

Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Propuesta de optimización en eficiencia operativa del lavado de contenedores en
patio de preparación

TECN-016

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Tecnólogo Superior en Logística Portuaria

Presentado por:

Carlos Robert Gavilanes Villavicencio

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo A mis padres ejemplo de esfuerzo amor y entrega quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y la razón por la cual hoy cumple este sueño.

A mi esposa por ser mi compañera incondicional por comprender mis ausencias apoyarme en cada etapa y alentarme con su amor y fortaleza sin ti este logro no tendría el mismo significado.

A mi hijo quien con su sonrisa inocencia y amor me motivó día a día seguir adelante convirtiéndose en mi mayor inspiración para alcanzar esta meta.

Dedico también este logro a la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL y a la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar instituciones que me acogieron y formaron durante esta etapa brindándome la oportunidad de crecer tanto académica como personalmente.

Y, por último, me lo dedico a mí mismo por la perseverancia la disciplina y el esfuerzo con los que enfrenté cada reto. Este trabajo es fruto de muchas horas de dedicación y representan un paso más en el camino hacia mis metas y sueños.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios fuente de vida fortaleza y esperanza por iluminar mi camino y darme salud y la constancia necesaria para culminar esta importante etapa académica.

A mis padres quienes han sido mi mayor ejemplo y apoyo incondicional gracias por su sacrificio por su amor sin límites y por enseñarme con su ejemplo que la disciplina y la perseverancia son el camino para alcanzar los sueños este logro les pertenece tanto a ustedes como a mí.

A mi familia que siempre estuvo presente con las palabras de aliento paciencia y comprensión en los momentos más difíciles cada gesto de cariño cada consejo y cada muestra de apoyo fueron fundamentales para mantenerme firm.

Con especial gratitud a mi esposa compañera de vida quien con amor paciencia y comprensión me acompañó en este camino haciendo un apoyo inquebrantable en los momentos de cansancio en dificultad Gracias por confiar en mí motivarme a seguir siempre adelante.

A mi hijo razón de mi fuerza y fuente de inspiración constante su existencia me dio fuerzas

para no rendirme y me impulsó a luchar con más empeño con el propósito de dejarle un ejemplo a superación y dedicación.

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) institución que me abrió sus puertas y me brindó las herramientas necesarias para formarme no solo como profesional sino también como ser humano íntegro mi profundo reconocimiento de la facultad de ingeniería marítima y ciencias del mar por ser el espacio donde adquirí valiosos conocimientos experiencias y aprendizajes de que marcarán mi futuro profesional.

A mis docentes y tutores quienes dedicaron compromiso y paciencia compartieron su sabiduría y me guiaron en cada etapa de mi formación gracias por su exigencia que me impulsó a dar lo mejor de mí y por su ejemplo que me inspira seguir creciendo.

Finalmente, a todas las personas que de alguna manera aportaron en este proceso y sea un consejo, una palabra de aliento o un gesto de confianza en mí les expreso mi gratitud eterna

Declaración Expresa

Yo Carlos Robert Gavilanes Villavicencio acuerdo y reconozco que:

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

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

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor 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, 12 de septiembre del 2025.

Carlos Gavilanes V.
Carlos Robert Gavilanes

Villavicencio

Evaluadores

MSc. Maria Tadea Quintuña Rodríguez

Profesor de Materia

MSc. Alejandro Joffre Chanabá Ruiz

Tutor de proyecto

Resumen

Este estudio analiza la optimización del proceso de lavado de contenedores en patios de preparación portuaria, tomando como caso de referencia a **Wash Containers S.A.**

Actualmente, el método manual genera altos costos, consumo excesivo de recursos y baja eficiencia. Bajo una metodología descriptiva y cuantitativa, basada en revisión bibliográfica y análisis de indicadores clave de rendimiento (KPIs), se diagnosticaron las deficiencias y se proyectaron mejoras. Los resultados muestran que la aplicación de gestión de procesos (BPM) y el lavado en seco reducen en un 22% el tiempo promedio de lavado, en un 25% el consumo de agua, en un 20% el uso de químicos y en un 58% la tasa de reprocesamiento, incrementando en un 20% la rotación diaria de contenedores. Estas mejoras representaron un ahorro de 2,63 millones de dólares y más de 1,37 millones de litros de agua en tres meses. La propuesta tecnológica —túneles de lavado automatizados, sistemas SCADA, dosificación automática y trazabilidad mediante RFID— consolida un modelo integral que incrementa la productividad, reduce costos, minimiza el impacto ambiental y fortalece la competitividad portuaria.

Palabras clave: Optimización de procesos; Logística portuaria; Lavado de contenedores; Eficiencia operativa.

Abstract

This research addresses the optimization of container washing processes in port preparation yards, taking Wash Containers S.A. as a case study. Traditional manual methods result in high operational costs, excessive resource consumption, and low efficiency. A descriptive and quantitative methodology, supported by a literature review and key performance indicator (KPI) analysis, was applied to diagnose current deficiencies and project improvements. Findings indicate that implementing Business Process Management (BPM) and dry washing reduces average washing time by 22%, water consumption by 25%, chemical usage by 20%, and reprocessing rates by 58%, while increasing daily container turnover by 20%. These improvements generated savings of USD 2.63 million and over 1.37 million liters of water within three months. The proposed technological model—which integrates automated washing tunnels, SCADA systems, automatic chemical dosing, and RFID-based traceability—establishes a comprehensive framework that enhances productivity, lowers costs, mitigates environmental impact, and reinforces competitiveness in port logistics operations.

Índice General

Resumen	I
Abstract	II
Índice General	III
Índice de tablas.....	VII
Índice de Figuras	VII
CAPÍTULO 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Logística portuaria y eficiencia operativa	5
1.5.2 Costos operativos portuarios	5
1.5.3 Rotación de activos logísticos.....	5
1.5.4 Tiempos de ciclo logístico.....	6
1.5.5 Procesos logísticos en el patio de preparación portuaria.....	6
1.5.6 Recepción de contenedores	7

1.5.7	Inspección técnica y visual.....	7
1.5.8	Lavado de contenedores	7
1.5.9	Mantenimiento correctivo y preventivo	7
1.5.10	Almacenamiento y despacho.....	8
1.5.11	Indicadores clave de rendimiento (KPIs) en operaciones logísticas	8
1.5.12	Tiempo promedio de lavado.....	9
1.5.13	Consumo de agua por ciclo	9
1.5.14	Uso de productos químicos	9
1.5.15	Rotación diaria de contenedores	9
1.5.16	Tasa de reprocesamiento	9
1.5.17	Automatización y tecnología en procesos portuarios.....	10
1.5.18	Túneles de lavado automatizados.....	10
1.5.19	Sistemas SCADA y sensores integrados	10
1.5.20	Tecnología RFID y trazabilidad.....	11
1.5.21	Beneficios operativos de la automatización	11
2.	CAPÍTULO 2	12
2.1	Metodología.....	13
2.2	Descripción general	13
2.3	Fases de la Investigación	14
2.3.1	Revisión Bibliográfica.....	14
2.3.2	Análisis de KPIs	14

