

Diseño e implementación de un plan integral de mantenimiento asistido por software para maquinaria amarilla crítica en HERMAQUINAS SAS con el fin de optimizar indicadores de disponibilidad y mantenibilidad en operaciones de campo y locales.

Julián Camilo Ordoñez Fernández y Andrés Felipe Mayorga Ariza

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Directora

Paula Andrea Cuervo Velásquez

PhD. Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2026

Tabla de contenido

Introducción	11
1. Objetivos.....	13
1.1 General.....	13
1.2 Específicos	13
2. Marco teórico	14
2.1 Tipos de Mantenimiento	14
2.1.1 Mantenimiento Preventivo.....	14
2.1.2 Mantenimiento Correctivo.....	14
2.1.3 Mantenimiento Predictivo.....	15
2.2 Maquinaria Amarilla (Retroexcavadoras).....	15
2.3 Mantenimiento Asistido por Software (CMMS).....	15
2.4 KPIs.....	16
2.4.1 Disponibilidad.....	16
2.4.2 Mantenibilidad	17
2.4.3 Tasa de falla	17
2.5 Generalidades de la empresa.....	18
2.5.1 Reseña histórica	18
2.5.2 Misión	19
2.5.3 Visión	20
2.5.4 Estructura organizacional.....	20
2.5.5 Distribución física de la empresa.....	20
2.5.6 Gestión del mantenimiento	21

PLAN DE MANTENIMIENTO HERMAQUINAS S.A.S.	3
2.6 Norma ISO 14224	22
3. Metodología	23
3.1 Diagnóstico y Selección de Maquinaria Crítica.....	24
3.2 Diseño del Plan de Mantenimiento	25
3.3 Estructuración del Plan de Mantenimiento	26
3.3.1 Definición de estrategias de mantenimiento	26
3.3.2 Elaboración de rutinas de mantenimiento.....	27
3.3.3 Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs)	27
3.3.4 Asignación de responsabilidades	28
3.4 Implementación del Software CMMS	28
3.5 Capacitación del Personal	29
4. Desarrollo del Plan Integral de Mantenimiento asistido por software para maquinaria amarilla crítica en HERMAQUINAS S.A.S.....	30
4.1 Diagnóstico de la maquinaria crítica.....	31
4.2 Diseño del plan de mantenimiento.....	37
4.2.1 Estado del mantenimiento de la empresa.....	38
4.2.2 Formatos existentes en la empresa.....	39
4.3 Listado de Mantenimiento Preventivo para Excavadoras Komatsu (Basado en PC200-6 y Similares)	42
4.4 Cambio de computador del taller	44
4.5 Formato inspección preoperacional	45
4.6 Recuperación de filtros acumulados en el taller	46
6.7 Taxonomía y elementos desaprovechados	48

4.8 Implementación aplicación en la empresa	50
4.8.1 Diseño aplicación CMMS Hermaquinas	51
4.9 Manuales.....	59
4.9.1 Manual del software.....	61
4.9.2 Manual de operación y mantenimiento.....	63
4.10 capacitación del personal de la empresa	67
4.11 Costos asociados a la transición del mantenimiento correctivo al preventivo.....	72
5. Conclusiones.....	77
6. Referencias Bibliográficas	81

Lista de Figuras

Figura 1 Logo de la empresa.....	18
Figura 2 Sede San Gil.	19
Figura 3 Maquinaria.....	24
Figura 4 Alquileres en el año 2024	33
Figura 5 Total de días de alquiler	33
Figura 6 Informe de Mantenimiento obsoleto	40
Figura 7 formato de registro y análisis de falla.....	41
Figura 8 Continuación formato registro de falla.....	42
Figura 9 Obsolescencia tecnológica de hardware	44
Figura 10 Computador nuevo.	45
Figura 11 Inspección preoperacional	46
Figura 12 Filtros en stock.....	47
Figura 13 Taxonomía de la empresa	49
Figura 14 Manual de operación y mantenimiento	50
Figura 15 Diagrama UML CMMS.....	52
Figura 16 Código fuente apartado ordenes mantenimiento	53
Figura 17 Base aplicación.....	54
Figura 18 Gráficos aplicación.....	55
Figura 19 Base Ordenes de mantenimiento	56
Figura 20 Apartado inventario	57
Figura 21 Mantenimiento programado	58
Figura 22 Inventario maquinas	59

Figura 23 Manual aplicación.....	61
Figura 24 Menú manual CMMS	62
Figura 25 Manual de operación y mantenimiento	64
Figura 26 Menú manual Komatsu.....	66
Figura 27 Inicio Capacitación	67
Figura 28 Capacitación presencial y virtual.....	68
Figura 29 Uso del CMMS.....	69
Figura 30 Encuesta de CMMS.....	70
Figura 31 Participantes encuesta.....	71
Figura 32 Respuesta pregunta encuesta	71

Lista de tablas

Tabla 1 Maquinaria presentada por la empresa.....	32
Tabla 2 Rentabilidad en el año 2024.	35
Tabla 3 Ponderación para rentabilidad.	35
Tabla 4 Ponderación para la demanda.	36
Tabla 5 Matriz de criticidad de maquinaria.....	37
Tabla 6 Tareas de mantenimiento.....	43
Tabla 7 Listado de filtros.....	48
Tabla 8 Inversión inicial.....	74
Tabla 9 Costos de sostenimiento.....	76

Lista de Apéndices

Los apéndices se encuentran disponibles en el Repositorio Institucional

Apéndice A. Tareas de mantenimiento programado

Apéndice B. Funcionamiento del CMMS

Apéndice C. Diagrama del funcionamiento CMMS

Apéndice D. Información menú CMMS

Apéndice E. Código fuente apartado orden de mantenimiento

Apéndice F. Apartado tipos de mantenimiento

Apéndice G. Apartado inventario

Apéndice H. Apartado inventario (continuación)

Apéndice I. Apartado alertas de inventario

Apéndice J. Movimientos inventario

Apéndice K. Preoperatorios máquina

Apéndice L. Código para estadística específica en el Dashboard

Apéndice M. Código apartado de inventario

Apéndice N. Manual entregado del CMMS

Resumen

Título: Diseño e Implementación de un Plan Integral de Mantenimiento Asistido por Software para Maquinaria amarilla Crítica en HERMAQUINAS SAS con el fin de Optimizar indicadores de Disponibilidad y Mantenibilidad en Operaciones de Campo y Locales.*

Autores: Andrés Felipe Mayorga Ariza, Julián Camilo Ordoñez Fernández.**

Palabras clave: Plan integral de mantenimiento, maquinaria amarilla, sistema CMMS, indicadores clave de desempeño (KPI)

Descripción: Este proyecto tiene como objetivo el diseño e implementación de un Plan Integral de Mantenimiento asistido por software para la maquinaria amarilla crítica de la empresa HERMAQUINAS S.A.S., buscando optimizar los indicadores de disponibilidad y mantenibilidad. Se realizó un análisis de criticidad que permitió seleccionar como caso de estudio la excavadora hidráulica Komatsu PC200, se identificaron deficiencias en la gestión del mantenimiento, principalmente asociadas a la falta de estandarización de procesos y al bajo aprovechamiento de recursos existentes. En este sentido, el plan de mantenimiento propuesto se orientó a integrar y estructurar manuales, formatos y lineamientos técnicos ya disponibles en la empresa. El desarrollo del plan incluyó la definición de tareas de mantenimiento preventivo, la estructuración de la taxonomía del equipo conforme a la norma ISO 14224 y la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CMMS) para la planificación y control de las órdenes de trabajo. Asimismo, se establecieron indicadores clave de desempeño (KPIs), tales como disponibilidad, mantenibilidad y tasa de falla, y se desarrolló un proceso de capacitación dirigido al personal técnico y operativo para garantizar la correcta adopción del sistema. Los resultados evidencian una mejora en la organización del mantenimiento, el uso de la información disponible y la trazabilidad de las intervenciones, contribuyendo a la optimización de los indicadores definidos y a la replicabilidad del modelo en otros equipos de la empresa.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Directora: Paula Andrea Cuervo Velázquez. PhD. Ingeniería

Abstract

Title: Design and Implementation of a Complete Software-Assisted Maintenance Plan for Critical Heavy Equipment at HERMAQUINAS SAS to Optimize Availability and Maintainability Metrics in Field and On-Site Operations.*

Authors: Andrés Felipe Mayorga Ariza, Julián Camilo Ordoñez Fernández.**

Key words: Complete maintenance plan, heavy equipment, CMMS system, key performance indicators (KPIs).

Description: The objective of this project is to design and implement a complete software-assisted maintenance plan for the critical heavy equipment of HERMAQUINAS S.A.S., with the aim of optimizing availability and maintainability metrics. A criticality analysis was conducted, which led to the selection of the Komatsu PC200 hydraulic excavator as a case study. Deficiencies in maintenance management were identified, primarily associated with a lack of process standardization and underutilization of existing resources. In this regard, the proposed maintenance plan focused on integrating and structuring manuals, forms, and technical guidelines already available within the company. The development of the plan included defining preventive maintenance tasks, structuring the equipment taxonomy in accordance with ISO 14224, and implementing a computer-aided maintenance management system (CMMS) for the planning and control of work orders. In addition, key performance indicators (KPIs) such as availability, maintainability, and failure rate were established, and a training process was developed for technical and operational staff to ensure the system's proper adoption. The results demonstrate improvements in maintenance organization, the use of available information, and the traceability of maintenance tasks, contributing to the optimization of the defined indicators and the replicability of the model across other teams within the company.

* Thesis.

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Paula Andrea Cuervo Velázquez. PhD. Engineering.

Introducción

Durante el semestre 2024-02, en la asignatura de Ingeniería de Mantenimiento, se tuvo la oportunidad de realizar una pasantía de 60 horas en la empresa HERMAQUINAS SAS, una compañía con más de 15 años de experiencia en el sector de la construcción y el alquiler de maquinaria pesada. Durante la pasantía, se observó que la empresa ha implementado diversas prácticas de mantenimiento para garantizar la disponibilidad operativa de su flota cuando se requiera para algún trabajo. No obstante, se identificaron deficiencias en la planificación y ejecución del mantenimiento, lo que ha generado problemas recurrentes, como averías inesperadas en campo y retrasos en los proyectos debido a la falta de disponibilidad de la maquinaria para la prestación de los servicios.

Se identificó que uno de los principales desafíos es la ausencia de un Plan Integral de Mantenimiento estructurado y documentado, lo que impacta negativamente en la eficiencia operativa. Actualmente, la empresa depende principalmente de estrategias correctivas no programadas y, en menor medida, de acciones preventivas no estandarizadas, lo que dificulta la optimización de recursos y la reducción de tiempos de inactividad. Esta falta de planificación y la deficiente gestión del mantenimiento han provocado paradas inesperadas en las máquinas críticas y elevadas tasas de falla. En muchos casos, estos fallos ocurren poco después de realizar el mantenimiento, incluso en los lugares de trabajo a los que fueron trasladadas las máquinas. Esto no solo afecta la rentabilidad de las operaciones, sino que también perjudica la percepción de confiabilidad de la empresa ante sus clientes. Otro factor que se evidenció, que requiere atención y se considera crítico, es la falta de capacitación del personal técnico en el uso de nuevas herramientas y metodologías de mantenimiento.

Esta práctica profesional se realizará para mitigar estos problemas de disponibilidad de las máquinas, dado que se ha encontrado luego de las pasantías, malas prácticas de mantenimiento o ausencia de estas, se evidenció la necesidad de implementar un Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento (CMMS, por sus siglas en inglés Computerized Maintenance Management System).que permitirá mejorar el rastreo del historial de equipos, la programación de mantenimientos y la toma de decisiones acertada basada en datos; optimizando así, los indicadores de disponibilidad y mantenibilidad de la maquinaria amarilla en operaciones de campo y locales.

Por último, la implementación de un software de mantenimiento por sí sola no es suficiente. Es fundamental diseñar e implementar un Plan Integral de Mantenimiento, asistido por software, para los equipos críticos de HERMAQUINAS SAS. Esto permitirá estructurar de manera eficiente las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y/o predictivo, facilitando un control preciso de los mantenimientos requeridos. Como resultado, se reducirán los costos asociados a fallas imprevistas y se mejorará la confiabilidad de la flota.

1. Objetivos

1.1 General

- Diseñar e implementar Plan Integral de Mantenimiento asistido por software enfocado en maquinaria AMARILLA crítica en HERMAQUINAS SAS para trabajo en campo y local, con el fin de actualizar y optimizar la gestión de mantenibilidad mejorando los indicadores de disponibilidad.

1.2 Específicos

Identificar y seleccionar la maquinaria crítica mediante un diagnóstico basado en la demanda y la rentabilidad, con el propósito de establecer criterios claros para el diseño del plan de mantenimiento a realizar tanto en campo como en las instalaciones de la empresa.

Diseñar un plan de mantenimiento estructurado para maquinaria crítica que contemple indicadores como eficiencia, ordenes de trabajo (OT), programación, rutinas, responsables asignados, entre otras especificaciones con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento.

Implementar el plan de mantenimiento con una gestión Asistida por Software (CMMS), utilizando indicadores KPIs que permitan rastrear el historial de equipos, tasa de fallas, además de planificar intervenciones, enviar OT y analizar la disponibilidad de la flota.

Realizar plan de Capacitación del Personal con el fin de garantizar una adecuada implementación del plan de mantenimiento y el uso eficiente de las herramientas de Mantenimiento Asistido por Software (CMMS), mejorando la mantenibilidad en las operaciones tanto en campo como en instalaciones locales.

2. Marco teórico

El mantenimiento de maquinaria pesada es crucial para la optimización de las operaciones en el sector de la construcción. La maquinaria amarilla, como las retroexcavadoras, constituye un pilar fundamental en las actividades de construcción, movimientos de tierra y otros trabajos industriales. La implementación de un Plan Integral de Mantenimiento (PIM) adecuado es esencial para garantizar la disponibilidad y la eficiencia operativa de estos equipos. Ahora bien, con el fin de dar mejor entendimiento es importante abordar que tipos de mantenimiento se pueden ver en este tipo de operación:

2.1 Tipos de Mantenimiento

El mantenimiento de equipos pesados, como las retroexcavadoras, se clasifica principalmente en tres tipos: mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

2.1.1 Mantenimiento Preventivo

Consiste en intervenciones programadas para evitar fallas antes de que ocurran. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la revisión periódica de los componentes de las máquinas, como el sistema hidráulico, el motor y las estructuras. Su objetivo es minimizar el tiempo de inactividad y evitar paradas inesperadas (Accelix, & eMaint, 2025).

2.1.2 Mantenimiento Correctivo

Se realiza cuando la maquinaria presenta fallas o averías, generalmente debido al desgaste o mal funcionamiento de componentes clave. Aunque es menos deseable que el preventivo, es común en flotas que no tienen un plan estructurado de mantenimiento (Order, 2024).

2.1.3 Mantenimiento Predictivo

Utiliza tecnologías como sensores, monitoreo en tiempo real y análisis de datos para predecir fallas antes de que ocurran. Este tipo de mantenimiento permite programar intervenciones cuando el equipo comienza a mostrar signos de deterioro (Iberdrola, 2021).

2.2 Maquinaria Amarilla (Retroexcavadoras)

Las retroexcavadoras son equipos versátiles utilizados en diversas aplicaciones de construcción, desde la excavación de terrenos hasta la manipulación de materiales pesados. Estos equipos se componen de una pala frontal y una excavadora trasera, lo que les permite realizar una amplia gama de trabajos (Liu et al., 2019). En el contexto de HERMAQUINAS SAS, las retroexcavadoras son parte crítica de la flota, y su mantenimiento adecuado es fundamental para garantizar la rentabilidad de los proyectos.

