



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**APLICACIÓN DE RCA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ PARA MEJORAR
LOS INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO KPIS DE LA
FLOTA DE EQUIPOS TRACKLESS DE LA EMPRESA INCIMMET
S.A. PERIODO 2021**

TESIS

PRESENTADA POR:

MAX ROY RIVERA MONTALVO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DE RCA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ PARA MEJORAR LOS INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO KPIS DE LA FLOTA DE EQUIPOS TRACKLESS DE LA EMPRESA INCIMMET S.A. PERIODO 2021

AUTOR

MAX ROY RIVERA MONTALVO

RECuento DE PALABRAS

33235 Words

RECuento DE CARACTERES

173544 Characters

RECuento DE PÁGINAS

141 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 10, 2024 11:29 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 10, 2024 11:31 AM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 13% Base de datos de trabajos entregados
- 7% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)


Asesor
Leonidas Vilca Callata


VORO
Sub. Dirección de Investigación
EPINE

Resumen



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor inquebrantable, apoyo incondicional y sacrificio constante. A mi familia y mis amigos, por su aliento y su comprensión a lo largo de esta travesía académica. A mis docentes por su guía invaluable. Y a todos aquellos que creyeron en mí, esta tesis es un tributo a su fe en mi capacidad.

Max Roy Rivera Montalvo



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al éxito de esta tesis. En primer lugar, agradezco a la empresa INCIMMET S.A. por proporcionar datos e información crucial para esta investigación, también quiero agradecer a mi familia por sus palabras de ánimo y amor incondicional.

Este no habría sido posible sin su apoyo y colaboración.

Max Roy Rivera Montalvo



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	20
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	22
1.3.1. Justificación práctica.....	22
1.3.2. Justificación económica.....	22
1.3.3. Justificación metodológica	22
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.4.1. Objetivo general.....	23
1.4.2. Objetivos específicos	23
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	23
1.5.1. Delimitación espacial.....	23
1.5.2. Delimitación temporal	23



1.6.	HIPÓTESIS DEL ESTUDIO	24
1.6.1.	Hipótesis general.....	24
1.6.2.	Hipótesis específicas.....	24

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2.	Antecedentes nacionales	27
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	28
2.2.1.	Mantenimiento.....	28
2.2.2.	Tipos de mantenimiento.....	29
2.2.3.	Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).....	30
2.2.4.	Métodos y herramientas para gestión del mantenimiento	32
2.2.5.	Indicadores de gestión de mantenimiento.....	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.2.	NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.4.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	38
3.5.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	41
3.6.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	42
3.7.	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	
(PRE – TEST)	44
4.1.1. Inventario de equipos Trackless de la empresa	44
4.1.2. Mantenimientos efectuados año 2021.....	46
4.1.3. Análisis de fallas de los equipos Trackless año 2021	47
4.1.4. Disponibilidad Mecánica año 2021	59
4.1.5. Confiabilidad año 2021	61
4.2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ	62
4.2.1. Descripción general de las etapas del ciclo de minado.....	62
4.2.2. Desarrollo del método árbol de causas	63
4.2.3. Resultado del Análisis de Causa Raíz.....	71
4.3. RESULTADOS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AÑO 2022	
(POST - TEST)	94
4.3.1. Mantenimientos Efectuados año 2022.....	94
4.3.2. Análisis de Fallas de los Equipos Trackless año 2022	96
4.3.3. Disponibilidad Mecánica año 2022	98
4.3.4. Confiabilidad año 2022.....	99
4.4. COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN ...	100
4.4.1. Prueba de normalidad de las variables.....	100
4.4.2. Prueba estadística de comprobación de hipótesis	102
V. CONCLUSIONES	124
VI. RECOMENDACIONES	125
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	130

Área : Ingeniería Mecánica
Tema : Gestión de mantenimiento.

Fecha de sustentación: 18 de enero del 2024



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad 33
Figura 2	Diagrama de Pareto 34
Figura 3	Carnet de planificación y equipo de mantenimiento de proyecto en la empresa INCIMMET S.A. 39
Figura 4	Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con equipos JUMBO, EMPERNADOR y DESATADOR en INCIMMET S.A. 39
Figura 5	Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con MINICARGADOR en INCIMMET S.A. 40
Figura 6	Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con SCOOPTRAM en INCIMMET S.A..... 40
Figura 7	Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con TELEHANDER en INCIMMET 41
Figura 8	Mantenimientos preventivos vs correctivos realizados año 2021 47
Figura 9	Pareto de Fallas del equipo Jumbo Frontero JF-I-09..... 48
Figura 10	Pareto de Fallas del equipo Jumbo Frontero JF-T-08..... 49
Figura 11	Pareto de Fallas del equipo empernador EM-I-11 49
Figura 12	Pareto de Fallas del equipo empernador EM-T-08..... 50
Figura 13	Pareto de Fallas del equipo Scooptram SC-I-08..... 50
Figura 14	Pareto de Fallas del equipo Scooptram SC-I-13..... 51
Figura 15	Pareto de Fallas del equipo Dumper D-I-01 51
Figura 16	Pareto de Fallas del equipo scaler DM-T-07 52
Figura 17	Pareto de Fallas del equipo telehandler TH-I-02..... 53
Figura 18	Pareto de Fallas del equipo minicargador MC-T-02 53
Figura 19	Pareto de Fallas del equipo robot LC-T-01 54
Figura 20	Pareto de Fallas del equipo mixcret MX-T-01 54
Figura 21	Pareto de Fallas presentadas en los equipos trackless año 2021 55
Figura 22	MTBF promedio de equipos trackless año 2021 57
Figura 23	MTTR promedio de equipos trackless año 2021 59
Figura 24	Disponibilidad mecánica de equipos trackless año 2021 60
Figura 25	Confiabilidad de equipos trackless año 2021 62



Figura 26	Ciclo de minado minera Orcopampa y equipos trackless involucrados.....	63
Figura 27	Etapas de aplicación del CTM.....	64
Figura 28	Árbol lógico de causas de la Gestión de Mantenimiento	65
Figura 29	Árbol lógico de causas del equipo jumbo frontonero.....	66
Figura 30	Árbol lógico de causas del equipo jumbo empernador	67
Figura 31	Árbol lógico de causas del equipo scooptram	67
Figura 32	Árbol lógico de causas del equipo dumper.....	68
Figura 33	Árbol lógico de causas del equipo scaler	68
Figura 34	Árbol lógico de causas del equipo telehandler	69
Figura 35	Árbol lógico de causas del equipo minicargador	69
Figura 36	Árbol lógico de causas del equipo robot	70
Figura 37	Árbol lógico de causas del equipo mixcret.....	70
Figura 38	Gestión de mantenimientos equipos trackless año 2022	94
Figura 39	Comparación de la gestión de mantenimientos equipos trackless año 2022 vs 2021	95
Figura 40	MTBF equipos trackless 2022 vs 2021	96
Figura 41	MTTR equipos trackless 2022 vs 2021	97
Figura 42	Disponibilidad mecánica equipos trackless 2022 vs 2021	98
Figura 43	Confiabilidad equipos trackless 2022 vs 2021	99



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Inventario de Equipos Trackless de la Empresa INCIMMET S.A. 44
Tabla 2	Resumen gestión de mantenimiento Equipos Trackless año 2021 46
Tabla 3	Clasificación de fallas según modo..... 47
Tabla 4	Tiempos medios entre fallas (MTBF) de los equipos trackless durante el año 2021..... 56
Tabla 5	Tiempos medios de reparación (MTTR) de los equipos trackless durante el año 2021 58
Tabla 6	Tiempos medios de reparación (MTTR)..... 58
Tabla 7	Disponibilidad mecánica de equipos trackless año 2021 60
Tabla 8	Confiabilidad de equipos trackless año 2021..... 61
Tabla 9	Estrategias RCA para el equipo Jumbo frontero..... 71
Tabla 10	Estrategias RCA para el equipo Jumbo empernador EM-I-11 74
Tabla 11	Estrategias RCA para el equipo Jumbo empernador EM-T-08 78
Tabla 12	Estrategias RCA para el equipo Scooptram..... 81
Tabla 13	Estrategias RCA para el equipo Dumper 84
Tabla 14	Estrategias RCA para el equipo Scaler 87
Tabla 15	Estrategias RCA para el equipo Robot 90
Tabla 16	Estrategias RCA para el equipo Mixcret..... 92
Tabla 17	Prueba de normalidad para las variables del equipo jumbo frontero..... 101
Tabla 18	Prueba de normalidad para las variables de los equipos trackless..... 101
Tabla 19	Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo jumbo frontonero JF ... 103
Tabla 20	Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo empernador 104
Tabla 21	Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo scooptram..... 105
Tabla 22	Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo Dumper 105
Tabla 23	Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo scaler..... 106
Tabla 24	Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo telehandler..... 107
Tabla 25	Prueba t – student para la confiabilidad del equipo minicargador..... 107
Tabla 26	Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo robot 108



Tabla 27	Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo mixcret	109
Tabla 28	Resumen prueba de hipótesis específica 1 para la variable confiabilidad .	109
Tabla 29	Prueba t – student para MTBF y MTTR del JB.....	110
Tabla 30	Prueba t – Student para MTBF y MTTR del Empernador.....	111
Tabla 31	Prueba U Mann Whitney – Wilconxon MTBF y MTTR del scooptram ...	112
Tabla 32	Prueba t – Student para MTBF y MTTR del dumper	113
Tabla 33	Prueba t – Student para MTBF y MTTR del scaler	114
Tabla 34	Prueba U Mann Whitney – W para MTTR del telehandler	114
Tabla 35	Prueba t – Student para MTBF del telehandler.....	115
Tabla 36	Prueba t – Student para MTBF y MTTR del minicargador	116
Tabla 37	Prueba t – Student para MTBF del robot	117
Tabla 38	Prueba U Mann Whitney – W para MTTR del robot	117
Tabla 39	Prueba t – Student para MTBF y MTTR del mixcret	118
Tabla 40	Resumen de contrastación de hipótesis MTBF y MTTR.....	119
Tabla 41	Prueba t – Student para disponibilidad mecánica de jumbo frontero, empernador, scoop, robot y mixcret.....	120
Tabla 42	Prueba t – Student para disponibilidad mecánica de Dumper y scaler	121
Tabla 43	Prueba U Mann Whitney – Wilconxon para disponibilidad mecánica telehandler.....	122
Tabla 44	Prueba t – Student para disponibilidad mecánica minicargador	123
Tabla 45	Resumen contrastación de hipótesis para disponibilidad mecánica.....	123



