UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER EN LA UNIDAD MINERA COBRIZA

PRESENTADO POR:

PIÑAS VILCAPOMA, Harol

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO

HUANCAYO – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ACTA N° 050-2025-FIME-UNCP

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

Siendo las 09:15 horas del día 17 de octubre del 2025, en la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, con la asistencia de los Señores Miembros del Jurado, como se detalla a continuación:

PRESIDENTE		Ing. Dr. TIMOTEO CAIRO HURTADO
SECRETARIO	:	Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIPE CASTRO
VOCAL	:	Ing. Mg. ROBERTO BELARMINO QUISPE CABANA
VOCAL	:	Ing. Mg. ALCIDES LUIS FABIÁN BRAÑEZ
VOCAL	:	Ing. M.Sc. JUAN GILMER HINOSTROZA CASO

El Ing. Dr. Marcial De la Cruz Lezama no preside la sustentación por estar realizando labores inherentes al cargo. Asume como Presidente encargado el Ing. Dr. Timoteo Cairo Hurtado mediante Oficio N° 313-2025-DFIME-UNCP.

El acto de sustentación de la tesis titulada "GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER EN LA UNIDAD MINERA COBRIZA";", se inicia con el saludo y apertura del proceso por parte del señor Presidente Ing. Dr. Timoteo Cairo Hurtado, luego solicita al Secretario Ing. Mg. José Antonio Taipe Castro, dar lectura de la Resolución N° 195-2025-DFIME-UNCP, donde indica que el Bach. PIÑAS VILCAPOMA HAROL; identificado con DNI N° 76575647 cumple con los requisitos de dicha modalidad para la obtención del Título Profesional y se encuentre expedito para sustentar su tesis con fines de optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO.

Seguidamente, el Ing. Dr. Timoteo Cairo Hurtado Presidente del Jurado, invita al señor Asesor de la tesis Ing. Mg. Roberto Belarmino Quispe Cabana, para la presentación respectiva.

Prosiguiendo con el acto de sustentación, el Presidente del Jurado, dispuso que la exposición oral y lectura de conclusiones y recomendaciones, por parte del sustentante, tendrá una duración promedio de 20 minutos de acuerdo a lo indicado en el Reglamento Académico vigente.

Acabada la exposición del sustentante, los Señores Miembros del Jurado, procedieron a formular las preguntas y observaciones del caso; el sustentante, procedió a la defensa de su tesis en cada caso.

Concluida la defensa del trabajo de investigación, el jurado calificador, en privado deliberó y emitió su dictamen de acuerdo al puntaje obtenido, El resultado final de la sustentación de Tesis para la obtención del Título Profesional, de conformidad a lo establecido en los Arts. 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210 del Reglamento Académico General de la UNCP, vigente cuyo promedio es de VEINTIUNO (21) que corresponde a:

( ) Aprobado por unanimidad, con mención de excelencia
(V) Aprobado por unanimidad
( ) Aprobado por mayoría
( ) Desaprobado

Seguidamente, el Secretario invita al sustentante, pasar a la sala de conferencias de la Facultad de Ingeniería Mecánica, luego el Presidente del Jurado le comunica el resultado, Y LO FELICITA

El acto de sustentación se concluye a las 10:40 horas.

Ing. Dr. TIMOTEO CAIRO HURTADO
PRESIDENTE

Ing. Mg. JOSÉ ANTONIO TAIPE CASTRO
SECRETARIO

Ing. Mg. ROBERTO BELARMINO QUISPE CABANA
VOCAL

Ing. Mg. ALCIDES LUIS FABIÁN BRAÑEZ
VOCAL

Ing. M.Sc. JUAN GILMER HINOSTROZA CASO
VOCAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
Av. Mariscal Castilla N° 3909-4089 El Tambo-Huancayo
Ciudad Universitaria – Carretera Central Km 5 - Central Telefónica (064) 481084

INFORME Nº 020-2025-RBQC-FIME-UNCP

A : Dr. Marcial De La Cruz Lezama
Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica

DEL : Mg. Roberto Belarmino Quispe Cabana
Docente Asesor

ASUNTO : Informe de Similitud del Turnitin

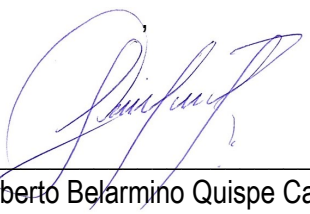
REFERENCIA : MEMORANDO 090-2024 DFIME-UNCP

FECHA : Huancayo, 16 de junio de 2025

Es muy grato dirigirme a usted, y expresarle mis más cordiales saludos; al mismo tiempo comunicar que según los documentos de la referencia mi persona ha sido ASESOR del plan de tesis titulado: **"GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER EN LA UNIDAD MINERA COBRIZA"** presentado por el bachiller **PIÑAS VILCAPOMA HAROL**, y que luego de la revisión del borrador del trabajo de tesis presentado por el interesado, quien subsanó las observaciones realizadas por mi persona, culminándose de esta forma el trabajo de tesis, cumplo con informar que luego de haber pasado por el programa turnitin el mencionado trabajo se ha encontrado un porcentaje de similitud del 11%, sí mismo respecto a la forma se encuentra de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Académico General de la UNCP, cumpliendo con los requisitos y parámetros establecidos.

Por lo expuesto, expreso **MI CONFORMIDAD en cuanto a la originalidad y similitud del borrador de tesis**, para los fines del interesado.
Es cuanto informo a usted, para las medidas pertinentes del caso.

Atentamente



Mg. Roberto Belarmino Quispe Cabana
Docente Asesor de Tesis

TESIS HAROL PIÑAS - FINAL 3.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	10%	4%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%

16	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
21	Submitted to antonionarino Trabajo del estudiante	<1 %
22	Submitted to Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
23	1library.co Fuente de Internet	<1 %
24	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %
25	revistas.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
	repositorio.uss.edu.pe	

	Publicación	
38	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
39	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 15 words
Excluir bibliografía	Activo		

ASESOR DE TESIS

Ing. Mg. Roberto Quispe Cabana

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por haberme permitido gozar de la maravillosa vida universitaria.

Agradecer a mi asesor Ing. Mg. Roberto Quispe Cabana, por su sabiduría y ser mi guía en este proceso.

Agradecer a los creadores del CMMS Odoo, que gracias a su sistema pude realizar mi trabajo de investigación.

El autor.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mi hermano Adison que me cuidan desde el cielo. A mis padres, Rolando y Sofia, quienes siempre me han apoyado en mis sueños y metas, a mi compañera de vida, a mis hermanos, familiares y amigos por el aliento constante que me brindaron en este proceso.

El autor.

RESUMEN

La empresa RESEFER posee una flota de equipos que laboran en minería, la disponibilidad de estos equipos es de 79% durante el último semestre del 2023. La empresa requiere mejorar la disponibilidad, para lograr esto, se evalúa y selecciona un CMMS, para gestionar su implementación y observar su impacto sobre la disponibilidad. Se plantea un estudio que utilizó un método sistémico, un tipo de investigación tecnológica y un nivel de investigación experimental.

Se seleccionó un CMMS Odoo, la implementación de este CMMS partió del uso módulos dentro del CMMS de monitoreo y gestión automatizada de órdenes de trabajo, registros de fallas, documentos de control y gestión de inventarios. Esto incrementó significativamente la disponibilidad de la flota, pasando de un promedio del 79% al 86,35%. Este incremento cuantitativo es respaldado por una prueba t de Student. La empresa se vio beneficiada mediante la implementación del CMMS Odoo el cual mejoró la eficiencia en la gestión de mantenimiento, reduciendo en 34,98% las horas de parada (32,3 a 21 horas mensuales). Este CMMS priorizó las tareas de manera inteligente y dashboards en tiempo real, que permitieron reaccionar proactivamente a las fallas.

Palabras clave: mantenimiento, disponibilidad, sistema, gestión, computarizado.

ABSTRACT

The RESEFER company owns a fleet of mining equipment, with an availability rate of 79% during the second half of 2023. The company needs to improve availability. To achieve this, a CMMS is being evaluated and selected to manage its implementation and observe its impact on availability. A study was conducted using a systemic method, a technological approach, and a level of experimental research.

An Odoo CMMS was selected. The implementation of this CMMS began with the use of modules within the CMMS for the automated monitoring and management of work orders, fault logs, control documents, and inventory management. This significantly increased fleet availability, from an average of 79% to 86.35%. This quantitative increase is supported by a Student's t-test. The company benefited from the implementation of Odoo CMMS, which improved maintenance management efficiency, reducing downtime by 34.98% (from 32.3 to 21 hours per month). This CMMS intelligently prioritized tasks and provided real-time dashboards, enabling proactive responses to failures.

Keywords: maintenance, availability, system, management, computerized.

ÍNDICE GENERAL

ASESOR DE TESIS ii

AGRADECIMIENTO iii

DEDICATORIA iv

RESUMEN v

ABSTRACT vi

ÍNDICE GENERAL vii

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE TABLAS xii

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Fundamentación del problema 4

1.2 Formulación del problema 7

1.2.1 Problema general 7

1.2.2 Problemas específicos 7

1.3 Objetivos de la investigación 8

1.3.1 Objetivo general 8

1.3.2 Objetivos específicos 8

1.4 Justificación e importancia de la investigación 9

1.5 Alcances y limitaciones 10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación 12

2.2 Bases teóricas 17

2.2.1 Mantenimiento 17

2.2.2 Mantenimiento preventivo 26

2.2.3 Disponibilidad mecánica 30
2.2.4 Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado 33
2.2.5 Equipos y operación en la empresa RESEFER 39
2.3 Bases conceptuales 49
2.3.1 Definiciones conceptuales 49
2.4 Hipótesis de la investigación 50
2.4.1 Hipótesis general 50
2.4.2 Hipótesis específicas 50
2.5 Operacionalización de variables 51
2.5.1 Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado 51
2.5.2 Disponibilidad mecánica 52

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método de investigación 54
3.2 Tipo de investigación 55
3.3 Nivel de investigación 56
3.4 Diseño de la investigación 57
3.5 Población, muestra o unidad de observación 58
3.6 Técnicas e instrumentos de investigación 60
3.6.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 60
3.6.2 Técnicas de procesamiento de datos 61

CAPÍTULO IV

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER

4.1 Fase inicial 63
4.1.1 Diagnóstico de la empresa 63
4.1.2 Diagnóstico del sistema CMMS 65

4.2 Fase de formación 68
4.2.1 Selección del sistema CMMS 68
4.2.2 Implementación del CMMS 70
4.3 Fase de desarrollo 73
4.3.1 Documentación de registro virtual 73
4.3.2 Análisis de datos por CMMS 75
4.3.3 Reducción de tiempos de inactividad 80
4.4 Fase de optimización 81
4.4.1 Estrategias de mantenimiento optimizadas 81
4.4.2 Análisis de indicadores de mantenimiento 84
4.4.3 Medición y mejora de disponibilidad 85

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Presentación de resultados 87
5.2 Análisis de resultados 94
5.3 Contrastación de hipótesis 97
5.4 Discusión de resultados 102
CONCLUSIONES 106
RECOMENDACIONES 108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109
ANEXOS 113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Disponibilidad promedio mensual de los versus el estándar esperado 5
Figura 2 Tipos de mantenimiento en base a la UNE-EN 13306 24
Figura 3 Vista lateral del Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282 39
Figura 4 Vista en campo del Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282 en Cobriza 40
Figura 5 Vista lateral del equipo de perforación frontal Tritón DFD 20 42
Figura 6 Vista lateral del equipo desatador de rocas Scaler 853 TSL 43
Figura 7 Vista lateral del equipo cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01 44
Figura 8 Vista lateral del equipo cargador para minería R1600H 46
Figura 9 Disponibilidad del equipo JB-291-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo 88
Figura 10 Disponibilidad del equipo JB-296-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo 89
Figura 11 Disponibilidad del equipo JB-301-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo 90
Figura 12 Disponibilidad del equipo JB-291-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo 91
Figura 13 Disponibilidad del equipo JB-296-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo 92
Figura 14 Disponibilidad del equipo JB-301-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo 93
Figura 15 Disponibilidad promedio por mes antes y después de la implementación del CMMS Odoo 94

Figura 16 Disponibilidad promedio por equipo antes y después de la implementación del CMMS Odoo 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de disponibilidad durante el año 2023 de tres equipos Jumbo de la empresa Resefer 6

Tabla 2 Tabla de Especificaciones generales y dimensiones del EPIROC ROCKET BOOMER 282 40

Tabla 3 Tabla de Especificaciones generales del boom del EPIROC ROCKET BOOMER 282 41

Tabla 4 Tabla de Especificaciones generales del equipo de perforación frontal Tritón DFD 20.....42

Tabla 5 Tabla de Especificaciones generales del equipo desatador de rocas Scaler 853 TSL.....44

Tabla 6 Tabla de Especificaciones generales del equipo cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01 45

Tabla 7 Tabla de Especificaciones generales del equipo de acarreo en minería subterránea R1600H 46

Tabla 8 Tabla de la variable independiente: Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado.....51

Tabla 9 Tabla de la variable independiente: Disponibilidad mecánica 52

Tabla 10 Tabla de Inventario de equipos de la UO Cobriza – RESEFER del año 2024 59

Tabla 11 Tabla de requisitos técnicos para la selección del CMMS.....68

Tabla 12 Tabla de evaluación comparativa entre opciones de CMMS.....69

Tabla 13 Tabla de la matriz RACI en la implementación del sistema CMMS.....71

Tabla 14 Tabla de actividades de mantenimiento preventivo actualizadas mediante el CMMS 76
Tabla 15 Tabla de actividades de mantenimiento programado actualizadas mediante el CMMS 77
Tabla 16 Tabla de actividades de mantenimiento correctivo actualizadas mediante el CMMS 79
Tabla 17 Tabla de reducción de tiempos de inactividad 81
Tabla 18 Tabla de acciones implementadas a corto plazo 82
Tabla 19 Tabla de acciones implementadas a mediano plazo 83
Tabla 20 Tabla de acciones implementadas a largo plazo 83
Tabla 21 Tabla de datos descriptivos para los KPIs de mantenimiento 84
Tabla 22 Tabla de estadística descriptiva de los valores de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo 98
Tabla 23 Tabla de la prueba de normalidad para los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo 99
Tabla 24 Tabla de la prueba t de Student para los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo 101

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente del mantenimiento en el sector minero es un factor clave para asegurar la operatividad y productividad de las operaciones. En particular, la disponibilidad de la flota de equipos, que son esenciales para las tareas de extracción, transporte y procesamiento, está directamente relacionada con la capacidad de mantener un flujo continuo de trabajo y minimizar las interrupciones. Sin embargo, en muchas empresas mineras, como en Resefer Cobriza, se observan desafíos significativos en la gestión del mantenimiento, lo que impacta negativamente en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

En un entorno altamente competitivo y con exigencias operativas cada vez más rigurosas, la implementación de tecnologías avanzadas, como los Sistemas de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS), se ha convertido en una estrategia esencial para optimizar las prácticas de mantenimiento. Un CMMS permite automatizar y mejorar la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo, proporcionando herramientas para monitorear, analizar y prever fallas, así como para optimizar el uso de los recursos y reducir los tiempos de inactividad.

La presente tesis, titulada "GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER EN LA UNIDAD MINERA COBRIZA", tiene como objetivo principal medir el impacto de la implementación de un CMMS en la disponibilidad de la flota de equipos en Resefer Cobriza. A través de un enfoque metodológico que incluye un diagnóstico inicial del sistema de mantenimiento actual, la selección e implementación del software ODOO

como CMMS, y el análisis de los resultados obtenidos, se busca demostrar cómo una gestión de mantenimiento más eficiente puede mejorar significativamente la operatividad de los equipos.

La estructura de la tesis se divide en cinco capítulos, cada uno de los cuales aborda diferentes aspectos fundamentales de la investigación:

En el primer capítulo se encuentra el Planteamiento del Problema en este capítulo se define el problema central de la investigación, es decir, cómo la falta de un sistema de gestión de mantenimiento eficiente afecta la disponibilidad de la flota de equipos en la unidad minera Cobriza. Se establecen los objetivos de la tesis, tanto generales como específicos, y se justifica la importancia del estudio.

En el segundo capítulo se encuentran los Antecedentes y Bases Teóricas, aquí se presentan los antecedentes del problema, incluyendo estudios previos y referencias relevantes sobre la gestión de mantenimiento en el sector minero. Además, se desarrollan las bases teóricas que sustentan la implementación de un CMMS, detallando sus componentes, beneficios y la tecnología ODOO.

En el tercer capítulo mencionaremos todo lo relacionado con el diseño Metodológico, en este capítulo se describe la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación. Se explica el enfoque de la investigación, las técnicas de recolección de datos, y los métodos de análisis aplicados. También se justifica la elección del software ODOO y se detalla el proceso de implementación.

En el capítulo cuatro titulado situación Actual y Aplicación del CMMS en este capítulo se centra en el diagnóstico de la situación actual de la empresa Resefer Cobriza, destacando las deficiencias en la gestión de mantenimiento. Se documenta el proceso de integración del CMMS, incluyendo la migración de datos, configuración y puesta en marcha del sistema.

En el capítulo cinco realizaremos el análisis de los Resultados aquí se presentan y analizan los resultados obtenidos tras la implementación del CMMS. Se evalúa el impacto en la disponibilidad de los equipos, la reducción de tiempos de inactividad y la optimización de costos. Además, se discuten los hallazgos y se ofrecen recomendaciones para el futuro.

El autor.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Fundamentación del problema

La gestión de mantenimiento en Resefer Cobriza enfrenta desafíos significativos, impactando directamente la economía y las operaciones. Se presentan fallas no planificadas que resultan en paradas no programadas, generando ineficiencia en el uso de recursos debido a reparaciones de emergencia más costosas y menos efectivas que el mantenimiento preventivo. La documentación inadecuada, por la falta de un sistema informatizado para registrar y seguir actividades, contribuye a una baja disponibilidad de equipos, con valor promedio de 79%.

Estos problemas tienen un impacto directo en los costos, ya que los tiempos de inactividad provocan retrasos en los proyectos mineros e incrementan los gastos operativos.

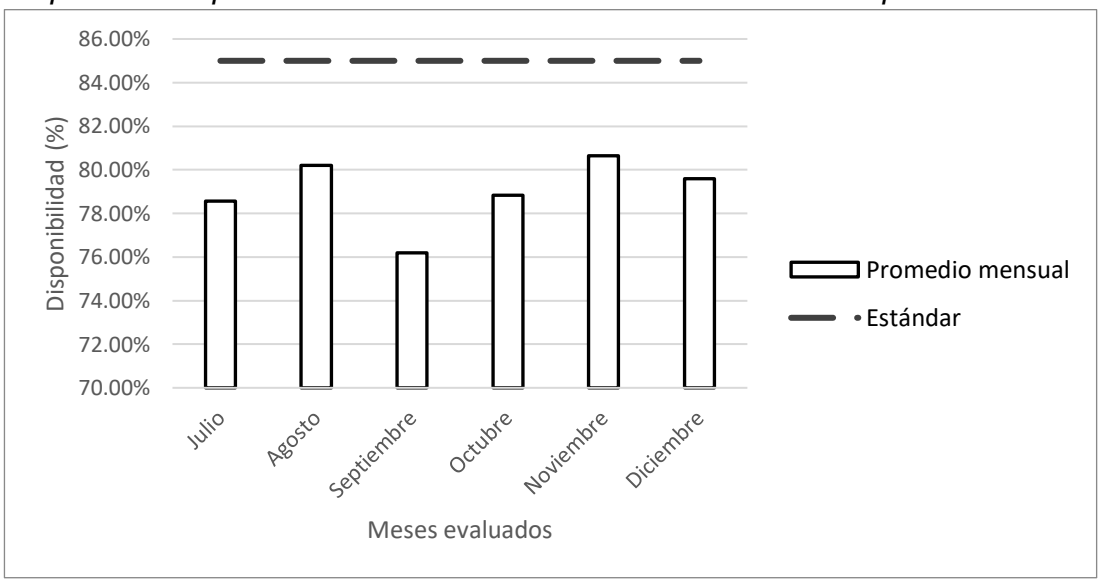
Para abordar estas deficiencias, se ha optado por implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS), que permitirá

la optimización de recursos, aumentando la disponibilidad de los equipos mediante una planificación eficiente y una reducción de los tiempos de inactividad. Además, este sistema facilitará el seguimiento detallado de las actividades de mantenimiento, mejorando la gestión de inventarios y recursos, y ofreciendo herramientas para el análisis de datos.

La investigación se centrará en mejorar la disponibilidad de los equipos de perforación en la unidad minera Cobriza, dada su baja disponibilidad actual del 79%, que afecta negativamente la eficiencia operativa. La reducción de 295 horas anuales de paradas no programadas permitirá disminuir costos por reparaciones imprevistas y asegurar la continuidad de las operaciones subterráneas.

Figura 1

Disponibilidad promedio mensual de los versus el estándar esperado



La flota de equipos pesados de Resefer en Cobriza es crucial para el desempeño diario de la empresa. Sin embargo, los equipos han presentado una baja disponibilidad promedio del 79% entre junio y diciembre de 2023, debido a 380 incidencias por fallas mecánicas o mantenimientos no

planificados. Actualmente, el mantenimiento se basa en métodos reactivos y preventivos rudimentarios, controlados mediante una hoja de Excel y un plan de mantenimiento por horas (125, 250, 500 y 1000 horas). Como se observa en la tabla a continuación, ninguno de los equipos alcanza el estándar esperado del 85% de disponibilidad.

Frente a esta realidad, resulta evidente la necesidad de modernizar el proceso de mantenimiento de estos tres equipos clave mediante la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS). Este sistema permitirá programar y ejecutar tareas de forma eficiente, el análisis de datos históricos y operativos, y mejorar la disponibilidad general. La utilización de un CMMS contribuirá a reducir los tiempos de inactividad, optimizar los recursos disponibles, asegurar una documentación precisa y tomar decisiones basadas en datos confiables que garanticen la sostenibilidad de la operación minera.

Tabla 1

Tabla de disponibilidad durante el año 2023 de tres equipos Jumbo de la empresa Resefer

2023	JB-291-EE	JB-296-EE	JB-301-EE	Promedio mensual
Julio	74.55%	80.19%	80.97%	78.57%
Agosto	78.18%	82.47%	79.94%	80.19%
Septiembre	74.35%	79.94%	74.29%	76.19%
Octubre	77.60%	76.49%	82.40%	78.83%
Noviembre	78.96%	80.97%	82.01%	80.65%
Diciembre	79.42%	79.94%	79.42%	79.59%
Promedio por equipo	77.18%	80.00%	79.84%	79.00%

La adopción de un enfoque de mantenimiento preventivo soportado por un CMMS representa una alternativa viable y estratégica para Resefer Cobriza, dada la situación crítica de disponibilidad que enfrentan los equipos

JB-291-EE, JB-296-EE y JB-301-EE. Con promedios mensuales que han oscilado entre 74.29% y 82.47%, estos equipos reflejan claramente la ineficiencia del sistema actual. La incorporación de tecnología permitirá lograr mejoras significativas en la gestión de activos, optimizar la inversión en mantenimiento y garantizar que los objetivos de producción no se vean comprometidos por paradas inesperadas.

La implementación de un CMMS no solo es viable, sino que también es una estrategia efectiva para mejorar la gestión del mantenimiento y la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza. Se espera que con este sistema se logre una reducción significativa en los tiempos de inactividad, una mejora en la eficiencia operativa y una optimización de los costos de mantenimiento. Además, la implementación del CMMS contribuirá a una mejor planificación y toma de decisiones, basadas en datos precisos y actualizados, asegurando así una operación más eficiente y rentable.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el impacto que genera la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza?

¿Qué estrategias de mantenimiento pueden ser empleadas para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad?

¿Cómo determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el impacto que genera la aplicación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

Determinar las estrategias de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad.

Determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

La implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) en Resefer Cobriza es esencial para mejorar la disponibilidad y gestión de la flota de equipos, una necesidad crítica para la operación eficiente y segura de la empresa. En primer lugar, la mejora de la disponibilidad operativa de los equipos es fundamental, ya que las fallas mecánicas y los mantenimientos no planificados afectan negativamente la eficiencia operativa, causan retrasos y comprometen la productividad.

Un CMMS permitirá una mejor planificación y ejecución del mantenimiento, reduciendo las interrupciones y aumentando significativamente la disponibilidad operativa de la flota. En segundo lugar, la optimización de los recursos de mantenimiento es crucial para minimizar el desperdicio y maximizar la efectividad. Mediante la estandarización y sistematización de las actividades de mantenimiento, el CMMS asegurará el uso óptimo de recursos como tiempo, mano de obra y materiales, contribuyendo así a la sostenibilidad financiera y operativa de la empresa.

Además, la seguridad de las operaciones es una prioridad en cualquier entorno industrial, y un sistema de mantenimiento bien gestionado reduce el riesgo de fallos inesperados y peligrosos. El CMMS permitirá que todas las intervenciones de mantenimiento se realicen de manera segura y conforme a las normativas vigentes, mejorando tanto la seguridad como la fiabilidad de los equipos. En conjunto, estas mejoras no solo incrementarán la eficiencia y productividad de Resefer Cobriza, sino que también garantizarán operaciones más seguras y confiables, justificando plenamente la necesidad de este estudio e implementación.

1.5 Alcances y limitaciones

El proyecto abarcará la implementación completa de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para la flota de equipos de Resefer Cobriza, incluyendo la selección del sistema más adecuado y su integración con las operaciones existentes. Este sistema permitirá una gestión centralizada y eficiente de todas las actividades de mantenimiento, optimizando la disponibilidad operativa de los equipos mediante estrategias de mantenimiento preventivo que reducirán fallas no planificadas y tiempos de inactividad.

Además, el proyecto incluirá programas de capacitación para el personal de mantenimiento, asegurando que estén preparados para operar el nuevo sistema y aplicar las mejores prácticas de mantenimiento. Se estandarizarán y sistematizarán todas las actividades de mantenimiento, garantizando que las intervenciones sean oportunas, eficientes y que se registren y analicen adecuadamente los datos de mantenimiento.

También se implementarán procedimientos y normativas que aseguren que todas las intervenciones de mantenimiento se realicen de manera segura y conforme a las normativas vigentes, mejorando tanto la seguridad como la fiabilidad de la flota de equipos.

Uno de los principales desafíos será la resistencia al cambio por parte del personal, quienes podrían estar acostumbrados a los métodos tradicionales de gestión de mantenimiento y podrían mostrar resistencia a adoptar el nuevo sistema, lo que requerirá tiempo y esfuerzos adicionales para lograr una aceptación y adaptación completa. La implementación del CMMS

y la capacitación del personal implicarán costos significativos, que deberán ser gestionados adecuadamente para no sobrepasar el presupuesto del proyecto.

Además, la eficiencia del CMMS dependerá en gran medida de la infraestructura tecnológica de la empresa; problemas con la red o los servidores podrían afectar la operatividad del sistema. La implementación completa, incluyendo la capacitación del personal y la adaptación de las estrategias de mantenimiento, podría requerir un tiempo considerable, durante el cual la eficiencia operativa podría verse afectada temporalmente.