Las retroexcavadoras operan en condiciones difíciles, donde la fiabilidad es esencial. Por ello, mantener su operatividad a través de un plan integral de mantenimiento es crucial para evitar fallas costosas que puedan impactar la productividad y la rentabilidad de los proyectos.

2.3 Mantenimiento Asistido por Software (CMMS)

La gestión del mantenimiento asistido por software (CMMS) es una herramienta moderna que permite la gestión eficiente del mantenimiento de equipos. Un CMMS proporciona un sistema para planificar, monitorear y analizar las intervenciones de mantenimiento, reduciendo tiempos de inactividad no programados y mejorando la eficiencia operativa. En el caso de HERMAQUINAS SAS, implementar un CMMS puede facilitar el rastreo de los históricos de mantenimiento, la

programación de intervenciones y la gestión de inventarios, lo cual optimiza los costos asociados al mantenimiento de la maquinaria amarilla crítica (Prisma, 2024).

El uso de CMMS también mejora la toma de decisiones al proporcionar datos precisos sobre las tasas de fallas, la eficiencia de los procesos de mantenimiento y la disponibilidad de la maquinaria. La integración de indicadores clave de rendimiento (KPIs) es fundamental para medir el éxito de las intervenciones y para planificar las próximas acciones de manera más efectiva (CMMS, s.f).

2.4 KPIs

Los indicadores clave de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés *Key Performance Indicators*) son métricas cuantificables utilizadas para evaluar la eficiencia y efectividad de los procesos organizacionales en función de objetivos previamente establecidos. En el contexto del mantenimiento industrial, estos indicadores permiten medir el desempeño de los activos, facilitando el monitoreo de variables críticas como la disponibilidad, la mantenibilidad y la confiabilidad, y apoyando la toma de decisiones orientadas a la mejora continua de la gestión del mantenimiento (Parmenter, 2015; Wireman, 2004).

2.4.1 Disponibilidad

La disponibilidad se define como la proporción de tiempo en la que un sistema o equipo se encuentra en condiciones operativas respecto al tiempo total considerado. Este indicador permite evaluar la capacidad del activo para cumplir su función cuando es requerido, siendo uno de los parámetros más importantes en la gestión del mantenimiento (Ebeling, 2010; Smith, 2011).

En términos operativos, la disponibilidad puede calcularse a partir de la relación entre el tiempo total y el tiempo de falla del equipo, tal como se muestra a continuación:

$$A = \frac{T_{total} - T_{falla}}{T_{total}} \times 100 \quad \dots (1)$$

donde T_{total} corresponde al tiempo total de operación considerado y T_{falla} representa el tiempo en el cual el equipo se encuentra fuera de servicio debido a fallas. Esta formulación permite expresar la disponibilidad en términos porcentuales, facilitando su interpretación en contextos industriales.

2.4.2 Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de que un sistema o equipo pueda ser restaurado a condiciones operativas dentro de un tiempo determinado, bajo condiciones específicas de operación y mantenimiento. Este indicador refleja la eficiencia de las actividades de mantenimiento y la capacidad de respuesta ante fallas (Blanchard, 2004; Ebeling, 2010).

Un parámetro ampliamente utilizado para evaluar la mantenibilidad es el tiempo medio de reparación (*Mean Time To Repair*, MTTR), el cual se calcula como:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}} \quad \dots (2)$$

Este indicador permite cuantificar el tiempo promedio requerido para la recuperación de un equipo tras la ocurrencia de una falla.

2.4.3 Tasa de falla

La tasa de falla es un indicador que expresa la frecuencia con la que ocurren fallas en un sistema durante un intervalo de tiempo determinado, constituyendo un parámetro fundamental en

el análisis de confiabilidad. Este indicador permite evaluar el comportamiento del equipo y su propensión a fallar a lo largo del tiempo (Ebeling, 2010; O'Connor & Kleyner, 2012).

Matemáticamente, la tasa de falla se define como:

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo total de operación}} \quad (3)$$

Asimismo, existe una relación inversa entre la tasa de falla y el tiempo medio entre fallas (*Mean Time Between Failures*, MTBF), lo que permite establecer análisis complementarios del desempeño del sistema.

2.5 Generalidades de la empresa

2.5.1 Reseña histórica

Figura 1

Logo de la empresa.



Construcciones y Servicios HERMAQUINAS S.A.S. (Figura 1) es una empresa colombiana con más de 25 años en la industria, especializada en el alquiler de maquinaria pesada y la ejecución de obras civiles. Fundada en 1995, la compañía ha centrado su modelo de negocio en proveer servicios de alta calidad principalmente al sector petrolero, consolidándose como un proveedor confiable y estratégico para la industria. Su portafolio de servicios incluye una diversa

flota de equipos como excavadoras, motoniveladoras y camiones (volqueta, camión de transporte para maquinaria), además de la capacidad para desarrollar proyectos de construcción (obra civil).

Figura 2

Sede San Gil.



Con una presencia estratégica a nivel nacional gracias a sus sedes en Santander (Figura 2) Meta y Sucre, HERMAQUINAS S.A.S garantiza una amplia cobertura y una respuesta eficaz a las necesidades del mercado. A lo largo de su historia, ha construido una sólida reputación, lo que le ha permitido trabajar con importantes clientes multinacionales como Schlumberger, Baker Hughes y Weatherford. Su propuesta de valor se fundamenta en la efectividad, la calidad en sus operaciones y la satisfacción del cliente, respaldada por personal calificado y una vasta experiencia en el sector.

2.5.2 Misión

Prestar servicios en las actividades de alquiler de maquinaria retroexcavadora y vehículos pesados de transporte de carga en el sector petrolero y civil, orientados a la satisfacción de los clientes, garantizando efectividad y calidad en todas las operaciones

2.5.3 Visión

Ser en el 2025 una empresa líder a nivel nacional en la prestación de servicios de alquiler de equipos y construcción de obras civiles en el sector petrolero, brindando a nuestros clientes soluciones integrales e innovadoras que nos permitan un crecimiento continuo y sostenible en el mercado.

2.5.4 Estructura organizacional

La empresa está encabezada por una Junta de Socios y un Gerente General que supervisa directamente a un Subgerente y a una Contadora. A su vez, la Subgerencia coordina las áreas clave de la empresa: Administración, HSEQ y Recursos Humanos, Taller y Operaciones. Finalmente, se encuentra el personal operativo y de apoyo, como auxiliares, conductores y operadores, quienes reportan a sus respectivos jefes de área, asegurando una clara línea de mando y especialización de funciones.

2.5.5 Distribución física de la empresa

La Sede Principal de la compañía se encuentra ubicada en el departamento de Santander, sobre la vía que conecta San Gil con Socorro. Esta instalación funciona como el centro operativo de la empresa, desde donde se coordinan las operaciones y se establece la dirección administrativa general.

En los Llanos Orientales, HERMAQUINAS S.A.S tiene una presencia fundamental con su sede operativa en Puerto Gaitán, Meta. Esta ubicación es crucial, ya que se encuentra en el corazón

de la actividad petrolera de Colombia, permitiéndole ofrecer una respuesta rápida y eficiente a las demandas de maquinaria y servicios de las grandes empresas que operan en esta importante región.

Para asegurar su cobertura en la Costa Caribe, la empresa cuenta con una sede en San Marcos, Sucre. Esta base operativa le permite movilizar sus recursos en el norte del país, atendiendo proyectos en una zona con relevante actividad en el sector de hidrocarburos y garantizando así su alcance a nivel nacional.

2.5.6 Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento en HERMAQUINAS S.A.S se articula como un sistema proactivo y estructurado, liderado por un jefe de Taller que centraliza la planificación y supervisión de todas las intervenciones. Esta estrategia es fundamental para asegurar la máxima disponibilidad y confiabilidad de su flota en el exigente sector petrolero. La empresa aplica un enfoque combinado que incluye mantenimiento preventivo a través de servicios programados para evitar fallas, mantenimiento correctivo para solucionar averías de forma ágil y, muy probablemente, técnicas de mantenimiento predictivo mediante diagnósticos para anticipar problemas antes de que ocurran.

HERMAQUINAS SAS ha demostrado un compromiso significativo con el mantenimiento de su flota, implementando prácticas preventivas y correctivas que buscan garantizar la disponibilidad de sus equipos. Sin embargo, se han identificado desafíos en la planificación y ejecución del mantenimiento. Un ejemplo recurrente es la falta de un plan de mantenimiento estructurado y documentado, lo que resulta en problemas operativos. En algunos casos, las máquinas llegan al lugar de trabajo y se averían a los pocos minutos, generando retrasos y costos adicionales al tener que reemplazarlas rápidamente. Así mismo la gestión para ejecutar un

mantenimiento preventivo no es clara, pues muchas veces al necesitar hacer un mantenimiento de este estilo no cuentan con stock de filtros y repuestos necesarios.

2.6 Norma ISO 14224

La norma ISO 14224 “Recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos” establece directrices para la recopilación, validación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento. Su objetivo es asegurar que la información relacionada con fallas, modos de falla, causas y acciones de mantenimiento sea registrada de forma estandarizada, facilitando su análisis, comparación y aprovechamiento en la toma de decisiones (British Standards Institution, 2016). De este modo, se mejora la calidad de los datos y su utilidad para optimizar la gestión del mantenimiento.

Asimismo, la norma define una taxonomía estructurada de los equipos, organizándolos en niveles jerárquicos como sistemas, subsistemas y componentes. Esta descomposición permite un análisis más detallado del comportamiento de los activos, facilitando la identificación de patrones de falla y el cálculo de indicadores de desempeño. En este contexto, su aplicación resulta fundamental para metodologías como el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y la gestión de activos físicos, ya que proporciona una base sólida y coherente para el análisis técnico (British Standards Institution, 2016).

Finalmente, la implementación de la ISO 14224 favorece la integración de la información en sistemas de gestión de mantenimiento asistido por software (CMMS) y otras herramientas digitales, al establecer un lenguaje común para la gestión de datos. Esto promueve una cultura organizacional orientada a la toma de decisiones basada en evidencia, contribuyendo a mejorar la

confiabilidad, disponibilidad y eficiencia operativa de los equipos a lo largo de su ciclo de vida (British Standards Institution, 2016).

3. Metodología

El presente proyecto se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, ya que buscaba solucionar una problemática real identificada en la empresa HERMAQUINAS S.A.S., relacionada con la ausencia de un plan estructurado de mantenimiento para su flota de maquinaria amarilla.

El estudio presenta un carácter descriptivo y propositivo, debido a que inicialmente se realizó un diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento en la empresa, analizando información operativa, registros de fallas y condiciones de uso de los equipos. A partir de este diagnóstico se diseñó una propuesta de mejora basada en la estructuración de un plan integral de mantenimiento asistido por software.

Metodológicamente, el proyecto se desarrolló como un estudio de caso aplicado en la empresa HERMAQUINAS S.A.S., donde se analizaron las condiciones reales de operación de la maquinaria, los procesos de mantenimiento existentes y las necesidades de gestión técnica de los equipos.

El desarrollo del proyecto se estructuró en cinco fases principales: diagnóstico y selección de maquinaria crítica, diseño del plan de mantenimiento, estructuración de las rutinas y estrategias de mantenimiento, implementación de un sistema computarizado de gestión del mantenimiento (CMMS) y capacitación del personal involucrado en la gestión del mantenimiento.

La metodología empleada no solo permitió diagnosticar la situación actual de la empresa, sino también diseñar e implementar una solución aplicable en un entorno real, validando su

funcionamiento en condiciones operativas. Esto garantiza que los resultados obtenidos no se limitan a un enfoque teórico, sino que representan una mejora tangible en la gestión del mantenimiento de la organización.

3.1 Diagnóstico y Selección de Maquinaria Crítica

Con el fin de identificar la maquinaria crítica sobre la cual se desarrollaría el plan integral de mantenimiento, se realizó un diagnóstico técnico de la flota de equipos de HERMAQUINAS S.A.S. Este diagnóstico se basó en el análisis de información operativa, histórica y económica suministrada por la empresa.

Inicialmente se recopiló información relacionada con el inventario de maquinaria, registros de fallas, historial de mantenimiento y datos de operación de los equipos. A partir de esta información se realizó una preselección de las máquinas con mayor número de fallas reportadas, considerando además la experiencia del personal del taller y los registros operativos más recientes.

Figura 3

Maquinaria.



Posteriormente se definieron dos criterios principales para el análisis de criticidad: la demanda operativa de los equipos (Figura 3) y su rentabilidad dentro de la empresa. El criterio de

demanda se evaluó a partir de los registros históricos de alquiler de maquinaria, considerando el número de días que cada equipo estuvo en operación durante el periodo de estudio. Por su parte, la rentabilidad se estimó mediante el análisis de los ingresos generados por cada máquina en función de su tarifa de alquiler y el tiempo de utilización, así como los costos operativos asociados.

Con base en estos criterios se establecieron rangos de clasificación que permitieron categorizar cada equipo según su nivel de demanda y rentabilidad. Posteriormente, se construyó una matriz de criticidad, en la cual se ubicaron los equipos evaluados con el fin de identificar aquellos con mayor impacto operativo y económico para la empresa. Este análisis permitió determinar la maquinaria prioritaria sobre la cual se desarrollaría el plan integral de mantenimiento.

3.2 Diseño del Plan de Mantenimiento

Una vez identificada la maquinaria crítica mediante el análisis de criticidad, se procedió al diseño del plan integral de mantenimiento para el equipo seleccionado. Esta etapa tuvo como propósito estructurar de manera técnica las actividades de mantenimiento requeridas para mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del equipo.

Inicialmente se realizó una revisión de la información técnica disponible, incluyendo manuales de operación y mantenimiento del fabricante, manuales de taller, registros históricos de mantenimiento y formatos utilizados por la empresa para el control de intervenciones. Esta revisión permitió identificar las prácticas actuales de mantenimiento y las principales debilidades en la planificación y ejecución de las actividades.

Posteriormente, se desarrolló la taxonomía del equipo conforme a la norma ISO 14224, con el fin de organizar de manera estructurada la información de mantenimiento del activo. Esta taxonomía permitió clasificar el equipo en diferentes niveles jerárquicos, tales como sistema,

subsistema y componentes, facilitando la identificación de los elementos críticos del equipo y la estructuración de las actividades de mantenimiento.

A partir de esta organización del activo y de la información técnica del fabricante, se establecieron las bases para la definición de las tareas de mantenimiento preventivo, las frecuencias de intervención y los recursos necesarios para la ejecución de las actividades. Este proceso permitió estructurar la información necesaria para la posterior construcción de las rutinas de mantenimiento y su integración dentro del sistema de gestión de mantenimiento asistido por software (CMMS).

3.3 Estructuración del Plan de Mantenimiento

Con base en la taxonomía del equipo establecida según la norma ISO 14224 y en la información técnica recopilada durante el diagnóstico, se procedió a estructurar el plan de mantenimiento para la maquinaria crítica seleccionada. Esta etapa tuvo como objetivo organizar de manera sistemática las actividades de mantenimiento necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del equipo, mejorar su disponibilidad operativa y reducir la probabilidad de fallas inesperadas.

Para la estructuración del plan se tomó como referencia la información contenida en los manuales de operación y mantenimiento del fabricante, así como los registros de fallas y experiencias operativas del personal técnico de la empresa. A partir de esta información se definieron las estrategias de mantenimiento, las rutinas de intervención, los indicadores de seguimiento y las responsabilidades del personal encargado de ejecutar las actividades.

