Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para el mantenimiento preventivo y correctivo, para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos sólidos mineros, Arequipa 2025

Tesis presentada por:

Muñoz Cuadros, Gian Carlo Lester

ORCID: 0009-0005-5448-1641

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor:

Mg. Rivera Chávez, María Eugenia

ORCID: 0000-0003-1589-0272

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Junio del 2026

Dictamen: 016211-C-EPII-2026

Visto el borrador del expediente 016211, presentado por:

2020802111 - MUÑOZ CUADROS GIAN CARLO LESTER

Titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTOS MEDIANTE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC) PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO, PARA REDUCIR CUELLOS DE BOTELLA EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS MINEROS, AREQUIPA 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

29267647 - VALENCIA BECERRA ROLARDI MARIO
DICTAMINADOR

29643059 - TUPAYACHY QUISPE DANNY PAMELA
DICTAMINADOR

40670888 - PEREZ GOMEZ AYME MIRTHA
DICTAMINADOR

Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restriccio para el mantenimiento preventivo y correctivo, para reducir cuellos de botella en una empresa

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	2%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	Trabajo del estudiante
2	repositorio.ucsm.edu.pe	Fuente de Internet
3	hdl.handle.net	Fuente de Internet
4	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	Trabajo del estudiante
5	www.coursehero.com	Fuente de Internet
6	repositorio.ucv.edu.pe	Fuente de Internet
7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru	Trabajo del estudiante
8	revistarimi.net	Fuente de Internet
9	renati.sunedu.gob.pe	Fuente de Internet
10	dspace.ups.edu.ec	Fuente de Internet
11	Submitted to Universidad TecMilenio	Trabajo del estudiante
12	repositorio.upt.edu.pe	Fuente de Internet
13	Reyes Medina, Paul Joel. "Sistemas integrados de gestion de produccion en empresas privadas de Lima Metropolitana : un estudio de casos.", Pontificia Universidad Catolica Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2020	Publicación
14	alicia.concytec.gob.pe	Fuente de Internet

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con cariño a mi familia, en especial a mis padres, por estar siempre presentes, por su esfuerzo silencioso y por enseñarme con el ejemplo que todo se puede lograr con constancia. A quienes confiaron en mí incluso cuando yo dudaba, les debo más de lo que puedo expresar con palabras.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a todas las personas que formaron parte de este proceso. A mis docentes y asesores, por su orientación y exigencia, que fueron clave en cada etapa. A mi familia, por su paciencia y respaldo incondicional. Y también a la empresa que me permitió desarrollar este estudio, brindándome no solo la información necesaria, sino también la confianza para aplicar lo aprendido en un entorno real.

RESUMEN

El estudio tuvo como finalidad mejorar la programación de los mantenimientos en una empresa dedicada al transporte de residuos, aplicando los principios de la Teoría de Restricciones. A partir del análisis realizado, se detectó que la principal limitación operativa estaba relacionada con el área logística, específicamente en el abastecimiento de repuestos y la falta de materiales disponibles al momento de ejecutar las órdenes de trabajo.

Para solucionar esta situación, se propuso una serie de acciones orientadas a reorganizar el proceso, establecer niveles mínimos de inventario, clasificar las órdenes según su criticidad y utilizar herramientas digitales que permitan una gestión más eficiente. Estas medidas permitieron rediseñar el sistema de mantenimiento, priorizando el flujo continuo de las actividades sin necesidad de ampliar el número de trabajadores ni los recursos físicos.

La evaluación realizada demostró que la implementación de la propuesta permitiría generar un ahorro económico significativo en un corto y mediano plazo, gracias a la reducción de tiempos muertos, reprocesos, reprogramaciones y periodos de inactividad de las unidades operativas. Asimismo, se estimó un retorno sobre la inversión del 73.66% y un periodo de recuperación aproximado de 16 meses, evidenciando la viabilidad financiera de la propuesta.

En conjunto, se concluye que el enfoque basado en buffers estratégicos, validación Full Kit y control operativo mediante la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR) representa una alternativa técnica, operativa y económicamente sostenible para mejorar la eficiencia del servicio de mantenimiento y fortalecer la continuidad operativa del sistema.

Palabras clave: Restricción, mantenimiento, logística.

ABSTRACT

This research aimed to improve the maintenance scheduling system of a waste transportation company by applying the principles of the Theory of Constraints. Through an operational analysis, it was determined that the main limiting factor was found in the logistics area, particularly in delays related to the procurement and availability of spare parts required for scheduled tasks.

To address this issue, a set of measures was proposed, including the reorganization of internal processes, the establishment of minimum inventory levels, the classification of work orders based on their criticality, and the integration of digital tools to streamline coordination and execution. These actions allowed for the redesign of the maintenance system to ensure continuous flow, without increasing staff or requiring major investments.

The evaluation carried out demonstrated that the implementation of the proposed system would generate significant economic savings in the short and medium term, mainly due to the reduction of downtime, rework, rescheduling, and periods of operational unit inactivity. Likewise, a return on investment (ROI) of 73.66% and an estimated payback period of approximately 16 months were projected, demonstrating the financial feasibility of the proposal.

Overall, it is concluded that the approach based on strategic buffers, Full Kit validation, and operational control through the Drum-Buffer-Rope (DBR) methodology represents a technically, operationally, and economically sustainable alternative to improve the efficiency of the maintenance service and strengthen the operational continuity of the system.

Keywords: Constraint, maintenance, logistics.

ÍNDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN 1
1. CAPITULO I PLANTEAMIENTO OPERACIONAL 3
1.1. Planteamiento del problema 4
1.1.1. Descripción del Problema 4
1.1.2. Formulación del Problema 5
1.1.3. Sistematización del problema 5
1.2. Objetivos de la investigación 5
1.2.1. Objetivo General 5
1.2.2. Objetivos Específicos 6
1.3. Justificación del estudio 6
1.3.1. Justificación Práctica 6
1.3.2. Justificación Social 6
1.3.3. Justificación Económica 7
1.3.4. Justificación Metodológica 7
1.3.5. Justificación Profesional y/o personal 7
1.4. Delimitaciones 8
1.4.1. Delimitación temática 8
1.4.2. Delimitación espacial 8
1.4.3. Delimitación temporal 8
1.5. Hipótesis 8
1.6. Variables e indicadores 8
1.6.1. Variables 8
1.6.2. Operacionalización de variables 9
2. CAPITULO II PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO 10
2.1. Diseño de la Investigación 11
2.2. Tipo de Investigación 11
2.3. Nivel de la Investigación 11
2.4. Método de la Investigación 11
2.5. Levantamiento de información 12

2.5.1. Técnicas 12
2.5.2. Instrumentos 12
2.6. Métodos de ingeniería a aplicarse 13
2.7. Cobertura de estudio 14
2.7.1. Población 14
2.7.2. Muestra 14
3. CAPITULO III MARCO TEÓRICO 15
3.1. Antecedentes de la investigación 16
3.1.1. Internacionales 16
3.1.2. Nacionales 17
3.1.3. Locales 19
3.2. Marco teórico conceptual 20
3.2.1. Conceptos Generales de mantenimiento 20
3.2.1.1. Mantenimiento en Ingeniería Industrial 20
3.2.1.2. Tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo 21
3.2.1.3. Indicadores clave de mantenimiento (KPI's) 22
3.2.2. Gestión logística de repuestos 22
3.2.2.1. Proceso logístico en mantenimiento 22
3.2.2.2. Abastecimiento y cotización 23
3.2.2.3. Stock mínimo y stock de seguridad 23
3.2.2.4. Problemas comunes en la logística de insumos 24
3.2.3. Programación de Mantenimientos 25
3.2.3.1. Principios de programación operativa 25
3.2.3.2. Criterios de priorización de mantenimientos 25
3.2.3.3. Herramientas para la asignación de recursos técnicos 26
3.2.4. Teoría de Restricciones (TOC) 26
3.2.4.1. Fundamentos y filosofía de TOC 26
3.2.4.2. Los cinco pasos de la mejora continua 27
3.2.4.3. Tipos de restricciones: físicas, políticas y operativas 28
3.2.4.4. Aplicación de TOC a procesos operativos 29
3.2.4.5. Herramientas TOC: buffers, subordinación, indicadores 30
3.2.4.6. Concepto de cuello de botella 30
3.2.4.7. Uso de buffers en TOC 31
3.2.4.8. Tipos de buffers (de tiempo, materiales, capacidad) 32

3.2.4.9. Ubicación y dimensionamiento 32
3.2.4.10. Control de buffers: alertas e indicadores 33
3.2.4.11. Aplicaciones de TOC en mantenimiento 34
3.2.5. Digitalización de procesos de mantenimiento 34
3.2.5.1. Importancia de la digitalización en operaciones técnicas 34
3.2.5.2. ERP y CMMS: funcionalidades básicas 35
3.2.5.3. Ventajas en la trazabilidad, planificación y control 36
3.2.5.4. Indicadores digitales de gestión 36
3.2.6. Mejora de procesos operativos 37
3.2.6.1. Principios generales de mejora continua (Kaizen, Lean, TOC) 37
3.2.6.2. Diseño de procesos y flujos 38
3.2.6.3. Optimización de recursos técnicos 38
3.2.6.4. Integración entre áreas operativas y logísticas 39
3.2.6.5. Relación entre capacidad, carga y demanda 39
3.2.6.6. Estrategias para balancear el flujo de trabajo 40
4. CAPÍTULO IV DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA ACTUAL 42
4.1. Descripción de la empresa y del área de mantenimiento 43
4.1.1. Reseña general de la empresa 43
4.1.2. Servicios principales y sector en el que opera 43
4.1.3. Flota vehicular y tipos de unidades 44
4.1.4. Estructura organizacional vinculada al mantenimiento 45
4.1.5. Procesos del área de mantenimiento 47
4.1.6. Situación problemática actual 50
4.1.6.1. Baja efectividad en el cumplimiento del cronograma 50
4.1.6.2. Alta proporción de mantenimientos correctivos frente a preventivos 50
4.1.6.3. Ingreso de unidades no programadas 50
4.1.6.4. Sobrecarga en días de alta demanda 51
4.1.6.5. Deficiencias en la gestión de recursos técnicos y logísticos 51
4.1.6.6. Falta de estandarización en la programación 51
4.2. Análisis del Desempeño del Sistema de Mantenimiento 51
4.2.1. Cumplimiento de la programación de mantenimientos 51
4.2.2. Tiempo medio de atención (preventivo vs correctivo) 55
4.2.3. Relación carga de trabajo – capacidad instalada 57
4.2.4. Mantenimientos no programados y reprocesos 58

4.3. Identificación del Cuello de Botella 62
4.3.1. Localización del recurso restrictivo 62
4.3.2. Comparación de la demanda frente a la capacidad 63
4.3.3. Impacto del cuello de botella en el flujo operativo 65
4.3.4. Análisis estratégico del sistema de mantenimiento 69
4.3.5. Resumen de cuellos de botella identificados 71
5. CAPÍTULO V PROPUESTA DE MEJORA CON TOC 72
5.1. Aplicación del Ciclo de la Teoría de Restricciones (TOC) 73
5.1.1. Identificación del recurso restrictivo 73
5.1.1.1. Ubicación gráfica de la restricción 74
5.1.2. Explotar el recurso restrictivo 75
5.1.2.1. Reorganización del proceso de cotizaciones 76
5.1.2.2. Implementación de stock mínimo de repuestos críticos 76
5.1.2.3. Priorización de órdenes por nivel de criticidad 77
5.1.3. Subordinar todo lo demás al recurso restrictivo 78
5.1.3.1. Ajustes administrativos y logísticos. 79
5.1.3.2. Reglas operativas de subordinación propuestas 80
5.1.4. Elevar la restricción del sistema 81
5.1.5. Volver al paso 1 si se rompe la restricción 87
5.2. Rediseño del proceso de mantenimiento 89
5.2.1. Procedimiento del proceso de mantenimiento 89
5.2.1.1. Etapas propuestas del nuevo proceso: 89
5.2.1.2. Validación Full Kit y subordinación logística 90
5.2.2. Incorporación de buffers estratégicos 94
5.2.2.1. Gestión visual y control de buffers 95
5.2.3. Rediseño del layout físico 96
5.2.4. Optimización de recursos disponibles 99
5.2.5. Digitalización y soporte tecnológico 101
5.3. Plan de implementación del sistema propuesto 107
5.3.1. Fases del plan 107
5.3.2. Recursos requeridos 109
5.3.2.1. Recursos humanos 110
5.3.2.2. Recursos tecnológicos 110
5.3.2.3. Recursos logísticos 111

5.3.2.4. Recursos materiales 111
6. CAPITULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA Y OPERATIVA 112
6.1. Presupuesto de la propuesta 113
6.2. Proyección de ahorros por reducción de ineficiencias 115
6.2.1. Sustento del cálculo de ahorros 115
6.2.2. Interpretación de resultados 116
6.2.3. Evaluación operativa bajo enfoque TOC 117
6.3. Indicadores de evaluación económica 117
6.3.1. Retorno sobre la Inversión (ROI) 117
6.3.2. . Relación Beneficio/Costo (B/C) 118
6.3.3. Periodo de recuperación de la inversión 118
6.3.4. Valor Actual Neto (VAN) 119
6.3.5. Interpretación general 120
Conclusiones 121
Recomendaciones 123
REFERENCIAS 124
ANEXOS 131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa 46
Figura 2 BPMN del proceso de gestión de requerimientos de mantenimiento 49
Figura 3 Cumplimiento de tiempos programados del mes de abril 52
Figura 4 Cumplimiento de tiempos programados del mes de mayo 53
Figura 5 Cumplimiento de tiempos programados del mes de junio 54
Figura 6 Cumplimiento de tiempos programados del mes de julio 55
Figura 7 Horas de mantenimientos correctivos 56
Figura 8 Participación de los tipos de mantenimientos realizados 56
Figura 9 Brecha entre demanda real y capacidad técnica 57
Figura 10 Tasa de trabajos completados exitosamente del mes de abril 58
Figura 11 Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de mayo 59
Figura 12 Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de junio 60
Figura 13 Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de julio 61
Figura 14 Gráficos comparativos entre la demanda y la capacidad real de abril hasta julio .. 64
Figura 15 Ishikawa del problema 68
Figura 16 Diagrama porcentual de la distribución de las causas según Ishikawa 69
Figura 17 Análisis FODA del sistema de mantenimiento 70
Figura 18 Ubicación del recurso restrictivo en el proceso de atención de mantenimiento 75
Figura 19 Subordinación al recurso restrictivo 81
Figura 20 Etapas del nuevo proceso 91
Figura 21 Flujo rediseñado del sistema de mantenimiento 97
Figura 22 Layout rediseñado del sistema de mantenimiento 98
Figura 23 Diagrama de arquitectura del sistema 106
Figura 24 Diagrama de Gantt del plan de implementación 109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables 9
Tabla 2 Cuadro resumen de indicadores 62
Tabla 3 Tabla resumen del impacto de la restricción 66
Tabla 4 Distribución de las causas por incidencias identificadas 68
Tabla 5 Resumen de los cuellos de botella identificados 71
Tabla 6 Análisis de las restricciones identificadas 74
Tabla 7 Interacción entre restricciones 74
Tabla 8 Propuesta de mejora 76
Tabla 9 Acciones de explotación del recurso restrictivo 77
Tabla 10 Procesos que deben subordinarse a la logística de repuestos 80
Tabla 11 Beneficios esperados al subordinar correctamente 80
Tabla 12 Tabla resumen de propuestas para elevar la restricción 84
Tabla 13 Tabla de impacto estimado tras la elevación 85
Tabla 14 Pasos de procedimiento 92
Tabla 15 Tipos de buffers utilizados 94
Tabla 16 Gestión de buffers por colores 95
Tabla 17 Roles y ajuste propuesto 99
Tabla 18 Matriz de criticidad de sistemas propuestos 102
Tabla 19 Módulos del sistema 103
Tabla 20 Actividades que automatiza el sistema 105
Tabla 21 Plan de actividades 108
Tabla 22 Recursos requeridos 110
Tabla 23 Tabla de costos presupuestados 113
Tabla 24 Comparación de indicadores operativos antes y después de la mejora 115
Tabla 25 Estimación de ahorros económicos anuales 116

INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento es una función estratégica en empresas de operación continua, ya que asegura la disponibilidad de equipos y la eficiencia en la prestación del servicio. En el sector de transporte de residuos, donde las unidades deben operar de forma constante y segura, cualquier falla en la programación o ejecución de mantenimientos puede generar consecuencias importantes, como paradas imprevistas, sobrecostos operativos y reducción en la capacidad de atención a los clientes. A pesar de ello, muchas organizaciones mantienen sistemas de mantenimiento que operan de forma reactiva, con procesos logísticos desarticulados y sin una planificación subordinada a sus verdaderas limitaciones.

En la empresa objeto de estudio, se evidenció que las actividades de mantenimiento, si bien contaban con personal técnico y capacidad instalada, no se ejecutaban con la eficiencia esperada. Las órdenes de trabajo acumuladas, los retrasos en la atención de unidades y la baja disponibilidad operativa eran síntomas de una falla estructural en el proceso. Tras un análisis inicial, se identificó que la principal restricción no se encontraba en la capacidad técnica, sino en la gestión logística de repuestos y materiales, cuyo funcionamiento lento y poco previsible afectaba el cumplimiento del plan.

Ante esta situación, la presente investigación se enfocó en aplicar los principios de la Teoría de Restricciones (TOC) como una alternativa metodológica para rediseñar el sistema de mantenimiento. Esta teoría plantea que todo sistema tiene un recurso limitante que condiciona su rendimiento, y que, si se logra identificarlo, explotarlo y reorganizar el flujo en torno a él, se puede mejorar significativamente el desempeño sin necesidad de grandes inversiones. La propuesta desarrollada se centró en optimizar la logística de repuestos a través de la implementación de buffers estratégicos, la reorganización del proceso de cotización, el uso de stock mínimo y la incorporación de herramientas digitales básicas que permitan acelerar las decisiones y controlar el cumplimiento.

El desarrollo de este trabajo se estructura en siete capítulos. En el capítulo I se formula el problema, se plantean los objetivos de la investigación y se justifica la necesidad del estudio. En el capítulo II se presenta el marco teórico, donde se abordan los conceptos clave relacionados con mantenimiento, logística operativa y la Teoría de Restricciones. El capítulo III describe la metodología utilizada, el enfoque del estudio, los instrumentos de análisis y las fuentes de información. En el capítulo IV se expone el diagnóstico del sistema actual, se identifican los cuellos de botella y se analizan sus causas mediante herramientas cuantitativas. En el capítulo V se desarrolla la propuesta de mejora basada en TOC, detallando cada uno de los pasos del

ciclo metodológico, incluyendo el rediseño del proceso, la subordinación de recursos y el uso de buffers. El capítulo VI contiene la evaluación económica y operativa de la propuesta, estimando los ahorros proyectados y calculando el retorno de la inversión. Finalmente, el capítulo VII presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas tras el análisis realizado.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del Problema

La empresa analizada se dedica al servicio de transporte y recojo de residuos, operando con un sistema de mantenimiento que presenta limitaciones críticas en su estructura de programación. A pesar de contar con un área técnica especializada, el sistema actual muestra importantes deficiencias en la atención oportuna de los mantenimientos requeridos, tanto preventivos como correctivos. Estas deficiencias están directamente relacionadas con la variabilidad diaria en la carga de trabajo, la baja estandarización en la planificación y la limitada disponibilidad de recursos técnicos, lo que genera un entorno operativo inestable.

Uno de los principales efectos observados es la sobrecarga operativa en días con alta demanda, especialmente cuando se programan 7 unidades, superando la capacidad del área de mecánica, que cuenta solo con 4 técnicos. Esta situación ocasiona que el 42.2% de las unidades no cumplan con lo programado. Además, se detecta que el 29.6% de las unidades ingresan sin programación previa, desplazando tareas ya agendadas. Como consecuencia, apenas el 28.1% de los mantenimientos se ejecuta conforme al cronograma, generando reprogramaciones continuas que intensifican la carga de trabajo en las semanas siguientes.

Otro efecto crítico es la imposibilidad de atender todas las unidades programadas en días de alta demanda. Según registros internos, 40 unidades no lograron ingresar al taller pese a estar programadas. Esta incapacidad de respuesta ha contribuido a un fuerte incremento en los trabajos correctivos: en junio, el 89% de los mantenimientos realizados fueron correctivos y solo el 11% preventivos. Esta desproporción ha derivado en la generación de 35 cotizaciones de emergencia durante el mismo mes, reflejando la urgencia creciente por atender fallas no previstas.

Asimismo, la empresa enfrenta dificultades para cumplir con los servicios previamente planificados. Solo 38 de 95 unidades entregadas cumplieron con la programación establecida, lo cual está vinculado al aumento de reprocesos y acumulación de tareas. Un total de 39 requerimientos se reportaron con 0% de cumplimiento, mientras que apenas el 69% de los requerimientos totales alcanzaron una ejecución completa. Esta situación ha originado un patrón recurrente en el cual los trabajos urgentes y no planificados sustituyen a los mantenimientos programados, lo que perpetúa un ciclo de saturación operativa.

Entre las causas identificadas del problema se encuentran tres elementos clave: la planificación diaria es variable y carece de estandarización, lo que impide un flujo constante de programación; el personal técnico disponible resulta insuficiente para atender la carga operativa

proyectada, especialmente en jornadas pico; y el alto volumen de trabajos no programados interrumpe las planificaciones previas y reduce la capacidad de respuesta ante mantenimientos críticos.

Ante este panorama, el problema central radica en la saturación operativa del área de mantenimiento por una inadecuada gestión de la programación de mantenimientos, lo cual afecta directamente la eficiencia y continuidad de las operaciones. En este contexto, la Teoría de Restricciones (TOC) se presenta como una alternativa metodológica eficaz, ya que permite identificar el recurso limitante (cuello de botella) y reorganizar la operación a través de la subordinación de tareas, uso de buffers operativos y estrategias de mejora continua. Su aplicación puede optimizar la asignación de tareas, reducir la acumulación de trabajos pendientes y mejorar los niveles de cumplimiento de los mantenimientos programados.

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cómo optimizar el sistema de programación de mantenimientos preventivos y correctivos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos sólidos mineros en Arequipa?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál es la situación actual del sistema de programación y ejecución de mantenimientos en el área de mantenimiento de la empresa?
- ¿Qué cuellos de botella y puntos críticos afectan el cumplimiento de los mantenimientos preventivos y correctivos programados?
- ¿Cómo puede diseñarse una propuesta de mejora basada en la Teoría de Restricciones (TOC) para optimizar el sistema de programación?
- ¿Cuál sería el impacto operativo y económico proyectado de la propuesta de mejora basada en TOC según los indicadores clave?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Optimizar el sistema de programación de mantenimientos correctivos y preventivos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las condiciones actuales del sistema de programación y ejecución de mantenimientos en el área de mantenimiento de la empresa.
- Identificar los principales cuellos de botella y puntos críticos que afectan la planificación y cumplimiento de los mantenimientos preventivos y correctivos programados.
- Diseñar una propuesta de mejora basada en la Teoría de Restricciones (TOC) para optimizar la asignación de recursos y buffers operativos.
- Evaluar el impacto operativo y económico proyectado de la propuesta de mejora basada en la Teoría de Restricciones (TOC) a partir del análisis de indicadores clave.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Justificación Práctica

La presente investigación busca aportar una solución estructurada a las ineficiencias detectadas en el área de mantenimiento de una empresa de transporte y recojo de residuos. A través de la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC), se pretende rediseñar el sistema de programación de mantenimientos, permitiendo identificar y gestionar el recurso crítico que genera los cuellos de botella. Esto permitirá establecer un flujo operativo más estable, reducir los incumplimientos y evitar la acumulación de tareas pendientes.

En la práctica, la propuesta beneficiará directamente al equipo de mantenimiento al facilitar una carga de trabajo más equilibrada y predecible. Asimismo, se espera mejorar la disponibilidad de unidades operativas, contribuyendo a una mayor continuidad del servicio de transporte, con impacto positivo en la eficiencia global de la operación. La investigación generará una herramienta de mejora aplicable a otros contextos con limitaciones de capacidad y alta variabilidad operativa.

1.3.2. Justificación Social

La investigación propuesta tendrá un impacto positivo en los actores directos e indirectos vinculados al proceso de mantenimiento. Al mejorar la eficiencia operativa, se incrementará la fiabilidad del sistema de transporte de residuos, garantizando mayor disponibilidad de unidades y continuidad del servicio. Esto contribuye directamente a un entorno más limpio y gestionado, beneficiando a los usuarios finales y a la comunidad en general.

Además, la reducción de saturación en el área de mantenimiento favorece las condiciones laborales del personal técnico, al evitar sobrecargas, jornadas prolongadas o

acumulación de tareas urgentes. Esto fortalece el bienestar del equipo y mejora el clima laboral, factores clave en la sostenibilidad social de cualquier organización de servicios.

1.3.3. Justificación Económica

Desde una perspectiva económica, la investigación representa una oportunidad para optimizar el uso de los recursos existentes sin incurrir en inversiones adicionales. La empresa actualmente enfrenta altos costos derivados de reprocesos, mantenimientos correctivos no planificados y uso intensivo de cotizaciones de emergencia. Estos eventos generan gastos operativos elevados, tiempos muertos y pérdidas de productividad.

La aplicación de la Teoría de Restricciones permitirá proponer un sistema de programación más eficiente, disminuyendo el porcentaje de tareas reprogramadas, evitando el colapso del área de mecánica y reduciendo el volumen de mantenimientos correctivos. Estas mejoras, sustentadas en datos reales, pueden traducirse en una reducción significativa de costos operativos asociados a fallas, retrasos y tiempos de inactividad, lo que impacta positivamente en la rentabilidad del servicio.

1.3.4. Justificación Metodológica

La elección de la Teoría de Restricciones (TOC) como herramienta central en esta investigación se fundamenta en su capacidad para gestionar procesos bajo condiciones de limitación de recursos, alta variabilidad y demanda no controlada. A diferencia de otras metodologías que requieren amplios recursos o transformación estructural, TOC permite actuar estratégicamente sobre el punto más crítico del sistema, mejorando su rendimiento global sin inversiones adicionales.

Metodológicamente, TOC aporta un enfoque lógico y sistemático basado en cinco pasos secuenciales que orientan tanto el análisis como la propuesta de mejora. Esto asegura que el estudio tenga coherencia interna, rigor técnico y un marco teórico robusto, cumpliendo los estándares exigidos en investigaciones aplicadas en Ingeniería Industrial.

1.3.5. Justificación Profesional y/o personal

La realización de esta investigación representa una valiosa oportunidad de crecimiento académico y profesional, al permitir la aplicación de herramientas avanzadas de Ingeniería Industrial en un entorno real y complejo. A través del estudio, se desarrollarán habilidades en diagnóstico de procesos, análisis de datos operativos, formulación de propuestas de mejora y evaluación técnico-económica de soluciones.

Además, abordar un problema concreto y de impacto en el sector servicios fortalece el compromiso con el desarrollo de soluciones sostenibles y realistas. Esta experiencia contribuirá significativamente a la formación como profesional capaz de generar valor en organizaciones mediante el uso estratégico de metodologías científicas y operativas.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación temática

Esta investigación corresponde al campo de la Ingeniería, específicamente al área de la Ingeniería Industrial. Se enmarca en la línea de estudio de la Gestión de Operaciones, haciendo uso de la Teoría de Restricciones (TOC) como enfoque metodológico para la optimización de procesos de mantenimiento.

1.4.2. Delimitación espacial

El estudio se desarrollará en el área de mantenimiento de una empresa de transporte y recolección de residuos ubicada en Arequipa.

1.4.3. Delimitación temporal

La recolección de datos y el desarrollo del estudio se realizarán en un plazo máximo de 6 meses, iniciando en julio y concluyendo en enero del año 2026.

1.5. Hipótesis

Dado que existe una saturación operativa en el área de mantenimiento por una inadecuada gestión de la programación de mantenimientos preventivos y correctivos, es probable que se pueda mejorar el nivel de eficiencia en dicha programación mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en una empresa de transporte de residuos sólidos mineros en Arequipa.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variables

Variable independiente: Teoría de Restricciones (TOC)

Variable dependiente: Nivel de eficiencia en la programación de mantenimientos

1.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES (TOC)	INDICADORES	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN
Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) ***(Variable Independiente)***	- Identificación de la restricción - Explotación del recurso - Subordinación del sistema – Elevación del cuello de botella - Buffer operativo	- Recurso identificado correctamente - % de tiempo productivo del cuello de botella - Cumplimiento de programación ajustada al recurso crítico - % de uso de buffers en la planificación - Nivel de alineación entre actividades operativas	Observación Entrevista
Nivel de eficiencia en la programación de mantenimientos ***(Variable Dependiente)***	- Cumplimiento de cronograma - Ejecución frente a lo planificado	- % de tareas ejecutadas según programación - % de unidades que ingresan conforme al plan	Observación Entrevista

Nota. Se desglosan las dimensiones e indicadores

CAPITULO II
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1. Diseño de la Investigación

La investigación adopta un diseño no experimental, dado que no se manipularán deliberadamente las variables del entorno. El estudio se centrará en observar y analizar la situación actual del sistema de mantenimiento sin intervenir directamente en su operación. Esta elección permite comprender la realidad del problema tal como ocurre en el entorno organizacional, facilitando un diagnóstico riguroso y la formulación de una propuesta de mejora basada en principios técnicos (Hernández et al., 2020).

2.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicativo, ya que tiene como propósito resolver un problema concreto dentro de una organización real. A partir del uso de conocimientos teóricos y herramientas propias de la Ingeniería Industrial, se desarrollará una propuesta orientada a optimizar el sistema de programación de mantenimientos, sin requerir implementación, pero con proyección operativa viable (Hernández et al., 2020).

2.3. Nivel de la Investigación

Alcance: El enfoque descriptivo busca caracterizar detalladamente el sistema de programación de mantenimientos, identificando sus deficiencias operativas, cuellos de botella y distribución de la carga de trabajo. A través del análisis de datos reales e indicadores clave, se obtendrá una visión estructurada del funcionamiento actual del área de mantenimiento, sin pretender establecer relaciones causales entre variables (Hernández et al., 2020).

Enfoque: La investigación se desarrollará bajo un enfoque mixto, integrando métodos cuantitativos y cualitativos. El análisis cuantitativo permitirá evaluar el rendimiento del sistema mediante indicadores operativos (cumplimiento de programación, reprocesos, carga promedio, entre otros), mientras que el enfoque cualitativo facilitará la interpretación de factores organizacionales, percepciones del personal técnico y criterios internos de priorización. Esta combinación proporciona una comprensión holística del problema y sustenta la propuesta técnica (Hernández et al., 2020).

2.4. Método de la Investigación

El método deductivo permitirá partir de teorías consolidadas —como la Teoría de Restricciones y la gestión de operaciones— para aplicarlas al caso específico de la empresa. Esta metodología facilita la elaboración de un análisis lógico, estructurado y fundamentado, desde conceptos generales hacia conclusiones específicas adaptadas al contexto de estudio (Hernández et al., 2020).

2.5. Levantamiento de información

El levantamiento de información constituye una fase fundamental en el desarrollo de esta investigación, ya que permite recolectar los datos necesarios para el diagnóstico del sistema de programación de mantenimientos y la identificación del recurso restrictivo (cuello de botella). Se emplearán técnicas cualitativas y cuantitativas de recolección de datos, debidamente alineadas al enfoque mixto adoptado por el estudio (Hernández et al., 2020).

2.5.1. Técnicas

- Observación: Es una técnica que permite recolectar información mediante el examen directo, sistemático y no participativo del comportamiento y funcionamiento de un fenómeno en su contexto natural. Esta técnica posibilita registrar hechos sin alterar la dinámica del proceso observado, lo que proporciona datos objetivos para el análisis (Hernández et al., 2020).
- Entrevista: Es una técnica cualitativa que facilita la obtención de información mediante el contacto directo con los actores del proceso. Según Hernández et al. (2020), permite explorar percepciones, experiencias y opiniones relevantes, especialmente cuando se requiere profundizar en variables no observables de manera directa. En este estudio se aplicarán entrevistas semiestructuradas al personal técnico de mantenimiento, supervisores operativos y al responsable de programación, con el fin de comprender los criterios de priorización, las causas de los incumplimientos y las restricciones operativas internas.

2.5.2. Instrumentos

- Guía de observación documental: Este instrumento permitirá revisar y registrar información contenida en reportes técnicos, hojas de programación, indicadores de gestión (KPIs), partes de trabajo y registros de ingreso de unidades al taller. Se observarán variables como:
    - Número de unidades programadas vs. atendidas
    - Cantidad de reprocesos
    - Tiempo medio de atención
    - Frecuencia de mantenimientos correctivos y preventivos
    - Incidencias y cotizaciones de emergencia
- Guía de observación presente: Esta guía permitirá registrar de forma estructurada el comportamiento real del proceso operativo durante jornadas específicas. Se observará:
    - Distribución diaria del personal

    - Número y tipo de unidades programadas
    - Frecuencia y causas de interrupciones
    - Tiempo de espera y ejecución de tareas
    - Afectación por ingresos no planificados
- La observación se realizará directamente en el área de mantenimiento, con énfasis en la sección de mecánica (recurso crítico identificado), sin intervenir en el proceso.
- Guía de Entrevista semiestructurada: Este instrumento consistirá en una serie de preguntas abiertas y cerradas dirigidas a:
    - Técnicos del área de mantenimiento
    - Programador o responsable operativo
- Los temas que se explorarán incluyen:
    - Criterios para la asignación de tareas
    - Gestión de prioridades y urgencias
    - Percepción sobre carga de trabajo y recursos
    - Sugerencias sobre la planificación
    - Identificación de restricciones internas
- El uso de este instrumento permitirá contrastar los datos documentales con la experiencia directa del personal involucrado.

2.6. Métodos de ingeniería a aplicarse

La presente investigación aplicará como metodología central la Teoría de Restricciones (TOC), la cual se enfoca en identificar, analizar y gestionar el recurso limitante que impide alcanzar el máximo rendimiento de un sistema. Se utilizarán los cinco pasos secuenciales de TOC: identificación de la restricción, explotación del recurso, subordinación del sistema, elevación de la restricción y repetición del proceso, con el fin de proponer una solución técnica al cuello de botella detectado en el área de mantenimiento.

Adicionalmente, se aplicarán herramientas complementarias de Ingeniería Industrial tales como:

- Análisis de capacidad vs carga: para medir la relación entre la demanda operativa y la disponibilidad técnica por área.
- Indicadores clave de mantenimiento (KPIs): para evaluar eficiencia, cumplimiento y desempeño del sistema actual.
- Diagramas de flujo y análisis funcional: para mapear el proceso de programación de mantenimientos y detectar puntos críticos de saturación.

- Criterios de balance de carga: para rediseñar la asignación diaria de tareas en función de la capacidad real del recurso crítico.
- Diagramas para identificar el problema como Ishikawa y árbol de problemas

Estas herramientas permitirán estructurar una propuesta de mejora fundamentada técnica y operacionalmente.

2.7. Cobertura de estudio

2.7.1. Población

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es el conjunto total de elementos que poseen una característica común y que son objeto de estudio en una investigación. En este caso, la población está constituida por el total de procesos operativos del área de mantenimiento en una empresa de transporte y recolección de residuos. Estos procesos incluyen:

- La programación de mantenimientos preventivos y correctivos
- La asignación diaria de tareas al personal técnico
- La ejecución y cierre de órdenes de trabajo
- La gestión de unidades no programadas o de emergencia
- La priorización operativa y control de recursos técnicos

Dado que estos procesos conforman el sistema que se desea analizar y mejorar, serán considerados en su totalidad como objeto de estudio.

2.7.2. Muestra

Una muestra censal implica incluir todos los elementos que integran la población en el análisis, sin recurrir a técnicas de muestreo (Sampieri et al., 2014). En esta investigación se aplicará una muestra censal, ya que se considerará la totalidad de los procesos operativos del área de mantenimiento dentro del período de análisis definido. Esto asegura una cobertura completa y detallada de todas las fases del sistema, permitiendo un diagnóstico exhaustivo y una propuesta integral de mejora.