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MTBF de los equipos trackless durante el año 2022	130
ANEXO 2: MTTR de los equipos trackless durante el año 2022	130
ANEXO 3: Disponibilidad de equipos trackless durante el año 2022	131
ANEXO 4: Confiabilidad de equipos trackless durante el año 2022.....	131
ANEXO 5: Pruebas de normalidad de las variables por cada equipo.....	132
ANEXO 6: Ficha Técnica de equipos Trackless presentes en el ciclo de minado Orcopampa de la empresa INCIMMET S.A.	137
ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de tesis	142
ANEXO 8: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional	143



ACRÓNIMOS

RCA o ACR	: Root cause analysis o Análisis de causa raíz.
AMEF	: Análisis de Modo y Efecto De Fallas.
INCIMMET S.A.	: Organización especializada que diseña e implementa soluciones integrales en excavación para la industria minera.
KPIs	: Key Performance Indicator o Indicadores Claves de Desempeño.
MCC	: mantenimiento centrado en la confiabilidad.
MTBF o TMEF	: Mean Time Between Failures o Tiempo Medio Entre Fallas.
MTTA	: Mean Time To Acknowledge o tiempo medio de confirmación de recepción.
MTTF	: mean time to failure o tiempo medio sin averías.
MTTR o TMPR	: Mean Time to Repair o Tiempo Medio Para Reparación.
TRACKLESS	: Equipos mecanizados de bajo perfil.



RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación consistió en aplicar el análisis causa raíz (RCA) para la mejorar de los KPIs (Indicadores claves de desempeño), como la disponibilidad, MTBF (tiempo medio entre falla), MTTR (tiempo medio de reparación) y la confiabilidad de la flota de equipos mecanizados de bajo perfil (TRACKLESS) en el periodo anual 2022. Los cuales durante el periodo 2021 en la mayoría de equipos han estado por debajo de los objetivos establecidos, debido a diversos factores como la mala planificación, tiempos de mantenimiento correctivos mayores a los preventivos, periodos de falla muy frecuentes, tiempos de reparación prolongados y daños por mala operación. Para lo cual se aplica una metodología de enfoque cuantitativo, con diseño pre test – post test y alcance explicativo. La muestra está formada por 14 equipos que operan en la unidad minera Orcopampa de Compañía Buenaventura, ubicada en la región Arequipa. Se realizo la observación en campo, el análisis documental, recolección, registro y procesamiento de datos del cual se elaboró la clasificación de fallas en el diagrama Pareto obteniendo datos relevantes para la aplicación el RCA mediante la técnica del árbol lógico de causas donde se determinó las estrategias y acciones preventivas. En el periodo 2022 se analizaron los KPIs y actividades de mantenimiento luego de la implementación del RCA los cuales fueron comparados con la gestión del 2021, mejorando en los tiempos de mantenimiento preventivos de 57% a 79%, reduciendo el tiempo de mantenimiento correctivo de 43% a 21%, mejorando la confiabilidad global de los equipos de 89% a 95%, concluyendo que la implementación del RCA si mejoro los Indicadores Claves de Desempeño.

Palabras clave: Confiabilidad, Disponibilidad, Fallas, Indicadores, Mantenimiento.



ABSTRACT

The main objective of this research was to apply Root Cause Analysis (RCA) to improve Key Performance Indicators (KPIs) such as availability, MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair), and the reliability of the low-profile mechanized equipment fleet (TRACKLESS) in the 2022 annual period. During the 2021 period, most of the equipment fell below the established objectives due to various factors such as poor planning, corrective maintenance taking longer than preventive maintenance, very frequent failure periods, prolonged repair times, and damage due to improper operation. A quantitative approach methodology was employed, using a pre-test-post-test design with explanatory scope. The sample consisted of 14 units operating in the Orcopampa mining unit of Compañía Buenaventura, located in the Arequipa region. Field observations, documentary analysis, data collection, recording, and processing were conducted to classify failures in a Pareto diagram, obtaining relevant data for the RCA application through the logical tree technique of causes to determine preventive strategies and actions. In 2022, the KPIs and maintenance activities were analyzed after implementing RCA, comparing them with the 2021 management. There was an improvement in preventive maintenance times from 57% to 79%, a reduction in corrective maintenance time from 43% to 21%, and an enhancement of overall equipment reliability from 89% to 95%. It was concluded that the implementation of RCA did improve the Key Performance Indicators.

Keywords: Reliability, Availability, Failures, Indicators, Maintenance.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El avance del mundo ha generado avances significativos, desde hace aproximadamente tres siglos con la revolución industrial la humanidad ha implementado el uso de máquinas mejorar el desempeño en menores tiempos de fabricación, masificar el consumo y regularizar los procesos. Las fallas imprevistas a nivel industrial han dado lugar a cuantiosas pérdidas humanas y económicas lo cual ha generado que investigadores en todo el globo aprecien el análisis de falla como instrumento de utilidad para el conocimiento de la estimación de sus causas y la determinación de vida útil de las máquinas (Castro y Cendales, 2019).

Al respecto, Trujillo (2019) señala que durante la década de los años setenta empezó la implantación de herramientas en las industrias para analizar las causas que generaban las situaciones indeseadas para llevar a cabo el despliegue de sistemas con más seguridad y controlar las causas de las fallas, las industrias de la aviación, minería y nuclear fueron las que tuvieron mayor impacto con la implantación de estos sistemas. Para la industria minera, varias organizaciones han planteado metodologías con estructuras sólidas, como, por ejemplo, el análisis de criticidad, para la evaluación de las causas de las fallas, que, al detectarse, se evalúa todos los factores o las causas raíz posibles como también se investiga los defectos en el funcionamiento de los controles por equipos multidisciplinarios para establecer las acciones necesarias para la prevención de las fallas y su control.

La empresa INCIMMET S.A. presta servicios de explotación de minerales en la Unidad Minera Buenaventura. La gerencia de cadena de suministro y equipos, en aras de mantener la continuidad operacional y disminuir las pérdidas en el proceso por fallas



imprevistas, realiza el monitoreo constante de los Indicadores Claves de Desempeño o Key Performance Indicator (KPIs): Disponibilidad, Confiabilidad, Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio Para Reparación (MTTR) y Porcentaje de cumplimiento del Mantenimiento Preventivo.

Para mantener los KPIs dentro de valores aceptables, el área de mantenimiento debe aplicar diferentes estrategias de gestión de mantenimiento a partir de diagnóstico empleando la información que dispone, el análisis cuantitativo y cualitativo de las fallas que se presentan y la evaluación de las estrategias que se establezcan las cuales repercutirán dentro de la empresa INCIMMET S.A, esto puede lograrse al emplear una estrategia detallada, analizando a profundidad las averías que se presenten en los equipos a corregir aplicando el Análisis Causa Raíz (RCA).

En relación a lo descrito anteriormente, Energiminas (2019) define al RCA como una metodología para la identificación de las causas de un problema específico y el planteamiento de su solución, es además una herramienta de mejora continua. Las máquinas al fallar de forma imprevista presentan daños en sus componentes, y generan impacto sobre los costos y productividad de las organizaciones ya que las actividades se detienen para enfocar los esfuerzos en las labores de mantenimiento- La aplicación del ACR dentro del ámbito de mantenimiento se direcciona por medio del MCC (mantenimiento centrado en la confiabilidad), enfocado en las mejoras continuas y progresivas en la gestión y administración de activos además de contribuir en el desarrollo de una cultura organizacional de la empresa.

La presente investigación plantea el desarrollo de la metodología de Análisis de Causa Raíz con los indicadores KPIs en la flota de equipos trackless, propiedad de la empresa INCIMMET S.A. para el año 2021, para ello se prevé diagnosticar el estatus



actual de los indicadores para posteriormente a través de la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas realizar el Análisis de Causa Raíz para establecer estrategias que permitan la mejora de los indicadores KPIS para una mejor gestión de mantenimiento.

1.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

¿La aplicación del Análisis Causa Raíz podría mejorar los indicadores claves de mantenimiento KPIs de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A. para el periodo 2021?

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los indicadores son un conjunto de herramientas claves para el control de la gestión de la unidad de mantenimiento, en relación a este punto, Zegarra (2016) menciona que son diversos los investigadores que coinciden en que los indicadores poseen por objeto advertir a la gerencia del área de mantenimiento si existen deficiencias en la gestión, la organización que se maneje en la unidad influirá de forma decisiva en la rápida y efectiva intervención para el mantenimiento. Para que sea posible, los KPIs deben adaptarse a la realidad operacional, los indicadores clave de desempeño ayudan a las empresas en el monitoreo de su rendimiento. Además, se pueden definir para plantas enteras, procesos, subprocesos y equipos individuales. Uno de los métodos que usualmente son empleados con eficacia en la implementación de indicadores en las organizaciones son las comparaciones de mercado de indicadores de plantas o equipos similares (Lindberg *et al.*, 2015).

Como es sabido, el Perú ocupa un lugar importante en la industria minera, Energiminas (2019) señala que el país se halla entre los principales productores de: Estaño, oro, plata, plomo, cobre y zinc. La extracción de estos minerales debe ser realizada a través de maquinaria especializada que permita un óptimo desempeño en todos



los procesos. No obstante, una falla no esperada podría afectar hasta en 50% la productividad de las operaciones.