3.3.1 Definición de estrategias de mantenimiento

En esta fase se definieron las estrategias de mantenimiento que serían aplicadas al equipo crítico, considerando las condiciones de operación de la maquinaria y las recomendaciones del

fabricante. Para ello se contemplaron tres tipos principales de mantenimiento: el mantenimiento preventivo, orientado a la realización de inspecciones y tareas programadas con el fin de evitar fallas inesperadas; el mantenimiento predictivo, enfocado en el monitoreo del estado de los equipos mediante el análisis de variables de operación y registros históricos; y el mantenimiento correctivo, aplicado en los casos en que se requiere la reparación o sustitución de componentes tras la detección de una falla.

3.3.2 Elaboración de rutinas de mantenimiento

Posteriormente se diseñaron las rutinas de mantenimiento para el equipo seleccionado, estableciendo las actividades técnicas necesarias para conservar su operatividad. Estas rutinas se estructuraron considerando los intervalos de servicio recomendados por el fabricante y las condiciones de operación de la maquinaria en campo. Para cada intervención se definieron los procedimientos técnicos, la frecuencia de mantenimiento basada en horas de operación y los recursos requeridos para su ejecución, tales como herramientas, repuestos y personal técnico.

3.3.3 Establecimiento de indicadores clave de rendimiento (KPIs)

Con el fin de evaluar la eficiencia del plan de mantenimiento, se establecieron indicadores clave de desempeño (KPIs) orientados al seguimiento y control de las actividades de mantenimiento. Entre los indicadores considerados se encuentran el número y cumplimiento de órdenes de trabajo (OT), los tiempos de intervención, la disponibilidad operativa de los equipos y los costos asociados al mantenimiento por activo. Estos indicadores permiten medir el desempeño del sistema de mantenimiento y apoyar la toma de decisiones dentro de la gestión técnica de la empresa.

3.3.4 Asignación de responsabilidades

Finalmente, se definieron las responsabilidades del personal encargado de ejecutar y supervisar las actividades de mantenimiento. Para ello, se establecieron roles específicos dentro del proceso de mantenimiento, considerando las funciones del jefe de taller, los técnicos de mantenimiento y el personal operativo involucrado en la gestión de los equipos. Esta asignación de responsabilidades busca garantizar una adecuada planificación, ejecución y seguimiento de las actividades establecidas en el plan de mantenimiento.

3.4 Implementación del Software CMMS

Con el fin de optimizar la gestión del mantenimiento en la empresa, se implementó un Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento (CMMS, por sus siglas en inglés Computerized Maintenance Management System), orientado a digitalizar y centralizar la información relacionada con la maquinaria y las actividades de mantenimiento.

La implementación del sistema se planteó como una estrategia para apoyar la transición de la empresa desde un modelo de mantenimiento predominantemente correctivo o reactivo, hacia un enfoque más estructurado basado en mantenimiento preventivo planificado y gestión computarizada del mantenimiento. Este cambio corresponde a una evolución en los niveles de madurez del mantenimiento, pasando de un esquema inicial centrado en la reparación de fallas hacia un sistema organizado de planificación, control y análisis de las intervenciones.

Para ello, el proceso de implementación contempló la definición de los requerimientos funcionales del sistema, incluyendo la gestión de órdenes de trabajo (OT), el registro del historial de mantenimiento de los equipos, la programación de actividades preventivas y el control de inventarios de repuestos. Asimismo, se integró al sistema la taxonomía de activos definida según

la norma ISO 14224, lo que permitió estructurar la información de los equipos y facilitar su gestión dentro del software.

Adicionalmente, el sistema fue configurado para permitir el registro y seguimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs) relacionados con la gestión del mantenimiento, tales como la tasa de fallas, el cumplimiento de mantenimientos programados y la disponibilidad de los equipos. De esta manera, el CMMS se constituye como una herramienta que permite mejorar la planificación, el control y la toma de decisiones en el proceso de mantenimiento de la empresa.

3.5 Capacitación del Personal

Con el fin de garantizar la correcta implementación del plan integral de mantenimiento y el uso adecuado del sistema de gestión de mantenimiento asistido por software (CMMS), se desarrolló un proceso de capacitación dirigido al personal técnico involucrado en las actividades de mantenimiento de la empresa.

Durante esta etapa se diseñaron materiales de apoyo y guías de uso orientadas al manejo del sistema, con el propósito de facilitar la comprensión de las herramientas digitales implementadas y estandarizar el proceso de registro de información dentro del sistema de mantenimiento. Asimismo, se realizó una sesión de capacitación en la que se explicó el funcionamiento del CMMS, el proceso de generación y gestión de órdenes de trabajo (OT), la programación de actividades de mantenimiento preventivo y el registro de intervenciones realizadas en los equipos.

Adicionalmente, se orientó al personal en la importancia del registro adecuado de la información técnica dentro del sistema, destacando su relevancia para el seguimiento del historial de los equipos, el análisis de fallas y la medición de indicadores clave de desempeño del mantenimiento. De esta manera, el proceso de capacitación se planteó como una herramienta para

facilitar la adopción del nuevo sistema de gestión de mantenimiento y fortalecer las prácticas de mantenimiento dentro de la empresa

4. Desarrollo del Plan Integral de Mantenimiento asistido por software para maquinaria amarilla crítica en HERMAQUINAS S.A.S.

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología planteada en el capítulo anterior para el diseño e implementación de un Plan Integral de Mantenimiento asistido por software en la empresa HERMAQUINAS S.A.S. El desarrollo de este proceso permitió analizar la situación actual de la gestión de mantenimiento de la empresa, identificar la maquinaria crítica dentro de la flota y estructurar un sistema organizado de mantenimiento orientado a mejorar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos utilizados en operaciones de campo y en las instalaciones de la empresa.

El capítulo se encuentra organizado en varias secciones. En primer lugar, se presentó el diagnóstico de la maquinaria de la empresa y el proceso de identificación de la maquinaria crítica mediante el análisis de demanda y rentabilidad. Posteriormente, se describe el diseño del plan de mantenimiento, incluyendo el análisis del estado actual de la gestión de mantenimiento, la estructuración de las rutinas de mantenimiento y la utilización de información técnica proveniente de manuales de fabricante. Finalmente, se expusieron las mejoras implementadas en la gestión del mantenimiento, incluyendo la organización de inventarios, la digitalización de formatos y la implementación del sistema de gestión de mantenimiento asistido por software (CMMS).

4.1 Diagnóstico de la maquinaria crítica

Para dar inicio al diseño del plan de mantenimiento, se realizó un diagnóstico preliminar de la maquinaria de la empresa HERMAQUINAS S.A.S., con el fin de identificar cuál de los equipos debía considerarse prioritario para la implementación del plan. Para ello, se establecieron junto con la empresa, dos criterios principales de selección de criticidad, estos fueron, la demanda operativa y la rentabilidad de cada equipo. Como paso inicial, la empresa efectuó una preselección de tres máquinas de la flota, tomando en cuenta la frecuencia y gravedad de las fallas reportadas en los ciclos operativos más recientes. Posteriormente, se consolidó la información correspondiente a estos criterios, la cual se presenta en la Tabla 1. En esta tabla se incluyen las tres máquinas preseleccionadas, Hitachi Zaxis 200, Hitachi Zaxis 120 y Komatsu PC200, así como la ubicación a la que fueron enviadas más recientemente, el responsable a cargo, y el número de fallas registradas en el mes. Las fallas consideradas más graves o críticas dentro de la empresa se encuentran resaltadas con color rojo.

Tabla 1*Maquinaria presentada por la empresa.*

Equipo	Ubicación	Responsable	Falla presentada	Tasa de falla (falla/ mes)
Komatsu pc200	Cerca al taller Berlin	Roberto Prado	falla en sistema hidráulico	3
			Daño en sistema de válvulas (crítico)	
Hitachi ex200-1 sencilla	Chitaga	Roberto Prado	Falla bomba hidráulica (crítico)	5
			Cambio de turbo	
			Calentamiento de sistema hidráulico	
			Cambio de tubos de banda	
Hitachi ex120	CC San Gil plaza	Juan Alonso	Cambio cabina y vidrios	4
			Sincronización de válvulas	
			Sobrecalentamiento motor	
			Falla en motor de traslación	
			Fuga en cilindro gemelos	
			Fugas de aceite	

En cuanto al criterio de demanda, se elaboró una gráfica con base en la información de alquiler correspondiente al año 2024 suministrada por la empresa. En esta se detalla el mes en el que se hizo el alquiler, la maquinaria arrendada y la duración del alquiler expresada en días (ver Figura 4). A partir de estos datos, se realizó la sumatoria del tiempo total que cada máquina estuvo en operación durante el periodo de estudio. El análisis de esta información evidencia que la Komatsu PC200 registra el mayor número de días en campo, lo que indica que, en términos de demanda operativa, es la máquina más solicitada y, por ende, la más crítica de las tres consideradas (Figura 5).

Figura 4

Alquileres en el año 2024

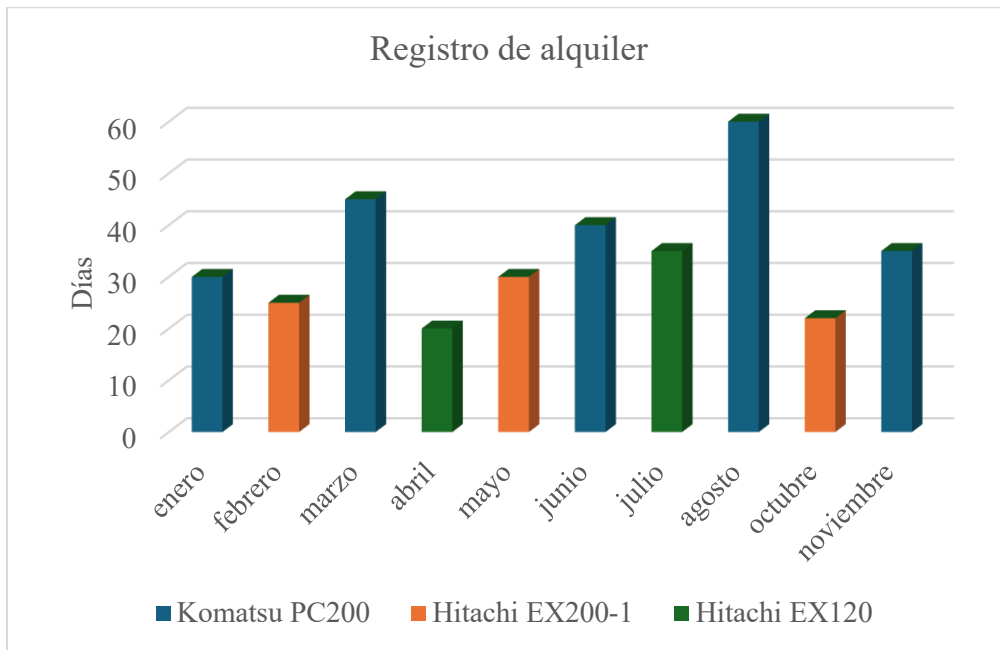
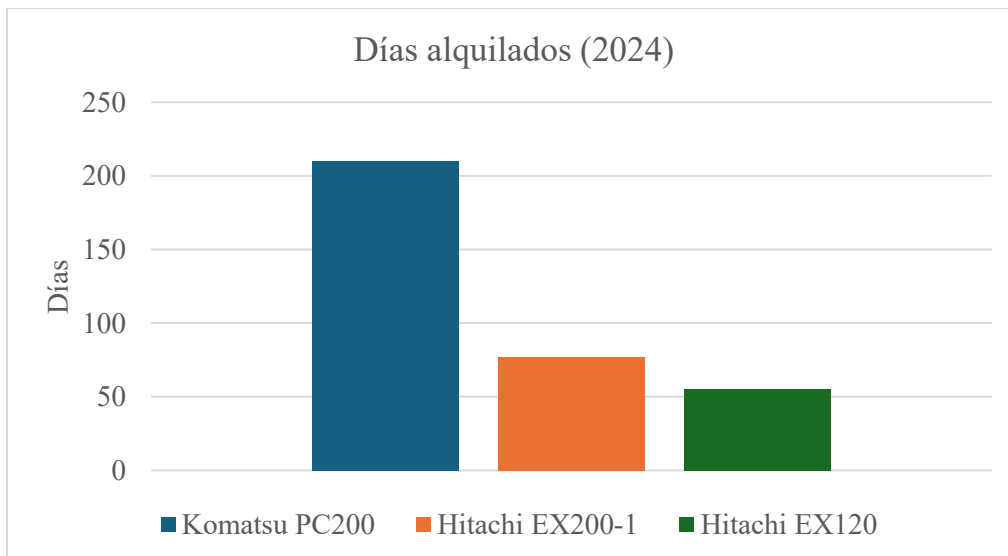


Figura 5

Total de días de alquiler



Ahora bien, Para calcular la rentabilidad, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Rentabilidad = Ingresos Totales - Costos operativos anuales \dots (4)$$

Donde:

- **Ingresos Totales:** Se calcula multiplicando los días alquilados por una tarifa diaria de alquiler.
- **Costos Operativos Anuales:** representa una estimación anual que incluye mantenimiento preventivo y correctivo, combustible, y otros gastos. Basándose en el primer análisis, la Komatsu PC200 tendrá un costo alto debido a sus clases de falla que ha tenido como lo es el banco de válvulas.

Para el cálculo de los ingresos, se revisó el historial de alquileres suministrado por la empresa y se consideró la tarifa de alquiler por hora que se cobra para cada máquina. La empresa establece una jornada promedio de 8 horas de operación diaria, de lunes a viernes. Con base en esta información, se estimaron los ingresos brutos diarios para cada equipo de la siguiente manera:

- ***Komatsu PC200:*** $180.000 \text{ COP/hora} \times 8 \text{ horas} = 1.440.000 \text{ COP por día}$
- ***Hitachi EX200-1:*** $180.000 \text{ COP/hora} \times 8 \text{ horas} = 1.440.000 \text{ COP por día}$
- ***Hitachi EX120:*** $145.000 \text{ COP/hora} \times 8 \text{ horas} = 1.160.000 \text{ COP por día}$

A continuación, se presenta la Tabla 2. de rentabilidad correspondiente a las tres máquinas analizadas para el año 2024, en la cual se incluyen los días de alquiler registrados, la tarifa diaria

de operación, los ingresos totales generados, los costos operativos anuales estimados y la rentabilidad neta obtenida para cada equipo.

Tabla 2

Rentabilidad en el año 2024.

Concepto	Komatsu PC200	Hitachi EX200-1	Hitachi EX120
Días alquilados	210	77	55
Tarifa diaria (cop)	\$ 1.440.000	\$ 1.440.000	\$ 1.160.000
Ingresos totales	\$ 302.400.000	\$ 110.880.000	\$ 63.800.000
Costos operativos anuales (cop)	-\$ 115.000.000	-\$ 50.000.000	-\$ 30.000.000
Rentabilidad neta	\$ 187.400.000	\$ 60.880.000	\$ 33.800.000

Con el fin de ubicar cada máquina en la matriz de criticidad, se definió, junto con la gerencia de la empresa, cuáles serían los rangos de clasificación para los criterios de rentabilidad neta (Tabla 3) y demanda (Tabla 4). Estos rangos permiten asignar a cada máquina una categoría de bajo, medio o alto según el valor que presente en cada criterio, lo que facilita su posterior ubicación dentro de la matriz de criticidad y la determinación de su nivel de prioridad.

Tabla 3

Ponderación para rentabilidad.

