga no se planifica de manera flexible, y los ajustes necesarios deben realizarse manualmente cada día, utilizando criterios subjetivos.	Implementación de un modelo de optimización automatizado para la proyección de contenedores según criterios, integrado al sistema operativo.	Automatizar la planificación diaria considerando restricciones y prioridades, reduciendo la intervención humana	Disminuye errores subjetivos, mejora la precisión y eficiencia operativa	Requiere integración completa con el TOS y ajustes frecuentes de parámetros operativos
	Aplicación de un modelo de clustering sobre el comportamiento de los clientes y sus cargas para agruparlos según características similares (frecuencia, volumen, puntualidad, tipo de servicio) y diseñar estrategias de planificación diferenciadas por grupo.	Segmentar a los clientes para planificar con base en patrones operativos comunes, facilitando decisiones anticipadas	Mejora la previsibilidad, permite estrategias diferenciadas, favorece eficiencia de recursos	Requiere mantenimiento continuo del modelo para mantener la validez de los grupos y necesidad de datos históricos limpios
Ausencia de un sistema de pronóstico de la demanda o una planificación anticipada para gestionar turnos no programadas.	Implementación de un modelo MILP TAS que asigna a cada camión una ventana de horario y bloque óptimos, usando datos históricos y diarios.	Gestionar una asignación anticipada de citas o turnos que optimiza la asignación temporal y espacial del camión	Disminuye la congestión, mejora la puntualidad y equilibra el uso del patio y del personal	Generar resistencia por parte de usuarios no acostumbrados a sistemas de cita
	Desarrollo de un sistema de pronóstico de demanda con modelos de series temporales o redes neuronales recurrentes (LSTM).	Utilizar un Modelo predictivo que anticipa volúmenes de carga entrante en base a patrones históricos y variables exógenas	Anticipar los volúmenes esperados de carga fresca y asignar recursos de forma proactiva	Alto costo computacional y técnico y requiere actualización constante

2.4.1 Matriz de prioridad

Con las soluciones propuestas se elaboró la matriz de prioridad considerando un puntaje en la escala del 1-5, para calificar a cada una de las posibles soluciones de acuerdo a su facilidad, tiempo de implementación, costos, escalabilidad e impacto.

Figura 2.48.

Matriz de prioridad de soluciones propuestas

N°	Soluciones potenciales	Facilidad	Tiempo	Costos	Escalabilidad	Impacto	Total
		0.2	0.1	0.3	0.1	0.3	
S1	Implementación de zonas de contingencia como buffers de espacio en la planificación diaria.	4	4	4	2	2	3.2
S2	Rediseño de la estrategia de distribución de carga del patio mediante sectorización funcional, aplicando un método de optimización de asignación óptima de tipo de carga en bloques específicos	4	3	3	4	5	3.9
S3	Aplicación de un método (algoritmo TOPSIS) para la priorización dinámica de contenedores, integrado en un dashboard operativo en tiempo real el ranking según criterios logísticos clave.	3	3	4	4	3	3.4
S4	Implementación un mapa 3D interactivo del patio con indicadores en tiempo real sobre su situación operativa, incluyendo asignaciones óptimas por tipo de contenedor y disponibilidad de espacio.	4	3	3	5	3	3.4
S5	Diseño de un modelo de optimización con programación entera mixta (MILP) con el fin de establecer la cantidad de recursos requeridos (equipos y personal) de manera eficiente.	4	3	4	3	2	3.3
S6	Implementación de Heijunka Board Operativo (tablero visual), que muestre la asignación personal-máquina en tiempo real.	4	4	3	3	5	3.2
S7	Implementación de dispositivos electrónicos (pager o beeper) integrado con pantalla durante permanencia en patio.	3	3	3	5	3	3.9
S8	Implementación de un modelo de optimización automatizada para la proyección de contenedores según criterios, integrado al sistema operativo.	4	3	2	5	3	3.2
S9	Aplicación de un modelo de clustering sobre el comportamiento de los clientes y sus cargas para agruparlos según características similares.	3	3	3	5	5	3.1
S10	Implementación de un modelo MILP TAS que asigna a cada camión una ventana de horario y bloque óptimos, usando datos históricos y diarios.	3	3	3	5	5	3.8
S11	Desarrollo de un sistema de pronóstico de demanda con modelos de series temporales o redes neuronales recurrentes (LSTM).	2	2	4	4	5	3.7

2.4.2 Matriz Impacto-Esfuerzo

Se elaboró una Matriz de relación de Impacto - Esfuerzo con el propósito de identificar y priorizar las soluciones potenciales en función de su relevancia y factibilidad de implementación.

Esta herramienta permitió visualizar aquellas alternativas que representan oportunidades inmediatas para generar valor.

Dentro de las propuestas evaluadas, se destacan las soluciones clasificadas como de Bajo Esfuerzo y Alto Impacto, las cuales son:

S2: Rediseño de la estrategia de distribución de carga de patio mediante sectorización funcional, aplicando un modelo de optimización para la asignación eficiente de los tipos de carga en bloques específicos.

S7: Implementación de dispositivos electrónicos con pantallas gráficas que permitan mostrar en tiempo real la ubicación de las unidades y actualizaciones automáticas frente a cambios inesperados en la operación de los conductores dentro del patio.

Estas soluciones se convierten en acciones de rápida aplicación, pues demandan un menor esfuerzo de desarrollo y, al mismo tiempo, generan mejoras significativas en la eficiencia operativa.

Por otra parte, dentro de las soluciones de Alto Esfuerzo y Alto Impacto, se seleccionó:

S10: Recomendación de turnos de camiones a través de un modelo predictivo, con el fin de equilibrar las llegadas programadas y no programadas dentro de las diferentes ventanas de tiempo, optimizando así la gestión operativa.

La razón por la que se escogió esta solución se justifica por su potencial estratégico a largo plazo. Aunque implica un mayor nivel de desarrollo e inversión de tiempo, esta propuesta permite optimizar la programación y el control de los flujos de camiones mediante un modelo

predictivo, lo que impacta directamente en la reducción de tiempos de espera y en la planificación eficiente de los recursos.

No obstante, es importante reconocer que esta solución está complementada con el soporte del área Comercial, el cual, tiene la responsabilidad de ser vía de comunicación directa con el cliente para el reconocimiento del beneficio sobre la solución predicha.

Figura 2.49.

Matriz Impacto-Esfuerzo



2.4.3 Plan de implementación

Se elaboró un plan de implementación para las soluciones priorizadas en la matriz impacto–esfuerzo, cuyo detalle se presenta en la tabla 2.20.

Tabla 2.20.

Plan de implementación de las soluciones

Causas fundamentales	Nº	Soluciones Potenciales	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cuánto?	Estado
La planificación actual no tiene en cuenta de forma óptima los flujos reales ni la variabilidad operativa.	S2	Rediseño de la estrategia de distribución de carga de patio mediante sectorización funcional, aplicando un modelo de optimización para la asignación óptima de tipos de carga en bloques específicos.	Para reducir las transferencias internas, mejorar la eficiencia del patio y garantizar una asignación alineada con el tipo de carga y el equipo del patio.	Mediante el desarrollo de un modelo MILP, apoyado por un rediseño de trazado, pruebas de simulación y capacitación del personal de planificación.	En las zonas de operación del patio (Bloques A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, D1, G1, H2, H4), con integración entre operaciones y TI.	2/08/2025 - 29/08/2025	Líderes de proyecto, Yard Planner Manager y Supervisor Dispatcher	\$6650	En proceso
La planificación de los recursos operativos, como equipos de patio y personal, no está equilibrada y no se ajusta dinámicamente según la demanda específica de cada proceso.	S7	Implementación de dispositivos equipados con pantalla para mostrar la ubicación en tiempo real y la máquina asignada a los conductores en el patio.	Mejorar la asignación dinámica de equipos y personal del patio según las necesidades operativas en tiempo real y reducir los retrasos debidos a la falta de comunicación.	Mediante la implementación de dispositivos PDA en puntos de control clave, conectados al TMS, se visualizarán las asignaciones en tiempo real y se enviarán alertas a conductores y operadores. Se realizarán pruebas piloto.	En los puntos de control operacional en todo el patio (control de entrada, zonas de operación del patio y control de salida)	6/08/2025 - 29/08/2025	Líderes de proyecto, equipo de TI, Supervisor Gate y Gerente General	\$36270	En proceso
No existe un sistema de previsión de la demanda ni una planificación anticipada para gestionar citas	S10	Recomendación de turnos de camiones a través de un modelo predictivo, equilibrando llegadas	Reduzca la congestión y mejore la eficiencia de la planificación al recomendar franjas	Mediante un modelo de regresión predictiva, se emitirán recomendaciones a los clientes al momento del	En la interfaz del sistema de citas de puerta.	3/08/2025 - 29/08/2025	Líderes de proyecto, Yard Planner Manager y Senior Planner	\$6150	En proceso

no programadas.		programadas y no programadas en diferentes ventanas de tiempo.	horarias óptimas para la programación de camiones, incluso bajo una demanda incierta.	registro, considerando las cinco ventanas de tiempo con el TTAT más bajo. Se realizarán pruebas simuladas.					
-----------------	--	--	---	--	--	--	--	--	--

2.4.4 Análisis Económico

Se estimaron los costos de implementación de cada solución, cuyo detalle se presenta en las tablas 2.21, 2.22 y 2.23.

Tabla 2.21.

Análisis Económico S1

N°	Posibles soluciones	Costos de consultoría (horas-hombre)	Costos de desarrollo del modelo (MILP + simulaciones + análisis de sensibilidad)	Costos de capacitación (3 talleres + manual de usuario)	Costos de licencia de software (GAMS)	Costos de desarrollo de prototipos	Costo Total
S2	Rediseño de la estrategia de distribución de carga en patios mediante un modelo de optimización para la asignación óptima de tipos de carga a bloques específicos.	90 h × \$40/h (Horas de consultoría requeridas por 3 semanas × tarifa por hora)	\$600 (Formulación Matemática)	Número de talleres técnicos × costo por sesión: 3 sesiones x \$150	\$200	\$300 (Presentación de diseños y planos optimizados en Excel o Power BI)	\$6650
			\$800 (Codificación inicial y programación GAMS)				
			\$500 (Análisis de sensibilidad)	\$200 (Manual de usuario)			
Total		\$3600	\$1900	\$650	\$200	\$300	

Tabla 2.22.*Análisis económico S2*

Nº	Posibles soluciones	Costos de adquisición de dispositivo	Unidades a adquirir	Costo de la conexión Wi-fi	Recursos humanos involucrados	Horas trabajadas	Costo por hora	Costo de capacitación	Costo de mantenimiento	Costo Total
S7	Implementación de dispositivos electrónicos con pantallas gráficas para mostrar ubicación en tiempo real, máquina asignada y actualizaciones automáticas ante cambios inesperados de los conductores dentro del patio.	\$150 - \$250 por unidad (inversión única)	200 unidades	\$50	Operadores de Sistemas, Coordinadores de Patio, Gate Clerks	320 horas/año	\$10/h	\$20 (inversión única)	\$3000/año (cada año)	\$36270

Tabla 2.23.*Análisis económico S3*

Nº	Posibles soluciones	Costos de consultoría (horas-hombre)	Costos de desarrollo de modelos (MILP TAS + simulaciones + teoría de colas)	Costos de capacitación (3 talleres + manual de usuario)	Costos de desarrollo de prototipos	Costo Total
S10	Rediseño de la estrategia de distribución de carga en patios mediante un modelo de optimización para la asignación óptima de tipos de carga a bloques específicos.	80 h × \$40/h (Horas de consultoría requeridas por 3 semanas × tarifa por hora)	\$700 (Formulación Matemática)	Número de talleres técnicos × costo por sesión: 4 sesiones x \$150	\$400 (Presentación del modelo y planos en Excel)	\$6150
			\$800 (Programación inicial y en Python)			

			\$200 (Análisis de sensibilidad)	\$250 (Manual de usuario)		
	Total	\$3200	\$1700	\$850	\$400	

2.4.4 Simulación de Soluciones

2.4.4.1 Solución 1: Rediseño de la distribución de carga en patio mediante un modelo de optimización

La primera solución se centró en el rediseño de la estrategia de distribución de la carga en el patio utilizando un modelo matemático de Programación Lineal Entera Mixta (MILP). Esta formulación permitió asignar de manera óptima los distintos tipos de contenedores a los bloques y bahías, considerando las restricciones operativas del terminal y los objetivos estratégicos de eficiencia.