Otro desafío será garantizar que el CMMS seleccionado sea adaptable a las necesidades específicas de la flota de equipos y operaciones de Resefer Cobriza, ya que cualquier limitación en la personalización del sistema podría afectar su eficacia. Finalmente, el proceso de evaluación y mejora continua del CMMS y de las estrategias de mantenimiento requerirá un monitoreo constante y ajustes periódicos, lo cual demandará recursos y tiempo adicionales

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Alata e Infantes (2024), en su trabajo de tesis titulado “Implementación de un sistema de Gestión de Mantenimiento para incrementar la disponibilidad de flota en la empresa Inversiones Generales Tamariz S.A.C.”, concluyeron y recomendaron que la implementación de dicho sistema permitió aumentar la disponibilidad de la flota del 73.81% al 91.16% en el primer año de implementación. Este proyecto requirió una inversión de S/.115,875.00 soles y generó un ahorro de S/.807,033.79 soles en el mismo período, logrando una relación de costo-beneficio de 6.96, lo que indica su alta rentabilidad. Adicionalmente, se alcanzó un tiempo promedio de reparación de 24.83 horas, el cual, aunque aún es elevado, se espera que mejore a medida que se optimice el historial de repuestos necesarios en stock. El tiempo promedio para fallar de los equipos fue de 257.74 horas. Estas conclusiones demuestran la efectividad y rentabilidad de un sistema de gestión de

mantenimiento bien implementado, resaltando su impacto positivo en la disponibilidad de los equipos y la eficiencia operativa.

Hernández y Bravo (2023) demostraron en su investigación que la aplicación de un programa de mantenimiento preventivo incrementó significativamente la disponibilidad de una flota de equipos mineros sin rieles, elevándola de un 75,66% a un 95,46%, superando el estándar mínimo del 85%. Este incremento del 19,80% fue posible gracias a la optimización de los procesos de inspección y reparación. Además, se logró mejorar el tiempo medio entre fallos (MTTF) de 16,40 horas a 70,68 horas, lo que refleja un aumento de 54,28 horas en la confiabilidad operativa. El estudio también evidenció una mejora en la mantenibilidad, reduciendo el tiempo medio de reparación (MTTR) de 5,24 horas a 3,32 horas, lo que permitió disminuir las interrupciones no planificadas en un 36,6%. Los investigadores destacaron la necesidad de aplicar mantenimientos de vida media en equipos críticos, como los scoops con más de 10.000 horas de uso, para extender su vida útil en aproximadamente cinco años. Asimismo, resaltaron la importancia de gestionar adecuadamente el inventario de repuestos críticos identificados en análisis de criticidad. Finalmente, los autores enfatizaron que la capacitación continua del personal técnico es fundamental para asegurar la correcta ejecución de las tareas de mantenimiento y la precisión en el registro de datos. Esto permite una mejor planificación de actividades futuras y una evaluación más confiable de los indicadores de desempeño. La implementación disciplinada de estas estrategias contribuye a maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en operaciones mineras subterráneas.

La tesis, presentada por Ávila Cochancela, S. & Crespo Guillén, S. (2022) a la Universidad Politécnica Salesiana, se centró en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos médicos del Hospital Santa Inés. El objetivo principal de la investigación fue asegurar la operatividad y prolongar la vida útil de los equipos médicos, optimizando así la atención al paciente y la gestión hospitalaria. Esta investigación se clasificó como un estudio de tipo descriptivo y de campo, con un nivel propositivo, ya que no solo describió la situación actual, sino que también propuso una solución concreta. Los instrumentos utilizados para la recopilación de datos incluyeron la revisión de la documentación técnica de los equipos, entrevistas con el personal médico y de mantenimiento del hospital, y la observación directa del funcionamiento de la maquinaria. Para lograr su objetivo, los autores desarrollaron la investigación mediante una fase de diagnóstico inicial, donde se identificaron los equipos críticos y sus requerimientos de mantenimiento, seguida de la elaboración de un cronograma de actividades de mantenimiento preventivo detallado, incluyendo la frecuencia y el tipo de intervención. La conclusión más relevante de la investigación es que un plan de mantenimiento preventivo bien estructurado y aplicado de manera sistemática es fundamental para garantizar la disponibilidad y el funcionamiento óptimo de los equipos médicos, lo que se traduce directamente en una mejora significativa en la calidad de la atención sanitaria y una reducción de los costos asociados a fallas inesperadas y reparaciones correctivas, validando la necesidad de este tipo de iniciativas en entornos hospitalarios.

La tesis, elaborada por Ochoa Ordoñez, W. & Tenecela Armijos, J. (2022) para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, con el objetivo de proponer un plan de mantenimiento preventivo mediante un análisis de criticidad para los vehículos utilitarios del Departamento de Cuerpo de Bomberos del Cantón Pasaje. Esta investigación se enmarcó en un tipo de investigación descriptiva y documental, con un nivel descriptivo. Los autores buscaron identificar y clasificar la criticidad de cada vehículo para así desarrollar un plan de mantenimiento acorde a sus necesidades y características operativas. Se utilizaron como instrumentos la observación directa, entrevistas al personal encargado de la flota vehicular y revisión documental de registros de mantenimiento existentes. La investigación se realizó en las instalaciones del Cuerpo de Bomberos del Cantón Pasaje, bajo las condiciones operacionales y administrativas propias de la institución, lo que permitió un contacto directo con los vehículos y el personal involucrado. Los autores desarrollaron la investigación recopilando datos sobre el estado actual de los vehículos, las fallas recurrentes y los tiempos de inactividad, para luego aplicar un análisis de criticidad que priorizó las intervenciones de mantenimiento. La conclusión más importante de la investigación radica en la demostración de que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad optimiza la disponibilidad de los vehículos, reduce los costos por reparaciones correctivas y mejora la eficiencia operativa del Cuerpo de Bomberos, asegurando que los vehículos estén en óptimas condiciones para atender las emergencias.

Valdez García (2017) evidenció en su investigación que la aplicación del mantenimiento autónomo incrementó la disponibilidad mecánica de equipos

mineros sin rieles en un 85%, validando la eficacia de este enfoque en operaciones mineras. Este avance fue posible gracias a un programa estructurado de capacitación que no solo mejoró la disponibilidad de los equipos, sino también las prácticas operativas. Como resultado, el desempeño de los operadores evolucionó de niveles "Bajo" y "Regular" a categorías "Bueno" y "Excelente". El estudio también reveló que esta metodología generó un impacto positivo en la productividad, logrando un incremento en la producción de plata hasta alcanzar 28.112,87 toneladas mensuales sin requerir mayor dotación de personal. La investigación resaltó que el mantenimiento autónomo fomenta una cultura de responsabilidad compartida entre operadores y técnicos. Esta sinergia permitió optimizar el uso de los equipos y reducir tiempos improductivos asociados a malas prácticas operativas. Finalmente, el investigador enfatizó que la adopción de esta filosofía promueve el trabajo colaborativo, alineando los esfuerzos del personal con los objetivos organizacionales. La investigación demostró que la capacitación continua en mantenimiento autónomo es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia operativa en minería subterránea. Estos hallazgos refuerzan la importancia de implementar sistemas de gestión que involucren activamente a los operadores en el cuidado de los equipos.

La tesis titulada "Propuesta de un gmao para la gestión del mantenimiento de un sistema ferroviario", realizada por Berrezueta Merchán, F. & Siguencia Lozano (2016) en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, tuvo como objetivo principal proponer un sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) para los nuevos sistemas ferroviarios en desarrollo en Ecuador, como el Metro de Quito, la Aerovía de

Guayaquil y el Tranvía de Cuenca, con el fin de mejorar la gestión integral del mantenimiento. La investigación fue de tipo exploratoria, de campo y descriptiva, enfocándose en recopilar información sobre sistemas ferroviarios urbanos, gestión de mantenimiento y normativas técnicas. Se utilizaron técnicas como revisión bibliográfica, recopilación de información de fuentes primarias y secundarias, y el desarrollo de diagramas de flujo y mapas conceptuales mediante el software RFFLOW, así como la creación de una base de datos en Microsoft Excel. Los autores identificaron cuatro sistemas principales (Material rodante, Infraestructura ferroviaria, Suministro de energía y Red de comunicaciones) y desarrollaron siete módulos interconectados para el GMAO. La conclusión más relevante fue que la propuesta proporciona una base sólida para la gestión eficiente del mantenimiento en sistemas ferroviarios, facilitando la planificación, el control de inventarios y la reducción de costos. La investigación se realizó bajo condiciones de análisis bibliográfico y de campo, con información actualizada y normativas vigentes, logrando un modelo adaptable a las necesidades de los proyectos ferroviarios en Ecuador.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento

2.2.1.1 Definición

El mantenimiento es una función crítica en la gestión de equipos y maquinaria, que busca asegurar la operatividad, confiabilidad y longevidad de los activos. De acuerdo con Mobley (2002), "el mantenimiento se define como todas las acciones necesarias para mantener un sistema o componente en funcionamiento conforme a sus especificaciones originales". Esta definición

destaca la importancia de conservar las condiciones de diseño y operatividad de los equipos.

Por su parte, Blanchard y Fabrycky (1998) señalan que "el mantenimiento incluye todas las actividades dirigidas a conservar o restaurar un equipo en un estado en el que pueda realizar su función requerida". Esto subraya el aspecto preventivo y correctivo del mantenimiento, englobando tanto las tareas de conservación como las de restauración.

Otra perspectiva es proporcionada por Wireman (2005), quien indica que "el mantenimiento es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un equipo, destinadas a mantenerlo o restaurarlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida". Esta definición resalta la integración de diversas disciplinas y enfoques necesarios para una gestión efectiva del mantenimiento.

Finalmente, para Moubray (1997), "el mantenimiento es el conjunto de actividades que aseguran que los activos físicos continúen desempeñando las funciones deseadas". Moubray enfatiza la función deseada de los activos, destacando la importancia del mantenimiento en la consecución de los objetivos operacionales.

2.2.1.2 Terminología básica para el área de mantenimiento

Rondón (2021) establece un marco conceptual fundamental para la terminología técnica utilizada en gestión de mantenimiento. Un accesorio se define como cualquier elemento constitutivo de una máquina o sistema, incluyendo componentes menores como arandelas, tuercas o placas electrónicas. El ciclo de vida representa el período operativo de un activo,

desde su adquisición hasta su retiro definitivo del servicio. Estos conceptos son esenciales para estandarizar los procesos de mantenimiento industrial.

En el ámbito de componentes, se distingue entre piezas mecánicas (engranajes, rodamientos) y elementos eléctricos (motores, baterías) según su función y valor. La confiabilidad se entiende como la capacidad de un equipo para operar continuamente bajo condiciones específicas, mientras la disponibilidad cuantifica el tiempo útil porcentual de operación potencial. Un equipo se conceptualiza como una máquina individual o sistema integrado que cumple funciones productivas específicas, como sistemas de trituración o transporte por fajas.

Los eventos de falla corresponden a anomalías operativas detectables, mientras que la falla en sí describe la naturaleza específica del problema. La función representa el desempeño esperado de un equipo según sus especificaciones de diseño. La inspección implica evaluaciones preventivas mediante instrumentación calibrada para verificar parámetros operativos. La lubricación busca minimizar el desgaste por fricción mediante la aplicación de sustancias adecuadas. La mantenibilidad refleja la facilidad de reparación de un equipo para restablecer su capacidad productiva.

El mantenimiento en parada se ejecuta exclusivamente durante detenciones programadas. Una máquina se define como un ensamblaje de componentes que transforma o transmite energía, mientras los mecanismos son conjuntos de piezas con movimiento restringido. Los parámetros son variables cuantificables del desempeño equipos. El pronóstico utiliza diagnósticos para predecir condiciones futuras de los activos. Finalmente, la

parada general corresponde a la interrupción planificada de la producción para ejecutar actividades de mantenimiento correctivo o preventivo.

2.2.1.3 Tipos de mantenimiento

a. Mantenimiento correctivo

Botero (1993) describe este enfoque de mantenimiento como aquel que se ejecuta únicamente cuando ocurre una falla en los equipos, siendo la propia máquina la que determina el momento de intervención. Este modelo reactivo es frecuentemente adoptado por pequeñas empresas como su única estrategia de mantenimiento, principalmente por limitaciones presupuestarias o de organización. Sin embargo, esta práctica conlleva importantes riesgos operativos al no permitir una planificación anticipada.

Esta forma de mantenimiento correctivo puede resultar especialmente problemática en equipos críticos para la producción, donde los tiempos de parada no planificados generan costos elevados. Botero señala que, si bien este enfoque puede parecer económico inicialmente, a la larga resulta más costoso debido a los daños colaterales que pueden producirse y a la pérdida de capacidad productiva durante las reparaciones de emergencia.

b. Mantenimiento periódico

Botero (1993) describe una metodología de mantenimiento basada en intervalos temporales predeterminados, comúnmente establecidos en periodos de tres, seis o doce meses. Este enfoque sistemático es característico de organizaciones con operaciones altamente planificadas, donde los ciclos de producción y mantenimiento se coordinan con considerable anticipación. La estrategia responde a la necesidad de

maximizar el tiempo productivo mientras se minimizan las interrupciones por actividades de reparación. El modelo resulta particularmente adecuado para empresas donde la continuidad operacional es prioritaria, requiriendo que los procesos correctivos se ejecuten dentro de ventanas de tiempo estrictamente controladas. La planificación calendárica permite una gestión eficiente de recursos, incluyendo la disponibilidad de repuestos y personal técnico. Esta previsibilidad contrasta con enfoques reactivos, ofreciendo mayor estabilidad a los procesos productivos.

c. Mantenimiento programado

Botero (1993) explica que este enfoque de mantenimiento parte del principio de que todos los componentes de un equipo se desgastan uniformemente bajo condiciones operativas similares. Según esta filosofía, las piezas deben ser reemplazadas sistemáticamente en intervalos preestablecidos, independientemente de su estado real o de las condiciones específicas de operación a las que fueron sometidas. Esta práctica busca estandarizar los procesos de mantenimiento mediante una planificación rígida basada en tiempos de servicio. Esta metodología presenta una limitación significativa al no considerar el estado real de los componentes durante las intervenciones programadas. Como consecuencia, con frecuencia se reemplazan piezas que aún mantienen su vida útil residual, generando gastos innecesarios en repuestos y mano de obra. Esta falta de evaluación específica conduce a un incremento injustificado en los costos de mantenimiento sin necesariamente mejorar la confiabilidad de los equipos.

d. Mantenimiento predictivo

Botero (1993) describe un enfoque de mantenimiento basado en evaluación técnica previa, donde se realizan pruebas no destructivas y mediciones instrumentadas para determinar el estado real de los componentes. Este método requiere equipos especializados y personal calificado para interpretar los datos obtenidos durante la operación normal de los equipos. Aunque implica mayores costos iniciales y cierto riesgo operacional al realizarse diagnósticos en condiciones de trabajo reales, ofrece ventajas significativas en la gestión del mantenimiento. El autor concluye que este sistema predictivo genera beneficios productivos considerables al reducir paradas innecesarias y prolongar la vida útil de los componentes. La capacidad de anticipar fallas mediante monitoreo técnico especializado compensa los mayores costos operativos, resultando en una estrategia de mantenimiento más eficiente a largo plazo para equipos críticos de producción.

e. Mantenimiento bajo condiciones

Botero (1993) conceptualiza este enfoque como una estrategia de gestión más que como una modalidad específica de mantenimiento, destacando su adaptabilidad a las condiciones operativas reales de cada área productiva. Numerosas organizaciones implementan esta metodología dinámica, ajustando continuamente sus planes de mantenimiento según las exigencias particulares de cada equipo y proceso. Si bien ofrece flexibilidad operacional, requiere un análisis cuidadoso de los riesgos asociados a posibles fallas imprevistas durante la producción. La implementación exitosa de esta estrategia requiere equipos técnicos multidisciplinarios capaces de analizar múltiples variables: características técnicas de los equipos,

condiciones ambientales, patrones de producción y potenciales riesgos operativos. Botero subraya que solo mediante este análisis integral se puede lograr el equilibrio óptimo entre disponibilidad operativa y seguridad, maximizando así los beneficios de este enfoque adaptativo de gestión de mantenimiento.

f. Mantenimiento preventivo

Botero (1993) plantea un enfoque de mantenimiento que integra principios de los modelos periódicos y programados, complementándolos con evaluaciones técnicas sistemáticas. Este sistema híbrido no solo ejecuta las intervenciones planificadas, sino que incorpora actividades preventivas como lubricaciones e inspecciones de condición para monitorear el estado real de los componentes. La metodología busca equilibrar la planificación predeterminada con evaluaciones objetivas del desgaste operativo. El autor sostiene que esta filosofía combinada optimiza los recursos al intervenir solo los componentes necesarios, mientras mantiene actividades básicas de prevención. Al integrar mantenimiento programado con evaluaciones de condición, se logra mayor precisión en la gestión de los activos, reduciendo costos innecesarios por reemplazos prematuras y minimizando riesgos de fallas inesperadas. El resultado es un sistema más eficiente que los enfoques tradicionales.

2.2.1.4 Normas internacionales

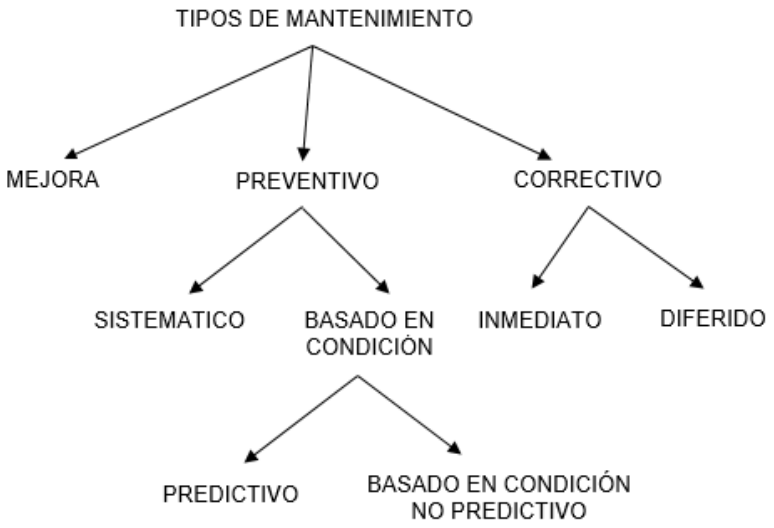
La norma técnica UNE-EN (2015) enfatiza el carácter estratégico que posee el mantenimiento industrial en la gestión eficiente de los activos físicos empresariales. Este marco normativo reconoce que las actividades de

mantenimiento constituyen un pilar fundamental para garantizar la operatividad y rentabilidad de los equipos productivos. Como parte de su estandarización, la norma clasifica las intervenciones en tres categorías principales: mantenimiento para la mejora, preventivo y correctivo.

La implementación de esta normativa permite a las organizaciones desarrollar sistemas de gestión de mantenimiento más eficaces y estandarizados. Al definir claramente estos tres enfoques, la norma UNE-EN (2015) proporciona un marco de referencia para diseñar programas de mantenimiento adaptados a las necesidades específicas de cada empresa y tipo de activo físico. Esta estandarización facilita la evaluación comparativa de resultados y la mejora continua de los procesos.

Figura 2

Tipos de mantenimiento en base a la UNE-EN 13306



Nota: Recogido de Norma UNE-EN 13306:2018 de UNE (2018)

El mantenimiento debe de realizarse interpretando las normas de trabajo dentro de una empresa, así como también aspirar a registrar y trabajar bajo las normas internacionales de un sistema referenciado y cuya auditoría sea posible; por ejemplo, la norma internacional ISO 55000 que se encarga de

registrar los requerimientos, principios, terminología, y los beneficios cuando una empresa adopta la gestión de activos.

2.2.1.5 Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento constituye un sistema integral que busca optimizar el ciclo de vida de los activos mediante estrategias técnicas y administrativas. Según la norma ISO 55000, implica coordinar actividades para preservar la funcionalidad de los equipos mientras se minimizan costos y riesgos. Su aplicación abarca desde la identificación de necesidades hasta la evaluación de resultados, integrando metodologías como RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para priorizar recursos.

Los componentes clave incluyen la planificación estratégica, el control de ejecución y el análisis de indicadores de desempeño. La planificación establece frecuencias de intervención basadas en criterios técnicos, mientras el control garantiza el cumplimiento mediante sistemas de seguimiento. Indicadores como MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos) y MTTR (Tiempo Medio de Reparación) permiten medir eficiencia y mejorar procesos continuamente, incluso logrando regular el consumo de recursos (Mobley, 2002).

Las componentes esenciales de la gestión del mantenimiento incluyen la planificación, la programación, la ejecución y el control de las actividades. La planificación estratégica define los objetivos y políticas de mantenimiento, mientras que la programación detalla las tareas, recursos y tiempos específicos. La ejecución implica la realización efectiva de las intervenciones, y el control se encarga de monitorear el desempeño mediante indicadores

clave. Esta estructura garantiza una aproximación sistemática y orientada a resultados en la administración de los activos (Mobley, 2002).

La digitalización ha transformado esta disciplina mediante herramientas como CMMS (Sistemas Computarizados de Gestión de Mantenimiento), que centralizan datos históricos y facilitan la automatización de órdenes de trabajo. Plataformas como Maximo o SAP PM integran módulos de inventario, costos y análisis predictivo, permitiendo una gestión basada en datos. Estas soluciones son particularmente valiosas para flotas de equipos complejos que operan en condiciones extremas.

2.2.2 Mantenimiento preventivo

2.2.2.1 Definición

Angel y Olaya (2014) conceptualizan el mantenimiento preventivo como una estrategia proactiva orientada a anticipar posibles fallas en equipos industriales. Su implementación requiere un diagnóstico basado en análisis estadísticos del comportamiento de los equipos, complementado con las especificaciones técnicas y el conocimiento empírico acumulado por el personal técnico. Este enfoque permite desarrollar planes de intervención más precisos y efectivos para preservar la funcionalidad de los activos productivos.

Varela (2013) enfatiza el valor estratégico de los programas de mantenimiento preventivo como mecanismo para mitigar riesgos operacionales y financieros. Según su planteamiento, esta metodología no solo protege la integridad de los operarios, sino que también previene costosas interrupciones en la producción. El autor define esta práctica como

un sistema estructurado de acciones técnicas destinadas a preservar o recuperar las condiciones óptimas de funcionamiento de los equipos.

Santiago (2012) aborda el mantenimiento preventivo como una disciplina técnica que establece marcos conceptuales y metodológicos para la gestión de activos productivos. Su investigación propone la implementación de políticas empresariales estandarizadas que definan criterios de observación, técnicas de intervención y parámetros de calidad. Este enfoque sistémico busca optimizar los procesos de mantenimiento mediante la implementación de protocolos que garanticen la continuidad operativa y la eficiencia.

2.2.2.2 Tipos de mantenimiento preventivo

Varela (2013) identifica diversas modalidades de mantenimiento preventivo, todas enfocadas en minimizar la ocurrencia de fallos en los procesos productivos, pero diferenciándose en sus métodos de aplicación:

a. Mantenimiento preventivo sistemático

Varela (2013) explica que, el mantenimiento sistemático se ejecuta según un calendario predeterminado basado en intervalos temporales u horas de operación, permitiendo una planificación anticipada de recursos y repuestos. Esta metodología facilita la organización del trabajo considerando factores como la criticidad de los equipos y la disponibilidad de componentes. Este tipo de mantenimiento está orientado a un esquema previo, propuesto por un especialista para el control de indicadores en los equipos.

b. Mantenimiento preventivo condicional

El enfoque condicional responde a indicadores específicos que señalan la necesidad de intervención, detectados mediante monitoreo constante del estado de los equipos. Esta variante permite actuar ante señales tempranas de deterioro o riesgo potencial, optimizando así el uso de los recursos técnicos. Requiere sistemas de inspección robustos que puedan identificar variaciones en el desempeño normal de la maquinaria antes que ocurran fallos mayores (Varela, 2013).

c. Mantenimiento preventivo overhaul del equipo

La modalidad overhaul implica el retiro completo del equipo de producción para su desmontaje integral y renovación de componentes críticos. Aunque demanda mayores recursos y tiempo, resulta esencial para equipos con prolongados periodos de servicio continuo. Su implementación exige una cuidadosa programación para minimizar el impacto en la producción, considerando factores como disponibilidad de equipos alternos y coordinación con los planes operativos (Varela, 2013).

2.2.2.3 Herramientas para la gestión del mantenimiento

a. Disponibilidad

Mora (2009) conceptualiza la disponibilidad de equipos reparables como un indicador probabilístico que expresa la capacidad de un activo para permanecer operativo durante un período determinado. Este parámetro técnico se calcula mediante el análisis de dos variables fundamentales: la frecuencia de fallos y la eficiencia de los procesos de reparación. La determinación precisa de este índice requiere el registro sistemático tanto de los intervalos operativos como de los tiempos de inactividad por

mantenimiento. Esta métrica de desempeño adquiere especial relevancia en contextos industriales donde la continuidad productiva es prioritaria, ya que permite evaluar objetivamente la confiabilidad de los activos productivos. La metodología propuesta por Mora proporciona un marco cuantitativo para evaluar y mejorar la gestión de mantenimiento, transformando datos operacionales en información valiosa para la toma de decisiones técnicas y gerenciales.

b. Confiabilidad

Mora (2009) define la confiabilidad como un indicador estadístico que cuantifica la probabilidad de operación continua de un equipo o sistema sin interrupciones por fallas durante un período específico. Este concepto técnico requiere para su cálculo preciso el conocimiento detallado de las condiciones operativas estándar bajo las cuales funciona el equipo. La evaluación de este parámetro exige que la maquinaria opere dentro de sus parámetros de diseño establecidos para garantizar mediciones válidas. Esta métrica de desempeño resulta esencial para la planificación de mantenimiento y la gestión de activos industriales, proporcionando una base cuantitativa para evaluar la robustez de los equipos. La confiabilidad operacional, cuando se mide bajo condiciones controladas y repetibles, se convierte en un indicador clave para la toma de decisiones sobre estrategias de mantenimiento y renovación de maquinaria.

c. Mantenibilidad

Mora (2009) conceptualiza la mantenibilidad como una propiedad inherente de los equipos que representa su capacidad para ser restaurados a condiciones operativas dentro de un intervalo temporal predeterminado. Este

atributo se expresa en términos probabilísticos, indicando la posibilidad de completar satisfactoriamente las actividades de reparación o mantenimiento en un plazo específico. La evaluación de este parámetro requiere establecer condiciones controladas de trabajo que permitan mediciones consistentes y comparables. La mantenibilidad constituye un indicador clave para la gestión de activos, permitiendo evaluar y mejorar los protocolos de intervención técnica. Al cuantificar esta probabilidad de reparación exitosa dentro de márgenes temporales definidos, las organizaciones pueden optimizar sus estrategias de mantenimiento y reducir el impacto de las paradas técnicas en la productividad. Este enfoque probabilístico proporciona una base objetiva para la toma de decisiones en gestión de mantenimiento.

2.2.3 Disponibilidad mecánica

2.2.3.1 Definición

Díaz (1992) define este indicador como la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones operativas cuando sea requerido, considerando su historial completo de utilización. El cálculo incorpora múltiples factores temporales, incluyendo periodos de funcionamiento efectivo, tiempos de reparación activa, intervalos de inactividad programada, mantenimientos preventivos y demoras administrativas o logísticas. Esta métrica integral evalúa el desempeño real del equipo bajo condiciones de operación estandarizadas.