Ponderación rentabilidad neta			
Rango	0-40M	40M-80M	>80M
Peso	Bajo	Medio	Alto

Tabla 4*Ponderación para la demanda.*

Ponderación demanda anual			
Rango	0-10	10-30	>30
Peso	Bajo	Medio	Alto

Con los valores obtenidos para los criterios de demanda y rentabilidad, se construyó la matriz de criticidad (Tabla 5), bajo criterios y políticas de la empresa. En esta matriz se ubican las tres máquinas evaluadas en función de los rangos previamente definidos, de manera que se puede visualizar su posición relativa en términos de prioridad. Los colores representan los niveles de criticidad, siendo el rojo el de mayor prioridad de atención. Como se observa, la Komatsu PC200 es la única máquina que se encuentra en el área de mayor criticidad para ambos criterios, lo que indica que presenta la mayor relevancia tanto por su alta utilización como por el impacto económico que genera. En consecuencia, esta máquina fue seleccionada como la máquina crítica sobre la cual se desarrollará el plan de mantenimiento propuesto en este proyecto.

Tabla 5

Matriz de criticidad de maquinaria

Demanda (días)							Rentabilidad (millones de pesos)
10	20	30	40	50	60		
		Komatsu PC200	Komatsu PC200	Komatsu PC200		>80	
Hitachi EX200-1		Hitachi EX200-1			40-80		
Hitachi EX120		Hitachi EX120			0-40		

A partir del análisis realizado se pudo identificar el comportamiento operativo y económico de las máquinas evaluadas, lo que permitió determinar el equipo con mayor impacto dentro de las operaciones de la empresa. Este diagnóstico constituye la base para el diseño del plan integral de mantenimiento que se desarrolla en las siguientes secciones.

4.2 Diseño del plan de mantenimiento

En este capítulo se desarrolló el diseño del Plan Integral de Mantenimiento para la maquinaria amarilla crítica de HERMAQUINAS SAS, como parte del proceso de fortalecimiento técnico y operativo de la gestión del mantenimiento en la organización.

El propósito de esta sección es evaluar el estado actual de las prácticas de mantenimiento a partir de la información y documentación suministrada por la empresa —tales como formatos, registros, manuales y rutinas de trabajo—, con el fin de identificar las principales carencias en materia de planificación, ejecución y control. A partir de este análisis, se planteó un rediseño estructurado que permita normalizar las tareas, establecer frecuencias técnicas, definir

responsabilidades y preparar los formatos necesarios para su futura implementación en un sistema de gestión asistida por software (CMMS).

El capítulo se encuentra organizado de manera que, en primer lugar, se describe la situación actual del mantenimiento en la empresa, evidenciando los procedimientos existentes y su nivel de aplicación. Posteriormente, se definieron los lineamientos técnicos y normativos que sustentan el nuevo diseño, basados en la información de los manuales de operación y taller, así como en la norma internacional ISO 14224. Finalmente, se presenta la estructura del plan, los formatos normalizados, y la correspondencia con los módulos del software de gestión, estableciendo así las bases para la implementación del sistema de mantenimiento integral de HERMAQUINAS SAS.

4.2.1 Estado del mantenimiento de la empresa

Antes de plantear el diseño del plan integral de mantenimiento, fue necesario analizar el estado actual de la gestión de mantenimiento en la empresa HERMAQUINAS S.A.S. Este análisis permitió identificar las prácticas existentes, los procedimientos utilizados por el personal técnico y las herramientas disponibles para el registro y control de las intervenciones realizadas en la maquinaria.

Para ello, se revisaron los formatos de mantenimiento empleados por la empresa, los registros de fallas, los manuales técnicos de los equipos y los procedimientos operativos utilizados en el taller. Este diagnóstico permitió evidenciar diferentes oportunidades de mejora relacionadas con la planificación de las actividades de mantenimiento, el seguimiento de las intervenciones realizadas y la gestión de la información técnica de los equipos.

A partir de este análisis se identificaron los principales aspectos que requieren fortalecimiento dentro del sistema de mantenimiento de la empresa, lo cual sirvió como base para

la estructuración del nuevo plan integral de mantenimiento y su posterior implementación mediante un sistema de gestión de mantenimiento asistido por software (CMMS).

4.2.2 Formatos existentes en la empresa

Este es el formato que usaba la empresa (ver Figura 6), actualmente no se tiene un uso continuo, este es el síntoma más claro de que el sistema de gestión está desactualizado. La solución real no es mejorar el documento, sino dar el salto a un sistema digital que centralice la información y capture detalles cruciales que hoy se pierden, como las causas de las fallas o los costos reales de cada reparación. Este es el primer paso para implementar un software de gestión de mantenimiento (CMMS) que transforme por completo el área, permitiendo analizar de forma automática qué tan confiables son los equipos (MTBF) o qué tan eficientes son las reparaciones (MTTR). De esta manera, el mantenimiento dejaría de ser un simple registro de gastos para convertirse en una herramienta estratégica que optimiza la disponibilidad de la flota y mejora la rentabilidad de la empresa.

Este análisis concluye que el diagnóstico real de la gestión de mantenimiento es deficiente, no por una ausencia de herramientas, sino por la aplicación de estas. Como se evidenciará en el siguiente capítulo, existe una desconexión crítica entre la estrategia documentada y la ejecución real, pues la empresa posee formatos y manuales de mantenimiento que, en la práctica, permanecen sin utilizarse, sin embargo, requieren de una gran actualización para la aplicación de toda la maquinaria amarilla que se maneja.


El uso de este formato permitió recolectar información importante para identificar causas raíz, modos de falla repetitivos y tiempos de inactividad, lo que ayudó a calcular indicadores como el tiempo fuera de servicio y el tiempo medio entre fallas (MTBF). Así, este formato es esencial para el diseño del software de mantenimiento propuesto, definiendo la estructura de datos y flujos de información que se digitalizarán y se integrarán al sistema, mejorando la gestión del mantenimiento en HERMAQUINAS S. A. S.

Figura 7

formato de registro y análisis de falla

HERMAQUINAS S.A.S

FORMATO DE REGISTRO Y ANÁLISIS DE FALLA DE MAQUINARIA



**CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS
HERMAQUINAS**

1. DATOS GENERALES
Fecha y hora del fallo:
Equipo:
Ubicación / Obra:
Operador en turno:
Horas de trabajo acumuladas:
Registrado por:

2. DESCRIPCIÓN DEL FALLO
Sistema afectado: Motor Hidráulico Eléctrico Transmisión Estructural Otro:
Modo de falla (qué ocurrió):

Sintomas observados antes de la falla:

Condiciones de operación al momento: (Ej: excavando, transporte, ralenti, etc.)

Figura 8*Continuación formato registro de falla.*Impacto en la operación: Detuvo el equipo Redujo rendimiento Otro:Nivel de criticidad: Alta Media Baja**3. ACCIONES INMEDIATAS**Equipo detenido: Sí NoReportado al supervisor: Sí No

Aislamiento de la falla (bloqueo, aviso, etc.): _____

Observaciones iniciales del operador o técnico: _____

4.3 Listado de Mantenimiento Preventivo para Excavadoras Komatsu (Basado en PC200-6 y Similares)

Como parte de los resultados, se diseñó una tabla la cual abarca los mantenimientos preventivos enfocado en la excavadora Komatsu PC200-6. El objetivo es ofrecer una guía clara y directa para mantener el equipo funcionando de manera eficiente y segura, alargando su vida útil. Seguir este programa es clave para evitar paradas inesperadas y reparaciones costosas. La siguiente tabla (Ver Tabla 6) muestra algunas de las tareas de mantenimiento y la frecuencia con que deben realizarse, basadas en las horas de uso, la tabla completa puede encontrarse en **Anexo A**.

Tabla 6*Tareas de mantenimiento*

Frecuencia	Tareas de Mantenimiento
Cada 250 horas (Realizarse junto a las tareas cada 100 horas)	Revisar nivel de aceite de la caja de mandos finales.
	Revisar estado de baterías.
	Cambiar aceite del cárter del motor.
	Sustituir cartucho del filtro de aceite del motor.
	Lubricar el círculo de giro (2 puntos).
	Revisar y ajustar tensión de la correa del ventilador.
	Revisar y ajustar tensión de la correa del A/C (si aplica).

Este programa preventivo se ejecutó bajo un enfoque acumulativo: cuando el equipo alcanza un intervalo mayor (p. ej., 500 h), se realizan simultáneamente las actividades correspondientes a 100 h y 250 h. Esta estrategia reduce el número de eventos de parada programada en un horizonte de operación dado, al consolidar intervenciones que de otra forma se ejecutarían en momentos separados. Esta consolidación disminuye el tiempo total de indisponibilidad asociado a paradas repetitivas, principalmente por reducción de tiempos no productivos (alistamiento, desplazamiento de herramientas, apertura/cierre, verificación y puesta en marcha), que tienden a repetirse en cada intervención aun cuando las tareas técnicas sean diferentes.

4.4 Cambio de computador del taller

Se identificó que la infraestructura de hardware existente representaba un obstáculo crítico para la implementación de la nueva aplicación. Por ello se le propone a la empresa una actualización completa de los componentes con el fin de lograr una buena adaptación de la aplicación a la empresa, en la figura 9 se puede observar el equipo obsoleto con el que contaba la empresa, pudiéndose observar en la figura 10 el equipo nuevo con el que fue reemplazado.

Figura 9

Obsolescencia tecnológica de hardware



La obsolescencia tecnológica de los equipos de cómputo impedía la ejecución eficiente de los entornos de desarrollo integrados (IDEs) como se aprecia en la Figura 9 y las herramientas de emulación contemporáneas, las cuales poseen una alta demanda de recursos computacionales, especialmente en CPU y memoria RAM. Esta insuficiencia de hardware generaba cuellos de botella operativos, provocando retrasos significativos en los procesos de compilación y

depuración, lo que impactaba negativamente en la productividad del equipo y comprometía el cronograma del proyecto. Por consiguiente, se sustentó ante la dirección la necesidad de una actualización de hardware, demostrando que el costo de oportunidad asociado a la baja eficiencia y los retrasos superaba la inversión requerida, justificando así la adquisición de nuevos equipos para garantizar un entorno de desarrollo óptimo (ver figura 10).

Figura 10

Computador nuevo.




4.5 Formato inspección preoperacional

El formato de inspección preoperacional de HERMAQUINAS (figura 11) es una herramienta con un gran potencial preventivo, pero su eficacia se ve anulada por su soporte físico y la poca especificidad a la hora de registrar las fallas. La propuesta de mejora se centra en su transformación digital, pasando de ser un simple checklist a un sistema de reporte de fallas activo e instantáneo. Al implementar un formulario digital con lógica condicional y notificaciones

automáticas, y al integrarlo a largo plazo con un sistema CMMS, la empresa puede cerrar el ciclo de comunicación entre operación y mantenimiento.

Figura 11

Inspección preoperacional

		INSPECCION PREOPERACIONAL RETROEXCAVADORA SOBRE LLANTAS		VIGENTE DESDE: 07/05/2021											
		HSEQ PR02 F22	VERSIÓN 6	PAGINA 1 de 1											
SEMANA DEL <u> </u> DIA / MES / AÑO AL <u> </u> DIA / MES / AÑO		MARCA <u> </u>		MODELO <u> </u>		SERIE <u> </u>									
OPERADOR <u> </u>		UBICACIÓN <u> </u>		PROYECTO <u> </u>											
ITEM	CONCEPTO	LUNES		MARTES		MIERC.		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
		B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
LUCES	De trabajo delanteras (altas y bajas)														
	De trabajo traseras														
	Direccionales delanteras														
	Direccionales traseras														
	De Stop y señal trasera														
CABINA	Protección antivuelco (ROPS) certificada														
	Cinturón de seguridad														
	Extintor de incendio 10 POS														
	Asiento en buen estado (dispositivo de giro)														
	Vidrio panorámico en buen estado														
	* Indicadores (hidráulicos, refrigerantes, horometro, corriente, aceite motor)														
	Tubo de escape (Exhosto)														
	Alarma de retroceso-Pito														
	Espejos														
	Escaleras y apoyos de acceso														
	Palancas y pedales en buen estado														
Batería y cables															
ESTADO MECÁNICO	* Control de fugas hidráulicas														
	Kit ambiental														
	Estado pasadores (bastidor, desgarrador)														
	Estado pasadores (brazo, balde)														
	* Gatos estabilizadores														
	Mecanismo de giro (Brazo excavador)														
	* Función Hidráulica en buen estado (mangueras)														
	* Freno de servicio														
	* Mando de estacionamiento (freno de emergencia)														
	Estado general desgarrador (balde)														
	Mandos de levante del brazo														
* Cilindros en buen estado															

4.6 Recuperación de filtros acumulados en el taller

Como parte de las actividades de mejora en la gestión del almacén, se detectó una acumulación de filtros nuevos en condición de abandono (figura 12) dentro de la bodega del taller. Se llevó a cabo un proceso de saneamiento del área, organizando físicamente los repuestos y generando un inventario actualizado y digitalizado de estas existencias. Esta acción correctiva

permitió visibilizar recursos que la empresa desconocía tener disponibles, facilitando su asignación inmediata a la flota de maquinaria y optimizando el flujo de caja al reducir la necesidad de compras externas para referencias que ya se encontraban en stock.

Figura 12

Filtros en stock.



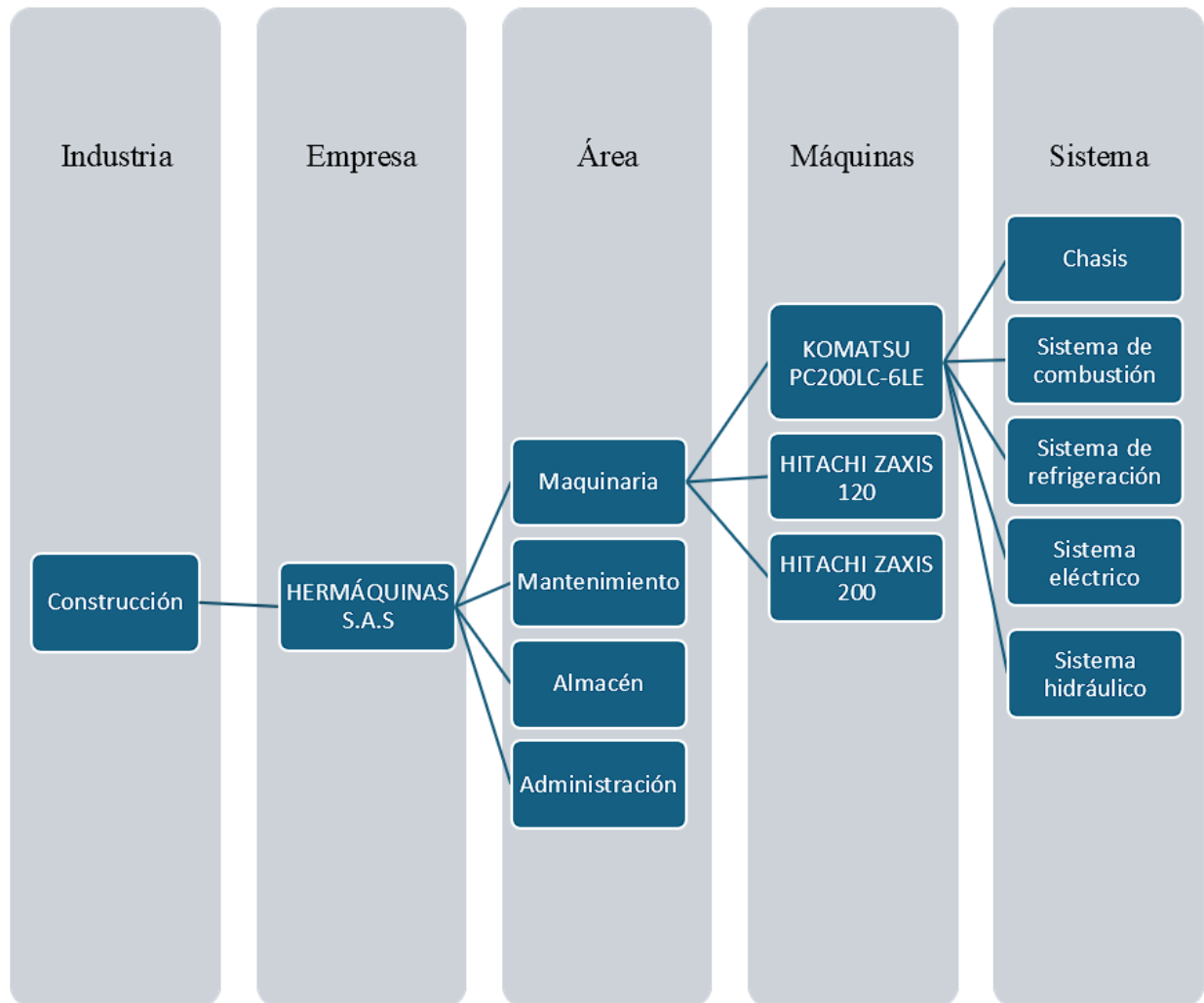
Así mismo se presenta el listado de filtros encontrados en la tabla 7, estos filtros serán agregados al CMMS a diseñar con el fin de que se les de uso a los filtros y no pierdan su vida útil.