En este sentido, se presenta la formulación matemática del modelo para la redistribución de la carga en el patio, donde se definieron conjuntos, parámetros y variables de decisión que representaron las condiciones reales de la operación. A partir de estos elementos, se estableció una función objetivo orientada a minimizar el Truck Turnaround Time (TTAT) promedio de los camiones y un conjunto de restricciones que garantizaron la viabilidad técnica y operativa de las soluciones propuestas.

Modelo

Conjuntos

I: Tipo de carga $\{20DRY_{Full}, 20DRY_{Vacío}, 40Dry_{Full}, 40DRY_{Vacío}, 40Reefer_{Full}, 40Reefer_{Vacío}\}$

J: Bloques del patio $\{A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, D1, H1, H2, H3, H4\}$

B: Bahías de los bloques $\{B1 * B37\}$

R: Rows o filas de las bahías $\{1 * 15\}$

S: Servicios o rutas establecidas $\{Conosur, TPM, Medcar, Mediterraneo, Axl Norte, Axl Sur\}$

P : Puertos de Destino $\{AGP, ALG, ANF, ARI, BCN, BUE, BUN, CLL, CNR, CTG, CVV, ESE, GOA, \dots\}$

Subconjuntos

$BB(j, b)$: Pares de bahías en bloque $\{A1.B1, A1.B2, A1.B3, A1.B4, A1.B5, A1.B6, \dots\}$

$Adj(j, b)$: Pares de bahías (b, b') consecutivas $\{B1.B2, B2.B3, B3.B4, B4.B5, B5.B6, B6.B7, \dots\}$

$Reefer(i)$: Tipo de carga Reefer $\{40Reefer_{Full}, 40Reefer_{Vacio}\}$

$Dry(i)$: Tipo de carga Dry $\{20DRY_{Full}, 20DRY_{Vacio}, 40Dry_{Full}, 40DRY_{Vacio}\}$

$PS(p, s)$: Puertos asociados al servicio $\{Axl Norte.CNR, Axl Norte.CTG, \dots\}$

$Norte(j)$: Bloques establecidos en la zona Norte $\{A4, A3, B4, B3, H1, H2, H4\}$

$EspServicios(s)$: Servicios con prioridad NORTE $\{TPM, Medcar\}$

Parámetros

D_{isp} : Demanda de contenedores para (i, s, p)

$TTAT_{ijb}$: Tiempo promedio de ciclo de camiones para i en (j, b)

$RowsCap_{jb}$: Cantidad de filas máxima en (j, b)

$Comp_{ijb}$: $\begin{cases} 1, & \text{Compatibilidad de la carga } i \text{ en } (j, b) \\ 0, & \text{Caso Contrario} \end{cases}$

$Plugs_{jb}$: Cantidad de tomas Reefer en (j, b)

α : Porcentaje del tiempo crítico representativo del TTAT

$$TotalDem = \sum_{i,s,p} D_{isp} > 0$$

Variables de Decisión

X_{ispjbr} : $\begin{cases} 1, & \text{Si } (i, s, p) \text{ se asigna en la fila } r \text{ de la bahía } b \text{ en el bloque } j \\ 0, & \text{Caso Contrario} \end{cases}$

Z_{sjb} : $\begin{cases} 1, & \text{Si el servicio } s \text{ se asigna en la bahía } b \text{ del bloque } j \\ 0, & \text{Caso Contrario} \end{cases}$

Función Objetivo

$$\min Z = \frac{\alpha}{TotalDem} \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{(j,b) \in EBB} \sum_{r \in R} TTAT_{ijb} \cdot X_{ispjbr}$$

Restricciones

R1: Satisfacción de demanda

$$\sum_{(j,b) \in EBB} \sum_{r \in R} X_{ispjbr} \geq D_{isp} \quad \forall i \in I \quad \forall s \in S \quad \forall p \in P$$

R2: Compatibilidad de carga Reefer y capacidad por bahía

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} X_{ispjbr} \leq RowsCap_{jb} \cdot Comp_{ijb} \quad \forall i \in I \quad \forall (j, b) \in BB$$

R3: Exclusividad de servicio por bahía

$$\sum_{s \in S} Z_{sjb} \leq 1 \quad \forall (j, b) \in BB$$

R4: Una unidad por posición (fila) de bahía

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} X_{ispjbr} \leq 1 \quad \forall (j, b) \in BB \quad \forall r \in R$$

**R5: Limitación del mismo servicio en bahías consecutivas con torres
(Conexión de cables de ambas bahías)**

$$Z_{sjb} + Z_{sjb'} \leq 1 \quad \forall s \in S \quad \forall j \in J \quad \forall (b, b') \in Adj(j, b) \in BB, (j, b') \in BB \text{ con } Plugs_{jb} \geq 1, Plugs_{jb'} \geq 1$$

R6: Enlace de Variables de Decisión

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} X_{ispjbr} \leq RowsCap_{jb} \cdot Z_{sjb} \quad \forall s \in S \quad \forall (j, b) \in BB$$

R7: Restricción priorización en zona Norte

$$Z_{sjb} = 1 \quad \forall s \in EspServicios \quad \forall j \in Norte(j) \quad \forall (j, b) \in BB$$

R8: Máximo 1 bahía por bloque para cada servicio

$$\sum_{(j,b) \in BB} Z_{sjb} \leq 1 \quad \forall s \in S \quad \forall j \in J$$

R9: Restricción Variables binarias de asignación

$$X_{ispjbr} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall s \in S \quad \forall p \in P \quad \forall j \in J \quad \forall b \in B \quad \forall r \in R$$

R10: Variables binarias de activación

$$Z_{sjb} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S \quad \forall j \in J \quad \forall b \in B$$

Datos empleados en el modelo

Para representar fielmente las condiciones reales de operación, el modelo utilizó como insumos:

- El número de contenedores diferenciados por tipo de carga, servicio y puerto.
- El tiempo promedio de atención de camiones (TTAT) por tipo de carga y bahía.

- La cantidad de tomas para contenedores refrigerados por bahía.
- La compatibilidad de cada tipo de carga con las bahías disponibles (Carga Dry en bahías sin torres, Carga Reefer en bahías con torres).
- El máximo de filas y bahías disponibles por bloque.
- La zonificación operativa del patio en sectores Norte, Centro y Sur.

Asimismo, el objetivo del modelo fue minimizar el TTAT promedio de los camiones, ponderando los tiempos de cada tipo de carga por el volumen de contenedores asignados.

Para garantizar resultados factibles y consistentes con la operación real, el modelo incluyó las siguientes restricciones:

1. Cumplimiento de la demanda de contenedores: Garantiza que se ubique todo el número de contenedores requeridos por tipo de carga, servicio y puerto.
2. Compatibilidad entre bahías y tipo de carga: Solo se asignan contenedores a bahías compatibles: Carga Dry en bahías sin torres, Carga Reefer en bahías con torres y también respeta la capacidad máxima de filas en cada bahía.
3. Exclusividad de servicios por bahía: Una bahía puede estar asignada a lo sumo a un solo servicio.
4. Capacidad máxima por fila: Cada fila de bahía solo puede contener un contenedor.
5. Limitación a una bahía por bloque para cada servicio: Un servicio puede ocupar máximo una bahía dentro de un mismo bloque.
6. Prohibición de ubicar un mismo servicio en bahías consecutivas con torres para contenedores refrigerados.

7. Vinculación entre la variable de asignación de contenedores y la variable de activación del servicio.
8. Restricción de uso de la zona Norte solo para servicios TPM y Medcar.

Finalmente, a partir del modelo previamente desarrollado se elaboró una nueva propuesta de diseño del plano. La Tabla 2.24 presenta la comparación entre la situación previa (sin optimización) y la situación posterior (con optimización).

Tabla 2.24.

Comparación Sin optimización y Con Optimización de la propuesta

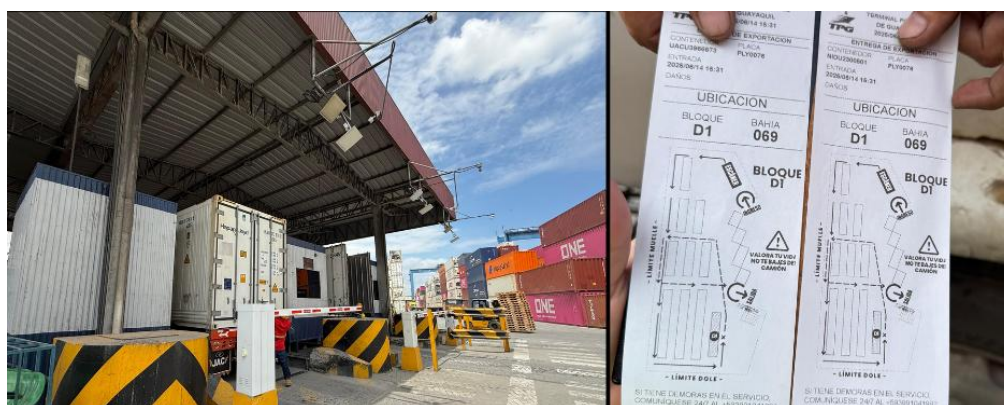
Características	Sin Optimización	Con Optimización
Número de puertos por bahía	1 puerto asignado en cada bahía (operación enfocada en una sola máquina).	2 puertos establecidos en cada bahía, lo que permite mayor distribución de servicios y operación en paralelo.
Ubicación de servicios de alto volumen	Los servicios con mayor volumen se encontraban dispersos en todos los bloques.	Los servicios de mayor volumen se localizaron más cerca del muelle, reduciendo tiempos de traslado.
Distribución por tipo de contenedor	Sectores limitados únicamente para vacíos o para llenos en contenedores secos.	Se permitió la combinación de vacíos y llenos en sectores asignados a carga seca.
Uso de tomas reefer	Uso completo de las torres de conexión, lo que obligaba a recurrir a tomas externas en Power Packs.	Cumplimiento estricto del número máximo de conexiones disponibles en tomas reefer.