Knezevic (1996) destaca la relevancia de este parámetro como criterio decisivo en procesos de selección de maquinaria industrial. Al comparar alternativas tecnológicas, la evaluación comparativa de disponibilidad

proporciona información valiosa sobre la capacidad operativa real de cada opción. Este enfoque permite a los compradores fundamentar sus decisiones en datos objetivos que reflejen el potencial productivo integral de los equipos, más allá de sus especificaciones técnicas iniciales.

Mora (2009) establece que este indicador se deriva matemáticamente de las distribuciones estadísticas de fallos y tiempos de reparación característicos de cada equipo. La investigación resalta su utilidad no solo como herramienta de evaluación, sino también como parámetro de diseño que puede optimizarse desde la fase de concepción tecnológica. Esta dualidad convierte a la disponibilidad en un concepto fundamental tanto para usuarios como para fabricantes de equipos industriales.

La ecuación para obtener la disponibilidad es:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

D: Disponibilidad $(\%)$.

$MTBF$: Tiempo promedio entre fallas $(Horas)$.

$MTTR$: Tiempo promedio de reparación $(Horas)$.

2.2.3.2 Tipos de disponibilidad

Mora (2009) identifica tres categorías fundamentales para evaluar la disponibilidad de equipos industriales:

a. Disponibilidad Inherente (Ai)

La disponibilidad inherente representa la capacidad teórica máxima de un equipo, considerando exclusivamente intervenciones correctivas y suponiendo disponibilidad inmediata de recursos. Este indicador refleja únicamente el potencial del diseño técnico, sin contemplar limitaciones operativas reales. Constituye el parámetro base que los fabricantes pueden garantizar en condiciones ideales.

b. Disponibilidad Alcanzable (Aa)

La disponibilidad alcanzable incorpora tanto acciones correctivas como preventivas, representando una métrica más cercana a la realidad operativa. Aunque mantiene el supuesto de recursos ilimitados, considera el impacto de los programas de mantenimiento planificado. Este indicador depende tanto de las características de diseño del equipo como de la infraestructura de la planta donde opera. Representa el estándar óptimo alcanzable en condiciones controladas.

c. Disponibilidad Operacional (Ao)

La disponibilidad operacional constituye el indicador más realista, obtenido del desempeño diario del equipo en su entorno productivo real. Este valor concreto refleja la eficacia de la organización en la gestión de recursos técnicos y humanos para el mantenimiento. Incluye todas las variables operacionales que afectan el desempeño del equipo, ofreciendo una medida integral de la eficiencia productiva alcanzada.

2.2.4 Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado

2.2.4.1 Definición

Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS, por sus siglas en inglés) es una herramienta de software diseñada para ayudar a gestionar las operaciones de mantenimiento de una organización. De acuerdo con Mobley (2002), "un CMMS es una base de datos informática que contiene toda la información necesaria para mantener el historial de mantenimiento de una organización, programar tareas de mantenimiento preventivo, y gestionar inventarios de repuestos y órdenes de trabajo".

El CMMS se compone de varios módulos que permiten a los usuarios realizar una amplia gama de funciones de mantenimiento de manera más eficiente y organizada. A continuación, se detallan algunos de los principales módulos y funcionalidades:

- Gestión de Órdenes de Trabajo: Un CMMS permite crear, asignar, y rastrear órdenes de trabajo de manera eficiente. Esto incluye la programación de tareas, la asignación de recursos, y el seguimiento del progreso y costos asociados con cada orden de trabajos. Según Smith y Hawkins (2004), "la gestión de órdenes de trabajo es fundamental para garantizar que todas las tareas de mantenimiento se realicen de manera oportuna y eficaz, minimizando el tiempo de inactividad del equipo".
- Mantenimiento Preventivo: Los CMMS son esenciales para la planificación y programación del mantenimiento preventivo, ayudando a evitar fallas imprevistas y prolongar la vida útil de los

equipos. De acuerdo con Palmer (1999), "los CMMS permiten programar inspecciones regulares y tareas de mantenimiento preventivo, lo que contribuye a mantener los equipos en condiciones óptimas y reducir el riesgo de fallas".

- Gestión de Inventarios: Los CMMS facilitan la gestión de inventarios de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento, asegurando que los recursos estén disponibles cuando se necesiten. Según Kennedy (2006), "un sistema eficaz de gestión de inventarios dentro de un CMMS ayuda a reducir los costos de almacenamiento y evitar retrasos en las reparaciones debido a la falta de piezas".
- Historial de Mantenimiento: Un CMMS mantiene un registro detallado del historial de mantenimiento de cada equipo, incluyendo todas las intervenciones realizadas, las piezas reemplazadas, y los costos incurridos. Mobley (2002) indica que "el historial de mantenimiento es crucial para la toma de decisiones informadas sobre la reparación o reemplazo de equipos, así como para el análisis de tendencias y la planificación futura".
- Informes y Análisis: Los CMMS proporcionan herramientas para generar informes y realizar análisis sobre las actividades de mantenimiento, ayudando a identificar áreas de mejora y optimizar los procesos. Según Wireman (2005), "los informes generados por un CMMS son vitales para medir el rendimiento del mantenimiento, evaluar la eficacia de los programas de mantenimiento preventivo, y justificar inversiones en mantenimiento".

2.2.4.2 Objetivos y beneficios del CMMS

La aplicación de un CMMS se extiende a diversas facetas del mantenimiento, desde la programación de tareas preventivas y correctivas hasta la gestión de inventarios de repuestos y la asignación de recursos humanos. Este sistema facilita la creación de órdenes de trabajo, el seguimiento del historial de mantenimiento de cada activo y la generación de informes detallados sobre el rendimiento. Su implementación mejora la comunicación entre los equipos de mantenimiento y otros departamentos, fomentando la colaboración.

Entre los beneficios más significativos de los CMMS se encuentra la optimización de los costos operativos y la reducción de los tiempos de inactividad de los equipos. Al automatizar la programación y el seguimiento, se minimizan los errores humanos y se asegura que las intervenciones de mantenimiento se realicen de manera oportuna. La gestión centralizada de inventarios reduce el riesgo de desabastecimiento o exceso de existencias, impactando positivamente en la organización (Mobley, 2002).

Otro beneficio clave es la mejora sustancial en la fiabilidad y disponibilidad de los activos. Un CMMS permite monitorear el estado de los equipos en tiempo real, identificar tendencias de fallas y planificar el mantenimiento predictivo, evitando interrupciones inesperadas en la producción. Esto se traduce directamente en un aumento de la capacidad operativa y una mayor satisfacción del cliente, al garantizar la continuidad de los servicios o la producción.

2.2.4.3 Implementación de CMMS

El primer paso fundamental en la implementación de un CMMS es la fase de planificación y análisis de requisitos. Aquí se define el alcance del proyecto, se identifican los activos a gestionar, se establecen los objetivos específicos y se seleccionan los módulos del software más adecuados. Es vital involucrar a todas las partes interesadas, desde la alta dirección hasta el personal de mantenimiento, para asegurar una comprensión integral de las necesidades operacionales (Mobley, 2002).

Se procede con la configuración y carga de datos maestros en el sistema, realizando una transición de documentos físicos a virtuales, aunque es posible todavía almacenar los primeros. Esto implica la creación de la jerarquía de activos, el registro de equipos, la introducción de listas de materiales, y la definición de planes de mantenimiento preventivo. La calidad y precisión de estos datos son críticas para el funcionamiento eficaz del CMMS, ya que sustentan todas las decisiones y automatizaciones futuras.

La siguiente etapa es la capacitación de los usuarios finales y las pruebas del sistema, evaluando a cada uno de los involucrados en el área al que va destinado el CMMS. Tanto el personal de mantenimiento, los supervisores y los administradores deben explorar y dominar el uso del CMMS. Las pruebas piloto permiten identificar y corregir posibles errores o inconsistencias antes del lanzamiento completo, asegurando una transición suave y minimizando la resistencia al cambio (Mobley, 2002).

Finalmente, se realiza un proceso de implementación total seguido de una fase de monitoreo continuo y mejora. Una vez que el sistema está en

operación, es esencial evaluar su rendimiento mediante indicadores clave, recopilar retroalimentación de los usuarios y realizar ajustes según sea necesario. Este enfoque iterativo asegura que el CMMS se adapte a las necesidades cambiantes de la organización y continúe generando valor, enfatizando la importancia de la gestión del cambio (Mobley, 2002).

2.2.4.4 Arquitectura y módulos

La arquitectura de un CMMS generalmente se basa en una base de datos centralizada que almacena la información de todos los módulos. Esta base de datos sirve como punto de referencia para las diferentes funcionalidades del sistema. Los módulos se comunican entre sí a través de esta base de datos, lo que permite una gestión integrada y eficiente de las operaciones de mantenimiento. La arquitectura puede ser modular, lo que significa que se pueden agregar o quitar módulos según las necesidades.

Si consideramos una organización basada en módulos, estos, aunque varían entre diferentes sistemas, suelen incluir gestión de activos, gestión de órdenes de trabajo, gestión de inventario, gestión de mano de obra, y reportes. Los programadores pueden considerar diferentes aspectos para elegir qué módulos incluir y/o diseñar, tales como la escalabilidad, la seguridad, la facilidad de uso y flexibilidad. Hoy en día se pueden encontrar módulos de diferente índole y tipo (Mobley, 2002).

Algunos módulos comunes en los sistemas CMMS son:

- Gestión de Activos: Este módulo registra y almacena información detallada sobre todos los activos de la empresa, como equipos, maquinaria, instalaciones, etc. Incluye datos como especificaciones

técnicas, historial de mantenimiento, información de garantía, repuestos asociados y más.

- Gestión de Órdenes de Trabajo: Permite crear, asignar, rastrear y completar órdenes de trabajo relacionadas con tareas de mantenimiento. Incluye la planificación, programación y seguimiento de las tareas, así como el registro de los recursos utilizados (mano de obra, repuestos).
- Gestión de Inventario: Se encarga de administrar el inventario de repuestos y materiales necesarios para el mantenimiento. Permite llevar un registro de los niveles de stock, realizar seguimiento de los movimientos de inventario, gestionar proveedores y automatizar la reposición.
- Gestión de Mano de Obra: Gestiona la información del personal de mantenimiento, incluyendo sus habilidades, certificaciones, horarios y asignación a tareas. Permite planificar la carga de trabajo y asignar recursos de manera eficiente.
- Reportes: Genera informes sobre diversas áreas del mantenimiento, como costos, rendimiento de activos, cumplimiento de tareas, tiempo de inactividad, etc. Los reportes ayudan a analizar el desempeño del mantenimiento y a tomar decisiones informadas.
- Módulo de Integraciones: Facilita la conexión con otros sistemas de la empresa, como ERP, sistemas de gestión de inventario, etc. Esto permite un flujo de información más eficiente y una visión unificada de las operaciones.

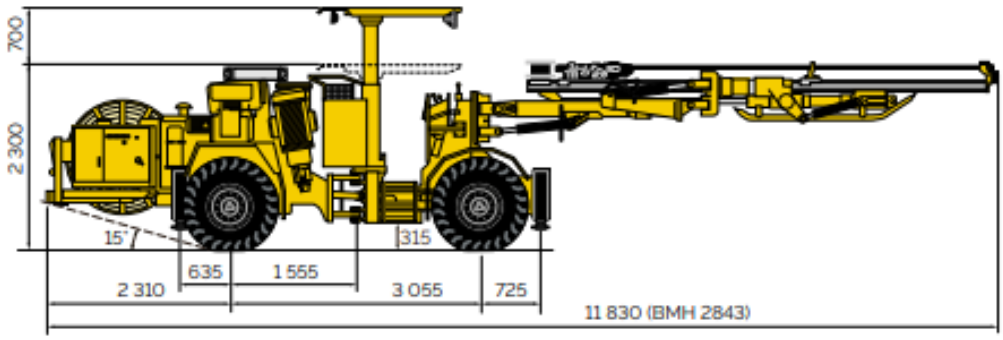
2.2.5 Equipos y operación en la empresa RESEFER

2.2.5.1 Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282

El Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282 es un equipo de perforación utilizado en minería y construcción subterránea. Su función principal es realizar perforaciones precisas en roca para colocar explosivos o instalar soportes estructurales. Entre sus partes más importantes destacan el brazo articulado, los martillos perforadores, el sistema de control automatizado y la cabina del operador. Este equipo mejora la eficiencia y seguridad en tareas de voladura y sostenimiento.

Figura 3

Vista lateral del Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282



Nota: Obtenido Boomer 282 Technical Specification de (Epiroc, 2018).

Además, este equipo está diseñado para operar en túneles estrechos y condiciones adversas, aunque al seleccionar este equipo para su trabajo deben considerarse sus dimensiones. Cuenta con tecnología avanzada como sistemas de posicionamiento y telemetría, que garantizan perforaciones exactas. Su robustez y versatilidad lo hacen ideal para proyectos a gran escala. Es clave en la preparación de frentes de trabajo, reduciendo tiempos y riesgos laborales, siendo una pieza esencial en la minería moderna.

Figura 4

Vista en campo del Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282 en Cobriza



El Jumbo EPIROC ROCKET BOOMER 282 posee dimensiones que permiten un trabajo adecuado dentro de minería subterránea. Dentro del presente apartado se describen estas dimensiones, aunque la imagen representativa para esto se encuentra en el apartado interior. En la siguiente tabla se muestra información relevante a las longitudes, pesos y velocidad del equipo para su posterior referencia.

Tabla 2

Tabla de Especificaciones generales y dimensiones del EPIROC ROCKET BOOMER 282

Ancho	1 990 mm
Alto con cabina	3 050 mm
Alto con techo elevado / sin techo elevado	3 000 mm / 2 300 mm
Largo con BMH 2343 feeds	11 830 mm
Distancia al suelo	315 mm
Peso total	18 300 kg
Peso del lado del boom	12 800 kg
Peso del lado del motor	5 500 kg
Velocidad (En terreno plano o nivelado, resistencia al rodaje 0,05)	> 12,5 km/h

Dado que el presente trabajo está orientado al mantenimiento del equipo sin recibir modificaciones, y consecuentemente, durante la investigación el lector podrá observar que ciertos fallos son más constantes en el boom. Se optó por describir las especificaciones de este elemento, si bien, todavía existen otros sistemas que influyen de manera directa, como el sistema hidráulico, se considera. de mayor pertinencia. especificar cada componente evaluado de este sistema.

Tabla 3

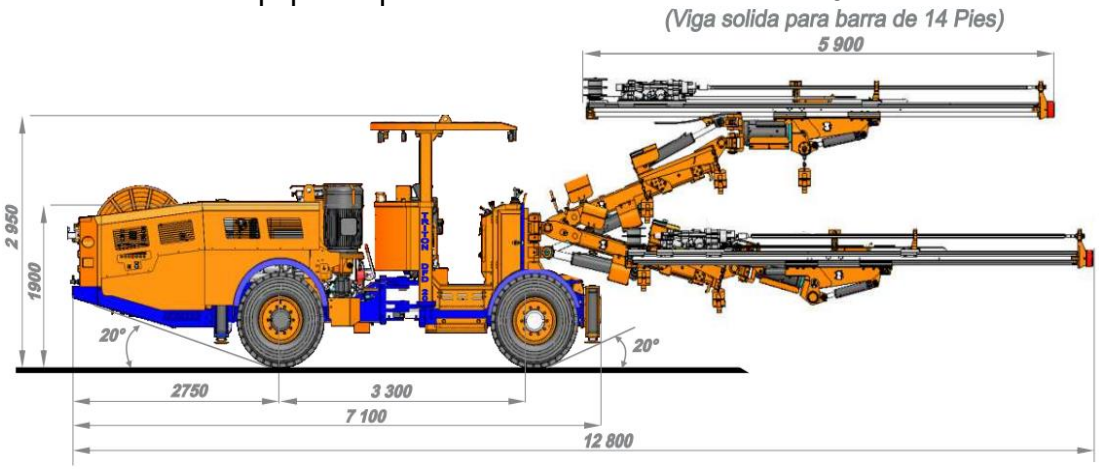
Tabla de Especificaciones generales del boom del EPIROC ROCKET BOOMER 282

Boom	BUT 28
Extensión del alimentador	1 250 mm
Extensión del boom	1 250 mm
Soporte paralelo	Completo
Giro del alimentador	360°
Ángulo máximo de elevación	+65° / 30°
Ángulo máximo de balanceo	+45° / 25°
Peso del boom	1 750 kg

2.2.5.2 Equipo de perforación frontal Tritón DFD 20

El Tritón DFD 20 es un equipo de perforación frontal utilizado en minería subterránea para crear taladros en frentes de avance o producción. Opera con un brazo articulado y barras de perforación, permitiendo ajustar ángulos y profundidades. Su versatilidad lo hace ideal para túneles y galerías estrechas, donde la productividad y seguridad son prioritarias. Además, su sistema de control automatizado reduce el error humano, optimizando el tiempo de perforación.

Figura 5
Vista lateral del equipo de perforación frontal Tritón DFD 20



Nota: Obtenido equipo de perforación frontal Tritón DFD 20 (Resefer, 2023).

Entre sus ventajas destacan su eficiencia en perforación rápida, bajo consumo de energía y adaptabilidad a diferentes tipos de roca. Sin embargo, sus desventajas incluyen un alto costo de mantenimiento por su complejidad mecánica y limitaciones en espacios extremadamente reducidos. Aunque es más productivo que perforadoras manuales, requiere operadores especializados para maximizar su rendimiento. Su uso es clave en minas que priorizan la precisión y reducción de tiempos en el ciclo de extracción.

Tabla 4
Tabla de Especificaciones generales del equipo de perforación frontal Tritón DFD 20

Modelo de la perforadora con viga telescópica	COP 1838 ME
Diámetro de perforación	35-89 mm
Fuerza de impacto	18 kW
Shank adapter	R32, T38, T45
Peso	190 kg
Modelo de la viga telescópica de perforación	DFT-2000-14
Longitud total	5900 mm
Sistema de avance de la perforadora	Cilindro hidráulico-cable
Extensión de la viga	1000 mm

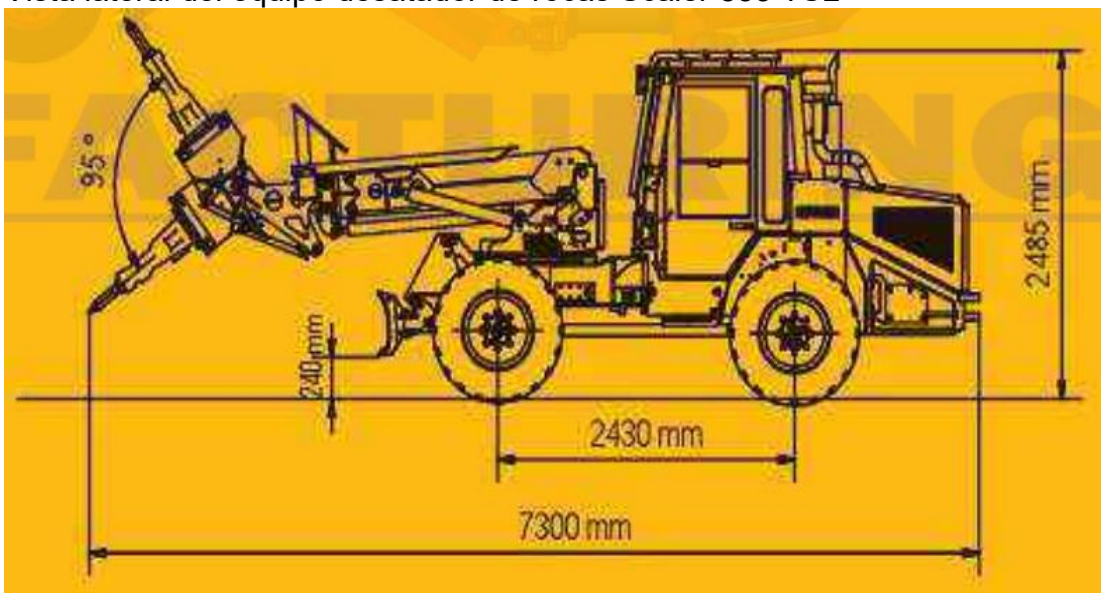
Nota: Obtenido equipo de perforación frontal Tritón DFD 20 (Resefer, 2023).

2.2.5.3 Equipo desatador de rocas Scaler 853 TSL

El Scaler 853 TSL es un equipo especializado en desatado de rocas, utilizado en minería subterránea para garantizar la estabilidad de techos y paredes en galerías y frentes de trabajo. Opera mediante un brazo articulado con martillo hidráulico o garra, que permite remover rocas sueltas o inestables de manera segura, minimizando riesgos de derrumbes. Además, puede integrarse con sistemas de monitoreo para identificar zonas críticas, mejorando la eficiencia en el desatado.

Entre sus ventajas destacan su alta productividad en la estabilización de túneles, reducción de accidentes por caídas de rocas y adaptabilidad a diferentes condiciones geomecánicas. Sin embargo, sus desventajas incluyen un elevado costo de operación y mantenimiento, así como la necesidad de personal capacitado para su manejo óptimo. Aunque mejora la seguridad, su uso prolongado puede generar vibraciones que afecten estructuras cercanas, requiriendo evaluaciones constantes.

Figura 6
Vista lateral del equipo desatador de rocas Scaler 853 TSL



Nota: Obtenido equipo *desatador de rocas Scaler 853 TSL* (Resefer, 2023).

Tabla 5

Tabla de Especificaciones generales del equipo desatador de rocas Scaler 853 TSL

Máximo alcance vertical	7,7 m
Máximo alcance horizontal	5,7 m
Máximo alcance lateral	4,5 m
Motor	Deutz Modelo BF4M 2012
Transmisión	Hidrostática con regulación automática con velocidad adelante y reversa
Ejes	Marca Dana Spicer modelo serie 112
Dirección	Dirección hidráulica por volante con bomba y orbitrol
Ángulo de giro de brazo telescópico	+- 45°
Martillo hidráulico	Modelo UG400 con peso de servicio 200 kg

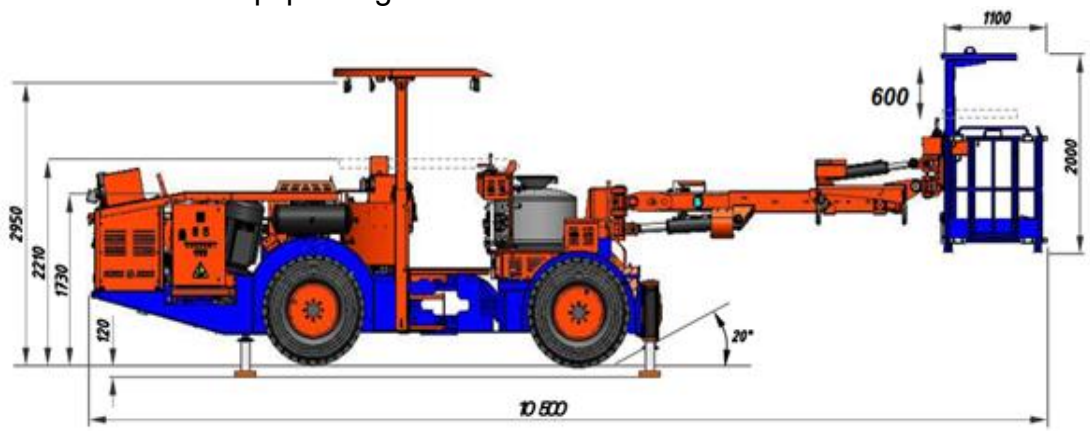
Nota: Obtenido equipo *desatador de rocas Scaler 853 TSL* (Resefer, 2023).

2.2.5.4 Equipo cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01

El Anfoloader RM-DIS-DV01 es un equipo especializado diseñado para la carga segura y eficiente de ANFO (Nitrato de Amonio y Fuel Oil) en los taladros perforados durante operaciones de voladura en minería. Opera mediante un sistema neumático o hidráulico que permite transportar y dosificar el explosivo con precisión, minimizando riesgos de manipulación manual. Cuenta con sistemas de medición automatizados que optimizan la cantidad de ANFO por taladro, mejorando la eficiencia de la voladura.

Figura 7

Vista lateral del equipo cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01



Nota: Obtenido de Equipo *cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01* (Resefer, 2023).

Tabla 6

Tabla de Especificaciones generales del equipo cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01

Modelo del sistema de brazo	BTS-2600-TL
Ángulo de levante del brazo	+50° / -19°
Capacidad del tanque anfo	300 kg
Material de la estructura del tanque anfo	Acero inoxidable
Capacidad del sistema de aire	126 CFM tipo pistón
Motor	Deutz BF4L 914 con potencia 72,4 kW a 2300 rpm
Transmisión	Diferenciales y caja reductora Spicer Dana
Tanque de aceite hidráulico	Capacidad de 100 litros
Refrigerador	Enfriador tropical con aceite hidráulico mineral

Nota: Obtenido de Equipo *cargador de anfo Anfoloader RM-DIS-DV01* (Resefer, 2023).

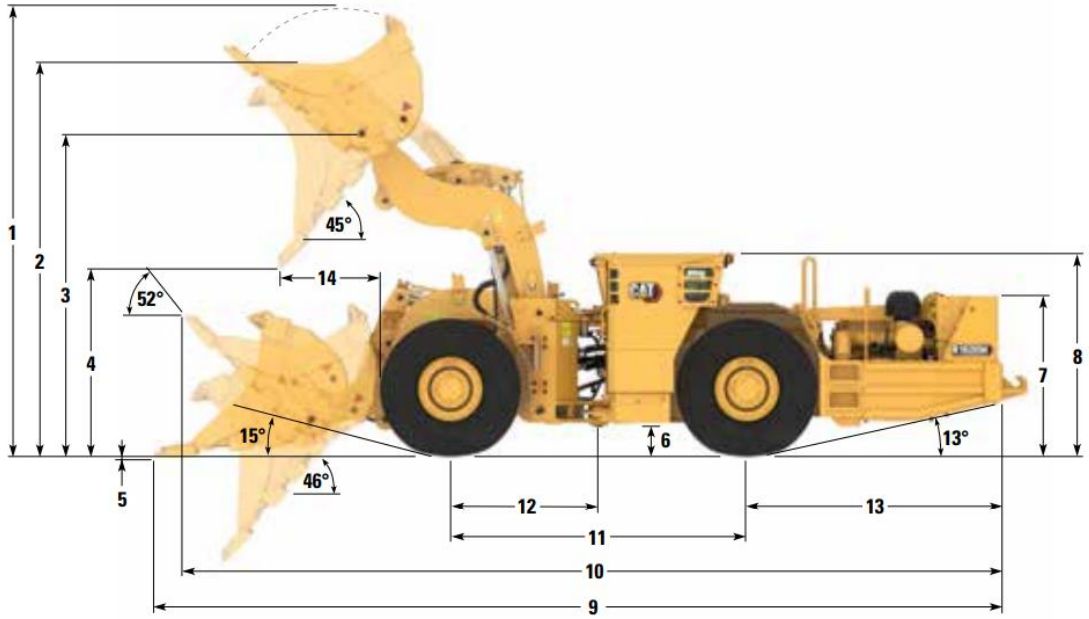
Entre sus ventajas destacan su capacidad para reducir tiempos de carga, mayor seguridad al minimizar el contacto humano con explosivos, y precisión en la dosificación para obtener fragmentación óptima. Sin embargo, sus desventajas incluyen altos costos de adquisición y mantenimiento, así como la necesidad de personal altamente capacitado para su operación segura. Este equipo es usado en operaciones que priorizan seguridad y eficiencia en el proceso de carguío.