Tabla 7*Listado de filtros*

Marca	Referencia	Cantidad
Baldwin	BF719	2
	BF330	1
	BT217	2
	BT351	4
	BF5810	1
	BF954	2
	BF957	1
	BF7648	1
	BF1280	1
	BT287-10	1
Donaldson	p552564	3
	p551324	1
	p550410	1
	p551381	1
	p556915	1
	p554073	1
	p550255	1
Fleetguard	FS19547	1
	FS1000	1
	FS280	1
	LF3854	1
	LF3883	1
HITACHI	4630525	1
JAF	J321012	2
Powel	Pc3612A	1
SAKURA	FC-1010	1

6.7 Taxonomía y elementos desaprovechados

Se elaboró la taxonomía de los activos de la empresa con el propósito de estructurar y clasificar la maquinaria crítica dentro del plan de mantenimiento. Para este caso, la taxonomía se aplicó específicamente a la máquina seleccionada, estableciendo una jerarquía que parte desde la industria de la construcción, continúa con la empresa HERMÁQUINAS S.A.S, y posteriormente desciende a las diferentes áreas operativas involucradas. A partir de allí, se identifican las máquinas objeto de análisis, para finalmente desagregar el activo hasta el nivel de sistema, donde se encuentran las partes mantenibles, tales como el chasis, el sistema de combustión, el sistema de refrigeración y el sistema eléctrico, tal como se muestra en la figura 13.

Figura 13*Taxonomía de la empresa*

Para el diseño del plan de mantenimiento se hará uso de recursos técnicos que la empresa no había estado aprovechando, como el manual de taller y el manual de operación y mantenimiento (Figura 14) del fabricante Komatsu. El primero incluye diagramas de causa raíz, los que facilitarán el diagnóstico de fallas de la máquina, permitiendo agilizar la asignación de tareas de mantenimiento. Por su parte, el manual de operación y mantenimiento proporciona información clave como los intervalos de servicio, las tareas específicas para cada componente y las tablas de

selección de lubricantes, aspectos fundamentales para estructurar las rutinas preventivas y correctivas. En pocas palabras, el manual de taller facilitará la labor a la hora de hacer mantenimiento correctivo y el manual de operación será útil para programar el mantenimiento preventivo.

Figura 14

Manual de operación y mantenimiento



4.8 Implementación aplicación en la empresa

Este apartado describe cómo se implementó el sistema CMMS para HERMAQUINAS S.A.S. El sistema se diseñó siguiendo la norma ISO 14224. Su objetivo es poner en práctica el plan de mantenimiento. Para ello, centraliza las órdenes de trabajo. También automatiza el cálculo de indicadores clave. Estos indicadores son la disponibilidad y la mantenibilidad de la maquinaria.

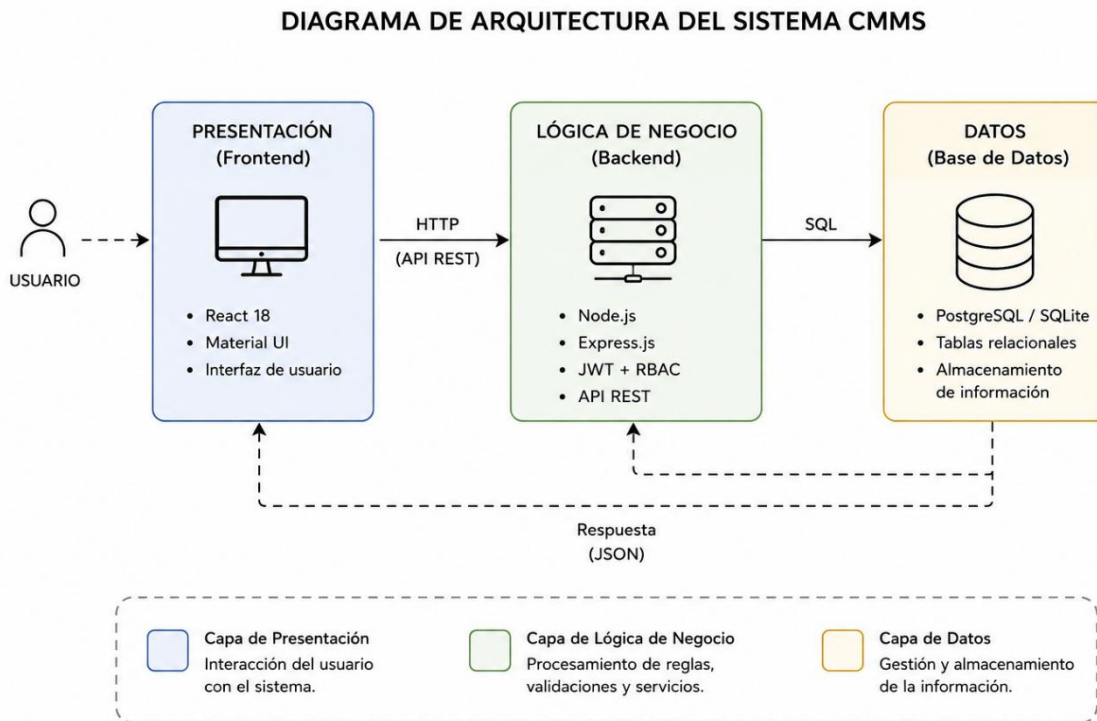
4.8.1 Diseño aplicación CMMS Hermaquinas

Luego de establecer la estructura del Plan Integral de Mantenimiento y de definir la taxonomía de los activos en estricto cumplimiento de la norma ISO 14224, se inició la fase de implementación del sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System). Para este propósito, se contrató a un desarrollador de software para la creación técnica de la herramienta, basándose en los requerimientos funcionales definidos por el equipo del proyecto. En este sentido, la participación del grupo investigador se centró en la definición de las necesidades operativas, los criterios de parametrización, la estructura jerárquica de los activos y los lineamientos técnicos requeridos para digitalizar, centralizar y automatizar los procesos de mantenimiento de la flota

El objetivo central de esta fase fue garantizar que la arquitectura del software representara con precisión las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo establecidas. El sistema cuenta con 15 módulos funcionales, destacando el módulo de 'Taxonomía' para la clasificación jerárquica de los componentes y el módulo de 'Inventario', que permite el control de repuestos e insumos (como los filtros recuperados en el taller), vinculándolos directamente a las intervenciones mecánicas. Se utilizó la excavadora Komatsu PC200 como equipo piloto para validar la plataforma, comprobando la parametrización de rutinas y frecuencias a través del módulo de 'Horas de Máquina', estableciendo así un modelo escalable para incorporar gradualmente el resto de la maquinaria de la compañía.

Figura 15

Diagrama UML CMMS



La aplicación fue desarrollada bajo una arquitectura web full-stack utilizando principalmente el lenguaje de programación JavaScript, como se puede apreciar en la figura 15, se utilizaron 3 aspectos para la creación del CMMS y estos son:

-Frontend: se implementó React 18 junto con Vite, tecnologías encargadas de construir la interfaz gráfica, navegación y componentes visuales del sistema.

-Backend: se utilizó Node.js y Express.js para el desarrollo de la API REST, permitiendo el procesamiento de datos, autenticación de usuarios, control de roles y comunicación con la base de datos.

-*Gestor de base de datos*: se empleó PostgreSQL 15, encargado de almacenar toda la información relacionada con usuarios, maquinaria, órdenes de mantenimiento, inventario y reportes del sistema.

Además, se implementaron mecanismos de seguridad mediante JWT para autenticación, bcrypt para cifrado de contraseñas y RBAC para control de acceso basado en roles. Finalmente, el sistema fue desplegado utilizando Vercel para el frontend y un servidor VPS en DigitalOcean para el backend, garantizando disponibilidad, escalabilidad y acceso remoto a la plataforma, adicional a esto. (ver anexo B)

Figura 16

Código fuente apartado ordenes mantenimiento

```
module.exports = (sequelize, DataTypes) => {
  const MaintenanceOrder = sequelize.define('MaintenanceOrder', {
    id: {
      type: DataTypes.INTEGER,
      primaryKey: true,
      autoIncrement: true
    },
    numero_orden: {
      type: DataTypes.STRING,
      allowNull: false
    },
    descripcion: {
      type: DataTypes.TEXT,
      allowNull: false
    },
    prioridad: {
      type: DataTypes.ENUM('Baja', 'Media', 'Alta', 'Crítica'),
      defaultValue: 'Media'
    },
    estado: {
      type: DataTypes.ENUM('Pendiente', 'En Proceso', 'Completada'),
      defaultValue: 'Pendiente'
    }
  });

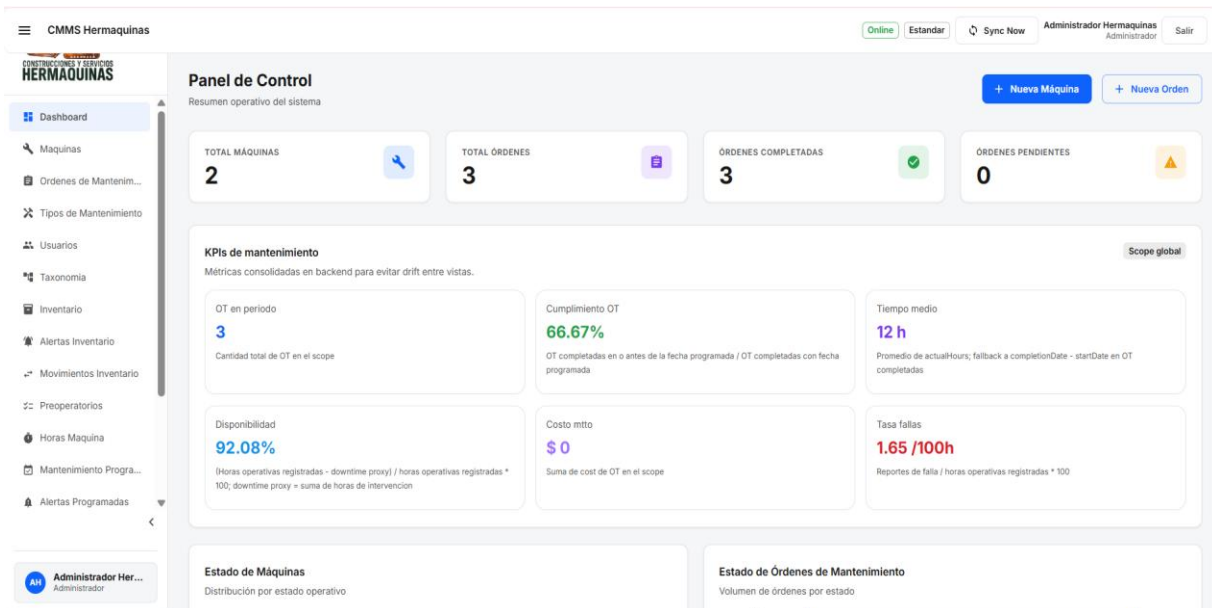
  return MaintenanceOrder;
};
```

Como se aprecia en la Figura 16, se presenta el lenguaje del código que se utilizó para el desarrollo del CMMS, En este caso, el modelo define los atributos principales de las órdenes de mantenimiento dentro del sistema CMMS. Cada orden contiene información relacionada con prioridad, estado y descripción de la actividad.

El uso de Sequelize ORM permitió mapear las tablas relacionales de la base de datos utilizando programación orientada a objetos, facilitando la gestión y mantenimiento del sistema. Para el desarrollo de los demás apartados se manejó la misma estructura de código por lo que se quiso mostrar el código de uno de los apartados más importantes de la aplicación como lo es ordenes de mantenimiento, en anexos E, L, M se puede apreciar otros apartados del código utilizados como el de inventario.

Figura 17

Base aplicación



El Dashboard Principal es el centro de control del sistema de gestión de mantenimiento. Este panel permite ver todas las operaciones de mantenimiento en un solo lugar. En la Figura 17,

se puede ver que la interfaz tiene un panel de diagnóstico que muestra información importante en tiempo real, como el número total de activos registrados, las órdenes de trabajo que están en progreso y las alertas que requieren atención.

También hay un gráfico que muestra el estado de la flota de manera dinámica, lo que ayuda a identificar rápidamente qué equipos están funcionando y cuáles están en mantenimiento o fuera de servicio (ver Figura 18). El sistema tiene un menú de navegación organizado por módulos, como Gestión de Activos, Mantenimiento, Inventario y Reportes, lo que facilita la búsqueda de información. Además, el sistema de control de acceso basado en roles garantiza que cada persona solo tenga acceso a la información que necesita para hacer su trabajo.

Figura 18

Gráficos aplicación

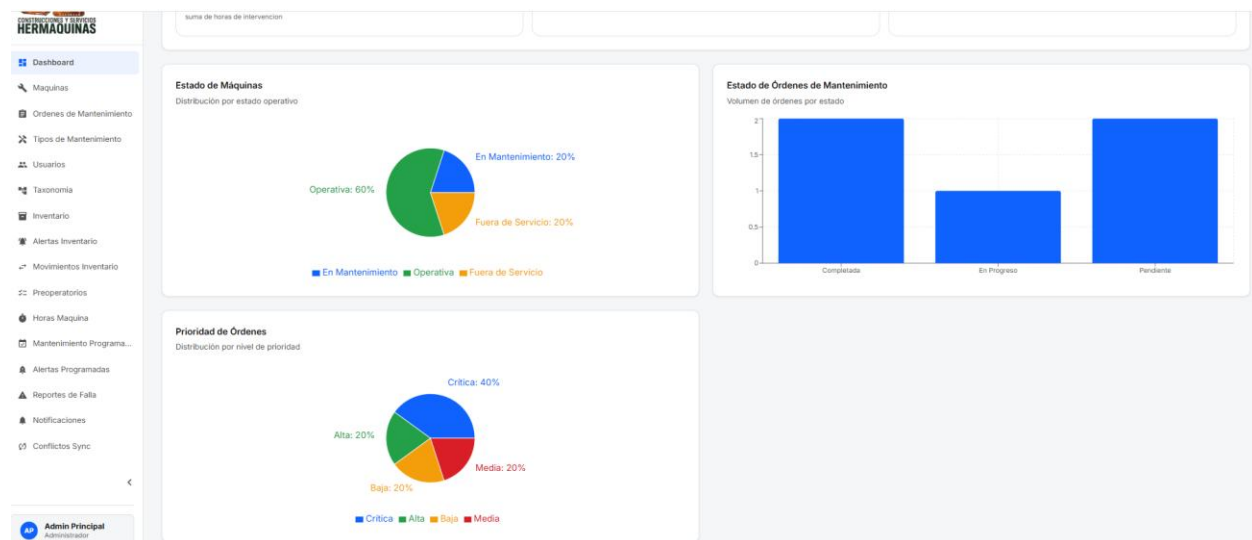


Figura 19*Base Ordenes de mantenimiento*

CÓDIGO	MÁQUINA	TIPO	ESTADO	PRIORIDAD	FECHA PROGRAMADA	ACCIONES
ORD-2028-001	Komatsu PC200LC-6LE	Correccion de Falla Hidraulica	En Progreso	Crítica	06/05/2026	👁️ ✎️ 🗑️
ORD-2028-002	Hitachi EX200-1 Sencilla	Mantenimiento 500h	Pendiente	Alta	09/05/2026	👁️ ✎️ 🗑️
ORD-2028-003	Hitachi EX120	Mantenimiento 250h	Completada	Media	10/05/2026	👁️ ✎️ 🗑️
ORD-2028-004	Hitachi Zaxis 120	Preoperatorio Diario	Completada	Baja	05/05/2026	👁️ ✎️ 🗑️
ORD-2028-005	Hitachi Zaxis 200	Intervencion de Emergencia en Campo	Pendiente	Crítica	08/05/2026	👁️ ✎️ 🗑️

El módulo de gestión de órdenes de mantenimiento del CMMS, que posibilita la consulta, el registro y la administración de las actividades preventivas y correctivas, se muestra en la Figura 19. La interfaz contiene filtros de búsqueda según estado, prioridad y máquina. También incluye una tabla con información esencial que abarca el tipo de mantenimiento, la fecha programada, el estado de la orden y las acciones disponibles. Todo esto permite un seguimiento y control operativo más sencillo del proceso.