2.4.4.2 Solución 2: Implementación de dispositivos con pantalla digital para la visualización en tiempo real de la ubicación por parte de los transportistas en el patio

Actualmente, en la operación del terminal, cuando un camión ingresa por Báscula Gate In, al conductor se le entrega un papel con la instrucción de bloque y ubicación asignada para su contenedor. Este mecanismo, presenta limitaciones significativas, generando un costo anual de aproximadamente \$9.000 en uso de papel, incrementa el riesgo de que los transportistas se desorienten aún más dentro del patio y dificulta la comunicación de cambios de última hora en las asignaciones.

Figura 2.50.

Papel entregado en Gate-In



En la propuesta de la Solución 7 se planteó reemplazar este esquema tradicional por el uso de dispositivos móviles industriales (PDAs) equipados con pantalla y conectividad WiFi, los cuales se conectan directamente al Terminal Management System (TMS).

Por tanto, la entrega de instrucciones se automatizó, permitiendo mostrar al conductor en tiempo real tanto la ubicación asignada como cualquier reasignación o cambio que se produzca durante la operación.

Figura 2.51.

Utilización del dispositivo electrónico



Se proyecta contemplar la adquisición de 200 PDAs industriales, resistentes a condiciones operativas exigentes, con autonomía de batería para una jornada completa y una vida útil estimada de entre 5 y 7 años. Estos dispositivos permiten: Sincronización en tiempo real

con el TMS, visualización del mapa del patio con actualización automática de cambios y funcionalidad de llamadas en caso de emergencia.

Para su manejo logístico, se dispondrá de dos contenedores plásticos ($40 \times 60 \times 18$ cm) que facilitan el almacenamiento y transporte seguro de los equipos.

Figura 2.52.

Contenedores Requeridos para transportar los dispositivos



Flujo de la operación con funcionamiento de los dispositivos

Para verificar el funcionamiento e implementación de la propuesta, se realizó una prueba piloto con una muestra de 87 camiones, donde se realizó un estudio cronométrico con el uso de

los dispositivos y se evaluó la capacidad de respuesta del sistema frente a cambios de bloque y reasignaciones en tiempo real.

El funcionamiento diario de la solución se desarrolló de la siguiente manera:

Ingreso del camión: En Báscula Gate In, cuando cada conductor registra su llegada, se le entregó un PDA en el cual ya estará cargada la asignación de bloque generada por el planificador de patio en el TMS.

Navegación en el patio: Cada conductor se dirigió a su destino guiado por la información del dispositivo, que muestra la ubicación asignada en un mapa digital tipo GPS. En caso de reasignación, el cambio se actualiza automáticamente en pantalla.

Salida del camión: En Gate Out Báscula, el Gate Clerk validó la operación en el sistema y cierra la tarea correspondiente en el dispositivo, lo que habilita la salida del camión.

2.4.4.3 Solución 3: Recomendación de turnos de camiones a través de un modelo predictivo para la llegada en la ventana horaria óptima

Para fortalecer el control sobre la gestión de citas de los camiones, especialmente aquellas no anticipadas, se implementó la solución de que, al momento de registrar el contenedor y el camión, y seleccionar la fecha y hora de la cita, el sistema recomiende al cliente las cinco ventanas horarias más convenientes para su arribo al puerto. Para ello, se desarrolló un modelo predictivo que estima el tiempo de ciclo de los camiones en el puerto según cada día y horas disponibles. Con base en estas estimaciones, el sistema identifica las cinco franjas con menores tiempos de ciclo, las cuales se muestran al cliente resaltadas en color verde dentro del sistema de turnos, acompañadas de un mensaje que destaca los beneficios de elegir dichas opciones.

Para la construcción del modelo predictivo se inició con la selección de las variables explicativas a utilizar para estimar la variable de respuesta, correspondiente al tiempo de ciclo de los camiones (TTAT). Estas variables se presentan en la tabla. Dado que la variable de respuesta es continua y expresada en minutos, se optó por utilizar modelos de regresión, ya que permiten

capturar con mayor precisión la relación entre las características predictoras y el resultado esperado. Los datos se dividieron en un 80% para entrenamiento y un 20% para prueba.

Tabla 2.25.

Variables predictivas del modelo de Regresión de Random Forest

Hora de la Semana	Semana	# Servicios	Turno	TTAT	# Exportadores	# Puertos	Congestión en patio promedio
126	6	3	3	47	5	5	22
103	5	4	1	43	6	7	27
118	5	4	2	42	9	9	31
120	6	4	3	42	9	9	35
95	4	5	3	41	14	13	40
125	6	3	3	41	5	5	20
47	2	5	3	41	12	13	34
119	5	4	3	41	8	8	33
80	4	3	1	41	5	5	18
				.			
				.			
				.			
162	7	2	2	21	2	3	18

En el conjunto de entrenamiento se evaluaron distintos algoritmos de regresión, entre ellos Random Forest, HistGradientBoosting, Gradient Boosting, SVR, KNN y Ridge con polinomios. Cada uno fue implementado en un pipeline y optimizado mediante GridSearchCV con validación cruzada, lo que permitió identificar la mejor configuración de hiperparámetros. Posteriormente, los modelos se evaluaron en el conjunto de prueba comparando el desempeño mediante el coeficiente de determinación (R^2). El Random Forest Regressor obtuvo los mejores resultados, por lo que se seleccionó como modelo final. Este fue ajustado explorando

hiperparámetros clave y validado con métricas adicionales como MAE, RMSE y la exactitud ± 10 min. El modelo entrenado se guardó en disco para su uso operativo y se analizaron las importancias de variables, evidenciando cuáles aportaban más a la explicación del TTAT.

Tabla 2.26.

Métricas de desempeño del modelo predictivo

R ²	0.61
RMSE	2.45 min
MAE	2.07 min

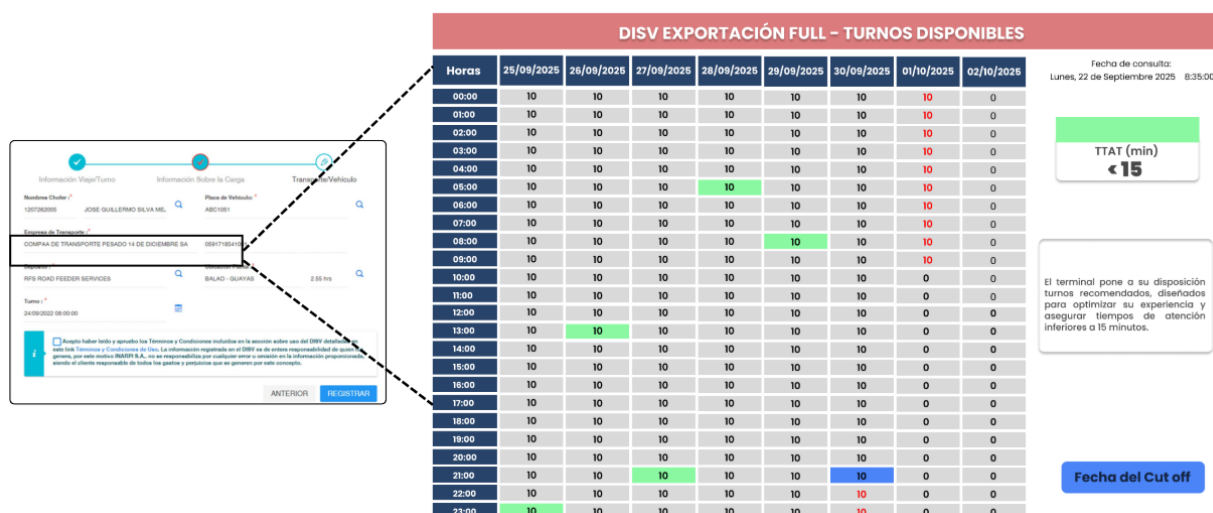
Con base en este modelo, al momento de registrar un contenedor en el sistema de turnos se cargan automáticamente los valores de sus variables explicativas. El modelo calcula los tiempos de ciclo esperados para cada combinación de día y hora y los ordena de menor a mayor, destacando en color verde las cinco ventanas horarias más convenientes, como se observa en la Figura 2.53.

El área de Operaciones es el responsable de gestionar la disponibilidad de turnos para cada tipo de contenedor. No obstante, resulta indispensable el apoyo del área Comercial para difundir esta nueva política entre los exportadores, a través del manual o guía para la creación de DISV y la programación de turnos, como se muestra en la imagen. De esta forma, se busca

influir en los usuarios para que adopten las recomendaciones de horarios propuestas y así optimizar la utilización de los turnos disponibles.

Figura 2.53.

Visualización de la nueva modalidad del sistema de turnos propuesto



2.5 Simulación de soluciones

Para la simulación de las tres soluciones propuestas, se utilizó la data histórica correspondiente a la segunda y tercera semana de agosto, enfocándonos específicamente en el turno 2 y en los contenedores full reefer. Estos datos sirvieron como insumo inicial para la solución 3, ya que contenían las variables explicativas requeridas por el modelo de regresión Random Forest. Con este modelo se estimó el TOP 5 de franjas horarias más favorables para cada camión. Posteriormente, a cada camión se le asignó la franja con menor tiempo de ciclo, lo que permitió determinar la cantidad de camiones que llegarían al puerto en cada hora y día, junto con su respectivo tipo de servicio y puerto, como se muestra en la imagen.

Tabla 2.27.*Resultados del modelo predictivo*

Día de recepción	Día de la semana	Hora asignada	Servicio	Puerto	Cuenta de contenedores	TEUS
11	1	15	MEDCAR	MLA	1	2
11	1	15	MEDITERRANEO SOUTH WEST	VGO	2	2
11	1	16	MEDCAR	MLA	1	2
11	1	17	AMERICAS XL NORTE	PEF	1	2
11	1	17	CONO SUR	SAI	2	2
11	1	17	MEDCAR	LIV	1	2
11	1	17	MEDITERRANEO SOUTH WEST	LIV	1	2
· · ·						
20	3	20	AMERICAS XL SUR	SAI	1	2

Con esta información, se procedió a asignar los camiones, considerando su día, hora, servicio y puerto, a los bloques y bahías definidos en la nueva distribución planteada en la solución 1. Para ello, se aplicó un modelo de optimización que garantizó la asignación más eficiente según el nuevo plano del patio. Como resultado, se obtuvo el número de camiones asignados por bloque y bahía para cada día y hora.