2.3.3	Proyección de Mejoras	15
2.3.4	Validación de la Propuesta.....	15
2.4	2.3 Descripción del Campo de Estudio: Patio de Preparación Portuaria.....	15
2.5	Descripción de los Procesos Actuales del Patio de Preparación	16
2.6	Identificación de Estrategias Operativas Actuales	16
2.7	Determinación de KPIs que Afectan la Eficiencia y Sostenibilidad	17
2.8	Diseño de la Propuesta de Optimización	17
2.9	Comparación de KPIs Actuales vs. Propuestos.....	18
3.	CAPÍTULO 3	19
3.1	Resultados.....	20
3.2	Revisión Bibliográfica y Caso de Estudio Wash Containers S.A. de C.V.....	20
3.3	Análisis de KPIs: Comparación Actual vs. Proyectado	21
3.4	Análisis Económico.....	22
3.5	Impacto Ambiental: Reducción del consumo de agua.	24
3.6	Diseño de la Propuesta de Optimización.....	25
3.6.1	Principios rectores de la propuesta.....	25
3.7	Diseño operativo propuesta	26
3.8	Propuesta Tecnológica.....	27
3.8.1	Túneles de Lavado Automatizados	27
3.8.2	Sistemas de Dosificación Automática de Químicos	27
3.8.3	Sensores y Control SCADA.....	28

3.8.4	Implementación de RFID para Trazabilidad	29
3.9	Plan de Implementación	29
3.9.1	Indicadores Clave para Evaluación y Control.....	30
3.9.2	Impactos Esperados.....	31
4.	CAPÍTULO 4.....	33
4.1	Conclusiones.....	34
4.2	Recomendaciones	35
	Referencias	37

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Principales problemas y soluciones identificadas en Wash Containers S.A.</i>	21
Tabla 2 <i>Comparación actual vs proyectado</i>	22
Tabla 3 <i>Ahorro en Costos por Implementación BPM y Tecnología</i>	23
Tabla 4 <i>Plan secuencia de implementación</i>	30

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Esquema de la metodología planteada en este estudio</i>	14
Figura 2 <i>Diseño de la propuesta de optimización</i>	17
Figura 3 <i>Esquema del ahorro de agua por semestres</i>	24
Figura 4 <i>Diseño de la propuesta operativa</i>	26
Figura 5 <i>KPIs de la propuesta operativa</i>	31

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

El sector logístico portuario enfrenta desafíos críticos en la optimización de sus operaciones, siendo el proceso de lavado de contenedores una actividad clave que incide directamente en la eficiencia operativa global. En muchos puertos, estas labores se realizan de forma manual, lo que genera elevados costos operativos y un uso ineficiente de recursos como agua y productos químicos. La ausencia de sistemas automatizados y de procesos estandarizados limita significativamente la capacidad del sector para competir en un entorno global cada vez más exigente (Gavilánez, 2023).

Este proyecto tiene como objetivo optimizar la eficiencia operativa del proceso de lavado de contenedores, mejorando tanto la productividad como la sostenibilidad de las operaciones logísticas en los puertos. A pesar de ser una operación fundamental en la cadena logística, el lavado de contenedores se realiza tradicionalmente sin control riguroso de parámetros operativos, lo que incrementa los costos y disminuye la eficiencia general del puerto. La incorporación de tecnologías eficientes y el uso de indicadores clave de rendimiento (KPIs) son fundamentales para modernizar este proceso y reducir su huella ambiental (Sánchez Córdova, 2021).

El estudio propone una solución integral basada en la medición y análisis de datos operativos reales del proceso de lavado de contenedores. Para ello, se recopilarán datos sobre tiempos de ciclo, consumo de agua, consumo de productos químicos y rotación de contenedores, mediante observación directa y registros operativos. Estos datos serán procesados y evaluados utilizando indicadores clave de rendimiento (KPIs) previamente definidos, con el fin de identificar cuellos de botella, ineficiencias y oportunidades de mejora.

1.2 Descripción del Problema

El proceso de lavado de contenedores en los patios de preparación portuarios presenta diversos problemas operativos que impactan negativamente la eficiencia del sistema logístico. Entre ellos destacan la falta de estandarización en los procedimientos, el uso ineficiente de recursos como agua y productos químicos, y los altos costos asociados al lavado manual. Además, los largos tiempos de ciclo en el lavado retrasan la rotación de los contenedores, afectando la capacidad operativa para carga y descarga de mercancías.

Este problema no solo afecta a una empresa en particular, sino que representa un desafío para todo el sector portuario, el cual se enfrenta a crecientes presiones para mejorar su competitividad en un contexto globalizado. La optimización de este proceso es clave para reducir costos, mejorar la sostenibilidad y aumentar la eficiencia de las operaciones portuarias. Mediante el uso de KPIs y análisis de datos, es posible identificar áreas críticas de mejora, tales como la reducción del tiempo operativo y el consumo racional de recursos.

1.3 Justificación del Problema

Optimizar la eficiencia operativa en el lavado de contenedores es crucial para mejorar la competitividad de las empresas del sector logístico y portuario. Los métodos actuales, predominantemente manuales, resultan ineficientes y costosos. Se realizará una propuesta orientada a reducir costos operativos y optimizar el uso de recursos como el agua y los productos químicos. Esta recomendación se basará en el análisis de datos operativos y en la identificación de puntos críticos que limitan el rendimiento actual del sistema. Asimismo, la disminución de los tiempos de lavado permitirá una mayor rotación de contenedores, incrementando la capacidad operativa y mejorando el desempeño logístico de los puertos (Sánchez Córdova, 2021).

Desde una perspectiva económica y ambiental, este proyecto es altamente justificable. Al disminuir el consumo de recursos y mejorar la eficiencia de los procesos, las empresas podrán incrementar su rentabilidad, lo cual es esencial en un sector altamente competitivo. Además, al fundamentarse en un enfoque basado en KPIs, se asegura que las propuestas estén respaldadas por datos reales, lo que facilita su implementación y evaluación en el corto plazo (Lino-Gamiño, 2019).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer una optimización en la eficiencia operativa en el proceso de lavado de contenedores en el patio de preparación portuaria, mediante la implementación de indicadores clave de rendimiento (KPIs), con el propósito de mejorar el uso de recursos, reducir costos operativos y aumentar la competitividad del sector logístico portuario.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual del proceso de lavado de contenedores en el patio de preparación, mediante trabajo de investigación ya existentes (KPIs).
2. Identificar oportunidades de mejora en el uso de recursos como agua, productos químicos y energía, a partir del análisis de datos operativos obtenidos de registros e información bibliográfica.
3. Proponer un plan de mejora continua basado en los resultados del análisis de KPIs, orientado a optimizar los procesos, reducir costos y aumentar la eficiencia operativa.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Logística portuaria y eficiencia operativa

La logística portuaria abarca diversas actividades y recursos cuya finalidad es facilitar el flujo ágil y seguro de mercancías en el entorno portuario. Estas operaciones comprenden la recepción, almacenaje, manipulación y despacho de contenedores. La eficiencia en este contexto se evalúa mediante indicadores como el tiempo de respuesta, los costos operativos, la rotación de activos y el aprovechamiento de recursos físicos y humanos. (Notteboom, 2019)

Desde esta perspectiva, la eficiencia operativa hace referencia a la capacidad de un puerto para ejecutar sus procesos logísticos de manera óptima, generando resultados efectivos con el mínimo uso posible de recursos disponibles (Pallis, 2020).

1.5.2 Costos operativos portuarios

Los costos operativos representan los egresos constantes que genera el funcionamiento cotidiano de una terminal portuaria. Estos incluyen el pago de personal, mantenimiento de maquinaria, consumo de insumos (agua, productos químicos, energía), y el tiempo no productivo en los procesos logísticos.