INCIMMET S.A. es una compañía que se especializa en servicios de exploración, desarrollo, preparación y explotación de minas en tajo abierto y subterráneas a la unidad operativa de la empresa BUENAVENTURA S.A., esta última es una mina de extracción de oro que se encuentra en el departamento de Arequipa y cuya actividad principal es la extracción de mineral.

La unidad de mantenimiento, según su jefe, actualmente presenta deficiencias administrativas, logísticas y operativas en el área de planificación, mal uso del software empleado para el control y seguimiento de repuestos, materiales, herramientas, insumos la consumibles que requieren los equipos para el adecuado mantenimiento, como también la desactualización de la base de datos, indicadores de mantenimiento sin ser analizados que puedan usarse para la toma de decisiones y definición de estrategias para ser aplicadas en los equipos trackless.

A su vez, el área Operativa Mina presenta deficiencias en la conducción de los equipos por los operadores ya sea por poca experiencia, falta de capacitación y uso inapropiado de uso de equipos que no corresponden con el uso para el que están diseñados, lo que genera daño o acortamiento de la vida útil de éstos y sus componentes, lo que se traduce en la disminución del tiempo operativo de los equipos, incremento del tiempo de fallas y gastos en labores de mantenimiento.

Por lo antes descrito se puede afirmar que existe afectación de los indicadores de desempeño de la flota de equipos trackless en la empresa INCIMMET S.A., por ende, se propone la realización de un análisis de causa raíz para su evaluar y optimización.



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

1.3.1. Justificación práctica

Debido a que en la organización existen deficiencias tanto en el área administrativa como operativa, es propicio el desarrollo de la presente investigación ya que el análisis de causa raíz permite el planteamiento de estrategias que mejorarán estos aspectos además de los indicadores clave de mantenimiento, cuyo éxito se verá reflejado además en la productividad de la organización al aumentar la disponibilidad de los equipos.

1.3.2. Justificación económica

El desarrollo de la investigación permitirá que la empresa INCIMMET S.A. incremente sus tiempos operativos, lo cual se traduce en mayores ingresos al disminuir los costos asociados a mantenimiento de los equipos trackless que posee la organización.

1.3.3. Justificación metodológica

La investigación servirá de aporte para que la empresa INCIMMET S.A. logre mejorar los indicadores clave de desempeño en el manejo de los equipos trackless, para ello serán evaluadas variables de estudio y procedimientos metodológicos, que serán de utilidad para que otras empresas mejoren sus indicadores clave de desempeño y a investigadores para el desarrollo de futuras investigaciones vinculadas al tema planteado.



1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el Análisis de Causa Raíz para la mejora de los indicadores clave de desempeño KPIs de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- Aplicar el Análisis de Causa Raíz para la mejora de la confiabilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.
- Aplicar el Análisis de Causa Raíz para la mejora del Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF) y del Tiempo Medio Para Reparación (TMPR) de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.
- Aplicar el Análisis de Causa Raíz para la mejora de la disponibilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

1.5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Delimitación espacial

La investigación será desarrollada en las instalaciones de la empresa INCIMMET S.A. sede operativa de la compañía BUENAVENTURA S.A, ubicada en el distrito de Orcopampa, provincia de Castilla, Departamento de Arequipa.

1.5.2. Delimitación temporal

La investigación se desarrollará en el periodo 2021 con la recolección y elaboración de métodos estadísticos, en el periodo 2022 aplicación de las



estrategias obtenidas del RCA, la investigación se realizará entre enero a setiembre 2023.

1.6. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

1.6.1. Hipótesis general

La aplicación de un Análisis de Causa Raíz mejora los indicadores clave de desempeño KPIs de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La Aplicación del Análisis de Causa Raíz mejora la confiabilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.
- La aplicación del Análisis de Causa Raíz mejora el Tiempo Medio Entre Falla (TMEF) y el Tiempo Medio Para Reparación (TMPR) de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.
- La aplicación del Análisis de Causa Raíz mejora la disponibilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castro y Cendales (2019) describen en su artículo “Casos aplicados del análisis de causa raíz: revisión” una breve descripción del RCA y los pasos necesarios para su implementación, como también se detalla la necesidad en la disminución de gastos en infraestructura, procesos de planta o cualquier circunstancia que amerite el desarrollo de una investigación similar y detalla la aplicación de esta metodología para evaluar las causas de los deterioros en piezas críticas en los elementos mecánicos en los diversos equipos, en el texto se explican varios casos de distintas organizaciones. La realización del RCA permitió observar las fallas más comunes que presentan los elementos mecánicos los cuales fueron: Fatiga y corrosión, a su vez, la investigación permitió concluir que el RCA es una metodología con la que se puede evaluar antecedentes, identificar daños y exponer las situaciones a las cuales se expusieron los componentes mecánicos a su vez se pudo determinar que la metodología permite identificar las fallas en el futuro y establecer lecciones de aprendizaje para evitar su ocurrencia.

Londoño y Bernal (2018) desarrollaron el proyecto “Propuesta de desarrollo del método análisis causa raíz (RCA) para el plan de mantenimiento preventivo de la herramienta de mano de la empresa Allians S.A.S”., en la que el autor planteó la ejecución de un RCA de dicha empresa ubicada en la ciudad de Bogotá dedicada al rubro de rehabilitación y mantenimiento de carrocerías de



vehículos de carga y pasajeros. La organización presentaba debilidades para el cumplimiento de su actividad principal en las actividades de mantenimiento de equipos indispensables (mano asistida), se realizó el estudio tomando en cuenta las herramientas de mano neumáticas y eléctricas. La investigación desarrollada fue descriptiva, experimental; para su desarrollo en primer lugar se recolectó información para seguidamente analizarla y finalmente realizar el análisis causa raíz. Los resultados obtenidos de la investigación permitieron constatar que sin importar la proporción de costos o magnitud de las labores de mantenimiento son relevantes por su impacto en los procesos productivos, a su vez se propusieron estrategias para la supervisión y control de los equipos.

Fuenmayor (2020) desarrolló la investigación “Aplicación de la metodología análisis causa raíz plus en las fallas recurrentes de un motor-ventilador” en Maracaibo, Venezuela. En ésta se describe el RCA como una metodología que mejora la confiabilidad operacional, se detallan varios pasos que sugiere el autor para aplicar la metodología eficazmente: El análisis funcional, para el diagnóstico de la situación actual y deseada de los sistemas, el levantamiento de información a través de la línea de tiempo para precisar la eventualidad ocurrida, el árbol lógico deductivo para la representación gráfica de los sucesos e identificación de las causas intermedias y niveles de fallas humanas, finalmente la propuesta de recomendaciones y conclusiones para establecer la matriz de acción con la finalidad de eliminar las causas raíces para prevenir las fallas. La investigación permite concluir que la ausencia de control de calidad en el desarrollo de las reparaciones da lugar a reparaciones inadecuadas para componentes como el estator del motor, por su parte; al no existir control de



cambios de las reparaciones que se cataloguen de riesgo, las reparaciones que se realicen externamente no son adecuadas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación de Magan (2020) sobre el “Análisis de causa raíz para la evaluación de eventos no deseados en las cisternas 8C, 10C y 11C de la flota de camiones de minera Barrick”, para su desarrollo se tomaron en cuenta la interacción con los medios y los subsistemas atendidos, además de los equipos. Durante el desarrollo de la investigación en primer lugar, se procedió a la identificación de las fallas de marzo 2017 hasta abril 2019, se ejecutó un estudio detallado por medio de la herramienta RCA de las fallas funcionales de equipos, para controlar las causas que las ocasionan y así optimizar el mantenimiento de las cisternas, las fallas de las cisternas antes mencionadas destacaron en el desarrollo del estudio, a partir del diagrama de causa efecto y de Pareto la investigación permitió la determinación de la causa raíz de las fallas en las cisternas mencionadas al igual que permitió plantear propuestas para la mejora continua de su mantenimiento.

Quiñones (2016) desarrolló la investigación “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el análisis causa raíz para aumentar la disponibilidad de los motores eléctricos jaula ardilla de la empresa Alicorp S.A.A.”, en el estudio se planteó el incremento de la disponibilidad de 32 motores tipo jaula ardilla eléctricos que activan máquinas críticas como: Evaporadores, ventiladores, bombas de combustible. El estudio se desarrolló a partir de la evaluación de las condiciones operacionales de los motores para el año 2015, para ello se visualizaron las intervenciones y horas de reparación



empleadas, los indicadores clave de desempeño reflejaron una confiabilidad de 78% , disponibilidad de 86%, y mantenibilidad en 12%, el RCA fue desarrollado para los motores eléctricos jaula ardilla tomando en cuenta elementos como eje y ventilador del motor, rotor, estator, cojinetes y basándose en las consecuencias como impacto operacional, frecuencia de fallas y costos de mantenimiento, las fallas recurrentes en elementos críticos se evaluaron a partir de los estudios de Análisis de Modo y Efecto de Fallas, mientras que las causas raíz de las fallas se obtuvieron del diagrama causa – efecto. La investigación permitió al autor mejorar a 92% la confiabilidad, a 95% disponibilidad, y continuidad de la mantenibilidad de 12%.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Mantenimiento

Rojas (2019) señala que el mantenimiento en las industrias tiene un papel trascendental desde tiempos inmemorables, No obstante; fue hasta mitad del siglo XX que el mantenimiento cobró relevancia en su evolución hacia un modelo de mantenimiento eficaz.