2.5.1 Modelo

Conjuntos

I: Servicios

J: Puertos

H: Horas del día a programar

B: Bahías

L: Bloques

Parámetros

D_{ijh} : Demanda de contenedores del servicio i del puerto j en la hora h

C_{bh}^B : Capacidad de la bahía b en la hora h

C_{lh}^L : Capacidad del bloque l en la hora h

T_{ijb} : TTAT promedio del servicio i del puerto j en el bloque b

$E_1, E_2 \in (0,1)$: Umbrales de utilización

$A_1, A_2 > 0$: Penalidades por superar E_1, E_2

M : Constante grande

MP_{bh} : Máximo puertos distintos por bahía b y hora h

B_l : Bahías del bloque l

$K \subseteq I \times J \times B$: Si ese servicio de ese puerto es compatible con el bloque b

Variables de decisión

x_{ijhb} : Contenedores del servicio i del puerto j en la hora h asignados al bloque b

y_{bjh} : Indica si en el bloque b en la hora h se atiende algún contenedor del puerto j

q_{bh}^1, q_{bh}^2 : Exceso sobre umbrales E_1, E_2 en el bloque b durante la hora h

Función objetivo

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} \sum_{b \in B} x_{ijhb} \times T_{ijb} + A_1 \sum_{b,h} q_{bh}^1 + A_2 \sum_{b,h} q_{bh}^2$$

La función objetivo minimiza el TTAT esperado y penalizar las sobrecargas en las bahías

Restricciones

$$x_{ijbh} = 0 \quad \forall i, j, b \notin K, \forall h \in H$$

Restricciones para asignar contenedores solo en los bloques donde son compatibles por tipo de puerto y servicio.

$$\sum_{b \in B} x_{ijhb} = D_{ijh} \quad \forall i \in I, \quad j \in J, \quad h \in H$$

Asegura la satisfacción completa de la demanda por servicio–puerto–hora.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijhb} \leq C_{bh}^B \quad \forall b \in B, h \in H$$

Restricciones que aseguran que no se exceda la capacidad de cada bahía en cada hora

$$\sum_{b \in B} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijhb} \leq C_{lh}^L \quad \forall b \in B, h \in H$$

Restricciones que garantizan que la carga agregada de las bahías de un bloque no exceda su capacidad

$$q_{bh}^1 \geq \sum_{i,j} x_{ijhb} - E_1 \times C_{bh}^B \quad \forall b \in B, h \in H$$

$$q_{bh}^2 \geq \sum_{i,j} x_{ijhb} - E_1 \times C_{bh}^B \quad \forall b \in B, h \in H$$

Restricciones que activan penalizaciones cuando la utilización excede el 70% y el 90%.

$$\sum_{i \in I} x_{ijhb} \leq M \times y_{bhj} \quad \forall b \in B, h \in H, j \in J$$

Restricciones de activación que garantiza que y_{bhj} tome el valor de 1 cuando, en la bahía b y hora h, se atiende el puerto j.

$$\sum_{j \in J} y_{bhj} \leq MP_{bh} \quad \forall b \in B, h \in H$$

Restricciones que garantizan como máximo dos puertos por bahía.

$$x_{ijhb}, q_{bh}^1, q_{bh}^2 \geq 0 \quad \forall i, j, h, b \in I, J, H, B$$

$$y_{bhj} \in \{0,1\} \quad \forall b, h, j \in B, H, J$$

Restricciones de tipo de variable

Para estimar el tiempo de ciclo (TTAT) por camión en cada día y hora, se aplicó un modelo de colas sobre las asignaciones obtenidas previamente. En cada franja, se integra el flujo planificado con el flujo de fondo, se identifican las bahías a operar y se estima el tiempo

adicional por desplazamientos entre ellas. Con esos insumos se calcula el tiempo de atención por camión y la posible formación de colas; si la cola proyectada supera un umbral, se asume un escenario congestionado y se recalculan los tiempos. Finalmente, el TTAT estimado resulta de sumar el tiempo de atención y la espera a un valor base histórico; se excluyen casos de bajo flujo para evitar ruido y se generan salidas con el detalle y un resumen por bloque-hora.

2.5.2 Modelo M/D/1

$$\lambda = Z_{as} + Z_{bg}$$

Suma el flujo planificado y del fondo, dando el resultado de cuantos camiones llegan por hora al bloque

$$R = v_{max} - v_{min}, \quad S = [|V| - 1]$$

R mide cuán separadas están las bahías visitadas y S es el número de cambios entre bahías.

$$T_m = ST \times R + CO \times S$$

Tiempo total que el equipo dedica a moverse entre bahías en esa hora.

$$s_e = s_0 + \frac{T_m}{\max(\lambda, 1)}, \quad u = \frac{60}{s_e}$$

El movimiento encarece el tiempo efectivo por camión y con él se obtiene la capacidad por hora

$$W_q = \frac{\lambda}{2u(u-1)} \times 60$$

Tiempo medio de espera en cola dado el balance entre llegadas λ y capacidad

$$L_q = \lambda \frac{W_q}{60}$$

Tamaño medio de la cola en camiones.

$$\rho = \frac{\lambda}{u}$$

Utilización del recurso (proporción de carga respecto a su capacidad).

$$ST = \{ST_1, \quad L_q \leq T \quad ST_2, \quad L_q > T$$

El tiempo de paso entre bahías cambia a modo congestionado cuando la cola supera el umbral

$$TTAT = b + s_e + W_q$$

El tiempo total en patio se obtiene sumando la base histórica, el servicio efectivo y la espera en cola.

El resultado presenta un resumen del TTAT por hora, día de la semana y bloque, como se aprecia en la tabla.

Tabla 2.28.

Resultados modelos de colas M/D/1

Día	hora	bloque	dow	ttat_prom_pond
11	15	A1	1	14.26
11	16	A1	1	14.08
11	17	A4	1	27.17
11	19	A1	1	14.26
11	19	A4	1	43.08
11	19	B2	1	14.17
11	21	A1	1	14.50
		.		
		.		
		.		
20	21	B2	3	14.17

Se ejecutaron pruebas piloto con cinco dispositivos de la solución 2, entregados a los transportistas en el Gate In. Estos equipos facilitaron la orientación en patio y la recepción inmediata de cambios de proyección.

Al comparar los tiempos de las pruebas con mediciones previas en las que se registraron conductores desorientados y cambios de proyección tardíos, se evidenció una reducción promedio del TTAT del 9 %.

En consecuencia, esta reducción se aplicó al TTAT estimado en la sección anterior para obtener el TTAT final con el que se presentan los resultados.

Figura 2.54.

Estudio cronométrico realizado - solución 2

Observación	Contenedor ID	Placa	Total TTAT (min)	Gate In Duración (min)	Scanner Duración (min)	Identificación de lugar (min)	Espera y tiempo de servicio	Tiempo de desplazamiento hacia Gate - Out	Tiempo de Gate - Out Control	Tiempo total TTAT (min)	Total TTAT (min)
1	CXRU1633040	GBP5731	0:13:44	0:02:43	0:01:40	0:03:40	0:01:00	0:03:42	0:00:59	13.73	0:13:44
2	HLXU8778124	RAA6516	1:24:30	0:03:02	0:01:30	0:04:00	1:10:00	0:04:09	0:01:49	84.5	1:24:30
3	CMAU9765891	GBP7968	0:16:26	0:02:35	0:02:51	0:05:16	0:03:51	0:00:25	0:01:28	16.43	0:16:26
4	UAEU1259789	GBP9959	0:10:31	0:01:34	0:01:40	0:02:00	0:02:10	0:02:22	0:00:45	10.52	0:10:31
5	HLXU1063561	PAA3335	0:35:46	0:03:51	0:01:42	0:05:49	0:11:39	0:10:49	0:01:56	35.77	0:35:46
6	TEMU9872400	GBO7840	0:19:12	0:01:04	0:01:38	0:03:16	0:09:44	0:02:25	0:01:05	19.2	0:19:12
7	HAMU1458820	AAV0370	0:30:20	0:04:50	0:03:05	0:11:32	0:08:33	0:01:19	0:01:01	30.33	0:30:20
8	HLXU8745244	TAR0358	0:27:11	0:04:36	0:01:03	0:04:00	0:13:50	0:02:16	0:01:26	27.18	0:27:11
9	HAMU3444045	ABK6997	0:24:49	0:03:29	0:02:29	0:06:33	0:08:54	0:02:12	0:01:12	24.82	0:24:49
10	BMOU6611462	PAA7633	0:14:20	0:03:40	0:01:17	0:03:46	0:03:15	0:01:31	0:00:51	14.33	0:14:20

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Análisis del Tiempo promedio de ciclo de camiones

A partir de la simulación de las tres soluciones se definieron dos escenarios, además de la situación actual: el escenario ideal y el escenario mejorado. El escenario ideal supone que todos los transportistas que arriban al puerto aplican íntegra y óptimamente las tres soluciones; el escenario mejorado asume que solo el 50 % las aplica de forma óptima. La comparación de resultados para los tres contextos se muestra en la tabla.

Tabla 3.1.

Escenarios considerados para la simulación

Situación Actual	Todos los camiones llegaron a la hora real conforme a los datos históricos.
	Se ubicaron de acuerdo a la proyección real conforme a los datos históricos.
	No utilizaron los dispositivos de guía en el patio; se orientaron con la hoja de drop off.
Escenario Ideal	El 100 % de los camiones arribó en la franja horaria con menor TTAT estimado por el modelo de regresión.
	El 100 % se ubicó de forma óptima en el patio, conforme al nuevo plano de distribución.
	El 100 % utilizó el dispositivo como guía dentro del patio.
Escenario Mejorado	El 50 % de los camiones arribó en la franja horaria con menor TTAT estimado por el modelo de regresión.
	El 50 % se ubicó de forma óptima en el patio, conforme al nuevo plano de distribución.
	El 50 % utilizó el dispositivo como guía dentro del patio.