2.2.5.5 Cargador subterráneo para minería R1600H

El equipo CAT R1600H es un cargador subterráneo encargado de la limpieza del frente luego de disparos en minería. Estos equipos son usados en muchos lugares a lo largo del mundo debido a la facilidad que poseen para mover grandes cantidades de roca de manera eficiente. Debido a la potencia y durabilidad que poseen sus componentes, la orientación de su trabajo está

orientado a ubicarse sobre espacios difíciles, por lo que la precisión de sus piezas acompaña esta orientación de diseño.

Figura 8
Vista lateral del equipo cargador para minería R1600H



Nota: Obtenido de R1600H Cargador subterráneo para minería (CAT, 2018).

Tabla 7
Tabla de Especificaciones generales del equipo de acarreo en minería subterránea R1600H

Modelo del motor	Cat C11
Potencia del motor: Modelo con reducción de ventilación (VR)	202 kW
Capacidad de carga útil nominal	10,200 kg
Peso bruto de la máquina	44,204 kg
Brazos de levantamiento horizontal rectos hacia delante de carga de equilibrio estático	25,905 kg
Peso en orden de trabajo (Eje delantero / eje trasero)	12,884 / 17,266
Peso en orden de trabajo + carga útil nominal (Eje delantero / eje trasero)	28,128kg / 12,222 kg
Tiempo de levantamiento del ciclo hidráulico	7,6 segundos
Tiempo total del ciclo hidráulico	11,2 segundos

Nota: Obtenido de R1600H Cargador subterráneo para minería (CAT, 2018).

Este equipo posee un sistema detección de presencia, lo que permite asegurarse de que un operador esté ubicado en el asiento para que recién pueda moverse y ejecutar sus trabajos. Además, posee medidas de seguridad para evitar accidentes, como corresponde a un sistema que usa tres interruptores de parada para el motor solamente a nivel del suelo. El bastidor y la cabina están diseñados para una protección adecuada contra la caída de objetos extraños.

2.2.5.6 Operación en la empresa

El proceso que describe la empresa se centra en la preparación del frente de trabajo para la voladura, que es la etapa crucial para romper la roca y extraer el mineral. En Cobriza, el ciclo de trabajo descrito corresponde a un método típico de minería subterránea por avance de frente, donde la operación se repite en secuencia para ampliar galerías y extraer mineral. Dado que el proceso es cíclico, el proceso sigue diferentes etapas que retornan a la inicial, estas son:

a. Disparo (voladura previa)

Antes de iniciar el ciclo, se ejecuta una voladura que fragmenta la roca del frente de avance. Esta voladura genera material suelto (mineral y estéril) que debe retirarse para que los equipos puedan trabajar de forma segura.

b. Limpieza inicial (Regularmente usando Scoop Cat R1600H)

Cargador frontal subterráneo (Scooptram) Cat R1600H cumple con la función de retirar el material fragmentado por la voladura anterior. Esto ocurre cuando el scoop ingresa al frente y carga el mineral o escombro suelto en su cucharón, trasladándolo hacia el sistema de transporte (tolvas, carros mineros

o faja subterránea). El objetivo de este procedimiento es dejar libre la zona de trabajo y garantizar espacio seguro para el siguiente equipo.

c. Desatado (Regularmente usando desatarores Paus 853)

Un desatador hidráulico Paus 853, equipado con martillo percutor cumple con el trabajo de hacer caer rocas sueltas que quedaron en el techo (bóveda) o paredes después de la voladura. El martillo percutor golpea zonas potencialmente inestables, desprendiendo roca suelta que podría representar un riesgo. Este proceso previene accidentes por caída de roca (uno de los riesgos más altos en minería subterránea).

d. Segunda limpieza (Regularmente se usan Scoop Cat R1600H)

El desatado genera material adicional en el piso, que debe retirarse antes de continuar. El scoop vuelve a ingresar y limpia el material desprendido durante el desate, manteniendo el frente despejado.

e. Perforación (Regularmente se usa Jumbo Epiroc Boomer 282)

Un jumbo de perforación hidráulico Epiroc Boomer 282, de dos brazos, cuya función es la de realizar una serie de taladros siguiendo un patrón de perforación diseñado para la próxima voladura. Cabe resaltar que, la longitud, diámetro y ángulo de los taladros dependen de la geometría de avance y del tipo de roca. El patrón busca optimizar la fragmentación y minimizar el exceso de roca dañada. El objetivo es tener un frente preparado con taladros listos para carga de explosivo.

f. Carguío de explosivos con Anfoloader

Vehículo de carga de explosivos (Anfoloader) cumple con la función: Cargar ANFO (mezcla de nitrato de amonio y fuel oil) en los taladros perforados. Este trabajo se realiza con la introducción del ANFO en cada taladro, luego se colocan los detonadores y sistemas de iniciación (eléctricos o no eléctricos). Esta etapa debe seguir protocolos estrictos de manipulación de explosivos.

g. Disparo (nueva voladura)

Se ejecuta una detonación controlada del ANFO para fracturar la roca y generar el material que será retirado en el siguiente ciclo. El objetivo es lograr un avance del frente minero, generando más espacio y liberando mineral para su transporte.

2.3 Bases conceptuales

2.3.1 Definiciones conceptuales

2.3.1.1 Sistema de Gestión del Mantenimiento Computarizado

Un CMMS, o Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora, es una herramienta tecnológica diseñada para planificar, coordinar y controlar las actividades de mantenimiento dentro de una organización. Su función principal es optimizar la gestión de activos físicos, mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos mediante la automatización y seguimiento de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

2.3.1.2 Disponibilidad mecánica

La disponibilidad en el contexto del mantenimiento se refiere a la medida en que un equipo o sistema está operativo y listo para desempeñar sus funciones cuando se requiere, durante un período específico de tiempo. Es un indicador fundamental que evalúa la capacidad de un activo para estar en servicio, teniendo en cuenta tanto el tiempo de funcionamiento como los períodos de inactividad planificados y no planificados.

2.4 Hipótesis de la investigación

2.4.1 Hipótesis general

Si aplicamos las fases: fase inicial, fase de formación, fase de desarrollo y fase de optimización; podremos implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

2.4.2 Hipótesis específicas

Si observamos los indicadores de mantenimiento podremos determinar el impacto que genera la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

Si analizamos la planificación y programación de las tareas de mantenimiento podremos determinar las estrategias de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad.

Si observamos el tiempo medio entre fallos y el tiempo medio para reparar podremos determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.

2.5 Operacionalización de variables

2.5.1 Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado

Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) es una herramienta software que centraliza y optimiza las actividades de mantenimiento de los activos de una organización. Este sistema mejora la eficiencia, reduce los tiempos de inactividad y aumenta la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.

Tabla 8

Tabla de la variable independiente: Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado

Definición conceptual		**Definición operacional**
Un CMMS, o Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora, es una herramienta tecnológica diseñada para planificar, coordinar y controlar las actividades de mantenimiento dentro de una organización. Su función principal es optimizar la gestión de activos físicos, mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los equipos mediante la automatización y seguimiento de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.		Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) es una herramienta software que centraliza y optimiza las actividades de mantenimiento de los activos de una organización. Este sistema mejora la eficiencia, reduce los tiempos de inactividad y aumenta la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.
Dimensiones	**Indicadores**	**Escala**
• Fase inicial • Fase de formación • Fase de desarrollo • Fase de optimización	• Diagnóstico de la empresa • Diagnóstico del sistema CMMS esperado • Selección del sistema CMMS	Valor cualitativo continuo: $\frac{Documentos\ virtuales}{Registros\ virtuales}$ Valor cuantitativo continuo: $\frac{Cantidad\ de\ acciones\ implementadas}{Cantidad\ de\ repuestos}$

	• Metodología de implementación del CMMS • Documentación de registro virtual • Análisis de datos por CMMS • Implementación de acciones de mantenimiento • Análisis de indicadores de mantenimiento	$críticos$

2.5.2 Disponibilidad mecánica

Esta variable cuantitativa se calcula mediante una expresión matemática que relaciona tres variables operacionales fundamentales: el tiempo promedio de funcionamiento continuo entre fallas (MTBF), la duración media de las intervenciones correctivas (MTTR) y la frecuencia de interrupciones no programadas.

Tabla 9

Tabla de la variable independiente: Disponibilidad mecánica

Definición conceptual		**Definición operacional**
La disponibilidad en el contexto del mantenimiento se refiere a la medida en que un equipo o sistema está operativo y listo para desempeñar sus funciones cuando se requiere, durante un período específico de tiempo. Es un indicador fundamental que evalúa la capacidad de un activo para estar en servicio, teniendo en cuenta tanto el tiempo de funcionamiento como los períodos de inactividad planificados y no planificados.		Esta variable cuantitativa se calcula mediante una expresión matemática que relaciona tres variables operacionales fundamentales: el tiempo promedio de funcionamiento continuo entre fallas (MTBF), la duración media de las intervenciones correctivas (MTTR) y la frecuencia de interrupciones no programadas.
Dimensiones	**Indicadores**	**Escala**
• Tiempo medio entre fallas (MTBF) • Tiempo medio para reparar (MTTR)	• Tiempo de actividad productiva • Tiempo de actividad productiva sin utilidad	Valor cuantitativo continuo: $Tiempo\ de\ actividades\ productivas$

• Tiempo administrativo del CMMS • Tiempo de acción correctiva	$(Horas;\ h)$ $Tiempo\ de\ actividades\ no\ productivas$ $(Horas;\ h)$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Método de investigación

Se elegirá el método sistémico porque permite abordar de manera integral y estructurada la implementación del sistema de gestión de mantenimiento computarizado y su impacto en la disponibilidad de la flota de equipos. A continuación, se detallan las razones para seleccionar este método:

El método sistémico permite analizar el sistema de gestión de mantenimiento como un todo integrado dentro de la organización, considerando no solo los aspectos técnicos y operativos, sino también los aspectos organizacionales, humanos y de proceso que influyen en su implementación y uso efectivo.

Dado que la implementación de un CMMS afecta múltiples aspectos dentro de la organización (como procesos de trabajo, roles y responsabilidades, cultura organizacional, etc.), el enfoque sistémico facilita

la comprensión de las interrelaciones complejas entre estos elementos y cómo influyen en la disponibilidad de la flota de equipos.

Permite identificar claramente las variables dependientes (como la disponibilidad de los equipos) y las variables independientes (como la implementación del CMMS y sus características específicas), así como establecer relaciones causales entre ellas mediante un análisis riguroso.

Facilita el estudio a lo largo del tiempo, permitiendo observar cómo evoluciona la disponibilidad de los equipos después de la implementación del CMMS, así como identificar cambios y ajustes necesarios durante el proceso de implementación.

El método sistémico también puede integrar enfoques y técnicas de otras disciplinas relevantes, como la ingeniería de mantenimiento, gestión de proyectos, gestión de la tecnología de la información, entre otras, para asegurar una evaluación integral y robusta del impacto del CMMS.

En conclusión, el método de investigación sistémico sería el más adecuado para explorar cómo la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado puede mejorar la disponibilidad de la flota de equipos en Resefer - Cobriza, proporcionando un marco analítico completo y estructurado para este estudio.

3.2 Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como una investigación tecnológica. Según Espinoza (2014), la investigación tecnológica se orienta a la resolución de problemas específicos y prácticos. En contraste con la investigación básica, que busca ampliar el conocimiento teórico sin

necesariamente considerar su aplicación inmediata, la investigación tecnológica se centra en encontrar soluciones que puedan ser implementadas directamente para mejorar una situación particular.

En el contexto de esta tesis, la investigación se centra en resolver el problema práctico de la baja disponibilidad de la flota de equipos Resefer en la Unidad Minera Cobriza. La implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) y el desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivo se proponen como soluciones para mejorar la gestión de mantenimiento y aumentar la disponibilidad operativa de los equipos.

El objetivo es aplicar estos conocimientos y herramientas tecnológicas para optimizar el mantenimiento de la flota, reducir las fallas no planificadas y minimizar los tiempos de inactividad, contribuyendo así a la eficiencia operativa y a la productividad de la unidad minera. Este enfoque práctico y orientado a la solución de problemas reales caracteriza a la investigación como tecnológica, según la definición de Sampieri et al. (2014).

3.3 Nivel de investigación

La presente investigación se clasifica como experimental. Según Espinoza (2014), la investigación experimental tiene como propósito medir la variación de una variable a partir de la introducción de un tratamiento, siendo este último una variable independiente. En este tipo de estudio, se busca identificar si un cambio en una variable está asociado al incremento o disminución de la otra.

En el contexto de esta tesis, se pretende examinar la diferencia que genera la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad operativa de la flota de equipos Resefer. También se busca analizar cómo las estrategias de mantenimiento preventivo influencian con la reducción de fallas no planificadas y los tiempos de inactividad.

Al llevar a cabo un análisis experimental, la investigación intentará determinar si afecta de manera negativa o positiva a la disponibilidad, la aplicación de un sistema de gestión computarizado. Por ejemplo, se evaluará si la mejora en la gestión de mantenimiento a través del CMMS está significativamente asociada con un aumento en la disponibilidad de los equipos y una disminución de las interrupciones operativas.

Este enfoque permite identificar patrones y relaciones significativas entre las variables estudiadas, proporcionando una base sólida para formular recomendaciones prácticas que puedan ser implementadas en la Unidad Minera Cobriza para mejorar su gestión de mantenimiento.

3.4 Diseño de la investigación

El estudio adopta un diseño experimental con mediciones previas y posteriores a la intervención, metodología seleccionada para evaluar el impacto del plan de mantenimiento preventivo implementado. Este enfoque permite comparar cuantitativamente los niveles de disponibilidad iniciales con los obtenidos tras la aplicación del programa en los equipos de perforación JB 291 EE, JB 301 EE y JB 296 EE (modelo EPIROC ROCKET BOOMER 282).

La comparación sistemática de estos indicadores proporcionará evidencia objetiva sobre la efectividad de las medidas preventivas aplicadas.

"Se evalúa los efectos del tratamiento comparándolo con una medición previa." (Espinoza, 2014, pág. 98).

Datos pretest: Se mide la variable dependiente antes de la intervención en ambos grupos. Se evalúa la disponibilidad operativa de los equipos en el grupo antes de la implementación del CMMS y las estrategias de mantenimiento.

Datos postest: Se mide nuevamente la variable dependiente después de la intervención en ambos grupos. Se evalúa la disponibilidad operativa del equipo tras un período de 6 meses de la aplicación del CMMS y las estrategias de mantenimiento. El diagrama es:

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Donde:

X: Implementación del CMMS

O_1: Primera observación de la disponibilidad mecánica de los equipos de los meses julio a diciembre del 2023, antes de la aplicación del CMMS.

O_2: Segunda observación de la disponibilidad mecánica de los equipos de los meses de enero a junio del 2024, después de la aplicación del CMMS.

3.5 Población, muestra o unidad de observación

Todos los equipos o flotas de equipos dentro de Resefer Cobriza que están sujetos a mantenimiento y que podrían beneficiarse de la

implementación del CMMS para mejorar su disponibilidad y eficiencia operativa. Esto corresponde a todos los equipos adscritos al recurso físico con los que el autor cuenta para la investigación. Dado que la evaluación de todos los indicadores de estos elementos resulta complicada, se propuso definir una muestra representativa.

El muestreo se ejecuta de manera intencional, lo que representa un método no estadístico, dado que la selección de los equipos se realiza a partir de una elección preferencial por el autor. No se realizará asignación aleatoria; en su lugar, se seleccionarán los equipos con la menor disponibilidad mecánica disponibles para garantizar la representatividad y relevancia de los resultados. Esta técnica no probabilística es permisible dada la imposibilidad de interactuar con todos los equipos.

Tabla 10

Tabla de Inventario de equipos de la UO Cobriza – RESEFER del año 2024

Tipo de equipo	Ubicación	Código	Marca	Modelo	Serie	Estado
SCOOP DIESEL	U. O. Cobriza	SC-907 EE	Caterpilar	R1600H	9SD00755	Operativo
SCOOP DIESEL	U. O. Cobriza	SC-907 EE	Caterpilar	R1600H	9SD00754	Operativo
SCOOP DIESEL	U. O. Cobriza	SC-914 EE	Caterpilar	R1600H	9SD78017	Operativo
SCOOP DIESEL	U. O. Cobriza	SC-916 EE	Caterpilar	R1600G	9PP78011	Operativo
JUMBO	U. O. Cobriza	JB-291 EE	EPROC	BOOMER 282	AVO10C059	Operativo
JUMBO	U. O. Cobriza	JB-296 EE	EPROC	BOOMER 282	AVO12A488	Operativo
JUMBO	U. O. Cobriza	JB-301 EE	EPROC	BOOMER 282	----------	Operativo
JUMBO	U. O. Cobriza	JB-302 EE	RESEFER	TRITON DFD 20	RM2307 – 0219	Operativo
DESATADOR	U. O. Cobriza	DS-761 EE	PAUS	SCALER 853 S8	117 006	Operativo
DESATADOR	U. O. Cobriza	DS-762 EE	PAUS	SCALER 853 S8	119 185	Operativo
ANFOLOADER	U. O. Cobriza	AL-853 EE	RESEFER	RM-06	RM2309 – 0222	Operativo
ANFOLOADER	U. O. Cobriza	AL-854 EE	RESEFER	RMAL-300	RM2312 – 0224	Operativo

Así, la muestra se componente de un conjunto conformado por los 3 equipos EPIROC ROCKET BOOMER 282 (JB-291-EE, JB-296-EE y JB-301-EE), los cuales son los equipos que demostraron tener una menor disponibilidad preprueba. Esta muestra se selecciona de tal modo que los equipos posean la mayor cantidad de características similares, en favor de obtener resultados cuyo sesgo de observación sea el mejor posible dadas las condiciones de selección en el muestreo.

Es importante señalar que la selección de estos tres equipos corresponde a la prueba piloto que la empresa permitió usar para la presente investigación. Si bien, es necesario acotar que hay otros equipos que no se consideran, y que podrían influir en una investigación más completa, esta investigación todavía sirve como una prueba inicial. Así, se podrá comprobar que el efecto de incluir un sistema CMMS será efectivo y positivo para mejorar el indicador de disponibilidad observador.

3.6 Técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación empleará un enfoque metodológico dual que combina técnicas empíricas y documentales para la recolección de datos. Espinoza (2014) define que el método empírico se fundamenta en la observación directa de los equipos, utilizando instrumentos de medición calibrados y registrando sistemáticamente las experiencias operativas. Este enfoque permite capturar información precisa sobre el comportamiento real de los activos en condiciones de trabajo normales.

Complementariamente, se realizará una exhaustiva revisión documental que incluirá manuales del fabricante, historiales de mantenimiento anteriores y literatura técnica especializada. Este análisis documental proporcionará el marco teórico y referencial necesario para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo adaptado a las necesidades específicas del caso de estudio. La integración de ambos métodos garantiza una base de datos sólida para la toma de decisiones.

Los instrumentos de recolección incluirán fichas de análisis documental estandarizadas y formatos de registro empírico como cronogramas y listas de verificación. Estas herramientas, denominadas técnicamente como "checklists", "cronogramas", entre otros; permitirán organizar y sistematizar la información obtenida tanto de las observaciones directas como de las fuentes documentales consultadas. La metodología asegura la trazabilidad y confiabilidad de los datos recopilados.

3.6.2 Técnicas de procesamiento de datos

El análisis de datos cuantitativos requiere el empleo de métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, los cuales permiten organizar la información recolectada y extraer conclusiones válidas. La estadística descriptiva posibilita la representación ordenada de los datos mediante medidas numéricas y gráficas. Por otro lado, la estadística inferencial busca generalizar resultados a partir del análisis de muestras y niveles de confianza estadística para validar sus conclusiones.

Según lo señalado por Córdova (2003), las técnicas descriptivas se enfocan en resumir y presentar conjuntos de datos de manera sistemática,

empleando herramientas como tablas, gráficos y medidas de tendencia central. Este enfoque permite una primera aproximación al comportamiento de las variables estudiadas, organizando la información de forma clara y accesible. Sin embargo, su alcance se limita a describir las características observadas en los datos recolectados, sin extrapolar estos hallazgos.

En contraste, la estadística inferencial, como explica Córdova (2003), busca establecer conclusiones que trasciendan la muestra analizada, requiriendo para ello pruebas de significancia estadística que validen los resultados. Este método permite comparar grupos, establecer relaciones entre variables y probar hipótesis, siempre bajo parámetros de confiabilidad preestablecidos. La interpretación de estos resultados cuantitativos corresponde finalmente al investigador.

CAPÍTULO IV

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMPUTARIZADO DE LA FLOTA DE EQUIPOS DE RESEFER

4.1 Fase inicial

4.1.1 Diagnóstico de la empresa

La empresa Resefer, que opera en la unidad minera Cobriza, enfrenta un panorama complejo respecto a la gestión del mantenimiento de su flota de equipos pesados. La baja disponibilidad promedio del 79% entre junio y diciembre de 2023 evidencia una problemática crítica que afecta la continuidad operativa. La ocurrencia de 380 incidencias mecánicas en este período refleja un sistema de mantenimiento reactivo, lo que se traduce en altos costos, tiempos muertos no programados y pérdida de productividad.

Ante esta situación, resulta imprescindible una transformación estructural en la gestión del mantenimiento que permita reducir fallas inesperadas y optimizar los recursos. La implementación de un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System) se presenta como

una solución estratégica para Resefer, especialmente si se adopta inicialmente sobre un conjunto piloto compuesto por los equipos Jumbo Boomer 282.

Partimos de los datos iniciales, evaluados entre julio del 2023 y diciembre del 2023, para mayor profundidad, estos datos se pueden ver tanto en la tabla 1 como en el capítulo 5. Los datos de disponibilidad mensual para los tres equipos, son los siguientes: 78,57%; 80,19%; 76,19%; 78,83%; 80,65% & 79,59%. Además, se considera que el plan de mantenimiento inicial es reactivo, tomando en consideración sólo actividades correctivas de mantenimiento sobre los equipos mencionados.

Los 3 equipos JB-291-EE, JB-296-EE y JB-301-EE, gracias al largo historial de actividades de mantenimiento y recursos y, frecuencia de uso, son ideales para validar la efectividad de un sistema de mantenimiento. El CMMS permitirá registrar, monitorear y analizar todas las actividades de mantenimiento, facilitando la toma de decisiones basadas en datos reales y actualizados, y anticipando fallas antes de que generen paradas inesperadas, influyendo sobre los indicadores de mantenimiento.

Desde una perspectiva organizacional, Resefer necesita mejorar la trazabilidad de las intervenciones técnicas, así como la planificación de recursos humanos y materiales. Un sistema CMMS moderno puede integrarse con otros módulos de gestión empresarial, permitiendo una visión integral del estado de la maquinaria y sus necesidades operativas. Además, contribuirá a estandarizar procesos, establecer rutinas de mantenimiento preventivo y asegurar el cumplimiento de las políticas de seguridad.

Esta herramienta digital favorece también la formación continua del personal técnico al centralizar documentación técnica y procedimientos estandarizados. Incluso, con el pasar del tiempo, se podrá mejorar el sistema, en caso así lo requiera la gerencia para incluir nuevas capacidades, automatización de reportes, convirtiendo al CMMS en punto de evaluación fundamental para la empresa. Implementar esta solución permitirá generar indicadores clave (KPIs) para evaluar su desempeño en tiempo real.

4.1.2 Diagnóstico del sistema CMMS

La implementación de un sistema CMMS en Resefer busca optimizar la gestión del mantenimiento de su flota minera en Cobriza, tomando como prueba piloto los Jumbo seleccionados. Aplicando la metodología SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales), se establecen objetivos concretos orientados a mejorar la producción, calidad, seguridad, costos, organización, responsabilidad legal y ambiental, en concordancia con investigaciones previas en el sector minero.

Producción:

- Incrementar la disponibilidad operacional de los equipos JB 291 EE, JB 296 EE y JB 301 EE del 79% al 85% en un plazo máximo de seis meses desde la implementación del CMMS, mediante la programación de mantenimientos preventivos y alertas de intervención.
- Reducir en un 30% las horas de inactividad no planificadas en los equipos piloto en los primeros tres meses de uso del sistema,

mediante una planificación de mantenimiento calendarizado basada en historial de fallas.

Calidad:

- Establecer registros completos de mantenimiento con trazabilidad del 100% en los trabajos ejecutados sobre los equipos piloto, en los primeros tres meses de operación del CMMS, garantizando una base de datos confiable para auditorías internas y externas.
- Mejorar la calidad de ejecución de los mantenimientos preventivos en un 40%, aplicando listas de verificación digitales integradas al sistema dentro de los seis primeros meses.

Seguridad

- Implementar el 100% de los reportes de condiciones inseguras detectadas en las intervenciones técnicas, registrándolas en el sistema y gestionando su corrección en menos de 48 horas, dentro de un plazo piloto de seis meses.
- Capacitar al 100% del personal técnico en el uso seguro del CMMS para labores de mantenimiento antes del tercer mes de implementación, asegurando su participación activa y consciente del riesgo.

Costo

- Ahorrar un 10% en repuestos y consumibles mediante el control digital del inventario y programación de pedidos según demanda real, dentro de los cuatro meses iniciales.

- Disminuir en un 10% el tiempo de parada por espera de repuestos en el tercer mes de implementación del CMMS, optimizando la gestión de compras y almacén técnico.

Organización

- Establecer una estructura jerárquica digitalizada del área de mantenimiento, con funciones y responsables claramente asignados en el CMMS, al cierre del segundo mes de implementación.
- Centralizar el 100% de las órdenes de trabajo en el sistema, eliminando el uso de formatos físicos, en un plazo máximo de tres meses.

Responsabilidad legal

- Lograr el cumplimiento del 100% de las normas legales vigentes aplicables al mantenimiento de maquinaria minera en Perú, integrando los requerimientos en el sistema y asegurando su seguimiento desde el primer mes.
- Registrar y archivar electrónicamente el 100% de los informes de inspecciones técnicas y mantenimientos realizados, desde el inicio del cuarto mes de operación del sistema.

Responsabilidad ambiental

- Reducir en un 25% los residuos peligrosos generados por mantenimientos correctivos, mediante el aumento de acciones preventivas planificadas, a los seis meses de iniciado el uso del CMMS.

- Implementar alertas automáticas para revisión de emisiones contaminantes de los equipos cada 200 horas de operación, desde el segundo mes del plan piloto, asegurando el cumplimiento ambiental continuo.

4.2 Fase de formación

4.2.1 Selección del sistema CMMS

Se propone una evaluación técnica con el fin de seleccionar un software que cumpla con requisitos esenciales, sugiriendo la selección de un programa de carácter libre. Una opción sería un software basado en Python, que suelen ser gratuitos e incluso, permiten ciertas modificaciones dependiendo del usuario. Se define un checklist de capacidades obligatorias que prioriza la adaptabilidad a jerarquías organizativas complejas, integración con telemetría, gestión de repuestos y soporte offline.