En términos logísticos, los costos operativos son definidos como los gastos indispensables para sostener la funcionalidad de los procesos dentro de las instalaciones portuarias (Notteboom, 2019)

1.5.3 Rotación de activos logísticos.

La rotación de activos es un indicador esencial que permite conocer la frecuencia con la que los elementos físicos —como contenedores, grúas o vehículos— son utilizados dentro

de un ciclo operativo. Esta métrica tiene una relación directa con la capacidad de respuesta y el flujo de operaciones en los puertos.

De acuerdo con Christopher, la rotación de activos puede definirse como el número de veces que un recurso logístico es empleado completamente dentro de un período establecido. (Christopher, Logistics and Supply Chain Management, 2020)

1.5.4 Tiempos de ciclo logístico.

El tiempo de ciclo corresponde al periodo necesario para completar una operación desde su inicio hasta su término. En el contexto del lavado de contenedores, este tiempo incluye todo el proceso desde la llegada del contenedor hasta que se encuentra listo para ser despachado nuevamente.

Lupano define el tiempo de ciclo logístico como el intervalo comprendido entre el comienzo de una actividad logística y su conclusión total, siendo clave para evaluar la eficiencia y capacidad de respuesta de los procesos. (Lupano, 2023)

1.5.5 Procesos logísticos en el patio de preparación portuaria

El patio de preparación portuaria es un espacio operativo clave donde se concentran diversas actividades logísticas destinadas a garantizar la disponibilidad, integridad y rotación de los contenedores antes de su embarque o después de su arribo. En este entorno, la coordinación eficiente de los procesos permite optimizar el flujo de carga y reducir tiempos muertos (Notteboom, 2019)

Los principales procesos realizados en el patio incluyen la recepción, inspección, lavado, mantenimiento, almacenamiento temporal y despacho de contenedores. Cada uno de estos procesos requiere recursos físicos, personal capacitado y estándares operativos que aseguren la eficiencia y sostenibilidad del sistema logístico portuario (Alvarado, 2022).

1.5.6 Recepción de contenedores

La recepción de contenedores consiste en el registro e ingreso físico de las unidades al patio de preparación. Esta etapa implica la verificación de documentación, control de sellos, escaneo del código de identificación (ISO 6346) y ubicación temporal. Una recepción eficiente evita congestiones y errores de inventario (Vallejo, 2022).

1.5.7 Inspección técnica y visual

Una vez admitido el contenedor, se realiza una inspección técnica para verificar el estado estructural y de higiene. Esta revisión identifica golpes, fisuras, corrosión, residuos u olores, determinando si es necesaria una limpieza o reparación. Se registra el estado con evidencia fotográfica y formato estandarizado (Alvarado, 2022).

1.5.8 Lavado de contenedores

El lavado de contenedores es un proceso de limpieza interna y externa que garantiza condiciones óptimas para su reutilización. Este procedimiento puede realizarse de forma manual o automática, e implica el uso de agua a presión, detergentes biodegradables y equipos de secado. Su eficiencia depende de la presión, temperatura, caudal, y tiempos de operación (Hesse, 2021)

1.5.9 Mantenimiento correctivo y preventivo

En caso de detectar fallas menores, se ejecuta un mantenimiento correctivo que puede incluir soldadura, cambio de puertas, bisagras, gomas o sellos. Adicionalmente, se realizan tareas de mantenimiento preventivo periódicas que aseguran la vida útil del contenedor y reducen costos de reparación mayor (Vallejo, 2022).

1.5.10 Almacenamiento y despacho

Una vez listos para ser usados, los contenedores se almacenan en áreas designadas del patio, organizados por tipo, destino o línea naviera. El despacho se coordina mediante sistemas digitales que optimizan rutas internas y asignan los contenedores según programación logística (Notteboom, 2019)

1.5.11 Indicadores clave de rendimiento (KPIs) en operaciones logísticas

Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) constituyen herramientas fundamentales para la medición del desempeño de los procesos logísticos. Su función principal es facilitar el control operativo y la toma de decisiones estratégicas mediante datos cuantificables y verificables (Christopher, Logistics and Supply Chain Management, 2020)

En el contexto específico del lavado de contenedores, estos indicadores permiten monitorear variables como el tiempo promedio de limpieza, el consumo de recursos hídricos y químicos, así como la frecuencia de reprocesamiento. Su aplicación en patios de preparación permite contrastar el rendimiento real con estándares establecidos, promoviendo una cultura de mejora continua, reducción de desperdicios y eficiencia en el uso de recursos (Lupano, 2023)

La recopilación de estos indicadores se basa en la revisión bibliográfica de estudios de caso previos y en la comparación de datos obtenidos en puertos de diversas regiones, lo cual permite evaluar la aplicabilidad y efectividad de los KPIs en contextos logísticos similares. Al comparar el rendimiento real con los estándares establecidos en la literatura, se fomenta una cultura de mejora continua, que promueve la reducción de desperdicios y la optimización en el uso de recursos.

1.5.12 Tiempo promedio de lavado

Este KPI calcula la duración promedio que toma completar el proceso de lavado de un contenedor, desde su ingreso hasta su salida. Un valor menor indica mayor eficiencia siempre que se mantenga la calidad exigida (Christopher, Logistics and Supply Chain Management, 2020)

1.5.13 Consumo de agua por ciclo

Este indicador mide cuántos litros de agua se utilizan en promedio por cada contenedor lavado. Es relevante para monitorear el impacto ambiental e implementar estrategias de ahorro, como recirculación de aguas (Lupano, 2023)

1.5.14 Uso de productos químicos

Evalúa la cantidad de detergentes o agentes de limpieza utilizados por unidad. Un control adecuado de este KPI disminuye el impacto ambiental y los costos operativos sin comprometer la eficacia (Christopher, Logistics and Supply Chain Management, 2020)

1.5.15 Rotación diaria de contenedores

Este KPI indica cuántos contenedores pueden ser procesados en un turno o jornada. Ayuda a determinar la capacidad instalada del patio y la eficiencia de la gestión de recursos humanos y tecnológicos (Alvarado, 2022)

1.5.16 Tasa de reprocesamiento

Refleja el porcentaje de contenedores que deben ser lavados nuevamente por no cumplir los criterios mínimos de limpieza en la primera pasada. Una tasa elevada sugiere deficiencias en el proceso o mala planificación operativa (Lupano, 2023)

1.5.17 Automatización y tecnología en procesos portuarios

La automatización en los procesos portuarios se refiere a la incorporación de tecnologías digitales, mecánicas y electrónicas que sustituyen o complementan la intervención humana en tareas operativas repetitivas o de control. Su aplicación permite aumentar la productividad, reducir errores, mejorar la trazabilidad y optimizar el uso de recursos (Vallejo, 2022).

En el lavado de contenedores, la automatización incluye el uso de túneles de lavado, sensores de presión y temperatura, sistemas de dosificación automática de químicos, y control mediante interfaces SCADA. Estas herramientas permiten monitorear el proceso en tiempo real, ajustar parámetros operativos y generar registros históricos para análisis de desempeño.

1.5.18 Túneles de lavado automatizados

Los túneles de lavado son estructuras cerradas que permiten el paso de contenedores a través de etapas secuenciales de limpieza con aspersores, cepillos rotativos y secado. Su ventaja principal radica en la estandarización del proceso y la reducción del tiempo por unidad procesada (Hesse, 2021).