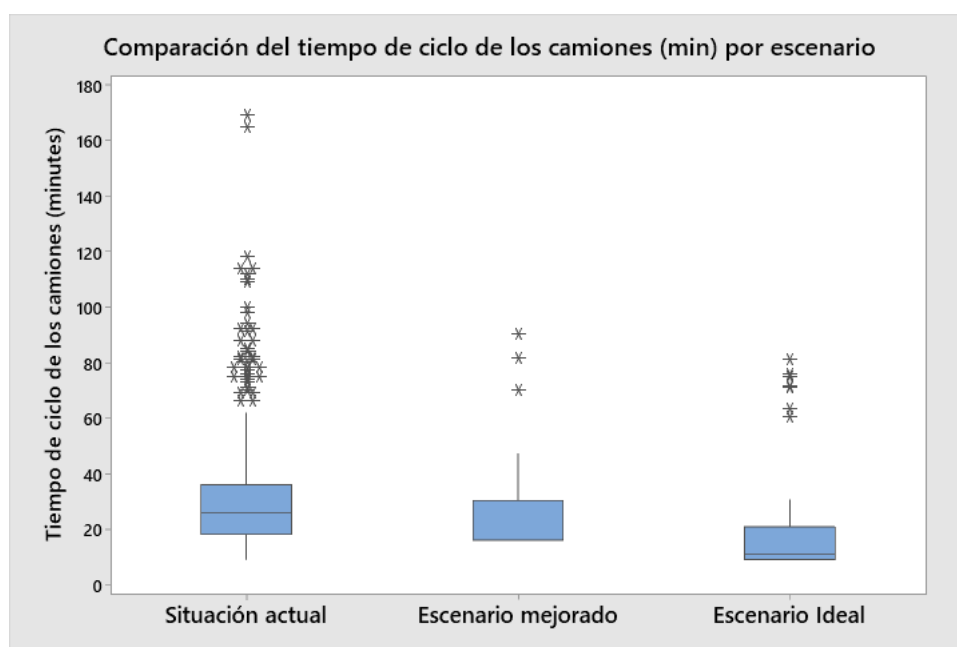
Se comparó el TTAT, tiempo de ciclo de camiones, entre la situación actual y los dos escenarios planteados. Se obtuvieron promedios de 31 minutos en la situación actual, 24 minutos en el escenario mejorado y 19 minutos en el escenario ideal, lo que representa reducciones de

23% y 39% respecto a la línea base. Estos valores se mantienen coherentes con el objetivo realista de pasar de 31 a 23 minutos.

En el gráfico se observa una disminución clara de los tiempos en ambos escenarios propuestos, junto con menor variabilidad, menor dispersión y menos valores atípicos que puedan incidir en el promedio. En conjunto, la evidencia apunta a un mayor control de la gestión de los camiones de exportación en el patio y a una operación más estable.

Figura 3.1.

Diagrama de cajas con la comparación de escenarios

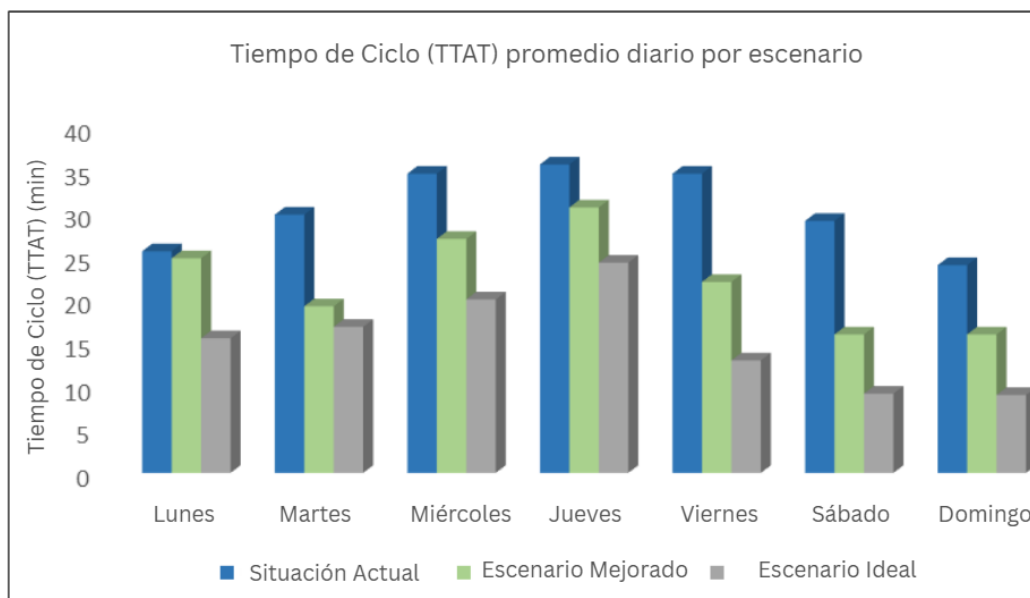


Al comparar el TTAT promedio diario mediante la gráfica de barras para los tres escenarios se observa una disminución sistemática del tiempo de ciclo con la implementación de las soluciones. El escenario mejorado registra valores inferiores a la situación actual en todos los días y el escenario ideal alcanza los niveles más bajos. La diferencia es más pronunciada entre miércoles y viernes, cuando la situación actual presenta los mayores tiempos, mientras que en fin de semana los niveles son menores y la mejora se mantiene. Este patrón confirma una reducción

sostenida del TTAT a lo largo de la semana y sugiere mayor control operativo en los periodos de mayor demanda.

Figura 3.2.

Resultados de TTAT promedio por día



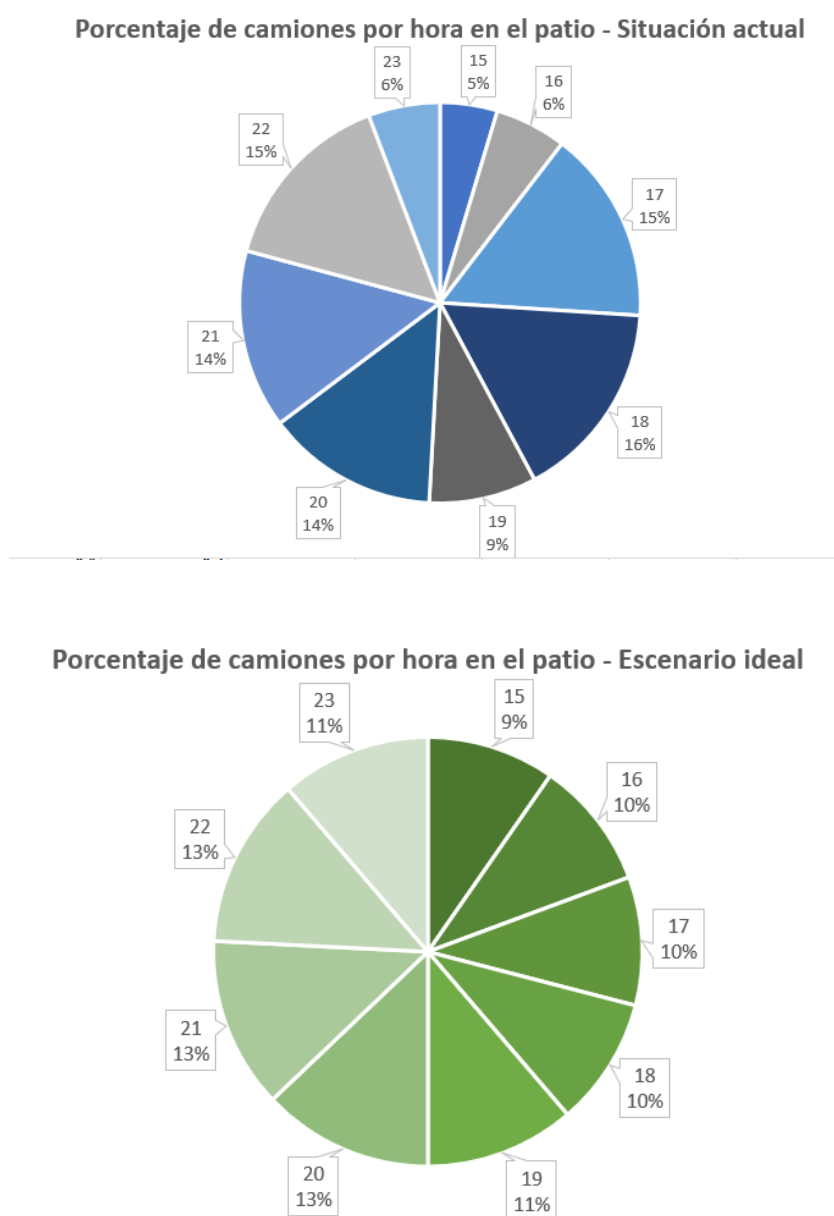
La comparación muestra un cambio claro en la distribución horaria de camiones en el patio. En la situación actual la carga está desbalanceada con picos en las horas 17, 18 y 22 que concentran 15–16 % cada una, y valles en 15, 16 y 23 con apenas 5–6 %. Este patrón evidencia oleadas de llegada que elevan la congestión en horas pico.

En el escenario ideal la participación por hora se estabiliza en un rango estrecho de 9–13 % para todas las franjas. Los picos se reducen y las horas bajas se elevan, de modo que la llegada de camiones queda mucho más equilibrada. Este alisamiento de la demanda disminuye la

congestión en horas pico, reduce la formación de colas y facilita una utilización más pareja de los recursos a lo largo de la jornada.

Figura 3.3.

Diagrama de pastel del porcentaje de camiones por hora



Se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney U para comparar los TTAT del escenario ideal con la situación actual, dado que no se asume normalidad. La hipótesis nula planteaba igualdad de medianas y la alternativa una diferencia entre ellas. El estadístico U fue 9486 y el p-valor 0.000, menor que 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos escenarios.

En términos prácticos, la mediana del TTAT en el escenario ideal fue 13.33 minutos mientras que en la situación actual fue 23 minutos, lo que supone una reducción aproximada de 9.7 minutos, cercana al 42 %. El diagrama de cajas muestra además una mediana más baja y menor dispersión en el escenario ideal, lo que respalda que la implementación propuesta mejora de manera significativa y consistente los tiempos de ciclo.

H₀: Las medianas de ambos grupos son iguales

H₁: Las medianas son diferentes

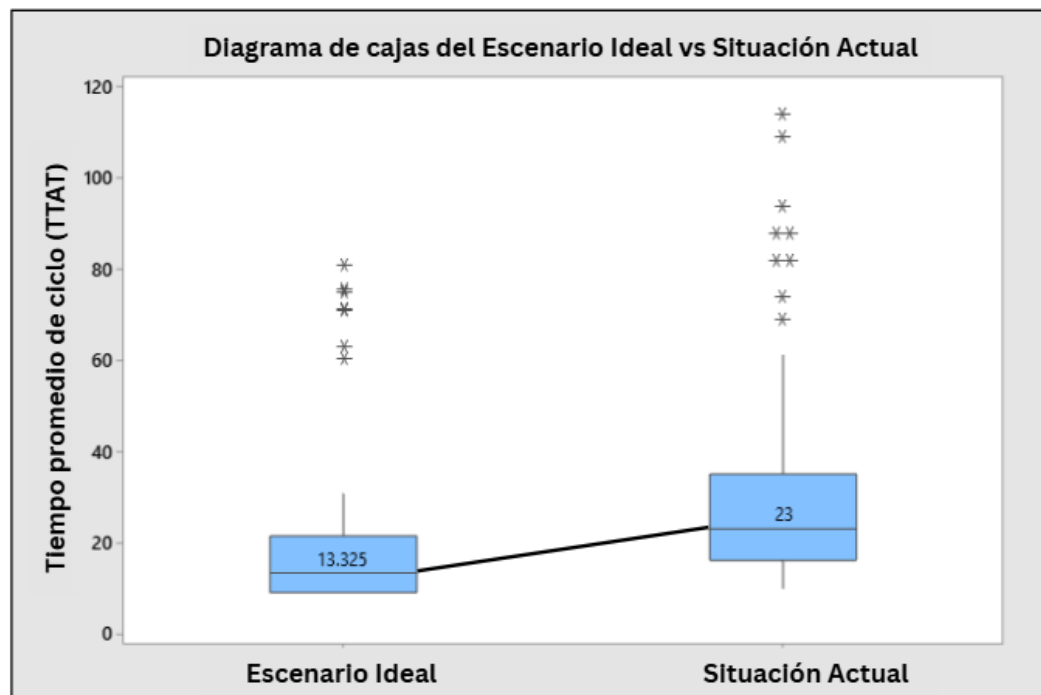
Figura 3.4.