Tabla 11

Tabla de requisitos técnicos para la selección del CMMS

Requisito	Descripción técnica	Ejemplo Python orientado a Jumbos
Soporte para jerarquías complejas	Capacidad para modelar estructuras de mantenimiento por planta, área, sistema y equipo.	equipment_tree = {"Planta": {"Área Mina": {"Boomer 282": ["JB 291 EE", "JB 301 EE"]}}}
Integración con telemetría	Posibilidad de conectarse a sensores IoT (temperatura, vibración, horas de uso).	sensor_data = mqtt_client.get("JB291EE/ horas_motor")
Gestión de repuestos	Módulo que administre inventario de partes, consumo por equipo y stock mínimo.	repuestos = {"Filtro 123": {"stock": 4, "usado_en": ["JB 291 EE"]}}
Soporte offline	Funcionalidad que permita capturar datos y generar órdenes sin conexión a red.	orden_local = guardar_orden_localmente ("JB301EE", "Cambio de manguera")

La tabla a continuación detalla las capacidades requeridas que un CMMS debe cumplir en el caso de Resefer. Se incluyen descripciones técnicas específicas, ejemplos en Python, y herramientas de verificación o bibliotecas compatibles. Cabe señalar que se debe contar con herramientas que permiten construir un ecosistema completo de mantenimiento para segurar un control detallado sobre la flota crítica y promoviendo una mejora sistemática hacia la meta del 85% de disponibilidad mecánica.

En esta evaluación se comparan cuatro soluciones CMMS de código abierto ampliamente reconocidas: Odoo, OpenMAINT, CalemEAM y Snipe-IT. Se utilizaron cinco criterios esenciales: soporte para jerarquías complejas, integración con telemetría, gestión de repuestos, soporte offline y análisis de registros. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos, otorgando una valoración de 1 (bajo cumplimiento) a 5 (cumplimiento total) para obtener el software con mayor compatibilidad y adaptabilidad para las necesidades.

Tabla 12

Tabla de evaluación comparativa entre opciones de CMMS

Requisito	Odoo	OpenMAINT	CalemEAM	Snipe-IT
Soporte jerarquías complejas	5	4	4	2
Integración con telemetría	5	3	3	1
Gestión de repuestos	5	4	4	3
Soporte offline	4	2	3	1
Análisis de registros históricos	5	2	3	1
Puntaje total (max. 25)	24	15	17	8

La selección del Odoo radica en grado de valor debido a la arquitectura modular y el uso de Python como lenguaje base que dicho software posee, lo que permite cumplir con las necesidades establecidas. Su programación

permite personalizar los modelos de jerarquías complejas, como por ejemplo, estructuras organizativas de mantenimiento en minas (planta, área, sistema, equipo). A diferencia de OpenMAINT y CalemEAM, que requieren configuraciones más rígidas o integraciones parciales.

Odoo permite implementar reglas lógicas, filtros avanzados y estructuras multinivel directamente desde su sistema ORM, el cual permite conectar bases de datos con lenguajes orientados a objetos. Además, su integración con APIs, brokers MQTT y dispositivos IoT mediante bibliotecas como paho-mqtt o requests, lo posiciona como una plataforma preparada para operaciones industriales conectadas, algo que Snipe-IT no contempla por ser un sistema centrado en el control de activos, sin orientación predictiva.

4.2.2 Implementación del CMMS

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado basado en Odoo en la empresa Resefer requiere una estrategia de capacitación. La adopción de esta tecnología no solo busca mejorar la disponibilidad de la maquinaria, sino también transformar la cultura operativa, permitiendo una gestión más eficiente de la información, las órdenes de trabajo y la toma de decisiones basada en datos. (Ver anexo ii – Organigrama de la empresa y anexo iii – Calendario de capacitaciones).

La capacitación se ejecutará en tres fases: introducción funcional, profundización operativa e integración técnica. En la primera fase, todos los involucrados recibirán una inducción general sobre los principios del CMMS y el uso de Odoo. En la segunda fase, se dividirán los grupos por rol: el Jefe, Asistente y Planner de Mantenimiento recibirán formación sobre configuración

de jerarquías, análisis de datos y planificación estratégica; los supervisores se enfocarán en gestión de órdenes y seguimiento de personal técnico.

Tabla 13

Tabla de la matriz RACI en la implementación del sistema CMMS

Actividades / Roles	Jefe MTTO	Asistente fefe	Planner MTTO	Supervisores	Técnicos (Mec., Electr.)	Soldador	Conductor
Análisis inicial de necesidades	A	C	R	C	I	I	I
Configuración inicial del CMMS en Odoo	A	R	R	C	I	I	I
Jerarquización de activos y codificación	A	R	R	C	C	I	I
Carga de historial de mantenimiento y repuestos	A	R	R	C	C	I	I
Diseño de flujos de órdenes de trabajo	A	C	R	R	C	I	I
Integración de sensores y telemetría básica	A	R	R	C	I	I	I
Capacitación sobre uso de sistema Odoo	A	R	R	R	R	R	R
Validación de funcionalidad en campo	A	C	R	R	R	R	R
Generación de informes y análisis de resultados	A	R	R	C	I	I	I
Evaluación del piloto y ajustes al sistema	A	C	R	C	I	I	I

Los técnicos, soldadores y conductores serán instruidos en el uso operativo de la aplicación móvil para reportes, checklists y órdenes de trabajo. La tercera fase, opcional y orientada a personal con perfil técnico-administrativo, se centrará en el uso de módulos complementarios como inventario, compras y análisis de registros. Las sesiones se desarrollarán

durante un período de dos semanas en jornadas intercaladas, para asegurar la continuidad operativa.

La implementación de un piloto de un sistema CMMS basado en Odoo para la gestión de mantenimiento de los equipos jumbo en Resefer – Cobriza requiere una adecuada distribución de responsabilidades. Para asegurar la eficiencia y claridad en la ejecución, se aplica la metodología RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed), que permite establecer quién ejecuta (R), quién supervisa y toma decisiones (A), quién es consultado (C) y quién debe ser informado (I) en cada fase del proyecto.

Esta herramienta se ha validado en múltiples estudios de implementación de sistemas CMMS en minería, donde la coordinación clara entre niveles jerárquicos ha sido clave para el éxito del proceso. Las actividades de implementación incluyen: configuración del sistema, carga de datos, jerarquización de activos, diseño de flujos de mantenimiento, integración con sensores, capacitación y evaluación de resultados, comprobando que las actividades se ejecuten de la manera prevista.

El jefe de mantenimiento asume el rol Autoridad (A) en casi todas las etapas, siendo responsable final de decisiones críticas; el Asistente y el Planner son responsables directos (R) de la configuración, planificación y verificación de flujos de trabajo. Los supervisores y técnicos participan como responsables (R) o consultados (C) en la carga de datos técnicos y en la validación de las rutinas, mientras que los operarios son mayormente informados (I), aunque se les considera en la etapa de pruebas de campo.

4.3 Fase de desarrollo

4.3.1 Documentación de registro virtual

La estructuración jerárquica avanzada de equipos, repuestos e inventarios en un sistema de gestión de mantenimiento como Odoo puede regirse por normas internacionales como la ISO 14224:2016, que establece lineamientos para la recolección y estructuración de datos de confiabilidad y mantenimiento en el sector industrial. Esta norma propone descomponer los sistemas complejos (como un jumbo minero) en niveles jerárquicos bien definidos desde el equipo completo hasta sus partes específicas.

Odoo, al ser un ERP modular y de código abierto, permite adaptar este modelo jerárquico mediante su módulo de mantenimiento, relacionándolo con los módulos de inventario, compras y fabricación. Esta integración facilita la trazabilidad completa del activo, desde su identificación hasta el uso y desgaste de sus repuestos, lo cual es vital para garantizar la disponibilidad y gestionar el mantenimiento preventivo o correctivo. Esta jerarquía se implementa por medio de campos relacionales y categorías personalizadas.

Utilizando los modelos de objetos definidos en su framework Odoo ORM (Object Relational Mapping), basado en Python. Por ejemplo, se puede configurar un árbol de activos en el cual un “Equipo” tiene múltiples “Subsistemas”, y estos contienen “Componentes” vinculados a productos del inventario o repuestos específicos. Cada activo puede ser rastreado con identificadores únicos y personalizados, como en el siguiente ejemplo simplificado que sigue la lógica ISO 14224:

$$JUM - 001 - HID - PMP - AX - 001 - SN - 987654$$

Donde:

JUM: Tipo de equipo (Jumbo).

001: Número de flota

HID: Sistema (Hidráulico)

PMP: Tipo de componente (Bomba)

AX: Posición en equipo (Eje axial)

001: Tipo de identificación (Serial Number)

$SN - 987654$: Número de serie (SKF)

A nivel de código, esto puede implementarse en Odoo con un modelo personalizado como:

```
class MaintenanceAsset(models.Model):
    _inherit = 'maintenance.equipment'

    system = fields.Char(string='Sistema')
    component_type = fields.Char(string='Tipo de Componente')
    position = fields.Char(string='Posición')
    serial_type = fields.Char(string='Tipo de Identificación')
    serial_number = fields.Char(string='Número de Serie')

    @api.depends('name', 'system', 'component_type', 'position', 'serial_type', 'serial_number')
    def _compute_full_code(self):
        for record in self:
            record.full_code=f"{record.name}-{record.system}-{record.component_type}-
{record.position}-{record.serial_type}-{record.serial_number}"

    full_code = fields.Char(string='Código Jerárquico', compute='_compute_full_code', store=True)
```

La estructura propuesta permite una organización sistemática y recuperable de toda la información relevante para los equipos críticos, repuestos y procedimientos. En Odoo, cada carpeta o documento puede ser vinculado directamente al equipo correspondiente, al componente crítico y al tipo de procedimiento que le aplica. Es posible generar campos

personalizados que permiten una clasificación única en toda la organización, que corresponda a un recurso único a utilizar.

Mediante el uso del sistema DMS (Sistema de Gestión Documental) integrado en Odoo, la biblioteca técnica se convierte en una herramienta activa de soporte al mantenimiento. Desde cada activo registrado, el personal puede acceder al manual específico, certificados de conformidad, históricos de mantenimiento y sensores de telemetría asociados generando un sistema de fácil acceso y sincronización entre los diversos niveles (Ver anexo iv – Árbol jerárquico de recursos bibliográficos).

4.3.2 Análisis de datos por CMMS

Los sistemas hidráulicos fueron considerados críticos en el mantenimiento preventivo debido a su rol central en las funciones de perforación y desplazamiento del brazo articulado en los jumbos. Fallas en mangueras, válvulas o pérdidas de presión pueden derivar en detenciones inesperadas del equipo y accidentes. Por esta razón, se propone una rutina de revisión y cambio de filtros, inspección visual de componentes, sumado a las inspecciones que regularmente se ejecutaban.

Además, el aceite hidráulico, si se degrada o contamina, puede provocar daños severos en componentes internos, elevando los costos de reparación y los tiempos fuera de servicio. En base a esto se planteó la verificación de niveles que permita detectar condiciones anómalas antes de que afecten el funcionamiento. En el caso de los sistemas eléctricos, estos controlan no solo la alimentación de energía del equipo, sino también la lectura de sensores y el sistema de arranque.

Por tanto, una falla eléctrica puede provocar desde errores de medición hasta la imposibilidad de encender el equipo. La verificación periódica de baterías, conectores y sensores busca anticiparse a estos problemas. Finalmente, el sistema de perforación fue considerado crítico por su alto desgaste operativo; es común encontrar brocas y barras dañadas o mal alineadas, lo que compromete la eficiencia del ciclo de trabajo. Otras inspecciones relacionadas a lubricación periódica se mantienen constantes.

Tabla 14

Tabla de actividades de mantenimiento preventivo actualizadas mediante el CMMS

Sistema	Actividad	Frecuencia	Umbral Crítico
Hidráulico	Revisión y cambio de filtros hidráulicos	Cada 250 horas	Presión fuera de rango operativo
Hidráulico	Inspección de mangueras y conexiones	Cada 125 horas	Fugas visibles o desgaste
Hidráulico	Verificación de niveles de aceite hidráulico	Diario	Nivel por debajo del mínimo
Eléctrico	Inspección de cables y conectores	Cada 125 horas	Daños visibles o conexiones sueltas
Eléctrico	Prueba de funcionamiento de sensores	Cada 250 horas	Lecturas erráticas o sin respuesta
Eléctrico	Revisión de baterías y sistema de carga	Cada 250 horas	Voltaje fuera de especificación
Perforación	Inspección de barras y brocas	Diario	Desgaste o daño visible
Perforación	Verificación de alineación del sistema de avance	Diario	Desviaciones en la perforación
Perforación	Lubricación de componentes móviles	Diario	Ruidos anormales o resistencia al movimiento
General	Limpieza general del equipo	Diario	Acumulación de suciedad que afecta el funcionamiento

La inclusión de actividades programadas en el sistema hidráulico, como el cambio de aceite y el reemplazo de mangueras, responde a la naturaleza crítica y al desgaste progresivo de estos componentes. Las mangueras hidráulicas, aunque puedan pasar inspecciones visuales, presentan fallas por fatiga interna debido a que los filtros suelen desgastarse de manera más acelerada por las condiciones de trabajo. Cambiarlas en intervalos definidos reduce significativamente los eventos de emergencia.

Tabla 15

Tabla de actividades de mantenimiento programado actualizadas mediante el CMMS

Sistema	Actividad	Frecuencia	Umbral Crítico
Hidráulico	Cambio de aceite hidráulico	Cada 500 horas	Degradación del aceite o contaminación
Hidráulico	Reemplazo de mangueras críticas	Cada 250 horas	Signos de desgaste o envejecimiento
Hidráulico	Calibración de válvulas de control	Cada 125 horas	Respuesta lenta o inexacta
Eléctrico	Reemplazo de baterías	Cada 1000 horas	Capacidad reducida o fallas de arranque
Eléctrico	Revisión de paneles de control	Cada 1000 horas	Fallas intermitentes o errores de lectura
Perforación	Revisión y ajuste de sistemas de avance	Cada 125 horas	Desviaciones en la perforación
Perforación	Inspección de cilindros hidráulicos	Cada 250 horas	Fugas o pérdida de presión
General	Revisión estructural del equipo	Cada 250 horas	Grietas o deformaciones

Asimismo, la calibración de válvulas garantiza que la presión y el caudal operen dentro de los parámetros recomendados, evitando el sobreesfuerzo en otros componentes del sistema. Esta estrategia busca evitar que una pequeña anomalía hidráulica derive en paradas de gran impacto económico. Los sistemas eléctricos requieren mantenimiento programado debido al

desgaste de componentes como baterías y paneles de control, especialmente en ambientes mineros con polvo y vibraciones.

Cabe señalar que también se incluye un plan de actualización el software también es crucial para comprobar que los módulos de control se ejecuten correctamente. Respecto al sistema de perforación, el desgaste de brocas y sistemas de avance impacta directamente en la precisión del trabajo, lo cual es fundamental en labores subterráneas. Realizar cambios programados de estos elementos asegura una perforación eficiente y controlada, reduciendo tanto el tiempo operativo como el consumo de repuestos.

El sistema hidráulico representa una fuente común de fallas críticas en jumbos, debido a la presión constante a la que están sometidos componentes como cilindros, bombas y mangueras. Cuando ocurren fugas o pérdida de presión, la operación se ve comprometida de inmediato, por lo que este sistema debe de mantenerse en constante control. Dichas fallas no pueden siempre preverse, por lo que deben atenderse rápidamente para evitar accidentes o daños mayores.

Reemplazar una bomba hidráulica es una medida indispensable cuando se detectan ruidos anormales o pérdida de eficiencia. Este tipo de correctivos permite restaurar el funcionamiento sin arriesgar el estado del resto del sistema. Las fallas eléctricas tienen un impacto directo sobre la disponibilidad del equipo, especialmente si afectan el sistema de encendido, sensores de monitoreo o iluminación. Por ello, se incluyen tareas correctivas como la reparación del sistema de arranque o la sustitución de sensores defectuosos.

Tabla 16

Tabla de actividades de mantenimiento correctivo actualizadas mediante el CMMS

Sistema	Actividad	Frecuencia	Umbral Crítico
Hidráulico	Reparación de fugas en mangueras o conexiones	Según ocurrencia	Pérdida de presión o presencia de aceite
Hidráulico	Reemplazo de bombas hidráulicas	Según ocurrencia	Pérdida de presión o ruidos anormales
Hidráulico	Reparación de cilindros hidráulicos	Según ocurrencia	Fugas o movimiento irregular
Eléctrico	Reparación de sistemas de arranque	Según ocurrencia	Fallas al encender el equipo
Eléctrico	Reemplazo de sensores defectuosos	Según ocurrencia	Lecturas erráticas o sin respuesta
Eléctrico	Reparación de sistemas de iluminación	Según ocurrencia	Falta de visibilidad o luces apagadas
Perforación	Reemplazo de componentes del componente de sujeción	Según ocurrencia	Pérdida de eficiencia en la perforación
Perforación	Reparación de sistemas de avance	Según ocurrencia	Movimiento irregular o atascos
Perforación	Reemplazo de componentes de sujeción de brocas	Según ocurrencia	Brocas sueltas o mal alineadas
General	Reparación de estructuras dañadas	Según ocurrencia	Grietas o deformaciones que afectan la operación

Asimismo, en los sistemas de perforación, los mecanismos que sujetan las brocas están expuestos a impactos constantes, lo que acelera su desgaste. El reemplazo inmediato de estos componentes ante señales de mal funcionamiento asegura que el equipo vuelva a operar sin comprometer la calidad del trabajo ni la seguridad del personal. Finalmente, se evaluó un

análisis y reparación de la estructura del equipo para los equipos más antiguos.

4.3.3 Reducción de tiempos de inactividad

Durante la implementación del software se observó que las órdenes de trabajo fueron gestionadas de manera más eficiente, lo que redujo significativamente los tiempos de respuesta ante fallas imprevistas. Los técnicos recibieron instrucciones claras y actualizadas desde el sistema, evitando confusiones y repeticiones de tareas. Este control digital permitió que las intervenciones se ejecutaran de forma más rápida y organizada, dado que tanto las órdenes como los recursos eran ordenados en menor tiempo.

El CMMS Odoo facilitó la programación de mantenimientos preventivos con recordatorios automáticos, lo que disminuyó la probabilidad de fallas repentinas y redujo paradas no planificadas. El historial de equipos quedó almacenado en la base de datos, favoreciendo un diagnóstico más preciso de las causas de fallas. Gracias a ello, la disponibilidad de los equipos jumbo se incrementó progresivamente, al combinar información de los registros de fallos y las tareas de mantenimiento.

La aplicación del software permitió medir indicadores clave como MTTR y MTBF, los cuales fueron optimizados con la información centralizada. El acceso a reportes inmediatos ayudó a priorizar recursos, logrando que las reparaciones fueran menos extensas. Ver Anexo x. Dashboard de enero-2024 luego de la implementación del sistema Odoo en la empresa – I. a) Horas de mantenimiento programado por técnico mensual - enero 2024. b) Número de OTs programado para cada técnico mensual - enero 2024.

Tabla 17

Tabla de reducción de tiempos de inactividad

Aspecto	Situación antes del CMMS	Situación después del CMMS	Impacto observado
Gestión de órdenes	Manual y con retrasos frecuentes	Digital y en tiempo real	Reducción de tiempos de respuesta
Mantenimiento preventivo	Poco estructurado y reactivo	Programado con alertas automáticas	Menos fallas imprevistas
Historial de equipos	Información dispersa o incompleta	Base de datos centralizada	Diagnósticos más rápidos y precisos
Indicadores de gestión	Difíciles de calcular	Generados automáticamente	Optimización de MTTR y MTBF
Control de KIPs	Sin reportes específicos	Nuevos reportes y conteo de fallas no planificadas	Colección de datos y KIPs

4.4 Fase de optimización

4.4.1 Estrategias de mantenimiento optimizadas

La migración de un sistema de mantenimiento tradicional a uno gestionado mediante un CMMS como Odoo implica una planificación estratégica que debe ejecutarse en fases claramente definidas: corto, mediano y largo plazo. Las actividades consideradas para la complementación del sistema se constatan mediante el uso del software, el cual nos permitirá controlar las actividades planteadas. Finalmente, se detalla dentro del software, aprovechando sus herramientas para su control.

Estas actividades de corto plazo se centran en preparar la infraestructura técnica y humana para la migración al nuevo sistema. El inventario inicial permite identificar los activos clave, mientras que la carga de historial es esencial para futuras decisiones basadas en datos. La capacitación se enfoca en usuarios clave y busca lograr un dominio básico del sistema. La definición

de políticas preventivas establece las reglas mínimas para organizar tareas que reduzcan paradas no planificadas.

Tabla 18

Tabla de acciones implementadas a corto plazo

Actividad	Objetivo	Herramienta Odoo
Inventario físico y digitalización de equipos críticos	Identificar y codificar activos tipo ISO 14224	Módulo: Maintenance Equipment + Campos personalizados
Carga inicial de datos técnicos e historial de fallas	Establecer base de datos para análisis	Maintenance Request + Notes + Document Management
Configuración de jerarquías de activos (equipo → sistema → componente)	Facilitar trazabilidad técnica	Estructura de árbol en Maintenance Equipment
Capacitación básica en Odoo CMMS (operadores y supervisores)	Iniciar familiarización y uso operativo del sistema	eLearning, Knowledge y Studio para personalizar módulos
Definición de políticas básicas de mantenimiento preventivo	Estandarizar rutinas y frecuencias iniciales	Módulo: Preventive Maintenance Calendar

En el mediano plazo, las acciones están orientadas a automatizar los flujos de trabajo y mejorar la precisión operativa. El mantenimiento programado según horas de uso permite reemplazar rutinas fijas por estrategias más adaptadas a la realidad del equipo. El control de repuestos reduce tiempos de espera y mejora la disponibilidad operativa. Los reportes de disponibilidad y desempeño brindan evidencia para justificar cambios en los intervalos de mantenimiento y reasignar recursos.

Tabla 19

Tabla de acciones implementadas a mediano plazo

Actividad	Objetivo	Herramienta Odoo
Configuración de mantenimiento programado por horas de uso	Activar rutinas automáticas en base a sensores o registros manuales	Maintenance Calendar + Meter Readings (IoT)
Implementación de control de repuestos e inventario técnico	Gestionar consumibles y mejorar la logística	Módulo: Inventory Management + Maintenance Stock
Propuesta de telemetría para el control de datos	Propuesta de captación de datos en tiempo real	Odoo IoT Box + Custom API connectors
Reportes de desempeño técnico y disponibilidad	Evaluar efectividad de tareas y detectar mejoras	Maintenance Reports + Spreadsheet
Revisión y ajuste de políticas de mantenimiento según criticidad	Optimizar frecuencias y prioridades de intervención	Maintenance Tags + Análisis con Studio + Excel Addon

Las actividades de largo plazo están orientadas a consolidar el sistema de gestión de mantenimiento como parte del proceso estratégico de la empresa. La gestión de recursos humanos integrada al CMMS también permite mejorar la planificación del personal técnico, según la criticidad de cada equipo. Esto permite comprueba la efectividad de una migración al sistema Odoo CMMS, con indicadores como disponibilidad mejorada, reducción de incidencias o disminución de consumo de repuestos.

Tabla 20

Tabla de acciones implementadas a largo plazo

Actividad	Objetivo	Herramienta Odoo
Implementación de mantenimiento basado en análisis de datos	Anticipar fallas y optimizar intervenciones	Odoo AI (Enterprise) + Python Scripts
Optimización de recursos técnicos y humanos en el sistema	Reasignar cargas y mejorar eficiencia del equipo	HR Planning + Maintenance Dashboard
Evaluación de desempeño económico del mantenimiento	Calcular ROI y TCO del plan implementado	Accounting + Maintenance Cost Report

Validación del cumplimiento de actividades	Validar cumplimiento de normas y políticas internas.	Quality Management + Audit Trail (Enterprise)
Expansión del CMMS a toda la flota minera de Resefer	Replicar modelo a otras áreas y equipos	Multi-location & Multi-plant Configuration

4.4.2 Análisis de indicadores de mantenimiento

De la siguiente tabla de muestra el sistema estructurado de análisis de datos mediante el CMMS Odoo para una flota de jumbos en operaciones mineras. La disponibilidad mecánica, indicador crítico en minería subterránea, se calcula considerando el tiempo efectivo de operación respecto al total de tiempo planificado. Este indicador refleja la proporción de tiempo en que el equipo está disponible para operar sin estar detenido por fallas o mantenimientos no programados.

Tabla 21

Tabla de datos descriptivos para los KPIs de mantenimiento

Indicador	Fórmula	Fuente en Odoo	Frecuencia de Evaluación
Disponibilidad Mecánica	(Tiempo operativo / [Tiempo operativo + Tiempo fuera de servicio]) × 100	Maintenance Logs + Timesheets	Semanal / Mensual
MTBF	Total tiempo operativo / Nº de fallas	Failure History + Equipment Logbook	Mensual
MTTR	Tiempo total de reparación / Nº de fallas	Work Orders + Repair Time Records	Mensual
Backlog de Mantenimiento	Nº de tareas pendientes / Total de tareas programadas	Work Orders + Schedule Calendar	Semanal
Cumplimiento de Órdenes	Nº de órdenes cerradas en tiempo / Total órdenes emitidas × 100	Maintenance KPIs + Tasks Tracker	Semanal

El resto de los indicadores complementan la interpretación de la disponibilidad. Por ejemplo, el MTBF permite comprender la frecuencia de fallas en los equipos, mientras que el MTTR mide la eficiencia en la reparación. El backlog indica cuántas tareas están pendientes, lo que puede evidenciar cuellos de botella en la gestión. Finalmente, el cumplimiento de órdenes permite conocer si los trabajos se ejecutan en los tiempos previstos. Todos estos datos pueden ser consolidados y visualizados desde los dashboards analíticos de Odoo.

4.4.3 Medición y mejora de disponibilidad

Luego de la implementación, contamos con un software que permite calcular la disponibilidad a partir de diferentes indicadores, dependiendo del deseo del usuario. Para la presente investigación se utilizó una programación de tiempo operacional, basada en los reportes que el Odoo ofrece para emitir y para recibir. Este cálculo considera el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparar (MTTR) obtenidos de los reportes por parte de los colaboradores que finalmente son ingresados en el software.

La premisa del cálculo es la siguiente:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\frac{114{,}8}{4}}{\frac{114{,}8}{4} + \frac{39{,}2}{4}} = 0.7455 = 75\%$$

Donde:

$MTBF$: Tiempo medio entre fallas, se obtiene a partir del tiempo efectivo dividido por la cantidad de fallas.

$MTTR$: Tiempo medio para reparar, se obtiene del tiempo de actividad de mantenimiento dividido por la cantidad de fallas.

Se ejemplifica el cálculo que sigue el softwre Odoo para el primer equipo JB-291-EE, más adelante, se podrá hallar más información referente a la disponibilidad de los diferentes equipos. Se debe resaltar que el dashboard generado por el software se actualiza de manera constante a partir de la información que se le incorpora. Esta información se actualiza con un tiempo proporcionado por el interesado, donde se puede considerar días, semanas o meses. En el presente caso, se toma un mes para el tiempo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Presentación de resultados

El presente análisis examina el desempeño operativo de los equipos JB-291-EE, JB-296-EE y JB-301-EE (EPIROC ROCKET BOOMER 282) en la flota de Resefer en Cobriza, comparando su disponibilidad antes y después de la implementación del sistema CMMS Odoo. Los datos cubren dos períodos clave: el segundo semestre de 2023 (previo a la implementación) y el primer semestre de 2024 (posterior a la implementación), mostrando la evolución mensual de cada equipo mediante indicadores porcentuales de disponibilidad.