Figura 20*Apartado inventario*

The screenshot displays the 'Inventario' (Inventory) module. At the top, there are buttons for 'Ver movimientos (kardex)' and 'Exportar XLSX'. Below this is a 'Crear item' (Create item) form with the following fields:

- Maquina:** EQ-KOM-200LC-6LE - Komatsu PC200LC-6LE
- Elemento:** Hidraulico / Bombas / Bomba hidraulica principal
- Codigo:** (empty)
- Nombre:** (empty)
- Tipo item:** motor
- Ubicacion:** (empty)
- Stock actual:** 0
- Stock minimo:** 0
- Crear item:** (blue button)

Below the form is a search section with a dropdown for 'Tipo de item' (set to 'Todos'), a search input field with the placeholder 'Buscar por codigo, item, ubicacion o componente', and a toggle for 'Mostrar solo bajo stock'.

The main table lists the following items:

CODIGO	ITEM	MAQUINA	ELEMENTO	TIPO ITEM	UBICACION	STOCK ACTUAL	STOCK MINIMO	ESTADO	ACCIONES
LCC200	Filtro ACPM con trampa	Komatsu PC200LC-6LE	Bomba hidraulica principal	motor	sede principal	3	0	OK	Cant., + Stock, - Stock, Guardar
200L	O-rings hidraulicos	Komatsu PC200LC-6LE	Bomba hidraulica principal	motor	sede principal	2	0	OK	Cant., + Stock, - Stock, Guardar
LC200	Filtro aire	Komatsu PC200LC-6LE	Filtro de aceite	motor	sede principal	2	0	OK	Cant., + Stock, - Stock, Guardar

El apartado de inventario (figura 20) funciona como el almacén digital principal de la empresa, diseñado para llevar un control exacto y en tiempo real de todos los repuestos, herramientas e insumos. En lugar de ser una simple lista de piezas, este módulo permite asociar cada elemento directamente a las máquinas de la flota, garantizando que los técnicos sepan exactamente qué repuestos pertenecen a equipos específicos como la excavadora Hitachi EX 200 o las unidades Komatsu. Su objetivo principal es evitar que la maquinaria se quede detenida por falta de piezas; por ello, el sistema muestra cuando las existencias de un insumo están bajando a niveles críticos. De esta manera, el personal encargado puede anticiparse y realizar las compras necesarias a tiempo, optimizando los costos, reduciendo los tiempos de inactividad y asegurando que los mantenimientos programados se ejecuten sin contratiempos logísticos.

Figura 21*Mantenimiento programado*

Maquina		Horas acumuladas: 206		Refrescar			
PC200 - Komatsu PC200							
Planes configurados							
TAREA	TIPO MANT.	UNIDAD	FRECUENCIA	FRECUENCIA (H)	UMBRAL ALERTA (H)	ESTADO	ACCIONES
Lubricación general de pines del equipo de trabajo	Lubricación general de pines del equipo de trabajo	hours	100	100	8	overdue	Eliminar
Revisar nivel de aceite de la caja de maquinaria de giro (100 horas)	Revisar nivel de aceite de la caja de maquinaria de giro	hours	100	100	8	overdue	Eliminar
Drenar agua y sedimento del tanque de combustible	Drenar agua y sedimento del tanque de combustible	hours	100	100	8	overdue	Eliminar
Revisar nivel de aceite de la caja de mandos finales	Revisar nivel de aceite de la caja de mandos finales	hours	250	250	25	ok	Eliminar
Revisar estado de baterías	Revisar estado de baterías	hours	250	250	25	ok	Eliminar
Cambiar aceite del cárter del motor	Cambiar aceite del cárter del motor	hours	250	250	25	ok	Eliminar
Sustituir cartucho del filtro de aceite de motor	Sustituir cartucho del filtro de aceite del motor	hours	250	250	25	ok	Eliminar
Lubricar el círculo de giro	Lubricar el círculo de giro	hours	250	250	25	ok	Eliminar
Revisar y ajustar tensión de la correa del ventilador	Revisar y ajustar tensión de la correa del ventilador	hours	250	250	25	ok	Eliminar

El módulo de mantenimiento programado (Figura 21) permite la creación y gestión de planes de mantenimiento preventivo para los equipos de la empresa, con el objetivo de facilitar su implementación y seguimiento. En este módulo se establecen las tareas a realizar, junto con sus respectivas anotaciones y frecuencias de ejecución, las cuales pueden definirse en función de variables como las horas de operación (por ejemplo, cada 100 horas de trabajo). Adicionalmente, el sistema se encuentra vinculado a un contador de horas integrado, que puede ser alimentado de forma manual o mediante un cronómetro integrado en la aplicación. Este módulo también se articula con un sistema de alarmas que genera notificaciones previas al cumplimiento de los intervalos de mantenimiento, permitiendo anticipar las intervenciones requeridas. De esta manera, se facilita la planificación de las actividades y el control del estado operativo de los equipos.

Figura 22

Inventario maquinas

CÓDIGO	NOMBRE	UBICACIÓN	ESTADO	FECHA DE INSTALACIÓN	ACCIONES
2000e-3	Hitachi	Villavicencio	Operativa	01/01/2012	👁️ ✎️ 🗑️
PC200	Komatsu PC200	SAN GIL SANTANDER	Operativa	29/12/2011	👁️ ✎️ 🗑️

La Figura 22 presenta la interfaz del módulo de “Máquinas” del sistema CMMS, diseñado para agregar los demás equipos de la empresa, en este caso se agregó la Komatsu pc200 integrando toda su taxonomía según sus sistemas y subsistemas, estos fueron agregados según el manual de la máquina, asimismo se hizo lo mismo con la Hitachi 200 con el fin de revisar y comprobar la funcionalidad de la aplicación.

La implementación del sistema CMMS no se limitó a la digitalización de procesos, sino que permitió estructurar la información de mantenimiento bajo un enfoque sistematizado, facilitando la integración entre la operación, el mantenimiento y la gestión de activos. Esto representa un cambio en el nivel de madurez del mantenimiento dentro de la empresa.

4.9 Manuales

El manual del software desarrollado en el marco del presente trabajo de grado cumple un papel fundamental en el proceso de sistematización de la gestión del mantenimiento dentro de la empresa HERMAQUINAS S.A.S.

Durante la etapa de diagnóstico se evidenció que uno de los principales problemas de la organización era la ausencia de un sistema estructurado para la gestión de la información, ya que los procesos de mantenimiento dependían en gran medida del conocimiento empírico del personal y de registros aislados que no garantizaban trazabilidad ni control. Esta falta de sistematización impedía la evolución del mantenimiento hacia un enfoque técnico y basado en datos.

En este contexto, el manual del software no solo actúa como una guía de uso de la herramienta CMMS, sino que constituye un elemento clave para formalizar, estandarizar y documentar los procesos de mantenimiento dentro de un entorno digital. A través de este manual se establecen los procedimientos para el registro de órdenes de trabajo, gestión de activos, control de inventarios y seguimiento de indicadores, asegurando que la información sea ingresada de manera uniforme y consistente.

Asimismo, el manual permite garantizar que el sistema implementado sea correctamente utilizado por los diferentes perfiles de usuario, facilitando la transición de un modelo de gestión manual y desorganizado hacia un sistema centralizado, trazable y orientado a la toma de decisiones.

De esta manera, el manual del software se convierte en un componente esencial para dar cumplimiento a los objetivos del trabajo de grado y de la práctica profesional, al materializar la sistematización del mantenimiento y permitir la consolidación de una base de datos confiable para la gestión de la maquinaria.

4.9.1 Manual del software

Figura 23

Manual aplicación



Con el fin de garantizar que se adoptara correctamente el sistema CMMS en HERMAQUINAS S.A.S., se presentó un manual de usuario (Figura 23). Este documento reúne la arquitectura tecnológica de la plataforma y explica cómo funcionan sus 15 módulos operativos. Estos módulos se enfocan en gestionar la maquinaria, los inventarios, las notificaciones y las órdenes de trabajo. El manual también define cómo se controla el acceso a la plataforma basado en roles. Hay cuatro tipos de perfil de usuario en el sistema: Administrador, Supervisor, Técnico y Gerente. Cada perfil tiene sus propios permisos y accesos. Además, se establecen protocolos estrictos de ciberseguridad y gestión de credenciales para proteger la plataforma. Así mismo en el anexo M se encuentra a mas detalle el manual entregado

Figura 24*Menú manual CMMS*

INDICE

Tabla de Contenidos

01	Resumen Ejecutivo	3
02	Acceso al Sistema — URL y Credenciales	4
03	Módulos Entregados (15 módulos)	5-6
04	Roles y Permisos Detallados	7
05	Guía de Inicio Rápido	8
06	Datos Técnicos e Infraestructura	9
07	Recomendaciones de Seguridad	10
08	Soporte y Próximos Pasos	11
09	Acta de Entrega y Firma	12

ALCANCE DEL DOCUMENTO

Este documento constituye la entrega formal del sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System) desarrollado a medida para **Hermaquinas SAS**. Incluye toda la información necesaria para que el equipo del cliente pueda comenzar a operar el sistema de forma inmediata, así como los datos técnicos y de seguridad pertinentes para su administración y mantenimiento futuro.

15

MÓDULOS

4

ROLES DE USUARIO

100%

EN PRODUCCIÓN

En la figura 24 se aprecia el menú correspondiente a la tabla de contenidos del documento de instrucciones del sistema CMMS, y está diseñado para organizar de forma clara y estructurada toda la información necesaria para su uso. A través de nueve secciones principales, estas incluyen desde el resumen ejecutivo y el acceso al sistema, hasta los módulos entregados, roles de usuario, guía de inicio rápido, datos técnicos, recomendaciones de seguridad, soporte y acta de entrega. Además, incorpora un apartado de alcance del documento que explica el propósito de la entrega, junto con indicadores clave como la cantidad de módulos implementados, los roles definidos y el estado del sistema en producción, facilitando una comprensión general del proyecto y su funcionamiento.

4.9.2 Manual de operación y mantenimiento

El manual de operación y mantenimiento desarrollado en el marco del presente trabajo de grado constituye un elemento fundamental para la estandarización de las prácticas técnicas asociadas al uso y conservación de la maquinaria amarilla crítica en la empresa HERMAQUINAS S.A.S.

Durante la etapa de diagnóstico se evidenció que, aunque la empresa contaba con información técnica proveniente de fabricantes y con conocimiento práctico del personal, esta no se encontraba organizada ni estructurada de manera formal, lo que generaba inconsistencias en la ejecución de las actividades de mantenimiento y operación. En muchos casos, las intervenciones dependían de la experiencia individual de los técnicos, lo que limitaba la repetibilidad de los procesos y dificultaba la transferencia de conocimiento dentro de la organización.

En respuesta a esta problemática, el manual de operación y mantenimiento fue diseñado como una herramienta integradora que consolida información proveniente de manuales de fabricante, buenas prácticas de mantenimiento y conocimiento empírico del personal técnico. Este documento establece lineamientos claros para la operación segura de los equipos, la identificación de fallas, la ejecución de tareas de mantenimiento y el uso adecuado de insumos como lubricantes y repuestos.

Adicionalmente, el manual se encuentra estructurado en concordancia con los requerimientos del plan integral de mantenimiento, incorporando rutinas organizadas por intervalos de operación y facilitando su articulación con el sistema CMMS implementado. Esto permite que las actividades definidas en el documento puedan ser fácilmente programadas, registradas y controladas dentro del software, fortaleciendo la trazabilidad y el seguimiento de las intervenciones realizadas.

Asimismo, su desarrollo se alinea con estándares y buenas prácticas de gestión del mantenimiento, permitiendo que la información técnica sea utilizada de manera coherente con la taxonomía de activos definida bajo la norma ISO 14224 y con la terminología establecida en la gestión de mantenimiento.

De esta manera, el manual de operación y mantenimiento no solo cumple una función documental, sino que se convierte en una herramienta clave para garantizar la correcta ejecución de las actividades técnicas, reducir la variabilidad en los procesos y asegurar la sostenibilidad del sistema de mantenimiento implementado, contribuyendo directamente al cumplimiento de los objetivos del trabajo de grado y al fortalecimiento operativo de la empresa.

Figura 25

Manual de operación y mantenimiento



Es por esto por lo que se presentó un manual de operación y mantenimiento (Figura 25), elaborado con el fin de sintetizar la información disponible tanto en medios físicos, virtuales y del saber mismo de los operarios y técnicos de la empresa. Este manual contiene información como

precauciones generales, de transporte de maquinaria, esquemas del equipo, un apartado para localización de fallas, lista de torques e instrucciones para llevar a cabo las tareas de mantenimiento, entre otros.

En la figura 26 se aprecia la tabla de contenidos del manual de operación y mantenimiento de la excavadora Komatsu PC200, estructurado para guiar al operador principalmente de forma clara y progresiva en el uso seguro y eficiente de la máquina. Incluye secciones que abarcan desde aspectos básicos como la preparación antes de arrancar, la visión general del equipo y la descripción de controles e interruptores, hasta componentes técnicos como fusibles, sistemas eléctricos, chasis y motor. Asimismo, integra apartados clave de seguridad, diagnóstico de fallas y procedimientos ante situaciones específicas, como batería descargada o remolque. El documento también detalla el uso adecuado de combustibles, lubricantes y refrigerantes, junto con tablas de torque y un completo programa de mantenimiento preventivo organizado por intervalos de horas de trabajo (100, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 5000 horas), permitiendo al operador o técnico realizar inspecciones, ajustes y reemplazos necesarios para garantizar el óptimo rendimiento y la durabilidad de la máquina.