El mantenimiento está relacionado con una serie de trabajos que garantizan la continuidad operacional de los equipos y su vida útil, estos involucran desde su reparación hasta limpieza de partes, algunos autores señalan que el mantenimiento son las actividades orientadas a la preservación y extensión de los mecanismos físicos de los equipos operativos en la compañía con la finalidad que operen en buenas condiciones a bajo costo (Obeso y Yaya, 2018).



2.2.2. Tipos de mantenimiento

Las organizaciones poseen unidades que usualmente se organizan por tipos de mantenimiento que se realizan, la mejora de la gestión de mantenimiento se alcanza con el control de las fallas ocurridas en cada sistema o elemento debido a que no son iguales, por esta razón el mantenimiento se subdivide en función de las acciones que se ejecutan para atacar las fallas en preventivo, predictivo y correctivo (Rojas, 2019).

El mantenimiento preventivo es el control operativo más importante y relevante que se realiza para una adecuada operatividad en los sectores productivos, este mantenimiento se puede definir como un conjunto de acciones planificadas que deben ejecutarse periódicamente para prevenir el desgaste prematuro de los equipos y conservar el equipo e instalación en aceptables condiciones (Ortea, 2008).

El mantenimiento predictivo es el que se fundamenta en la predicción de las averías que pudiesen ocurrir, esto puede lograrse con la introducción de un equipo con diversos sensores que puedan registrar datos como temperatura, ruidos y vibraciones cuyo análisis permite inferir si se encuentran dentro de los valores normales, caso contrario deberá activarse el mantenimiento preventivo para dar solución antes que suceda la falla (Ortea, 2008).

El mantenimiento correctivo, que se caracteriza porque no es planificado, se ejecuta cuando ocurre la falla o avería del equipo, una característica del mantenimiento preventivo es su elevado costo cuando no se disponen de repuestos, cuando se paraliza la producción y cuando se generan daños colaterales a las instalaciones, por lo que este tipo de mantenimiento se fundamenta en la



ocurrencia por emergencia de fallas, averías, desperfecto y otras situaciones (Enríquez y Márquez, 2019).

2.2.3. Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)

Este análisis es un medio fundamental para alcanzar logros en calidad en los procesos de mantenimiento, tanto en ejecución como en ingeniería de mantenimiento, a partir de la evaluación de fallas ocurridas, sin búsqueda de culpables y estableciendo medidas preventivas para que no sucedan nuevamente (González, 2015).

Tiempo de reparación y tiempo entre fallas. Es definido como el tiempo promedio real empleado en corregir la falla y restitución de la función del equipo, maquinaria o proceso posterior a la aparición de una falla (Álvarez, 2014). Se puede definir por la ecuación que se muestra a continuación:

$$TPR_i = \sum_{Tp_i}^n TPR_i \text{ (Ec.1)}$$

$$TPE_i = TP_i - TPR_i \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

TPR: Tiempo para reparar.

TEF: Tiempo entre fallas.

Tp: Tiempo programado.

Tiempo medio para reparar (TMPR). Es el tiempo que se emplea para la reparación de un equipo o máquina con el fin de restablecer su operación (Álvarez, 2014). Se estima a partir de la ecuación:



$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{i} \text{ (Ec.3)}$$

Donde:

TMPR: Tiempo medio de reparación.

TPR: Tiempo de operación de reparación.

i: Número total de intervenciones.

Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF). Tiempo en el que la planta, máquina o equipo llevan a cabo la función para lo que fueron diseñados sin presentar falla (Álvarez, 2014). Se obtiene con la fórmula siguiente:

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{i} \text{ (Ec. 4)}$$

Donde:

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

TEF: Tiempo total de operación en el periodo.

i: Número total de intervenciones.

Tasa de falla. La tasa de fallos o $\lambda(t)$ $Z(t)$ es la probabilidad de que la planta, máquina o equipo presente una falla en un tiempo determinado (Álvarez, 2014) . Se puede obtener a partir de la ecuación:

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \text{ (Ec. 5)}$$

Donde:

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

Tasa de reparaciones. La tasa de reparaciones (μ) calcula las reparaciones por unidad de tiempo (Álvarez, 2014), se puede definir por la ecuación:

$$\mu = \frac{1}{\text{TMPR}} \text{ (Ec. 6)}$$

Donde:

TMPR: Tiempo medio de reparación.

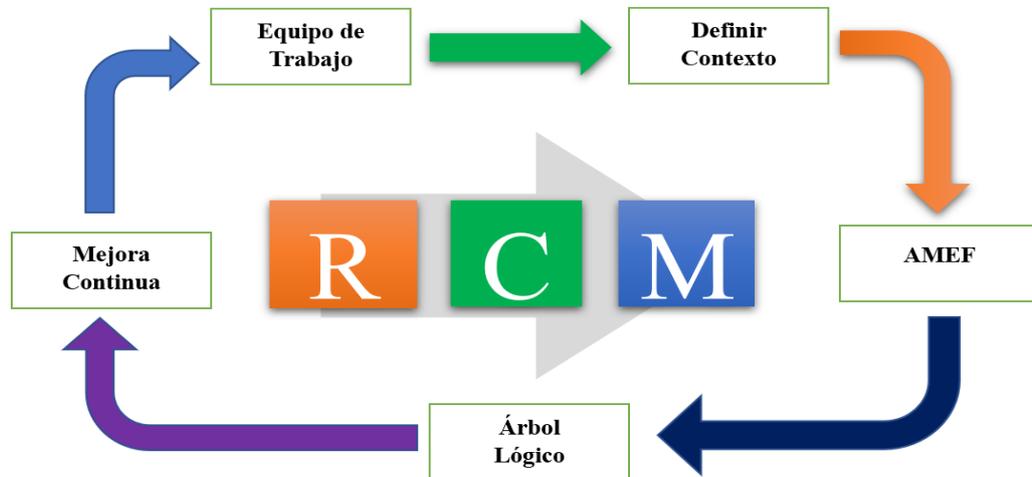
2.2.4. Métodos y herramientas para gestión del mantenimiento

La utilización de herramientas para incremento en la confiabilidad y evaluación por métodos de análisis causa raíz, Pareto y entre otras herramientas de gestión de los sistemas productivos básicas para la gestión, planificación, control, dirección y organización que se implementan en la preservación de equipos, son conocidas en el contexto organizacional como gestión de mantenimiento, con funciones que involucran más que reparaciones (Herrera *et al.*, 2020).

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). García (2012) señala que la industria tiene como finalidad la maximización de la confiabilidad de las instalaciones como se observa en la figura 1, es decir, el descenso de los tiempos de parada que generan que los planes de producción no se cumplan, igualmente da lugar a la disminución de costos por trabajos de mantenimiento.

Figura 1

Filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad



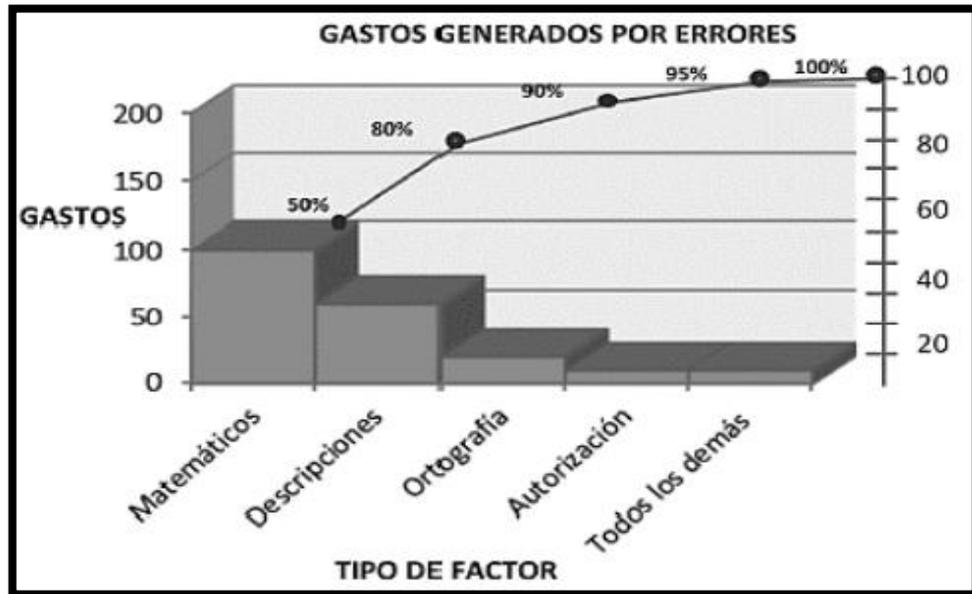
Nota: Ciclo del plan de mantenimiento MCC. Tomado de (Huarilloclla, 2023).

Análisis causa raíz. Parra & Crespo (2012) describen al análisis causa raíz, por sus siglas en inglés (root cause analysis) RCA como una metodología utilizada en las organizaciones para la orientación de los procedimientos que deben ser considerados para el hallazgo de soluciones, la metodología resulta exitosa a partir del esfuerzo de los miembros del equipo por lo que es necesario que éstos posean conocimientos en el área para poder enfrentar los paradigmas que generalmente se encuentran en los análisis de fallas.

Diagrama de Pareto. González (2014) describe que el diagrama de Pareto es una gráfica que representa de forma ordenada en cuanto a importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas del problema; reconociendo así qué problemas se deben resolver y cuál es la prioridad para establecer metas numéricas viables para alcanzar, la información debe ser segmentada para enfocarse en el tema principal y emplear la ley de Pareto que establece que son pocos los problemas graves frente a muchos sin importancia (Novillo *et al.*, 2017). La Figura 2 muestra un ejemplo de diagrama de Pareto.

Figura 2

Diagrama de Pareto



Nota: Tomado de González (2014).

2.2.5. Indicadores de gestión de mantenimiento

Diversos autores concuerdan en que los indicadores tienen como objetivo dar alertas relacionadas con fallas de gestión a los responsables de mantenimiento de las empresas, por lo que el nivel de organización que se tenga incidirá en la respuesta rápida y efectiva en la ejecución del mantenimiento, los KPIs deben adaptarse a la realidad de las operaciones (Zegarra, 2016).