CAPITULO III
MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

3.1.1. Internacionales

Dohale, Ambilkar y Bilolikar (2021). Application of TOC Strategy Using Simulation: Case of the Indian Automobile Component Manufacturing Firm. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, National Institute of Industrial Engineering (NITIE), Mumbai, India – Bangalore, India.

Esta investigación tuvo como objetivo aplicar la Teoría de Restricciones (TOC) a través de una estrategia de reasignación de recursos para eliminar cuellos de botella en una empresa manufacturera india de componentes automotrices. El estudio empleó un diseño aplicado, con enfoque cuantitativo, de tipo explicativo y nivel correlacional, utilizando como método la simulación de eventos discretos (DES) mediante el software ARENA©. Se diseñó un modelo virtual de la empresa (Velocity Ltd.) que opera bajo un sistema de producción por lotes y entorno make-to-order (MTO), con el propósito de replicar y mejorar su desempeño. Para ello, se aplicaron cuatro escenarios de simulación, evaluando el rendimiento con diferentes estrategias de reasignación, apoyados en datos reales de tiempos de ciclo obtenidos por estudios de cronometraje. La unidad de estudio fue una planta en Pune, India, dedicada a la fabricación de manifolds para sistemas de aire acondicionado de automóviles, con una producción mensual planificada de más de 70,000 unidades distribuidas en cuatro productos. La conclusión principal fue que la aplicación de la estrategia de reasignación de recursos logró mantener la utilización dentro de un rango óptimo (52%-79%), aumentar el throughput y reducir el tiempo de entrega a 167.42 horas, cumpliendo con la demanda establecida. Este estudio es sumamente relevante para la tesis titulada “Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos”, ya que ejemplifica con claridad cómo la TOC y la simulación permiten identificar y aliviar restricciones en un sistema productivo, metodología que puede adaptarse al área de mantenimiento para optimizar recursos y reducir tiempos muertos.

Lamprecht et al. (2021). Reinforcement Learning based Condition-oriented Maintenance Scheduling for Flow Line Systems. Fraunhofer IPA y University of Stuttgart. Stuttgart-Alemania

Esta investigación tuvo como objetivo principal desarrollar y evaluar una estrategia de programación de mantenimiento orientada a la condición mediante el uso de Aprendizaje por Refuerzo (Reinforcement Learning, RL), específicamente en sistemas de línea de flujo en entornos de producción. Para ello, los autores implementaron un agente inteligente basado en

Double Deep Q-Network (DDQN), una variante del DQN, que fue entrenado y evaluado a través de una simulación de eventos discretos del entorno productivo. El estudio adoptó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y alcance aplicado, utilizando la simulación como método principal. Como instrumento, se modelaron dos configuraciones de sistemas de flujo de cinco máquinas cada una (una asíncrona y otra sincronizada), y se aplicaron diferentes funciones de recompensa que incorporaban tanto la producción como los costos de mantenimiento. La población de estudio estuvo conformada por estas configuraciones de sistemas de producción simulados, sobre los cuales se ejecutaron 3,000 episodios por política para entrenar al agente. Se concluyó que la política entrenada con una función de recompensa que incluye costos (Policy R2) obtuvo un mayor rendimiento, al maximizar la producción y minimizar los costos de mantenimiento y acciones correctivas, en comparación con otras estrategias como FIFO o decisiones aleatorias. Este estudio es relevante para la tesis titulada "Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos", ya que aborda la optimización del mantenimiento en sistemas productivos complejos, lo cual es fundamental para evitar cuellos de botella, mejorar la disponibilidad de los recursos críticos y asegurar una planificación eficiente, alineado con los objetivos de la Teoría de Restricciones.

3.1.2. Nacionales

Céspedes y Alejos (2024), "El mantenimiento productivo total para mejorar la disponibilidad de camiones compactadores en la recolección de residuos sólidos", Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú

Esta investigación tuvo como objetivo implementar el mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la disponibilidad de los camiones compactadores en la empresa Industrias Argüelles y Servicios Generales S.A.C., dedicada al servicio de recolección de residuos sólidos. Para ello, utilizaron un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un nivel explicativo y un diseño cuasi-experimental, empleando el método comparativo de análisis pre-test y post-test. Los instrumentos empleados fueron registros documentales internos (historiales de mantenimiento, tiempos de reparación y cumplimiento de mantenimiento preventivo), así como checklists diarios aplicados a los conductores. La población y muestra consistió en camiones compactadores asignados a diversos distritos de Lima Metropolitana, con datos tomados entre abril y octubre de 2024, en el área de mantenimiento de la empresa ubicada en Comas, Lima. Como conclusión, se determinó que la aplicación del TPM, junto con la metodología 5S, el mantenimiento autónomo y preventivo, permitió reducir el tiempo medio de reparación de 8.1

a 3.9 horas, incrementar el cumplimiento del mantenimiento preventivo de 60% a 80% y disminuir las solicitudes correctivas de 244 a 78 casos. Estas mejoras contribuyeron a una mayor disponibilidad y eficiencia de la flota vehicular. Esta investigación es relevante para la tesis titulada "Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos" ya que demuestra cómo una adecuada gestión del mantenimiento puede reducir significativamente la saturación del sistema y mejorar el rendimiento operativo. Si bien el estudio se basa en TPM, sus hallazgos evidencian la necesidad de eliminar restricciones operativas, lo cual se alinea con los principios fundamentales de la Teoría de Restricciones aplicada en el presente trabajo.

Charri y Armijos (2021). Aplicación de teoría de restricciones para reducir los costos de almacenamiento de una empresa metalmecánica – Lima, 2021. Universidad Señor de Sipán. Pimentel – Perú.

Esta investigación tuvo como propósito aplicar la teoría de restricciones (TOC) con el fin de reducir los costos de almacenamiento en una empresa del rubro metalmecánico ubicada en Lima. Para alcanzar este objetivo, se empleó una metodología de tipo descriptivo-cuantitativo y propositivo, con un diseño no experimental y de corte transversal. Se utilizó un enfoque cuantitativo, y se recurrió a técnicas como encuestas, entrevistas al jefe de almacén, observación directa y análisis documentario, aplicadas sobre los recursos y procesos propios del área de almacén. La unidad de análisis fueron los procesos logísticos y el personal involucrado en las operaciones de almacenamiento de dicha empresa. Entre las principales restricciones identificadas se hallaron: desconocimiento de procesos, exceso de horas extra del personal, fallas en los equipos, pérdidas de materiales, quiebres de stock y obsolescencia de insumos, lo cual generaba un costo total de S/. 622,321.70. La propuesta de solución incluyó la capacitación del personal, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, la adquisición de equipos nuevos y la implementación de un sistema ERP. Como resultado, se logró una reducción del 50.2% en los costos, lo que representó un ahorro de S/. 309,669.80, además de la eliminación del gasto por alquiler de equipos. Esta investigación es sumamente útil para la tesis titulada "TITULO", ya que demuestra la efectividad de la teoría de restricciones como metodología de mejora continua en contextos logísticos, permitiendo identificar cuellos de botella y plantear soluciones concretas que optimicen costos y aumenten la eficiencia operativa dentro de un entorno industrial. También es relevante porque aborda variables similares a las de este estudio y refuerza la importancia de una adecuada gestión de almacenes.

Acuña y Del Castillo (2023). Aplicación de la teoría de restricciones para reducir los costos de los servicios de mantenimiento en SIMA S.A., Chimbote 2023. Universidad César Vallejo. Chimbote - Perú.

Esta investigación tuvo como objetivo aplicar la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir los costos en los servicios de mantenimiento de la empresa SIMA S.A., en Chimbote. El estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación aplicada y un diseño preexperimental. Se emplearon métodos como la observación directa, análisis de datos y análisis inferencial, y se utilizaron instrumentos como cuestionarios, fichas de registro, diagramas de causa-efecto, listas de chequeo e informes de costos. La muestra estuvo compuesta por 33 órdenes de servicios correspondientes a los procesos más críticos dentro del área de mantenimiento: mecánica de montaje, arenado y tuberías. Se aplicaron herramientas como TPM, metodología 5S y planes de capacitación para intervenir las restricciones identificadas. Los resultados demostraron una reducción significativa del 49% en los costos operativos, así como una mejora del 3% en el número de mantenimientos preventivos levantados y una disminución del 21% en incidentes laborales relacionados con el desorden y la falta de limpieza. La aplicación de la TOC fue validada mediante pruebas estadísticas utilizando el software SPSS. Este antecedente es altamente relevante para la presente tesis, ya que aplica la misma teoría central (TOC) en el ámbito del mantenimiento, lo cual proporciona una base sólida de validación empírica para su utilización en otro tipo de empresa —en este caso, una empresa de transporte de residuos— permitiendo extrapolar metodologías, identificar restricciones y optimizar procesos críticos que puedan representar cuellos de botella.

3.1.3. Locales

Valdivia Vargas (2023). Diseño de un programa de gestión de mantenimiento basado en Lean Maintenance para mejorar el rendimiento de neumáticos de la empresa Neuma Perú S.A.C. en la región de Arequipa – 2023. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú.

Esta investigación tuvo como propósito diseñar un programa de gestión de mantenimiento basado en la metodología Lean Maintenance para optimizar el rendimiento de los neumáticos de la empresa Neuma Perú S.A.C., específicamente en su sede de Morococha, donde se identificaron pérdidas económicas significativas por el bajo rendimiento de los neumáticos. El estudio adoptó un diseño no experimental con enfoque cuantitativo, nivel explicativo-correlacional y un tipo de investigación aplicada, integrando técnicas de análisis descriptivo con simulación de procesos para validar el sistema propuesto. Como instrumentos se emplearon el estudio de tiempos, observación directa, análisis de datos históricos y

herramientas Lean como las 5S, TPM y Poka Yoke. La población objeto de estudio fue el conjunto de operaciones de mantenimiento de neumáticos en dicha sede, con una muestra centrada en los procesos de reparación preventiva y correctiva de neumáticos tipo 12R22.5 y 425/65R22.5. Tras la implementación del programa, se observó una mejora significativa en la capacidad de atención de mantenimiento, permitiendo elevar el rendimiento de los neumáticos hasta 52,500 km y 22,500 km respectivamente, lo que se tradujo en una relación beneficio-costo de 3.94. Este antecedente aporta un marco técnico-metodológico útil para la tesis titulada "Optimización del sistema de programación de mantenimientos mediante la Teoría de Restricciones (TOC) para reducir cuellos de botella en una empresa de transporte de residuos", ya que demuestra cómo una gestión estratégica del mantenimiento puede reducir tiempos improductivos y mejorar el flujo operacional, elementos que se alinean con los principios de la Teoría de Restricciones para la eliminación de cuellos de botella.

3.2. Marco teórico conceptual

3.2.1. Conceptos Generales de mantenimiento

El mantenimiento industrial puede definirse como el conjunto organizado de actividades técnicas y de gestión orientadas a garantizar el adecuado funcionamiento de los equipos, instalaciones y sistemas durante toda su vida útil. Su finalidad consiste en maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos, reducir las interrupciones inesperadas y minimizar los costos asociados a las fallas. Asimismo, el mantenimiento contribuye a la seguridad ocupacional, el cumplimiento de los requisitos legales y de calidad, así como a la protección del medio ambiente, consolidándose como un proceso estratégico dentro de las organizaciones (Bokrantz et al., 2020; Psarommatis et al., 2023).

Bokrantz et al. (2020) sostienen que el mantenimiento industrial ha evolucionado desde un enfoque predominantemente reactivo hacia un modelo proactivo sustentado en el uso de tecnologías digitales, permitiendo optimizar el aprovechamiento de los recursos, reducir los costos operativos y favorecer la mejora continua de los procesos. En ese mismo sentido, Psarommatis et al. (2023) afirman que esta transformación ha convertido al mantenimiento en una función estratégica que impulsa la sostenibilidad, incrementa la eficiencia operativa y fortalece la competitividad organizacional.

3.2.1.1. Mantenimiento en Ingeniería Industrial

El mantenimiento constituye una función esencial dentro de la Ingeniería Industrial, debido a que contribuye directamente a garantizar la continuidad de los procesos productivos

mediante la conservación de los activos físicos en condiciones óptimas de operación. Su alcance trasciende la simple corrección de fallas, ya que incorpora actividades orientadas a la prevención, la reducción de costos, la prolongación de la vida útil de los equipos y el mejoramiento del desempeño global de los sistemas, como lo plantea Mobley (2002).

Desde una perspectiva sistémica, el mantenimiento se encuentra estrechamente relacionado con la planificación, la programación y el control de los recursos, favoreciendo mayores niveles de calidad, seguridad y productividad. Su adecuada gestión permite reducir las paradas no programadas, disminuir los desperdicios y fortalecer la competitividad de las organizaciones (Hwan, 2019).

3.2.1.2. Tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo

Los tipos de mantenimiento se clasifican de acuerdo con el momento en que se realiza la intervención sobre los activos y los objetivos perseguidos en cada estrategia. El mantenimiento preventivo comprende actividades programadas, como inspecciones, ajustes y reemplazos periódicos, cuyo propósito es prevenir la aparición de fallas mediante intervenciones planificadas en función del tiempo o del uso del equipo (Smith & Mobley, 2008).

Por su parte, el mantenimiento correctivo se ejecuta una vez que la falla ha ocurrido, con el objetivo de restablecer el funcionamiento del equipo. Aunque esta estrategia resulta necesaria en determinadas circunstancias, puede ocasionar mayores costos de reparación, tiempos de inactividad no planificados e interrupciones en la operación cuando los activos poseen alta criticidad (Hamasha et al., 2023).

En contraste, el mantenimiento predictivo se fundamenta en el monitoreo continuo de las condiciones reales de funcionamiento mediante tecnologías de diagnóstico y análisis de datos. Este enfoque permite intervenir únicamente cuando se detectan señales de deterioro, optimizando el uso de los recursos y reduciendo las paradas inesperadas. El desarrollo de herramientas propias de la Industria 4.0, como sensores inteligentes, sistemas de monitoreo en línea y análisis de grandes volúmenes de datos, ha fortalecido significativamente esta estrategia de mantenimiento (Andrushko et al., 2022; Psarommatis et al., 2023).

Moleda et al. (2023) indican que la selección del tipo de mantenimiento debe responder a factores como la criticidad del activo, la frecuencia de utilización, el impacto económico de una falla y la disponibilidad de recursos técnicos. En consecuencia, Hamasha et al. (2023) concluyen que la combinación adecuada de estrategias preventivas, correctivas y predictivas permite incrementar la confiabilidad de los equipos y mejorar el desempeño global del sistema de mantenimiento.

3.2.1.3. Indicadores clave de mantenimiento (KPI's)

Los indicadores clave de mantenimiento (Key Performance Indicators - KPI) constituyen herramientas fundamentales para evaluar el desempeño técnico y estratégico del área de mantenimiento, ya que permiten medir objetivamente el comportamiento de los activos y apoyar la toma de decisiones basada en información confiable. Entre los principales indicadores destacan la disponibilidad de los equipos, la confiabilidad del sistema, el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR), el cumplimiento del plan de mantenimiento y los costos operativos asociados (Chompu-inwai et al., 2013).

Chompu-inwai et al. (2013) señalan que el seguimiento sistemático de estos indicadores facilita la identificación de desviaciones, el establecimiento de objetivos de mejora continua y la alineación de las actividades de mantenimiento con las políticas de calidad, productividad y gestión de activos de la organización.

Adicionalmente, la gestión moderna del mantenimiento incorpora indicadores relacionados con el cumplimiento de las órdenes de trabajo, la acumulación de trabajos pendientes, la utilización de horas-hombre y la eficiencia en la asignación de recursos. Navinchandran et al. (2021) sostienen que estos indicadores permiten identificar restricciones operativas, evaluar el comportamiento del sistema y orientar la toma de decisiones hacia la optimización de los procesos.

Finalmente, el análisis continuo de los KPI facilita la comparación del desempeño entre diferentes periodos, áreas o instalaciones, permitiendo detectar tendencias y oportunidades de mejora. Asimismo, el uso de técnicas avanzadas, como el procesamiento de lenguaje natural aplicado a los reportes de mantenimiento, favorece la identificación de factores que afectan el rendimiento operativo y fortalece la gestión integral del mantenimiento (Navinchandran et al., 2021).

3.2.2. Gestión logística de repuestos

3.2.2.1. Proceso logístico en mantenimiento

El proceso logístico en mantenimiento comprende la planificación, adquisición, almacenamiento y distribución de los repuestos necesarios para garantizar la continuidad operativa de los equipos. Su adecuada gestión permite asegurar la disponibilidad de los materiales requeridos en el momento oportuno, reduciendo los tiempos de espera durante las intervenciones de mantenimiento y favoreciendo la continuidad de las operaciones (Mouschoutzi & Ponis, 2022).

Mouschoutzi y Ponis (2022) señalan que este proceso adquiere mayor complejidad en industrias donde los activos se encuentran distribuidos geográficamente o presentan alta movilidad, ya que ello dificulta la coordinación logística y la disponibilidad oportuna de los repuestos. En este contexto, la logística de mantenimiento considera tanto el flujo directo de materiales desde los proveedores hasta los usuarios finales como el flujo inverso de componentes reparables que retornan al sistema para su reutilización.

Una gestión logística eficiente contribuye significativamente a disminuir los tiempos de inactividad y los costos asociados al mantenimiento. Asimismo, la integración de sistemas de información, herramientas analíticas y una adecuada coordinación con proveedores estratégicos permite optimizar la toma de decisiones, mejorar la disponibilidad de repuestos y responder con mayor rapidez ante las variaciones de la demanda **(Zhang et al., 2021; Mouschoutzi & Ponis, 2022).**

3.2.2.2. Abastecimiento y cotización

El abastecimiento de repuestos comprende el proceso de identificación, selección y negociación con proveedores que garanticen la disponibilidad de componentes de calidad, dentro de los plazos y costos requeridos por la organización. Para ello, resulta fundamental evaluar aspectos como la criticidad del repuesto, la confiabilidad del proveedor y los tiempos de entrega, debido a que estos factores influyen directamente en el desempeño del sistema de mantenimiento (Mouschoutzi & Ponis, 2022).

Por su parte, el proceso de cotización consiste en comparar diversas alternativas de suministro considerando variables como el precio, las condiciones de entrega, las garantías comerciales y el soporte técnico ofrecido por los proveedores. Zhang et al. (2021) sostienen que una adecuada evaluación de estas variables permite seleccionar la alternativa que genera mayor valor para la organización y reduce los riesgos asociados al abastecimiento.

Adicionalmente, la incorporación de plataformas digitales y sistemas electrónicos de compras incrementa la transparencia, agiliza el seguimiento de las adquisiciones y fortalece el control del proceso. Asimismo, el desarrollo de relaciones estratégicas con múltiples proveedores disminuye la dependencia de un único abastecedor y reduce la vulnerabilidad frente a posibles interrupciones de la cadena de suministro (Mouschoutzi & Ponis, 2022; Zhang et al., 2021).

3.2.2.3. Stock mínimo y stock de seguridad

El stock mínimo corresponde a la cantidad básica de repuestos que debe mantenerse disponible en inventario para evitar interrupciones en las operaciones, considerando tanto la

demanda prevista como el tiempo requerido para la reposición de los materiales. Mantener un nivel adecuado de este inventario permite reducir el riesgo de desabastecimiento sin generar costos excesivos de almacenamiento (Tapia-Úbeda et al., 2020).

Por otro lado, el stock de seguridad constituye una reserva adicional destinada a cubrir variaciones inesperadas en la demanda o retrasos en el abastecimiento, funcionando como un mecanismo de protección frente a la incertidumbre propia de la cadena de suministro (Teixeira et al., 2024).

La determinación adecuada de ambos niveles de inventario requiere analizar la demanda histórica, los tiempos de reposición, la criticidad de los repuestos y el comportamiento de los proveedores. Un equilibrio apropiado entre el stock mínimo y el stock de seguridad permite evitar quiebres de inventario, disminuir los costos derivados del exceso de existencias y garantizar la continuidad operativa del sistema de mantenimiento (Tapia-Úbeda et al., 2020; Teixeira et al., 2024).

3.2.2.4. Problemas comunes en la logística de insumos

Entre las principales dificultades que afectan la gestión logística de insumos se encuentran la incertidumbre en la demanda, los elevados tiempos de aprovisionamiento (*lead time*), la falta de coordinación entre las diferentes áreas de la organización y las deficiencias en la administración de inventarios. Estas situaciones pueden ocasionar quiebres de stock, acumulación excesiva de inventarios y un incremento de los costos logísticos, afectando directamente la disponibilidad de los repuestos y la eficiencia del sistema de mantenimiento (Kashkanov & Moskaliuk, 2024).

Adicionalmente, factores externos como las condiciones económicas, los cambios tecnológicos y los eventos imprevistos pueden alterar significativamente la cadena de suministro. Mouschoutzi y Ponis (2022) indican que estas dificultades se intensifican cuando la organización carece de sistemas de información integrados y de mecanismos eficientes de coordinación con sus proveedores, lo que limita la visibilidad del flujo de materiales y dificulta la toma de decisiones oportunas.

Frente a este escenario, la implementación de sistemas avanzados de información y herramientas analíticas facilita la predicción de cambios en la demanda, mejora la planificación del abastecimiento y fortalece el control de inventarios. Asimismo, el establecimiento de relaciones estratégicas con los proveedores favorece la colaboración, impulsa la mejora continua y contribuye al desarrollo de una gestión sostenible de los repuestos necesarios para

las actividades de mantenimiento (Kashkanov & Moskaliuk, 2024; Mouschoutzi & Ponis, 2022).

3.2.3. Programación de Mantenimientos

3.2.3.1. Principios de programación operativa

La programación de mantenimientos comprende el proceso de planificación y organización de las actividades técnicas necesarias para intervenir los equipos de manera eficiente, asegurando la disponibilidad de los recursos requeridos y minimizando las interrupciones en la operación. Para ello, se consideran aspectos como la secuenciación lógica de las tareas, la asignación adecuada del personal, la disponibilidad de materiales y herramientas, así como la coordinación con las actividades productivas de la organización.

Yanase (2008) señala que una programación operativa adecuada permite anticipar las necesidades de mantenimiento, optimizar el uso de los recursos disponibles y garantizar una ejecución ordenada de las intervenciones. En consecuencia, una planificación estructurada favorece la continuidad operativa, disminuye la incertidumbre durante la ejecución de los trabajos y facilita el cumplimiento de los objetivos del área de mantenimiento.

Asimismo, una programación eficiente contribuye a reducir los tiempos de parada de los equipos, mejorar la utilización del personal técnico y optimizar el consumo de materiales. De igual manera, fortalece la coordinación entre las diferentes áreas de la organización, disminuye la variabilidad en la ejecución de las actividades y promueve un entorno de trabajo más controlado para el desarrollo de las intervenciones técnicas (Hyde, 1998).

3.2.3.2. Criterios de priorización de mantenimientos

La priorización de las actividades de mantenimiento responde a la necesidad de asignar los recursos disponibles a aquellas intervenciones que generan un mayor impacto sobre la continuidad operativa, la seguridad industrial y el desempeño de los activos. Debido a que los recursos económicos, humanos y materiales suelen ser limitados, resulta indispensable establecer criterios objetivos que permitan determinar el orden de ejecución de las actividades.

Entre los principales criterios de priorización se encuentran la criticidad del equipo, la frecuencia de fallas, el costo asociado a la inactividad, la complejidad técnica de la intervención, el impacto sobre la producción y la disponibilidad de los repuestos necesarios para ejecutar el mantenimiento. La aplicación conjunta de estos criterios permite optimizar el uso de los recursos y reducir los riesgos operacionales **(Li et al., 2007).**

De acuerdo con **Moore y Starr (2006)**, una adecuada priorización favorece la eficacia de las intervenciones al concentrar los esfuerzos de mantenimiento sobre los activos estratégicos de la organización. Esto contribuye a prevenir fallas de mayor impacto, disminuir los tiempos de respuesta y mantener un equilibrio entre la eficiencia operativa, la confiabilidad de los equipos y la sostenibilidad del sistema de mantenimiento

3.2.3.3. Herramientas para la asignación de recursos técnicos

La asignación eficiente de los recursos técnicos constituye una de las actividades fundamentales dentro de la programación del mantenimiento, ya que permite distribuir adecuadamente el personal, los equipos, las herramientas y los materiales necesarios para ejecutar las órdenes de trabajo dentro de los tiempos establecidos. Para ello, las organizaciones emplean diversas herramientas que facilitan la planificación, el seguimiento y el control de las actividades programadas.

Entre las herramientas más utilizadas destacan los cronogramas de mantenimiento, las matrices de carga de trabajo, los sistemas computarizados para la gestión del mantenimiento (Computerized Maintenance Management System - CMMS) y los diagramas de asignación de recursos basados en competencias. Estas herramientas facilitan la programación de actividades de acuerdo con la disponibilidad del personal, los recursos técnicos y las prioridades operativas **(Epler et al., 2017).**

Además de mejorar la distribución de las cargas de trabajo, la utilización de estas herramientas permite incrementar la productividad del área de mantenimiento, reducir los tiempos improductivos y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles. **Zhang et al. (2018)** indican que los sistemas de apoyo a la programación también facilitan la identificación de cuellos de botella, previenen la sobrecarga de recursos críticos y favorecen una ejecución más ordenada de los planes de mantenimiento, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos operacionales de la organización.

3.2.4. Teoría de Restricciones (TOC)

3.2.4.1. Fundamentos y filosofía de TOC

La Teoría de Restricciones (Theory of Constraints, TOC) constituye un enfoque sistémico de gestión que sostiene que el desempeño global de cualquier organización está determinado por el elemento que limita su capacidad para alcanzar los objetivos propuestos, denominado restricción. Desde esta perspectiva, las organizaciones pueden presentar múltiples problemas; sin embargo, normalmente existe una o un reducido número de restricciones que

condicionan el rendimiento del sistema. En consecuencia, identificar, gestionar y mejorar dichas restricciones genera un impacto significativamente mayor que optimizar procesos que no limitan el flujo global (Şimşit et al., 2014).

Uno de los principios fundamentales de TOC es la maximización del throughput, entendido como el flujo de valor que el sistema genera mediante sus operaciones. A diferencia de otros enfoques orientados a maximizar la eficiencia de cada proceso de forma independiente, TOC propone sincronizar todas las actividades alrededor de la restricción, evitando que esta reduzca el desempeño del sistema en su conjunto (Şimşit et al., 2014).

Reid y Cormier (2003) señalan que la filosofía de TOC debe entenderse como una herramienta dinámica para gestionar restricciones presentes y futuras, promoviendo una cultura organizacional orientada a la mejora continua, la simplicidad en el análisis de problemas y la toma de decisiones con enfoque sistémico. Asimismo, incorpora conceptos relacionados con el tiempo de ciclo, la sincronización de operaciones, la gestión de inventarios y el cumplimiento de los compromisos de entrega, favoreciendo la eliminación de cuellos de botella, tiempos improductivos y actividades que no agregan valor.

En los últimos años, la aplicación de TOC ha trascendido el ámbito de la programación de la producción para extenderse hacia áreas como la logística, la gestión de la cadena de suministro, la administración de proyectos y la toma de decisiones estratégicas. Chamrada y Kollmann (2023) sostienen que la evolución de esta filosofía ha permitido comprender la restricción como el principal determinante del flujo organizacional, mientras que McCleskey (2020) destaca que el enfoque contemporáneo de TOC busca incrementar el rendimiento global reduciendo simultáneamente los inventarios y los tiempos de respuesta. En esa misma línea, Antunes et al. (2020) indican que herramientas como Drum-Buffer-Rope (DBR), la gestión de buffers y los procesos de pensamiento fortalecen la coordinación entre los procesos y favorecen una gestión orientada al flujo continuo.

3.2.4.2. Los cinco pasos de la mejora continua

La mejora continua dentro de la Teoría de Restricciones se desarrolla mediante un proceso sistemático de cinco pasos, cuyo propósito es incrementar el rendimiento del sistema concentrando los esfuerzos sobre la principal restricción (Freeman, 2006).

El primer paso consiste en identificar la restricción, analizando el flujo de trabajo, los tiempos de proceso y la utilización de los recursos para determinar el elemento que limita el desempeño global del sistema. Posteriormente, el segundo paso busca explotar la restricción,

aprovechando al máximo su capacidad mediante la eliminación de actividades que no agregan valor y la optimización de su funcionamiento (Mabin et al., 2018).

El tercer paso corresponde a subordinar el resto del sistema a la restricción identificada, sincronizando las actividades y recursos para evitar acumulaciones innecesarias de trabajo o tiempos improductivos. Una vez optimizada la utilización de la restricción, el cuarto paso consiste en elevar su capacidad, incorporando inversiones, mejoras tecnológicas o rediseños únicamente cuando las acciones anteriores resulten insuficientes para satisfacer la demanda (Freeman, 2006).

Finalmente, el quinto paso consiste en reiniciar el proceso, ya que al eliminar una restricción es probable que otra pase a convertirse en el nuevo factor limitante del sistema. Esta característica convierte a TOC en una metodología de mejora continua, orientada al aprendizaje permanente y a la optimización progresiva del desempeño organizacional (Freeman, 2006; Mansir & Schacht, 1989).

En este contexto, TOCICO (2018) denomina este proceso Process of Ongoing Improvement (POOGI), resaltando que la mejora continua debe concentrar los recursos en aquellas restricciones que generan el mayor impacto sobre el rendimiento global. Asimismo, Antunes et al. (2020) sostienen que la disciplina en la aplicación de estos cinco pasos permite evitar inversiones innecesarias y dirigir los esfuerzos hacia aquellas acciones que incrementan efectivamente el throughput del sistema.

3.2.4.3. Tipos de restricciones: físicas, políticas y operativas

Dentro de la Teoría de Restricciones, las limitaciones que afectan el desempeño organizacional pueden clasificarse según su origen y naturaleza. De manera general, la literatura identifica tres grandes tipos de restricciones: físicas, políticas y operativas, cuya adecuada identificación resulta fundamental para seleccionar la estrategia de mejora más apropiada (Siha, 1999; Farzad, 2013).

Las restricciones físicas corresponden a recursos tangibles como maquinaria, equipos, infraestructura, materiales o tecnología que limitan la capacidad productiva del sistema. Debido a su naturaleza, suelen identificarse mediante análisis de capacidad, utilización y rendimiento, siendo frecuente que su tratamiento implique mejoras técnicas, redistribución de recursos o inversiones en infraestructura (Farzad, 2013).

Las restricciones políticas tienen su origen en normas internas, procedimientos, políticas organizacionales, paradigmas de gestión o supuestos que condicionan la toma de decisiones. Aunque suelen ser menos visibles que las restricciones físicas, pueden generar impactos

significativos sobre el desempeño del sistema, por lo que requieren procesos de análisis, revisión de políticas y gestión del cambio organizacional (Farzad, 2013).

Por su parte, las restricciones operativas están asociadas a deficiencias en la programación de actividades, falta de estandarización, problemas de coordinación entre áreas o insuficiente capacitación del personal. Su tratamiento generalmente implica fortalecer los procesos de planificación, mejorar la comunicación interna y optimizar la asignación de recursos disponibles (Farzad, 2013).

No obstante, algunos autores presentan clasificaciones complementarias. Catalano (2020) incorpora las restricciones de capacidad como una categoría específica, refiriéndose a aquellas situaciones en las que los recursos humanos o tecnológicos resultan insuficientes para satisfacer la demanda del sistema. Asimismo, señala que las restricciones políticas comprenden reglas, procedimientos o supuestos que condicionan las prioridades organizacionales y limitan el flujo operativo. En consecuencia, identificar correctamente el tipo de restricción permite seleccionar soluciones más eficaces, evitando la implementación de mejoras locales que no generan un impacto significativo sobre el desempeño global del sistema (Catalano, 2020; Antunes et al., 2020).

3.2.4.4. Aplicación de TOC a procesos operativos

La aplicación de la Teoría de Restricciones en los procesos operativos se fundamenta en concentrar los esfuerzos de mejora sobre el recurso o actividad que limita el desempeño del sistema. Bajo este enfoque, la explotación de la restricción y la subordinación del resto de los procesos permiten estabilizar el flujo de trabajo, reducir los tiempos de espera y mejorar el cumplimiento de los programas de producción o mantenimiento.

Kuo et al. (2021) señalan que, en entornos propios de la Industria 4.0, la integración de tecnologías digitales con la filosofía TOC facilita el monitoreo permanente de las restricciones mediante sistemas de alertas, indicadores visuales y seguimiento del consumo de buffers. Estas herramientas permiten reaccionar oportunamente frente a las variaciones del sistema y mantener la continuidad del flujo operativo. De manera similar, **Telles et al. (2022)** evidencian que la aplicación del método Drum-Buffer-Rope (DBR) sincroniza la liberación de órdenes de trabajo con la capacidad del recurso restringido, evitando acumulaciones innecesarias y mejorando la eficiencia del proceso.

Desde la perspectiva de la cadena de suministro, TOC también favorece la sincronización entre la disponibilidad de materiales, la capacidad instalada y la demanda, incrementando la confiabilidad del plan operativo y reduciendo los niveles de inventario.

Srinivasan et al. (2024) destacan que este enfoque fortalece el desempeño logístico y la resiliencia organizacional, mientras que **Antunes et al. (2020)** sostienen que la alineación entre las métricas de flujo y las decisiones operativas evita inversiones innecesarias en recursos que no constituyen la restricción del sistema, favoreciendo una gestión más eficiente y estratégica.

3.2.4.5. Herramientas TOC: buffers, subordinación, indicadores

La Teoría de Restricciones dispone de diversas herramientas orientadas a controlar el flujo de los procesos y maximizar el rendimiento del sistema. Entre las más representativas se encuentran los buffers, la subordinación de los recursos no restringidos y el uso de indicadores de desempeño, los cuales permiten mantener la estabilidad del sistema y facilitar la toma de decisiones.

Los buffers, ya sean de tiempo, materiales o capacidad, tienen como finalidad absorber la variabilidad presente en los procesos y proteger la continuidad del flujo frente a posibles interrupciones. Cuando se aplican conjuntamente con el método Drum-Buffer-Rope (DBR), permiten liberar órdenes de trabajo al ritmo de la restricción, evitando la sobrecarga de recursos no limitantes y priorizando las actividades de acuerdo con el nivel de consumo del buffer (Telles et al., 2022; Kuo et al., 2021).

La subordinación constituye otro principio fundamental de TOC, ya que implica que todos los procesos y recursos del sistema deben operar en función de la capacidad del recurso restringido. Bajo este enfoque, las decisiones operativas dejan de orientarse hacia la eficiencia individual de cada proceso para concentrarse en maximizar el desempeño global del sistema.

En cuanto a los indicadores, TOC propone evaluar el desempeño mediante métricas relacionadas con el throughput, el nivel de inventario y los gastos operativos, permitiendo medir el impacto real de las decisiones sobre el rendimiento global de la organización. Antunes et al. (2020) destacan que estos indicadores facilitan la alineación entre las decisiones tácticas y los objetivos estratégicos del sistema, mientras que Chamrada y Kollmann (2023) señalan que su utilización, complementada con los procesos de pensamiento de TOC, favorece la mejora continua y la identificación de nuevas restricciones.

3.2.4.6. Concepto de cuello de botella

El cuello de botella representa el recurso, proceso o actividad cuya capacidad resulta inferior a la demanda del sistema, convirtiéndose en el principal factor que limita el flujo operativo. Esta restricción puede corresponder a una máquina, una estación de trabajo, un proceso administrativo o incluso una decisión de gestión, siempre que condicione el rendimiento global de la organización (Kikolski, 2016).

La identificación del cuello de botella requiere analizar variables como los tiempos de ciclo, la acumulación de trabajos en proceso, los tiempos de espera, los niveles de utilización de los recursos y las tasas de productividad. Este análisis permite diferenciar una congestión temporal de una restricción estructural que afecta permanentemente el desempeño del sistema (Bellman, 1955).