1.5.19 Sistemas SCADA y sensores integrados

Los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permiten controlar, monitorear y recolectar datos de variables críticas del proceso, como caudal de agua, presión de boquillas, temperatura de lavado y nivel de químicos. Estos datos se visualizan en tiempo real y permiten ajustes automáticos del sistema. (Vallejo, 2022)

1.5.20 Tecnología RFID y trazabilidad

El uso de etiquetas RFID (Radio Frequency Identification) en contenedores facilita su identificación automática en cada etapa del proceso logístico. Esto mejora la trazabilidad, evita pérdidas y permite generar estadísticas sobre ciclos de limpieza y rotación. (Alvarado, 2022)

1.5.21 Beneficios operativos de la automatización

Entre los beneficios más importantes de la automatización se encuentran: reducción de costos por unidad, menor consumo de recursos, incremento de la capacidad operativa, mayor seguridad para los trabajadores y mejora de la calidad del servicio. (Hesse, 2021)

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

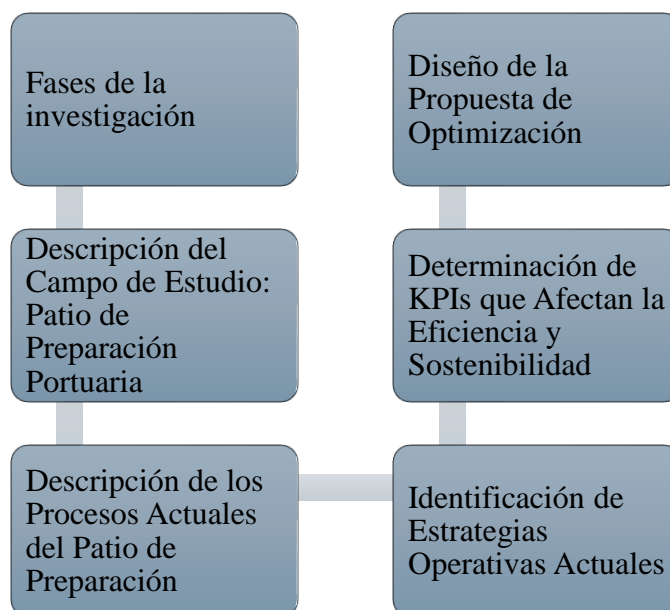
2.2 Descripción general

El presente estudio se enmarca en una investigación aplicada, con enfoque técnico-operativo y una metodología descriptiva. El propósito principal es proponer una optimización de la eficiencia operativa en el proceso de lavado de contenedores, mejorando la productividad, la sostenibilidad y la competitividad del sector logístico portuario. Este análisis se realizará sin observación directa en campo, basándose en una investigación bibliográfica que incluye la recopilación de datos de estudios de caso previos sobre el proceso de lavado de contenedores, como el caso Wash Containers S.A. de C.V. (Lino-Gamiño, 2019).

La metodología adoptada será cuantitativa, no experimental y transversal, con la finalidad de evaluar los indicadores clave de rendimiento (KPIs) utilizados en estudios previos sobre el lavado de contenedores, para identificar mejoras potenciales. Se trabajará sobre informes técnicos, estudios de caso y artículos académicos que proporcionen datos sobre el proceso de lavado de contenedores y las tecnologías aplicadas a este proceso, como los sistemas SCADA, RFID, la automatización de ciclos y la logística verde.

Figura 1

Esquema de la metodología planteada en este estudio



2.3 Fases de la Investigación

2.3.1 *Revisión Bibliográfica*

Se realizará una revisión exhaustiva de estudios previos relacionados con el proceso de lavado de contenedores en diferentes entornos logísticos y puertos. Se seleccionarán casos de estudio relevantes (como el de Wash Containers S.A.) que proporcionen información sobre el rendimiento de KPIs, tiempos de lavado, uso de agua y productos químicos, y otros parámetros críticos.

2.3.2 *Análisis de KPIs*

Utilizando los datos recopilados de los estudios de caso, se analizarán los KPIs utilizados en las investigaciones previas para medir el desempeño operativo. Se hará una comparación entre los valores actuales y los valores proyectados tras la implementación de

tecnologías como el SCADA o RFID, con el objetivo de establecer un punto de partida para la optimización en el contexto del lavado de contenedores.

2.3.3 *Proyección de Mejoras*

Basado en los resultados obtenidos de la revisión de la literatura y los estudios de caso, se proyectarán mejoras en el proceso de lavado, adaptadas al contexto logístico de la tesis. Esto incluirá la propuesta de tecnologías y estrategias operativas como los túneles de lavado automatizados, sistemas de dosificación automática de productos químicos, y tecnologías para la reutilización de aguas grises, con el objetivo de mejorar los KPIs, reducir costos y minimizar el impacto ambiental.

2.3.4 *Validación de la Propuesta*

La validación de las propuestas de mejora se realizará mediante comparaciones de los KPIs existentes en la literatura con los valores proyectados tras la implementación de las tecnologías propuestas. Se utilizarán los valores obtenidos de los estudios previos para simular los posibles beneficios de la implementación de las nuevas tecnologías y procesos operativos.

2.4 2.3 Descripción del Campo de Estudio: Patio de Preparación Portuaria

El campo de estudio se centra en el análisis del proceso de lavado de contenedores en un patio de preparación portuaria, un espacio logístico clave dentro de la infraestructura portuaria, donde se realizan operaciones previas y posteriores al embarque de contenedores. El objetivo es garantizar que los contenedores cumplan con normas sanitarias internacionales, mantengan su integridad estructural y estén disponibles para su asignación operativa.

2.5 Descripción de los Procesos Actuales del Patio de Preparación

Se investigarán los procesos actuales de lavado de contenedores, basándose en informes previos y estudios de caso como el de Wash Containers S.A. Este análisis incluirá:

- Configuración de las estaciones de lavado: Se observará cómo están organizadas las estaciones (por ejemplo, lineales o paralelas) y cómo esto afecta la eficiencia operativa.
- Equipos utilizados: Se estudiarán los equipos de lavado (hidrolavadoras manuales, túneles de lavado automatizados) y sus limitaciones en términos de eficiencia y sostenibilidad.
- Tiempos de operación y costos: Se calcularán los tiempos promedio de lavado y los costos asociados al uso de agua, químicos y personal.

2.6 Identificación de Estrategias Operativas Actuales

Durante la fase de análisis bibliográfico, se identificarán las estrategias operativas actuales utilizadas en las estaciones de lavado de contenedores, basadas en estudios previos como el de Wash Containers S.A. Esto incluye:

- Procedimientos no estandarizados: Variabilidad en el proceso de lavado entre operarios, lo que puede generar inconsistencias en la calidad del lavado y mayor probabilidad de reprocesamiento.
- Dependencia de la experiencia del operario: El proceso depende de la habilidad individual de los operarios, sin guías estandarizadas o herramientas digitales.
- Criterios subjetivos de calidad: La calidad del lavado se evalúa de manera visual, sin indicadores cuantitativos ni protocolos estandarizados.