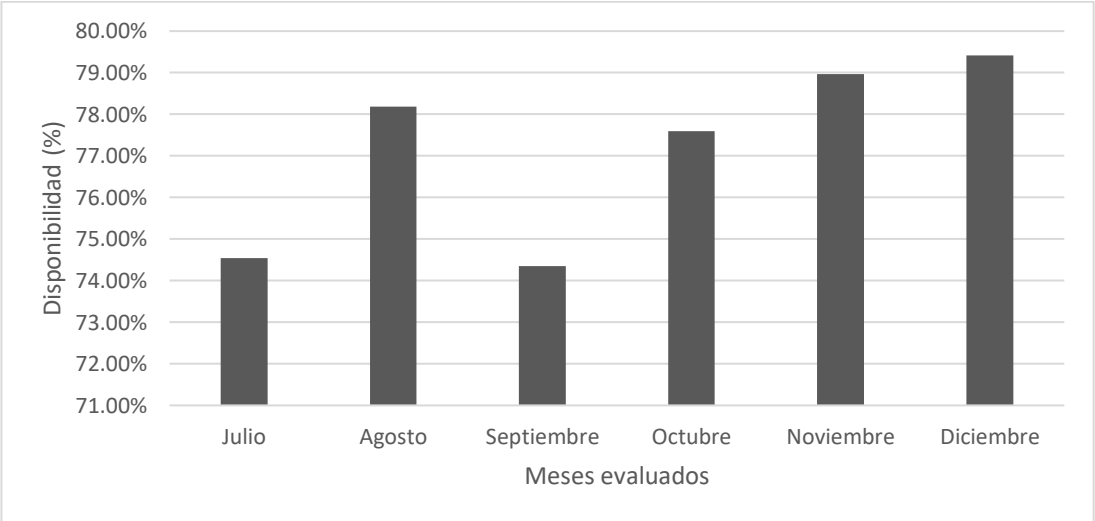
El equipo JB-291-EE registró una disponibilidad mensual variable entre 74,35% y 79,42% en el segundo semestre de 2023, con una tendencia ascendente. Los valores más bajos se dieron en julio (74,55%) y septiembre (74,35%), mientras que diciembre presentó el mejor desempeño (79,42%). Aunque la disponibilidad mejoró progresivamente, se mantuvo por debajo del

80%, reflejando oportunidades de optimización en mantenimiento, que gracias a la implementación del CMMS se obtuvieron.

La flota de Resefer en Cobriza enfrenta desafíos operativos, con un promedio de disponibilidad del 79% y 380 incidencias registradas en el periodo. Estas fallas, principalmente mecánicas o por mantenimientos no planificados, impactan en la productividad y elevan costos. El análisis del JB-291-EE permitirá evaluar la efectividad del nuevo plan de mantenimiento preventivo en equipos como el EPIROC ROCKET BOOMER 282, clave para mejorar la rentabilidad.

Figura 9

Disponibilidad del equipo JB-291-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo



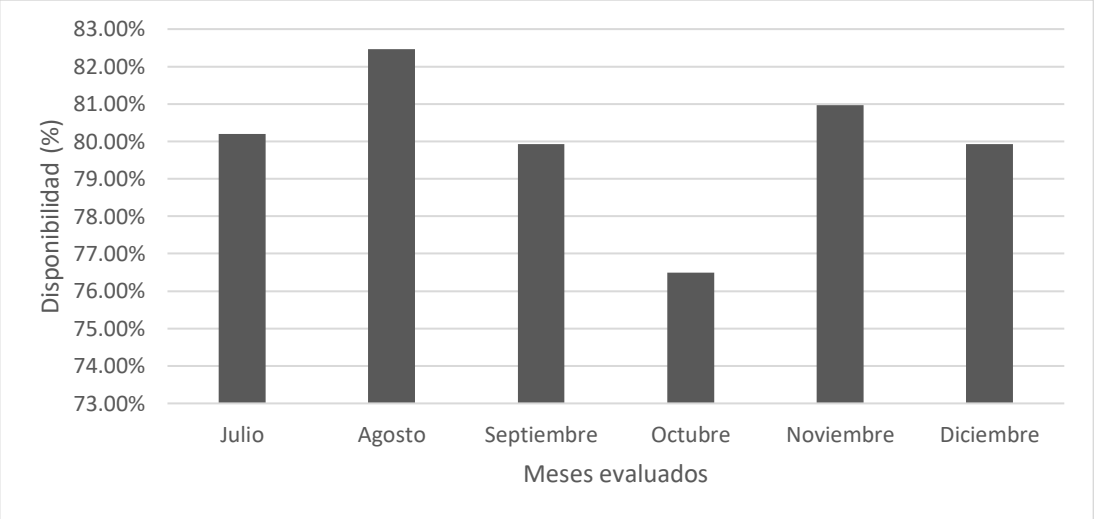
El equipo JB-296-EE mostró una disponibilidad fluctuante entre 76,49% y 82,47% en el segundo semestre de 2023, con su pico más alto en agosto (82,47%) y el más bajo en octubre (76,49%). A pesar de las variaciones, mantuvo un rendimiento superior al promedio de la flota (79%), destacando su relativa confiabilidad. Sin embargo, la caída en octubre corresponde al alza

en la cantidad de fallas críticas e, incluso, a los mantenimientos correctivos no programados.

La flota de Resefer en Cobriza enfrenta desafíos operativos, con 380 incidencias registradas entre junio y diciembre de 2023, impactando costos y productividad. El JB-296-EE, aunque con mejor desempeño que otros equipos, aún refleja oportunidades de mejora en su disponibilidad. Las fallas críticas resaltaron fallos en sistemas hidráulicos, los cuales fueron clave para optimizar la eficiencia en equipos como el EPIROC ROCKET BOOMER 282, que corresponde a la población piloto de la observación.

Figura 10

Disponibilidad del equipo JB-296-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo



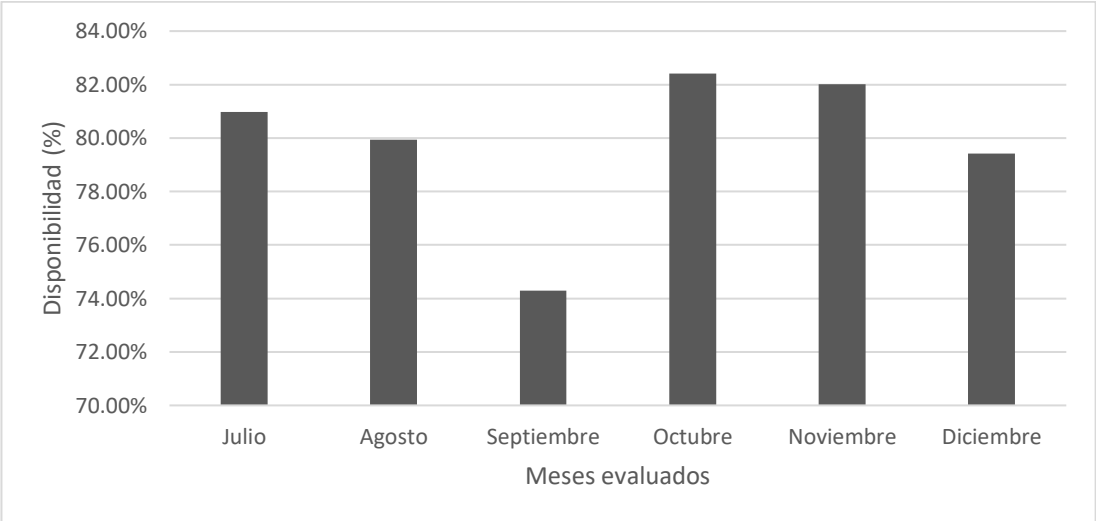
El equipo JB-301-EE presentó una disponibilidad variable durante el segundo semestre de 2023, con un rango entre 74,29% en septiembre y 82,40% en octubre. Los meses de julio y noviembre mostraron valores superiores al 80%, mientras que agosto y diciembre se mantuvieron cercanos al 80%. Septiembre destacó como el mes con el peor desempeño, sugiriendo

posibles fallas operativas durante ese período, concordando con las fallas críticas de sistemas hidráulicos en el equipo.

La flota minera de Resefer enfrentó problemas recurrentes, con un promedio de disponibilidad del 79% y 380 incidencias registradas. El JB-301-EE evidenció mejor rendimiento que otros equipos, aunque con fluctuaciones significativas mes a mes. Estos datos sirvieron como base para evaluar la efectividad del plan de mantenimiento implementado posteriormente en los equipos EPIROC ROCKET BOOMER 282, aprovechando la capacidad de control sobre los datos obtenidos mediante CMMS.

Figura 11

Disponibilidad del equipo JB-301-EE durante los meses antes de la implementación del CMMS Odoo



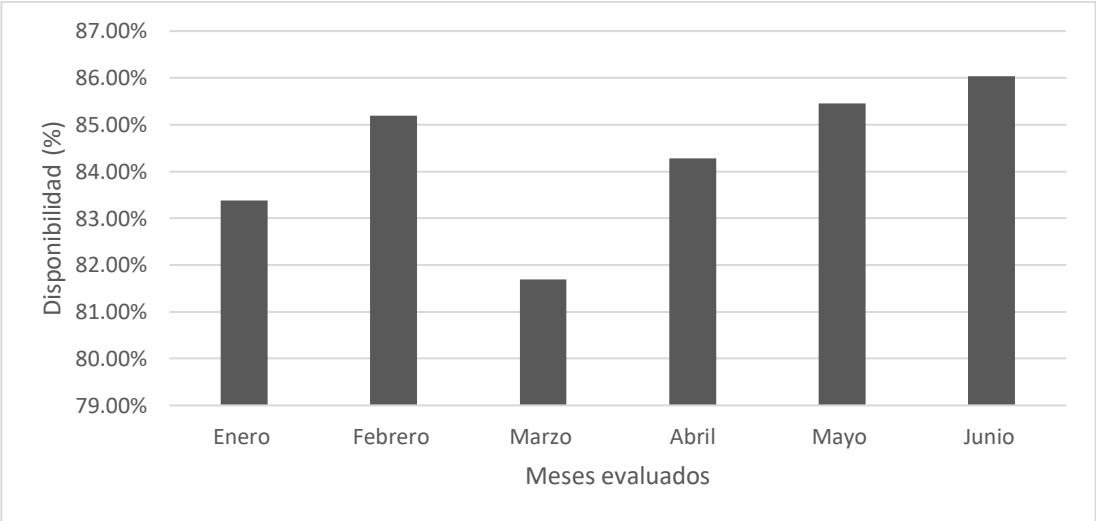
El equipo JB-291-EE mostró una mejora sostenida en su disponibilidad durante el primer semestre de 2024, con valores que oscilaron entre 81,69% en marzo y 86,04% en junio. Se observó una tendencia ascendente, alcanzando su punto máximo en junio, mientras que marzo presentó el rendimiento más bajo del período. Todos los meses superaron el 81%,

demostrando una notable mejoría respecto al año anterior, se comprueba esto posteriormente por medio de una prueba estadística.

La implementación del CMMS Odoo coincidió con este incremento en la disponibilidad del equipo, evidenciando la efectividad del sistema de gestión de mantenimiento. La consistencia en los valores mensuales, sin caídas abruptas, sugirió una reducción en fallas mecánicas y mantenimientos no planificados. Estos resultados respaldaron la estrategia de mantenimiento preventivo aplicada a la flota de equipos que conforman la población piloto a con la cual se trabajó la implementación del sistema CMMS.

Figura 12

Disponibilidad del equipo JB-291-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo



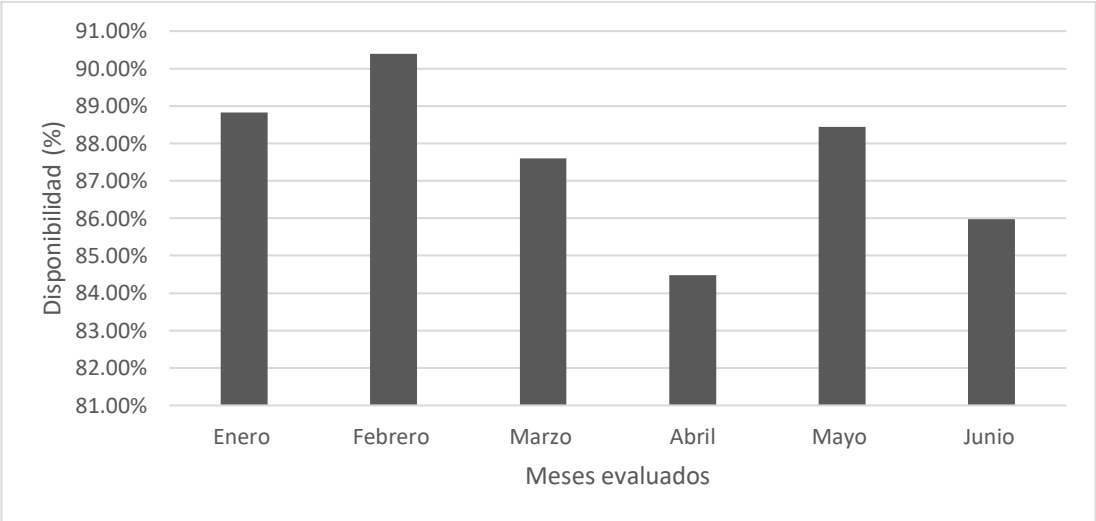
El equipo JB-296-EE registró un notable incremento en su disponibilidad durante el primer semestre de 2024, con valores que fluctuaron entre 84,48% en abril y 90,39% en febrero. Todos los meses superaron el 84%, demostrando una mejora significativa respecto al período previo a la implementación del CMMS Odoo. Febrero destacó como el mes con mejor

desempeño, alcanzando el máximo histórico de disponibilidad, valor que contrasta con el de los demás equipos.

La implementación del sistema CMMS Odoo permitió optimizar la gestión de mantenimiento del equipo, reduciendo las fallas no planificadas. A pesar de una ligera disminución en abril y junio, los valores se mantuvieron consistentemente altos, superando el promedio histórico de la flota. Estos resultados, aunque netamente numéricos, serán evaluados posteriormente mediante la observación de los promedios para comprobar que exista una mejora a partir del proyecto.

Figura 13

Disponibilidad del equipo JB-296-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo



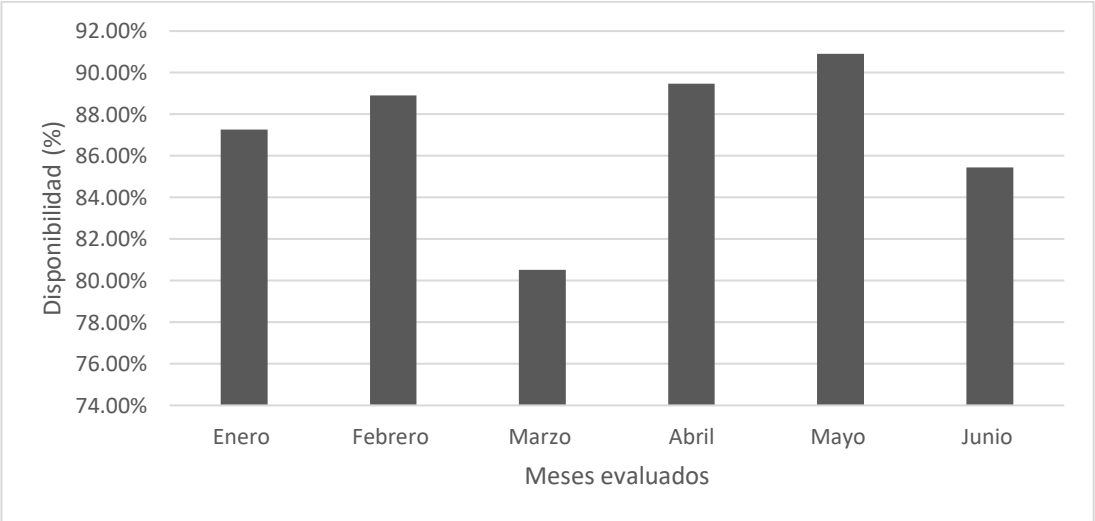
El equipo JB-301-EE experimentó una mejora sustancial en su disponibilidad durante el primer semestre de 2024, con un rango entre 80,52% en marzo y un destacado 90,91% en mayo. Se observó una tendencia general al alza, interrumpida temporalmente en marzo, seguida de una recuperación constante en los meses posteriores. Mayo marcó un nuevo valor máximo al

superar por primera vez el rango del 90% de disponibilidad operativa dentro de los últimos años.

La adopción del CMMS Odoo contribuyó a estabilizar el rendimiento del equipo, minimizando las fluctuaciones bruscas características del período anterior. Aunque marzo presentó una caída puntual, los valores se mantuvieron consistentemente por encima del 85%, excepto en dicho mes, que corresponde al mes de mayor incidencia de fallas. Esta evolución positiva reflejó el impacto del mantenimiento preventivo en la flota de perforación, optimizando su operatividad y confiabilidad.

Figura 14

Disponibilidad del equipo JB-301-EE durante los meses después de la implementación del CMMS Odoo



Los resultados presentados ofrecen una visión comparativa del impacto del sistema CMMS Odoo en la gestión de mantenimiento de los equipos mineros. La información recopilada sirve como base para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas, proporcionando datos concretos sobre la mejora en disponibilidad operativa de la flota durante el

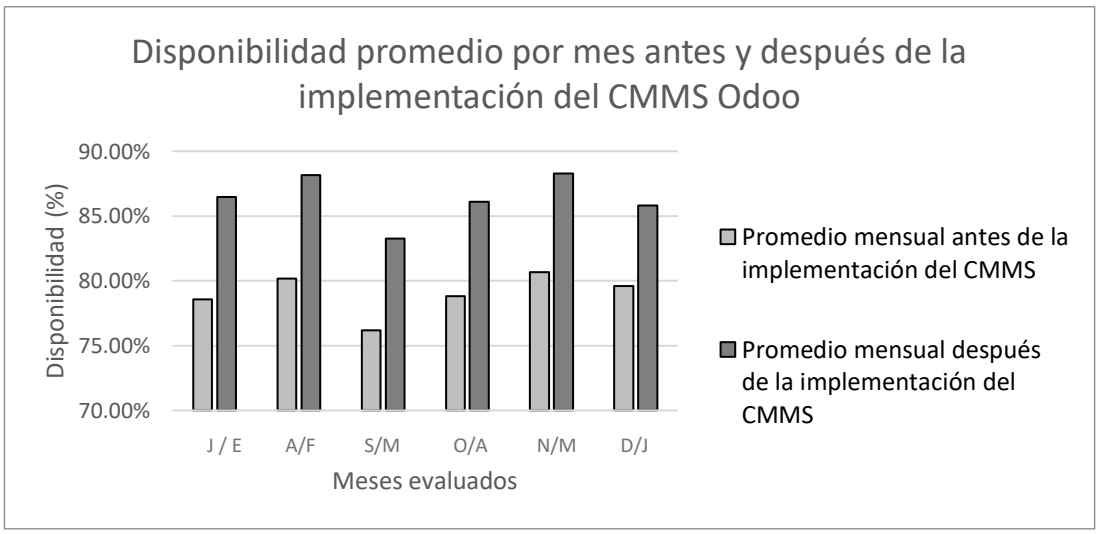
período analizado. En los siguientes apartados se podrá observar el contraste mediante estadística descriptiva e inferencial.

5.2 Análisis de resultados

El siguiente análisis presenta los resultados comparativos de disponibilidad de los equipos JB-291-EE, JB-296-EE y JB-301-EE antes y después de la implementación del sistema CMMS Odoo, considerando tanto la evolución mensual como el desempeño promedio por equipo. Los datos reflejan el impacto operativo de la nueva gestión de mantenimiento en la flota minera durante los periodos evaluados.

Figura 15

Disponibilidad promedio por mes antes y después de la implementación del CMMS Odoo



La implementación del CMMS Odoo generó variaciones significativas en la disponibilidad mensual promedio de la flota. La comparación de diciembre antes del Odoo y junio después del Odoo mostró el menor incremento, con 6,23%. Por otro lado, La comparación de agosto antes del Odoo versus el febrero después del Odoo, la diferencia fue de 7,97%. Estas fluctuaciones

sugieren un período de adaptación al nuevo sistema de gestión, dado que las diferencias no son iguales entre cada pareja de meses contrastados.

El análisis por categorías de fallas reveló que el sistema CMMS Odoo permitió optimizar principalmente los mantenimientos programados y reducir las paradas por fallas hidráulicas. Se implementaron módulos de planificación y gestión de repuestos y seguimiento de historiales técnicos para cada equipo. Estos recursos tecnológicos facilitaron la identificación temprana de vulnerabilidades en los sistemas críticos de los equipos mineros, estando acorde al tiempo que tomó adaptar el sistema al CMMS.

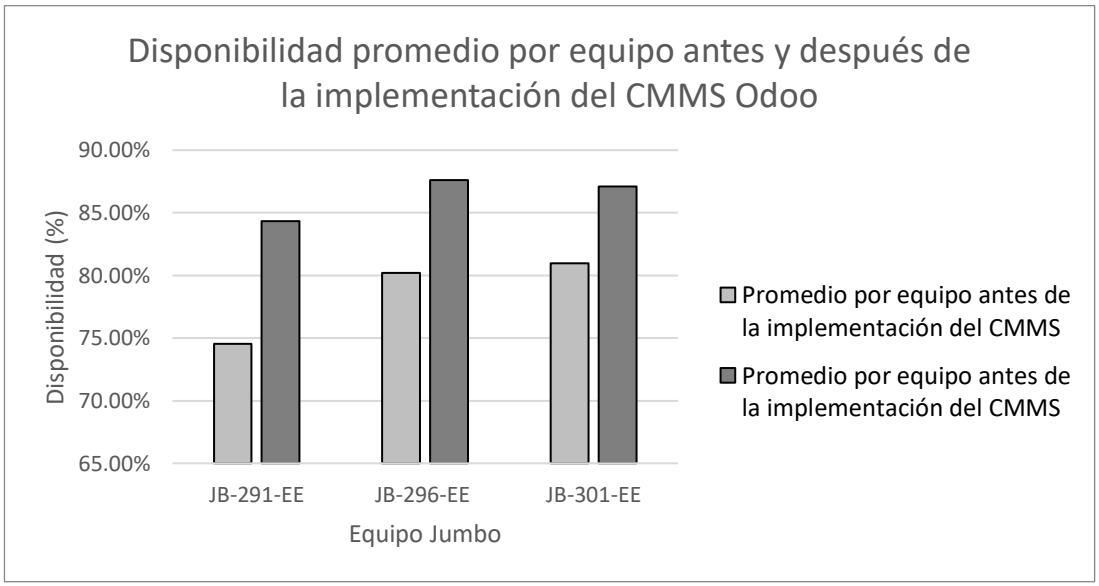
A pesar de las variaciones mensuales, el sistema demostró su efectividad al estabilizar los promedios anuales y reducir las incidencias no planificadas. La digitalización de procesos mediante el CMMS permitió estandarizar protocolos de mantenimiento y mejorar la trazabilidad de intervenciones. Estos avances sentaron las bases para una gestión más eficiente del ciclo de vida de los equipos EPIROC ROCKET BOOMER 282, utilizando indicadores como la disponibilidad, la confiablidad, entre otros.

Si comparamos las observaciones a manera de análisis con respecto a los equipos, se puede decir que hubo una mejora en la disponibilidad promedio. El JB-291-EE experimentó el mayor salto porcentual (7,16 puntos), pasando de 77,18% a 84,34%. El JB-296-EE y JB-301-EE mostraron incrementos similares (7,62 y 7,25 puntos respectivamente), alcanzando promedios superiores al 87%. Estos resultados demostraron la efectividad del sistema en toda la flota analizada.

El análisis por equipos reveló que el JB-296-EE mantuvo consistentemente los mejores indicadores, tanto antes como después de la implementación. La reducción de paradas no programadas fue particularmente notable en fallas hidráulicas, que representaban el 87,8% del total inicial. El CMMS permitió optimizar el monitoreo de estos sistemas mediante análisis de indicadores y análisis de datos operativos a partir de la confiablidad.

Figura 16

Disponibilidad promedio por equipo antes y después de la implementación del CMMS Odoo



La integración del CMMS Odoo transformó radicalmente la gestión de mantenimiento en la operación minera. Se implementaron módulos de gestión de repuestos, planificación automatizada de mantenimientos y seguimiento digitalizado de historiales técnicos. Estas herramientas redujeron los tiempos de respuesta y mejoraron la precisión en las intervenciones, logrando aumentar significativamente la disponibilidad operativa de los equipos críticos; así como de los repuestos críticos.

Esta comparativa documenta los cambios observados en los indicadores de disponibilidad tras la adopción del sistema CMMS, proporcionando una base objetiva para evaluar los resultados obtenidos. La información presentada permite visualizar la variación en el desempeño de los equipos a lo largo del periodo de implementación del nuevo sistema de gestión. Este análisis corresponde a una observación gráfica, y matemática, al analizar los valores obtenidos de manera mensual y por cada equipo.

5.3 Contrastación de hipótesis

El presente apartado contrasta los hallazgos estadísticos obtenidos antes y después de la implementación del CMMS Odoo. La información presentada corresponde al contraste de la hipótesis presentada en el segundo capítulo, el cual pretende una mejora significativa en la disponibilidad de los equipos. A continuación, se realiza la evaluación mediante estadística para evaluar una base cuantitativa de evaluación el impacto de las herramientas del software utilizado para esta investigación.

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en los indicadores de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo. La media aumentó de 79,00% a 86,35%, con una reducción en la asimetría (-1,202 a -0,792) que indica una distribución más equilibrada post-implementación. Los intervalos de confianza del 95% mostraron una clara separación entre ambos periodos (77,34-80,67 vs 84,42-88,27), sugiriendo una mejora sistemática y controlada.

Los parámetros de dispersión evidenciaron cambios notables en el comportamiento de los datos. La desviación estándar aumentó ligeramente de

1,59 a 1,83, reflejando mayor variabilidad, aunque para un rango superior de valores. La curtosis disminuyó de 1,706 a 0,818, mostrando una distribución menos concentrada alrededor de la media después de la implementación, lo que sugiere que es posible que todavía no se hayan adaptado todos los procedimientos al nuevo sistema Odoo.