Una vez identificada la restricción, la prioridad consiste en garantizar su funcionamiento continuo, eliminando actividades que no agregan valor y evitando interrupciones innecesarias. Posteriormente, el resto de los procesos debe sincronizarse con el ritmo impuesto por el cuello de botella y, únicamente cuando las acciones de optimización resulten insuficientes, evaluar alternativas como la ampliación de capacidad, la incorporación de nuevos equipos, la tercerización de actividades o el rediseño del proceso (Mihalj et al., 2022).

Asimismo, Amaral et al. (2014) sostienen que el análisis de los cuellos de botella constituye una herramienta de diagnóstico organizacional, debido a que la ubicación de la restricción puede modificarse conforme cambian la demanda, la tecnología o las condiciones de operación. Por ello, el monitoreo continuo resulta indispensable para orientar los esfuerzos de mejora hacia el nuevo recurso limitante.

Finalmente, Mauergauz (2016) afirma que una adecuada gestión de los cuellos de botella no solo incrementa el rendimiento operativo, sino que también fortalece la competitividad organizacional al optimizar la utilización de los recursos, reducir los tiempos de entrega y mejorar el cumplimiento de los compromisos asumidos con los clientes.

3.2.4.7. Uso de buffers en TOC

Dentro de la Teoría de Restricciones, los buffers constituyen mecanismos estratégicos destinados a absorber la variabilidad inherente a los procesos y proteger el flujo de trabajo frente a posibles interrupciones. Su principal función es garantizar que la restricción del sistema permanezca operativa de forma continua, evitando que factores externos afecten su desempeño. En términos generales, los buffers pueden clasificarse en buffers de tiempo, de inventario y de capacidad, dependiendo del recurso que buscan proteger (Wanjin et al., 2015).

La implementación de buffers permite estabilizar el flujo operativo y mejorar el cumplimiento de los programas de producción o mantenimiento, al reducir el impacto de las variaciones que se presentan en las etapas previas al recurso restringido. Kuo et al. (2021) destacan que, en entornos altamente automatizados, los buffers facilitan el monitoreo continuo del sistema mediante alertas en tiempo real, mientras que Telles et al. (2022) señalan que su

integración con la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR) incrementa la confiabilidad del cronograma y favorece la puntualidad en la ejecución de las actividades.

Asimismo, el nivel de consumo del buffer constituye un mecanismo de control que permite establecer prioridades de intervención. A medida que el buffer se consume, aumenta la urgencia de ejecutar acciones correctivas, facilitando la reasignación de recursos y el ajuste oportuno de la programación para evitar interrupciones en el recurso restringido. En este sentido, Zhang y Wan (2021) proponen el uso de ventanas de alerta para anticipar situaciones críticas, mientras que Kuo et al. (2021) demuestran que los sistemas de monitoreo en tiempo real mejoran significativamente la capacidad de respuesta de la organización.

3.2.4.8. Tipos de buffers (de tiempo, materiales, capacidad)

Los buffers pueden clasificarse según el recurso que protegen dentro del sistema. Los buffers de tiempo incorporan márgenes de seguridad dentro de la programación con el propósito de absorber retrasos sin afectar el cumplimiento del cronograma. Por su parte, los buffers de materiales corresponden a inventarios estratégicamente ubicados antes del recurso restringido para garantizar el abastecimiento continuo y evitar interrupciones por falta de insumos. Finalmente, los buffers de capacidad consisten en la disponibilidad de recursos adicionales, como personal, equipos o infraestructura, destinados a responder oportunamente ante incrementos de la demanda o eventos imprevistos (Zhang & Wan, 2021; Telles et al., 2022).

La selección del tipo de buffer depende de la naturaleza de la restricción, el comportamiento del proceso y el nivel de variabilidad existente en el sistema. Cuando estos mecanismos se gestionan de manera integrada, contribuyen a reducir retrasos, proteger la continuidad del flujo operativo y mejorar la capacidad de respuesta frente a cambios en la demanda. Además, su integración con sistemas de monitoreo y priorización permite minimizar los costos asociados al exceso de recursos y evitar la generación de nuevas restricciones en etapas no críticas (Kuo et al., 2021).

Asimismo, la incorporación de buffers dentro de entornos industriales apoyados en tecnologías de la Industria 4.0 fortalece la sostenibilidad y el desempeño de las operaciones, al facilitar una gestión más dinámica de los recursos y mejorar la estabilidad del sistema (Kihel et al., 2022).

3.2.4.9. Ubicación y dimensionamiento

La ubicación de los buffers constituye un aspecto fundamental dentro de la metodología Drum-Buffer-Rope, ya que determina el nivel de protección otorgado al recurso restringido. Generalmente, el buffer de restricción (constraint buffer) se ubica inmediatamente antes del

cuello de botella para garantizar su funcionamiento continuo, mientras que los feed buffers se colocan en los procesos que abastecen directamente a la restricción, evitando interrupciones ocasionadas por retrasos en etapas previas. En proyectos gestionados mediante Cadena Crítica, también se incorpora un buffer de proyecto al final de la programación para proteger la fecha comprometida de entrega (Wang et al., 2020; Brittle et al., 2022).

El dimensionamiento de los buffers debe responder al comportamiento del sistema y al nivel de incertidumbre presente en el proceso. Para ello, se emplean modelos que consideran la variabilidad de las actividades, los tiempos de ejecución y el comportamiento estocástico de la operación, con el propósito de establecer tamaños que proporcionen un nivel adecuado de protección sin generar inventarios o tiempos de espera innecesarios (Wang et al., 2020).

Por otra parte, Brittle et al. (2022) señalan que el tamaño del buffer debe ajustarse considerando la fragilidad del plan operativo, buscando un equilibrio entre el riesgo de una protección insuficiente —que podría exponer la restricción a interrupciones— y una protección excesiva que inmovilice recursos y reduzca la eficiencia del sistema.

3.2.4.10. Control de buffers: alertas e indicadores

El control de los buffers se realiza mediante mecanismos visuales e indicadores que permiten supervisar permanentemente el estado de la restricción y priorizar oportunamente las acciones de intervención. Entre las herramientas más utilizadas destacan los tableros visuales con códigos de colores (verde, amarillo y rojo), que representan el nivel de consumo del buffer y facilitan la identificación temprana de situaciones críticas.

En entornos industriales con un mayor nivel de digitalización, los sistemas de monitoreo en tiempo real permiten generar alertas automáticas cuando el consumo del buffer alcanza niveles previamente establecidos. Kuo et al. (2021) indican que estos sistemas incrementan la capacidad de respuesta de la organización, mientras que Wu et al. (2024) destacan que la incorporación de monitoreo predictivo fortalece la gestión anticipada de las restricciones y mejora la confiabilidad del sistema.

Entre los principales indicadores utilizados para el control de buffers se encuentran el porcentaje de consumo del buffer, la frecuencia de activación de alertas, el tiempo de permanencia en cada zona de control y el número de intervenciones realizadas antes del agotamiento del buffer. El análisis continuo de estos indicadores permite ajustar el tamaño de los buffers, optimizar las políticas de liberación de órdenes de trabajo y fortalecer la mejora continua del sistema (Antunes et al., 2020; Telles et al., 2022).

3.2.4.11. Aplicaciones de TOC en mantenimiento

La aplicación de la Teoría de Restricciones al mantenimiento industrial permite orientar los esfuerzos de gestión hacia aquellos equipos cuya indisponibilidad representa el mayor riesgo para la continuidad de las operaciones. Bajo este enfoque, las actividades de mantenimiento se priorizan de acuerdo con la criticidad de los activos, concentrando los recursos sobre las restricciones que condicionan el desempeño global del sistema.

Mabin y Balderstone (2003) sostienen que la identificación de los equipos críticos y el diseño de estrategias específicas para garantizar su disponibilidad constituyen elementos fundamentales para mantener la estabilidad operativa. En este contexto, la aplicación de TOC favorece la elaboración de planes de mantenimiento focalizados, la incorporación de técnicas predictivas y la asignación prioritaria de recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Asimismo, la utilización de buffers dentro de la gestión del mantenimiento incrementa la capacidad de respuesta frente a fallas inesperadas mediante la disponibilidad de tiempos de reserva, repuestos críticos y personal capacitado para atender contingencias. Sana (2012) señala que estos mecanismos contribuyen a reducir los tiempos de inactividad y mejorar la continuidad del servicio.

Finalmente, Reid y Cormier (2003) destacan que la aplicación sistemática de TOC promueve un proceso permanente de mejora continua, permitiendo identificar nuevas restricciones conforme evoluciona el sistema y fortaleciendo la calidad del mantenimiento, la confiabilidad de los activos y el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

3.2.5. Digitalización de procesos de mantenimiento

3.2.5.1. Importancia de la digitalización en operaciones técnicas

La digitalización de los procesos de mantenimiento constituye uno de los principales impulsores de la transformación de las operaciones industriales, al permitir una gestión más eficiente, segura y sostenible de los activos. La incorporación de tecnologías digitales facilita la captura, procesamiento y análisis de información en tiempo real, mejorando la toma de decisiones y optimizando la planificación de las actividades de mantenimiento.

Ahmed et al. (2023) proponen un marco de mantenimiento inteligente basado en la integración de sensores, análisis de datos y sistemas de apoyo a la decisión, permitiendo anticipar fallas y reducir intervenciones innecesarias. De manera complementaria, Scott y Scott (2022) señalan que el paradigma del Mantenimiento 4.0 incorpora tecnologías de monitoreo automatizado y gestión inteligente de activos, incrementando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

La transformación digital representa actualmente un elemento estratégico para las organizaciones que buscan incrementar su competitividad y responder de manera ágil a entornos operativos cada vez más dinámicos. En este sentido, Todorović et al. (2024) sostienen que la digitalización permite rediseñar los procesos organizacionales para mejorar su eficiencia y confiabilidad, mientras que Ahmed et al. (2023) destacan que los ecosistemas digitales favorecen la colaboración, la innovación tecnológica y la gestión del cambio dentro de las organizaciones.

3.2.5.2. ERP y CMMS: funcionalidades básicas

Cuando se utilizan juntos, los sistemas ERP y CMMS automatizan tareas repetitivas, mejoran la comunicación interdepartamental y mantienen la trazabilidad de la información para una operación efectiva. Shankar et al. (2021) destacan la emisión de órdenes de trabajo, la gestión de activos y el análisis de fallas como funciones clave para mejorar el rendimiento operativo, mientras que Omar e Ismail (2024) demostraron que la integración con sistemas BIM y FM mejora las capacidades para producir y analizar informes que apoyan mejoras continuas. Los sistemas de planificación de recursos empresariales (Enterprise Resource Planning – ERP) y los sistemas computarizados para la gestión del mantenimiento (Computerized Maintenance Management System – CMMS) constituyen herramientas fundamentales para la administración moderna de los procesos de mantenimiento.

Los sistemas ERP integran la información de las diferentes áreas de la organización, incluyendo compras, inventarios, finanzas, logística y planificación, permitiendo una gestión coordinada de los recursos empresariales. Por su parte, los sistemas CMMS están orientados específicamente a la programación, ejecución y control de las actividades de mantenimiento, facilitando la gestión de órdenes de trabajo, el historial de los equipos, el control de repuestos y el seguimiento de indicadores operativos (Shankar et al., 2021).

La integración entre ambos sistemas permite automatizar tareas repetitivas, mejorar la comunicación entre las diferentes áreas y fortalecer la trazabilidad de la información durante todo el ciclo de mantenimiento. Shankar et al. (2021) destacan que esta integración favorece la gestión de activos, el análisis de fallas y la emisión automática de órdenes de trabajo, mientras que Omar e Ismail (2024) señalan que la incorporación de plataformas BIM y Facility Management amplía las capacidades de análisis y generación de información para apoyar los procesos de mejora continua.

3.2.5.3. Ventajas en la trazabilidad, planificación y control

La digitalización de los procesos de mantenimiento fortalece la trazabilidad de la información al permitir el registro, almacenamiento y consulta de datos históricos y operativos relacionados con equipos, intervenciones, repuestos y personal técnico. Esta disponibilidad de información facilita el seguimiento de los activos durante todo su ciclo de vida y mejora la transparencia en la gestión del mantenimiento.

Desde la perspectiva de la gestión de activos, Omar e Ismail (2024) indican que la integración entre plataformas BIM y Facility Management incrementa la calidad de la información, fortalece el cumplimiento normativo y mejora la trazabilidad de las operaciones. Asimismo, Johansson y Roth (2019) sostienen que los sistemas de mantenimiento inteligente permiten identificar patrones de falla y optimizar la gestión de inventarios mediante el análisis continuo de los datos generados durante las operaciones.

En relación con la planificación y el control, los sistemas digitales facilitan la programación de actividades, la asignación eficiente de recursos y el monitoreo permanente del avance de las órdenes de trabajo. Shankar et al. (2021) afirman que esta mayor visibilidad reduce los tiempos de inactividad y mejora la utilización de los activos, mientras que Kihel y Kihel (2022) destacan que la estandarización de los procesos digitales favorece respuestas más rápidas frente a eventos imprevistos y fortalece la mejora continua.

3.2.5.4. Indicadores digitales de gestión

La digitalización permite capturar, procesar y analizar indicadores de desempeño de manera automática, proporcionando información confiable para la toma de decisiones. Entre los principales indicadores utilizados en la gestión del mantenimiento destacan el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR), el cumplimiento de las órdenes de trabajo, la disponibilidad de los equipos y la utilización de los recursos técnicos.

Shankar et al. (2021) señalan que la implementación disciplinada de sistemas CMMS fortalece la cultura de gestión basada en datos y facilita la evaluación permanente del desempeño operativo. De manera complementaria, Kihel y Kihel (2022) destacan que estos indicadores contribuyen a mejorar la sostenibilidad, incrementar la eficiencia de los procesos y optimizar la utilización de los activos.

Además, los sistemas digitales incorporan herramientas de monitoreo en tiempo real, generación automática de reportes, análisis predictivo e integración con tecnologías como inteligencia artificial y big data, permitiendo anticipar fallas, optimizar la programación de las actividades y alinear los objetivos del mantenimiento con la estrategia organizacional.

Johansson y Roth (2019) indican que los sistemas de e-Maintenance fortalecen el diagnóstico predictivo y el aprendizaje continuo, mientras que Ahmed et al. (2023) sostienen que los marcos de gobernanza digital convierten los indicadores de desempeño en herramientas estratégicas para la mejora continua y la toma de decisiones.

3.2.6. Mejora de procesos operativos

3.2.6.1. Principios generales de mejora continua (Kaizen, Lean, TOC)

La mejora continua constituye un enfoque de gestión orientado a incrementar progresivamente el desempeño de los procesos mediante la identificación sistemática de oportunidades de mejora y la implementación de acciones que permitan optimizar los resultados organizacionales. Su aplicación busca fortalecer la productividad, mejorar la calidad de los productos y servicios, reducir desperdicios y promover una cultura organizacional basada en el aprendizaje permanente y la innovación (Chandran, 2024).

Uno de los enfoques más representativos de la mejora continua es Kaizen, filosofía que promueve la realización de pequeñas mejoras de manera constante con la participación de todos los integrantes de la organización. Este enfoque considera que la suma de mejoras incrementales permite generar cambios sostenibles en el desempeño de los procesos, fortaleciendo el compromiso del personal y la cultura de mejora organizacional (Chandran, 2024).

Por su parte, la filosofía Lean se orienta a maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor al proceso. Para ello, busca reducir desperdicios relacionados con tiempos de espera, movimientos innecesarios, sobreproducción, inventarios excesivos, reprocesos y transporte, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y el aprovechamiento de los recursos disponibles (Gomaa, 2025).

En complemento a estos enfoques, la Teoría de Restricciones (TOC) propone que las organizaciones deben concentrar sus esfuerzos de mejora en identificar y gestionar la principal restricción que limita el desempeño global del sistema. Desde esta perspectiva, la optimización de procesos no debe enfocarse en maximizar la eficiencia de todas las actividades, sino en incrementar el rendimiento del recurso que condiciona el flujo operativo (Antunes et al., 2020).

La implementación de cualquiera de estas metodologías requiere procesos estandarizados que permitan mantener la estabilidad operativa y facilitar la identificación de oportunidades de mejora. Asimismo, el uso de indicadores de desempeño posibilita evaluar los resultados alcanzados, monitorear el progreso de las acciones implementadas y fortalecer la toma de decisiones basada en información objetiva (Scavarda & Ceryno, 2024).

3.2.6.2. Diseño de procesos y flujos

El diseño de procesos comprende el análisis, estructuración y optimización de las actividades que conforman una operación, con el propósito de incrementar la eficiencia, mejorar la calidad de los resultados y fortalecer la utilización de los recursos disponibles. Este proceso permite comprender el funcionamiento integral de la organización e identificar oportunidades para incrementar el valor generado por cada actividad (Scavarda & Ceryno, 2024).

Una de las principales herramientas utilizadas para el diseño y mejora de procesos es el mapeo del flujo de valor, el cual permite representar gráficamente la secuencia de actividades, identificar cuellos de botella, detectar actividades que no agregan valor y reconocer oportunidades de automatización o simplificación del proceso. Asimismo, técnicas como la simulación y la reingeniería de procesos facilitan la evaluación de diferentes escenarios antes de implementar cambios en la operación (Wang & Vo, 2024).

El rediseño de procesos apoyado en tecnologías digitales ha incrementado significativamente la capacidad de las organizaciones para adaptarse a entornos dinámicos. La incorporación de herramientas como inteligencia artificial, automatización, análisis de datos y sistemas digitales de gestión permite optimizar la toma de decisiones y desarrollar procesos más flexibles, eficientes y orientados a resultados (Chandran, 2024).

No obstante, el éxito de cualquier iniciativa de rediseño depende no solo de la tecnología empleada, sino también del involucramiento de las personas responsables de ejecutar los procesos. La participación activa de las áreas operativas facilita la identificación de problemas reales, mejora la aceptación de los cambios y favorece la sostenibilidad de las mejoras implementadas dentro de la organización (Horovyi, 2024).

3.2.6.3. Optimización de recursos técnicos

La optimización de los recursos técnicos consiste en gestionar de manera eficiente el personal, los equipos, la tecnología y los materiales disponibles con el propósito de incrementar la productividad, mejorar el desempeño operativo y reducir los costos asociados a las actividades de mantenimiento y producción. Este proceso busca asegurar que los recursos sean utilizados de forma coordinada, evitando tiempos improductivos y favoreciendo el aprovechamiento de la capacidad instalada (Chandran, 2024).

Entre las principales estrategias para optimizar los recursos técnicos se encuentran la automatización de procesos, la aplicación de mantenimiento predictivo, la incorporación de tecnologías digitales y la capacitación permanente del personal. Estas acciones permiten disminuir los tiempos de inactividad, incrementar la calidad de los procesos y fortalecer la

capacidad de respuesta frente a cambios en la demanda y en las condiciones de operación (Gomaa, 2025).

La sostenibilidad de estas mejoras depende del seguimiento continuo mediante indicadores de desempeño que permitan evaluar la utilización de los recursos y la eficiencia de las operaciones. En este sentido, Chandran (2024) señala que la medición de la capacidad efectiva, el equilibrio de carga y el desempeño de los recursos constituye un elemento clave para la toma de decisiones, mientras que Scavarda y Ceryno (2024) destacan que la gobernanza basada en indicadores facilita la implementación de acciones de mejora tanto a nivel táctico como estratégico.

3.2.6.4. Integración entre áreas operativas y logísticas

La integración entre las áreas operativas y logísticas constituye un factor determinante para garantizar la continuidad del flujo de materiales, información y recursos dentro de la organización. Una adecuada coordinación entre ambas funciones permite reducir inventarios innecesarios, disminuir tiempos de espera y mejorar la capacidad de respuesta frente a variaciones de la demanda o interrupciones en las operaciones (Gomaa, 2025).

La sincronización de los procesos requiere que las áreas involucradas compartan información de manera oportuna y trabajen bajo objetivos comunes, favoreciendo la planificación coordinada de las actividades de producción, abastecimiento y mantenimiento. Desde esta perspectiva, Horovyi (2024) sostiene que una arquitectura de procesos correctamente estructurada fortalece el flujo de información y mejora la coordinación entre las diferentes unidades organizacionales.

Asimismo, la integración entre áreas debe sustentarse en mecanismos de mejora continua, estandarización de procesos y seguimiento mediante indicadores de desempeño. Scavarda y Ceryno (2024) señalan que el enfoque de Business Process Management (BPM) facilita el diagnóstico, rediseño y control integral de los procesos, mientras que Chandran (2024) afirma que la disciplina en la aplicación de estándares e indicadores fortalece la coordinación entre las áreas de producción, logística y soporte, favoreciendo una gestión integrada y orientada al cumplimiento de los objetivos organizacionales.

3.2.6.5. Relación entre capacidad, carga y demanda

La relación entre capacidad, carga y demanda constituye uno de los fundamentos de la gestión de operaciones, debido a que determina el equilibrio necesario para mantener la eficiencia del sistema. La capacidad representa el volumen máximo de trabajo que un proceso puede desarrollar durante un periodo determinado; la carga corresponde al trabajo

efectivamente asignado; mientras que la demanda representa el requerimiento que debe ser atendido por la organización (Verhagen & Gabbett, 2019).

Mantener un equilibrio entre estos tres elementos resulta indispensable para garantizar un adecuado desempeño operativo. Cuando la carga supera la capacidad disponible, se generan retrasos, sobreutilización de recursos y mayores probabilidades de incumplimiento; por el contrario, una capacidad superior a la carga ocasiona tiempos ociosos y una utilización ineficiente de los recursos disponibles (Chen et al., 2016).

Las organizaciones deben incorporar mecanismos de flexibilidad que permitan ajustar la capacidad frente a las variaciones de la demanda. Entre las principales estrategias destacan la programación dinámica, la redistribución de turnos, el mantenimiento flexible, la polivalencia del personal y la incorporación de reservas estratégicas de capacidad, favoreciendo una mejor adaptación a las condiciones cambiantes del entorno (Li et al., 2020).

El análisis permanente de la capacidad, la carga y la demanda permite identificar oportunidades para optimizar la planificación operativa, redistribuir recursos y sustentar decisiones relacionadas con ampliaciones de capacidad o mejoras en la organización del trabajo. Asimismo, su monitoreo impacta directamente sobre indicadores como el nivel de servicio, el cumplimiento de plazos, la productividad y los costos operativos (Babu et al., 2011).

3.2.6.6. Estrategias para balancear el flujo de trabajo

El balance del flujo de trabajo constituye una estrategia orientada a distribuir de manera equilibrada las actividades, los recursos y los tiempos de ejecución entre las diferentes etapas del proceso, con el propósito de evitar sobrecargas, reducir tiempos improductivos y mejorar la eficiencia del sistema (Das & Vinod, 2013).

Una de las estrategias más utilizadas es la nivelación de la producción, la cual busca mantener un ritmo de trabajo constante mediante la programación anticipada, la estandarización de actividades y la utilización de herramientas visuales que faciliten el control de las operaciones. Este enfoque contribuye a disminuir las fluctuaciones del proceso y mejorar la estabilidad del flujo operativo (Nowicka-Skowron & Stegăroiu, 2015).

Otra estrategia ampliamente aplicada consiste en la redistribución de tareas entre operadores o estaciones de trabajo, permitiendo equilibrar la carga operativa y reducir la generación de cuellos de botella. La capacitación cruzada y la polivalencia del personal fortalecen esta práctica al incrementar la flexibilidad de la organización frente a cambios en la demanda (Singh & Shrivastava, 2017).

Asimismo, la implementación de sistemas de producción tipo Kanban y de flujo continuo permite sincronizar las operaciones con la demanda real, reduciendo inventarios intermedios, fortaleciendo la trazabilidad y favoreciendo un flujo de trabajo más estable (Singh & Shrivastava, 2017).

La incorporación de herramientas digitales para la programación, simulación y monitoreo en tiempo real facilita el ajuste dinámico de las cargas de trabajo, la identificación anticipada de conflictos operativos y la coordinación entre las áreas de mantenimiento, operaciones y planificación. Estas tecnologías fortalecen la toma de decisiones basada en información actualizada y contribuyen a una gestión más eficiente de los recursos (Rozas, 2014).

Finalmente, prácticas como el mantenimiento programado fuera de horas pico, los turnos escalonados, la conformación de equipos autónomos y el empleo de tableros visuales de seguimiento complementan las estrategias de balanceo del flujo de trabajo. En conjunto, estas acciones favorecen la estabilidad del sistema, incrementan la productividad y mejoran las condiciones de trabajo del personal al reducir la presión generada por los desbalances operativos (Rozas, 2014).

CAPÍTULO IV
DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA ACTUAL

4.1. Descripción de la empresa y del área de mantenimiento

4.1.1. Reseña general de la empresa

La empresa inició sus actividades a comienzos de la década del 2000 en la ciudad de Arequipa, consolidándose en el sector de servicios especializados para la minería e industria. Desde sus inicios, orientó su operación al transporte de carga pesada y la gestión integral de residuos sólidos tanto peligrosos como no peligrosos—, complementando estas actividades con servicios de limpieza industrial y apoyo logístico. Su sede administrativa y operativa se ubica en el distrito de Paucarpata, lo que le permite articularse estratégicamente con las principales unidades mineras y centros industriales de la región sur del país.

Actualmente, se ha posicionado como un actor relevante en el mercado, dado que brinda servicios a compañías de gran envergadura en los sectores minero, energético y de construcción. Su capacidad operativa, respaldada por un equipo humano calificado y una flota moderna, ha permitido que sea reconocida como una empresa competitiva y confiable en la provisión de soluciones ambientales y logísticas, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región y al cumplimiento de estándares regulatorios en el manejo de residuos.

4.1.2. Servicios principales y sector en el que opera

La gestión de residuos sólidos mineros constituye una actividad crítica dentro del sector extractivo, ya que garantiza la recolección, traslado, acondicionamiento y disposición final de los materiales generados durante las operaciones. Este servicio comprende el recojo en puntos de generación, el transporte seguro en unidades de carga pesada, cisternas o tolvas, el almacenamiento temporal en zonas autorizadas y, finalmente, la entrega a operadores acreditados para su tratamiento o disposición.

En el caso de los residuos semilíquidos, como los lodos provenientes de procesos industriales y mineros, se aplican procedimientos adicionales de secado y deshidratación que permiten reducir su humedad y volumen, optimizando tanto el transporte como el manejo en las etapas posteriores. Estos lodos son trasladados en tolvas hacia instalaciones de disposición final, como las ubicadas en el área de Eco Misti, donde son sometidos a procesos de estabilización mediante la adición de cal. Este tratamiento neutraliza su peligrosidad, contribuye al control de olores y minimiza los riesgos ambientales asociados.

La operación se desarrolla bajo estrictos protocolos de seguridad y salud ocupacional, con unidades vehiculares acondicionadas para prevenir derrames, emisiones y otros impactos negativos. El personal técnico recibe capacitación en el manejo de materiales peligrosos y en

respuesta ante emergencias, asegurando así la continuidad del servicio sin comprometer la seguridad ni el medio ambiente.

El marco normativo aplicable en el Perú se sustenta en la Ley N.° 27314 – Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento (D.S. N.° 014-2017-MINAM), los cuales establecen disposiciones para la gestión integral de residuos en todas sus etapas. En el ámbito minero, estas normas se complementan con el Reglamento de Gestión Ambiental para la Actividad Minera (D.S. N.° 040-2014-EM) y con los lineamientos emitidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Asimismo, las empresas dedicadas a este rubro deben contar con inscripción vigente en el Registro Autoritativo de Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS), requisito que asegura la legalidad y trazabilidad de las operaciones.

4.1.3. Flota vehicular y tipos de unidades

La empresa cuenta con una flota vehicular destinada principalmente al desarrollo de sus operaciones de transporte de residuos sólidos y a la atención de los servicios solicitados por sus clientes. Debido a las características de las operaciones, las unidades requieren actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que permitan mantener su disponibilidad y continuidad operativa.

Entre las principales unidades utilizadas en las operaciones se encuentran los semirremolques y las tolvas con sistemas neumáticos, empleados para el transporte y manejo de los residuos de acuerdo con los requerimientos del servicio. Asimismo, la empresa cuenta con unidades y equipos correspondientes a la denominada línea amarilla, utilizados para actividades operativas y de apoyo. Estas unidades presentan diferentes características técnicas y requerimientos de mantenimiento, por lo que forman parte del proceso de programación y atención de mantenimientos analizado en la presente investigación.

Tabla 2

Principales tipos de unidades y equipos utilizados en las operaciones

Tipo de unidad/equipo	Uso principal	Consideración para mantenimiento
Semirremolques	Transporte de residuos y materiales asociados a las operaciones.	Mantenimiento preventivo y correctivo según programación y condición de la unidad.
Tolvas con sistema neumático	Transporte y descarga de residuos mediante sistema neumático.	Revisión de componentes mecánicos y del sistema neumático, según requerimiento.
Línea amarilla	Actividades operativas, movimiento de materiales y apoyo a las operaciones.	Mantenimiento preventivo y correctivo de acuerdo con las horas de trabajo y condición del equipo.

Nota. Elaboración propia.

Figura 2

Principales unidades y equipos utilizados por la empresa

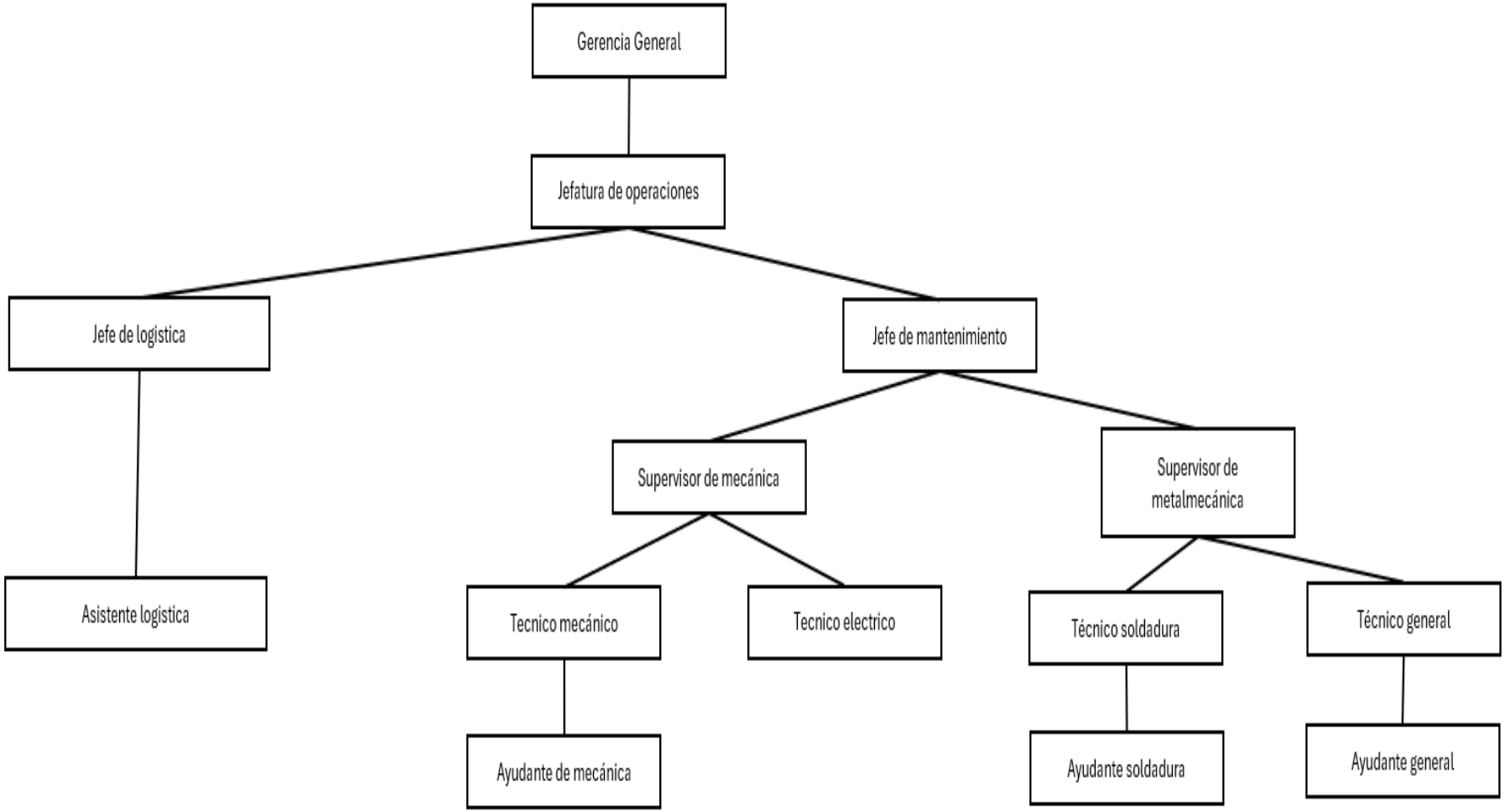


Nota. Fotografías de las unidades y equipos de la empresa. Elaboración propia.

4.1.4. Estructura organizacional vinculada al mantenimiento

La estructura general, está compuesta por la Gerencia General, la Jefatura de Operaciones, en el Área de Logística y el Área de Mantenimiento como se visualiza a continuación:

Figura 1
Organigrama de la empresa



Nota. Elaboración propia

4.1.5. Procesos del área de mantenimiento

El área de mantenimiento articula sus actividades a través de un conjunto de procesos que garantizan la atención de los requerimientos de los supervisores externos, quienes solicitan servicios mediante reportes enviados y registrados en una plataforma digital (Drive). A partir de estos requerimientos, se estructuran las órdenes de trabajo, la programación de actividades y la gestión de recursos.

- La programación de mantenimientos preventivos y correctivos

  La programación se inicia con la recepción de requerimientos externos, los cuales son clasificados según su naturaleza: preventiva (acciones planificadas para preservar la operatividad de las unidades) o correctiva (acciones derivadas de fallas o incidencias detectadas). Cada requerimiento se transforma en una orden de trabajo con número correlativo y es incluido en un cronograma por día. La prioridad de atención se determina considerando la urgencia del servicio y la necesidad planteada por los supervisores externos, lo que permite equilibrar la carga de trabajo y mantener la continuidad operativa.

- La asignación diaria de tareas al personal técnico

  Una vez definido el cronograma, las órdenes de trabajo son distribuidas entre las dos subáreas de mantenimiento: mecánica y metalmecánica. Cada una cuenta con un supervisor responsable que organiza al personal bajo su cargo. En el área de mecánica, las tareas se asignan a técnicos mecánicos, técnicos eléctricos y ayudantes; mientras que en el área de metalmecánica se distribuyen entre el técnico en soldadura, el técnico general y los ayudantes de soldadura. Esta asignación diaria asegura que los recursos humanos estén alineados con las prioridades establecidas.

- La ejecución y cierre de órdenes de trabajo

  Los supervisores de cada subárea analizan las unidades y verifican las actividades requeridas antes de iniciar la ejecución. Durante el proceso, se identifican los materiales y repuestos necesarios, los cuales son solicitados al área de logística. Una vez realizada la compra de insumos y aprobada la cotización por Gerencia General, se ejecuta la intervención técnica. Al concluir, se procede con el cierre de la orden de trabajo mediante la elaboración de un reporte detallado que incluye actividades realizadas, tiempo de ejecución, recursos empleados y observaciones técnicas.