2.7 Determinación de KPIs que Afectan la Eficiencia y Sostenibilidad

Se establecerán KPIs clave basados en la revisión bibliográfica, tales como:

- Tiempo promedio de lavado
- Consumo de agua por ciclo
- Uso de productos químicos
- Tasa de reprocesamiento
- Rotación diaria de contenedores

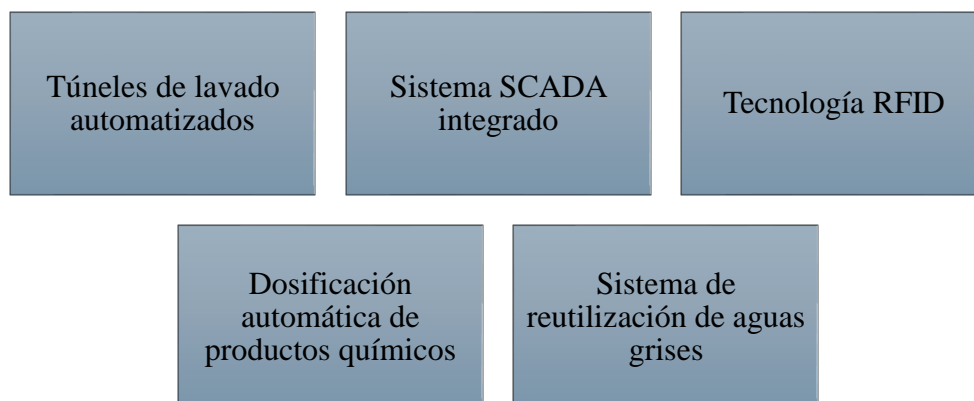
Estos KPIs servirán como base para la comparación entre los procesos actuales y los procesos optimizados propuestos mediante la implementación de nuevas tecnologías y la estandarización de los procesos.

2.8 Diseño de la Propuesta de Optimización

Basada en los resultados de la revisión de literatura y los KPIs identificados, se diseñará una propuesta operativa y tecnológica de mejora. Esto incluirá:

Figura 2

Diseño de la propuesta de optimización



2.9 Comparación de KPIs Actuales vs. Propuestos

La validación de las mejoras se realizará mediante la comparación de los KPIs actuales con los valores proyectados tras la implementación de las tecnologías propuestas. Los beneficios esperados en términos de eficiencia operativa, sostenibilidad y reducción de costos se validarán con referencias literarias y modelos comparativos de estudios previos.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados

Este estudio ha seguido una metodología descriptiva y cuantitativa para proponer una optimización de la eficiencia operativa en el proceso de lavado de contenedores. La metodología adoptada incluye las siguientes fases clave: revisión bibliográfica, análisis de KPIs, proyección de mejoras, validación de la propuesta, y el campo de estudio. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de esta metodología.

3.2 Revisión Bibliográfica y Caso de Estudio Wash Containers S.A. de C.V.

La revisión bibliográfica y el caso Wash Containers S.A. han sido pilares para identificar las prácticas óptimas en el proceso de lavado de contenedores, destacándose principalmente:

3.2.1.1 Problemas Actuales

- Elevado porcentaje (80%) de contenedores sucios que aumentan la demanda sobre el área de lavado.
- Procesos con múltiples movimientos y tiempos innecesarios que generan saturación y baja disponibilidad.
- Alta dependencia del lavado tradicional manual con alto consumo de agua y químicos.
- Incidencia elevada de reprocesamiento y quejas por falta de contenedores limpios.

3.2.1.2 Mejoras logradas con BPM y lavado en seco

- Reducción de movimientos innecesarios y tiempos de ciclo.
- Incremento de la disponibilidad inmediata hasta un 80%.
- Ahorro de más de \$2.6 millones en costos operativos durante tres meses.
- Reducción significativa del consumo de agua (hasta 1.37 millones de litros ahorrados)

- Disminución de quejas en un 75%, mejorando la percepción y satisfacción del cliente.

Tabla 1

Principales problemas y soluciones identificadas en Wash Containers S.A.

Problemas identificados	Soluciones implementadas	Resultados Clave
Saturación del área de lavado	Aplicación del Business Process Management (BPM)	Incremento a 80% en disponibilidad inmediata
Movimientos y tiempos operativos innecesarios	Rediseño y estandarización del proceso	Ahorro económico de \$2,634,433 en 3 meses
Elevado consumo de agua y productos químicos	Implementación del lavado en seco (barrido)	Ahorro de 1,377,360 litros de agua
Altos índices de reprocesamiento y quejas	Control de calidad y definición de indicadores KPI	Reducción del 75% en quejas y reprocesos

Nota. Información recopilada de informes de Wash Containers S.A.

3.3 Análisis de KPIs: Comparación Actual vs. Proyectado

Para medir la eficiencia operativa y sostenibilidad, se analizaron KPIs clave antes y después de la propuesta, mostrando mejoras sustanciales

Tabla 2*Comparación actual vs proyectado*

KPI	Estado Actual	Estado Propuesto	Mejora (%)
Tiempo promedio de lavado	45 min	35 min	22% reducción
Consumo promedio de agua	1,200 litros	900 litros	25% ahorro
Uso promedio de productos químicos	0.75 litros	0.60 litros	20% reducción
Rotación diaria de contenedores	150 unidades	180 unidades	20% aumento
Tasa de reprocesamiento	12%	5%	58% reducción

Nota. Información recopilada de informes de Wash Containers S.A.

El análisis demuestra una mejora integral en los indicadores operativos, que contribuyen a un proceso más eficiente y sostenible.

3.4 Análisis Económico

La implementación del sistema BPM junto con el lavado en seco generó un ahorro significativo en cada uno de los procesos de lavado de contenedores. En el gráfico 1 se presenta en detalle el ahorro obtenido en un periodo de tres meses.

Tabla 3*Ahorro en Costos por Implementación BPM y Tecnología*

Concepto	Costo promedio por contenedor (USD)	Ahorro total en 3 meses (USD)	Observaciones
Agua	\$1.28	\$44,075.52	Reducción por uso del lavado en seco
Desengrasante	\$1.34	\$46,440.00	Dosificación optimizada
Estopa	\$0.55	\$18,993.79	Menor uso en lavado manual
Energía eléctrica	\$0.46	\$15,865.14	Reducción por automatización
Combustible diésel	\$5.16	\$533,584.71	Menos movimientos mecánicos
Movimientos internos grúa	\$9.33	\$963,807.66	Menos traslados de contenedores
Movimientos internos plana	\$21.78	\$749,968.22	Optimización de recorridos
Hora hombre	\$7.60	\$261,698.40	Mayor productividad operaria
Total	\$47.50	\$2,634,433.44	

Nota. Información recopilada de informes de Wash Containers S.A.

El mayor ahorro se observa en los movimientos internos con grúas y maquinaria de arrastre, seguido del combustible, evidenciando la efectividad del rediseño logístico para

reducir traslados y movimientos inútiles. Aplicando los métodos BMP y el lavado en seco evidencia una mayor rotación en el patio logístico reduciendo tiempos operativos influyendo directamente en las actividades de movimientos.