Los indicadores se pueden emplear para la identificación del potencial de mejora o poco rendimiento y se pueden definir para plantas enteras, procesos, subprocesos y equipos individuales, entre los métodos más efectivos y que son comúnmente adoptados por las organizaciones es la realización de comparaciones de mercado de indicadores de plantas o equipos con similitud (Lindberg *et al.*, 2015).



Disponibilidad. Según Bastidas (2013), La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc:

$$D(t) = \frac{\text{Tiempo de operacion}-\text{Tiempo de parada}}{\text{Tiempo de operacion}} \times 100\% \text{ (Ec.9)}$$

Donde:

Tiempo de operación: Tiempo total programado

Tiempo de paradas: Sumatoria de total de horas fuera de servicio

Confiabilidad. Según Tavarez y Lourival (2004) la confiabilidad es un dato estadístico, pues es una probabilidad la cual es determinada o calculada a partir de la información de los registros de los paros. se determina para un determinado período de tiempo, el cual puede ser semanal, mensual, anual, etcétera, y bajo el contexto operacional en el cual opera el activo o el sistema.

$$R(t) = \frac{\text{TMEF}}{\text{TMEF} + \text{TMPR}} \times 100\% \text{ (Ec. 10)}$$

Donde:

TMEF: Tiempo medio entre fallas.

TMPR: Tiempo medio para reparación.

Mantenibilidad. “Se define como la particularidad de un equipo o instalación de acceder en menor o mayor grado a la aplicación de mantenimiento”, adicionando, la mantenibilidad puede definirse como la probabilidad del tiempo de reparación de un equipo en específico (M. Hernández et al., 2013). Puede ser



expresada por la siguiente ecuación:

$$M(t) = (1 - e^{\frac{-\mu t}{100}}) \times 100\% \text{ (Ec. 11)}$$

Donde:

M(t): Mantenibilidad para un tiempo dado.

e: Base de los logaritmos neperianos ($e = 2.303$).

μ : Tasa de reparaciones (número de reparaciones realizadas en relación al total de horas de reparación de un equipo).

t: Tiempo de reparación previsto



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En relación al tipo de investigación, Ivaldi (2022) lo define como la forma que una investigación puede tomar según sus características, ya sea según sus objetivos, datos y manipulación de las variables.

- Según los objetivos. La investigación es de tipo aplicada, ya que su desarrollo involucra el establecimiento de estrategias para dar solución a un problema. La realización del RCA se enfoca en la determinación de estrategias que mejoren los indicadores clave de desempeño KPIs de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.
- Según el tratamiento de los datos. La investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que la investigación involucra el análisis numérico y el uso de técnicas estadísticas para la evaluación de los indicadores de clave de desempeño tanto antes como después de la aplicación del RCA
- Según la manipulación de las variables. Tal y como menciona Cabré (2012) el diseño cuasi - experimental se realiza con intención similar que el estudio experimental probar la existencia o relación causal entre dos o más variables, debido a que la investigación planteada involucra el manejo de variables que pueden influir una sobre la otra y además, pueden ser manipulables (RCA), la investigación puede definirse como cuasi – experimental.



3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación se relaciona con la profundidad con que inicia un estudio para su realización (Arias, 2012), la investigación busca analizar las causas que afectan los indicadores claves de desempeño KPIs y corroborar la hipótesis planteada, por lo que puede afirmarse que es de nivel explicativo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se considera para el RCA, está constituida por 14 equipos trackless que son usados en la organización donde se desarrolla la investigación. En cuanto a la muestra, se considera el muestreo no probabilístico por conveniencia, en función de los fines particulares de la investigación, donde se tomó en cuenta toda la población para su desarrollo y poder evaluar los cambios producidos en los indicadores clave de desempeño.

3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En correspondencia con lo señalado por Arias (2012) que menciona un conjunto de técnicas aplicadas para la recolección de datos recolección de datos, el procedimiento y otras formas particulares de obtener datos o información. Para el desarrollo de la investigación se emplearon:

- La revisión bibliográfica. Se revisaron libros, informes y otras fuentes de información para el abordaje metodológico de la investigación y la contextualización con la aplicación de la metodología RCA.
- El análisis documental: Se accedió a los registros de históricos de fallas, estatus de equipos, indicadores clave de desempeño y manuales de los equipos trackless, como los manuales de determinados equipos como

- también el acceso a las fichas técnicas de INCIMMET S.A. (ver anexo 6), para poder obtener los datos necesarios con los que se realizó el RCA.
- La observación. A través de la participación activa dentro a las instalaciones de la empresa INCIMMET S.A, como planificador en mantenimiento, se obtuvieron los datos mencionados anteriormente como se muestran en las figuras 3 al 7.

Figura 3

Carnet de planificación y equipo de mantenimiento de proyecto en la empresa INCIMMET S.A.



Elaboración propia.

Figura 4

Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con equipos JUMBO, EMPERNADOR y DESATADOR en INCIMMET S.A.



Elaboración propia

Figura 5

*Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con MINICARGADOR en
INCIMMET S.A.*



Elaboración propia.

Figura 6

*Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con SCOOPTRAM en INCIMMET
S.A.*



Elaboración propia.

Figura 7

*Evaluación y seguimiento del plan de mantenimiento con TELEHANDER en
INCIMMET S.A.*



Elaboración propia.

- La entrevista. Se realizó una entrevista no estructurada con el jefe de la unidad de mantenimiento empresa INCIMMET S.A y equipo técnico del mismo que sirvió para la contextualización de la problemática planteada en la investigación y orientación para la obtención de la información directamente en las instalaciones de la empresa.

3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Como menciona Sabino (2014) la investigación es cuantitativa porque la hipótesis que se plantea es verificada a partir de la información numérica de la investigación, con el objeto estudiar la relación de las variables y su comportamiento. Tal y como se describió previamente, el desarrollo de la presente investigación se fundamenta en la comprobación de la hipótesis planteada de la actual investigación a través de análisis estadístico inferencial de los indicadores KPIs como se evaluará por las correspondientes



pruebas de normalidad y T-Student tanto para el año 2021 como al año 2022:

- Prueba de Normalidad. Hernández *et al.* (2014) señalan que si el tamaño de la muestra estudiada es menor de los 50 datos debe emplearse la técnica de Shapiro Wilk, mientras que si la muestra es mayor a 50 debe usarse Kolgomorov- Smimov, debido a que la muestra constituye un total de 14 equipos se determina entonces el uso de la técnica Shapiro Wilk.
- Prueba T-Student. Sánchez (2015) señala que esta prueba permite diferenciar las medias de las muestras, pudiendo inferir si hay diferencias significativas o no. Esta prueba se aplicó a las variables con comportamiento normal, para comprobar los cambios producidos en los indicadores de desempeño comparando los resultados del pre-test y el post-test.

3.6. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Como parte del enfoque cuantitativo del estudio, se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

- Para llevar a cabo la investigación, en primer lugar, mi persona participó como planificador en mantenimiento en la empresa INCIMMET S.A. donde se tuvo el acceso a la información de la unidad de mantenimiento, donde se observó los procedimientos operativos, formularios y registros de gestión (historial de fallas, mantenimientos, etc.), se revisó la ficha técnica de los equipos y los indicadores de la gestión de mantenimiento durante el periodo de estudio como se puede visualizar en anexo 7.
- Posteriormente, a través de un diagrama de árbol lógico de causas se precisó de forma cualitativa las causas que están originando las fallas de



- los equipos trackless, luego se elaboraron diagramas de Pareto donde se jerarquizaron las causas de las fallas operativas de los equipos.
- Seguidamente, mediante un análisis de criticidad se priorizaron los estados de los equipos y se identificó el impacto sobre la continuidad del proceso.
 - Luego de tener toda la información de campo disponible y sistematizada, se desarrolló el análisis de causa raíz para cada uno de los equipos, con el fin de determinar las estrategias necesarias para la mejora de los indicadores de mantenimiento y la disminución de los tiempos de fallas.
 - Por último, se llevó a cabo una nueva recolección de datos para medir los indicadores claves de mantenimiento, con el propósito de analizarlos en contraste con los obtenidos en el pretest, y de esta manera, determina el efecto de mejora de la metodología aplicada en la gestión de mantenimiento.

3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos que se recolectaron en la investigación fueron procesados a través de paquete de software especializado Microsoft Excel, por su parte; los datos estadísticos de las pruebas inferenciales, fueron procesados a través del uso del software especializado SPSS donde se aplicaron las técnicas de comprobación de hipótesis.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO (PRE – TEST)

4.1.1. Inventario de equipos Trackless de la empresa

La empresa INCIMMET S.A. cuenta con una serie de equipos trackless propios, empleados en las labores de campo en minería, cuyo inventario se describe en la tabla 1. Estos equipos están distribuidos en las actividades de avance, Schocrete y servicios.

Tabla 1

Inventario de Equipos Trackless de la Empresa INCIMMET S.A.

Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Código	Capacidad	Año de fabricación	Actividad	Vida útil (%)
Jumbo Empernador								
1	Jumbo Empernador (Eléctrico-10000 horas)	RESEMIN	Small Bolter 99	EM-I-11	8 pies	2019	Avance	57.50%
2	Jumbo Empernador (Eléctrico-5000 horas)	RESEMIN	Bolter 99	EM-T-08	8 pies	2015	Avance	28.20%
Jumbo Frontero								
3	Jumbo Frontero (Percusión-6000 h)	SANDVIK	DD311	JF-I-09	14 pies	2012	Avance	56.90%
4	Jumbo Frontero (Percusión-6000 h)	SANDVIK	DD311	JF-T-08	14 pies	2014	Avance	60.30%
Scooptram								
5	Scooptram (Motor diésel 14000 horas)	SANDVIK	LH307	SC-I-08	4 Yd	2019	Avance	93.40%



Ítem	Tipo	Marca	Modelo	Código	Capacidad	Año de fabricación	Actividad	Vida útil (%)
6	Scooptram (Motor diésel 14000 horas)	SANDVIK	LH307	SC-I-13	4 Yd	2021	Avance	52.70%
	Dumper							
7	Dumper (Motor Diesel 10000 horas)	SANDVIK	TH320	DP-I-01	20 Tn	2017	Avance	92.40%
	Scaler (desatador mecánico)							
8	Desatador Mecánico (Motor Diesel 10000 horas)	PAUS	853 S8	DM-T-07	4.6m	2016	Avance	38.80%
	Mixcret (mezclador de concreto)							
9	Mezclador de concreto (Motor Diesel 5000 horas)	LORENZANA	HURON 4	MX-I-03	4 m3	2013	Schocrete	97.30%
10	Mezclador de concreto (Motor Diesel 5000 horas)	NORMET	TORNADO S2	MX-T-01	4 m3	2015	Schocrete	87.80%
	Robot (lanzador de concreto)							
11	Lanzador de Concreto (H. Diesel - 5000 h)	NORMET	ALPHA20	LC-I-01	20m3/h	2013	Schocrete	92.10%
12	Lanzador de Concreto (H. Diesel-5000 h)	NORMET	ALPHA20	LC-T-01	20m3/h	2015	Schocrete	72.10%
	Telehandler							
13	Telehandler (Motor Diesel 10000 horas)	MANITOU	MLTX-625 75H	TH-I-02	2.5 Tn	2020	Servicios	56.70%
	Minicargador							
14	Minicargador (H. Diesel - 14000 horas)	CATERPILLAR	246D3	MC-T-02	0.5 m3	2020	Servicios	38.50%

Elaboración propia.

En la mayoría de los equipos, como se puede observar en la tabla 1, la vida útil está por debajo del 60%, lo cual sugiere la necesidad de implementar estrategias adecuadas de mantenimiento que permitan mejorar su tiempo de vida útil, es decir, mantenerlos en el tiempo lo más que se pueda (extender su curva de vida). Es por ello que, se realizó un diagnóstico más preciso sobre sus fallas, mantenimientos efectuados y causa raíz de las fallas durante el año 2021, para

determinar acciones preventivas.

4.1.2. Mantenimientos efectuados año 2021

La empresa INCIMMET S.A. mantiene una base de datos sistematizada, en donde se tienen todos los registros de la gestión de mantenimiento, entre ellos, los tipos de mantenimientos y actividades que se han efectuado anualmente a los equipos. A partir de ello, se pudo determinar la relación de horas invertidas en mantenimientos preventivos que se realizaron correctivos durante el año 2021, en contraste a los mantenimientos correctivos, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Resumen gestión de mantenimiento Equipos Trackless año 2021

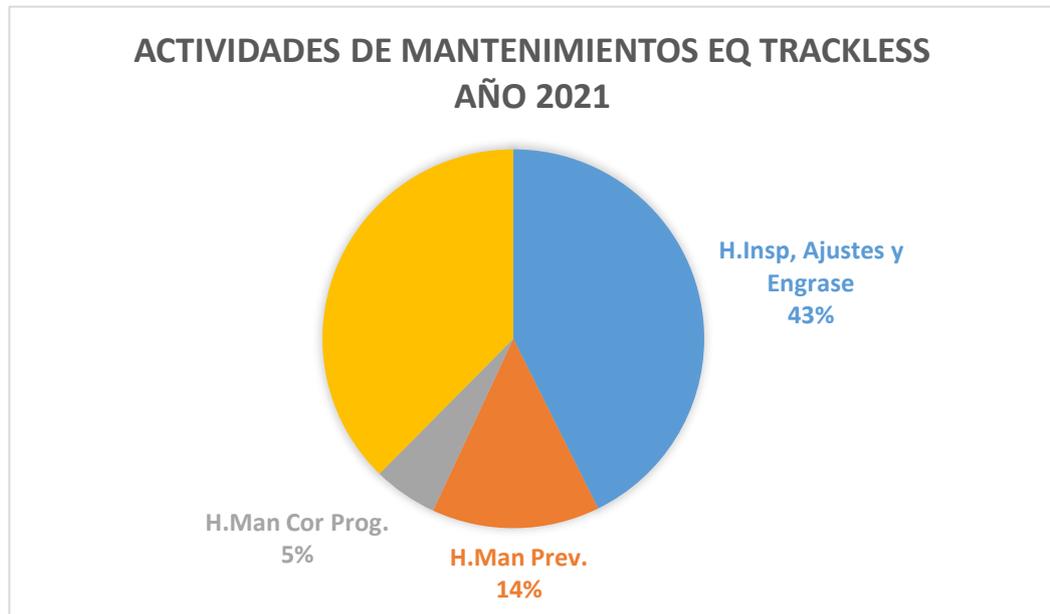
Preventivos (horas)		Correctivos (Horas)	
Inspecciones, ajustes y engrases	Mantenimientos Preventivos	Mantenimientos Correctivos no programado	Manto. Correctivo programado
3514.9	1171.96	450.08	3098.43

Elaboración propia.

Estas horas invertidas en actividades de mantenimientos mostradas en la tabla 1, pueden representarse gráficamente en la figura 8, donde se aprecia que el 43% corresponden a acciones preventivas como inspecciones, ajustes y engrase, otro 14 % a mantenimientos preventivos en general, lo que suma un total de 57% en acciones preventivas, en contraste con 43% de acciones correctivas distribuidas en horas programadas (5%) y en su mayoría, no programadas (38%), esta última es preocupante, ya que los mantenimientos correctivos no programados no están contemplados en ningún plan de la empresa, por ende toma de imprevisto las actividades de la empresa, interrumpiendo la productividad.

Figura 8

Mantenimientos preventivos vs correctivos realizados año 2021



Elaboración propia.

A partir de ese reconocimiento de elevadas tasas de mantenimientos correctivos, se procedió a realizar un análisis de fallas de los equipos trackless con más detalle a fin de establecer una causa raíz que orientara las estrategias preventivas futuras. Pues, el caso ideal o teórico es que exista una relación 80% actividades preventivas contra un 20% acciones correctivas.

4.1.3. Análisis de fallas de los equipos Trackless año 2021

Tipo de Fallas de los Equipos. Las fallas de los equipos fueron clasificadas por tipo de mecanismo o modo, como se describe en la tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de fallas según modo

Tipo de falla	Modo
A	MECÁNICAS (Componentes, Viga, Estructura, Soportes, Chasis, Cabina)
B	ELÉCTRICAS (Sistema y Componentes)

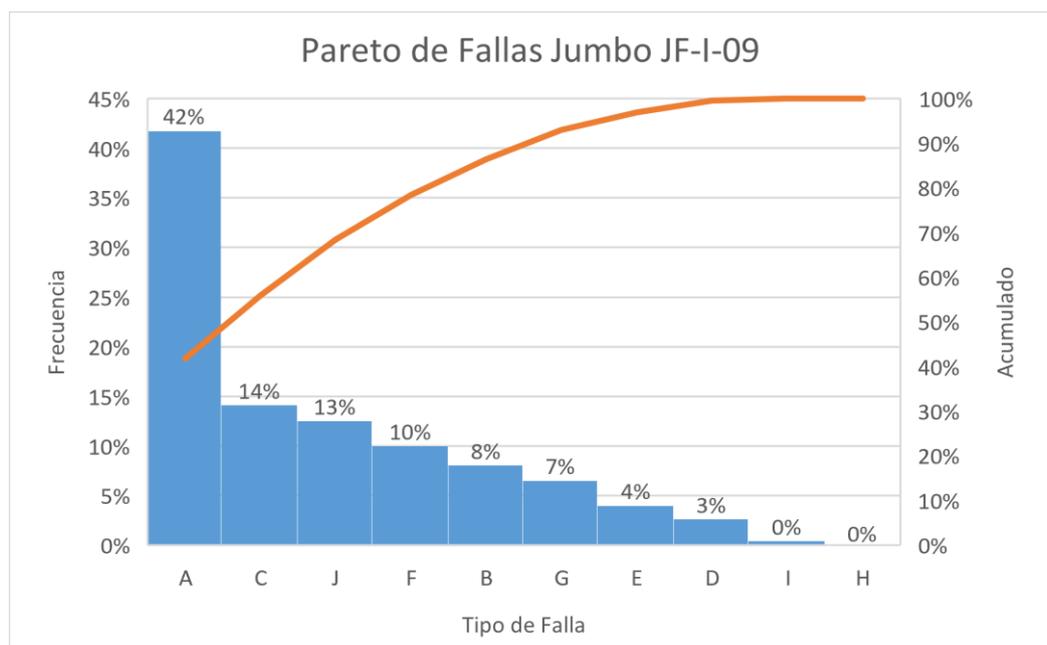
Tipo de falla	Modo
C	HIDRÁULICOS (Sistema, Cilindros, Sellos)
D	TRANSMISIÓN (Sistema y Componentes)
E	MOTOR DIESEL (Componentes)
F	MANGUERA (Conectores, Fatiga, Rotura, Fugas)
G	PERFORADORA/MARTILLO (Componente)
H	AIRE ACONDICIONADO (Sistema y Componentes)
I	NEUMÁTICOS (Lantas, aros y cámaras)
J	ACCIDENTE X OPERACIONES. (Choques, Vías, Mala maniobra)

Elaboración propia.

A partir de lo mostrado en la tabla 3, las fallas de los equipos trackless fueron jerarquizadas mediante diagramas de Pareto para observar cuales son las frecuencias de mayor ocurrencia. De esta manera, en la figura 9 se muestra la categorización y frecuencia de fallas del equipo Jumbo frontero JF-I-09, donde la frecuencia más alta corresponde a la falla tipo A, la cual se asocia con componentes mecánicos como estructuras, chasis, vigas, etc.