- La gestión de unidades no programadas o de emergencia

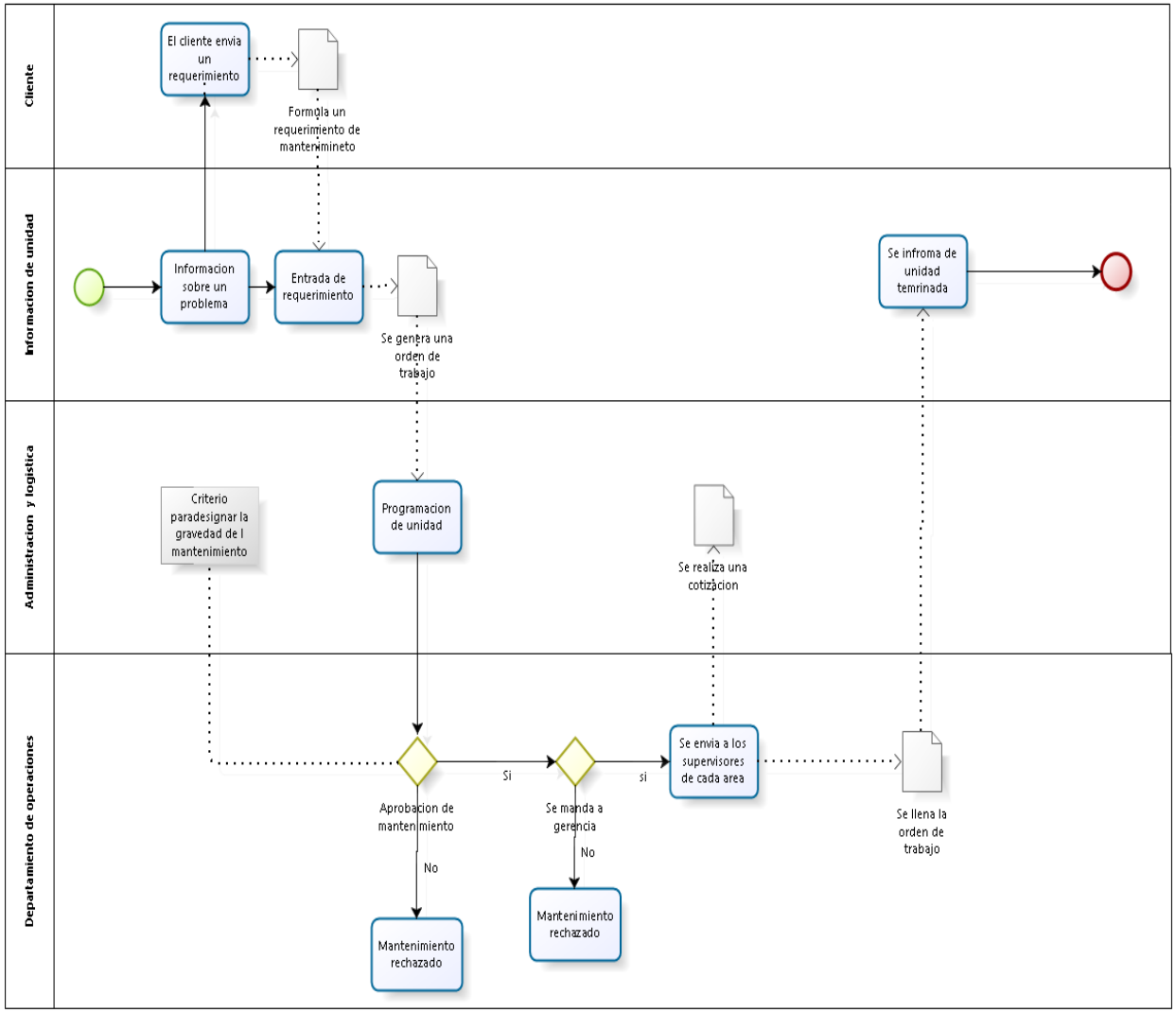
La dinámica del servicio contempla la atención de unidades que ingresan sin programación previa, las cuales representan un desafío operativo al alterar el cronograma establecido. En estos casos, se priorizan según la urgencia y criticidad del requerimiento, pudiendo desplazar actividades preventivas para dar atención inmediata a las correctivas. Esta gestión flexible garantiza que los equipos críticos reciban atención oportuna, aunque implica un mayor esfuerzo de coordinación entre supervisores y logística.

- La priorización operativa y control de recursos técnicos

  La priorización se define en función de la importancia de la unidad en operación, la magnitud de la falla y la disponibilidad de recursos. Los supervisores de mecánica y metalmecánica coordinan directamente con logística para garantizar el abastecimiento de repuestos y materiales, evitando tiempos muertos en el taller. A su vez, el área de logística desempeña un rol central en la cotización y adquisición de insumos, asegurando que las actividades de mantenimiento se ejecuten dentro de los plazos previstos.

Figura 2

BPMN del proceso de gestión de requerimientos de mantenimiento



Nota. Elaboración propia

4.1.6. Situación problemática actual

El diagnóstico realizado evidencia que el área de mantenimiento presenta limitaciones estructurales y de gestión que afectan el cumplimiento de los objetivos de eficiencia y continuidad operativa. A continuación, se detallan las principales deficiencias encontradas:

4.1.6.1. Baja efectividad en el cumplimiento del cronograma

Este hallazgo se obtuvo a partir del análisis de los registros mensuales de mantenimiento correspondientes a los meses de abril, mayo y junio. Se revisaron las órdenes de trabajo programadas frente a las que fueron realmente ejecutadas en el período previsto, identificando un nivel de cumplimiento promedio inferior al 30%.

Adicionalmente, se realizó una revisión cruzada con los reportes de entradas no planificadas al sistema, lo cual permitió identificar que una parte significativa de las tareas programadas era postergada debido al ingreso constante de trabajos correctivos urgentes o a la falta de insumos necesarios para ejecutar las actividades preventivas. Esta información fue complementada con observaciones directas y entrevistas a supervisores técnicos, quienes indicaron que los retrasos eran recurrentes y afectaban la secuencia normal del trabajo.

En conjunto, esta evidencia permitió concluir que, aunque existe una programación formal diaria, el sistema presenta una baja efectividad en su ejecución. La acumulación de pendientes, la reprogramación constante y la poca disponibilidad de recursos logísticos ocasionan desorganización operativa y reducen la confiabilidad del mantenimiento.

4.1.6.2. Alta proporción de mantenimientos correctivos frente a preventivos

El análisis de registros internos refleja que más del 60% de las intervenciones corresponde a mantenimiento correctivo, mientras que los trabajos preventivos representan un porcentaje menor. Esto indica que no se está logrando anticipar la ocurrencia de fallas mediante inspecciones periódicas y revisiones programadas. La consecuencia directa es un aumento en los tiempos de inactividad de las unidades, mayores costos por reparaciones emergenciales y desgaste acelerado de componentes críticos.

4.1.6.3. Ingreso de unidades no programadas

Un número considerable de unidades ingresa al taller sin estar registradas en la programación previa, representando entre el 25% y 35% de la carga mensual. Estas unidades se atienden de manera prioritaria debido a su urgencia, lo que obliga a suspender o postergar las

tareas planificadas. Como resultado, la programación preventiva pierde efectividad y los técnicos deben redistribuir sus tiempos hacia actividades correctivas de emergencia, generando un ambiente de trabajo reactivo.

4.1.6.4. Sobrecarga en días de alta demanda

La programación actual concentra múltiples actividades en determinados días de la semana, lo que provoca picos de demanda que sobrepasan la capacidad del personal y los recursos disponibles. En particular, el área de mecánica suele enfrentar cuellos de botella cuando coinciden reparaciones complejas con mantenimientos programados. Esto obliga a extender jornadas laborales, redistribuir técnicos entre áreas o, en algunos casos, dejar órdenes de trabajo inconclusas, afectando la eficiencia y generando acumulación de trabajos pendientes.

4.1.6.5. Deficiencias en la gestión de recursos técnicos y logísticos

La identificación de repuestos y materiales generalmente se realiza después de la inspección inicial de la unidad, lo que ocasiona retrasos porque la cotización y aprobación dependen de procesos administrativos adicionales. Al no contar con un stock mínimo planificado, se depende de la adquisición puntual de insumos, lo que alarga los tiempos de respuesta y limita la capacidad de atender emergencias de manera inmediata. Esta falta de previsión también incrementa costos por compras urgentes y genera tiempos muertos para el personal técnico.

4.1.6.6. Falta de estandarización en la programación

Actualmente, los criterios de priorización de actividades no siguen un modelo uniforme, sino que dependen en gran medida de la urgencia comunicada por los supervisores externos o de la disponibilidad momentánea de recursos. Esto provoca que en algunos casos unidades menos críticas sean atendidas antes que otras de mayor importancia operativa. La ausencia de indicadores claros de priorización (como horas de uso acumuladas, historial de fallas o criticidad de la unidad) dificulta la planificación a mediano plazo y favorece una dinámica reactiva en lugar de preventiva.

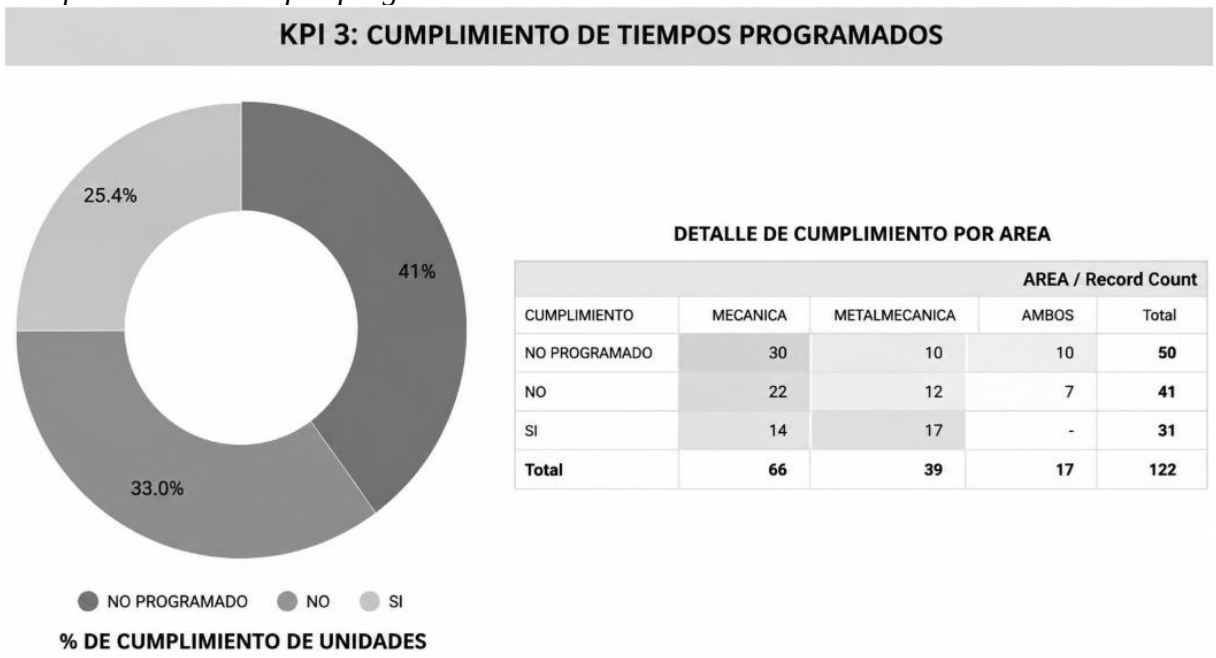
4.2. Análisis del Desempeño del Sistema de Mantenimiento

4.2.1. Cumplimiento de la programación de mantenimientos

A continuación, se muestran tablas y gráficos de los principales indicadores de desempeño.

Figura 3

Cumplimiento de tiempos programados del mes de abril



Nota. Elaboración propia

En el mes de abril se registraron 122 unidades para mantenimiento, de las cuales solo 31 (25,4%) fueron atendidas según lo programado, mientras que 41 (33,6%) no se ejecutaron y 50 (41%) no llegaron a programarse. En el área de mecánica se consideraron 66 unidades, con apenas 14 cumplidas, 22 no ejecutadas y 30 no programadas; en metalmecánica, de 39 unidades, se atendieron 17, 12 quedaron sin ejecutar y 10 no fueron programadas; mientras que en los trabajos conjuntos (ambos), de 17 unidades, solo 4 se cumplieron, 7 no se realizaron y 6 no se programaron. En conjunto, el nivel de cumplimiento resultó bajo, predominando las unidades no programadas y no ejecutadas, lo que refleja deficiencias en la planificación y en la capacidad de respuesta operativa.

Figura 4

Cumplimiento de tiempos programados del mes de mayo



AREA / Record Count

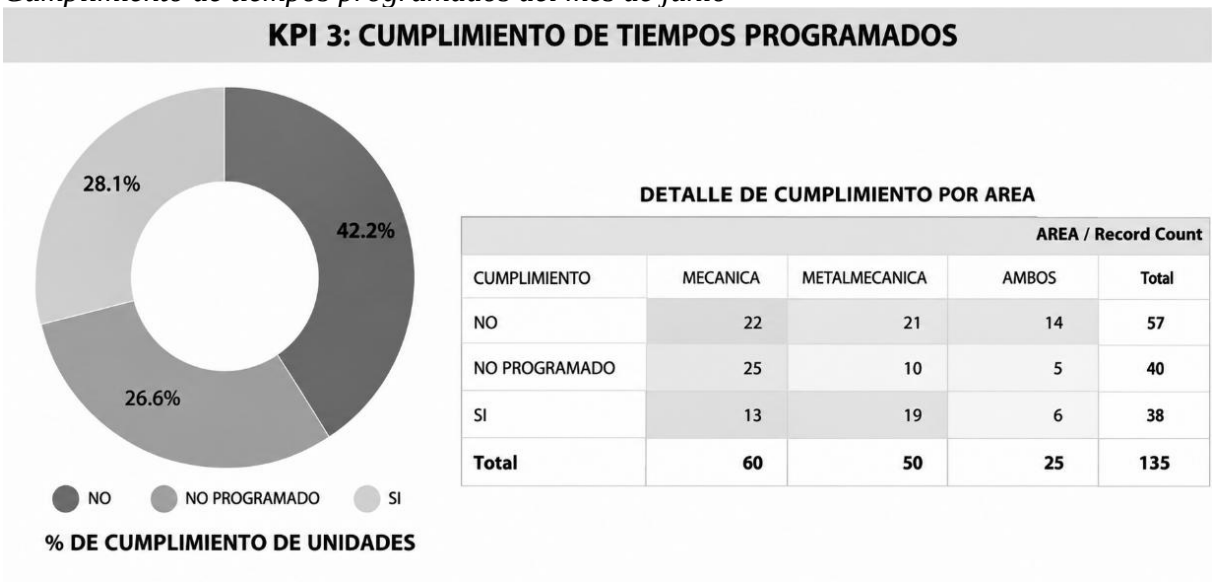
CUMPLIMIENTO	MECANICA	METALMECANICA	AMBOS	Total
NO	20	14	13	47
NO PROGRAMADO	22	15	3	40
SI	14	15	-	29
Total	**56**	**44**	**16**	**116**

Nota. Elaboración propia

En mayo se registraron 116 unidades para mantenimiento, de las cuales solo 29 (25%) cumplieron con lo programado, mientras que 47 (40,5%) no se ejecutaron y 40 (34,5%) no llegaron a programarse. En el área de mecánica se contabilizaron 56 unidades, con 14 cumplidas, 20 no ejecutadas y 22 no programadas; en metalmecánica, de 44 unidades, se atendieron 15, mientras que 14 quedaron sin ejecutar y 15 no se programaron; finalmente, en los trabajos conjuntos (ambos), de 16 unidades, 13 no se realizaron y 3 no se programaron. El nivel de cumplimiento se mantuvo bajo, con apenas una cuarta parte de las actividades atendidas, lo que reafirma las limitaciones en la planificación y la capacidad de ejecución del mantenimiento.

Figura 5

Cumplimiento de tiempos programados del mes de junio

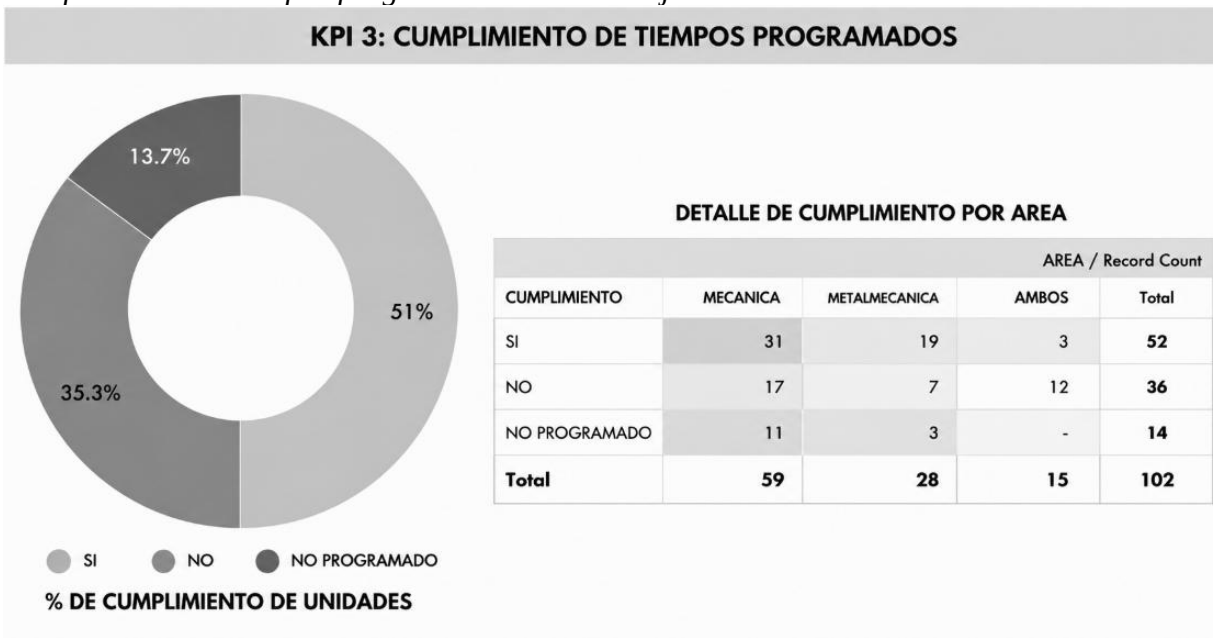


Nota. Elaboración propia

En junio se registraron 135 unidades para mantenimiento, de las cuales solo 38 (28,1%) cumplieron con lo programado, mientras que 57 (42,2%) no se ejecutaron y 40 (29,6%) no llegaron a programarse. En el área de mecánica se consideraron 60 unidades, con 13 cumplidas, 22 no ejecutadas y 25 no programadas; en metalmecánica, de 50 unidades, se atendieron 19, mientras que 21 quedaron sin ejecutar y 10 no programadas; finalmente, en trabajos conjuntos (ambos), de 25 unidades, 6 se cumplieron, 14 no se realizaron y 5 no se programaron. El nivel de cumplimiento continuó bajo, con menos de un tercio de las actividades atendidas, evidenciando una tendencia de retrasos y falta de capacidad operativa para cubrir la demanda programada.

Figura 6

Cumplimiento de tiempos programados del mes de julio



DETALLE DE CUMPLIMIENTO POR AREA

			AREA / Record Count	
CUMPLIMIENTO	MECANICA	METALMECANICA	AMBOS	Total
SI	31	19	3	**52**
NO	17	7	12	**36**
NO PROGRAMADO	11	3	-	**14**
Total	**59**	**28**	**15**	**102**

Nota. Elaboración propia

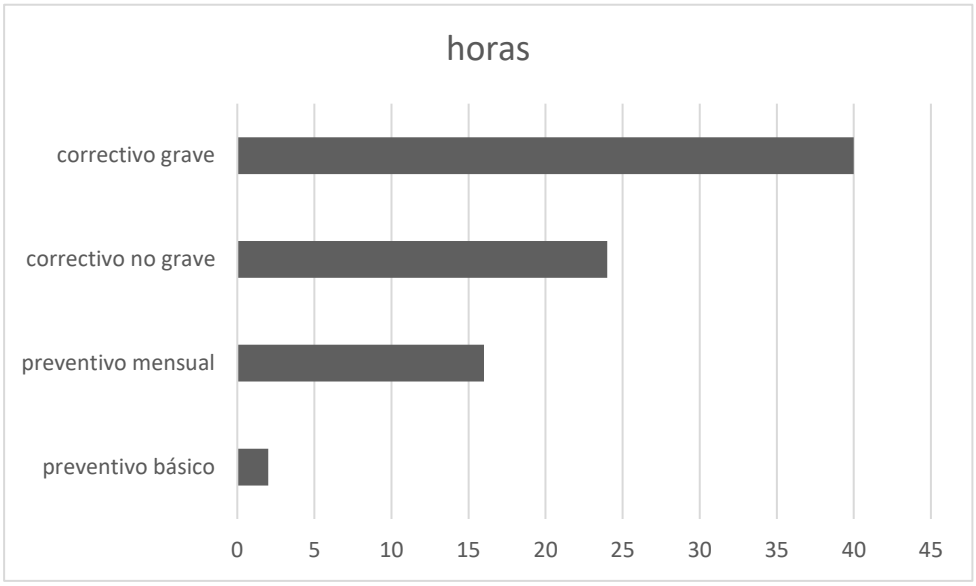
De un total de 102 unidades registradas para mantenimiento, solo 52 (51%) cumplieron con los tiempos programados. Por otro lado, 36 (35.3%) no se ejecutaron a tiempo y 14 (13.7%) no estaban programadas. Analizando por área, el área de Mecánica registró 59 unidades, de las cuales 31 se cumplieron, 17 no se ejecutaron y 11 no fueron programadas. Por su parte, en Metalmecánica, de 28 unidades, 18 se atendieron a tiempo, mientras que 7 quedaron sin ejecutar y 3 no se programaron. En los trabajos conjuntos (ambos), de 15 unidades, solo 3 se cumplieron, mientras que 12 no se realizaron.

4.2.2. Tiempo medio de atención (preventivo vs correctivo)

A continuación, se muestran los tiempos en horas y participación porcentual de mantenimientos correctivos realizados

Figura 7

Horas de mantenimientos correctivos

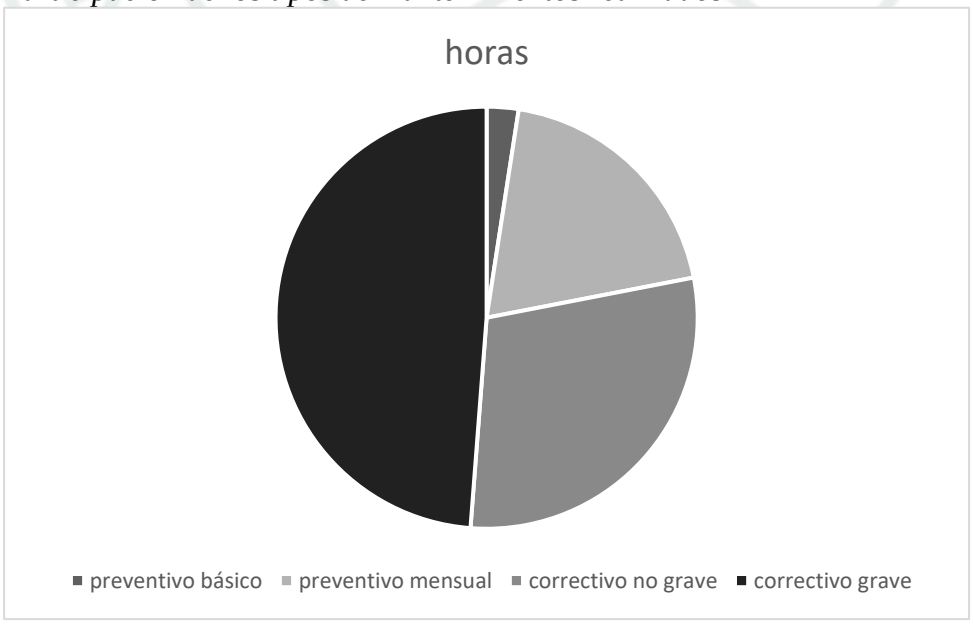


Nota. Elaboración propia

El mantenimiento correctivo grave acapara la mayor parte del tiempo, con aproximadamente 40 horas, lo que indica que se invierte un gran esfuerzo en solucionar problemas críticos. Le sigue el mantenimiento correctivo no grave con cerca de 24 horas, y el preventivo mensual con unas 16 horas. Finalmente, el preventivo básico es el que menos tiempo consume, con solo 2 horas. En conjunto, esto muestra una fuerte inclinación hacia la resolución de fallos más que a la prevención, ya que los mantenimientos correctivos suman un total de 64 horas, superando con creces las 18 horas dedicadas al mantenimiento preventivo.

Figura 8

Participación de los tipos de mantenimientos realizados



Nota. Elaboración propia

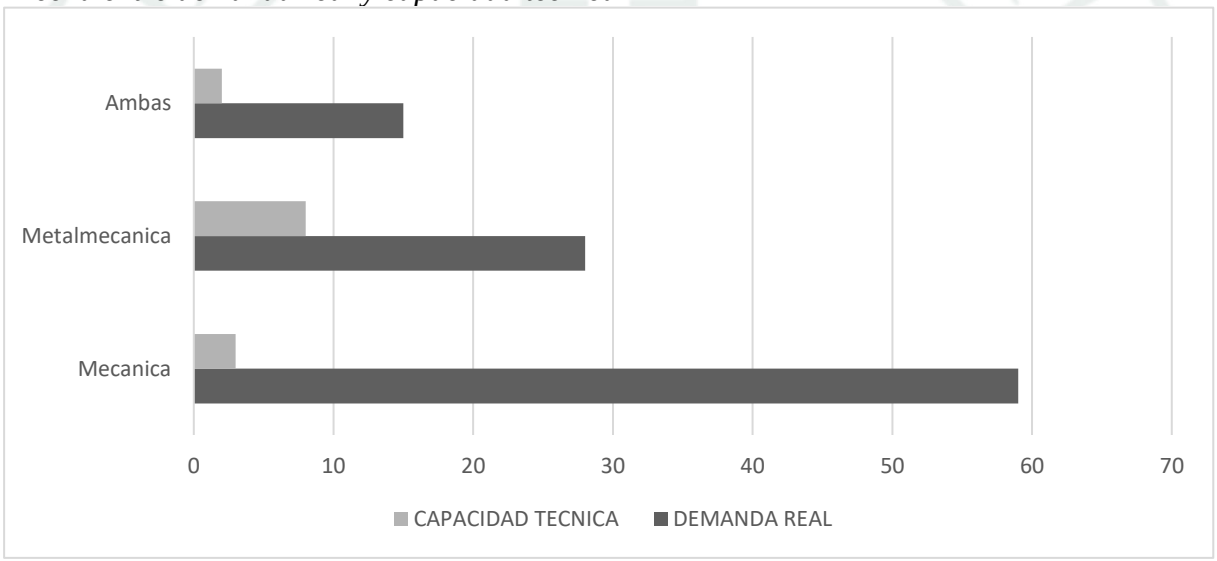
La mayor parte del tiempo, que equivale a la mitad del total, se dedica al mantenimiento correctivo grave. En un segundo plano se encuentra el mantenimiento correctivo no grave, mientras que el preventivo mensual ocupa una porción menor. La actividad a la que se le dedica menos tiempo es el mantenimiento preventivo básico, con una participación casi insignificante. En general, el gráfico resalta que la mayor parte del esfuerzo se concentra en la resolución de fallos críticos en lugar de en la prevención.

4.2.3. Relación carga de trabajo – capacidad instalada

En los siguientes gráficos se muestran las capacidades y demanda real que suelen tener

Figura 9

Brecha entre demanda real y capacidad técnica



Nota. Elaboración propia

El gráfico de barras ilustra el incremento mensual de la carga de trabajo del taller. Se puede observar una tendencia ascendente en la demanda de unidades para mantenimiento, pasando de aproximadamente 40 unidades en mayo a un pico de 60 unidades en agosto, lo que representa la mayor carga de trabajo del periodo analizado. El gráfico resalta claramente cómo la demanda de servicios ha crecido de manera constante mes a mes.

4.2.4. Mantenimientos no programados y reprocesos

Figura 10

Tasa de trabajos completados exitosamente del mes de abril



KPI 2: TASA DE TRABAJOS COMPLETADOS EXITOSAMENTE

% CUMPLIMIENTO	NO PROGRAMADO	CUMPLIMIENTO / Nº REQUERIMIENTO		Total
		NO	SI	
100%	0	30,33 %	23,77 %	**54,1 %**
0%	40,98 %	0	0	**40,98 %**
50%	0	2,46 %	0	**2,46 %**
20%	0	0	0,82 %	**0,82 %**
33%	0	0	0,82 %	**0,82 %**
60%	0	0,82 %	0	**0,82 %**
Total	**40,98 %**	**33,61 %**	**25,41 %**	**100 %**

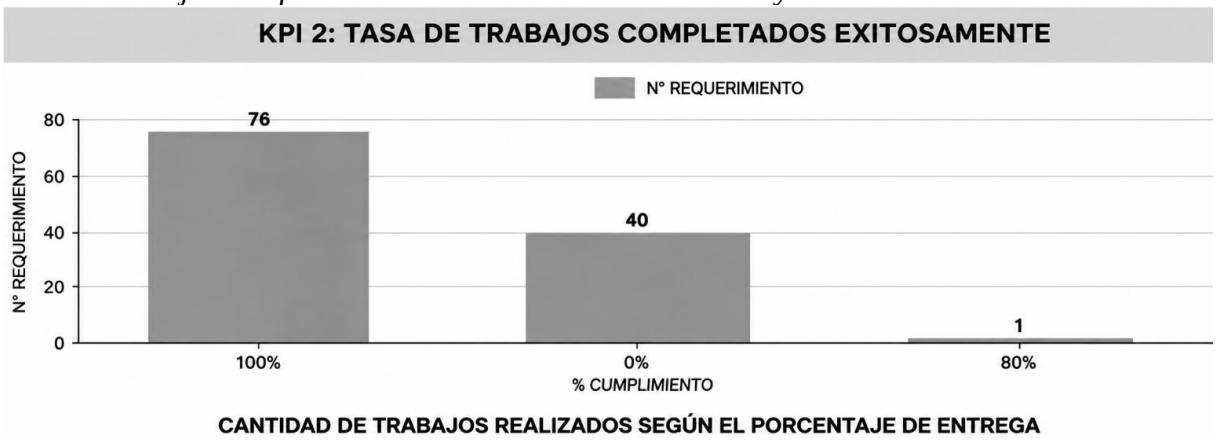
Nota. Elaboración propia

Durante el mes de abril, los mantenimientos no programados representaron el 55% del total de actividades, superando ampliamente a los mantenimientos programados, que solo constituyeron el 45%.

Esta alta proporción de trabajos no planificados indica que la mayor parte del tiempo y los recursos del personal se destinaron a atender emergencias o fallos inesperados. Esta situación compromete la estabilidad del sistema, ya que la constante interrupción por mantenimientos correctivos dificulta la ejecución de las tareas programadas y genera una operación reactiva en lugar de proactiva.

Figura 11

Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de mayo



CUMPLIMIENTO / N° REQUERIMIENTO

% CUMPLIMIE...	NO	NO PROGRAMADO	SI	Total
100%	39,66 %	0	25 %	64,66 %
0%	0	34,48 %	0	34,48 %
80%	0,86 %	0	0	0,86 %
Total	40,52 %	34,48 %	25 %	100 %

DETALLE DE % CUMPLIMIENTO

Nota. Elaboración propia

Durante mayo, los mantenimientos programados representaron el 55% del total, superando a los no programados. A pesar de esto, la cantidad de reprocesos alcanzó un alto 17% de los trabajos realizados, lo que indica que una parte significativa de las reparaciones no se completaron correctamente en el primer intento.

La proporción de mantenimientos programados sugiere una mejora en la planificación, pero el elevado índice de reprocesos muestra que la calidad del trabajo no es estable. Esto afecta la eficiencia y la credibilidad del servicio, ya que el personal debe volver a trabajar en unidades que ya deberían haber sido reparadas, consumiendo tiempo y recursos que podrían usarse en otras tareas.

Figura 12

Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de junio



CUMPLIMIENTO / N° REQUERIMIENTO

% CUMPLIMIE...	NO	NO PROGRAMADO	SI	Total
100%	41,48 %	0	27,41 %	68,89 %
0%	0	29,63 %	0	29,63 %
50%	0,74 %	0	0,74 %	1,48 %
Total	42,22 %	29,63 %	28,15 %	100 %

DETALLE DE % CUMPLIMIENTO

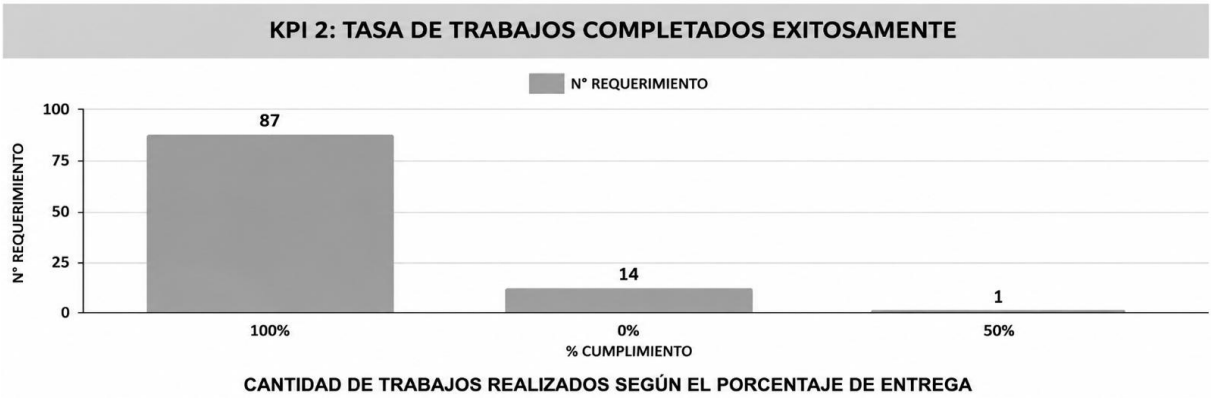
Nota. Elaboración propia

En junio, los mantenimientos no programados volvieron a predominar, representando el 57% de los trabajos, frente a un 43% de mantenimientos programados. Esta tendencia indica un nuevo descenso en la capacidad de planificación y una mayor dependencia de las reparaciones correctivas.

Adicionalmente, el índice de reprocesos se mantuvo alto, alcanzando un 18%. Esto sugiere que la falta de planificación y el enfoque en apagar "incendios" están afectando la calidad del trabajo. El alto número de reprocesos no solo consume más tiempo y recursos, sino que también perpetúa el ciclo de mantenimientos no programados, ya que las fallas persisten debido a reparaciones incompletas o de mala calidad.

Figura 13

Tasa de trabajos completados exitosamente en el mes de julio



CUMPLIMIENTO / N° REQUERIMIENTO

% CUMPLIMIE...	SI	NO	NO PROGRAMADO	Total
100%	50,98 %	34,31 %	0	85,29 %
0%	0	0	13,73 %	13,73 %
50%	0	0,98 %	0	0,98 %
Total	50,98 %	35,29 %	13,73 %	100 %

DETALLE DE % CUMPLIMIENTO

Nota. Elaboración propia

En el mes de julio, la proporción de mantenimientos programados aumentó significativamente hasta el 63%, superando a los no programados (37%). Este cambio indica una mejora notable en la planificación y la capacidad de anticiparse a las fallas.

A pesar de esta mejora, el porcentaje de reprocesos se mantuvo en un alto 17%. Aunque la planificación ha mejorado, la calidad del trabajo sigue siendo un punto débil. El elevado índice de reprocesos continúa consumiendo recursos valiosos, lo que podría estar impidiendo una eficiencia aún mayor y afectando la estabilidad del sistema.

Tabla 2

Cuadro resumen de indicadores

Indicador (KPI)	Variable evaluada	Hallazgos clave	Relación con la Teoría de Restricciones (TOC)
KPI 1: **Cumplimiento de mantenimientos programados**	% de cumplimiento vs. no programado/no ejecutado	Solo entre **25% y 28%** de las unidades fueron atendidas según cronograma. Alta tasa de **no programados (40%)**.	Refleja **desalineación y saturación del sistema**. Se requiere **subordinación al recurso crítico**.
KPI 2: **Tasa de trabajos completados exitosamente**	% de trabajos no programados y reprocesos	**Hasta 57%** de mantenimientos no programados. **Reprocesos del 17–18%**, lo que afecta eficiencia y calidad.	Señala **variabilidad operativa**. Necesario implementar **buffers y mejora en calidad para evitar retrabajos**.
KPI 3: **Tiempo medio de atención (preventivo vs correctivo)**	Horas promedio por tipo de mantenimiento	**64 horas** dedicadas a correctivos vs. **18 horas** a preventivos. Predomina el enfoque **reactivo**.	Recursos técnicos saturados en fallas graves. Evidencia de un **cuello de botella operativo**.
KPI 4: **Relación carga de trabajo – capacidad instalada**	Unidades demandadas vs. capacidad operativa real	La demanda llegó a **60 unidades**, mientras que la capacidad instalada solo permite atender **40**.	Exceso de carga sobre la capacidad instalada. Se debe **identificar y explotar el recurso restrictivo**.