Figura 26

Menú manual Komatsu

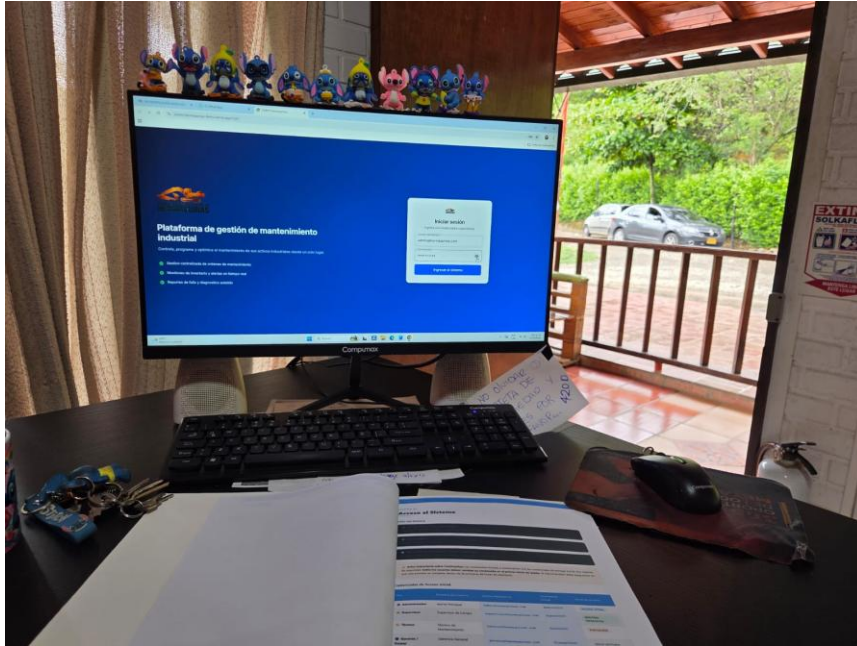
<p>10. USO DEL COMBUSTIBLE, REFRIGERANTE Y LUBRICANTES SEGÚN LA TEMPERATURA AMBIENTE..... 38</p> <p>11. LISTA DE TORQUE.....41</p> <p>12. CUADRO DEL ITINERARIO DE MANTENIMIENTO42</p> <p>13. CUANDO SEA NECESARIO45</p> <p>13.1 REVISAR, LIMPIAR Y SUSTITUIR EL ELEMENTO DEL FILTRO DE AIRE.....45</p> <p>13.2 LIMPIAR EL INTERIOR DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO47</p> <p>13.3 REVISAR Y APRETAR LOS TORNILLOS DE LAS ZAPATAS DE LAS ORUGAS51</p> <p>13.4 REVISIÓN Y AJUSTE DE LA TENSIÓN DE LA ORUGA52</p> <p>13.5 REVISAR NIVEL DEL LIQUIDO LAVADOR DE VENTANAS Y AÑADIR LIQUIDO SI ES NECESARIO ...55</p> <p>13.6 REVISIÓN Y AJUSTE DEL ACONDICIONADOR DE AIRE COMPROBAR EL NIVEL DEL GAS REFRIGERANTE56</p> <p>13.7 SUSTITUCIÓN DEL ELEMENTO DEL FILTRO ADICIONAL DEL ROMPEDOR.....57</p> <p>14. COMPROBACIONES ANTES DE ARRANCAR58</p> <p>14.1 REVISAR EL NIVEL DEL REFRIGERANTE, AÑADIR AGUA.....58</p> <p>14.2 COMPRUEBE EL NIVEL DEL ACEITE EN EL CÁRTER DEL MOTOR Y AÑADA ACEITE.....58</p> <p>14.3 COMPRUEBE EL NIVEL DEL COMBUSTIBLE, AÑADADIR COMBUSTIBLE59</p> <p>14.4 COMPROBAR EL NIVEL DEL ACEITE EN EL TANQUE HIDRÁULICO, AÑADIR ACEITE.....60</p> <p>14.5 COMPROBAR SI HAY OBSTRUCCIÓN EN EL FILTRO DE AIRE.....61</p> <p>15. SERVICIOS CADA 100 HORAS DE TRABAJO.....62</p> <p>15.1 LUBRICACIÓN OBSERVACIÓN62</p> <p>15.2 REVISAR NIVEL DE ACEITE EN LA CAJA DE LA MAQUINARIA DE GIRO, AÑADIR ACEITE.....63</p> <p>15.3 DRENAR EL AGUA Y SEDIMENTO DEL TANQUE DE COMBUS TIBLE64</p> <p>16. SERVICIOS CADA 250 HORAS DE TRABAJO.....65</p> <p>16.1 COMPRUEBE EL NIVEL DEL ACEITE EN LA CAJA DE MANDOS FINALES, AÑADA ACEITE65</p> <p>16.2 REVISE EL NIVEL DEL ELECTROLITO DE LAS BATERÍAS66</p> <p>16.3 CAMBIO DE ACEITE DEL CÁRTER DEL MOTOR Y DEL ELEMENTO DE FILTRO DEL ACEITE67</p> <p>16.4 LUBRICACIÓN DEL CIRCULO DE GIRO (2 PUNTOS)68</p> <p>16.5 REVISAR Y AJUSTAR LA TENSIÓN DE LA CORREA DEL VENTILADOR69</p> <p>16.6 REVISIÓN Y AJUSTE DE LA TENSIÓN DE LA CORREA DEL ACONDICIONADOR DE AIRE70</p>	<p>1. Contenido2</p> <p>2. ANTES DE ARRANCAR EL MOTOR5</p> <p>3. VISIÓN GENERAL DE LA MAQUINA8</p> <p>4. MONITOR DE LA MAQUINA.....10</p> <p>5. SUICHES11</p> <p>5.2 SUICHE SELECTOR DEL MODO DE TRABAJO12</p> <p>5.2 SUICHE DE AUTO DESACELERACIÓN12</p> <p>5.3 SUICHE DE VELOCIDAD DE TRASLADO.....13</p> <p>5.4 MAX. POTENCIA/SUICHE DE REDUCCIÓN RÁPIDA.....14</p> <p>5.5 SUICHE DEL MODO ACTIVO (SUICHE SELECTOR)14</p> <p>6. FUSIBLES15</p> <p>6.1 FUSIBLE DE ESLABÓN16</p> <p>6.2 CONTROLADORES16</p> <p>6.3 CAJA DE HERRAMIENTAS16</p> <p>6.4 SUJETADOR DE LA BOMBA DE ENGRASE16</p> <p>7. COMPROBACIONES ANTES DE ARRANCAR.....18</p> <p>8. PRECAUCIONES GENERALES23</p> <p>8.1 FENÓMENOS QUE NO SON FALLAS28</p> <p>8.2 MÉTODO PARA REMOLCAR LA MAQUINA.....28</p> <p>8.3 PRECAUCIONES EN LUGARESDE TRABAJOS ESPECIALES29</p> <p>8.4 SI LA BATERÍA ESTÁ DESCARGADA29</p> <p>8.5 REMOCIÓN E INSTALACIÓN DE LA BATERÍA30</p> <p>8.6 ARRANQUE DEL MOTOR CON CABLE REFORZADOR30</p> <p>9. LOCALIZACIÓN DE FALLAS33</p> <p>9.1 SISTEMA ELÉCTRICO33</p> <p>9.2 CHASIS34</p> <p>9.3 MOTOR35</p> <p>9.4 SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO37</p>
--	--

De esta manera, los manuales desarrollados permiten consolidar el conocimiento técnico de la organización, asegurando su transferencia, estandarización y correcta aplicación dentro del sistema de mantenimiento implementado.

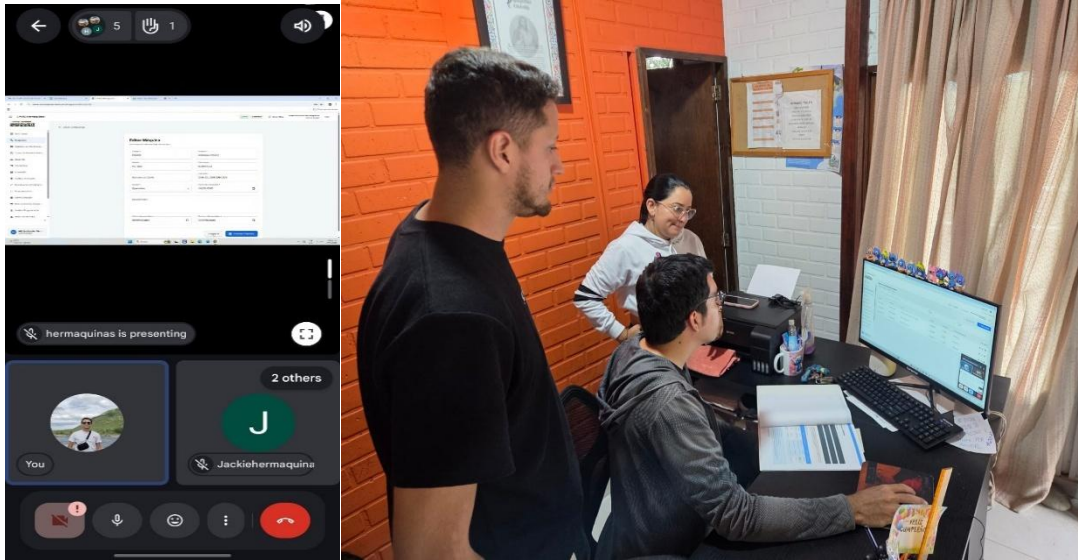
4.10 capacitación del personal de la empresa

Figura 27

Inicio Capacitación



Con el fin de garantizar la correcta implementación del Plan Integral de Mantenimiento y el adecuado uso del sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) implementado en la empresa HERMAQUINAS S.A.S. Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de capacitación dirigido al personal administrativo y de gestión del taller. Dado que la sede principal de la empresa se encuentra ubicada en el municipio de Chía (Cundinamarca), la sesión se ejecutó en modalidad virtual al mismo tiempo con el fin de garantizar la participación e integración de todo el equipo de soporte administrativo. (ver figura 27). Esta jornada tuvo como propósito familiarizar a los participantes con el funcionamiento general del sistema, así como con los procedimientos necesarios para la correcta aplicación del plan de mantenimiento dentro de la plataforma.

Figura 28*Capacitación presencial y virtual*

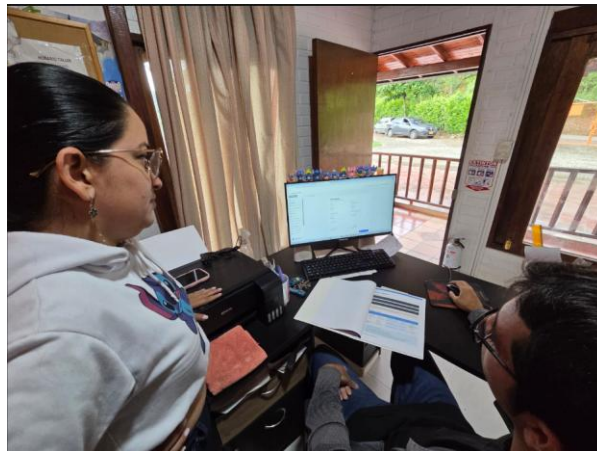
Durante la jornada de capacitación se presentó el funcionamiento del sistema CMMS, abordando aspectos fundamentales como el registro y gestión de órdenes de trabajo (OT), la programación de actividades de mantenimiento preventivo y el registro de fallas o incidencias detectadas en la maquinaria seguimiento al inventario. Asimismo, se explicó la forma en que el sistema permite llevar un historial de mantenimiento de los equipos, facilitando el seguimiento de intervenciones, el análisis de fallas y la toma de decisiones orientadas a mejorar la confiabilidad de las máquinas.

Para el desarrollo de la capacitación se emplearon diferentes materiales de apoyo como guías de uso del sistema, ejemplos prácticos y ejercicios realizados directamente dentro de la plataforma. Estos recursos permitieron que el personal interactuara con el sistema y comprendiera de manera práctica el proceso de registro de información y la gestión de las actividades de mantenimiento

Adicionalmente, durante las sesiones se realizaron demostraciones prácticas del uso del sistema, en las cuales se explicó el procedimiento para registrar órdenes de trabajo, programar actividades de mantenimiento preventivo y registrar fallas dentro de la aplicación, permitiendo que el personal se familiarizara con las principales funcionalidades del software (ver figura 28).

Figura 29

Uso del CMMS



Con el propósito de conocer que tan favorable fue la sesión para el personal, se diseñó y aplicó una encuesta (ver Figura 29). Esta permitió medir el nivel de comprensión del personal del funcionamiento del sistema, aceptar sugerencias y dudas con el fin de lograr integrar la aplicación al personal de manera sencilla.

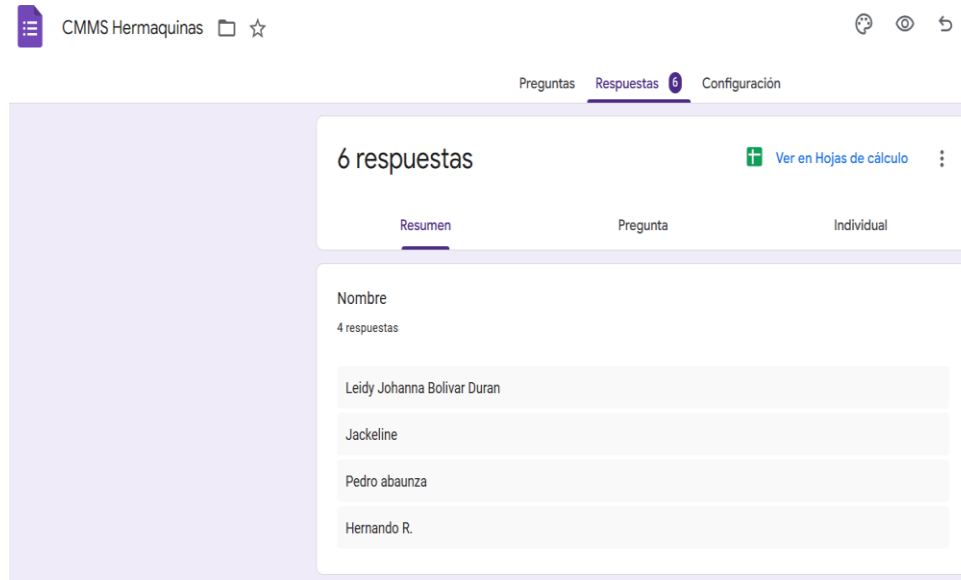
Figura 30

Encuesta de CMMS

<p>La aplicación es intuitiva y fácil de entender</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>	<p>La aplicación aporta valor a mis actividades diarias.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> bueno</p>
<p>La capacitación fue clara y bien estructurada.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>	<p>La interfaz de la aplicación es intuitiva, clara y fácil de navegar.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>
<p>los capacitadores explicaron de manera comprensible.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>	<p>El sistema facilita la estandarización de las rutinas preventivas y correctivas de la flota.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>
<p>Los ejemplos prácticos ayudaron a entender el uso de la aplicación.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>	<p>Usaría la aplicación de forma frecuente en mi trabajo.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>
<p>¿Qué mejoras sugeriría para la aplicación?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p>Considero que la aplicación es necesaria dentro del proceso.</p> <p>1 2 3 4 5</p> <p>Malo <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> Bueno</p>

Figura 31

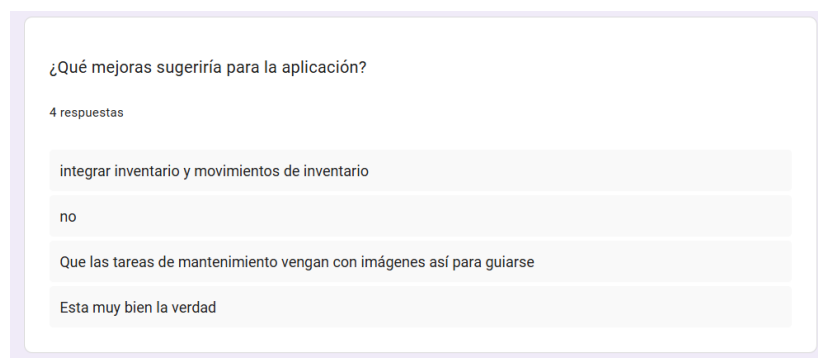
Participantes encuesta



De esta manera, la encuesta y la sesión final de sugerencias permitió evidenciar el nivel de apropiación del sistema por parte del personal capacitado. Así mismo se comparte una de las preguntas más útiles para tener en cuenta la cual era que el personal agregara alguna mejora que creía pertinente, este fue el resultado:

Figura 32

Respuesta pregunta encuesta



En este sentido, la capacitación permitió no solo la adopción del sistema implementado, sino también el fortalecimiento de una cultura organizacional orientada al mantenimiento estructurado, garantizando la sostenibilidad y evolución del modelo propuesto.