Figura 9

Pareto de Fallas del equipo Jumbo Frontero JF-I-09

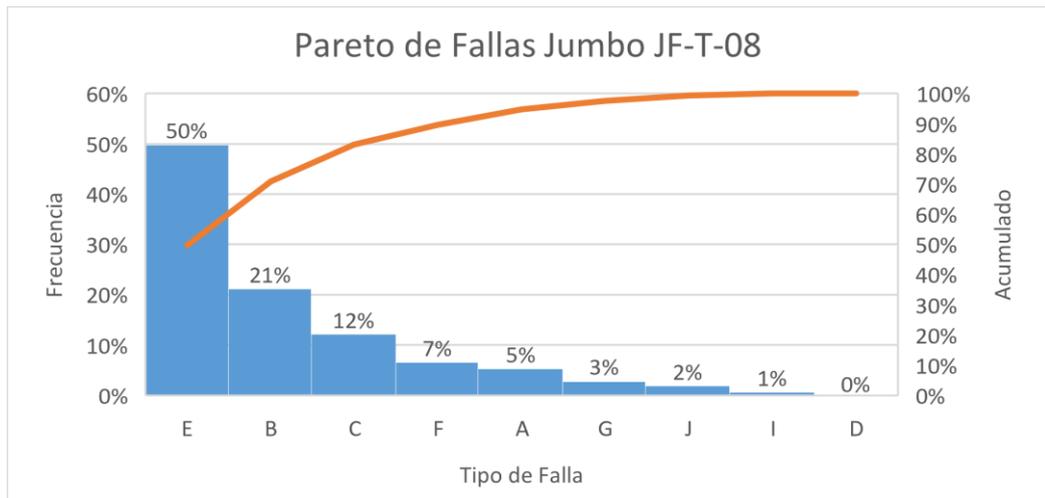


Elaboración propia

Sin embargo, para el equipo similar jumbo frontero JF-T-08, las fallas predominantes son el tipo E, las cuales se relacionan a componentes de motor diésel, seguido por las fallas tipo B atribuidas a sistemas y componentes eléctricos, como se puede observar en la figura 10.

Figura 10

Pareto de Fallas del equipo Jumbo Frontero JF-T-08

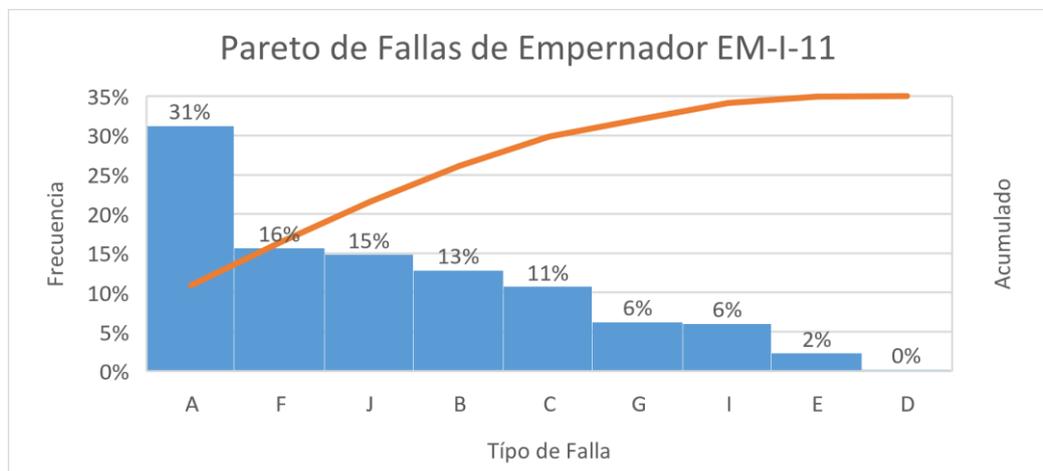


Elaboración propia.

En las figuras 11 y 12, se muestran las frecuencias y jerarquía de fallas del equipo empernador EM-I-11 y EM-T-08.

Figura 11

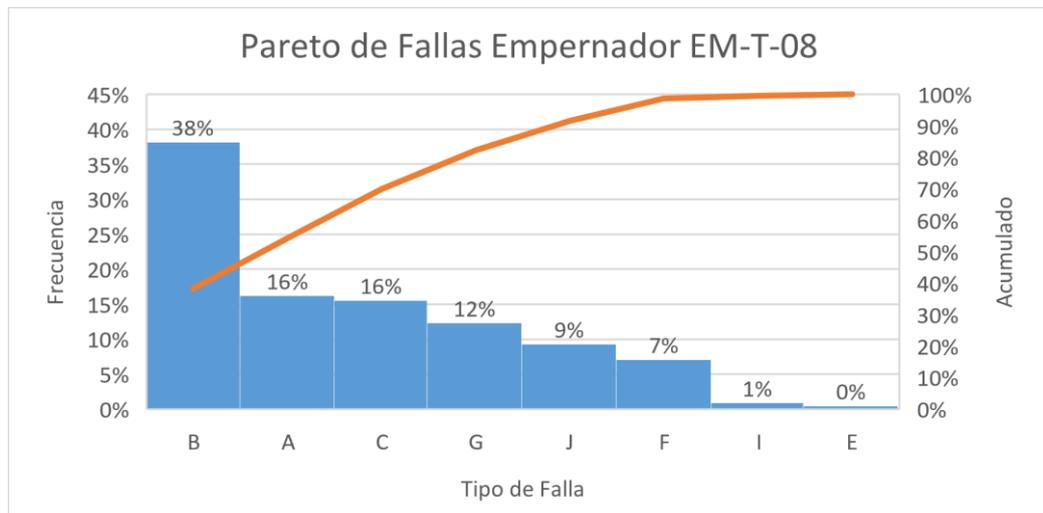
Pareto de Fallas del equipo empernador EM-I-11



Elaboración propia

Figura 12

Pareto de Fallas del equipo emperrador EM-T-08

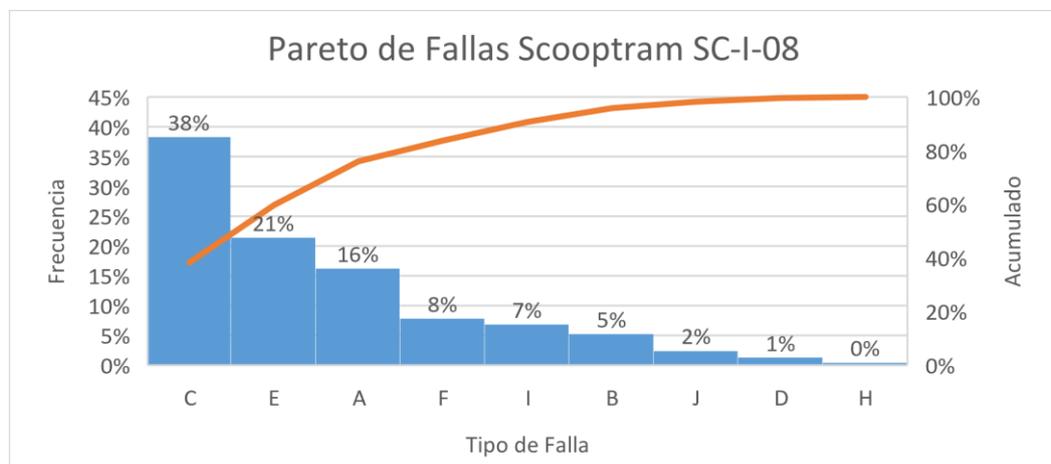


Elaboración propia.

Como se puede observar en las figuras 13 y 14, los equipos emperradores a pesar de ser iguales, en el primero de ellos, las fallas más frecuentes son las de tipo A, mecánicas y en el segundo las más frecuentes son las de tipo B que corresponden a sistemas y componentes eléctricos. De manera similar, en las figuras 8 y 9 se muestra la categorización de las fallas de equipos scooptram (SC-I-08 y SC-I-13).

Figura 13

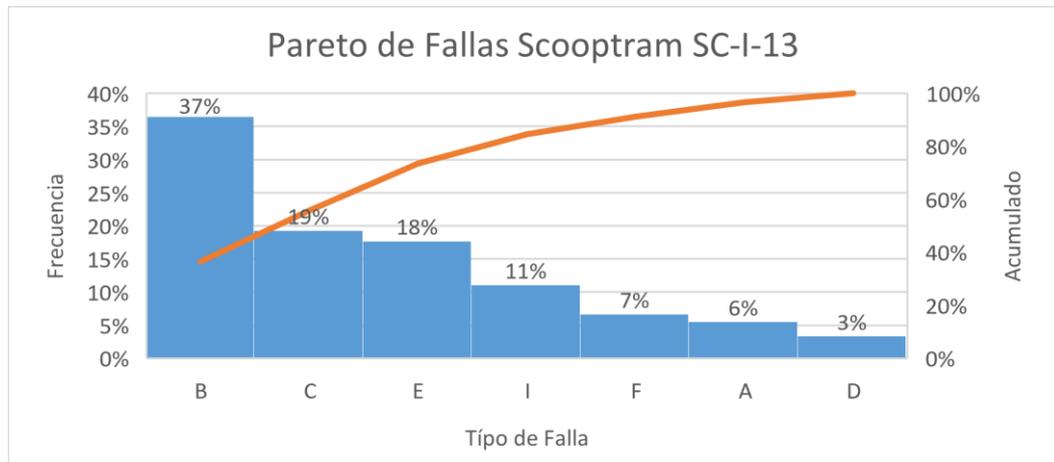
Pareto de Fallas del equipo Scooptram SC-I-08



Elaboración propia.