Nota. Elaboración propia

4.3. Identificación del Cuello de Botella

4.3.1. Localización del recurso restrictivo

La identificación del recurso restrictivo constituye un aspecto clave en la gestión de mantenimiento, ya que permite detectar el punto donde se concentra la mayor limitación de capacidad y que, en consecuencia, condiciona el desempeño del sistema en su conjunto. En el análisis realizado, se determina que los recursos restrictivos se localizan principalmente en dos áreas: la gestión logística de repuestos y materiales, y el área de mecánica.

En primer lugar, la gestión logística de repuestos y materiales se posiciona como la restricción más significativa. El proceso involucra la elaboración de cotizaciones, la aprobación por parte de gerencia y la adquisición de insumos, lo que introduce tiempos de espera considerables antes de la ejecución de cualquier orden de trabajo. Este retraso afecta tanto a los mantenimientos preventivos como a los correctivos, ya que sin los materiales necesarios no es posible iniciar las actividades. Desde la perspectiva de la Teoría de Restricciones (TOC), este

cuello de botella administrativo limita el flujo del sistema al generar acumulación de órdenes en espera y retrasos en la programación.

En segundo lugar, se observa una restricción de carácter operativo en el área de mecánica. La disponibilidad de personal técnico especializado es reducida: un técnico mecánico, un técnico eléctrico y dos ayudantes deben atender una demanda creciente de trabajos tanto preventivos como correctivos. Esta limitación de recursos humanos genera saturación, especialmente en los mantenimientos correctivos graves, cuya duración puede extenderse entre tres y cinco días. En este escenario, los tiempos de atención se alargan y las actividades preventivas suelen postergarse, lo que incrementa el riesgo de fallas no previstas y la dependencia de correctivos.

Adicionalmente, la combinación de ambas restricciones genera un efecto acumulativo: los retrasos logísticos ralentizan la disponibilidad de repuestos, y cuando estos finalmente llegan, la capacidad técnica de mecánica resulta insuficiente para absorber la carga de trabajo pendiente. Esto se refleja en los datos de cumplimiento de la programación, donde menos del 30% de las actividades planificadas llegaron a ejecutarse en los meses de análisis (abril, mayo y junio).

4.3.2. Comparación de la demanda frente a la capacidad

La capacidad instalada del área de mantenimiento está conformada por un total de once personas, distribuidas entre el área de mecánica y metalmecánica. En el primer caso, se cuenta con un técnico mecánico, un técnico eléctrico y dos ayudantes; mientras que en el segundo se dispone de un técnico de soldadura, un técnico general y cinco ayudantes. Considerando una jornada de ocho horas diarias y veintidós días laborables al mes, la capacidad máxima teórica equivale a 1.936 horas-hombre mensuales, lo que representa el límite superior de atención para los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo.

En cuanto a la demanda, los reportes de abril, mayo y junio muestran que ingresaron 122, 116 y 135 unidades respectivamente. Tomando como referencia los tiempos medios de atención establecidos, donde los mantenimientos preventivos básicos requieren alrededor de dos horas, las revisiones mensuales dieciséis horas y los correctivos entre veinticuatro y cuarenta horas según la gravedad, se calculó un promedio de doce horas por unidad para efectos comparativos. De esta manera, la demanda estimada fue de 1.464 horas-hombre en abril, 1.392 horas-hombre en mayo y 1.620 horas-hombre en junio.

Al contrastar la demanda con la capacidad instalada, se observa que en los tres meses la capacidad total fue superior a la demanda. En abril, el nivel de saturación alcanzó el 76%; en

mayo, el 72%; y en junio, el 84%. Esto significa que, en términos teóricos, la empresa contaba con recursos suficientes para atender todos los mantenimientos programados, ya que la capacidad disponible superaba las horas requeridas en cada mes.

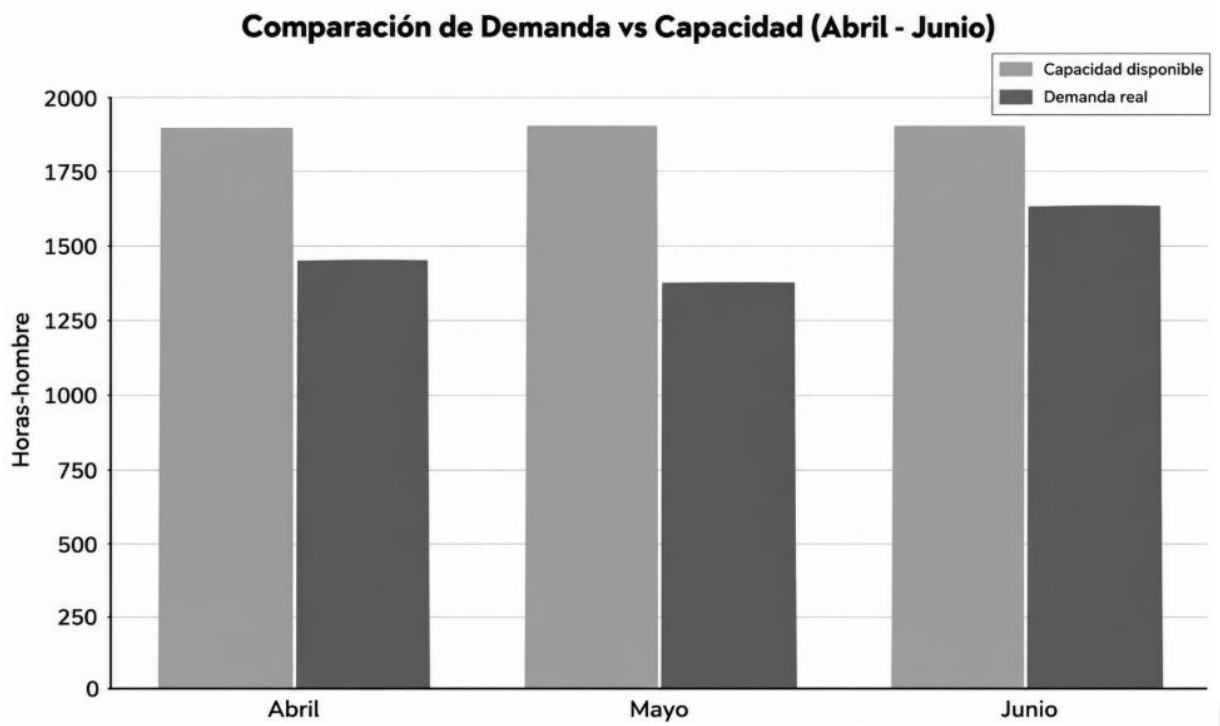
No obstante, al analizar los niveles de cumplimiento, se evidencia que menos del treinta por ciento de las unidades programadas fueron atendidas. Esto refleja que la capacidad teórica no se convierte en capacidad efectiva debido a la presencia de restricciones internas. Entre los factores más relevantes se encuentran las demoras en la gestión logística de repuestos y materiales, la limitada disponibilidad de técnicos especializados en mecánica y electricidad, la alta proporción de correctivos graves que demandan un mayor tiempo de atención y la entrada constante de unidades no programadas que obligan a modificar el cronograma inicial.

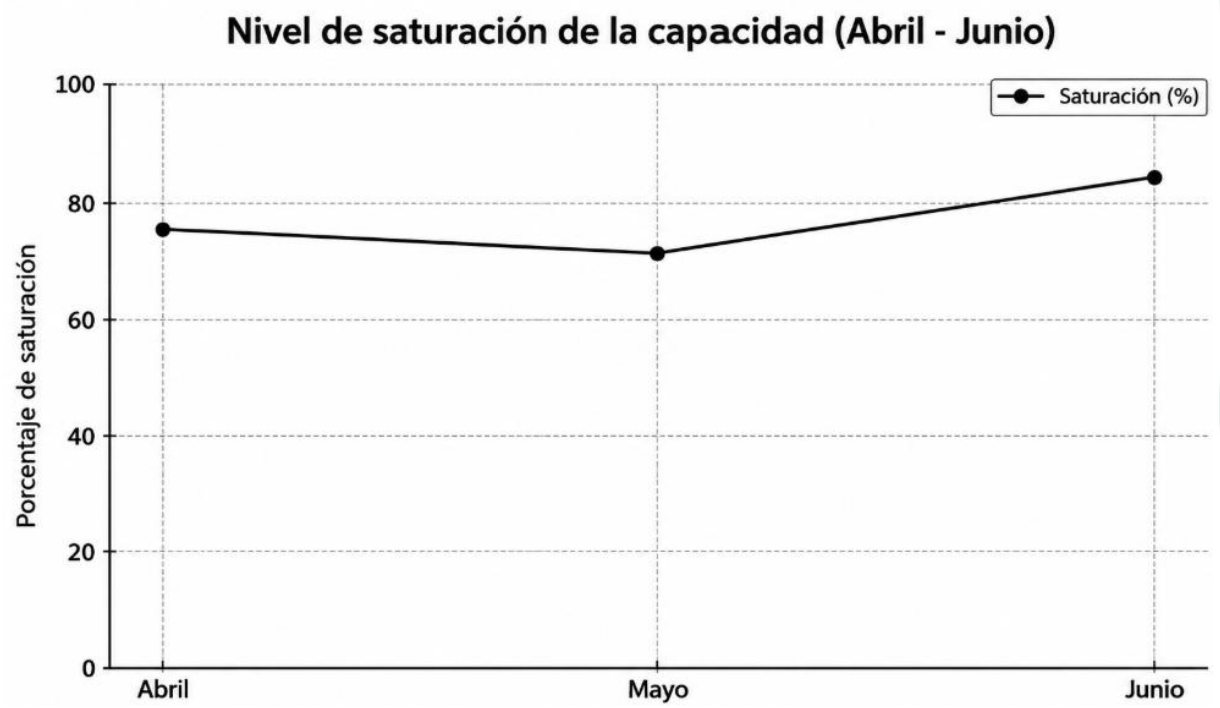
En consecuencia, aunque la empresa dispone de suficiente capacidad global en horas-hombre, el proceso se ve restringido por cuellos de botella específicos que limitan el aprovechamiento de los recursos. Estos cuellos de botella se concentran principalmente en la logística de repuestos y en la especialización del personal técnico de mecánica, lo cual explica el bajo nivel de ejecución de los mantenimientos programados y la acumulación de órdenes pendientes.

Figura 14

Gráficos comparativos entre la demanda y la capacidad real de abril hasta julio

Mes	Unidades requeridas	Demanda estimada (h-h)	Capacidad disponible (h-h)	Nivel de saturación (%)
Abril	122	1.464	1.936	76 %
Mayo	116	1.392	1.936	72 %
Junio	135	1.620	1.936	84 %





Nota. Elaboración propia

4.3.3. Impacto del cuello de botella en el flujo operativo

La identificación de los cuellos de botella en el proceso de mantenimiento permite comprender las consecuencias directas que estos generan en la operación. En el caso analizado, los principales recursos restrictivos se encuentran en la gestión de repuestos y materiales, así como en la limitada disponibilidad de personal técnico especializado. Estas restricciones afectan

de manera significativa el flujo operativo, reflejándose en el cumplimiento de la programación, en los costos de mantenimiento y en la productividad global de la empresa.

En primer lugar, se observa un impacto negativo en el cumplimiento de la programación de mantenimientos. Aunque la capacidad instalada resulta suficiente para atender la totalidad de unidades programadas, en la práctica menos del treinta por ciento de las órdenes se ejecutan dentro de los plazos establecidos. Esto se debe a que los retrasos en la aprobación y adquisición de materiales paralizan órdenes de trabajo ya generadas, mientras que la sobrecarga del personal mecánico obliga a priorizar correctivos graves, desplazando los preventivos y generando reprogramaciones constantes. Como consecuencia, se acumulan unidades pendientes y la confiabilidad del plan de mantenimiento se reduce.

En segundo lugar, los cuellos de botella generan un aumento considerable en los costos de mantenimiento. Cada retraso logístico implica tiempos de inactividad de las unidades, lo que ocasiona costos indirectos por pérdida de disponibilidad operativa. Asimismo, la ejecución tardía de mantenimientos preventivos incrementa la probabilidad de fallas mayores, derivando en correctivos más costosos que requieren mayor tiempo, insumos adicionales y una mayor inversión de mano de obra. A nivel administrativo, el reproceso de cotizaciones y las modificaciones frecuentes en la programación también generan gastos adicionales que no estaban contemplados en el presupuesto inicial.

Finalmente, se identifica un efecto directo sobre la productividad. La saturación de recursos clave, como los técnicos mecánicos, reduce la capacidad efectiva del área de mantenimiento, a pesar de que la capacidad instalada es mayor a la demanda. Esta ineficiencia repercute en una menor disponibilidad de las unidades operativas, impactando no solo en el área de mantenimiento, sino también en los servicios que la empresa brinda a clientes externos. En este sentido, los cuellos de botella actúan como limitadores del rendimiento global, reduciendo la competitividad y la capacidad de respuesta frente a la demanda real del mercado.

Tabla 3

Tabla resumen del impacto de la restricción

ASPECTO	IMPACTO IDENTIFICADO	CONSECUENCIAS EN LA OPERACIÓN
CUMPLIMINETO	Menos del 30% de los mantenimientos programados se ejecutan en los plazos previstos.	Acumulación de órdenes de trabajo, reprocesos y pérdida de confiabilidad en la programación.

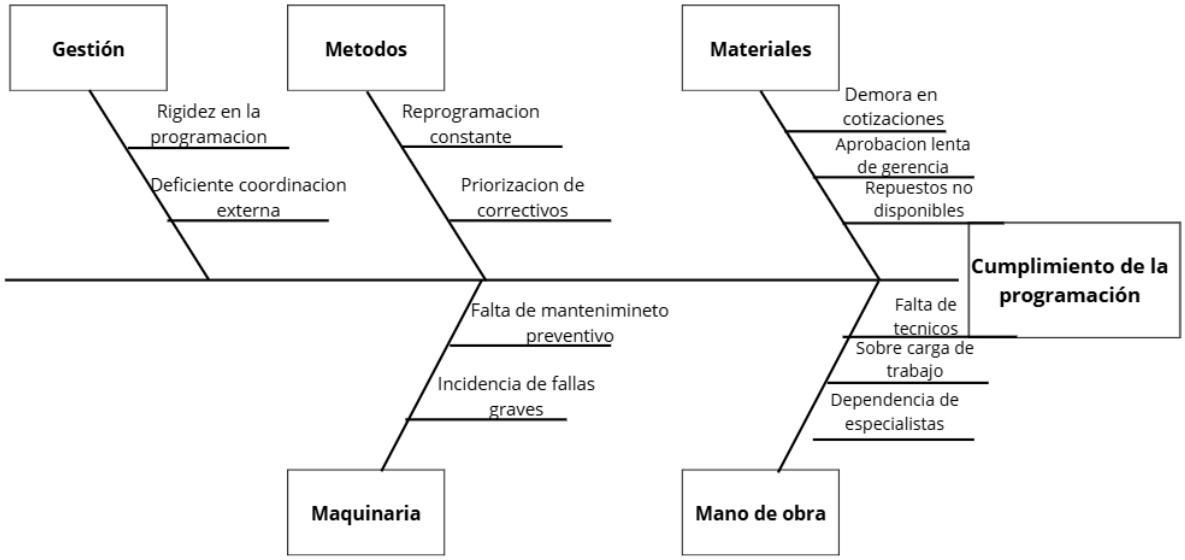
COSTOS	Retrasos logísticos y ejecución tardía de preventivos incrementan correctivos más costosos.	Mayores gastos en repuestos, mano de obra adicional y costos indirectos por inactividad de unidades.
PRODUCTIVIDAD	Sobrecarga de técnicos especializados y reprogramaciones constantes reducen eficiencia.	Menor disponibilidad de unidades operativas y disminución de la competitividad empresarial.

Nota. Elaboración propia

En función a este impacto se presenta el diagrama de Ishikawa con la distribución de incidencias generadas por cada causa identificada.

Figura 15

Ishikawa del problema



Nota. Elaboración propia

Tabla 4

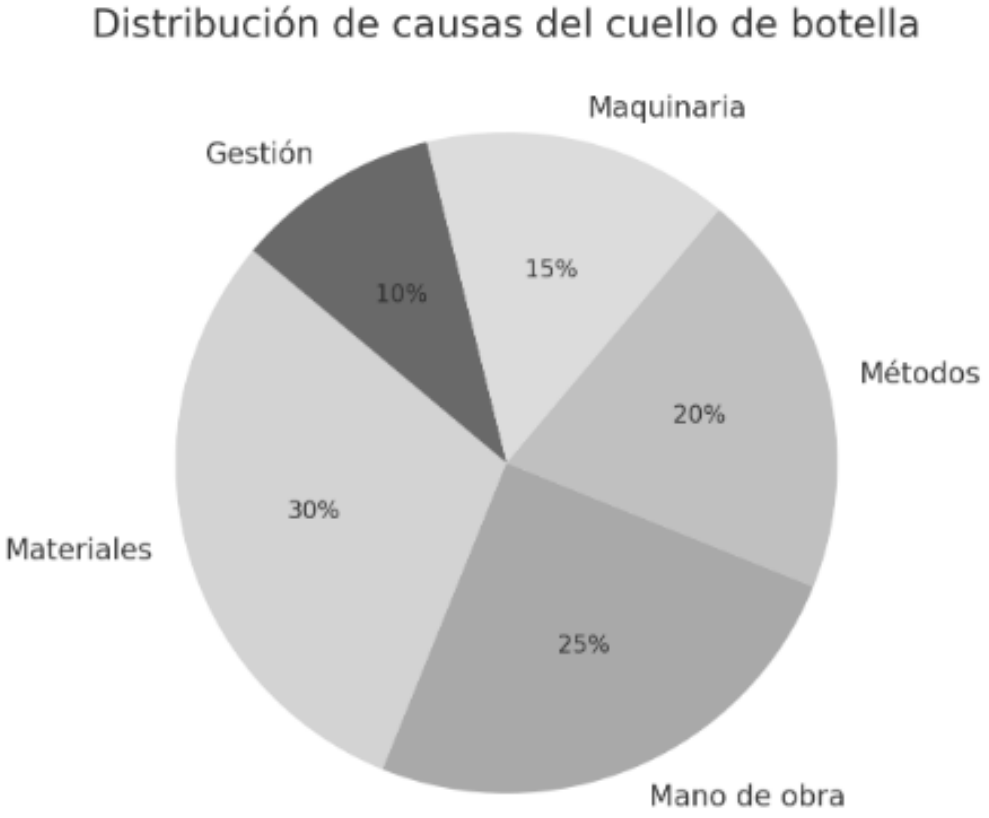
Distribución de las causas por incidencias identificadas

Categoría de causa	Descripción de la causa identificada	Número de incidencias mensuales	Porcentaje (%)
Materiales	Falta de disponibilidad de repuestos críticos, inexistencia de stock de seguridad, retrasos en compras y ausencia de buffers operativos para el mantenimiento.	12	30 %
Mano de obra	Sobrecarga del personal técnico, asignación inadecuada de tareas, interrupciones frecuentes y dependencia de mantenimientos no programados.	10	25 %
Métodos	Falta de procedimientos estandarizados para la programación, priorización y liberación de órdenes de trabajo, así como ausencia de criterios de criticidad.	8	20 %
Maquinaria	Limitaciones en herramientas especializadas, equipos de diagnóstico insuficientes y tiempos de indisponibilidad de equipos auxiliares del taller.	6	15 %
Gestión	Deficiencias en la planificación operativa, escaso control de indicadores, limitada coordinación interáreas y falta de seguimiento sistemático del desempeño.	4	10 %
Total	—	**40**	**100 %**

Nota. Elaboración propia

Figura 16

Diagrama porcentual de la distribución de las causas según Ishikawa



Nota. Elaboración propia en base a la tabla 4 de incidencias.

4.3.4. Análisis estratégico del sistema de mantenimiento

A partir de la evaluación técnica y operativa desarrollada en los apartados anteriores, se identificaron factores clave que influyen en el desempeño del sistema de mantenimiento, tanto desde el ámbito interno como externo. A continuación, se presenta un análisis FODA que resume la situación estratégica del sistema y permite fundamentar la posterior formulación de una propuesta de mejora.

Figura 17

Análisis FODA del sistema de mantenimiento

FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
Personal técnico con experiencia en campo.	Escasez de técnicos especializados en mecánica y electricidad.
Procedimientos establecidos para atención de requerimientos.	Alta proporción de reprocesos y tareas no ejecutadas.
Supervisión activa y trazabilidad básica de órdenes.	Priorización de correctivos sobre preventivos (enfoque reactivo).
Capacidad instalada teóricamente suficiente.	Demoras en cotizaciones, aprobaciones de materiales y abastecimiento logístico.
Coordinación interáreas formalizada.	**Riesgo de penalizaciones contractuales por incumplimiento del plan de mantenimiento.**
	Programación rígida y frecuente reprogramación de actividades.
OPORTUNIDADES (O)	**AMENAZAS (A)**
Posibilidad de implementar herramientas de mejora como TOC.	Variabilidad en la demanda de mantenimiento (picos inesperados).
Mayor digitalización de procesos de mantenimiento (software de planificación).	Dependencia de proveedores externos con plazos largos de entrega.
Capacitación técnica y desarrollo de línea de carrera.	Riesgo de pérdida de unidades operativas por falta de mantenimientos preventivos.
Apoyo gerencial para inversiones operativas.	—

Nota. Elaboración propia. Se ha reubicado el riesgo de penalización contractual como una debilidad, dado que deriva directamente de deficiencias internas en la ejecución del mantenimiento.

Este análisis evidencia que, si bien existen fortalezas internas que pueden apalancar la mejora, las debilidades operativas, en especial las relacionadas con la logística de materiales y la disponibilidad técnica, actúan como restricciones clave. Sumado a ello, el entorno externo genera riesgos que refuerzan la necesidad de una intervención estructural. En ese sentido, el siguiente capítulo propone una solución basada en la Teoría de Restricciones (TOC), con el fin de alinear la capacidad operativa con la demanda real y mejorar la eficiencia global del sistema.

4.3.5. Resumen de cuellos de botella identificados

En base al análisis técnico y operativo desarrollado en las secciones anteriores, se identificaron los siguientes cuellos de botella que limitan el desempeño del sistema de mantenimiento, alineados con los principios de la Teoría de Restricciones (TOC):

Tabla 5

Resumen de los cuellos de botella identificados

Nº	Cuello de botella identificado	Área afectada	Consecuencia principal
1	Gestión logística de repuestos y materiales	Logística	Tiempos prolongados de espera para adquirir insumos, retrasando los mantenimientos.
2	Aprobaciones administrativas lentas	Gerencia / Logística	Paralización de compras por centralización excesiva de decisiones.
3	Falta de stock mínimo y stock de seguridad	Almacén / Logística	Incapacidad de respuesta rápida ante mantenimientos urgentes.
4	Sobrecarga de técnicos mecánicos	Mantenimiento	Saturación de capacidad operativa y postergación de actividades preventivas.
5	Ausencia de clasificación por criticidad	Planificación	Ineficiencia en la asignación de recursos al no priorizar mantenimientos críticos.

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE MEJORA CON TOC

5.1. Aplicación del Ciclo de la Teoría de Restricciones (TOC)

5.1.1. Identificación del recurso restrictivo

La aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) permite establecer con claridad cuál es el recurso que limita el desempeño global del sistema de mantenimiento. Con base en el análisis realizado en el Capítulo IV, se reafirma que la restricción principal del sistema se encuentra en la gestión logística de repuestos y materiales.

Desde un enfoque cuantitativo, los resultados obtenidos en los meses de abril, mayo y junio mostraron que, aunque la capacidad instalada fue de 1.936 horas-hombre mensuales, la demanda real de mantenimientos se situó entre 1.392 y 1.620 horas-hombre. Esto significa que, en condiciones ideales, la empresa tenía suficiente capacidad para atender el total de los requerimientos, con un margen de capacidad no utilizada de entre 16% y 28%. Sin embargo, el cumplimiento real de la programación se mantuvo por debajo del 30%, lo cual evidencia que la restricción no se encuentra en la cantidad de personal ni en las horas-hombre disponibles, sino en factores que impiden transformar esa capacidad teórica en capacidad efectiva.

Desde un enfoque cualitativo, se identificó que el mayor tiempo muerto se genera por la indisponibilidad oportuna de repuestos y materiales. El proceso logístico contempla varias etapas: solicitud de materiales por parte de los supervisores, elaboración de cotizaciones, aprobación de la gerencia y posterior adquisición a los proveedores. Cada una de estas fases introduce retrasos significativos que impactan directamente en la ejecución de las órdenes de trabajo. Como resultado, las unidades permanecen en espera de insumos para su intervención, lo que genera acumulación de mantenimientos pendientes, reprocesos en la planificación y pérdida de confiabilidad en el cronograma.

Si bien se evidenciaron otras limitaciones, como la escasez de técnicos especializados en el área de mecánica y la elevada proporción de correctivos graves que consumen varios días de trabajo, estas restricciones se ven potenciadas por la demora en la logística. Cuando los repuestos no están disponibles, el personal técnico se ve imposibilitado de iniciar labores, lo que genera tiempos de inactividad y desperdicio de capacidad.

La aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) inicia con la identificación del recurso que limita el rendimiento del sistema. En el caso del sistema de mantenimiento analizado, se han identificado dos restricciones principales, siendo una administrativa y otra operativa.

Tabla 6

Análisis de las restricciones identificadas

Tipo de restricción	Área afectada	Evidencia clave
Principal (crítica)	Logística de repuestos y materiales	Demoras en cotizaciones, aprobaciones lentas, ausencia de stock, paralización de OTs
Secundaria	Área técnica de mecánica	Escasez de técnicos especializados, alta carga de correctivos, postergación de trabajos preventivos

Nota. Elaboración propia

Ambas restricciones están interconectadas. En muchos casos, las órdenes de trabajo no pueden ejecutarse por falta de materiales, y cuando estos finalmente están disponibles, el personal técnico se encuentra saturado o no disponible.

Tabla 7

Interacción entre restricciones

Etapa del proceso	**Situación operativa actual**	**Consecuencia principal**
Cotización y aprobación	Tiempos de espera altos por aprobaciones y cotizaciones múltiples	Bloqueo del flujo logístico
Recepción de materiales	No hay stock inmediato, depende de compras externas	Ordenes estancadas sin ejecución posible
Ejecución técnica (mecánica)	Técnicos ocupados con correctivos prolongados (3–5 días)	Atraso en ejecución, postergación de preventivos

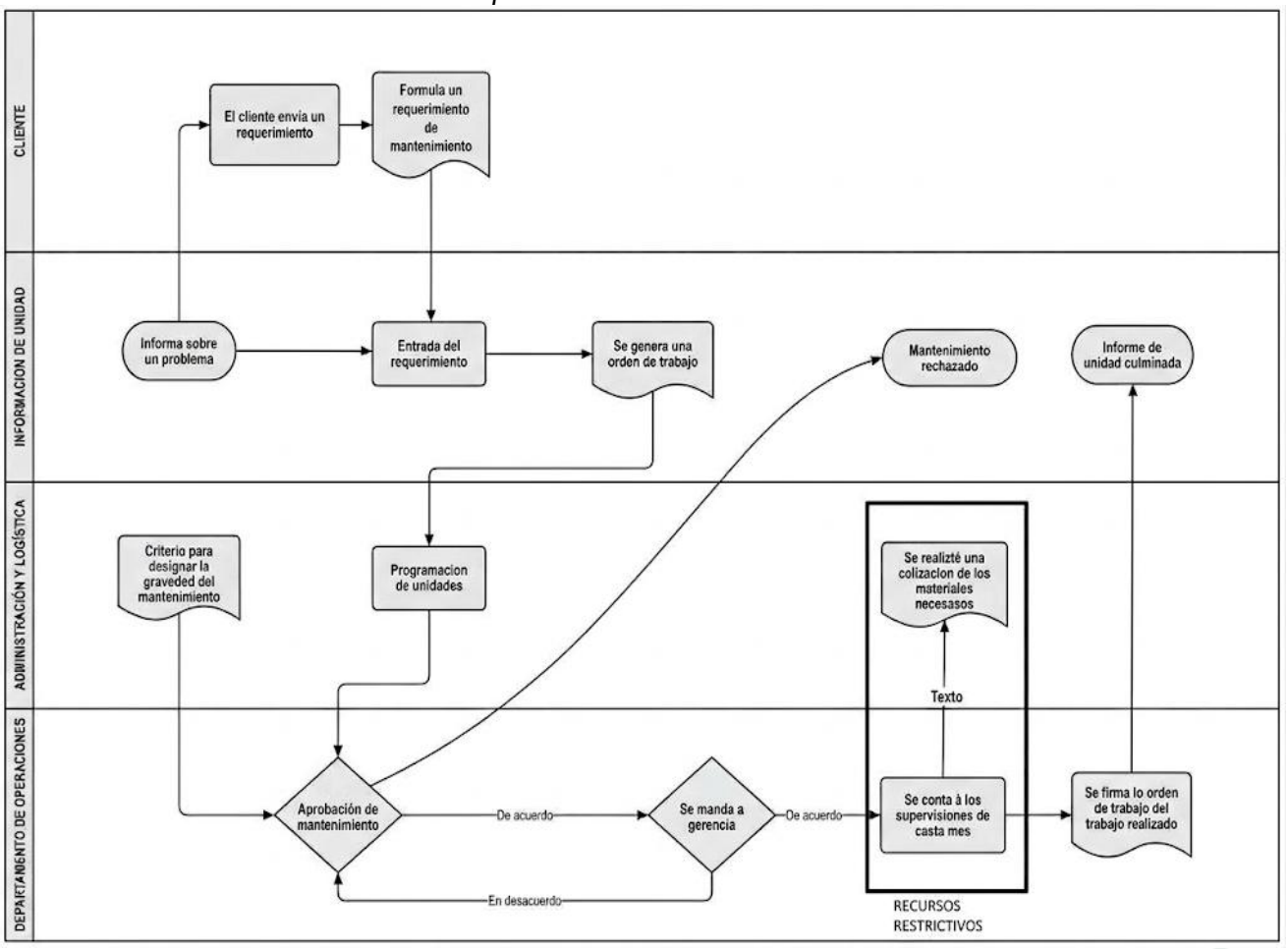
Nota. Elaboración propia

5.1.1.1. Ubicación gráfica de la restricción

A continuación, se presenta el diagrama del proceso de mantenimiento con la restricción principal identificada y resaltada:

Figura 18

Ubicación del recurso restrictivo en el proceso de atención de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

Se concluye que el recurso que más limita el rendimiento global del sistema es la logística de repuestos y materiales, la cual actúa como un cuello de botella inicial que bloquea el avance de las órdenes de trabajo. La capacidad técnica de mecánica, si bien representa una segunda restricción, no puede ser intervenida efectivamente mientras persista la primera.

Por tanto, las acciones de mejora deben enfocarse primero en desbloquear el flujo logístico antes de elevar la capacidad técnica, respetando la secuencia metodológica propuesta por TOC.

5.1.2. Explotar el recurso restrictivo

Una vez identificada la restricción principal en el sistema de mantenimiento —la logística de repuestos y materiales—, el segundo paso de la Teoría de Restricciones (TOC) consiste en explotar el recurso restrictivo. Esto implica aplicar acciones inmediatas que permitan aprovechar al máximo la capacidad disponible, sin necesidad de realizar inversiones significativas, sino mediante mejoras organizativas internas.

A continuación, se presentan las principales medidas propuestas para explotar eficientemente la restricción identificada:

5.1.2.1. Reorganización del proceso de cotizaciones

En el estado actual, ante cada requerimiento, el área de logística inicia un proceso desde cero: búsqueda de proveedores, solicitud de múltiples cotizaciones, revisión y aprobación por gerencia. Este flujo introduce retrasos de varios días, paralizando la ejecución de órdenes de trabajo.

Tabla 8

Propuesta de mejora

Acción concreta	Descripción operativa
Base de datos de proveedores frecuentes	Registro actualizado de proveedores confiables y validados para atención directa.
Pre-cotizaciones periódicas	Solicitud mensual o trimestral de listas de precios referenciales a proveedores clave.
Priorización por tipo de repuesto	Clasificación de ítems críticos y estándar para aplicar flujos diferenciados.

Nota. Elaboración propia.

Estas acciones permitirán reducir el tiempo de cotización en al menos un 30%, lo cual incrementará la disponibilidad operativa y mejorará el cumplimiento del cronograma.

Para su materialización, se propone que la base de datos de proveedores se construya a partir de los registros históricos de compras y órdenes atendidas durante el último semestre, filtrando a aquellos que han demostrado tiempos de respuesta ágiles y cumplimiento en la entrega. Esta base deberá actualizarse mensualmente y ser accesible desde la estación logística digital.

En cuanto a las pre-cotizaciones, el área de logística deberá establecer un cronograma trimestral para solicitar listas de precios actualizadas a los proveedores seleccionados. Estos documentos serán almacenados en un repositorio digital para agilizar las futuras decisiones de compra.

Finalmente, la priorización por tipo de repuesto se implementará mediante una matriz de criticidad, que clasifique los ítems según su impacto operativo. Esta matriz permitirá aplicar flujos de adquisición diferenciados: compra inmediata para críticos y cotización regular para estándar.

5.1.2.2. Implementación de stock mínimo de repuestos críticos

En la situación actual, cada mantenimiento depende de compras reactivas, lo cual genera demoras incluso para insumos de alta rotación.

- **Propuesta de mejora:**

Definir un stock mínimo para ítems recurrentes (filtros, bujes, correas, etc.), con base en análisis histórico.

Establecer reposición continua en función del consumo real.

Separar el stock operativo de insumos críticos para uso exclusivo de mantenimiento programado.

- **Impacto esperado:**

Reducción de los tiempos de espera en más del 40% para mantenimientos de rutina.

Mayor disponibilidad de materiales para técnicos sin requerir autorizaciones constantes.

Liberación del flujo logístico para concentrarse en compras menos frecuentes o especiales.

5.1.2.3. Priorización de órdenes por nivel de criticidad

El sistema actual no distingue entre tareas críticas y no críticas, lo que ocasiona desalineación en el uso de los recursos.

- **Propuesta de mejora:**

Establecer una clasificación formal de criticidad en tres niveles (alta, media, baja), con base en:

Impacto en la seguridad.

Nivel de indisponibilidad que genera.

Costos operativos asociados al tiempo de inactividad.

Asignar prioridad logística y técnica a las órdenes de mayor impacto.

- **Impacto esperado:**

Atención inmediata de correctivos graves (que tardan hasta 5 días si no se gestionan).

Reducción de acumulación de unidades críticas detenidas.

Optimización del uso de recursos logísticos y técnicos.

Tabla 9

Acciones de explotación del recurso restrictivo

Medida propuesta	Tipo de acción	Efecto esperado
Reorganización de cotizaciones	Organizativa	Reducción de tiempos en un 30%
Gestión de stock mínimo	Operativa	Disponibilidad inmediata de insumos recurrentes
Priorización de órdenes por criticidad	Estratégica	Atención prioritaria de actividades críticas

Nota. Elaboración propia.

Estas acciones, al no requerir inversión, pueden implementarse de manera inmediata y permitirán elevar la capacidad efectiva del sistema sin aumentar su capacidad instalada, cumpliendo así el principio de explotación planteado por TOC.