3.5 Impacto Ambiental: Reducción del consumo de agua.

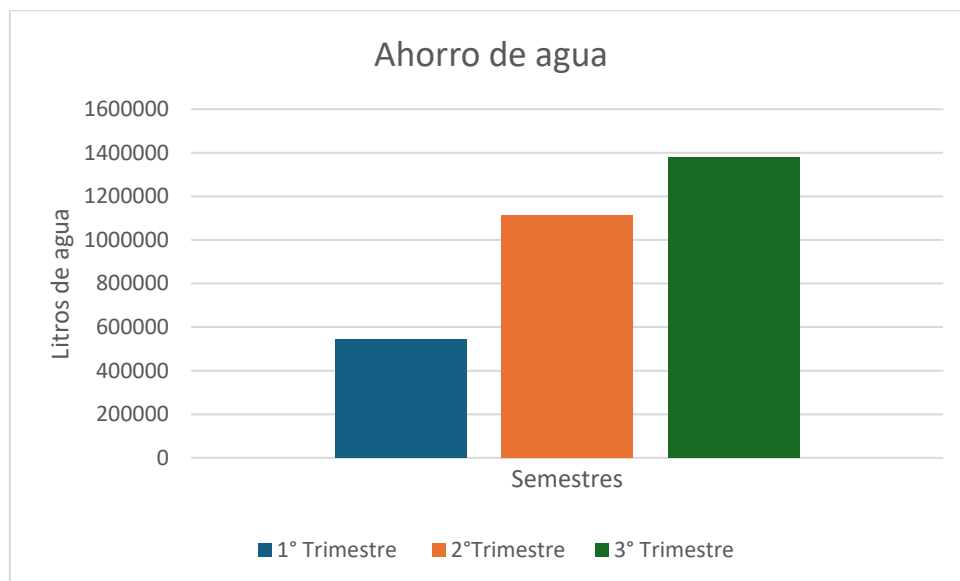
Uno de los resultados más relevantes ha sido la importante reducción en el consumo de agua, una medida clave para la sostenibilidad ambiental:

- Antes de la implementación, cada contenedor lavado consumía aproximadamente 40 litros de agua.
- Con la aplicación del BMP y el lavado en seco, se evitaron lavar convencionalmente 34,434 contenedores durante tres meses, ahorrando más de 1.37 millones de litros de agua.

Este ahorro tiene un impacto ambiental positivo significativo y se traduce en beneficios económicos para la empresa al reducir el consumo de un recurso esencial.

Figura 3

Esquema del ahorro de agua por semestres



Uno de los principales logros de este proyecto es el impacto ambiental positivo derivado de la implementación del lavado en seco. Al prescindir del uso de agua para el lavado de los contenedores, se ha logrado un ahorro significativo en el consumo de agua en el área de lavado. En promedio, cada contenedor requería 40 litros de agua en el proceso de lavado. Gracias a la adopción de este enfoque, se ha evitado el consumo de 1,377,360 litros de agua, lo que representa un ahorro considerable. Este beneficio no solo tiene un valor económico al reducir los costos operativos, sino que también ofrece un impacto ambiental favorable, al disminuir la huella hídrica. Al disminuir la cantidad de contenedores procesados con agua, se reduce significativamente el uso de este recurso, lo que contribuye de manera positiva al medio ambiente.

3.6 Diseño de la Propuesta de Optimización

El diseño de la propuesta de optimización se fundamenta en los resultados obtenidos del análisis de los procesos actuales y de los indicadores clave de desempeño (KPIs) evaluados en estudios previos, como el caso de Wash Containers S.A. de C.V. y la revisión bibliográfica. El objetivo es optimizar la eficiencia operativa, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, mejorando la competitividad del proceso de lavado de contenedores en patios de preparación portuaria.

3.6.1 Principios rectores de la propuesta

- Minimización de movimientos y tiempos innecesarios: Basada en la gestión de procesos BPM, se rediseñará el flujo operativo para eliminar redundancias y facilitar el tránsito rápido y controlado de los contenedores.
- Implementación del lavado en seco como método principal: Apostando por la limpieza en seco (barrido) para una mayoría significativa de contenedores que no requieren

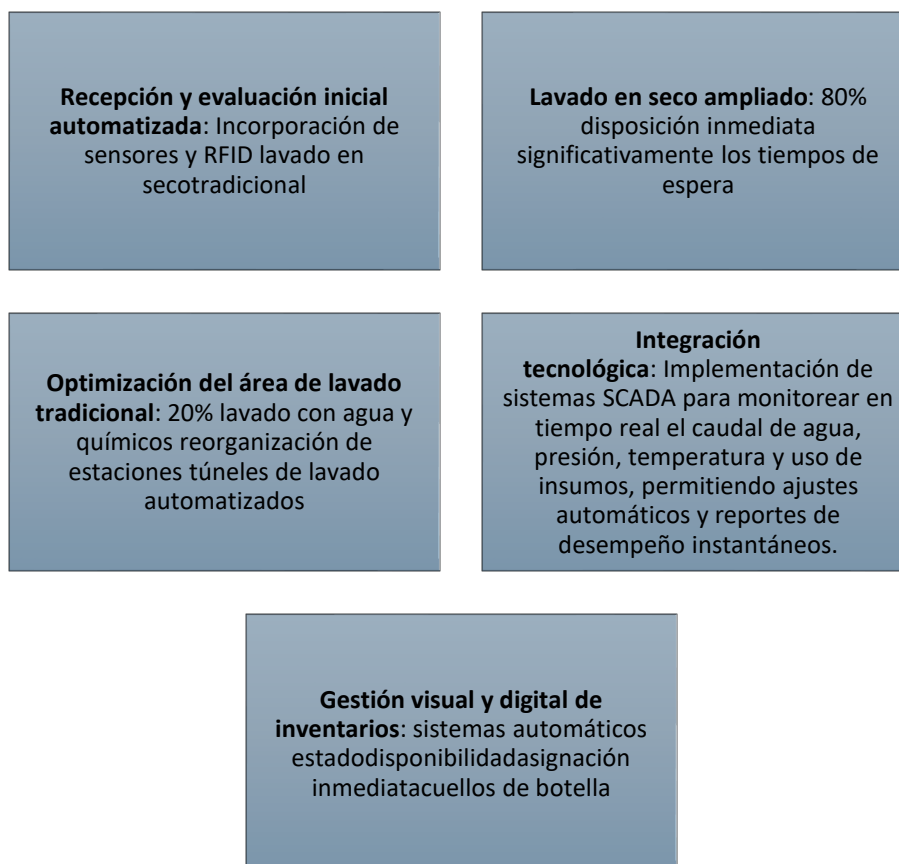
lavado tradicional, permitiendo disponerlos con mayor rapidez y menor consumo de recursos.

- **Automatización y estandarización:** Introducción de tecnologías como sistemas SCADA para monitoreo en tiempo real, dosificación automática de productos químicos, y control digital de los procesos.
- **Medición continua con KPIs:** Establecimiento de indicadores claros para medir tiempos de ciclo, consumo de agua y químicos, tasa de reprocesamiento y rotación diaria, integrándolos al sistema de gestión para la mejora continua.

3.7 Diseño operativo propuesta

Figura 4

Diseño de la propuesta operativa



3.8 Propuesta Tecnológica

La propuesta tecnológica está orientada a modernizar y optimizar el proceso de lavado de contenedores, mejorando la eficiencia operativa, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental. A continuación, se detallan las tecnologías clave que se implementarán:

3.8.1 Túneles de Lavado Automatizados

Los túneles de lavado automatizados son estaciones cerradas que realizan un proceso de lavado secuencial utilizando aspersores, cepillos rotativos y sistemas de secado. Este tipo de sistema aumenta la uniformidad y velocidad del lavado, garantizando que todos los contenedores sean limpiados de manera consistente, sin depender de la intervención manual.

Beneficios:

- Aumento en la capacidad operativa por ciclo, ya que el proceso se automatiza y estandariza.
- Reducción de errores humanos, ya que los operarios no intervienen en el proceso de lavado, lo que asegura un resultado uniforme.
- Mejor uso de recursos, optimizando el consumo de agua, energía y productos químicos al ser controlado de forma precisa.