Resultados de la prueba Mann-Whitney

Test		
Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Method	W-Value	P-Value
Not adjusted for ties	9486.00	0.000
Adjusted for ties	9486.00	0.000

Figura 3.5.

Diagrama de cajas - Escenario Ideal vs Actual



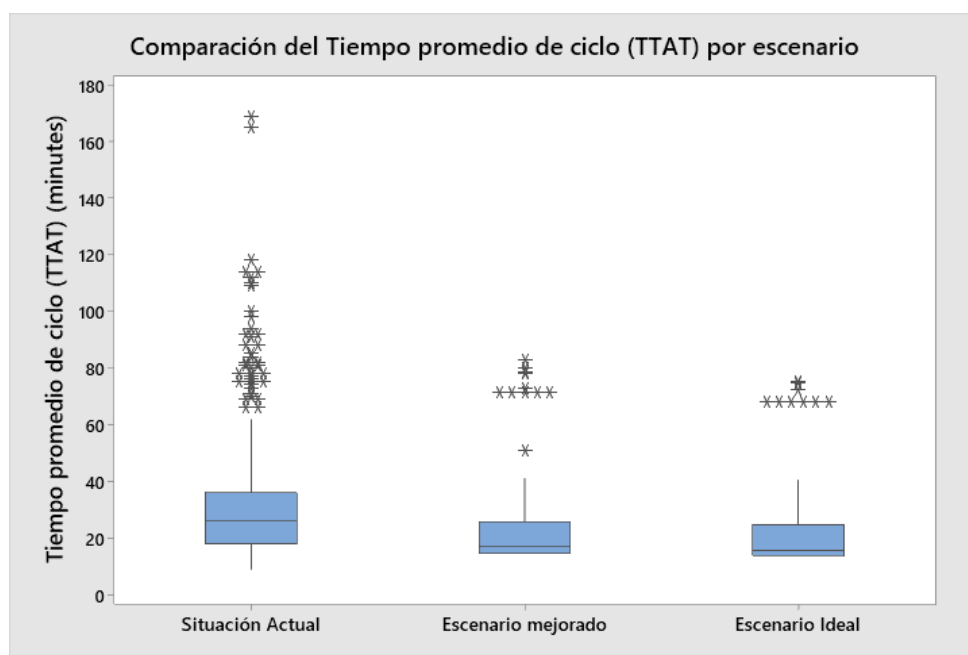
Al considerar solo la simulación de las soluciones 1 y 2, es decir, el rediseño de la distribución de carga en patio con un modelo de optimización y la implementación de dispositivos con pantalla para orientar en tiempo real, se observa una mejora clara del TTAT. El

promedio pasa de 31 minutos en la situación actual a 26 minutos en el escenario mejorado y a 24 minutos en el escenario ideal, lo que implica reducciones de 16% y 23% frente a la línea base.

El gráfico confirma esta tendencia, con menores tiempos, menor variabilidad y menos valores atípicos, señal de un mayor control operativo y una operación más estable.

Figura 3.6.

Diagrama de cajas de TTAT por escenario - solo 2 soluciones



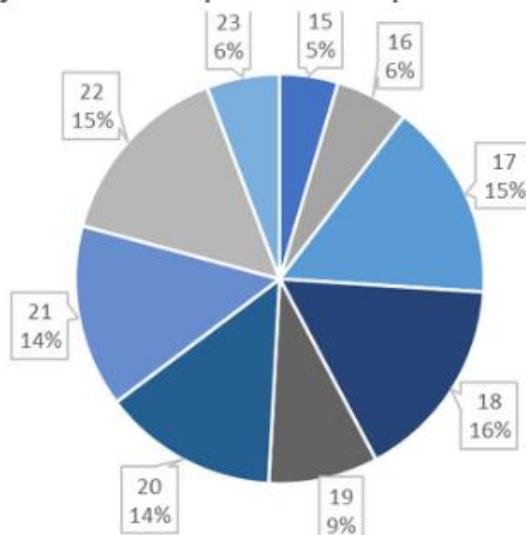
Al considerarse solo 2 soluciones, se puede observar en el gráfico que la distribución de camiones por hora pasa de estar desbalanceada a ser mucho más uniforme. En la situación actual hay picos marcados en las horas 17 y 18 y valles en 15, 16 y 23, mientras que en la situación ideal los porcentajes por hora se concentran en un rango estrecho cercano a 9–13 por ciento. Esto

indica una llegada más equilibrada a lo largo de la jornada y, por tanto, menos congestión en horas pico.

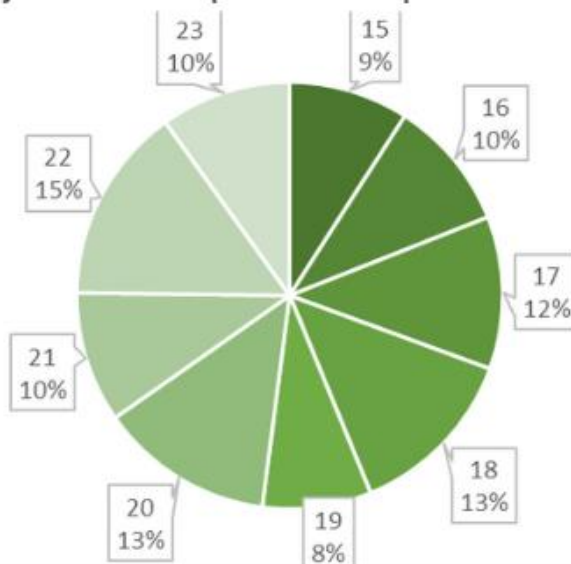
Figura 3.7.

Diagrama de pastel del porcentaje de camiones por hora - 2 soluciones

Porcentaje de camiones por hora en el patio - Situación actual



Porcentaje de camiones por hora en el patio - Escenario Ideal



Se aplicó una prueba no paramétrica Mann Whitney para comparar el TTAT entre la situación actual y el escenario ideal, considerando solo dos soluciones. El valor p fue 0.000, menor que 0.05, por lo que se rechaza la igualdad de medianas y se concluye que la reducción es

estadísticamente significativa. El diagrama de cajas muestra una mediana y una dispersión mucho menores en el escenario ideal. En síntesis, aun con dos soluciones, el escenario ideal reduce de forma clara y significativa el tiempo promedio de ciclo.

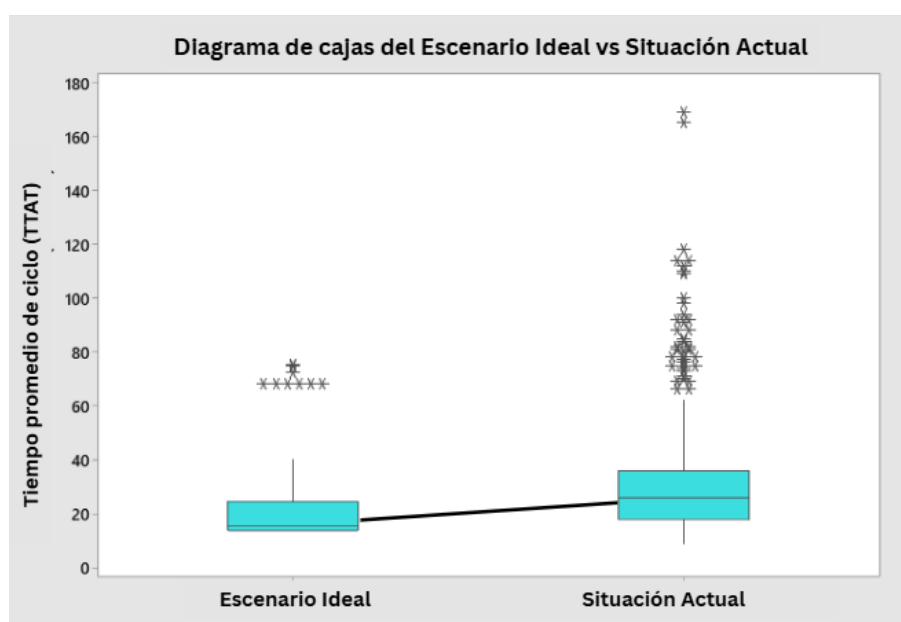
Figura 3.8.

Resultados de la prueba Mann-Whitney - 2 soluciones

Test		
Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Method	W-Value	P-Value
Not adjusted for ties	193102,00	0,000
Adjusted for ties	193102,00	0,000

Figura 3.9.

Diagrama de cajas Escenario Ideal vs Actual – 2 soluciones



3.2 Análisis de los indicadores de la Triple Línea Base

Las soluciones propuestas tienen el potencial de mejorar el flujo en patio y evitar congestiones, por lo que se van a requerir menos RTG en operación en cada hora, en promedio pasan de 8 a 5. Esto reduce horas operativas y consumo de diésel, logrando una baja del 44 % en las emisiones de CO₂ por hora de RTG, de 536 a 300 kg CO₂/h.

El efecto económico también es positivo, ya que se evita el sobreuso del equipo en horas pico y el costo horario de operación del equipo portuario disminuye 30 %, de 750 a 504 USD/h. En el plano social, al reducirse los tiempos de espera, los transportistas pueden completar más viajes y reportan mayor satisfacción, que aumenta 38 % al pasar de 3,0 a 4,15 puntos; los exportadores, a su vez, perciben un mejor servicio. En conjunto, los impactos son ambientales, económicos y sociales, con beneficios cuantificables y sostenibles.

Tabla 3.2.

Resultados indicadores de sostenibilidad - 3 soluciones

Indicador	Definición	Resultado
Indicador Ambiental	Cantidad de Kg de CO ₂ emitidos por máquinas RTGs por hora (kg de CO ₂ /hora)	Se pasó de 536 kg de CO ₂ /h a 300 kg de CO ₂ /h Reducción del 44%
Indicador Económico	Costo horario del equipo portuario (dólares/hora)	Se pasó de \$750/h a \$504/h Reducción del 30%
Indicador Social	Nivel de satisfacción de los transportistas en el proceso de recepción para exportación (CSAT) (porcentaje)	Se pasó de 3 puntos a 4.15 puntos Incremento del 38%

Si consideramos solo la solución 1 y 2, igual se ve una mejora en los indicadores de sostenibilidad. En lo ambiental, las emisiones de CO₂ por hora de las RTG disminuyen 25%, pasando de 536 a 402 kg, porque se requieren menos horas de operación y baja el consumo de diésel gracias a un flujo más ordenado. En lo social, la satisfacción de los transportistas aumenta

28%, de 3 a 3,85 puntos, al reducirse los tiempos de espera y facilitar la orientación en patio. En lo económico, el costo horario de operación del equipo portuario cae 22%, de 750 a 585 USD por hora, ya que se evita el sobreuso del equipo y se reparte mejor la carga a lo largo de las horas.