5.1.3. Subordinar todo lo demás al recurso restrictivo

Actualmente, la programación de mantenimientos se realiza de manera anticipada, sin considerar los tiempos reales que conlleva la etapa logística. Esto ocasiona que gran parte de los trabajos planificados no se ejecute en los plazos programados, generando incumplimientos de cronograma superiores al 70%. Para subordinar el sistema, es necesario que la programación técnica se alinee directamente con la disponibilidad confirmada de materiales, de modo que los técnicos solo reciban órdenes de trabajo que cuenten con repuestos asegurados.

En términos de coordinación, esto implica que el área de logística debe informar de manera periódica sobre los tiempos estimados de llegada de materiales, y con base en esta información, el área de programación definirá la secuencia y prioridad de las órdenes de trabajo. A nivel operativo, los supervisores mecánicos y metalmecánicos deberán reorganizar las tareas diarias, asignando los recursos técnicos únicamente a las unidades que tienen materiales garantizados, mientras que aquellas en espera de insumos quedarán en lista de espera.

De forma cualitativa, la subordinación genera mayor confiabilidad en la planificación, ya que evita que los técnicos inicien trabajos que no pueden concluir por falta de materiales. Asimismo, mejora la comunicación entre logística, programación y supervisión, alineando esfuerzos en torno al recurso restrictivo. Este cambio organizacional no requiere inversión adicional, sino una adaptación en la forma de programar y coordinar, transformando la planificación anticipada rígida en una planificación dinámica que se ajusta al ritmo real del sistema.

Asimismo, bajo la lógica Drum-Buffer-Rope (DBR), la liberación de órdenes de trabajo queda subordinada a la validación logística y al principio Full Kit, estableciendo que ninguna unidad ingresará al taller si no cuenta con la disponibilidad física confirmada de los repuestos críticos, herramientas y documentación técnica necesaria para su intervención. De esta manera, la logística se convierte en el recurso que regula el ritmo operativo del sistema, evitando que las unidades permanezcan detenidas ocupando espacio en el taller mientras esperan materiales pendientes. Este enfoque permite sincronizar la programación técnica con la capacidad real del sistema y reducir interrupciones durante la ejecución de los mantenimientos.

5.1.3.1. Ajustes administrativos y logísticos.

Desde una perspectiva administrativa, es necesario ajustar los procedimientos de autorización y validación de compras. Actualmente, la aprobación de cotizaciones por parte de la gerencia constituye una etapa que prolonga innecesariamente los tiempos de respuesta. Para subordinar el sistema a la restricción, se propone establecer umbrales de autorización diferenciados, de manera que los repuestos de bajo costo o de alta rotación puedan aprobarse directamente por el área de logística, mientras que únicamente los insumos de mayor valor o de carácter excepcional sean elevados a la gerencia. Este ajuste permitiría agilizar significativamente la toma de decisiones, reduciendo los retrasos que hoy superan varios días hábiles.

En el plano logístico, se requiere implementar un control más dinámico sobre los proveedores. Una medida inmediata consiste en establecer convenios de abastecimiento con proveedores estratégicos que garanticen entregas más rápidas y previsibles. De igual modo, la planificación de compras programadas para repuestos críticos, en lugar de adquisiciones completamente reactivas, asegura que los materiales se encuentren disponibles en el momento en que se emitan las órdenes de trabajo. Estos ajustes logísticos disminuyen la dependencia de procesos externos largos y permiten que la restricción opere de manera más eficiente.

Para alcanzar la situación esperada, estas acciones se articulan directamente con los indicadores de mejora establecidos. La autorización directa desde logística reduce los tiempos administrativos de 3–4 días a menos de 1 día para compras menores. A su vez, los convenios permiten anticiparse a la demanda de materiales, garantizando disponibilidad sin necesidad de iniciar procesos nuevos cada vez. Esto permite una atención más ágil, mayor cumplimiento de cronogramas y menor acumulación de órdenes pendientes.

El tercer paso en la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) consiste en subordinar todo el sistema al recurso restrictivo, es decir, alinear el funcionamiento de todas las demás áreas y procesos de manera que no interfieran ni sobrecarguen al cuello de botella. En el contexto de esta investigación, dicho recurso restrictivo ha sido identificado como la gestión logística de repuestos y materiales. Subordinar implica organizar las actividades del sistema para adaptarse al ritmo y capacidad del recurso limitante, evitando acciones que generen acumulación, descoordinación o interrupciones.

En ese sentido, cada área operativa también realiza ajustes específicos para evitar que el cuello de botella logístico se agrave. Por ejemplo, planificación ya no programa órdenes si no hay confirmación de disponibilidad de repuestos, y los técnicos solo ejecutan tareas con

materiales asegurados. Así, todo el sistema se adapta al ritmo real del recurso limitante, y no al cronograma teórico, lo que da lugar a un sistema más confiable y sincronizado.

Tabla 10

Procesos que deben subordinarse a la logística de repuestos

Área o proceso	Acción específica de subordinación	Objetivo
Planificación de mantenimiento	Programar OTs solo cuando el requerimiento esté validado y el repuesto garantizado	Evitar reprogramaciones por falta de insumos
Área técnica (mecánica)	Ejecutar mantenimientos únicamente tras confirmación logística	Minimizar tiempo muerto y reprocesos
Almacén	Preparar y priorizar entregas según criticidad del mantenimiento planificado	Asegurar insumos oportunos para trabajos críticos
Gerencia	Acelerar decisiones de compra críticas alineadas al plan mensual	No obstaculizar la liberación de órdenes prioritarias
Clientes internos (otras áreas)	Generar requerimientos según programación oficial y no por urgencias espontáneas	Mantener el flujo estable y evitar cuellos adicionales

Nota. Elaboración propia.

5.1.3.2. Reglas operativas de subordinación propuestas

1. Ninguna orden de trabajo debe programarse si no hay garantía logística.
2. El orden de ejecución debe estar definido por la criticidad y disponibilidad de insumos.
3. Los cambios al plan de mantenimiento deben pasar por validación logística previa.
4. La logística no debe interrumpirse con pedidos no alineados al plan mensual.
5. El personal técnico debe enfocarse solo en actividades liberadas y confirmadas.

Tabla 11

Beneficios esperados al subordinar correctamente

Indicador	Situación actual	Proyección tras subordinación
Reprogramaciones de OTs	Frecuentes	Significativamente reducidas
Tiempo muerto técnico	Alto	Reducción por ejecución coordinada
OTs con materiales incompletos	Común	Eliminación casi total
Reprocesos por falta de insumos	Recurrentes	Casos mínimos o inexistentes

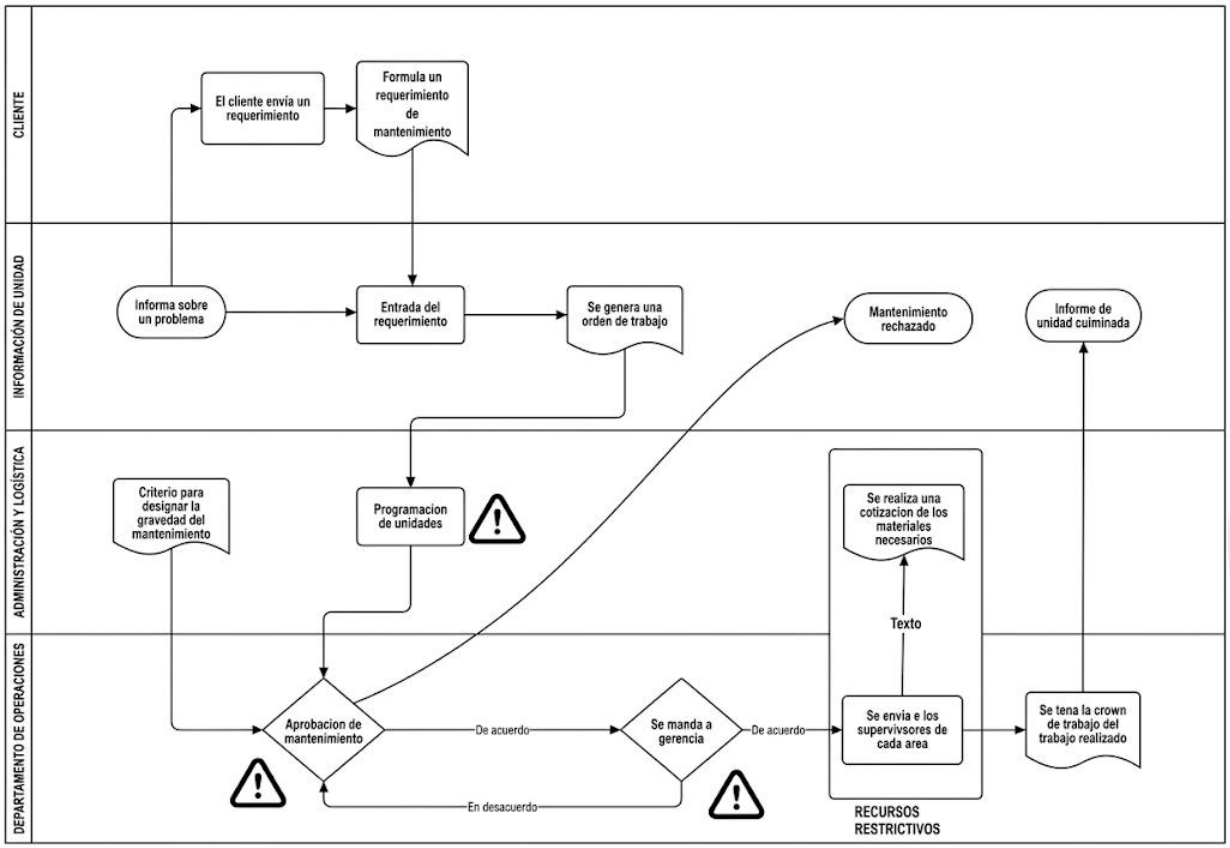
Nota. Elaboración propia.

Subordinar no implica detener el resto del sistema, sino sincronizarlo para que trabaje al ritmo óptimo del recurso crítico, generando así un flujo continuo, predecible y libre de

bloqueos innecesarios. Este paso crea la base para que, en el siguiente, sea posible elevar la capacidad de la restricción de forma sostenida.

Figura 19

Subordinación al recurso restrictivo



Nota. Elaboración propia.

5.1.4. Elevar la restricción del sistema

Una vez que el recurso restrictivo ha sido explotado y el resto del sistema subordinado a su ritmo, el siguiente paso en la Teoría de Restricciones (TOC) consiste en elevar la capacidad del recurso limitante. Esto implica implementar mejoras estructurales y estratégicas, ya sea mediante inversión, rediseño organizacional o incorporación de nuevas tecnologías.

En el caso de estudio, las propuestas se enfocan en fortalecer el área de logística de repuestos y materiales, que ha sido identificada como el principal cuello de botella del sistema. A continuación, se presentan las acciones planteadas:

a) Incorporación de stock de seguridad

El stock de seguridad consiste en mantener un inventario adicional, calculado sobre el consumo promedio histórico y la variabilidad en los tiempos de entrega de los proveedores. A diferencia del stock mínimo planteado en la fase de explotación, el stock de seguridad funciona

como una reserva estratégica que permite atender la demanda incluso cuando se presentan retrasos logísticos o incrementos inesperados en los requerimientos.

Desde un enfoque cuantitativo, la implementación de esta medida reduciría en un 40% los tiempos de espera en la etapa de logística, permitiendo que los mantenimientos preventivos se ejecuten en los plazos establecidos y que los correctivos críticos no se prolonguen innecesariamente. Además, aseguraría la disponibilidad inmediata de repuestos en al menos el 60% de los casos recurrentes, transformando la capacidad instalada en capacidad efectiva y elevando el nivel de cumplimiento del 30% actual a valores cercanos al 70–75%.

Desde un enfoque cualitativo, la incorporación del stock de seguridad otorgaría mayor confiabilidad al proceso de programación, al eliminar la incertidumbre respecto a la disponibilidad de materiales. También fortalecería la percepción de eficiencia del área de mantenimiento, generando confianza tanto en los supervisores externos como en la gerencia. Asimismo, disminuiría la presión sobre el área logística, que podría concentrarse en gestionar únicamente adquisiciones específicas o excepcionales.

b) Automatización del proceso logístico

La automatización logística consiste en implementar un sistema informático que integre todas las etapas del proceso: desde la generación del requerimiento por parte de los supervisores externos, hasta la cotización, aprobación de gerencia, compra a proveedores y control de inventarios. Este tipo de herramienta puede ser un ERP (Enterprise Resource Planning) en versión básica, o incluso un software especializado de gestión de mantenimiento (CMMS), adaptado a las necesidades de la empresa.

Desde un enfoque cuantitativo, la automatización reduciría los tiempos de ciclo de compra en al menos un 30%, al eliminar la necesidad de tramitar físicamente cotizaciones y aprobaciones. Asimismo, permitiría contar con indicadores en tiempo real sobre consumos, tiempos de entrega y niveles de stock, lo que mejoraría la planificación y reduciría la probabilidad de quiebres de inventario. Esto se reflejaría en un incremento en el cumplimiento de la programación, pasando de un promedio del 30% actual a valores superiores al 75%, al asegurar que los repuestos se encuentren disponibles de manera más oportuna.

Desde un enfoque cualitativo, la automatización aumenta la transparencia y confiabilidad del proceso, ya que cada etapa queda registrada y puede ser monitoreada tanto por logística como por la gerencia. Además, mejora la comunicación entre áreas, evita reprocesos y libera tiempo del personal logístico para tareas de mayor valor agregado, como la negociación con proveedores estratégicos.

c) Revisión del modelo de compras

La revisión del modelo de compras plantea migrar hacia un enfoque más proactivo y estratégico, con las siguientes líneas de acción:

Compras planificadas en base a histórico de consumos.

Contratos marco con proveedores clave.

Segmentación de compras por criticidad.

Desde un enfoque cuantitativo, este rediseño reduciría los tiempos de adquisición en un promedio del 40%, al eliminar procesos repetitivos de cotización y negociación. Además, incrementaría la tasa de cumplimiento de mantenimientos preventivos y correctivos de un 30% a más del 70%, al garantizar que los repuestos críticos estén disponibles en el momento oportuno.

Desde un enfoque cualitativo, transformaría la logística de un proceso reactivo y burocrático en uno proactivo, previsible y estratégico, mejorando la coordinación interáreas y la relación con proveedores.

d) Convenios con proveedores

Se propone establecer acuerdos estratégicos con proveedores frecuentes de repuestos críticos, definiendo tiempos de entrega, precios y condiciones preestablecidas. Esta medida busca reducir la variabilidad en los tiempos de abastecimiento, evitar la necesidad de cotizaciones múltiples y garantizar entregas más confiables.

Su implementación tendría un impacto positivo en la reducción de los tiempos logísticos promedio (de 3–7 días a 1–2 días), además de facilitar la programación anticipada de mantenimientos y disminuir el riesgo de quiebres de inventario.

e) Capacitación en logística

La mejora en la capacidad del recurso también requiere intervención sobre el factor humano. Por ello, se plantea capacitar al personal logístico en herramientas digitales (ERP o CMMS), planificación de inventarios, compras estratégicas y uso de criterios de criticidad. Esta medida incrementará la eficiencia en el procesamiento de requerimientos, reducirá errores administrativos y mejorará la comunicación con otras áreas técnicas.

Tabla 12

Tabla resumen de propuestas para elevar la restricción

Acción propuesta	Descripción	Tipo de acción	Impacto esperado
Stock de seguridad	Mantener un inventario adicional de repuestos críticos y de alta rotación para garantizar disponibilidad inmediata.	Inversión moderada	Reducción de tiempos de espera en >40%; cumplimiento del 70–75% de mantenimientos.
Automatización logística	Implementar un software de gestión (ERP o CMMS) que integre requerimientos, cotizaciones, aprobaciones y compras.	Inversión tecnológica	Disminución de tiempos de ciclo en 30–40%; mayor trazabilidad y confiabilidad del proceso.
Revisión del modelo de compras	Migrar de un modelo reactivo a uno proactivo con compras planificadas, contratos marco y segmentación por criticidad.	Rediseño estructural	Reducción de retrasos en 40%; disponibilidad de repuestos críticos de forma oportuna.
Convenios con proveedores	Establecer acuerdos de abastecimiento con tiempos de entrega	Reestructuración de relaciones externas	Mayor previsibilidad, menores costos unitarios y

	y precios predefinidos.		reducción de reprocesos.
Capacitación en logística	Formación del personal en gestión de inventarios, negociación y uso de herramientas digitales.	Inversión en capital humano	Incremento de eficiencia en procesos administrativos; reducción de errores y tiempos muertos.

Nota. Elaboración propia.

Estas acciones permitirán reducir el tiempo logístico total desde la solicitud hasta la entrega de los materiales, eliminando cuellos de botella administrativos y mejorando la respuesta del sistema ante la demanda de mantenimiento.

Tabla 13

Tabla de impacto estimado tras la elevación

Indicador	**Situación actual**	**Situación esperada tras la mejora**	**Impacto estimado**
Cumplimiento de mantenimientos programados	30% en promedio (abril-junio)	70–75% de cumplimiento mensual	Incremento de +40 a +45 puntos porcentuales
Tiempos de espera logísticos	Entre 3 y 7 días para repuestos críticos	1 a 2 días en promedio gracias a stock de seguridad y convenios	Reducción del 60% en tiempos de abastecimiento
Costos por correctivos graves	Elevados, por prolongada indisponibilidad de unidades	Reducción progresiva gracias a preventivos ejecutados oportunamente	Ahorro estimado del 20–25% en costos de mantenimiento

Productividad técnica	Horas-hombre desaprovechadas por inactividad (hasta 30%)	Mayor utilización de la capacidad instalada (>85%)	Incremento de +20–25% en productividad efectiva
Confiabilidad del sistema	Baja: reprocesos frecuentes y reprogramaciones >70%	Alta: planificación alineada con disponibilidad real	Mejora en la confianza y reducción de reprogramaciones

Nota. Elaboración propia.

El incremento del cumplimiento de los mantenimientos programados, de un promedio de 30 % registrado entre los meses de abril y junio a un nivel esperado de 70–75 %, se sustenta en la eliminación de las principales causas de reprogramación identificadas durante el diagnóstico. La falta de repuestos críticos, la validación tardía de recursos y la liberación de órdenes de trabajo sin disponibilidad logística fueron responsables de más del 60 % de las incidencias operativas mensuales. Con la implementación de la validación logística anticipada, el establecimiento de stock de seguridad y la liberación de órdenes únicamente cuando todos los recursos estén disponibles, se reduce significativamente la probabilidad de interrupciones, permitiendo ejecutar entre siete y ocho de cada diez mantenimientos programados. Este escenario justifica un incremento estimado de entre 40 y 45 puntos porcentuales en el nivel de cumplimiento.

En relación con los tiempos de espera logísticos, actualmente estos oscilan entre tres y siete días para la obtención de repuestos críticos, debido a una gestión reactiva de compras y a la ausencia de inventarios mínimos. La propuesta de mejora contempla la implementación de stock de seguridad y convenios con proveedores estratégicos, lo que permite reducir el tiempo de abastecimiento a un rango de uno a dos días, correspondiente principalmente a los tiempos de despacho interno o entrega inmediata del proveedor. Considerando un tiempo promedio actual de cinco días y un tiempo esperado de dos días, se obtiene una reducción aproximada del 60 % en los tiempos de espera logísticos.

Respecto a los costos por mantenimientos correctivos graves, estos se mantienen elevados en la situación actual debido a la alta frecuencia de fallas no planificadas, la prolongada indisponibilidad de las unidades y el uso intensivo de horas extra y repuestos de emergencia. Al elevar el cumplimiento del mantenimiento preventivo y ejecutar las

intervenciones en los tiempos programados, se reduce la probabilidad de fallas mayores y se optimiza el uso de los recursos. En función de experiencias documentadas en gestión de mantenimiento, una mejora sostenida en la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo permite reducir los costos totales de mantenimiento en rangos del 20 % al 30 %, por lo que el ahorro estimado del 20–25 % planteado en la tabla resulta conservador y técnicamente viable.

En cuanto a la productividad técnica, el diagnóstico evidenció que hasta un 30 % de las horas-hombre disponibles no se aprovechan de manera efectiva debido a tiempos de espera por materiales, interrupciones y reprogramaciones constantes. Con la mejora propuesta, se reduce el tiempo ocioso del personal técnico y se incrementa la continuidad del trabajo, permitiendo una mayor utilización de la capacidad instalada. Bajo este escenario, la productividad efectiva del personal se incrementa de niveles cercanos al 70 % hasta valores superiores al 85 %, lo que representa un aumento estimado de entre 20 % y 25 % en la productividad técnica.

Finalmente, la confiabilidad del sistema de mantenimiento presenta actualmente niveles bajos, evidenciados por reprogramaciones superiores al 70 % y por la falta de alineación entre la planificación y la disponibilidad real de recursos. La elevación del sistema, mediante una planificación basada en criticidad y validación anticipada de materiales, permite estabilizar el flujo operativo y reducir de manera significativa las reprogramaciones. Como resultado, se espera una mejora sustancial en la confiabilidad del sistema, fortaleciendo la confianza del personal operativo y asegurando una ejecución más consistente de los mantenimientos programados.

Elevar la restricción no solo mejora el flujo del sistema, sino que permite liberar capacidad productiva que anteriormente estaba desaprovechada, lo cual impacta de forma directa en la disponibilidad operativa de las unidades, la reducción de costos y la mejora del servicio brindado por la empresa.

Una vez que esta restricción ha sido elevada, el sistema deberá volver al paso 1 para verificar si ha surgido una nueva restricción en otra parte del flujo (por ejemplo, en el área técnica), manteniendo así un proceso de mejora continua.

5.1.5. Volver al paso 1 si se rompe la restricción

Los indicadores propuestos para monitorear el sistema y detectar nuevas restricciones son:

- Cumplimiento de la programación de mantenimientos (%): mide la proporción de mantenimientos efectivamente ejecutados frente a los programados. Un descenso

sostenido en este valor reflejaría la presencia de un cuello de botella que interrumpe el flujo del proceso.

- Tiempo promedio de atención logística (días): controla la duración del ciclo de abastecimiento de repuestos, desde la solicitud hasta la entrega al área técnica. Valores elevados indicarían que la restricción en logística persiste o que la gestión de proveedores se ha debilitado.
- Horas-hombre efectivas de mantenimiento (% de utilización): evalúa el grado de aprovechamiento de la capacidad técnica disponible. Una baja utilización evidenciaría tiempos muertos generados por retrasos logísticos u otros factores que podrían constituirse en nuevas restricciones.
- Índice de reprogramaciones (% de órdenes reprogramadas): mide la proporción de órdenes que deben ser aplazadas respecto al total programado. Una elevada frecuencia de reprogramaciones señalaría problemas de planificación o deficiencias en la subordinación del sistema a la restricción.
- Distribución de costos de mantenimiento (preventivo vs correctivo): compara el gasto en mantenimientos preventivos frente al gasto total. Una mayor proporción de costos en correctivos advertiría que la restricción continúa generando fallas no previstas, afectando la estabilidad del sistema.

Estos indicadores permitirán detectar tempranamente el surgimiento de una nueva restricción, la cual deberá ser gestionada a través del mismo ciclo de mejora continua. De esta forma, la organización podrá sostener su proceso de optimización en el tiempo, alineando sus capacidades a la demanda real y adaptándose a nuevas condiciones operativas.

Para consolidar las mejoras implementadas en la logística de repuestos y evitar que la inercia del sistema genere nuevamente un cuello de botella, se propone la implementación de un sistema de control continuo. Este sistema debe funcionar como un mecanismo permanente de supervisión que permita vigilar los principales indicadores de desempeño y garantizar que el flujo operativo mantenga estabilidad en el tiempo.

El sistema de control continuo se basa en el monitoreo periódico de indicadores clave (KPI), tales como el cumplimiento de la programación de mantenimientos, el tiempo promedio de atención logística, el nivel de stock de seguridad de repuestos críticos, la productividad del personal técnico y el índice de reprogramaciones. Estos indicadores, evaluados de manera sistemática, permiten detectar de forma temprana cualquier desviación respecto a los niveles esperados y activar medidas correctivas inmediatas.

El control continuo también requiere establecer frecuencias de medición y responsables claros. Por ejemplo, los niveles de stock crítico y el porcentaje de órdenes bloqueadas por materiales deben revisarse a diario por el área de logística; mientras que el cumplimiento de la programación, la utilización de horas-hombre y el índice de reprogramaciones deben evaluarse semanal o mensualmente por la jefatura de operaciones y reportarse a la gerencia. De esta manera, cada área se mantiene alineada y subordinada a la restricción, asegurando coherencia en el flujo operativo.

Asimismo, la propuesta contempla la implementación de alertas y mecanismos de retroalimentación. Cuando un indicador supere los umbrales definidos, el sistema debe activar una acción inmediata, como la priorización de compras, la reasignación de recursos o la revisión de cronogramas. Este enfoque preventivo no solo fortalece la capacidad de respuesta, sino que también evita que los problemas se acumulen y se conviertan en nuevas restricciones.

5.2. Rediseño del proceso de mantenimiento

Una vez aplicado el ciclo de mejora propuesto por la Teoría de Restricciones (TOC), se plantea un rediseño integral del sistema de mantenimiento con el objetivo de garantizar un flujo más eficiente, confiable y alineado con la capacidad del recurso anteriormente restrictivo: la logística de materiales.

Este rediseño se estructura en cinco componentes clave: proceso, buffers, layout, recursos y herramientas digitales. Además, cada componente responde directamente a las acciones propuestas en la etapa de elevación de la restricción.

5.2.1. Procedimiento del proceso de mantenimiento

El proceso actual presenta múltiples interrupciones asociadas a aprobaciones lentas, falta de materiales y descoordinación. Se propone un flujo continuo y subordinado a la validación logística, estructurado en etapas secuenciales y con control visual.

5.2.1.1. Etapas propuestas del nuevo proceso:

- Planificación mensual basada en criticidad y disponibilidad de recursos.
- Generación de requerimientos estandarizados.
- Validación logística anticipada (stock / cotización / buffer).
- Liberación de orden de trabajo solo si todo está disponible.
- Ejecución técnica sin interrupciones.
- Cierre administrativo con retroalimentación al sistema.

Esta secuencia responde a la acción de revisión del modelo de compras, ya que promueve compras planificadas y segmentadas por criticidad, y se vincula con la capacitación en logística al exigir procesos bien definidos y controlados.

5.2.1.2. Validación Full Kit y subordinación logística

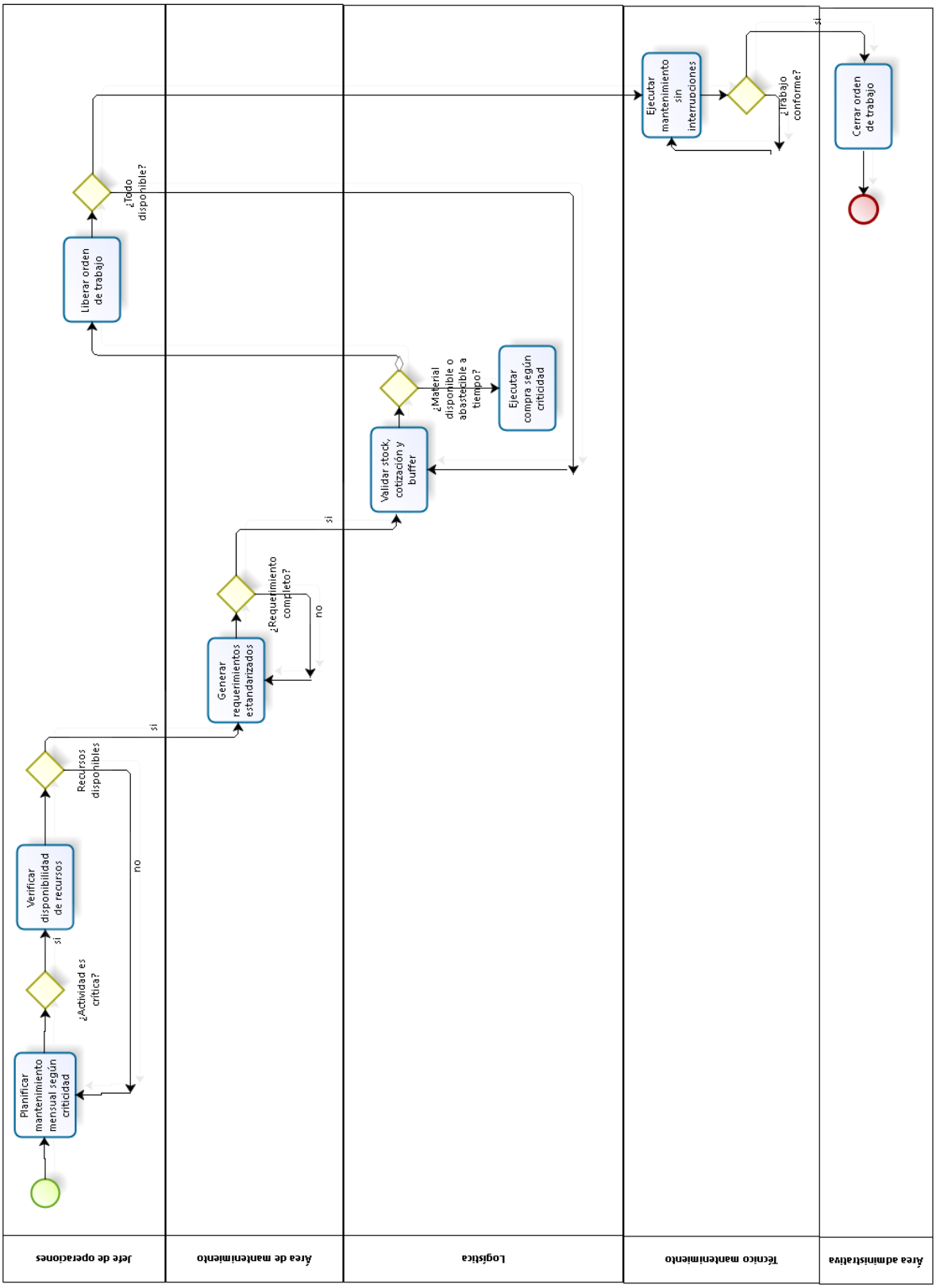
La propuesta incorpora el principio Full Kit de la Teoría de Restricciones (TOC), el cual establece que ninguna orden de trabajo debe ser liberada al taller si no cuenta con todos los elementos necesarios para su ejecución. Esto incluye la disponibilidad de repuestos críticos, herramientas, personal técnico, documentación técnica y aprobaciones administrativas.

Bajo este enfoque, el área logística se convierte en el recurso que regula la liberación de las órdenes de trabajo, subordinando la programación técnica a la validación previa de materiales y recursos. De esta manera, se evita que las unidades ingresen al taller sin disponibilidad completa de insumos, reduciendo tiempos muertos, reprogramaciones y ocupación innecesaria de espacio operativo.

Asimismo, la validación Full Kit permite sincronizar el flujo de mantenimiento con la disponibilidad real de recursos, fortaleciendo la lógica Drum-Buffer-Rope (DBR), donde la logística marca el ritmo de liberación del sistema y protege la continuidad operativa mediante buffers estratégicos.

Figura 20

Etapas del nuevo proceso



Nota. Elaboración propia, rediseñado el BPMN actual de la figura 2

Tabla 14

Pasos de procedimiento

Paso	Actividades	Responsables	Entrada necesaria	Resultado esperado	Indicador de control
1. Recepción y registro del requerimiento	Registrar el requerimiento en el sistema con datos básicos (unidad, falla, urgencia, fotos)	Supervisor externo / Coordinador de recepción	Formato de requerimiento	Orden de trabajo preliminar generada	Tiempo de registro ≤ 2 h
2. Clasificación y priorización	Definir tipo de mantenimiento (preventivo/correctivo) y nivel de criticidad (alta, media, baja)	Programador / Supervisor de área	Orden de trabajo preliminar	OT con prioridad confirmada	% de OTs clasificadas en plazo
3. Validación logística y Full Kit	Verificar disponibilidad integral de repuestos críticos, stock de seguridad, herramientas, buffers y documentación técnica necesaria para la ejecución	Responsable de logística	Kardex de repuestos / stock mínimo / checklist Full Kit	Validación Full Kit o activación inmediata del proceso de compra	Tiempo de validación logística
4. Cotización y compra	Gestionar cotizaciones, aprobar según umbrales y realizar pedido al proveedor	Responsable de logística / Jefatura / Gerencia	Lista de materiales requeridos	Orden de compra emitida y confirmación de ETA	% de compras aprobadas en plazo
5. Liberación y programación de trabajos	Liberar únicamente las OTs que cuenten con validación Full Kit y asignar recursos técnicos según prioridad y disponibilidad	Programador / Supervisores de área	OT validada con Full Kit	Cronograma liberado sin restricciones logísticas	% de OTs liberadas vs programadas
6. Ejecución de trabajos	Realizar mantenimiento según OT, registrar consumos y tiempos	Técnicos / Supervisores de área	Materiales, herramientas y OT programada	Unidad intervenida, trabajo ejecutado	% de OTs ejecutadas en plazo
7. Cierre y reporte	Cerrar OT, registrar repuestos usados, horas-hombre, observaciones	Supervisores / Programador	OT ejecutada con evidencias	Informe de OT completado y archivado	% de OTs cerradas con informe completo

8. Revisión y control	Monitorear indicadores, consumo de buffers y alertas del sistema, realizando comité de seguimiento y priorización	Jefatura de operaciones / Logística / Supervisores	KPIs de mantenimiento y abastecimiento	Detección de desvíos y acciones correctivas	Cumplimiento de indicadores meta

Nota. Elaboración propia.

El procedimiento propuesto incorpora la lógica DBR mediante la subordinación de la programación técnica a la validación logística previa. La liberación controlada de órdenes de trabajo bajo el principio Full Kit permite reducir tiempos muertos, evitar reprogramaciones y disminuir la permanencia innecesaria de unidades en el taller por falta de repuestos.

5.2.2. Incorporación de buffers estratégicos

Tabla 15

Tipos de buffers utilizados

Tipo de buffer	Ubicación	Propósito específico	Acción relacionada de la elevación	Tamaño inicial	Indicador de uso	Acción si se agota
Buffer de materiales	En almacén, antes de ejecución	Garantizar disponibilidad de repuestos críticos al momento de uso	Implementación de stock de seguridad	Stock mínimo de 10 ítems críticos de alta rotación	% de consumo mensual de cada ítem	Reabastecer inmediatamente y revisar lead time del proveedor
Buffer de tiempo	Entre aprobación logística y ejecución	Absorber retrasos logísticos sin afectar el cronograma	Convenios con proveedores + modelo proactivo	1 día de holgura entre validación y ejecución	% de días de holgura utilizados	Reajustar la programación preventiva y activar compras urgentes
Buffer de información	En el sistema de control (Drive/CMMS)	Evitar pérdidas de trazabilidad y garantizar decisiones rápidas	Digitalización y dashboard de indicadores	Registro único y actualizado en tiempo real	% de OTs registradas con datos completos	Auditoría semanal de registros y retroalimentación inmediata
Buffer de capacidad	**Área de mecánica y programación**	**Absorber mantenimientos correctivos urgentes sin afectar OTs preventivas ya liberadas**	**Reserva estratégica de capacidad técnica**	**15%–20% de horas técnicas disponibles**	**% de capacidad utilizada**	**Reasignar recursos y reajustar prioridades operativas**

Nota. Elaboración propia.

5.2.2.1. Gestión visual y control de buffers

Con el fin de fortalecer la aplicación de la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR), se propone implementar un sistema de gestión visual de buffers basado en niveles de consumo y alertas operativas. Este mecanismo permitirá monitorear en tiempo real el estado de los buffers estratégicos y priorizar las acciones logísticas según el nivel de riesgo del sistema.

Para ello, los buffers serán gestionados mediante un esquema de colores tipo verde, amarillo y rojo, permitiendo identificar oportunamente posibles interrupciones en el flujo de mantenimiento.