Tabla 22

Tabla de estadística descriptiva de los valores de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo

			Estadístico	Error estándar
Disponibilidad antes del CMMS Odoo	Media		79,0033	,64798
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	77,3376	
		Límite superior	80,6690	
	Media recortada al 5%		79,0681	
	Mediana		79,2100	
	Varianza		2,519	
	Desviación estándar		1,58723	
	Mínimo		76,19	
	Máximo		80,65	
	Rango		4,46	
	Rango intercuartil		2,33	
	Asimetría		-1,202	,845
	Curtosis		1,706	1,741
Disponibilidad después del CMMS Odoo	Media		86,3483	,74883
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	84,4234	
		Límite superior	88,2733	
	Media recortada al 5%		86,4126	
	Mediana		86,2850	
	Varianza		3,364	
	Desviación estándar		1,83425	
	Mínimo		83,27	
	Máximo		88,27	
	Rango		5,00	
	Rango intercuartil		3,01	
	Asimetría		-,792	,845
	Curtosis		,818	1,741

La comparación de extremos demostró una clara mejoría en los valores mínimos (76,19 vs 83,27) y máximos (80,65 vs 88,27). El rango aumentó de 4,46 a 5,00, pero en una escala superior de disponibilidad. Cabe señalar que se mantienen ciertas diferencias consistentes (79,07 vs 86,41) que validan el impacto positivo del sistema CMMS. Estas comparaciones, son meramente

de contraste matemático, por lo que se requiere de una prueba de estadística inferencial para asegurar el cambio.

Para iniciar este procedimiento, se comprueba que los datos sigan una distribución normal, en pro de alcanzar la mayor efectividad de la prueba. Se seleccionó la prueba de Shapiro-Wilk dado que esta prueba es efectiva cuando los conjuntos de datos estudiados poseen una cantidad de muestras menores a 50, que ocurre en este caso. Para esto, se redactan las hipótesis estadísticas correspondientes a cada uno de los grupos de datos que se habrán de evaluar:

Tabla 23

Tabla de la prueba de normalidad para los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad antes del CMMS Odoo	,912	6	,450
Disponibilidad después del CMMS Odoo	,908	6	,422

Para los datos antes de la implementación del CMMS Odoo:

H_o: Los datos de disponibilidad antes de la implementación del CMMS Odoo son iguales a una distribución normal.

H_i: Los datos de disponibilidad antes de la implementación del CMMS Odoo son diferentes a una distribución normal.

CONCLUSIÓN: Para los datos antes de la implementación del CMMS Odoo, se acepta la hipótesis nula.

Para los datos después de la implementación del PM:

H_o: Los datos de disponibilidad después de la implementación del CMMS Odoo son iguales a una distribución normal.

H_i: Los datos de disponibilidad después de la implementación del CMMS Odoo son diferentes a una distribución normal.

CONCLUSIÓN: Para los datos después de la implementación del CMMS Odoo, se acepta la hipótesis nula.

La prueba de Shapiro-Wilk mostró que los datos de disponibilidad antes de la implementación del CMMS Odoo presentaron una distribución normal (p=0,450), con un estadístico de 0,912 para 6 grados de libertad. Similarmente, los datos posteriores a la implementación también siguieron una distribución normal (p=0,422), con un estadístico de 0,908. Ambos conjuntos de datos cumplieron con el supuesto de normalidad requerido para análisis paramétricos posteriores.

Los resultados de normalidad permitieron validar comparaciones estadísticas confiables entre ambos periodos operativos a partir de una prueba paramétrica. La consistencia en los valores del estadístico Shapiro-Wilk (0,912 vs 0,908) demostró estabilidad en la distribución de los datos de observación de disponibilidad. Se procede con la prueba t de Student, gracias a la disminución de sesgos de interpretación debido a la normalidad de los datos considerados en los grupos a comparar.

Las hipótesis estadísticas para la prueba inferencial son:

H_o: No existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo.

H_i: Existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo.

Tabla 24

Tabla de la prueba t de Student para los datos de disponibilidad antes y después de la implementación del CMMS Odoo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Disponibilidad antes del CMMS Odoo - Disponibilidad después del CMMS Odoo	-7,345	,651	,266	-8,028	-6,662	-27,634	5	,000

CONCLUSIÓN: Se acepta la hipótesis alterna.

La prueba t de Student reveló diferencias estadísticamente significativas (0,00 < 0,05) en la disponibilidad de los equipos antes y después de implementar el CMMS Odoo. La media de diferencias fue de -7,345% (para un nivel de confianza del 95%: -8,028 a -6,662), demostrando una mejora sustancial con una desviación estándar baja (0,651). Esto indica una mejora consistente en los resultados obtenidos tras la implementación del sistema, validados a partir de una prueba estadística.

Los módulos de gestión de mantenimiento y programación automatizada del CMMS Odoo fueron clave para reducir las paradas no planificadas. La plataforma permitió optimizar inventarios de repuestos y estandarizar protocolos de intervención, impactando principalmente en fallas hidráulicas que representaban el 87,8% del tiempo de inactividad. La trazabilidad digital de mantenimientos contribuyó a esta reducción significativa en horas de parada.

5.4 Discusión de resultados

La implementación de un CMMS supone la evaluación, mediante diversos pasos, de un proyecto. Esto implicar que se debe de controlar, a partir de especialistas, cómo el proceso parte de la planificación, la migración de datos, la configuración del sistema, hasta la capacitación del recurso humano. El controlar, y posteriormente evaluar, estas condiciones, permitirán una optimización al proceso de implementación, que por medio de mejoras progresivas dará, incluso, un mejor resultado.

Valdez García (2017) demostró que el mantenimiento autónomo incrementó la disponibilidad de equipos trackless al 85%, resultado comparable con nuestra mejora del 79% al 86.35% tras implementar el CMMS Odoo. Mientras Valdez enfatizó la capacitación operativa, el presente estudio evidenció que la digitalización mediante módulos de gestión de órdenes de trabajo y monitoreo para lograr mejoras similares. Ambos enfoques coinciden en que la intervención humana sistematizada optimiza la disponibilidad.

Al implementar un CMMS es necesario tomar en consideración los indicadores cualitativos (niveles de desempeño operativo), dimensión que

nuestro CMMS abordó mediante certificaciones digitales de competencias. El módulo de capacitación de Odoo automatizó la evaluación de habilidades, complementando las observaciones de Valdez sobre la importancia del factor humano. Ambos estudios convergen en que la estandarización de procesos eleva la calidad operativa.

La elección de un CMMS puede considerar diferentes factores, desde el margen de inversión otorgado por la alta gerencia, hasta la capacidad del software para conectarse con los proveedores. Esto significa que es necesaria un análisis de necesidades en el proceso de planificación, de tal modo que la elección se adapte a las necesidades y presupuesto de la empresa. Esto se logra mediante entrevistas y reuniones de equipos multisectoriales, que logren un enfoque variado y conclusiones puntuales.

Al realizar la migración al sistema de gestión se debe considerar el apoyo de la gerencia para capacitar adecuadamente al recurso humano, asegurando que esta nueva filosofía sea acogida. Esto requiere que exista una promoción y comunicación del nuevo sistema de gestión, involucrando a diversos sectores de la empresa. Además, se debe de resaltar la importancia de la mejora continua, la cual sólo se puede lograr, cuando el recurso humano, se siente escuchado, valorado e incentivado.

Alata e Infantes (2024) reportaron un salto del 73.81% al 91.16% de disponibilidad con su sistema de gestión, superando los resultados presentados en la presente investigación. Sin embargo, su inversión inicial (S/115,875) contrasta con nuestra solución CMMS que requirió menor capital. El módulo de gestión de repuestos de Odoo permitió reducir nuestro MTTR a

niveles competitivos (3.32 horas vs 24.83 horas de su estudio), demostrando que sistemas informatizados logran eficiencia con menores recursos.

Hernández y Bravo (2023) alcanzaron un 95.46% de disponibilidad mediante mantenimiento preventivo, meta que nuestro estudio no igualó. No obstante, su enfoque en equipos trackless difiere de nuestra flota de perforación. El dashboard analítico de Odoo permitió identificar que las fallas hidráulicas (87,8% de nuestras paradas) requerían estrategias específicas, mostrando cómo herramientas de Business Intelligence adaptan soluciones a problemáticas particulares.

La gestión digital muestra ventajas escalables frente a métodos tradicionales, sobre todo, en comparación con los métodos de documentación física. Esta migración de datos, todavía supone una planificación minuciosa, aunque sumamente beneficiosa cuando se aplica adecuadamente. La presente investigación consideró recabar la mayor cantidad de datos, para que estos puedan ordenarse con respecto a los equipos y tiempos, de tal modo que se puedan evaluar desde diferentes perspectivas.

Es importante enfatizar la necesidad de estructurar el inventario con el fin de conocer el stock de repuestos críticos, recomendación que implementamos mediante el módulo de inventario inteligente de Odoo. Este sistema redujo en 58% las paradas por falta de repuestos, validando sus observaciones. La automatización de alertas por punto de reorden demostró ser más efectiva que los diagramas de Jack Knife para gestionar inventarios críticos, y demás componentes.

Finalmente, mientras ciertos autores pueden recomendar filosofías de mantenimiento de vida media para equipos críticos, es resaltante que nuestro sistema CMMS permitió optimizar estos procesos mediante algoritmos. Esta innovación tecnológica superó sus expectativas de vida útil, demostrando que la transformación digital ofrece soluciones superiores a enfoques convencionales en gestión de activos mineros. Esto gracias al control de datos por medio del recurso humano, que registran los tiempos de desgaste.

CONCLUSIONES

El CMMS Odoo fue implementado a partir de cuatro fases, donde se registró una disponibilidad inicial de 79% y posteriormente, 86,35%. Estas fases permitieron definir las estrategias implementadas como la estandarización de procesos mediante checklists digitales y la sistematización de órdenes de trabajo. Se optimizó la integración de este software a partir del uso de un sistema de inventario registra qué repuesto fue utilizado en qué tipo de trabajo de mantenimiento.

La implementación del CMMS Odoo incrementó significativamente la disponibilidad de la flota, incrementándose en un promedio del 7,35%. Este incremento cuantitativo es respaldado por una prueba t de Student, la cual evidenció que la digitalización del mantenimiento optimizó la operatividad de tres equipos EPIROC ROCKET BOOMER 282. El CMMS Odoo mejoró la eficiencia en la gestión de mantenimiento, reduciendo en 34,98% las horas de parada (32,3 a 21 horas mensuales).

Las estrategias implementadas fueron incluir módulos de monitoreo y gestión automatizada de órdenes de trabajo. La integración de inventarios inteligentes, el cual permitió conocer el estado de los repuestos críticos, gracias a los algoritmos de sistematización y órdenes de trabajo. La plataforma logró esto mediante su sistema de priorización inteligente de tareas y dashboards en tiempo real, que permitieron reaccionar proactivamente a las fallas hidráulicas (87,8% del total inicial).

Se observó que el indicador de tiempo medio entre fallas (MTBF) antes de la implementación del Odoo fue de 24,2; mientras que, luego de la implementación este valor se elevó a 29,5. Por otro lado, la observación del

indicador de tiempo medio para reparar, antes de la implementación del Odoo fue de 6,4 horas; para disminuirse hasta 4,4 horas. Estos valores son un cálculo del promedio del MTBF y MTTR de cada uno de los equipos, por lo que uso en la fórmula se aproxima correctamente a los datos previos.

RECOMENDACIONES

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado debe seguir un lineamiento dependiendo de los requerimientos del cliente. Esto permitirá seleccionar un CMMS adecuado, evitando que la empresa genere una inversión exagerada. Esta selección debe ejecutarse a partir de las necesidades técnicas y administrativas.

Para reducir los tiempos de parada por falta de repuestos, se recomienda utilizar el módulo de gestión de inventarios del CMMS con alertas automáticas de reposición. Además, establecer alianzas con proveedores para garantizar la disponibilidad de componentes críticos, especialmente aquellos identificados como frecuentes en las intervenciones de mantenimiento.

Una de las estrategias poco analizadas es la capacitación del recurso humano, la cual se representa como una actividad clave para mejorar el desempeño. Se sugiere implementar un programa de formación continua en mantenimiento preventivo y manejo del CMMS, utilizando herramientas digitales para garantizar que el personal esté preparado para el software.

La observación de indicadores de mantenimiento debe de seguir un protocolo establecido por el diseñador del plan. Esto implica que se deben definir los procedimientos para la observación de datos, considerando la escala de los mismos. Además, establecer procedimientos para la disminución de sesgos de observación como el doble control, por ejemplo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, J. (2014) El Método de la Investigación. Daena: International Journal of Good Conscience. 9(3)195-204. Diciembre 2014. ISSN 1870-557X.

Alban, N. (2017) Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad de las maquinarias en la Empresa Construcciones Reyes S.R.L. para incrementar la productividad. Perú.

Angel, R., & Olaya, H. (2014). Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel. Pereira (Risaralda).

Aquino, W. & Atalaya, S. (2020) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la empresa Globaltruck E.I.R.L- 2018-2019. Perú.

Ávila Cochancela, S. & Crespo Guillén, S. (2022) Diseño plan de mantenimiento preventivo para equipos médicos del hospital Santa Inés. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Berrezueta Merchan, F. & Siguencia Lozano, C. (2016) Propuesta de GMAO para la gestión del mantenimiento de un sistema ferroviario. Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Botero, C. (1993). Manual de mantenimiento. Parte I: ¿qué es el mantenimiento? Informador Técnico. 47. 35. 10.23850/22565035.1188.

Boulcy, F. (1998) Gestión del mantenimiento. AENOR, AENOR. Madrid, España. 1999

Ccoyo, C. (2021) Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas de la empresa Inversiones Millma Perú SAC. Perú.

Córdova, M. (2003) Estadística descriptiva e Inferencial Aplicaciones Quinta Edición. Editorial, MOSHERA S.R.L. Lima, Perú. ISBN: 9972-813-05-3

Diaz, A. (1992). Confiabilidad en Mantenimiento. Venezuela: IESA.

Duffuaa, S. (2000) Sistemas de mantenimiento: Planeación y control. Editorial Limusa. Mexico, Mexico.

Espinoza Montes, C. (2014) Metodología de investigación tecnológica 2da Edición. ISBN 978-612-00-1667-1.

Knezedic, J. (1996). MANTENIMIENTO. España: Closas Orcoyen S.L.

Maldonado, H. & Sigüenza, L. (2012) Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la Empresa Minera Dynasty Mining del cantón Portovelo. Ecuador.

Márquez, M. & Coello, A. (2009). Principios del proceso de mantenimiento. Venezuela.

Mora, A. (2009) Mantenimiento Planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor. México, México.

Navarro, L. (1997) Gestión integral del mantenimiento. Mar combo Boixareu Editores. Barcelona, España.

Ocha Ordonez, W. & Tenecela Armijos, J. (2022) Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mediante un análisis de criticidad para los vehículos utilitarios del departamento de cuerpo de bomberos del Cantón Pasaje. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Osorio, R. (2016) Diseño de un plantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la perforadora diamantina Superdrill H600 de la empresa Maqpower S.A.C. Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.

Otzen, T. & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Rey F. (s.f.) Mantenimiento total de producción (TPM): Proceso de implantación y desarrollo. Fundación Confemental. Madrid, España.

Rodriguez A. & Pérez A. (2017) Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. Revista EAN, 82, pp.179-200. DOI: https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647

Rondón, F. (2021) Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial. Universidad Santo Tomás. e-ISBN: 978-8477-92-3

Santiago, G. (2012). Ingeniería de mantenimiento manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. México: Renovetec.

Tamaris, M. (2004) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa Mirasol S.A. Ecuador

Ticlavilca, J. (2016) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad mecánica del equipo ALPHA20 de la empresa Robocon S.A.C. Perú.

UNE-EN ISO (2015) 16646:2015 Mantenimiento. Mantenimiento en la gestión de los activos físicos

UNE-EN ISO (2018) 13306:2018 Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.

Valdivieso, J. (2010) Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplas S.A. Ecuador

Varela, E. (2013). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo en la empresa RETESA S.A. de C.V. Querétaro - México.

ANEXOS

Anexo i. Matriz de consistencia

<table>
<tr><th colspan="2">Planteamiento del problema</th><th>Metodología</th></tr>
<tr><th>Problema</th><th>Objetivos</th><th>Método de investigación</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Problema general
• ¿Cómo implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza?
Problemas específicos
• ¿Cuál es el impacto que genera la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza?
• ¿Qué estrategias de mantenimiento pueden ser empleadas para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad?
• ¿Cómo determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza?</td><td rowspan="2">Objetivo general
• Implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.
Objetivos específicos
• Determinar el impacto que genera la aplicación de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza.
• Determinar las estrategias de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad.
• Determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.</td><td>Sistémico</td></tr>
<tr><td>Tipo de investigación
Tecnológica
Nivel de investigación
Experimental
Diseño de la investigación
Diseño experimental
$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$
Donde:
X: Sistema de gestión de mantenimiento computarizado.
O_1: Primera observación antes del CMMS.
O_2: Segunda observación después del CMMS.</td></tr>
<tr><th>Variable independiente</th><th>Definición conceptual</th><th>Población</th></tr>
<tr><td>CMMS</td><td>Un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) es una herramienta software que centraliza y optimiza las actividades de mantenimiento de los activos de una organización. Este sistema mejora la eficiencia, reduce los tiempos de inactividad y aumenta la disponibilidad y fiabilidad de los equipos.</td><td>Flota de equipos de Resefer</td></tr>
<tr><th>Variable dependiente</th><th>Definición conceptual</th><th>Muestra</th></tr>
</table>

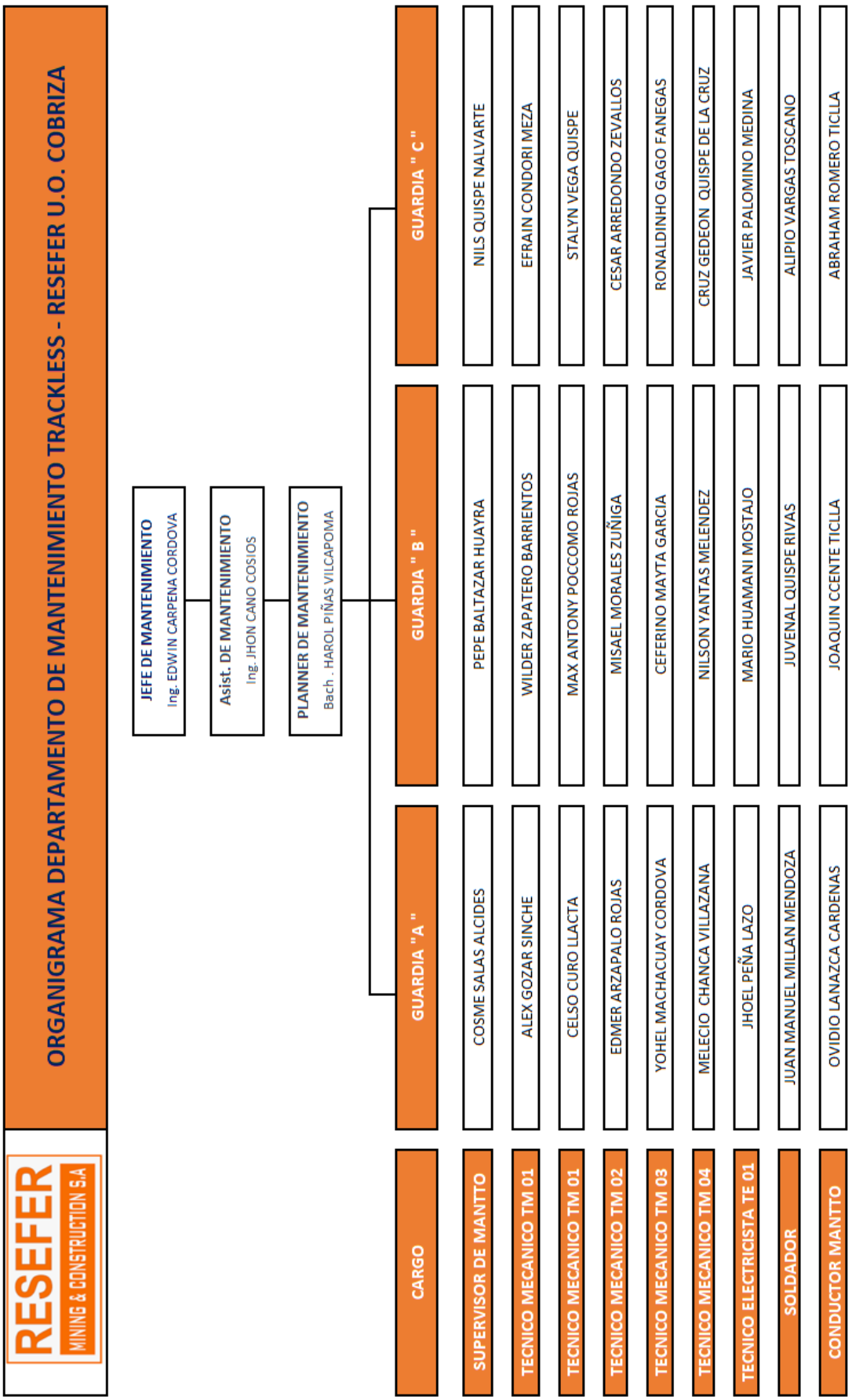
<table>
<tr><td>Disponibilidad</td><td>La disponibilidad mecánica es la proporción del tiempo total en que un equipo o maquinaria está operativa y lista para su uso, sin fallas ni interrupciones no planificadas.</td><td>• JB-291-EE
• JB-296-EE
• JB-301-EE</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hipótesis</td><td>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hipótesis general
• Si aplicamos las fases: fase inicial, fase de formación, fase de desarrollo y fase de optimización; podremos implementar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.
Hipótesis específicas
• Si observamos los indicadores de mantenimiento podremos determinar el impacto que genera la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) sobre la disponibilidad de la flota de equipos de Resefer Cobriza.
• Si analizamos la planificación y programación de las tareas de mantenimiento podremos determinar las estrategias de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad operativa de los equipos mediante un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para reducir las fallas no planificadas y los tiempos de inactividad.
• Si observamos el tiempo medio entre fallos y el tiempo medio para reparar podremos determinar la disponibilidad antes y después de la aplicación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) adecuado para la gestión de la flota de equipos de Resefer Cobriza.</td><td>Técnica Documental.

Instrumentos: Reportes de equipos, inventarios, horómetros, etc.
Técnicas de procesamiento de datos

Estadística descriptiva.

Estadística inferencial</td></tr>
</table>

Anexo ii. Organigrama de la empresa



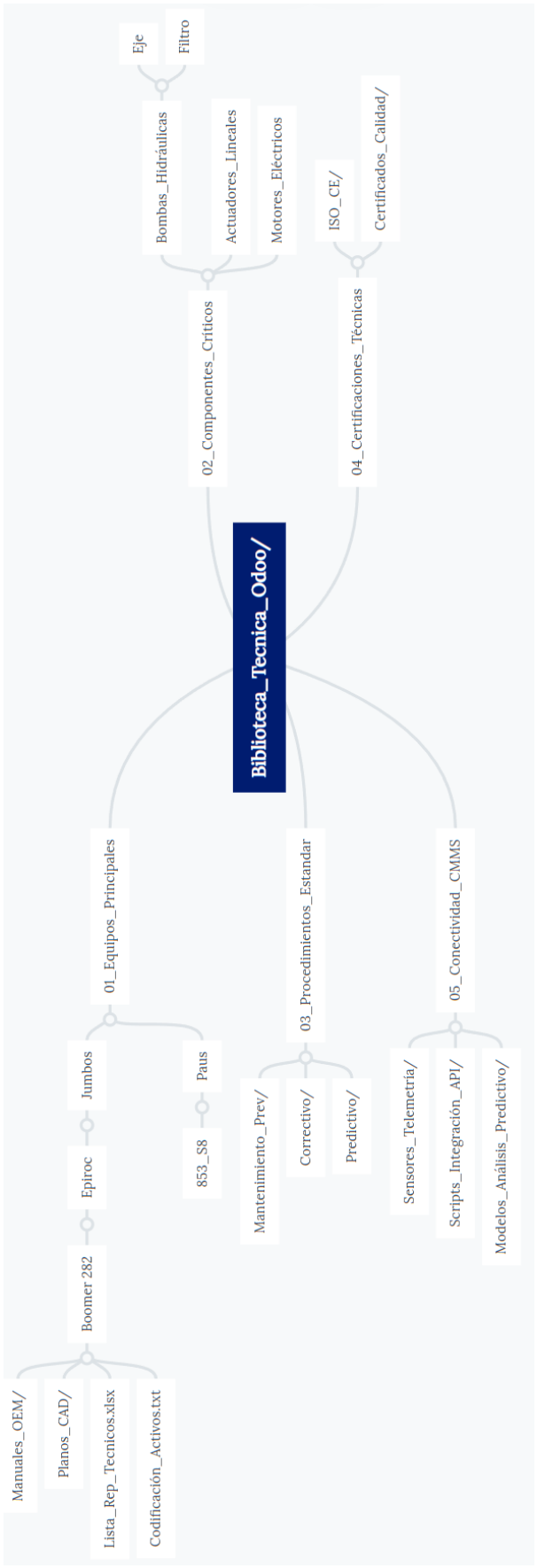
Anexo iii. Calendario de capacitación para la prueba piloto de CMMS en Jumbos

RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A

CALENDARIO DE CAPACITACIÓN PARA LA PRUEBA PILOTO DE CMMS EN JUMBOS - RESEFER U.O. COBRIZA

Tema de Capacitación	Fecha	Jefe	Asist.	Planner	Supervisores	Técnicos (mec., electr.)	Soldador	Conductor
Introducción a CMMS y arquitectura Odoo	Día 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Jerarquías de mantenimiento y codificación de activos	Día 2	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Gestión de órdenes de trabajo y programación diaria	Día 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Registro y consulta de actividades desde Odoo móvil	Día 4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Gestión de repuestos e inventarios	Día 5	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Análisis de fallas, reportes y KPIs desde Odoo	Día 6	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Mantenimiento predictivo y alertas programadas	Día 7	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Simulación de intervención y reporte digital	Día 8	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
Gestión documental y trazabilidad legal	Día 9	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Integración con sensores e IoT	Día 10	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗

Anexo iv. Árbol jerárquico de recursos bibliográficos



Anexo v. Revisión del recurso bibliográfico para realizar una orden de trabajo

Mantenimiento Tablero Mantenimiento Equipo Reportes Configuración

Nuevo Solicitudes de mantenimiento / PM1 JB-296 EE

Cancelar

Nueva solicitud | En progreso | Reparado | Desechar

Equipo

Fecha de solicitud 19/04/2025

Tipo de mantenimiento: Correctivo / Preventivo

Equipo: Mantenimiento interno

Responsable: Wilder Zapatero Barrientos

Fecha programada 23/01/2024 09:00:00

Duración 12:00 horas

Recurrente

Prioridad

Notas | Instrucciones

PDF / Presentaciones de Google / Texto

1 de 2

Tamaño automático

CHECK LIST DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO JUMBO BOOMER 282