Tabla 3.3.

Resultados indicadores de sostenibilidad - 2 soluciones

Indicador	Definición	Resultado
Indicador Ambiental	Cantidad de Kg de CO ₂ emitidos por máquinas RTGs por hora (kg de CO ₂ /hora)	Se pasó de 536 kg de CO ₂ /h a 402 kg de CO ₂ /h Reducción del 25%
Indicador Económico	Costo horario del equipo portuario (dólares/hora)	Se pasó de \$750/h a \$585/h Reducción del 22%
Indicador Social	Nivel de satisfacción de los transportistas en el proceso de recepción para exportación (CSAT) (porcentaje)	Se pasó de 3 puntos a 3.85 puntos Incremento del 28%

3.3 Plan de control

Finalmente, se elaboró un plan de control para cada solución, en el que se definieron claramente qué aspectos se deben monitorear, la persona responsable, la frecuencia, el lugar y el tiempo requerido. El objetivo es seguir los KPI clave mediante tableros en Power BI, verificar

que las soluciones estén funcionando según lo previsto y estandarizar los procesos para sostener los resultados en el tiempo.

Figura 3.10.

Plan de control

Solución	Acción a realizar	Responsable	Objetivo	Método de verificación	Frecuencia	Ubicación	¿Qué tanto?
S1	Monitorear KPIs estratégicos sobre el desempeño operativo del plano	Jefe Yard Planner	Medir el desempeño de la nueva estrategia de distribución del patio a través de indicadores claves	Tablero de Power Bi que se actualizará diariamente con los KPIs estratégicos de: -Tasa de ocupación promedio de bloques -Tiempo promedio de ciclo de camiones por bahía y bloques -Tasa de cumplimiento del plano -Tasa de congestión en el patio	Diario	Control Room	30 minutos durante la operación
	Verificar el cumplimiento del procedimiento operativo VA-OP.PL.1.01 "Planificación de ubicaciones para proyección en patio"	Jefe Yard Planner	Asegurar que las ubicaciones reales de los contenedores en patio coincidan con la nueva estrategia de distribución de carga	Realizar un análisis comparativo en una macros de Excel entre los reportes de ubicación extraídos del inventario de contenedores del sistema TMS y las locaciones establecidas en el procedimiento	Semanal	Control Room	30 minutos durante la operación
S2	Verificar el cumplimiento de mantenimientos preventivos de los dispositivos de guiado digital (dispositivos entregados a los camiones)	Coordinador de soporte TI	Garantizar que los dispositivos de guiado digital entregados a los camiones se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento mediante la ejecución oportuna de los mantenimientos preventivos	Implementación de un registro de mantenimiento en el que el personal técnico documenta el código único del dispositivo, la fecha de ejecución de mantenimiento, % de dispositivos con mantenimiento preventivo realizado en la fecha programada (indicador de cumplimiento) y % de dispositivos operativos disponibles (indicador de efectividad), así como la programación de la próxima intervención por dispositivo y días faltantes	Mensual	Área de soporte TI	1-2 horas por lote (10-15 dispositivos)
	Garantizar la socialización continua del protocolo operativo "Guiado Digital de Conductores"	Auditor interno	Asegurar el cumplimiento del protocolo de guiado digital mediante auditorías que verifiquen la entrega, uso y devolución de los dispositivos	Aplicación de un checklist para auditoría operativa, estructurado en cinco bloques: información general, entrega, uso, devolución y registro de evidencias, complementado con un reporte final con los hallazgos de la auditoría.	Mensual	Yard 1	2-3 horas (10 camiones)
	Monitorear KPIs estratégicos sobre el desempeño del uso de los dispositivos electrónicos	Supervisor de Gate Clerk	Medir el desempeño de los dispositivos electrónicos a través de indicadores claves	Tablero de Power Bi que se actualizará diariamente con los KPIs estratégicos de: - Tasa de disponibilidad de dispositivos - Tasa de camiones guiados sin desvíos. -Tasa de fallas del dispositivo por turno -Tiempo promedio de localización del bloque asignado	Diario	Control Room	30 minutos durante la operación
S3	Supervisar los indicadores clave que reflejen el desempeño del modelo sobre recomendaciones de turnos por parte del cliente	Senior Planner	Medir el desempeño del modelo predictivo sobre las recomendaciones de turnos a través de indicadores claves	Tablero de Power Bi que se actualizará semanalmente con los KPIs estratégicos de: - Tasa de cumplimiento de camiones atendidos en su slot asignado -Tasa de slots no utilizados -Tasa de llegada promedio de camiones por hora y día -Nivel del balance por hora y día -Tasa de congestión del patio -Top de exportadores que utilizan activamente los slots	Semanal	Control Room	30 minutos durante la operación
	Validar la socialización continua del instructivo operativo AP-AF.F.1.02 "Guía para DISV con programación de turno" a los clientes exportadores	Coordinador de comunicación	Asegurar que los clientes exportadores reciban de manera oportuna y continua la guía de programación de turnos, garantizando la correcta socialización del instructivo operativo.	Registro y verificación del envío periódico de la guía de programación de turnos a los clientes exportadores mediante correo electrónico, manteniendo evidencia digital de los destinatarios, fechas de envío y confirmaciones de recepción	Semestral	Área de comunicaciones	5 - 10 minutos

Figura 3.11.

Análisis Comparativo para verificar el cumplimiento del proceso

Análisis Comparativo de Asignación					
Bloque	Fila	Columna	Ubicación del TMS	Ubicación Establecida	Coincidencia
A	A	1	A1	A1	Coincide
B	B	2	B2	B2	Coincide
C	C	3	C3	C3	No coincide
A	A	4	A4	A4	Coincide
B	A	1	A4	A4	No coincide
C	B	2	B4	B4	Coincide
D	C	3	A4	A4	Coincide
D	D	1	A4	B3	No coincide
E	D	2	C3	C3	Coincide
E	E	3	D4	D3	No coincide
E	F	4	D4	D1	Coincide
E	E	1	E1	E3	Coincide
E	E	2	E1	E3	No coincide

Planificado

83,3 %

Desajustes / Coincidencias

2

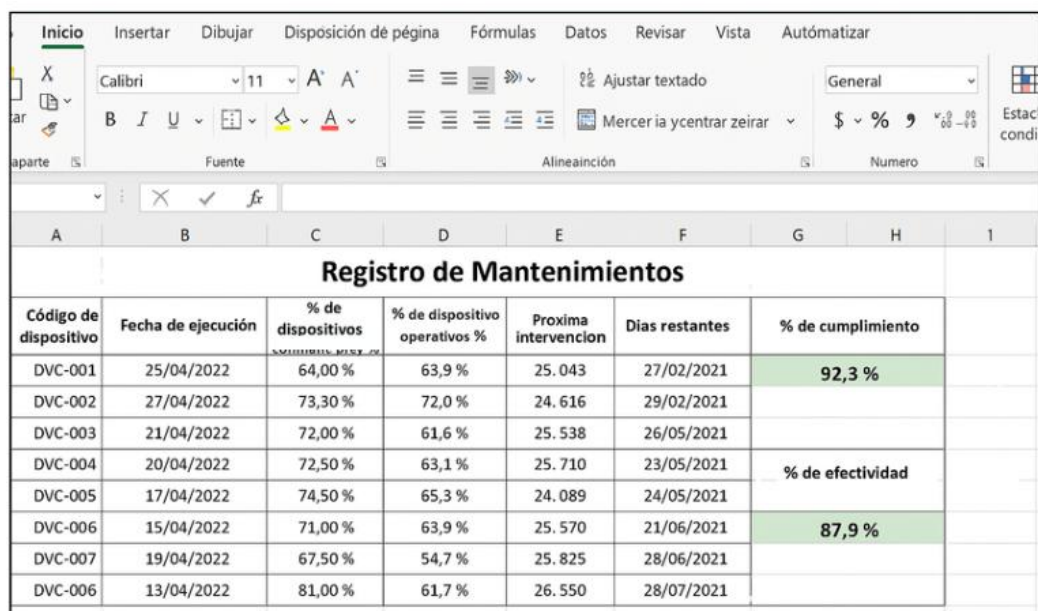
Figura 3.12.

Tablero para medir el desempeño Operativo del patio



Figura 3.13.

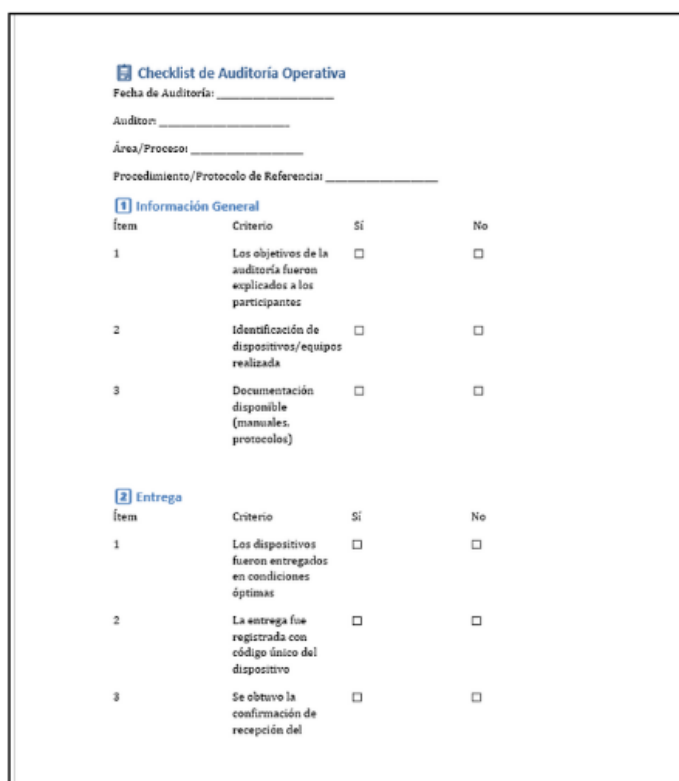
Registro de mantenimiento de los dispositivos electrónicos



Código de dispositivo	Fecha de ejecución	% de dispositivos	% de dispositivo operativos %	Proxima intervención	Dias restantes	% de cumplimiento
DVC-001	25/04/2022	64,00 %	63,9 %	25.043	27/02/2021	92,3 %
DVC-002	27/04/2022	73,30 %	72,0 %	24.616	29/02/2021	
DVC-003	21/04/2022	72,00 %	61,6 %	25.538	26/05/2021	
DVC-004	20/04/2022	72,50 %	63,1 %	25.710	23/05/2021	% de efectividad
DVC-005	17/04/2022	74,50 %	65,3 %	24.089	24/05/2021	
DVC-006	15/04/2022	71,00 %	63,9 %	25.570	21/06/2021	87,9 %
DVC-007	19/04/2022	67,50 %	54,7 %	25.825	28/06/2021	
DVC-006	13/04/2022	81,00 %	61,7 %	26.550	28/07/2021	

Figura 3.14.