4.11 Costos asociados a la transición del mantenimiento correctivo al preventivo

Como complemento al diseño e implementación del plan integral de mantenimiento, se consideró pertinente realizar una evaluación económica básica de la transición desde un enfoque predominantemente correctivo hacia un esquema de mantenimiento preventivo asistido por software. Aunque el objetivo principal del proyecto no se formuló como un estudio financiero, este análisis permite evidenciar ante la empresa que la adopción del nuevo sistema no solo responde a una necesidad técnica y operativa, sino también a una decisión económicamente justificable. En este sentido, la transición implica reconocer tanto los costos iniciales de implementación como los costos ocultos que genera la permanencia en un modelo reactivo de mantenimiento.

En HERMAQUINAS S.A.S. se evidenció que el mantenimiento ejecutado bajo una lógica correctiva genera consecuencias económicas que no siempre se registran de forma explícita, pero que impactan de manera directa la operación. Entre estas se encuentran las paradas no programadas de maquinaria en campo, la necesidad de desplazamientos urgentes para atender fallas, la compra imprevista de repuestos, la prolongación de tiempos fuera de servicio y la posible afectación de la disponibilidad de equipos altamente demandados, como la excavadora Komatsu PC200. Dado que esta máquina fue identificada como el activo de mayor criticidad por su demanda y rentabilidad, cualquier falla inesperada en su operación representa un riesgo económico relevante para la empresa, tanto por pérdida de continuidad del servicio como por costos adicionales de intervención.

Desde la perspectiva de implementación, los costos asociados a la transición pueden identificarse en el presupuesto general del proyecto presentado en la Tabla 8, en el cual se contemplan recursos humanos, logísticos, tecnológicos y de puesta en marcha del sistema CMMS, además de un margen para imprevistos. Estos costos corresponden principalmente al tiempo invertido en el diagnóstico de la maquinaria, el diseño de rutinas de mantenimiento, la estructuración de la taxonomía de activos, la organización del inventario, la digitalización de formatos, el desarrollo e implementación del software, la actualización del equipo de cómputo del taller y la capacitación inicial del personal. En conjunto, estos elementos constituyen la inversión base necesaria para pasar de un mantenimiento reactivo, dependiente de la experiencia empírica y de registros aislados, hacia un modelo preventivo estructurado, trazable y apoyado en información confiable.

Con el fin de precisar esta inversión base, a continuación, se presenta la Tabla 8, en la cual se consolidan los rubros asociados a la puesta en marcha del plan integral de mantenimiento y del sistema CMMS. Esta tabla permite identificar que la transición requiere una asignación inicial de recursos orientada a crear las condiciones técnicas, organizativas y tecnológicas necesarias para abandonar el enfoque reactivo y así iniciar un mantenimiento preventivo estructurado.

Tabla 8*Inversión inicial*

Categoría	Descripción	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
Honorarios	Honorarios de los practicantes	2	\$ 1.623.500	\$ 3.247.000
Transportes	Transporte de ida y vuelta a la empresa	8	\$ 55.000	\$ 440.000
Estadía	Valor diario de estadía, incluyendo comidas	16	\$ 52.000	\$ 620.000
Papelería	Utilizada en manuales, folletos, etc.	1	\$ 300.000	\$ 300.000
Implementación del Software CMMS	Adquisición y/o configuración del software	2	\$ 197.500	\$ 295.000
Capacitación del Personal Técnico	Costos asociados a la jornada de capacitación (refrigerios, estímulos, bonos, etc.)	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Recursos tecnológicos y logísticos	Computador, conexión a internet.	1	Otorgado por la empresa	N/A
Margen para imprevistos (10%)	Fondos para cubrir imprevistos del proceso	1	\$ 580.000	\$ 580.000
Total			3,808,000	6,482,000

La Tabla 8 permite evidenciar que la inversión inicial se concentra en actividades de preparación, desarrollo e implementación. En consecuencia, estos valores deben entenderse como costos de arranque del sistema, necesarios para habilitar el funcionamiento del nuevo enfoque de

mantenimiento, pero insuficientes por sí solos para garantizar su permanencia y mejora dentro de la empresa a lo largo del tiempo.

No obstante, la transición no debe entenderse únicamente como una inversión inicial de implementación. Para que el plan de mantenimiento se mantenga vigente dentro de la empresa y evolucione con el tiempo, es necesario asumir costos recurrentes asociados a su sostenimiento. Entre estos se encuentran la administración continua del CMMS, la actualización periódica de la base de datos de activos, el registro constante de órdenes de trabajo y fallas, la revisión y ajuste de rutinas preventivas según la experiencia operacional, la capacitación periódica del personal ante cambios de funciones o rotación, y el seguimiento de indicadores de desempeño que permitan detectar oportunidades de mejora. A ello se suman los costos de soporte tecnológico, mantenimiento del equipo de cómputo, posibles actualizaciones del software y reposición de componentes informáticos cuando sea necesario.

Para complementar esta perspectiva, la Tabla 9 presenta los costos recurrentes asociados al sostenimiento del plan de mantenimiento una vez implementado. A diferencia de la inversión inicial, estos rubros no corresponden a una etapa de arranque, sino a los requerimientos mínimos para conservar la operatividad del sistema, actualizar la información, sostener la disciplina de registro y promover la mejora continua del modelo adoptado por la empresa.

Tabla 9*Costos de sostenimiento*

Categoría	Descripción	Costo mensual (COP)
Mantenimiento de la aplicación	Troubleshooting y parches de la aplicación.	\$ 400.000
Seguimiento del mantenimiento	Contrato con el ingeniero a cargo	\$ 2.800.000
Bases de datos	Costo mensual de mantener la aplicación en línea	\$ 45.000
Internet y red antena	Conectividad de la empresa	\$ 99.000
Intervenciones preventivas programadas	Horas técnicos asignados	\$ 1.480.000
Reposición de repuestos para mantenimiento preventivo	Fondo mensual estimado de reposición	\$ 4.000.000
Total		\$ 8.824.000

La Tabla 9 muestra que la sostenibilidad del plan depende de una asignación periódica de recursos para actividades de seguimiento, actualización y operación continua. Si bien estos costos representan un compromiso permanente para la empresa, su principal ventaja radica en que son costos previsible y administrables, a diferencia de los egresos repentinos propios del mantenimiento correctivo, los cuales suelen aparecer en escenarios de falla, urgencia e indisponibilidad operativa.

Asimismo, la consolidación de un mantenimiento preventivo sostenido implica costos operativos propios del nuevo enfoque, los cuales difieren de los costos de emergencia característicos del mantenimiento correctivo, pero no desaparecen. Entre ellos se destacan la

adquisición planificada de filtros, lubricantes, repuestos de desgaste y consumibles, la destinación de horas hombre para inspecciones periódicas, la ejecución de paradas programadas para intervención y el fortalecimiento del control de inventarios para garantizar disponibilidad oportuna de materiales. Sin embargo, la diferencia fundamental radica en que estos costos pasan a ser previsibles, programables y gestionables, lo que reduce la incertidumbre financiera y operativa de la empresa. En este sentido, el mantenimiento preventivo no elimina el gasto en mantenimiento, sino que lo reorganiza bajo una lógica de control, anticipación y mejora continua.

En consecuencia, la migración desde un esquema correctivo hacia uno preventivo no solo exige una asignación inicial de recursos, sino también el compromiso de sostener en el tiempo una estructura mínima de gestión, seguimiento y mejora del mantenimiento. Aun así, estos costos resultan razonables frente a los costos operativos y financieros que implica mantener una gestión reactiva basada en fallas inesperadas, intervenciones urgentes e incertidumbre sobre el estado real de los equipos. Bajo un escenario correctivo predominan las erogaciones no planificadas y las pérdidas por indisponibilidad; en contraste, el escenario preventivo propuesto permite anticipar necesidades, distribuir mejor los recursos y consolidar capacidades internas de gestión. Por ello, el análisis desarrollado permite concluir que la transición planteada en HERMAQUINAS S.A.S. es económicamente justificable, no porque elimine por completo los costos de mantenimiento, sino porque los transforma en costos más controlables, trazables y alineados con una operación más eficiente y escalable en el mediano plazo.

5. Conclusiones

El desarrollo de la presente práctica permitió estructurar e implementar un Plan Integral de Mantenimiento para la maquinaria amarilla crítica de HERMAQUINAS S.A.S., dando cumplimiento a los objetivos planteados inicialmente y generando un aporte significativo tanto a

nivel académico como organizacional. En primera instancia, se llevó a cabo la identificación y análisis de la maquinaria crítica mediante criterios de demanda operativa y rentabilidad, lo que permitió enfocar los esfuerzos en el equipo de mayor impacto para la empresa en términos de rentabilidad y demanda, seleccionando como caso de aplicación la excavadora Komatsu PC200.

A partir de la información suministrada por la empresa y del análisis realizado durante la visita a la sede de San Gil, se evidenció que la gestión del mantenimiento presentaba un enfoque predominantemente correctivo, con limitaciones en la planificación, el seguimiento y el control de las actividades. Asimismo, se identificó una baja utilización de los formatos existentes y una escasa integración entre las recomendaciones técnicas de los fabricantes y las prácticas reales de mantenimiento, lo que derivaba en una gestión de carácter empírico, con poca trazabilidad de la información y dificultades para la toma de decisiones basada en datos.

Como respuesta a estas carencias, se diseñó un plan de mantenimiento estructurado basado en criterios técnicos y normativos, que incluye la definición de tareas específicas, frecuencias de intervención, asignación de recursos e indicadores de desempeño (KPIs). Este diseño se fundamentó en el uso de manuales de operación y mantenimiento, así como en estándares internacionales como la norma ISO 14224, permitiendo organizar la información de manera coherente y alineada con buenas prácticas de gestión de activos. Adicionalmente, se desarrollaron formatos normalizados que facilitan el registro y control de las actividades, estableciendo las bases para su integración dentro de un sistema digital.

En este sentido, la implementación del sistema CMMS permitió consolidar un proceso de sistematización del mantenimiento, centralizando la información de los equipos, digitalizando los órdenes de trabajo, gestionando inventarios y facilitando el seguimiento de indicadores como la disponibilidad y la mantenibilidad. Esta transformación representa un avance significativo, al

permitir la transición desde un modelo reactivo hacia un enfoque estructurado, trazable y orientado a la toma de decisiones basada en datos.

Por su parte, la fase de capacitación desempeñó un rol fundamental en la sostenibilidad del sistema implementado, al permitir la apropiación del CMMS por parte del personal técnico y administrativo. A través de este proceso, se promovió el uso de la norma ISO 14224 como lenguaje común dentro de la organización, eliminando la discrecionalidad en el registro de la información y garantizando que la trazabilidad de la maquinaria responda a estándares técnicos. Asimismo, se fortaleció la cultura de registro de variables operativas, asegurando que los indicadores generados por el sistema constituyan una base confiable para la mejora continua.

Finalmente, uno de los principales aportes del proyecto radica en su carácter escalable y replicable, ya que tanto el plan de mantenimiento diseñado como la estructura de formatos, manuales y la configuración del software implementado pueden ser extrapolados al resto de la maquinaria de la empresa. De esta manera, la organización cuenta ahora con una base metodológica sólida que permite estandarizar procesos, optimizar la gestión del mantenimiento y avanzar hacia niveles superiores de madurez operativa.

En este sentido, el proyecto establece las bases para la evolución de la gestión del mantenimiento en la empresa, permitiendo su transición hacia un modelo más eficiente, sistematizado y alineado con las exigencias actuales de la industria. Desde la perspectiva económica, se concluye además que esta transición no solo requiere una inversión inicial para su implementación, sino también la asignación de costos recurrentes de sostenimiento asociados al uso del CMMS, la actualización de la información, la capacitación continua del personal y la ejecución planificada de actividades preventivas. No obstante, dichos costos resultan justificables frente a las erogaciones no planificadas, las fallas imprevistas y las pérdidas por indisponibilidad

que caracterizan al mantenimiento correctivo, por lo que el cambio de enfoque propuesto representa una alternativa técnica y económicamente conveniente para HERMAQUINAS S.A.S.

En consecuencia, el valor del proyecto no radica únicamente en la implementación de una herramienta tecnológica, sino en la consolidación de un modelo de gestión del mantenimiento basado en información, planificación, control y mejora continua, con capacidad de ser sostenido y ampliado progresivamente dentro de la organización.

6. Referencias Bibliográficas

- Accelix, & eMaint. (2025, 14 marzo). ¿Qué es el mantenimiento preventivo? Los mejores consejos y trucos para 2025. eMaint. <https://www.emaint.com/es/what-is-preventive-maintenance/>
- Blanchard, B. S. (2004). Logistics engineering and management (6th ed.). Pearson Prentice Hall.
- British Standards Institution. (2016). *BS EN ISO 14224:2016: petroleum, petrochemical and natural gas industries -- collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. British Standards Institution.
- Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). Asset management excellence: Optimizing equipment life-cycle decisions (2nd ed.). CRC Press.
- CEN. (2017). EN 13306: Maintenance — Maintenance terminology. European Committee for Standardization.
- CMMS o GMAO: ¿Qué es y cómo funciona? (s. f.). TRACTIAN. <https://traction.com/es/blog/software-de-mantenimiento-cmms-manual-definitivo-2025>
- Ebeling, C. E. (2010). An introduction to reliability and maintainability engineering (2nd ed.). Waveland Press.
- Iberdrola. (2021, 22 abril). MANTENIMIENTO PREDICTIVO. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/mantenimiento-predictivo>
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology. ISO.
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 55001: Asset management — Management systems — Requirements. ISO.

- International Organization for Standardization. (2016). ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 17359: Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines. ISO.
- Kelly, A. (2006). Maintenance strategy: Business-centered maintenance. Butterworth-Heinemann.
- Mobley, R. K. (2002). An introduction to predictive maintenance (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- O'Connor, P. D. T., & Kleyner, A. (2012). Practical reliability engineering (5th ed.). Wiley.
- Order, S. (2024, 26 septiembre). Mantenimiento Correctivo: Qué es, tipos y cuándo utilizarlo. STEL Order. <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-correctivo/>
- Parmenter, D. (2015). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs (3rd ed.). Wiley.
- Prisma. (2024, 18 julio). ¿Qué es un sistema CMMS? Eurofins Environment Testing Spain. <https://www.eurofins-environment.es/es/cmms-mantenimiento-que-es/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20CMMS%3F,el%20mantenimiento%20de%20sus%20activos.>
- Smith, D. J. (2011). Reliability, maintainability and risk: Practical methods for engineers (8th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Smith, R., & Hawkins, B. (2004). Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share. Elsevier Butterworth-Heinemann.

- Wireman, T. (2004). Benchmarking best practices in maintenance management.

Industrial Press.

- Wireman, T. (2010). Total productive maintenance. Industrial Press.