Tabla 16

Gestión de buffers por colores

Zona	Nivel de consumo	Condición operativa	Acción requerida
Verde	0% – 33%	Operación estable	Seguimiento normal
Amarillo	34% – 66%	Riesgo moderado de interrupción	Priorizar reposición y seguimiento logístico
Rojo	Mayor al 66%	Riesgo crítico de ruptura del flujo	Activar compra urgente y priorización inmediata

En el caso del buffer de tiempo asociado a las órdenes de trabajo, se establece que cuando una reparación consuma más del 66% del tiempo estimado sin haber concluido la actividad, el sistema generará una alerta roja para que el área logística y supervisión prioricen recursos hacia dicha unidad, evitando retrasos adicionales y posibles incumplimientos del cronograma.

- Aumento del cumplimiento del plan

El buffer de materiales asegura que los repuestos críticos se encuentren disponibles al momento de la ejecución. Al contar con un stock mínimo garantizado de ítems de alta rotación, los técnicos no dependen de procesos de compra urgentes ni de aprobaciones tardías, lo que reduce la incertidumbre y aumenta la confiabilidad del cronograma. Asimismo, el buffer de tiempo otorga un margen de seguridad entre la aprobación logística y la ejecución, absorbiendo imprevistos sin alterar el plan original. De este modo, la probabilidad de que las órdenes de trabajo programadas se cumplan en la fecha establecida se incrementa significativamente, elevando el nivel de confiabilidad del sistema.

Adicionalmente, el buffer de capacidad permite absorber mantenimientos correctivos urgentes sin afectar las actividades preventivas ya liberadas, incrementando la estabilidad y confiabilidad del cronograma operativo.

- Disminución de reprogramaciones

Uno de los principales problemas de los sistemas de mantenimiento es la alta frecuencia de reprogramaciones, generalmente causadas por demoras en la adquisición de repuestos o por falta de información oportuna. El buffer de tiempo reduce este riesgo al prever un margen planificado para retrasos logísticos, lo que evita que una demora de proveedor o una validación administrativa detenga la programación técnica. Por su parte, el buffer de información, basado en registros digitales y dashboards actualizados, garantiza que todos los actores cuenten con datos confiables y en tiempo real, reduciendo los errores de coordinación y evitando reprocesos. Con estos mecanismos, las reprogramaciones se convierten en eventos excepcionales y no en una práctica habitual.

Asimismo, el sistema de alertas por colores permite identificar oportunamente riesgos de agotamiento de buffers y activar acciones preventivas antes de que ocurran interrupciones en el flujo de mantenimiento.

- Elevación de la eficiencia general del sistema

La eficiencia global del sistema depende de la sincronización entre logística y ejecución técnica. El buffer de materiales reduce los tiempos muertos de los técnicos, quienes antes permanecían inactivos esperando la llegada de insumos. El buffer de tiempo optimiza la programación, permitiendo que los recursos técnicos sean reasignados de manera más ágil en caso de contingencias. Finalmente, el buffer de información elimina duplicidades y pérdidas de trazabilidad, asegurando que cada orden de trabajo cuente con la documentación necesaria desde el inicio. En conjunto, estos tres buffers permiten que los recursos humanos, materiales y financieros se utilicen de manera más productiva, disminuyendo desperdicios y elevando el rendimiento operativo

Finalmente, el buffer de capacidad mejora la flexibilidad operativa del área de mecánica, permitiendo responder a contingencias sin generar sobrecarga técnica ni afectar la continuidad del sistema.

5.2.3. Rediseño del layout físico

Como parte de la implementación de la propuesta, se ha planteado un nuevo layout físico del sistema de mantenimiento que permite organizar de manera eficiente las áreas funcionales involucradas en el proceso. Este diseño no solo mejora el recorrido de materiales y órdenes de trabajo, sino que también facilita la integración de los buffers definidos (stock mínimo, operativo y de seguridad) y las estaciones digitales implementadas.

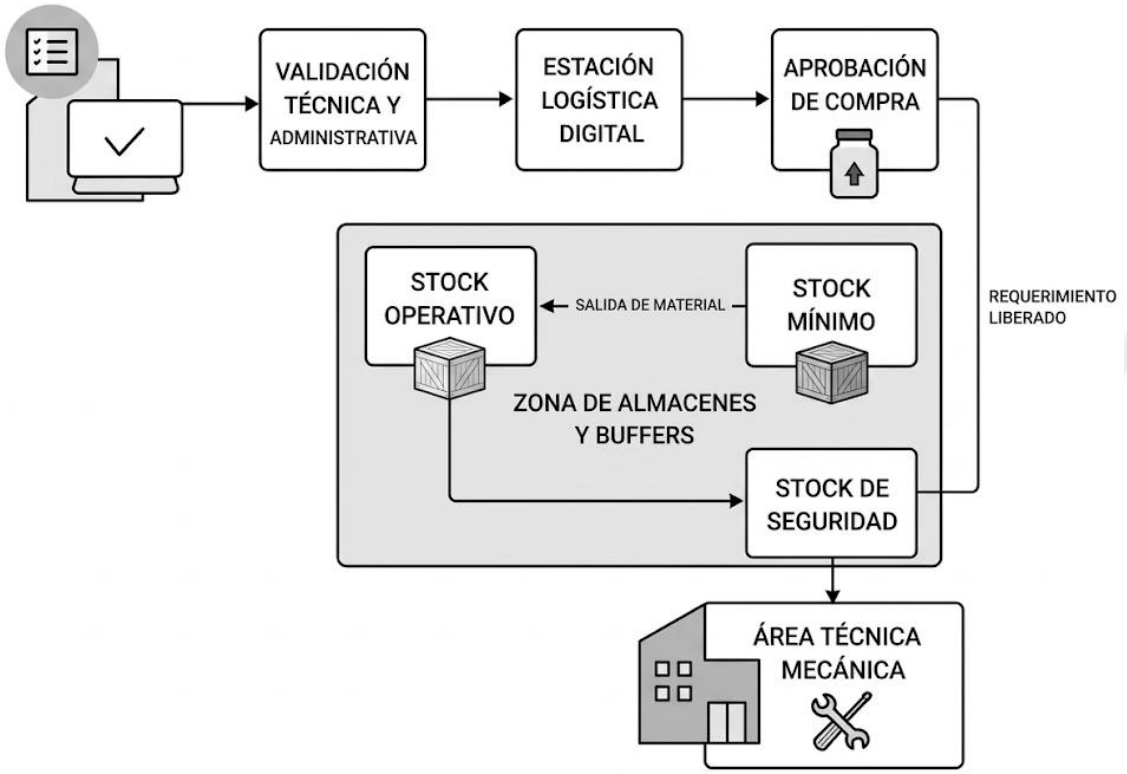
En la Figura 21 se presenta el flujo rediseñado del sistema, donde se muestra la secuencia lógica y operativa desde el ingreso del requerimiento hasta la ejecución del mantenimiento. Aunque representa la dinámica del proceso, no refleja la distribución espacial.

Por ello, en la Figura 21 se incorpora un layout físico reorganizado que ilustra la disposición espacial de las zonas clave: validación técnica, estación logística digital, almacenes de repuestos clasificados por criticidad, buffers operativos y áreas administrativas. Este diseño busca reducir tiempos muertos por traslados innecesarios, minimizar interferencias entre tareas y asegurar un entorno de trabajo más ordenado.

Además, este nuevo esquema apoya directamente la ejecución de las acciones propuestas en la fase de elevación de la restricción: facilita el acceso al stock de seguridad, mejora la trazabilidad mediante digitalización y permite un entorno adecuado para el desarrollo de actividades formativas relacionadas con la gestión logística.

Figura 21

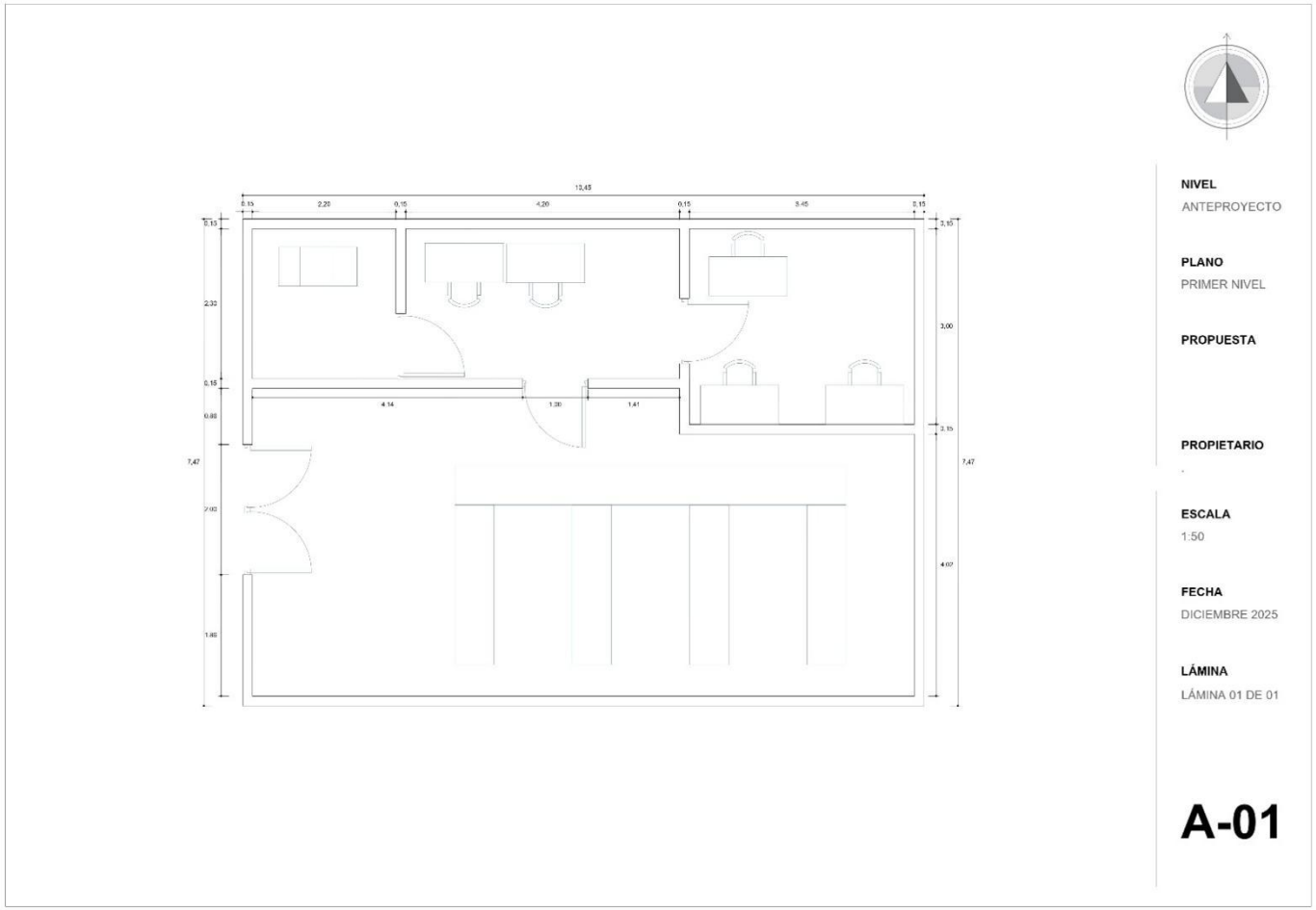
Flujo rediseñado del sistema de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

Figura 22

Layout rediseñado del sistema de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

Este diseño físico da soporte a las acciones de automatización logística, stock de seguridad y capacitación, al facilitar un entorno estructurado para aplicar las nuevas herramientas.

5.2.4. Optimización de recursos disponibles

Se propone una nueva distribución de funciones para mejorar el uso de la capacidad instalada:

Tabla 17

Roles y ajuste propuesto

Rol	Ajuste propuesto	Objetivo	Acción relacionada de la elevación	Indicador de control
Responsable de Logística	Implementación de stock de seguridad para repuestos críticos	Garantizar disponibilidad inmediata de materiales estratégicos	Incorporación de buffers de materiales	Nivel de stock crítico disponible (%)
Programador de Mantenimiento	Subordinación de la programación a la confirmación de materiales	Evitar cronogramas poco realistas y reducir reprogramaciones	Programación adaptada al ritmo del recurso restrictivo	% de OTs reprogramadas
Supervisores Técnicos (Mecánica y Metalmecánica)	Validación técnica previa en un punto único centralizado	Reducir duplicidades y errores antes de la ejecución	Punto de validación técnica y administrativa unificado	% de OTs ejecutadas sin devoluciones
Jefatura de Operaciones	Comité semanal de revisión de KPI y coordinación interáreas	Asegurar coherencia entre logística, programación y ejecución	Sistema de control continuo	Cumplimiento del plan (%)
Gerencia General	Revisión y aprobación rápida con umbrales definidos	Agilizar compras y reducir retrasos por procesos administrativos	Revisión del modelo de compras y convenios con proveedores	Tiempo promedio de aprobación (días)
Personal Técnico y Ayudantes	Uso de buffers y reportes digitales en ejecución	Maximizar productividad y reducir tiempos muertos	Digitalización de órdenes de trabajo (OT)	Horas-hombre efectivas / horas-hombre totales (%)
Área de Almacén	Separación física del stock operativo y de seguridad	Mejorar el control visual y la trazabilidad de inventarios	Rediseño del layout físico del sistema	% de materiales entregados a tiempo

Comité de Mejora Continua **(nuevo rol sugerido)**	Auditoría mensual de procesos e indicadores	Mantener mejoras en el tiempo y detectar nuevas restricciones	Evitar inercia organizacional mediante control continuo	Cumplimiento de auditorías realizadas (%)

Nota. Elaboración propia.

El rediseño del sistema de mantenimiento propuesto requiere la participación coordinada de todos los actores involucrados, estableciendo ajustes específicos en sus funciones con el objetivo de elevar la restricción principal y asegurar la sostenibilidad de las mejoras.

En primer lugar, el responsable de logística adquiere un rol central en la gestión de repuestos. Su ajuste principal consiste en implementar y mantener un stock de seguridad de ítems críticos, lo que permite garantizar la disponibilidad inmediata de materiales estratégicos y reducir la dependencia de compras de emergencia. Este cambio está directamente vinculado a la incorporación de buffers de materiales y se mide mediante el indicador de nivel de stock crítico disponible.

Por su parte, el programador de mantenimiento debe ajustar la planificación para que las órdenes de trabajo se programen únicamente cuando los materiales estén confirmados. Este cambio implica la subordinación de la programación al ritmo de la restricción logística, lo que evita cronogramas poco realistas y reduce la frecuencia de reprogramaciones. El indicador asociado en este caso es el porcentaje de OTs reprogramadas, que debe disminuir progresivamente con la aplicación de esta medida.

Los supervisores técnicos de mecánica y metalmecánica también tienen un rol clave en el nuevo diseño, al concentrar la validación en un punto único técnico y administrativo. Este ajuste reduce duplicidades, elimina retrasos innecesarios y garantiza que los trabajos inicien solo cuando cuentan con aprobación y materiales confirmados. Su desempeño se controla a través del indicador porcentaje de OTs ejecutadas sin devoluciones ni errores de validación.

La jefatura de operaciones asume la responsabilidad de coordinar las áreas a través de un comité semanal de revisión de indicadores (KPI). Este ajuste fortalece la coherencia entre logística, programación y ejecución, asegurando que las decisiones operativas se tomen de manera sincronizada. El indicador principal para evaluar este rol es el cumplimiento del plan mensual de mantenimientos.

La gerencia general, por su parte, ajusta su rol hacia una revisión y aprobación ágil de compras, estableciendo umbrales de autorización que permitan acelerar la adquisición de repuestos sin comprometer el control administrativo. Este cambio responde a la acción de

revisión del modelo de compras y convenios con proveedores, y se mide mediante el indicador tiempo promedio de aprobación de compras.

El personal técnico y ayudantes también se benefician de los ajustes, ya que contarán con un flujo de trabajo más estable y digitalizado. Su responsabilidad será utilizar los buffers definidos y reportar en tiempo real el consumo de materiales y las horas-hombre invertidas, mediante la digitalización de órdenes de trabajo. El indicador clave asociado es la proporción de horas-hombre efectivas sobre el total de horas disponibles, que refleja la eficiencia del recurso humano.

Asimismo, el área de almacén se reorganiza físicamente para diferenciar el stock operativo del stock de seguridad, lo que mejora el control visual y evita confusiones en la gestión de inventarios. Este cambio está alineado con el rediseño del layout físico del sistema y se controla mediante el indicador porcentaje de materiales entregados a tiempo.

5.2.5. Digitalización y soporte tecnológico

Como soporte al rediseño, se plantea la implementación de un **sistema ERP o CMMS básico**, adaptado al tamaño y complejidad de la empresa.

Este software permitirá:

- Automatizar cotizaciones y aprobaciones.
- Registrar consumos de materiales y mantener niveles de stock.
- Controlar órdenes de trabajo desde la planificación hasta el cierre.
- Generar indicadores claves para monitoreo del sistema.

Además de las funciones tradicionales de registro y trazabilidad, el sistema digital propuesto operará como un Tablero de Control de Flujo basado en la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR). Este tablero permitirá monitorear en tiempo real el consumo de los buffers estratégicos, el estado de las órdenes de trabajo y los niveles de riesgo operativo asociados al sistema de mantenimiento. Bajo este enfoque, las prioridades de atención no se definirán únicamente por orden de llegada, sino por el nivel de consumo de buffer y el riesgo de interrupción del flujo operativo, permitiendo priorizar las órdenes de trabajo críticas y reducir interrupciones en el sistema.

Tabla 18

Matriz de criticidad de sistemas propuestos

Criterio	ERP básico (Odoo, Zoho, SAP B1)	CMMS (ManWinWin, Fracttal, Fiix)	Excel + Macros (desarrollo interno)
Costo de implementación	2	3	5
Facilidad de uso	3	3	5
Adaptabilidad a procesos	3	4	5
Escalabilidad futura	5	4	3
Integración con logística	4	4	5
Velocidad de implementación	2	3	5
Soporte y mantenimiento	4	4	3
Puntaje total	**23**	**25**	**31**

Nota. Elaboración propia.

La opción que obtuvo el mayor puntaje fue el uso de Excel con macros y formatos internos, alcanzando un total de 31 puntos. Este resultado se considera el más adecuado principalmente por su bajo costo de implementación, ya que solo requiere la adquisición de licencias y el tiempo necesario para desarrollar las herramientas dentro del programa. Además, su puesta en marcha es rápida y no exige una capacitación compleja, lo que permite que el equipo pueda adaptarse fácilmente sin necesidad de invertir en largos procesos de formación.

Otro aspecto clave es su capacidad de personalización. Excel permite adaptar sus funciones a las necesidades específicas de la empresa, como el control de inventario, la programación de mantenimientos, la elaboración de cotizaciones y la gestión de órdenes de trabajo. Esta flexibilidad lo convierte en una herramienta versátil para distintos procesos internos. Finalmente, al ser una solución que puede desarrollarse y mantenerse internamente, facilita la integración logística y operativa sin depender de proveedores externos, lo que otorga mayor autonomía y control sobre el sistema.

Tabla 19

Módulos del sistema

Módulo funcional	Descripción técnica	Beneficio esperado	Indicador asociado
Gestión de requerimientos	Registro digital de solicitudes de repuestos y mantenimientos, con validación automática por prioridad.	Centraliza la demanda, evita pérdidas de información y asegura trazabilidad completa.	% de requerimientos registrados y atendidos
Inventario y stock	Visualización en tiempo real de niveles de repuestos, con alertas de stock mínimo y buffers estratégicos.	Garantiza disponibilidad de ítems críticos y activo reabastecimiento preventivo.	Nivel de stock crítico disponible (%)
Órdenes de trabajo (OTs)	Generación, asignación y seguimiento de OTs con códigos únicos, estado de avance y cierre digitalizado.	Mejora la trazabilidad, reduce reprogramaciones y optimiza la programación técnica.	% de OTs ejecutadas vs programadas
Indicadores operativos	Dashboard de cumplimiento del plan, tiempos medios de atención, lead time logístico y consumo mensual.	Permite decisiones basadas en datos, identificando nuevas restricciones en tiempo real.	Cumplimiento del plan (%) / Lead time (días)
Tablero de control DBR	Monitoreo visual del consumo de buffers, alertas operativas y priorización dinámica de órdenes de trabajo	Mejora la toma de decisiones y reduce interrupciones operativas	% de alertas atendidas en tiempo real
Alertas y flujos de aprobación	Automatización de aprobaciones según reglas (ej. montos de compra, criticidad del repuesto).	Reduce tiempos administrativos y evita cuellos de botella en aprobaciones.	Tiempo promedio de aprobación (días)
Histórico y retroalimentación ***(extra)***	Registro de incidencias, mantenimientos previos y fallas recurrentes.	Crea una base de datos útil para análisis preventivo y mejora continua.	% de fallas recurrentes vs corregidas

Nota. Elaboración propia.

La propuesta de digitalización del sistema de mantenimiento se estructura a partir de módulos funcionales que responden directamente a las restricciones identificadas durante el diagnóstico del proceso. Cada módulo ha sido diseñado para atender una necesidad específica del flujo operativo, integrando funciones de planificación, control, trazabilidad y monitoreo en

un único entorno de gestión. Esta arquitectura funcional permite reducir la dependencia de procesos manuales, mejorar la disponibilidad de información en tiempo real y fortalecer la coordinación entre las áreas de mantenimiento, logística y supervisión.

Asimismo, la definición de indicadores asociados a cada módulo facilita el seguimiento permanente de su desempeño y la evaluación objetiva de los resultados obtenidos. De esta manera, el sistema no solo automatiza actividades operativas, sino que también incorpora mecanismos de control alineados con los principios de la Teoría de Restricciones, particularmente mediante la identificación temprana de desviaciones, el monitoreo del consumo de buffers y la detección de nuevas restricciones que puedan afectar el flujo del sistema. La Tabla 18 presenta los módulos funcionales considerados dentro de la propuesta tecnológica y la contribución esperada de cada uno de ellos.

Tabla 20

Actividades que automatiza el sistema

Actividad actual	Situación actual	Tras digitalización	Impacto esperado
Cotización de insumos	Se hace de manera manual, con búsqueda dispersa y tiempos largos de consolidación.	Digitalización mediante plantillas predefinidas y lista de proveedores frecuentes.	Reduce tiempos de respuesta y mejora la estandarización de cotizaciones.
Aprobación de compras	Depende de correos electrónicos o firmas físicas, generando cuellos de botella.	Automatización con umbrales de aprobación predefinidos (montos o criticidad del insumo).	Acelera el proceso administrativo y evita retrasos logísticos.
Seguimiento de OTs	Actualmente se controla en papel o mediante comunicación verbal entre supervisores.	**Registro digital con código único, estados de avance, monitoreo del consumo de buffers y cierre automático en el sistema.**	**Aumenta la trazabilidad, reduce reprogramaciones y permite priorizar órdenes de trabajo según riesgo operativo.**
Toma de decisiones	Basada en intuición o experiencia, sin métricas objetivas disponibles en tiempo real.	**Uso de indicadores (KPI), alertas visuales y monitoreo de buffers estratégicos mediante dashboards DBR en tiempo real.**	**Mejora la confiabilidad de las decisiones, prioriza actividades según riesgo de ruptura de buffer y permite identificar restricciones futuras.**
Gestión de stock	Revisión manual de inventario, propensa a errores y sin alertas preventivas.	**Control digital con alertas automáticas al alcanzar el stock mínimo o niveles críticos de buffer (verde, amarillo y rojo).**	**Reduce quiebres de stock, mejora la capacidad de respuesta logística y asegura la disponibilidad de materiales críticos.**
Reportes operativos	Se elaboran de forma esporádica y manual en Word o Excel dispersos.	Generación automática de reportes semanales/mensuales a partir de la base digital consolidada.	Incrementa la transparencia y facilita auditorías internas y externas.

Nota. Elaboración propia.

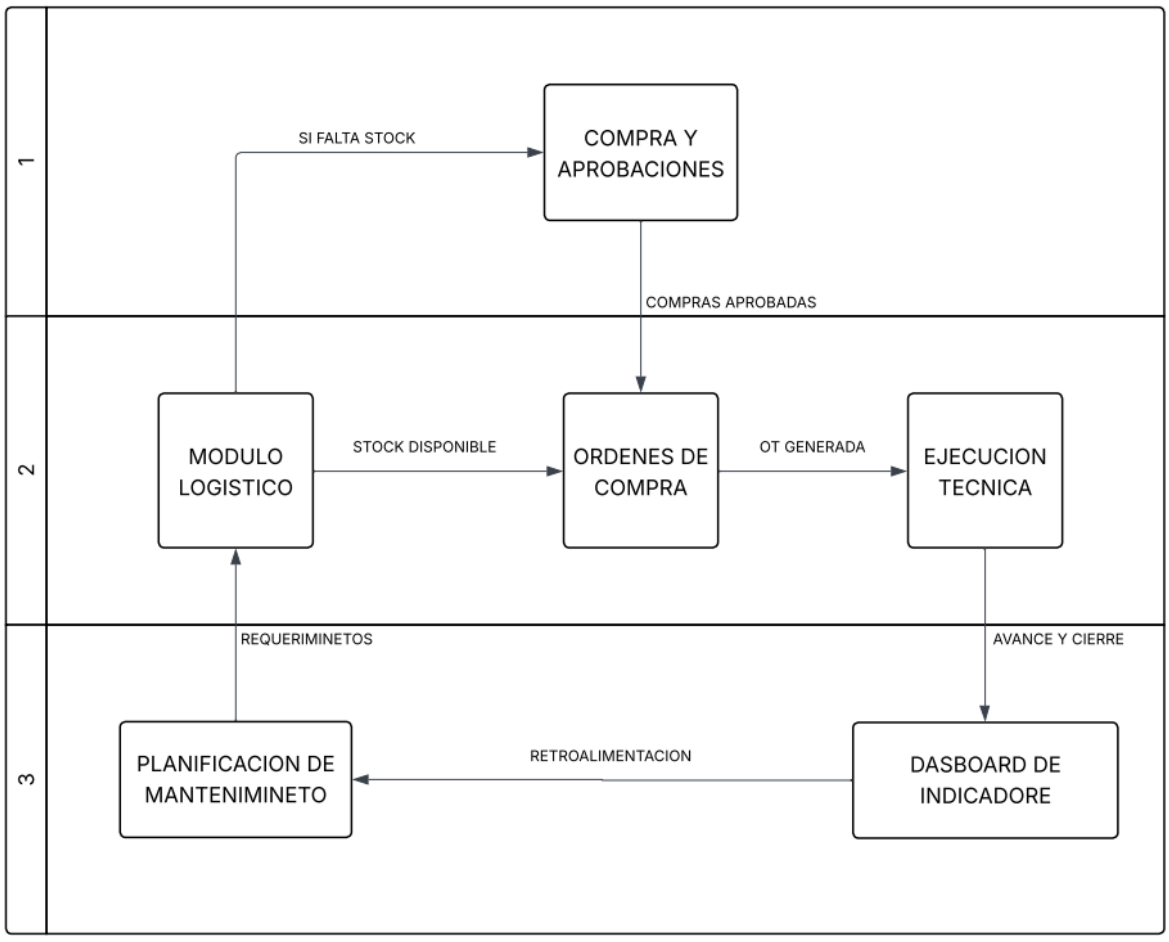
La incorporación de un sistema digital no implica únicamente sustituir registros físicos por herramientas informáticas, sino transformar la forma en que se ejecutan y controlan los procesos del área de mantenimiento. En la situación actual, varias actividades críticas dependen de procedimientos manuales, comunicación informal y registros dispersos, lo que incrementa los tiempos administrativos, dificulta la trazabilidad de la información y limita la capacidad de

respuesta ante cambios en la programación. La automatización propuesta busca eliminar estas ineficiencias mediante la estandarización de flujos de trabajo, la integración de información y la disponibilidad inmediata de datos para la toma de decisiones.

En este contexto, cada actividad automatizada contribuye a disminuir tiempos de espera, reducir errores administrativos y mejorar la coordinación entre los responsables del mantenimiento y la logística de repuestos. Además, la integración de indicadores operativos y alertas automáticas permite fortalecer el control del sistema bajo la lógica Drum-Buffer-Rope (DBR), asegurando que las decisiones se adopten considerando el estado real de las restricciones y el consumo de los buffers estratégicos. La Tabla 19 resume las principales actividades que serán automatizadas, comparando la situación actual con el escenario propuesto y el impacto esperado sobre el desempeño operativo del sistema de mantenimiento.

A continuación, se muestran la interacción de los módulos y arquitectura del sistema

Figura 23
Diagrama de arquitectura del sistema



Nota. Elaboración propia.

5.3. Plan de implementación del sistema propuesto

5.3.1. Fases del plan

La implementación del sistema propuesto se plantea en fases secuenciales que permiten asegurar la correcta integración de los ajustes operativos, digitales y logísticos. El plan considera actividades clave, su duración estimada y los responsables directos, con un enfoque práctico y adaptado a la estructura organizativa actual.

Tabla 21

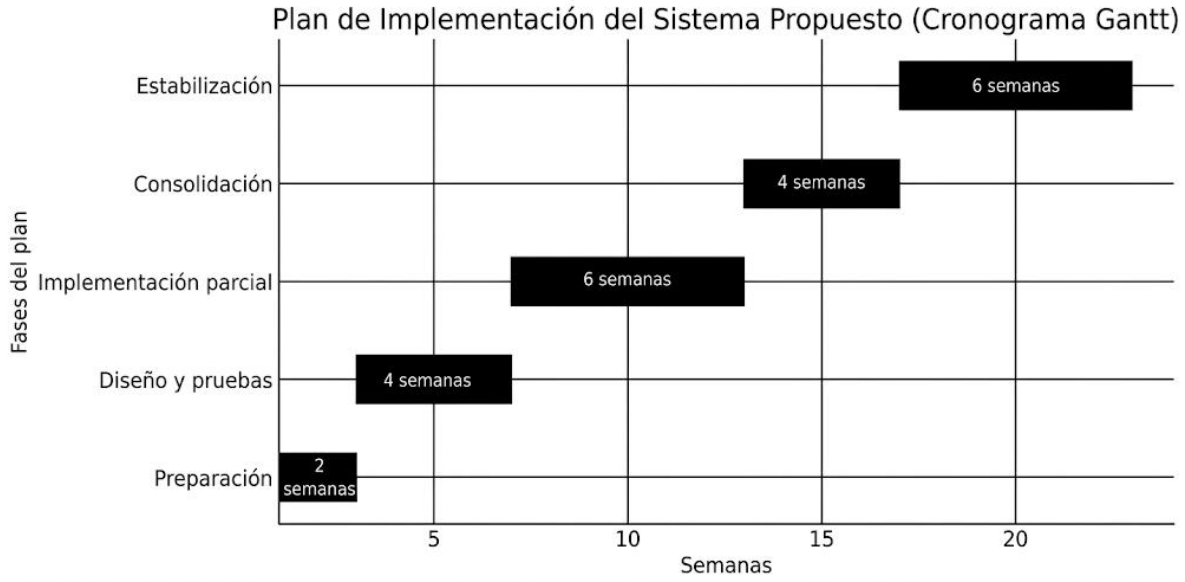
Plan de actividades

Fase	Actividad	Duración estimada	Responsable	Dependencia
Fase 1: Preparación	Sensibilización del personal técnico y administrativo sobre el nuevo modelo.	1 semana	Gerencia General + Jefatura de Operaciones	Ninguna
	Capacitación básica en uso de formatos digitales (Excel + macros).	1 semana	Responsable de Logística + Soporte TI	Fase 1 – Sensibilización
Fase 2: Diseño y pruebas	Diseño del formato digital para gestión de OTs, stock y reportes.	2 semanas	Responsable de Logística	Capacitación concluida
	Prueba piloto con un grupo reducido de órdenes de trabajo.	2 semanas	Supervisores técnicos	Diseño de formatos finalizado
Fase 3: Implementación parcial	Implementación del sistema en el área de Mecánica.	3 semanas	Supervisor Mecánica + responsable Logística	Piloto validado
	Implementación del sistema en el área de Metalmecánica.	3 semanas	Supervisor Metalmecánica + responsable Logística	Implementación Mecánica
Fase 4: Consolidación	Revisión de indicadores y ajustes en el proceso digital y logístico.	2 semanas	Comité de Mejora Continua	Implementación parcial concluida
	Formalización de convenios con proveedores estratégicos.	2 semanas	Gerencia General + Logística	Revisión de indicadores
Fase 5: Estabilización	Implementación total del sistema en todas las áreas.	4 semanas	Jefatura de Operaciones + Gerencia	Fase 4 – Consolidación
	Auditoría inicial de cumplimiento y retroalimentación.	2 semanas	Comité de Mejora Continua	Sistema en operación

Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Diagrama de Gantt del plan de implementación



Nota. Elaboración propia.

5.3.2. Recursos requeridos

La ejecución del sistema propuesto requiere una planificación adecuada de los recursos disponibles para garantizar su implementación efectiva. Estos recursos se dividen en cuatro categorías principales: humanos, tecnológicos, logísticos y materiales. Cada uno cumple un papel esencial en el proceso de mejora continua, asegurando la sostenibilidad del nuevo modelo operativo.

Tabla 22

Recursos requeridos

Tipo de recurso	Descripción general	Responsable	Finalidad principal
Humanos	Personal operativo, técnico, administrativo y comité de mejora.	Jefatura de Operaciones	Ejecución y control del sistema.
Tecnológicos	Computadoras, Excel con macros, dashboards e internet.	Soporte TI / Logística	Digitalización de la gestión y seguimiento.
Logísticos	Almacén, buffers, transporte y proveedores estratégicos.	Responsable de Logística	Flujo continuo de materiales.
Materiales	Repuestos, herramientas, EPP y suministros.	Supervisores técnicos	Ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo.

Nota. Elaboración propia.

5.3.2.1. Recursos humanos

Los recursos humanos son el eje central del proceso de implementación. Se requiere la participación activa del personal técnico, operativo y administrativo, quienes deben ser capacitados en el manejo de los nuevos formatos digitales, control de stock y programación de mantenimientos.

Además, se necesita la conformación de un Comité de Mejora Continua que supervise los avances del proyecto, valide indicadores y coordine las acciones correctivas.

Personal clave:

- Gerencia General → Supervisión y aprobación de fases.
- Jefatura de Operaciones → Coordinación general y seguimiento.
- Responsable de Logística → Control de stock, compras y buffers.
- Supervisores Técnicos → Validación y ejecución de órdenes.
- Personal de Mantenimiento → Ejecución directa de trabajos.
- Soporte TI → Asistencia técnica en la digitalización.

5.3.2.2. Recursos tecnológicos

Dado que el sistema propuesto se basa en la digitalización mediante Excel con macros, no se requieren grandes inversiones en software. Sin embargo, se necesita equipamiento adecuado para garantizar su operatividad y fluidez.

Requerimientos tecnológicos:

- Computadoras con Excel 2019 o superior (mínimo 2 equipos en taller).
- Acceso compartido a almacenamiento en la nube (Drive o OneDrive).
- Plantillas automatizadas para gestión de OTs, inventario y reportes.
- Dashboards para monitoreo de KPI.
- Capacitación básica en uso de macros y actualización de datos.

5.3.2.3. Recursos logísticos

La logística debe reforzarse para asegurar la disponibilidad y flujo de materiales. Se requiere la reorganización del almacén, implementación de buffers de materiales y definición de proveedores estratégicos para minimizar tiempos de espera.

Recursos logísticos requeridos:

- Área de almacén diferenciada (stock operativo y de seguridad).
- Convenios con proveedores locales y regionales.
- Protocolos de recepción y despacho digitalizados.
- Vehículo o transporte disponible para abastecimiento urgente.

5.3.2.4. Recursos materiales

Estos recursos comprenden los elementos físicos necesarios para la ejecución del mantenimiento y la mejora operativa del taller. Incluyen herramientas, equipos y materiales de consumo regular, que deben estar alineados al plan de mantenimiento preventivo y correctivo.

Recursos materiales esenciales:

- Repuestos críticos (mínimo 10 ítems en stock de seguridad).
- Herramientas de diagnóstico y medición.
- Equipos de protección personal (EPP).
- Suministros de oficina y señalización para zonas de trabajo.