Lista de verificación para la Auditoría Operativa



Checklist de Auditoría Operativa

Fecha de Auditoría: _____

Auditor: _____

Área/Proceso: _____

Procedimiento/Protocolo de Referencia: _____

1 Información General

Ítem	Criterio	Sí	No
1	Los objetivos de la auditoría fueron explicados a los participantes	☐	☐
2	Identificación de dispositivos/equipos realizada	☐	☐
3	Documentación disponible (manuales, protocolos)	☐	☐

2 Entrega

Ítem	Criterio	Sí	No
1	Los dispositivos fueron entregados en condiciones óptimas	☐	☐
2	La entrega fue registrada con código único del dispositivo	☐	☐
3	Se obtuvo la confirmación de recepción del	☐	☐

Figura 3.15.

Tablero para medir el desempeño de los dispositivos electrónicos

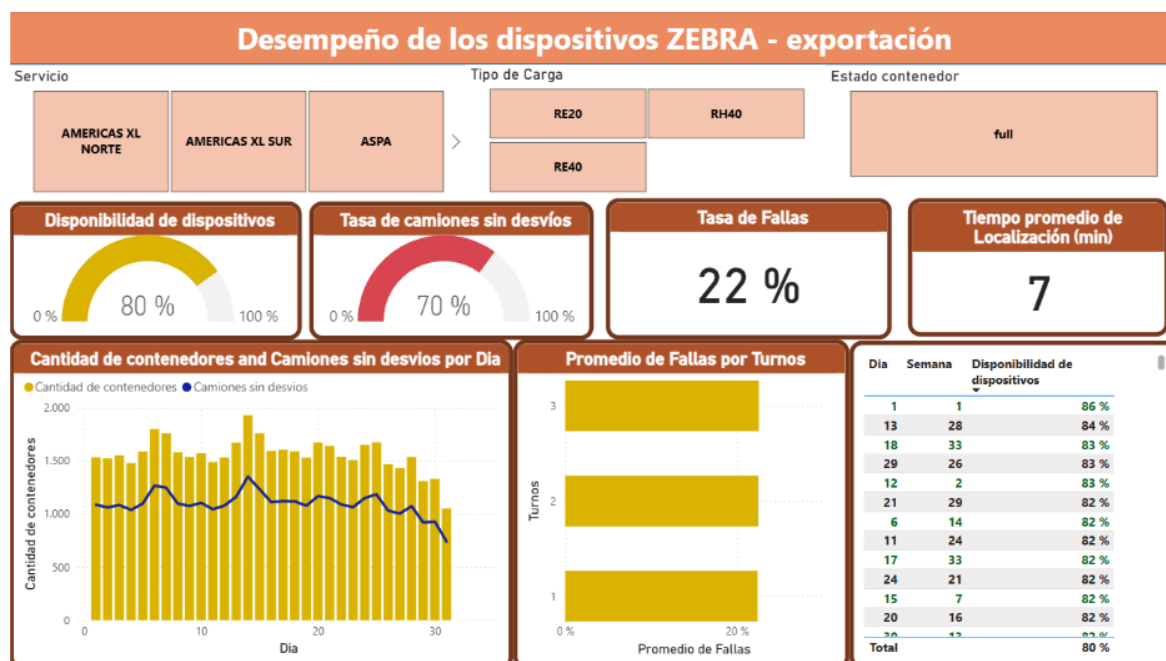


Figura 3.16.

Tablero para medir el desempeño del sistema de turnos



Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

A partir del análisis de la información histórica y de las entrevistas realizadas con los principales actores del proceso, se identificaron las causas que provocaban las demoras en el Tiempo de Ciclo de Camiones (TTAT). El estudio permitió evidenciar que los puntos críticos se concentraban en las fases de localización de ubicación, tiempos de espera y servicio, así como en el desplazamiento hacia la salida. Con base en estos hallazgos, se plantearon propuestas orientadas a reducir la variabilidad del proceso y alcanzar una operación más fluida, confiable y eficiente.

El diagnóstico se fortaleció mediante el uso de herramientas estadísticas y pruebas de validación que confirmaron la confiabilidad de los datos analizados. De esta forma, las soluciones diseñadas no solo responden a las condiciones actuales, sino que también contemplan la capacidad de adaptación frente a escenarios futuros de mayor demanda, garantizando flexibilidad y escalabilidad en la gestión del patio portuario.

Se desarrollaron propuestas de soluciones integradas que abarcaron optimización en la asignación de espacios en patio, digitalización de procesos con trazabilidad en tiempo real y distribución óptima de llegada de camiones para la planificación de carga no programada. La integración de estas tres soluciones permitió reducir la variable de respuesta del TTAT de 42,89 minutos a 19 minutos en el escenario ideal, demostrando su viabilidad técnica y económica, al

tiempo que se aprovechaban mejor los recursos, se elevaba la satisfacción de los transportistas y se reducían significativamente los tiempos de permanencia de los camiones.

La validación de las soluciones a través de simulaciones y pruebas piloto evidenció mejoras sustanciales en el indicador del tiempo promedio de ciclo de camiones (TTAT), en la percepción de los usuarios y en la eficiencia global del proceso. Con ello, se alcanzaron los objetivos específicos planteados en el proyecto: diagnosticar el desempeño actual, identificar causas raíz, diseñar e implementar soluciones de mejora y establecer mecanismos de control con KPIs, asegurando que los beneficios se mantengan en el largo plazo.

Además, el proyecto se alineó con indicadores de sostenibilidad, mostrando resultados concretos: una reducción del 30 % en los costos horarios de los equipos portuarios, un incremento del 38 % en la satisfacción de los transportistas y una disminución del 44 % en las emisiones de dióxido de carbono generadas por las máquinas del patio. Estos avances refuerzan el compromiso del terminal con la eficiencia operativa y lo posicionan dentro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), fortaleciendo su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

4.1.2 Recomendaciones

Una vez desarrollada la propuesta y validados los resultados, se dispone de una visión más clara sobre las oportunidades de mejora del proyecto. Estos hallazgos permiten plantear acciones

concretas orientadas a sostener los beneficios alcanzados y a garantizar la continuidad de los resultados en el tiempo.

En primer lugar, se plantea la implementación de un sistema de asignación dinámica que actualice diariamente la estrategia de distribución de carga en patio, optimizada a partir de los datos registrados en el sistema. Esta medida permitirá una gestión más precisa y en tiempo real, ajustada a las condiciones operativas del terminal.

Asimismo, se recomienda potenciar el modelo de predicción Random Forest Regressor mediante la ampliación y depuración de las variables predictivas, priorizando aquellas de mayor relevancia y desarrollando métricas derivadas que representen con mayor fidelidad los patrones del proceso. Del mismo modo, es necesario optimizar el ajuste de hiperparámetros y establecer procesos de validación continua que incrementen el coeficiente de determinación (R^2) y reduzcan los errores de predicción (MAE y RMSE), logrando así un modelo más robusto, confiable y con mayor capacidad de generalización.

Otra medida propuesta consiste en la implementación de un esquema de tarifas diferenciadas que incentive a los transportistas a utilizar las ventanas horarias recomendadas, lo que contribuirá a redistribuir la demanda y disminuir la congestión en los periodos de mayor afluencia. También se considera fundamental reforzar la seguridad de los dispositivos de guía mediante un control estricto de inventario, mecanismos de bloqueo y rastreo en tiempo real, así como la aplicación de geocercas que emitan alertas en caso de salidas no autorizadas del área operativa. A esto se deben sumar protocolos de recuperación rápida frente a incidentes de

pérdida o robo, con el fin de garantizar la continuidad del servicio y salvaguardar los activos tecnológicos del terminal.

Finalmente, resulta necesario fortalecer los mecanismos de control del proceso mediante la estandarización de procedimientos, la definición clara de indicadores clave de desempeño (KPIs) y la implementación de tableros de monitoreo en tiempo real. Estas acciones permitirán dar seguimiento continuo a variables críticas como el TTAT, la utilización de equipos y el cumplimiento de turnos, facilitando la detección temprana de desviaciones y la aplicación inmediata de acciones correctivas.

Referencias

- Banco Central del Ecuador. (2025). BOLETÍN ANALÍTICO TRIMESTRAL DE COMERCIO EXTERIOR. *Estadísticas de Comercio Exterior de Bienes*. https://contenido.bce.fin.ec/documentos/informacioneconomica/SectorExterno/ix_ComercioExterior.html#
- El Mrabet, Z., Sugunaraj, N., Ranganathan, P., & Abhyankar, S. (2022). Random Forest Regressor-Based Approach for Detecting Fault Location and Duration in Power Systems. *Sensors*, 22(2). <https://doi.org/10.3390/s22020458>
- Gutiérrez, H. (2020). *Calidad y productividad* (5th ed.). McGraw-Hill. <https://bibliotecadigital-espol-edu-ec.espol.lookproxy.com/reader/calidad-y-productividad-1683145469?location=14>
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (3rd ed.). McGraw-Hill. https://bibliotecadigital-espol-edu-ec.espol.lookproxy.com/library/publication/control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-1632524648?open_in_modal=true
- Kabel, D., Martin, J., Elg, M., & Witell, L. (2024). Capturing the voice of the customer: focus groups versus netnography? *Total Quality Management & Business Excellence*, 35(11–12), 1359–1377. <https://doi.org/10.1080/14783363.2024.2369592>
- Knop, K. (2016). Using a QFD Method and CTQ Tree to Identify the Areas Needing Improvement in the Product - Farm Truck Trailer. In *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska: Vol. z. 87*.
- Moszyk, K., & Deja, M. (2023). Reduction of exceeding the guaranteed service time for external trucks at the DCT Gdańsk container terminal using a six sigma framework. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(7). <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2022-0100>
- Özen, F. (2024). Random forest regression for prediction of Covid-19 daily cases and deaths in Turkey. *Heliyon*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25746>
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill. <https://bibliotecadigital-espol-edu-ec.espol.lookproxy.com/reader/the-six-sigma-handbook-1631573741?location=17>
- Shankar, R. (2009). *Process improvement using six sigma: a DMAIC guide*. Quality Press. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=pJFeNy9Z74IC&oi=fnd&pg=PR3&dq=Shankar,+R.+\(2009\).+Process+improvement.+Using+Six+Sigma.+A+DMAIC+guide,+Wisconsin:+ASQ+Quality+Press.&ots=ftlbPTsu28&sig=K7G54RH3V8Y_2ZXWHAdIPK3TkGQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=pJFeNy9Z74IC&oi=fnd&pg=PR3&dq=Shankar,+R.+(2009).+Process+improvement.+Using+Six+Sigma.+A+DMAIC+guide,+Wisconsin:+ASQ+Quality+Press.&ots=ftlbPTsu28&sig=K7G54RH3V8Y_2ZXWHAdIPK3TkGQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)