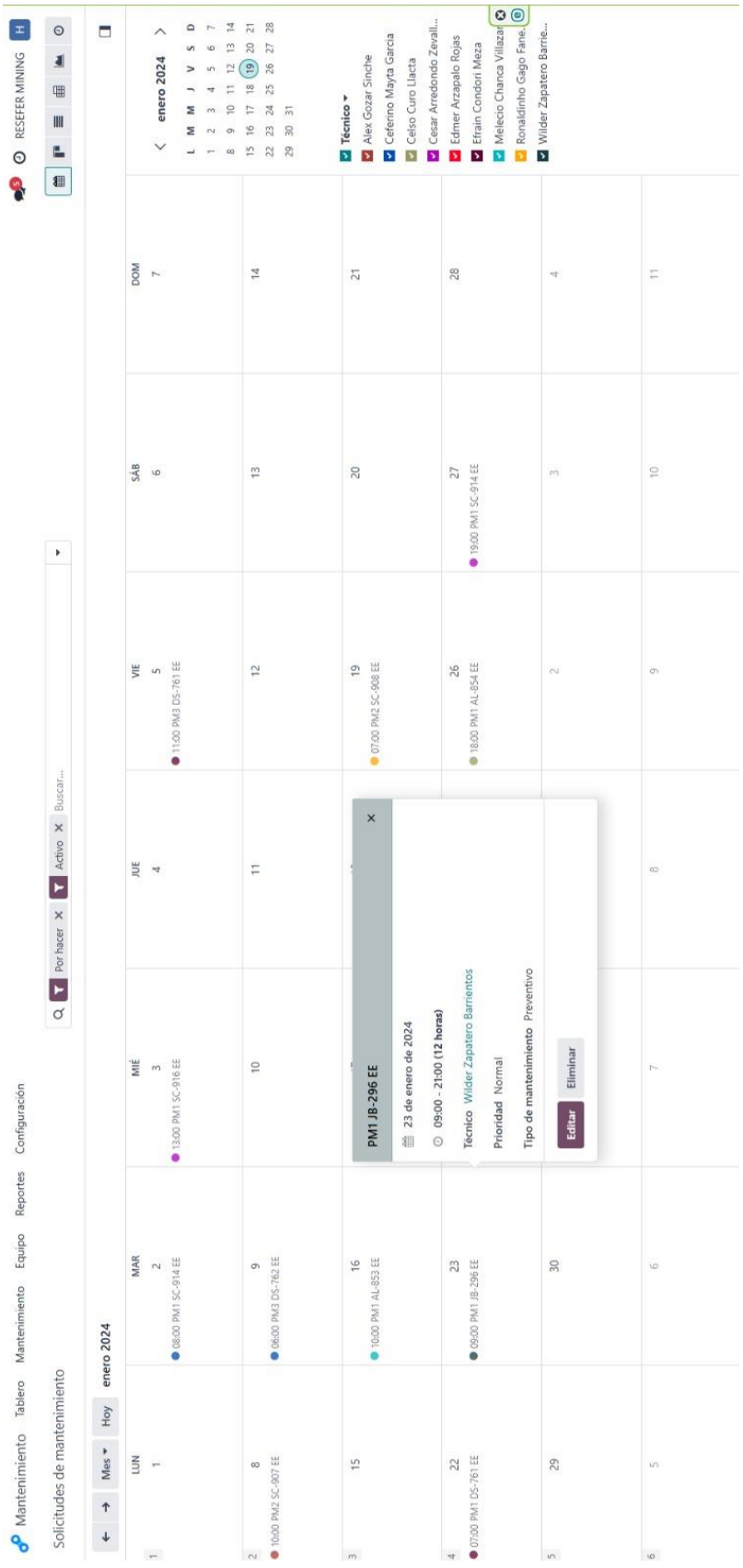
TIPO DE PM	PM1	FRECUENCIA	125.0 HRS	Hor. MOTOR
Modelo:	Fecha:			
N° de Serie:	Cliente:			
Cod. Equipo:	Ubicación:			
Hora Inicio:	Hora Fin:			
ODM	Semana			

RESEFER MINING & CONSTRUCTION S.A

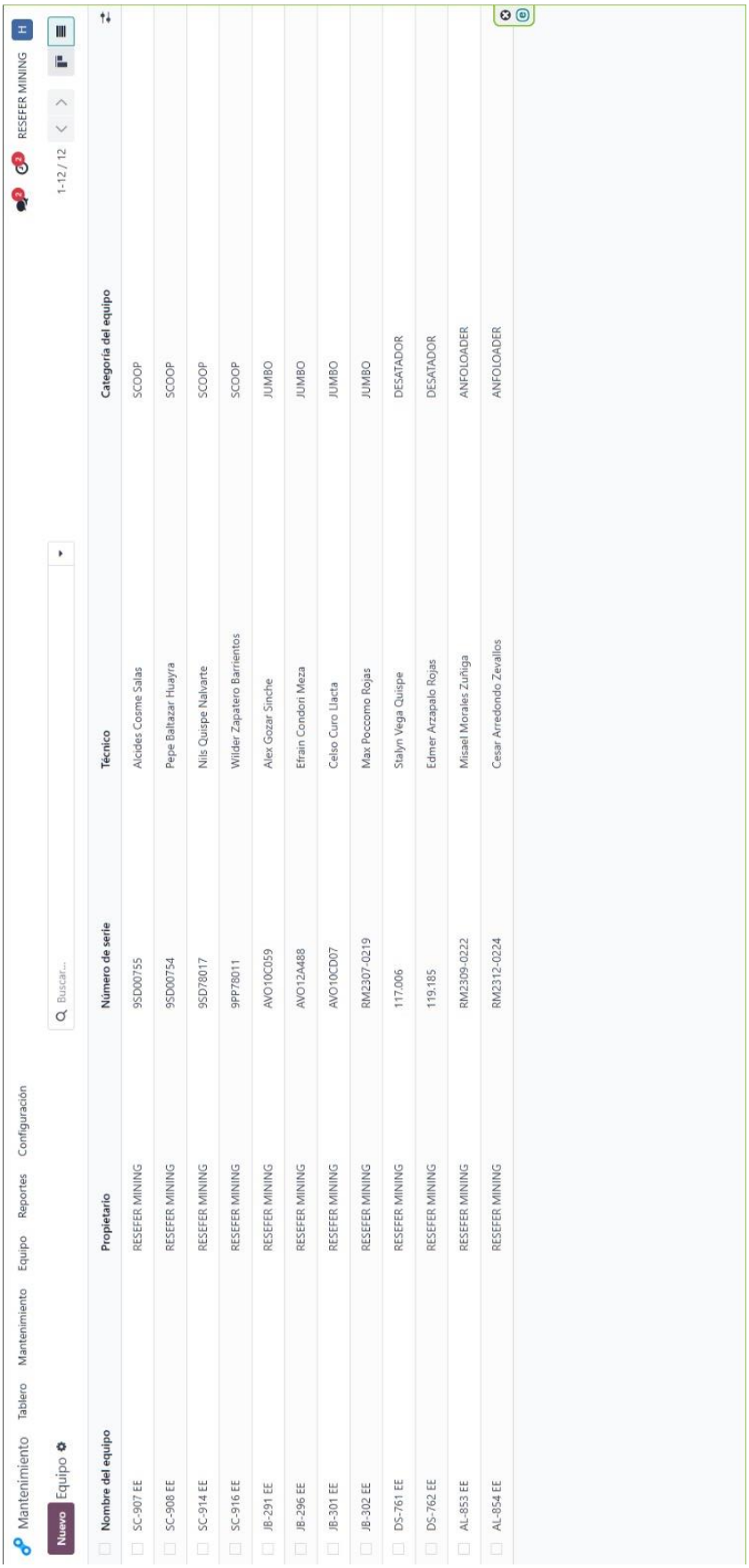
INSUMOS / REPUESTOS UTILIZADOS EN LA INTERVENCIÓN	SISTEMA	CANT.	UND	NUMERO DE PARTE

EQUIPOS JUMBO ROCKET BOOMER 282	PM1	OK	OBSERVACIONES
SEGURIDAD			
1 Usar los implementos de seguridad personales.	X		
2 Apagar el motor	X		
3 Aplicar el freno de parqueo o calas según el caso	X		

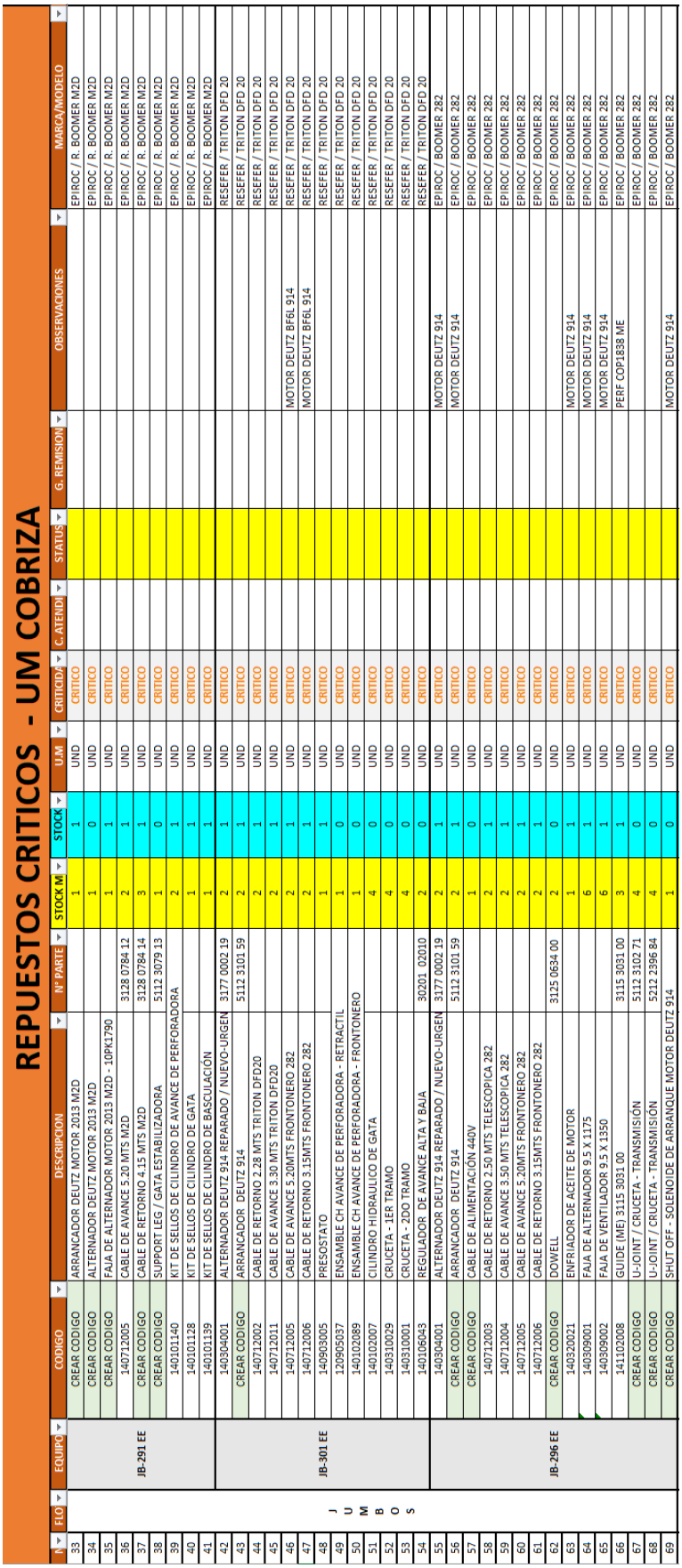
Anexo vi. Programación de actividades de mantenimiento mediante CMMS Odoo



Anexo vii. Base de datos correspondiente a los equipos de la empresa RESEFER en el CMMS Odoo



Anexo viii. Repuestos críticos codificados a partir del CMMS Odoo exportado para Excel



REPUESTOS CRITICOS - UM COBRIZA

N°	F.LO	EQUIPO	CODIGO	DESCRIPCION	N° PARTE	STOCK M	STOCK	U.M.	CRITICIDAD	C.ATENDI	STATUS	G. REMISION	OBSERVACIONES	MARCA/MODELO
33	J U M B O S	JB-291 EE	CREAR CODIGO	ARRANCADOR DEUTZ MOTOR 2013 M2D		1	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
34			CREAR CODIGO	ALTERNADOR DEUTZ MOTOR 2013 M2D		1	0	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
35			CREAR CODIGO	FAJA DE ALTERNADOR MOTOR 2013 M2D - 10PK1790		1	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
36			140712005	CABLE DE AVANCE 5.20 MTS M2D	3128 0784 12	2	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
37			CREAR CODIGO	CABLE DE RETORNO 4.15 MTS M2D	3128 0784 14	3	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
38			CREAR CODIGO	SUPPORT LEG / GATA ESTABILIZADORA	5112 3079 13	1	0	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
39			140101140	KIT DE SELLOS DE CILINDRO DE AVANCE DE PERFORADORA		2	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
40			140101128	KIT DE SELLOS DE CILINDRO DE GATA		1	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
41			140101139	KIT DE SELLOS DE CILINDRO DE BASCULACIÓN		1	1	UND	CRITICO					EPIROC / R. BOOMER M2D
42		JB-301 EE	140304001	ALTERNADOR DEUTZ 914 REPARADO / NUEVO-URGEN	3177 0002 19	2	1	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
43			CREAR CODIGO	ARRANCADOR DEUTZ 914	5112 3101 59	2	1	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
44			140712002	CABLE DE RETORNO 2.28 MTS TRITON DFD20		2	1	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
45			140712011	CABLE DE AVANCE 3.30 MTS TRITON DFD20		2	1	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
46			140712005	CABLE DE AVANCE 5.20MTS FRONTONERO 282		2	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ BF6L 914	RESEFER / TRITON DFD 20
47			140712006	CABLE DE RETORNO 3.15MTS FRONTONERO 282		2	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ BF6L 914	RESEFER / TRITON DFD 20
48			140903005	PRESOSTATO		1	1	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
49			120905037	ENSAMBLE CH AVANCE DE PERFORADORA - RETRACTIL		1	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
50			140102089	ENSAMBLE CH AVANCE DE PERFORADORA - FRONTONERO		1	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
51			140102007	CILINDRO HIDRAULICO DE GATA		4	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
52			140310029	CRUCETA - 1ER TRAMO		4	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
53			140310001	CRUCETA - 2DO TRAMO		4	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
54			140106043	REGULADOR DE AVANCE ALTA Y BAJA	30201 02010	2	0	UND	CRITICO					RESEFER / TRITON DFD 20
55		JB-296 EE	140304001	ALTERNADOR DEUTZ 914 REPARADO / NUEVO-URGEN	3177 0002 19	2	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282
56			CREAR CODIGO	ARRANCADOR DEUTZ 914	5112 3101 59	2	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282
57			CREAR CODIGO	CABLE DE ALIMENTACIÓN 440V		1	0	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
58			140712003	CABLE DE RETORNO 2.50 MTS TELESCOPICA 282		2	1	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
59			140712004	CABLE DE AVANCE 3.50 MTS TELESCOPICA 282		2	1	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
60			140712005	CABLE DE AVANCE 5.20MTS FRONTONERO 282		2	1	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
61			140712006	CABLE DE RETORNO 3.15MTS FRONTONERO 282		2	1	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
62			CREAR CODIGO	DOWELL	3125 0634 00	2	0	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
63			140320021	ENFRIADOR DE ACEITE DE MOTOR		1	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282
64			140309001	FAJA DE ALTERNADOR 9.5 X 1175		6	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282
65			140309002	FAJA DE VENTILADOR 9.5 X 1350		6	1	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282
66			141102008	GUIDE (ME) 3115 3031 00	3115 3031 00	3	1	UND	CRITICO				PERF COP1838 ME	EPIROC / BOOMER 282
67			CREAR CODIGO	U-JOINT / CRUCETA - TRANSMISIÓN	5112 3102 71	4	0	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
68			CREAR CODIGO	U-JOINT / CRUCETA - TRANSMISIÓN	5212 2396 84	4	0	UND	CRITICO					EPIROC / BOOMER 282
69			CREAR CODIGO	SHUT OFF - SOLENOIDE DE ARRANQUE MOTOR DEUTZ 914		1	0	UND	CRITICO				MOTOR DEUTZ 914	EPIROC / BOOMER 282

Anexo ix. Carta de autorización de uso de información de la empresa RESEFER MINING & CONSTRUCTION SA

RESEFER
MINING & CONSTRUCTION S.A

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA RESEFER MINING & CONSTRUCTION SA PARA OBTENCIÓN DEL GRADO DE TÍTULO PROFESIONAL

Yo Edwin Néstor Carpena Córdova, Ingeniero Mecánico de profesión con CIP N° 144420 identificado con DNI N° 42244736, en mi calidad de Jefe de Mantenimiento de Equipos del área de Mantenimiento de la empresa RESEFER MINING & CONSTRUCTION SA con R.U.C. N° 20407790945 en la UM COBRIZA.

OTORGO AUTORIZACIÓN,

Al señor Harol Piñas Vilcapoma, identificado con DNI N° 76575647, quien actualmente está laburando con el cargo de Planner de Mantenimiento de Equipos, Bachiller de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Centro del Perú para que utilice la siguiente información de la empresa:

Programas de mantenimiento, historial de equipos, base de datos de equipos, historial de componentes y demás información en relación a los equipos de la empresa RESEFER MINING & CONSTRUCTION SA que actualmente se encuentran en operación en la UM COBRIZA.

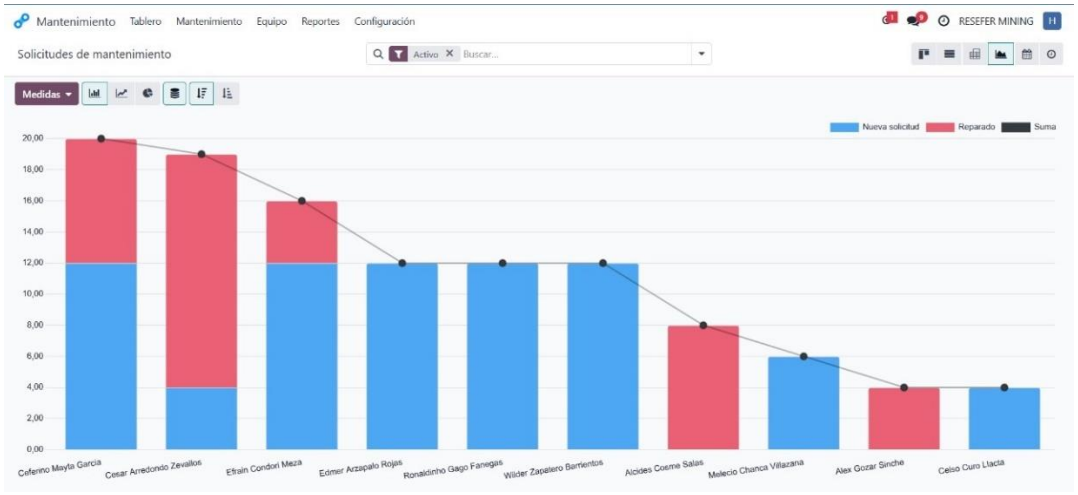
Con la finalidad de desarrollar su trabajo de investigación para optar el grado de título profesional.

Edwin Néstor Carpena Córdova
JEDE DE MANTENIMIENTO
RESEFER SA

Harol Piñas Vilcapoma
PLANNER DE MANTENIMIENTO
RESEFER SA

COBRIZA - CHURCAMPA – HUANCAVELICA 09JUN2024

Anexo x. Dashboard de enero-2024 luego de la implementación del sistema Odoo en la empresa – I. a) Horas de mantenimiento programado por técnico mensual - enero 2024. b) Número de OTs programado para cada técnico mensual - enero 2024.

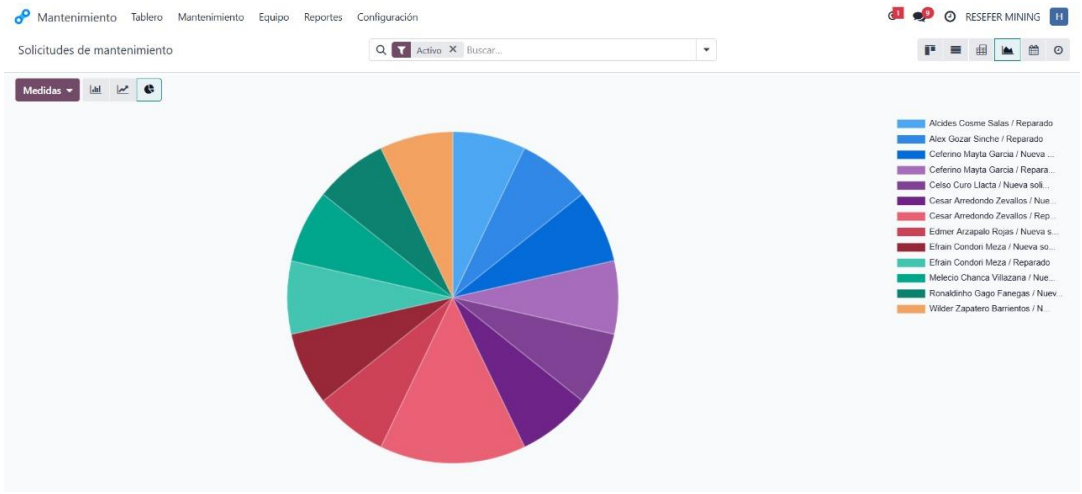


a)



b)

Anexo xi. Dashboard de enero-2024 luego de la implementación del sistema Odoo en la empresa – II. a) Número de OTs programado para cada tecnico mensual - enero 2024. b) Número de OTs por técnico - reparados - nuevas solicitudes.

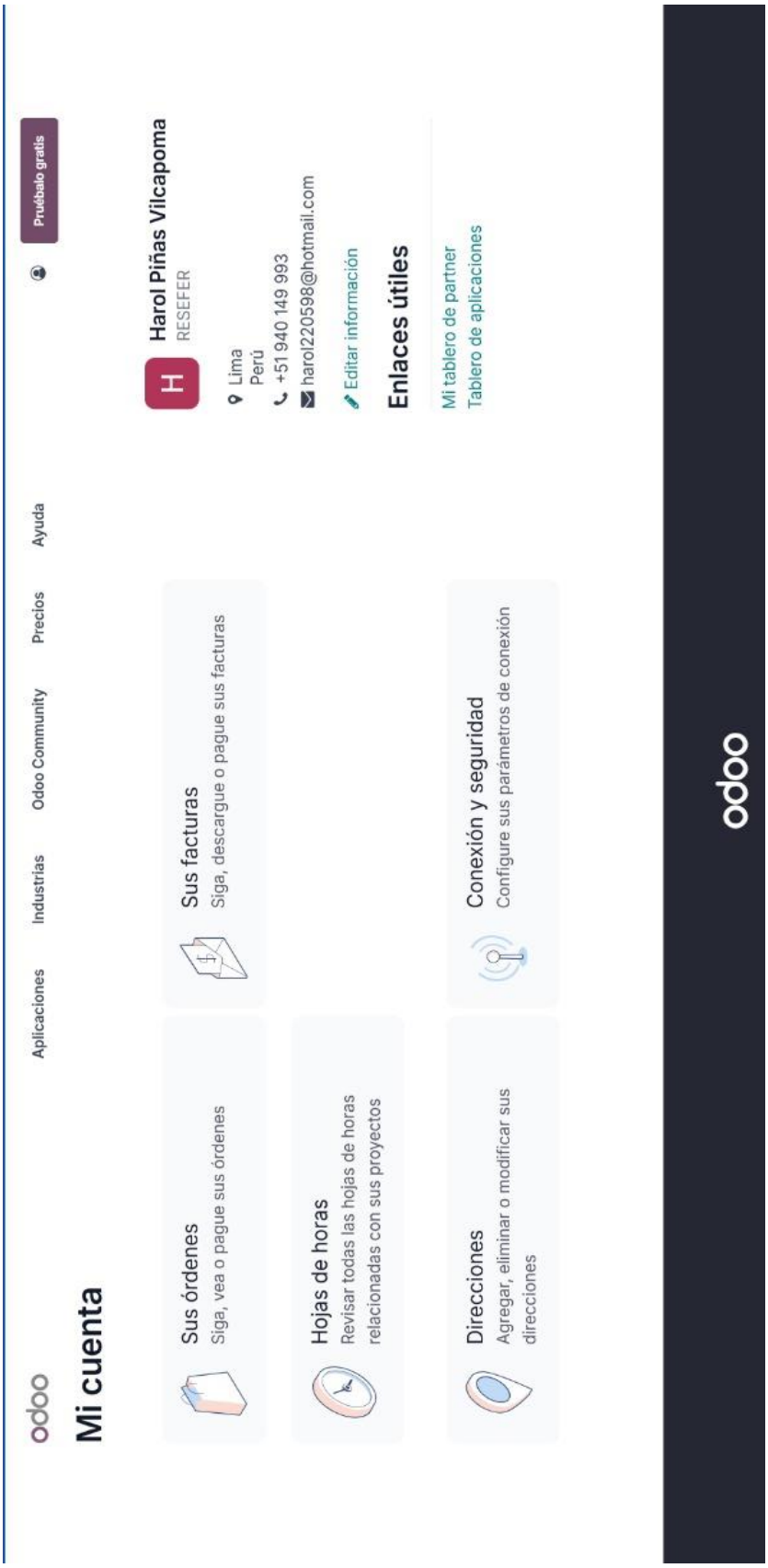


a)



b)

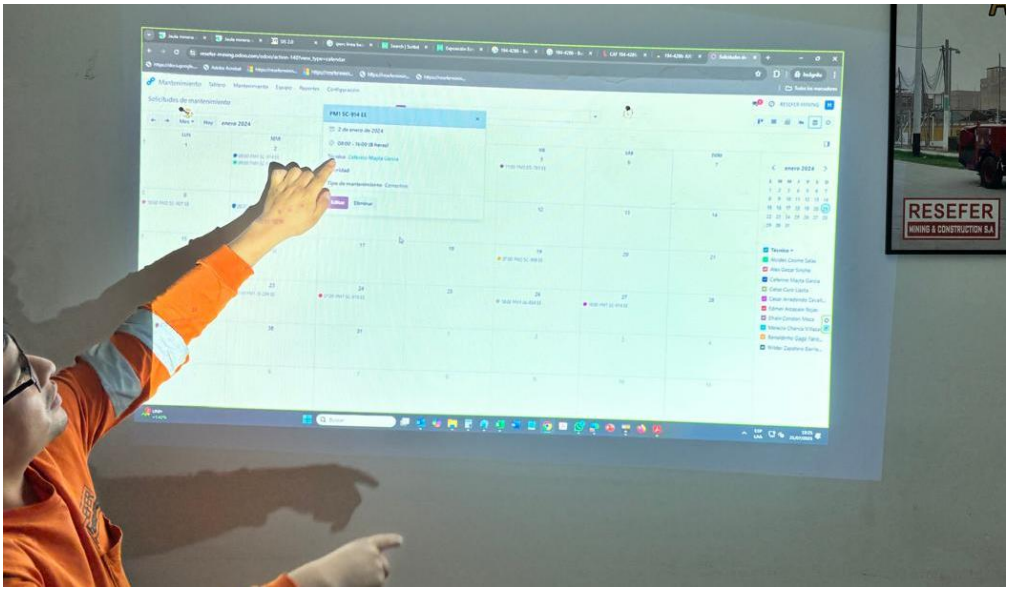
Anexo xii. Interfaz inicial del software Odoo a cargo de Harol Piñas Vilcapoma, encargado del control y uso del software



Anexo xiii. Capacitación de la implementación y uso del software Odoo. a) Capacitación con los técnicos de la empresa Resefer del área de mantenimiento. b) Exposición del calendario de actividades mediante el software Odoo



a)



b)

Anexo xiv. Ingreso del equipo EPIROC ROCKET BOOMER 282 al área de mantenimiento. El autor controla el ingreso de dicho equipo para su revisión y los posteriores trabajos de mantenimiento.