CAPITULO VI
EVALUACIÓN ECONÓMICA Y OPERATIVA

6.1. Presupuesto de la propuesta

El presupuesto de la propuesta considera los recursos necesarios para la implementación del sistema mejorado de gestión de mantenimiento, incluyendo componentes humanos, tecnológicos, logísticos y materiales. El detalle de los insumos utilizados se presenta en el Anexo 1.

Tabla 23

Tabla de costos presupuestados

Tipo de recurso	Detalle del gasto	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)	Responsable
Humanos	Capacitaciones en digitalización y gestión logística	6 personas	250.00	1,500.00	Jefatura de Operaciones
	Horas adicionales por implementación del sistema	6 pers. × 20 h	15.00	1,800.00	Gerencia General
Subtotal Humanos				**3,300.00**	
Tecnológicos	Computadoras (Excel 2019 o superior)	2 equipos	2,500.00	5,000.00	Soporte TI
	Licencias Office 365 / actualización de software	2 licencias	450.00	900.00	Soporte TI
	Desarrollo de plantillas y macros en Excel	1 proyecto	1,200.00	1,200.00	Logística / TI
Subtotal Tecnológicos				**7,100.00**	
Logísticos	Readecuación de almacén (zonas de stock y buffers)	1 implementación	2,000.00	2,000.00	Responsable de Logística
	Señalización y codificación de materiales	1 paquete	800.00	800.00	Responsable de Logística
	Convenios logísticos y transporte interno	1 contrato	1,500.00	1,500.00	Gerencia General
Subtotal Logísticos				**4,300.00**	

Materiales	Stock de seguridad (ítems críticos)	10 unidades	350.00	3,500.00	Logística
	Herramientas y EPP adicionales	1 lote	3,620.00	3,620.00	Supervisores Técnicos
	Suministros de oficina y señalización	1 paquete	1,200.00	1,200.00	Área Administrativa
Subtotal Materiales				**8,320.00**	
TOTAL GENERAL				**S/ 22,020.00**	

Nota. Elaboración propia.

El presupuesto de implementación ha sido estructurado considerando únicamente los recursos necesarios para garantizar la operatividad del sistema propuesto, priorizando soluciones de bajo costo y alto impacto. La inversión total asciende a S/ 22,020.00, distribuida en recursos humanos, tecnológicos, logísticos y materiales.

En cuanto a los recursos humanos, se contempla una inversión de S/ 3,300.00, destinada a la capacitación del personal en herramientas de digitalización y gestión logística, así como a las horas adicionales requeridas durante la fase de implementación. Este componente es fundamental para asegurar la correcta adopción del sistema propuesto.

Los recursos tecnológicos representan una inversión de S/ 7,100.00, orientada a la adquisición de equipos informáticos, licencias de software y el desarrollo de herramientas digitales en Excel que permitan estandarizar y automatizar los procesos de control y seguimiento.

Por su parte, los recursos logísticos ascienden a S/ 4,300.00, e incluyen la readecuación del almacén, la implementación de señalización y codificación de materiales, así como la formalización de convenios logísticos. Estas acciones están orientadas a mejorar la gestión de inventarios y reducir los tiempos de abastecimiento.

Finalmente, los recursos materiales representan una inversión de S/ 8,320.00, destinados a la implementación de un stock de seguridad de repuestos críticos, la adquisición de herramientas y equipos de protección personal, así como suministros operativos. Cabe señalar que parte de estos recursos ya se encuentran disponibles en la empresa, por lo que el presupuesto considera únicamente la reposición y adquisición de los elementos faltantes.

En conjunto, la inversión propuesta corresponde principalmente a costos de implementación inicial, con un carácter mayoritariamente no recurrente, lo que favorece la sostenibilidad económica del sistema en el mediano y largo plazo.

6.2. Proyección de ahorros por reducción de ineficiencias

La implementación del sistema de mantenimiento propuesto —basado en la reorganización logística, la incorporación de buffers operativos y el uso de herramientas digitales— está orientada a reducir las principales ineficiencias identificadas en el diagnóstico del sistema actual.

Dicho diagnóstico evidenció una baja tasa de cumplimiento del plan de mantenimiento (menor al 30%), tiempos prolongados de atención, alta frecuencia de reprogramaciones y una limitada disponibilidad de unidades operativas. Estos factores generan pérdidas económicas asociadas a la inactividad de equipos, reprocesos y uso ineficiente de los recursos técnicos.

Para la estimación del impacto económico, se consideraron los siguientes parámetros operativos:

- Costo promedio por reprogramación: **S/ 1,200.00**
- Costo por hora de inactividad de una unidad: **S/ 200.00**

6.2.1. Sustento del cálculo de ahorros

La proyección de ahorros se basa en la mejora esperada de los indicadores operativos clave, los cuales se presentan en la Tabla 23.

Tabla 24

Comparación de indicadores operativos antes y después de la mejora

Indicador	Situación actual	Situación esperada	Variación (%)
Cumplimiento del plan de mantenimiento	<30%	70% – 75%	+40% aprox.
Tiempo medio de atención	3.5 días	2.0 días	-43%
Reprogramaciones mensuales	10	3	-70%
Disponibilidad de unidades operativas	82%	95%	+13%

Nota. Elaboración propia.

A partir de estos resultados, se estimaron los beneficios económicos asociados a la mejora del sistema, considerando un enfoque conservador que prioriza únicamente los impactos directos y medibles.

Tabla 25

Estimación de ahorros económicos anuales

Fuente de ahorro	Descripción	Impacto estimado (S/)
Reducción de reprogramaciones	Disminución de reprocesos y pérdidas operativas asociadas	2,800.00
Reducción del tiempo de atención	Menor tiempo improductivo del personal técnico	3,000.00
Incremento de disponibilidad de unidades	Mayor operatividad y reducción de inactividad	5,500.00
Mejora del cumplimiento del plan	Optimización del uso de recursos y continuidad operativa	4,200.00
Reducción del tiempo de inactividad por espera de repuestos	Disminución de pérdidas operativas asociadas a restricciones logísticas y tiempos muertos de unidades detenidas	720.00
Total estimado de ahorro anual	—	**16,220.00**

Nota. Elaboración propia.

Asimismo, se consideró el impacto económico asociado a la reducción de tiempos de inactividad ocasionados por restricciones logísticas. Para esta estimación, se tomó como referencia un promedio de 10 horas semanales de paralización relacionadas con esperas de repuestos, reprogramaciones y demoras asociadas al abastecimiento. Considerando un costo estimado de S/ 10.00 por hora-hombre improductiva y una mejora esperada del 13% en la disponibilidad de las unidades operativas, se proyecta un ahorro anual aproximado de S/ 720.00 asociado a la reducción de tiempos muertos y restricciones logísticas.

Este ahorro complementa los beneficios operativos obtenidos mediante la implementación de buffers estratégicos, validación Full Kit y mecanismos de control DBR, los cuales permiten reducir interrupciones y mejorar la continuidad del flujo de mantenimiento.

6.2.2. Interpretación de resultados

El ahorro anual estimado de S/ 16,220.00 refleja el impacto económico positivo generado por la implementación de la propuesta, principalmente debido a la reducción de reprocesos, la optimización de los tiempos de atención y el incremento en la disponibilidad de las unidades operativas.

Asimismo, la incorporación de buffers estratégicos, mecanismos de validación Full Kit y herramientas de control basadas en la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR) permite reducir interrupciones ocasionadas por restricciones logísticas, disminuyendo tiempos muertos, reprogramaciones y esperas asociadas a la falta de repuestos críticos.

De igual manera, la mejora en el cumplimiento del plan de mantenimiento contribuye a una mayor estabilidad operativa y a una mejor utilización de los recursos técnicos y logísticos disponibles, favoreciendo la continuidad del servicio y reduciendo pérdidas derivadas de la inactividad de las unidades.

En conjunto, estos resultados evidencian que la propuesta no solo mejora el desempeño técnico y operativo del sistema de mantenimiento, sino que también genera beneficios económicos tangibles, consolidando su viabilidad desde una perspectiva operativa, logística y financiera.

6.2.3. Evaluación operativa bajo enfoque TOC

Además de la evaluación económica tradicional, la propuesta fue analizada bajo el enfoque de la Teoría de Restricciones (TOC), considerando el impacto sobre el Throughput (T), el Inventario (I) y los Gastos Operativos (OE) del sistema de mantenimiento.

En términos de Throughput (T), la reducción de tiempos muertos y la mejora de disponibilidad de unidades permiten incrementar la continuidad operativa y reducir interrupciones asociadas a mantenimientos demorados por falta de repuestos críticos.

Respecto al Inventario (I), la implementación de buffers estratégicos y mecanismos de reposición preventiva permite disminuir compras urgentes y mejorar la rotación de repuestos críticos, reduciendo capital inmovilizado y pérdidas por desabastecimiento.

En relación con los Gastos Operativos (OE), la propuesta reduce tiempos improductivos, reprocesos y reprogramaciones, permitiendo una utilización más eficiente de los recursos técnicos y logísticos.

Asimismo, considerando un costo promedio de inactividad de S/ 200.00 por hora de unidad detenida, se evidencia que las demoras ocasionadas por restricciones logísticas generan pérdidas operativas significativas para la empresa. Bajo este enfoque, la reducción de tiempos de espera y reprogramaciones representa un beneficio económico directo asociado a la protección del flujo operativo mediante buffers y mecanismos DBR.

6.3. Indicadores de evaluación económica

Con el objetivo de evaluar la viabilidad financiera de la propuesta de mejora, se calcularon indicadores económicos que permiten analizar la relación entre la inversión realizada y los beneficios proyectados. Estos indicadores incluyen el Retorno sobre la Inversión (ROI), la Relación Beneficio/Costo (B/C) y el Periodo de Recuperación de la Inversión.

6.3.1. Retorno sobre la Inversión (ROI)

El Retorno sobre la Inversión (ROI) permite determinar el porcentaje de beneficio obtenido en relación con la inversión realizada. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{ROI} = \left(\frac{\text{Ahorro anual proyectado}}{\text{Inversión total}}\right) \times 100$$

Aplicando los valores obtenidos:

- Ahorro anual proyectado: **S/ 6,220.00**
- Inversión total: **S/ 22,020.00**

$$\text{ROI} = \left(\frac{16{,}220}{22{,}020}\right) \times 100 = 73.66\%$$

Este resultado indica que la empresa recuperará aproximadamente el 70.39% de la inversión en el primer año de implementación, lo que evidencia un retorno significativo en un periodo corto.

6.3.2. . Relación Beneficio/Costo (B/C)

La relación Beneficio/Costo permite evaluar la rentabilidad de la propuesta comparando los beneficios obtenidos frente a los costos de inversión.

$$\text{B/C} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}}$$

Aplicando los valores:

$$\text{B/C} = \frac{16{,}220}{22{,}020} = 0.74$$

Este valor indica que, en el primer año, por cada sol invertido se recuperan aproximadamente S/ 0.74. Sin embargo, debido a que gran parte de la inversión corresponde a costos iniciales no recurrentes y los beneficios económicos son acumulativos y recurrentes, la rentabilidad del proyecto mejora progresivamente en los años posteriores, superando la unidad en un horizonte de mediano plazo.

6.3.3. Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación permite estimar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los beneficios generados.

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Ahorro anual}}$$

$$\text{Periodo} = \frac{22{,}020}{16{,}220} = 1.36 \text{ años}$$

Esto equivale aproximadamente a 16 meses, lo que indica que la inversión será recuperada en un plazo relativamente corto.

6.3.4. Valor Actual Neto (VAN)

Para el cálculo del VAN se considera una tasa de descuento del 10% anual y un horizonte de evaluación de cinco años. El flujo de caja considera la inversión inicial en el año 0 y los ahorros proyectados de S/ 16,220.00 para cada uno de los cinco años de evaluación.

$$VAN = -22{,}020 + 16{,}220/(1 + 0.10)^1 + 16{,}220/(1 + 0.10)^2 + 16{,}220/(1 + 0.10)^3 + 16{,}220/(1 + 0.10)^4 + 16{,}220/(1 + 0.10)^5$$

$$VAN = S/\ 39{,}466.56$$

El resultado obtenido es un VAN de S/ 39,466.56. Al obtenerse un valor positivo, se evidencia que los flujos económicos proyectados, actualizados a la tasa de descuento considerada, superan la inversión inicial de la propuesta. Por tanto, bajo las condiciones establecidas para la evaluación, la propuesta genera un resultado económico favorable.

Tabla 25

Flujo de caja proyectado para el cálculo del VAN y TIR

Periodo	Inversión (S/)	Ahorro proyectado (S/)	Flujo neto (S/)
Año 0	22,020.00	0.00	-22,020.00
Año 1	0.00	16,220.00	16,220.00
Año 2	0.00	16,220.00	16,220.00
Año 3	0.00	16,220.00	16,220.00
Año 4	0.00	16,220.00	16,220.00
Año 5	0.00	16,220.00	16,220.00

Nota. Elaboración propia.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR se calculó utilizando los mismos flujos de caja considerados para el VAN, correspondientes a una inversión inicial de S/ 22,020.00 y flujos netos positivos de S/ 16,220.00 durante los años 1 al 5.

$$0 = -22{,}020 + 16{,}220/(1 + TIR)^1 + 16{,}220/(1 + TIR)^2 + 16{,}220/(1 + TIR)^3 + 16{,}220/(1 + TIR)^4 + 16{,}220/(1 + TIR)^5$$

$$TIR = 68.19\%$$

El resultado obtenido muestra una TIR de 68.19%. Al comparar este resultado con la tasa de descuento del 10% anual utilizada en la evaluación, se observa que la rentabilidad interna de la propuesta es superior a la tasa considerada. En consecuencia, bajo el horizonte de cinco años y los flujos proyectados, la propuesta presenta un resultado financieramente favorable.

Tabla 26

Resultados de la evaluación mediante VAN y TIR

Indicador	Resultado
VAN	S/ 39,466.56
TIR	68.19%

Nota. Elaboración propia.

6.3.5. Interpretación general

En conjunto, los indicadores económicos obtenidos demuestran que la propuesta presenta viabilidad financiera y operativa. Si bien durante el primer año no se recupera la totalidad de la inversión, el alto porcentaje de retorno y la naturaleza recurrente de los beneficios permiten proyectar una recuperación sostenible en el corto y mediano plazo.

Asimismo, la reducción de tiempos muertos, reprogramaciones y restricciones logísticas contribuye a mejorar la disponibilidad de las unidades operativas, fortaleciendo el flujo de mantenimiento bajo el enfoque Drum-Buffer-Rope (DBR) y generando beneficios económicos sostenidos para la empresa.

Conclusiones

Primera: Se concluyó que la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) al sistema de programación de mantenimientos permitió mitigar de manera efectiva los principales cuellos de botella operativos, especialmente en la logística de repuestos. Esta intervención posibilitó reorganizar el flujo de trabajo con base en la capacidad del recurso restrictivo, lo cual se tradujo en un incremento del cumplimiento de mantenimientos programados del 30% al 70% proyectado, una mayor disponibilidad técnica de unidades y una reducción significativa en los tiempos de espera. Todo ello se logró sin necesidad de aumentar la dotación de personal ni realizar inversiones elevadas, demostrando la viabilidad de una mejora sistémica basada en ajustes organizativos y operativos.

Segunda: El diagnóstico inicial evidenció que, a pesar de contar con una capacidad técnica instalada suficiente, el sistema de mantenimiento presentaba un bajo rendimiento debido a la ausencia de una planificación subordinada y a los retrasos generados por gestiones logísticas reactivas. Los datos históricos mostraron que menos del 30% de las órdenes programadas eran ejecutadas en el tiempo previsto, principalmente por demoras en cotizaciones, falta de insumos críticos y procesos manuales descoordinados entre áreas.

Tercera: Se determinó que la principal restricción del sistema se localizaba en la gestión logística de repuestos y materiales, debido a la inexistencia de buffers, el uso de cotizaciones puntuales y la falta de previsión en compras críticas. Esta restricción generó una acumulación constante de órdenes de trabajo sin ejecutar, tiempos muertos del personal técnico y un aumento en los costos operativos asociados a la inactividad de las unidades. La segunda restricción —la limitada disponibilidad de técnicos mecánicos— se identificó como complementaria, pero no fue el factor más determinante.

Cuarta: La propuesta de mejora diseñada bajo los principios de TOC incorporó mecanismos concretos para explotar y elevar la restricción, como la implementación de stock mínimo y de seguridad, la automatización parcial del proceso logístico, la priorización por criticidad y la creación de buffers de tiempo y materiales. Estas acciones permitieron rediseñar el proceso de mantenimiento con un enfoque de flujo continuo, eliminando interrupciones y subordinando todas las actividades al recurso crítico, lo que aumentó la eficiencia sin alterar la estructura operativa existente.

Quinta: Finalmente, se comprobó que la propuesta generó un impacto económico positivo, proyectándose un ahorro anual de S/ 16,220.00, equivalente al 73.66% de la inversión total realizada. Este resultado permitió estimar un periodo de recuperación de aproximadamente

16 meses, evidenciando que la mejora propuesta no solo es viable desde el punto de vista técnico y operativo, sino también financieramente sostenible en el mediano plazo.

Asimismo, la implementación de buffers estratégicos, validación Full Kit y mecanismos de control basados en la metodología Drum-Buffer-Rope (DBR) contribuye a reducir tiempos muertos, reprogramaciones y restricciones logísticas, fortaleciendo la continuidad operativa y mejorando la disponibilidad de las unidades. De igual manera, los beneficios indirectos asociados a la mejora de la confiabilidad del sistema, la reducción de la sobrecarga logística y el fortalecimiento del control operativo respaldan la sostenibilidad y aplicabilidad de la propuesta a largo plazo.

Recomendaciones

Primera: Se recomienda desarrollar e implementar un protocolo operativo que formalice la subordinación de las actividades del área de mantenimiento a la disponibilidad logística. Este protocolo debe establecer claramente los criterios de validación previa de materiales y repuestos antes de liberar cualquier orden de trabajo, integrando a los responsables de planificación, logística y ejecución técnica. Así se asegurará un flujo controlado y alineado al recurso restrictivo, evitando interrupciones innecesarias.

Segunda: Se sugiere implementar una herramienta digital de monitoreo en tiempo real que consolide indicadores operativos claves, como cumplimiento de mantenimiento, tiempos de atención, uso de stock y disponibilidad de unidades. Esta herramienta debe estar integrada al flujo diario de trabajo y facilitar alertas tempranas para activar acciones correctivas antes de que las desviaciones afecten el desempeño global del sistema.

Tercera: Es necesario establecer un programa estructurado de fortalecimiento del área logística, enfocado en mejorar sus competencias en compras estratégicas, manejo de proveedores críticos y control de inventarios bajo el enfoque de buffers. Este plan de desarrollo debe incluir capacitaciones técnicas, la aplicación de buenas prácticas de abastecimiento y la delegación progresiva de decisiones para reducir la dependencia jerárquica y acelerar los tiempos de respuesta.

Cuarta: Se recomienda realizar revisiones periódicas del sistema propuesto, al menos cada seis meses, para evaluar la vigencia del layout del proceso, la adecuación de los niveles de stock mínimo y de seguridad, y la efectividad de la clasificación de criticidad de los mantenimientos. Esta evaluación debe estar basada en evidencia operativa real y conducir a ajustes técnicos dinámicos que mantengan la eficiencia alcanzada.

Quinta: Finalmente, se plantea la necesidad de incorporar un módulo de análisis de retorno de inversión (ROI) dentro del sistema de gestión empresarial, que permita a la gerencia evaluar en forma continua los beneficios económicos y operativos generados por la propuesta. Este módulo debe consolidar datos sobre ahorros logrados, mejoras en productividad y reducción de tiempos inactivos, brindando un respaldo cuantitativo para decisiones futuras de inversión o expansión del sistema.

REFERENCIAS

Acuña Carbajal, L. O., & Del Castillo Vásquez, J. A. (2023). Aplicación de la teoría de restricciones para reducir los costos de los servicios de mantenimiento en SIMA S.A., Chimbote 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. https://ejemplo.url/repositorio

Ahmed, U., Carpitella, S., Certa, A., & Izquierdo, J. (2023). A feasible framework for maintenance digitalization. Processes, 11(2), 558. https://doi.org/10.3390/pr11020558

Amaral, J. N., Ding, L., Gomes, C. S., & Siu, J. S. C. (2014). Identification of performance bottlenecks.

Andrushko, A., Lobur, M., & Iwaniec, M. (2022). Predictive maintenance – a major field for the application of computer aided systems.Komp'ûternì Sistemi Proektuvannâ. Teorìâ ì Praktika. https://doi.org/10.23939/cds2022.01.049

Antunes, J., Rodrigues, J., Peças, P., & Nunes, E. (2020). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints? International Journal of Production Economics, 222, 107843. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107843

Babu, N. P., Kuakkel, J., Loucks, D. P., & Walker, W. E. (2011, April 7).Capacity Planning under Nonstationary Uncertainties. https://doi.org/10.1061/41170(400)101

Bellman, R. (1955). Bottleneck problems, functional equations and dynamic programming.Econometrica. https://doi.org/10.2307/1905582

Bokrantz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T., & Stahre, J. (2020). Smart maintenance: An empirically grounded conceptualization. International Journal of Production Economics, 223, 107534. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107534

Brittle, A., Zha, X., Kuriakose, J., Wu, D., & Kuang, Y. (2022). Buffer sizing in critical chain project management by brittle failure theory. Buildings, 12(9), 1390. https://doi.org/10.3390/buildings12091390

Catalano, T. (2020). Theory of Constraints (TOC). En Application of Project Management Principles to the Management of Pharmaceutical R&D Projects (pp. 31–49). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57527-4_3

Céspedes Gutiérrez, J. A., & Alejos Espinoza, L. J. (2024). El mantenimiento productivo total para mejorar la disponibilidad de camiones compactadores en la recolección de residuos sólidos [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/9032

Chamrada, D., & Kollmann, J. (2023). Evolution of the Theory of Constraints: A literature review. Transport and Communications, 11(2), 7–14. https://doi.org/10.26552/tac.c.2023.2.2

Chandran, V. (2024). Operational excellence: Process optimization for competitive edge. International Journal for Multidimensional Research Perspectives, 2(10), 1–10. https://doi.org/10.61877/ijmrp.v2i10.203

Charri Roy, M., & Armijos Espino, A. G. (2021). Aplicación de teoría de restricciones para reducir los costos de almacenamiento de una empresa metalmecánica – Lima, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. Universidad Señor de Sipán. https://hdl.handle.net/20.500.12802/9867

Chen, H., Luo, Y., & Miao, N. (2016).Load balance system under big data background.

Chompu-inwai, R., Diaotrakun, R., & Thaiupathump, T. (2013, July 17). Key indicators for maintenance performance measurement: The aircraft galley and associated equipment manufacturer case study.International Conference on Service Systems and Service Management. https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2013.6602603

Das, V., & Vinod, B. (2013). Workflow balancing in a manufacturing unit using Petri Nets.International Journal of Engineering Research and Technology.

Dohale, V., Ambilkar, P., & Bilolikar, V. (2021). Application of TOC strategy using simulation: Case of the Indian automobile component manufacturing firm. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bangalore, India, August 16–18, 2021. https://ieomsociety.org/proceedings/2021india/110.pdf

Epler, I. J., Sokolović, V. S., Milenkov, M. A., & Bukvić, M. (2017). Application of lean tools for improved effectiveness in maintenance of technical systems for special purposes.Eksploatacja I Niezawodnosc-Maintenance and Reliability. https://doi.org/10.17531/EIN.2017.4.16

Farzad, F. (2013). An overview of TOC – scope and limitation.The International Journal of Management.

Freeman, L. N. (2006). Theory of Constraints outlines path for improvement.Ophthalmology Times.

Gomaa, A. (2025). Achieving operational excellence in manufacturing supply chains using Lean Six Sigma: A case study approach. International Journal of Lean Six Sigma. https://doi.org/10.1108/ijlss-03-2024-0045

Gopal, G., & Pilkauskaitė, E. (2020). Implementing process innovation by integrating continuous improvement and business process re-engineering. En Handbook of Research on

Emerging Technologies for Effective Project Management (cap. 18). Edward Elgar. https://doi.org/10.4337/9781789909814.00018

Hamasha, M., Bani-Irshid, A., Mashaqbeh, S., Shwaheen, G., Qadri, L., Shbool, M., … Al-Bashir, A. (2023). Strategical selection of maintenance type under different conditions. Scientific Reports, 13, 15071. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42751-5

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2020). Metolodogía de la investigación. México D.F.: McGraw Hill.

Horovyi, V. (2024). Structure, key elements of business processes of the enterprise and their impact on the efficiency of activities. Business Inform, 12, 225–234. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-12-225-234

Hwan, H. K. (2019).Comprehensive Maintenance System.

Hyde, C. (1998). Creative employee scheduling in the health information management department.Topics in Health Information Management.

Johansson, N., Roth, E., & Reim, W. (2019). Smart and sustainable eMaintenance: Capabilities for digitalization of maintenance. Sustainability, 11(13), 3553. https://doi.org/10.3390/su11133553

Kashkanov, A., & Moskaliuk, M. (2024). Uncertainty and its impact on the formation of spare parts inventories to ensuring the efficiency of transport processes. Journal of Mechanical Engineering and Transport, 2(74). https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.74

Kihel, Y., Kihel, E., & Bouyahrouzi, E. (2022). Contribution of Maintenance 4.0 in sustainable development with an industrial case study. Sustainability, 14(17), 11090. https://doi.org/10.3390/su141711090

Kikolski, M. (2016). Identification of production bottlenecks with the use of Plant Simulation software.Economics and Management. https://doi.org/10.1515/EMJ-2016-0038

Kuo, T., Hsu, N., Li, T., & Chao, C. (2021). Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on Theory of Constraints. Journal of Manufacturing Systems, 59, 214–230. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.009

Lamprecht, R., Wurst, F., & Huber, M. (2021). Reinforcement learning based condition-oriented maintenance scheduling for flow line systems. Fraunhofer IPA y University of Stuttgart. https://arxiv.org/abs/2108.12298

Li, L., Djurdjanovic, D., & Ni, J. (2007, January 1).Maintenance Task Prioritization Using Data Driven Bottleneck Detection and Maintenance Opportunity Windows. https://doi.org/10.1115/MSEC2007-31150

Li, P., Wang, Y., Ji, H., Zhao, J., Song, G., Wu, J., & Wang, C. (2020). Operational flexibility of active distribution networks: Definition, quantified calculation and application.International Journal of Electrical Power & Energy Systems. https://doi.org/10.1016/J.IJEPES.2020.105872

Mabin, V. J., & Balderstone, S. J. (2003). The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications.International Journal of Operations & Production Management. https://doi.org/10.1108/01443570310476636

Mabin, V. J., Yee, J., Babington, S., Caldwell, V., & Moore, R. M. (2018). Using the Theory of Constraints to resolve long-standing resource and service issues in a large public hospital.Health Systems. https://doi.org/10.1080/20476965.2017.1403674

Mansir, B. E., & Schacht, N. R. (1989). Continuous Improvement Process: Principles and Practices.

Mauergauz, Y. (2016).Production Bottlenecks Models. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27523-9_3

McCleskey, J. (2020). Forty years and still evolving: The Theory of Constraints. American Journal of Management, 20(3), 39–48. https://www.na-businesspress.com/AJM/AJM20-3/6_McCleskeyFinal_Abstract.html

Mihalj, M., Corona, A. R., Andereggen, L., Urman, R. D., Luedi, M. M., & Bello, C. (2022). Managing bottlenecks in the perioperative setting: Optimizing patient care and reducing costs.Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology. https://doi.org/10.1016/j.bpa.2022.05.005

Mobley, R. K. (2002).Role of Maintenance Organization. https://doi.org/10.1016/B978-075067531-4/50003-8

Moleda, M., Małysiak-Mrozek, B., Ding, W., Sunderam, V., & Mrozek, D. (2023). From corrective to predictive maintenance—A review of maintenance approaches for the power industry. Sensors, 23(13), 5970. https://doi.org/10.3390/s23135970

Moore, W. J., & Starr, A. (2006). An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities.Computers in Industry. https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2006.02.008

Mouschoutzi, M., & Ponis, S. (2022). A comprehensive literature review on spare parts logistics management in the maritime industry. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 38(3), 173–186. https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.12.003

Navinchandran, M., Sharp, M., Brundage, M., & Sexton, T. (2021). Discovering critical KPI factors from natural language in maintenance work orders. Journal of Intelligent Manufacturing, 33(6), 1859–1877. https://doi.org/10.1007/s10845-021-01772-5

Nowicka-Skowron, M., & Stegăroiu, I. (2015).Strategies Used to Improve Industrial Companies' Production Quality. https://doi.org/10.4018/978-1-4666-6481-4.CH011

Omar, M., Ismail, Z., & Motawa, I. (2024). Application of BIM technology in facility management to complement building maintenance performance and operational information: A systematic literature review. Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 68(2), 1426–1448. https://doi.org/10.37934/araset.68.2.1426

Psarommatis, F., May, G., & Azamfirei, V. (2023). Envisioning maintenance 5.0: Insights from a systematic literature review of Industry 4.0 and a proposed framework. Journal of Manufacturing Systems, 68, 103–120. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.04.009

Reid, R. A., & Cormier, J. R. (2003). Applying the TOC TP: a case study in the service sector.Managing Service Quality. https://doi.org/10.1108/09604520310495831

Rozas, R. (2014).Intégration du retour d'expérience pour une stratégie de maintenance dynamique.

Sana, S. S. (2012). Preventive maintenance and optimal buffer inventory for products sold with warranty in an imperfect production system.International Journal of Production Research. https://doi.org/10.1080/00207543.2011.623838

Scavarda, L. F., Ceryno, P. S., Azevedo, T., & Caiado, R. (2024). A business process management lifecycle framework for continuous improvement towards operational excellence: Lessons learned from a longitudinal study in a Brazilian organisation. International Journal of Lean Six Sigma. https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2023-0218

Shankar, L., Singh, C., & Singh, R. (2021). Impact of implementation of CMMS for enhancing the performance of manufacturing industries. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 14, 1599–1620. https://doi.org/10.1007/s13198-021-01480-6

Siha, S. M. (1999). A Classified Model for Applying the Theory of Constraints to Service Organizations.Managing Service Quality. https://doi.org/10.1108/09604529910273201

Şimşit, Z. T., Günay, N. S., & Vayvay, O. (2014). Theory of Constraints: A Literature Review.Procedia - Social and Behavioral Sciences. https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2014.09.104

Singh, H., & Shrivastava, R. (2017). Overall Analysis and Evaluation of the Kanban Implementation at Kirloskar Brothers Limited, Dewas.International Journal of Engineering and Management Research.

Smith, R., & Mobley, R. K. (2008).Preventive Maintenance Program. https://doi.org/10.1016/B978-075067862-9.50004-6

Srinivasan, R., Anbanandam, R., & Chinnasamy, P. (2024). How important is the Theory of Constraints to supply chain management? Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 186, 103525. https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103525

Tapia-Ubeda, F., Miranda, P., Roda, I., Macchi, M., & Durán, O. (2020). Modelling and solving spare parts supply chain network design problems. International Journal of Production Research, 58(16), 5299–5319. https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1720924

Teixeira, C., Lopes, I., & Figueiredo, M. (2024). Spare parts stock management: Classification and policy assignment. FME Transactions, 52(2), 257–264. https://doi.org/10.5937/fme2402257T

Telles, E., Silva, S., Carvalho, M., & Ladeira, M. (2022). Drum-Buffer-Rope in an engineering-to-order productive system: A case study. Journal of Manufacturing Technology Management, 33(6), 1190–1209. https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2021-0420

Theory of Constraints Institute. (2018). Five focusing steps: A process of ongoing improvement (POOGI). https://www.tocinstitute.org/five-focusing-steps.html

Todorović, I., Jovanović, M., Krivokapić, J., Milković, D., Lučanin, V., & Tanasković, J. (2024). Digital transition of the maintenance process: Case of a rail transport company. En Green and Digital Transition – Challenge or Opportunity. University of Maribor Press. https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2024.71

Valdivia Vargas, L. A. (2023). Diseño de un programa de gestión de mantenimiento basado en Lean Maintenance para mejorar el rendimiento de neumáticos de la empresa Neuma Perú S.A.C. en la región de Arequipa – 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Universidad Católica de Santa María. https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/78da7491-dcf0-4c78-9954-12228a2dc956/content

Verhagen, E., & Gabbett, T. J. (2019). Load, capacity and health: critical pieces of the holistic performance puzzle.British Journal of Sports Medicine. https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2018-099819

Wang, C., Vo, T., Hsu, H., Chung, Y., Nguyen, N., & Nhieu, N. (2024). Improving processing efficiency through workflow process reengineering, simulation and value stream mapping: A case study of business process reengineering. Business Process Management Journal, 30(7), 2482–2515. https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2023-0869

Wang, Z., Li, H., Zhang, S., & Wang, L. (2020). Buffer sizing in critical chain project management by network decomposition. Computers & Operations Research, 123, 105040. https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105040

Wanjin, Z., Guoliang, Y., Wuyang, Y., & Bingyang, L. (2015).Method and device for determining TOC content.

Wu, J., Zhang, G., & Liu, Y. (2024). A hybrid approach for dynamic project buffer monitoring. Kybernetes. https://doi.org/10.1108/K-02-2024-0340

Yanase, T. (2008). *Maintenance operation support program, maintenance operation support method and maintenance operation support device*.

Zhang, C., Shan, Z., & Liu, F. (2018, January 13).Modeling and Optimization of Personnel Allocation for Equipment System Maintenance and Support. https://doi.org/10.1145/3180374.3181359

Zhang, J., & Wan, D. (2021). Determination of early warning time window for bottleneck resource buffer. Annals of Operations Research, 300(1), 289–305. https://doi.org/10.1007/s10479-021-03960-1

Zhang, S., Huang, K., & Yuan, Y. (2021). Spare parts inventory management: A literature review. Sustainability, 13(5), 2460. https://doi.org/10.3390/su13052460

ANEXOS

ANEXO 1: Detalle de recursos materiales

Detalle del Stock de seguridad

Ítem	Repuesto crítico	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
1	Filtros hidráulicos	Unidad	2	350.00	700.00
2	Filtros de aceite	Unidad	2	300.00	600.00
3	Correas industriales	Unidad	2	250.00	500.00
4	Sensores eléctricos	Unidad	2	400.00	800.00
5	Rodamientos	Unidad	2	450.00	900.00
Total stock de seguridad			**10**		**3,500.00**

Detalle de 1 lote de EPPs

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
1	Casco de seguridad industrial	Unidad	6	80.00	480.00
2	Guantes de seguridad industrial	Par	6	60.00	360.00
3	Lentes de protección	Unidad	6	50.00	300.00
4	Botines de seguridad	Par	6	180.00	1,080.00
5	Chaleco reflectivo	Unidad	6	40.00	240.00
Total lote EPP					**2,460.00**

Detalle de 1 lote de herramientas

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
1	Juego de llaves combinadas	Juego	1	250.00	250.00
2	Llave ajustable	Unidad	2	90.00	180.00
3	Multímetro digital	Unidad	1	300.00	300.00
4	Juego de destornilladores	Juego	1	220.00	220.00
5	Linterna industrial recargable	Unidad	2	105.00	210.00
Total herramientas					**1,160.00**

Detalle del paquete para oficina

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
1	Carpetas A4	Unidad	20	5.00	100.00
2	Archivadores de palanca	Unidad	10	10.00	100.00
3	Resmas de papel bond A4	Unidad	5	35.00	175.00
4	Tóner / tinta para impresora	Unidad	2	100.00	200.00
5	Lapiceros	Unidad	25	1.00	25.00
Subtotal oficina					**600.00**

Detalle del paquete para la señalización

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo total (S/)
1	Señales de seguridad industrial	Unidad	15	10.00	150.00
2	Etiquetas codificadas para repuestos	Unidad	200	0.75	150.00
3	Cintas de señalización	Rollo	4	25.00	100.00
4	Letreros para zonas de almacén	Unidad	10	20.00	200.00
Subtotal señalización					**600.00**