3.8.2 Sistemas de Dosificación Automática de Químicos

La implementación de sistemas de dosificación automática permite controlar el consumo de productos químicos, asegurando que solo se utilicen las cantidades necesarias para cada ciclo de lavado. Estos sistemas ajustan la dosis de acuerdo con el tipo de contenedor y el nivel de suciedad, evitando el desperdicio de insumos y reduciendo el costo operativo.

Beneficios:

- Reducción de costos asociados al uso excesivo de productos químicos, optimizando su consumo.
- Disminución del impacto ambiental, ya que se controla la cantidad de químicos utilizados, reduciendo el riesgo de contaminación.
- Mayor control y precisión en la dosificación, lo que asegura un lavado eficaz sin usar productos en exceso.

3.8.3 Sensores y Control SCADA

La integración de sensores inteligentes y sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) permite supervisar en tiempo real variables operativas críticas como caudal de agua, presión, temperatura y el consumo de insumos. Los datos recolectados por los sensores son enviados a un sistema centralizado de monitoreo, lo que permite realizar ajustes automáticos en tiempo real para optimizar el uso de recursos y asegurar que los parámetros operativos se mantengan dentro de los estándares requeridos.

Beneficios:

- Monitoreo continuo de todas las variables operativas, lo que permite detectar desviaciones y realizar ajustes inmediatos.
- Optimización del uso de recursos, ya que el sistema puede regular el consumo de agua y energía según sea necesario.
- Mejora en la calidad del lavado, garantizando que el proceso cumpla con los estándares exigidos en todo momento.
- Reducción de costos y mejora en la eficiencia operativa, dado que se evitan pérdidas de recursos y se mantiene el rendimiento constante.

3.8.4 Implementación de RFID para Trazabilidad

El uso de tecnología RFID (Radio Frequency Identification) permitirá registrar cada contenedor a medida que avanza por el proceso de lavado. Con la implementación de etiquetas RFID en cada contenedor, será posible rastrear su estado en cada fase del proceso, desde la recepción hasta su disposición final. Esta trazabilidad no solo mejora la gestión de inventarios, sino que también permite analizar datos operativos para optimizar el flujo de trabajo y la asignación de contenedores.

Beneficios:

- Mejora en la trazabilidad de los contenedores, lo que facilita el seguimiento de su estado y ubicación en todo momento.
- Optimización del flujo de trabajo y la asignación de contenedores, al tener información en tiempo real sobre el estado de cada uno.
- Toma de decisiones más informada, ya que los datos recopilados pueden analizarse para identificar cuellos de botella y áreas de mejora.
- Mayor control de inventarios y reducción de errores en la asignación, ya que cada contenedor será registrado en el sistema y podrá ser rastreado de forma precisa.

3.9 Plan de Implementación

En la tabla 4 se observa variables fundamentales aplicadas al proyecto. Están dadas por un objetivo y acción, el primero corresponde hacia el punto de llegada de la implementación, el segundo involucra las operaciones por efectuarse para llegar al objetivo.

Tabla 4*Plan secuencia de implementación*

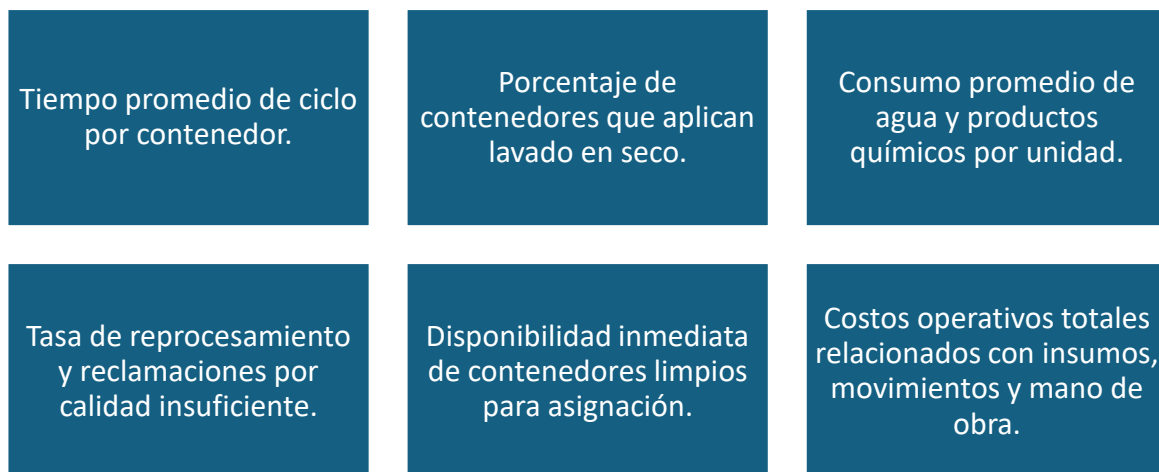
Variables	Objetivo	Acción
Capacitación del Personal	Formación en el uso de nuevas tecnologías, gestión BPM y nuevos procedimientos operativos.	Entrenamiento práctico para garantizar que el personal se adapte a las herramientas y procesos mejorados.
Pilotaje Inicial	Implementación progresiva en un área piloto para validar los cambios y ajustar procedimientos.	Probar la nueva tecnología y los nuevos procesos en un área pequeña, recopilar datos y ajustar según sea necesario.
Monitoreo y Ajuste	Evaluar el desempeño utilizando KPIs para identificar áreas de mejora.	Análisis de los resultados en el área piloto y ajustes basados en los KPIs para optimizar el rendimiento y la eficiencia operativa.
Implementación a Escala	Extensión de la mejora a todo el patio de preparación, asegurando la correcta integración en todos los procesos.	Ampliar el uso de nuevas tecnologías y procedimientos a toda la operación, con un monitoreo constante y auditorías de calidad periódicas.
Mejora Continua	Asegurar la sostenibilidad y competitividad mediante la revisión periódica de los KPIs.	Revisión de indicadores clave de desempeño a lo largo del tiempo, ajustes basados en el enfoque BPM para asegurar que el proceso siga evolucionando.

3.9.1 Indicadores Clave para Evaluación y Control

Para asegurar el éxito de la propuesta, se han identificado los siguientes KPIs esenciales que deberán ser monitorizados periódicamente, en la siguiente ilustración 4 se apreciara en detalle.

Figura 5

KPIs de la propuesta operativa



3.9.2 Impactos Esperados

La implementación exitosa de esta propuesta traerá consigo una serie de beneficios clave, que impactarán positivamente tanto en la eficiencia operativa como en la sostenibilidad y la competitividad del proceso logístico portuario. Los principales impactos esperados son:

- Incremento en la Capacidad Operativa y Reducción de Demoras

La adopción de tecnologías avanzadas, como los túneles de lavado automatizados y el lavado en seco, permitirá un aumento significativo en la capacidad operativa. Los contenedores serán procesados de manera más rápida y eficiente, lo que resultará en una reducción de las demoras operativas, mejorando la rotación logística y la disponibilidad de contenedores para su asignación inmediata.

- Disminución Considerable de Costos Operativos

Con la optimización de consumos y la reducción de movimientos internos, se logrará una disminución significativa en los costos operativos. La mejora en el uso de agua,

productos químicos, energía y la reducción de movimientos de maquinaria reducirán los costos generales del proceso, generando un ahorro sustancial en la operación.

- **Mejoras Sostenibles en el Desempeño Ambiental**

La reducción en el consumo de agua y el uso más eficiente de productos químicos contribuirán significativamente a una mejora en el desempeño ambiental del proceso.

La implementación del lavado en seco reducirá el uso de 40 litros de agua por contenedor, lo que no solo disminuye los costos operativos, sino también la huella hídrica y el impacto ambiental del proceso. Asimismo, se reducirá la generación de residuos químicos, minimizando la contaminación asociada al proceso de lavado.

- **Aumento en la Satisfacción del Cliente y Fidelización**

Con una mayor disponibilidad de contenedores y tiempos de asignación más rápidos, la propuesta contribuirá a un aumento en la satisfacción del cliente. La optimización de los procesos reducirá las demoras y cuellos de botella, lo que consolidará la fidelidad del cliente al mejorar la confiabilidad y la calidad del servicio. Además, la reducción de quejas y la mejora en el tiempo de respuesta disminuirán la migración de clientes a la competencia.

- **Fortalecimiento de la Competitividad en la Cadena Logística Portuaria**

La tecnificación y optimización del proceso de lavado de contenedores permitirá a la terminal portuaria mejorar su competitividad en el mercado. Al implementar procesos más rápidos, económicos y sostenibles, el puerto se posicionará como un líder en eficiencia operativa dentro de la cadena logística portuaria, atrayendo más clientes y reforzando su reputación en el sector.

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

- En el análisis del proceso actual de lavado de contenedores se evidenció que los principales problemas están relacionados con el alto consumo de agua, productos químicos y tiempos de ciclo prolongados, lo que repercute directamente en la eficiencia operativa del patio portuario. Estos hallazgos coinciden con lo evidenciado en la Tabla 2, donde los indicadores iniciales presentaban deficiencias significativas frente a los valores proyectados tras la implementación de mejoras.
- La comparación de los KPIs actuales vs. los propuestos permitió cuantificar mejoras sustanciales: una reducción del 22% en el tiempo promedio de lavado, un 25% en consumo de agua, 20% en uso de químicos y 58% en la tasa de reprocesamiento, junto con un incremento del 20% en la rotación diaria de contenedores. Estos resultados demuestran que el rediseño operativo basado en BPM y la incorporación del lavado en seco constituyen una alternativa viable para optimizar los procesos portuarios.
- El análisis económico mostró que la implementación de las mejoras produjo un ahorro total de 2.63 millones de dólares en tres meses, siendo los mayores impactos en la reducción de movimientos internos de grúas y planas, así como en el menor consumo de combustible. La Tabla 3 evidencia cómo la optimización del flujo logístico reduce significativamente los costos asociados a traslados innecesarios y al consumo de recursos energéticos.
- Desde la perspectiva ambiental, uno de los resultados más destacados fue la reducción de 1.37 millones de litros de agua durante el periodo de estudio, gracias a la adopción del lavado en seco. Este logro no solo representa un

impacto económico favorable, sino también una contribución significativa a la sostenibilidad y a la reducción de la huella hídrica de la operación portuaria.

- La incorporación de tecnologías como túneles de lavado automatizados, sensores SCADA, dosificación automática de químicos y trazabilidad mediante RFID, otorgan al proceso una mayor estandarización, monitoreo en tiempo real y control de calidad, reduciendo la dependencia de labores manuales y elevando la competitividad de la terminal portuaria en el mercado global.
- En conjunto, la evaluación de los KPIs, los resultados económicos y el impacto ambiental positivo evidencian que la propuesta de optimización constituye una estrategia integral, capaz de mejorar la eficiencia operativa, garantizar la sostenibilidad y elevar la satisfacción del cliente, posicionando a la terminal portuaria como referente en innovación logística.

4.2 Recomendaciones

- Para asegurar la efectividad de la propuesta, se recomienda implementar de manera gradual las tecnologías automatizadas, comenzando con fases piloto que permitan validar el impacto real en costos y recursos antes de su aplicación a gran escala.
- Es fundamental institucionalizar el lavado en seco como proceso principal, reservando el lavado tradicional solo para casos específicos. Esta medida permitirá mantener un ahorro sostenido de agua y químicos, alineándose con estándares de sostenibilidad ambiental.

- Se sugiere establecer un sistema de monitoreo continuo de KPIs, de manera que los indicadores de tiempo de ciclo, consumo de agua, químicos, reprocesos y rotación diaria sean medidos y reportados periódicamente. Esto garantizará la trazabilidad de la mejora continua y la detección temprana de desviaciones operativas.
- Es necesario capacitar permanentemente al personal en la operación de los nuevos sistemas SCADA, túneles automatizados y RFID, asegurando que el capital humano esté alineado con las exigencias tecnológicas y que se reduzca la dependencia de prácticas manuales.
- Se recomienda integrar políticas de sostenibilidad en el plan operativo del patio de preparación, incluyendo programas de reutilización de aguas grises, manejo de residuos químicos y optimización del consumo energético. Esto contribuirá a fortalecer la responsabilidad ambiental de la terminal.
- Finalmente, se plantea la conveniencia de ampliar la aplicación del modelo a otros patios portuarios y terminales logísticas del país, con el fin de replicar los beneficios alcanzados en eficiencia, costos y sostenibilidad, generando un impacto positivo a nivel sectorial y nacional en la competitividad portuaria.

Referencias

- Alvarado, D. &. (2022). Estandarización de procesos logísticos para la mejora del rendimiento operativo en terminales portuarias. *Revista de Logística y Transporte*, 45–60.
- Christopher, M. (2020). *Logistics and Supply Chain Management*. Harlow: Pearson Education.
- Christopher, M. (2020). *Logistics and Supply Chain Management*. Harlow: Pearson Education.
- Doerr, O. (s.f.). *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/document/files/informe_final_indicadores_de_rendimiento_kpi_para_productividad_y_eficiencia_en_puertos_de_latinoamerica_y_el_caribe-_octavio_doerr_2020.pdf
- Gavilánez, C. R. (2023). Universidad de Salamanca.
- Gesé Bordils, M. M.-C. (2021). *SciELO Chile*, 647-660. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052021000400647&script=sci_arttext
- Hesse, M. &. (2021). Sustainability challenges in port logistics operations: The case of container washing practices. *Journal of Transport Geography*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103044>
- Lino-Gamiño, J. A.-G.-A.-S. (2019). Estudio del proceso de lavado de contenedores para eliminar tiempos y movimientos innecesarios, caso: Wash Containers S.A. de C.V. *Revista de Ingeniería Tecnológica*, 3(10), 25-36. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/339385519_Estudio_del_proceso_de_lavado_de_contenedores_para_eliminar_tiempos_y_movimientos_innecesarios_caso_Wash_Containers_SA_de_CV

- Lupano, R. (2023). Gestión de la mejora continua en operaciones portuarias: Aplicación del ciclo PDCA. *Revista de Ingeniería Industrial*, 25–40.
- Notteboom, T. &. (2019). *Port economics, management and policy*. Routledge. London: Routledge.
- Pallis, A. A. (2020). Measuring port performance: Indicators, methodologies, and implications for competitiveness. *Maritime Economics & Logistics*, 451–472.
doi:<https://doi.org/10.1057/s41278-020-00143-4>
- Sánchez Córdova, I. (2021). *Repositorio Universidad Continental*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11196/1/IV_FCE_315_TE_S%C3%A1nchez_C%C3%B3rdova_2021.pdf
- Vallejo, C. &. (2022). Automatización en procesos portuarios: Retos y oportunidades en América Latina. *Revista de Ingeniería Marítima y Puertos*, 70–85.