Figura 14

Pareto de Fallas del equipo Scooptram SC-I-13

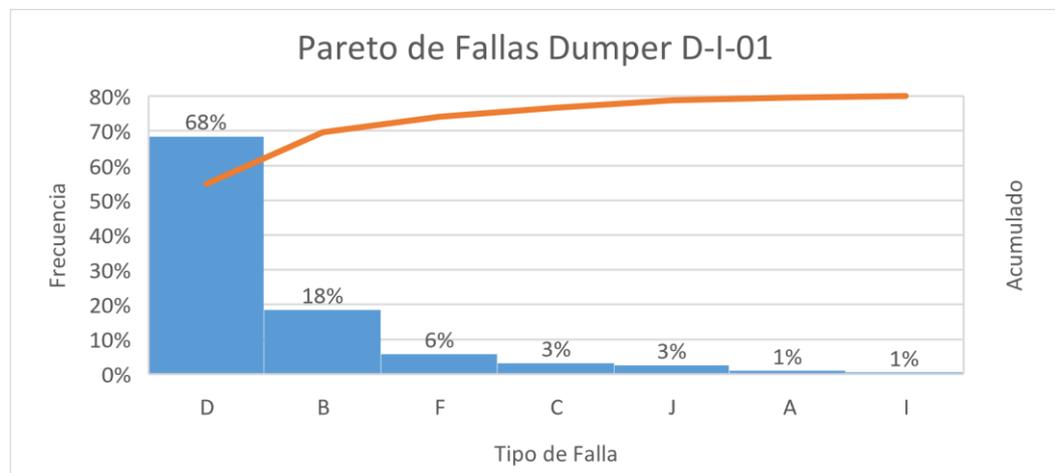


Elaboración propia.

En los diagramas de Pareto de las figuras 13 y 14, se puede observar que, a pesar de ser equipos iguales, ambos presentan una frecuencia de fallas diferentes, el SC-I-08 las fallas tipo C, E y A son las más frecuentes, estas son relacionadas con sistemas hidráulicos, con motor diésel y mecánicas. En cambio, el SC-I-13 presenta mayor frecuencia de fallas B y C, eléctricas e hidráulicas. En cuanto al equipo Dumper D-I-01, la frecuencia y categorización de fallas se muestra en la figura 15, donde claramente predomina las fallas D.

Figura 15

Pareto de Fallas del equipo Dumper D-I-01

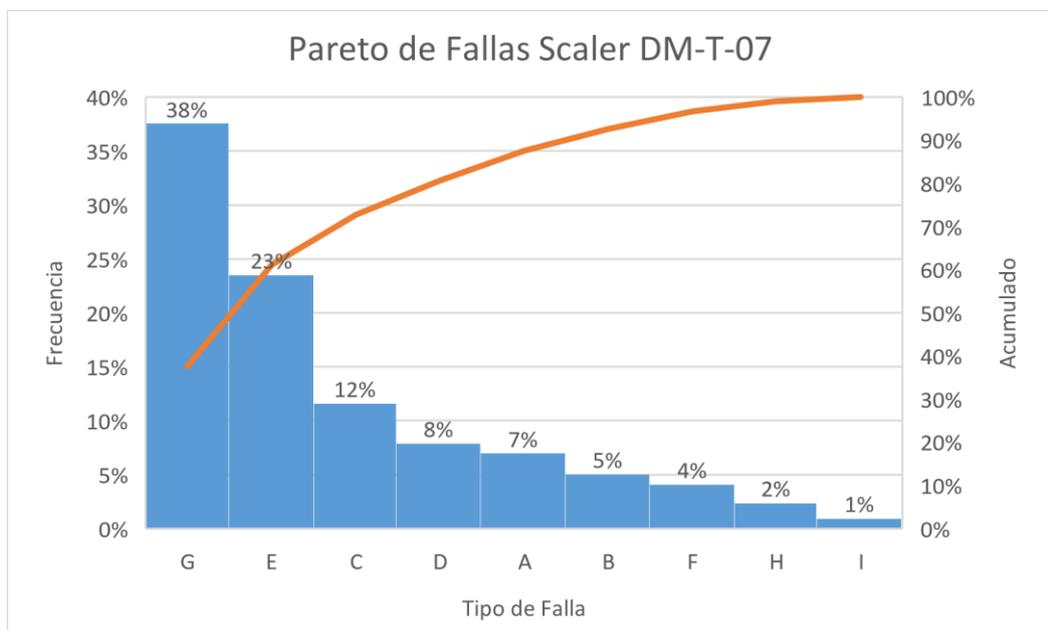


Elaboración propia.

El equipo Dumper D-I-01, presenta una mayor frecuencia de fallas tipo D, asociadas a sistemas de transmisión seguido de fallas tipo B (sistemas y componentes eléctricos). Por su parte, las fallas del equipo scaler DM-T-07 más frecuentes son las de tipo G, asociadas con los componentes de perforadora/martillo, seguido de los tipos E, asociadas a componentes de motor diésel, como se presenta en la figura 16.

Figura 16

Pareto de Fallas del equipo scaler DM-T-07

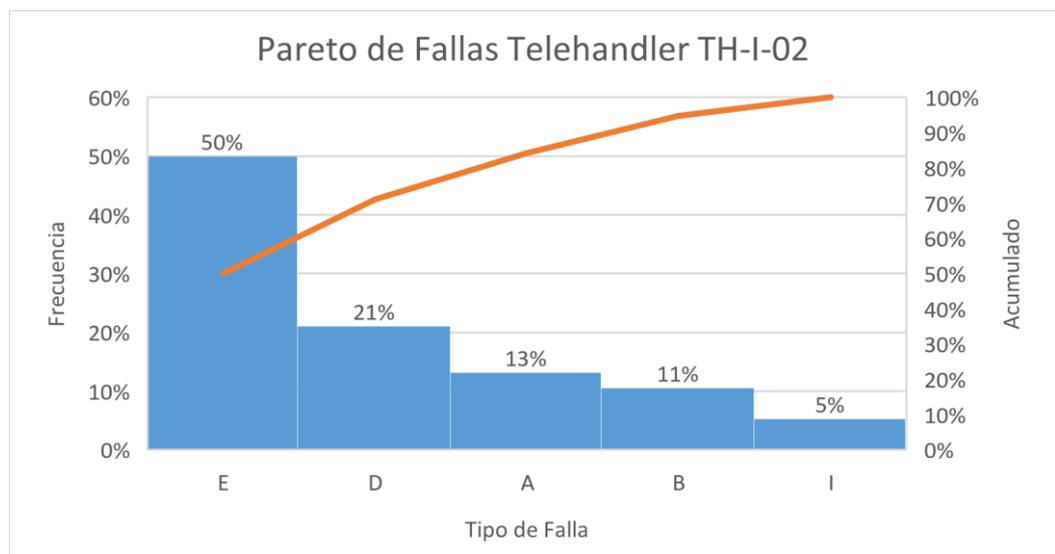


Elaboración propia.

Respecto a las fallas del equipo telehandler TH-I-02, hay una mayor frecuencia del tipo E (componentes motor diésel), seguidas de las fallas tipo D (sistemas y componentes de transmisión), como se ilustra en la figura 17.

Figura 17

Pareto de Fallas del equipo telehandler TH-I-02

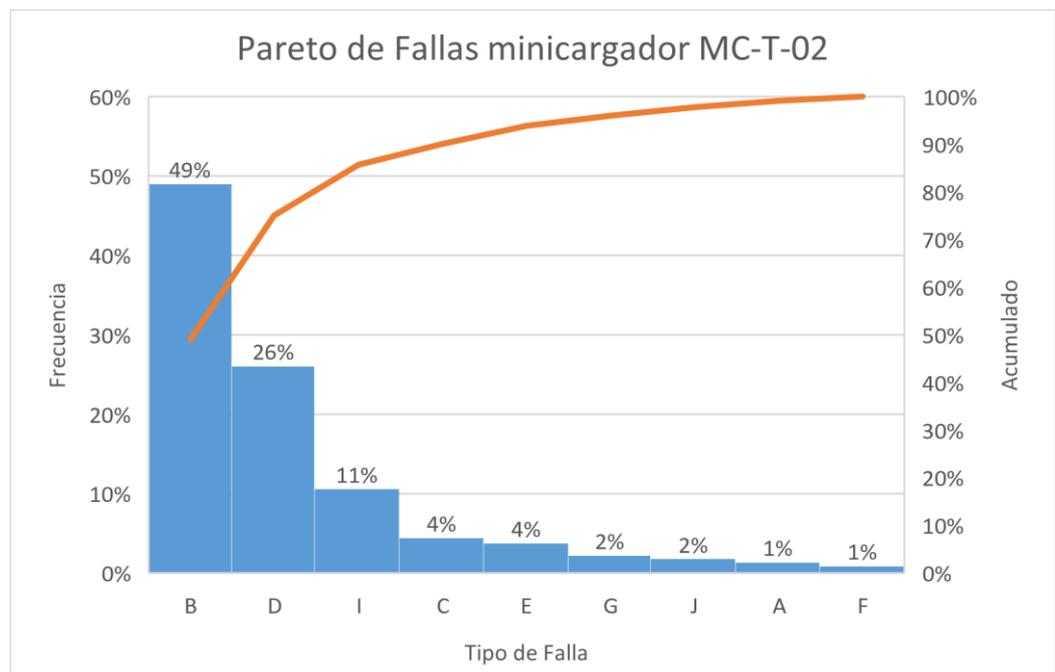


Elaboración propia.

Por su parte el equipo minicargador MC-T-02, presenta una mayor frecuencia de fallas B seguido del tipo D, sistemas y componentes eléctricos y de transmisión respectivamente, como se puede ver en la figura 18.

Figura 18

Pareto de Fallas del equipo minicargador MC-T-02

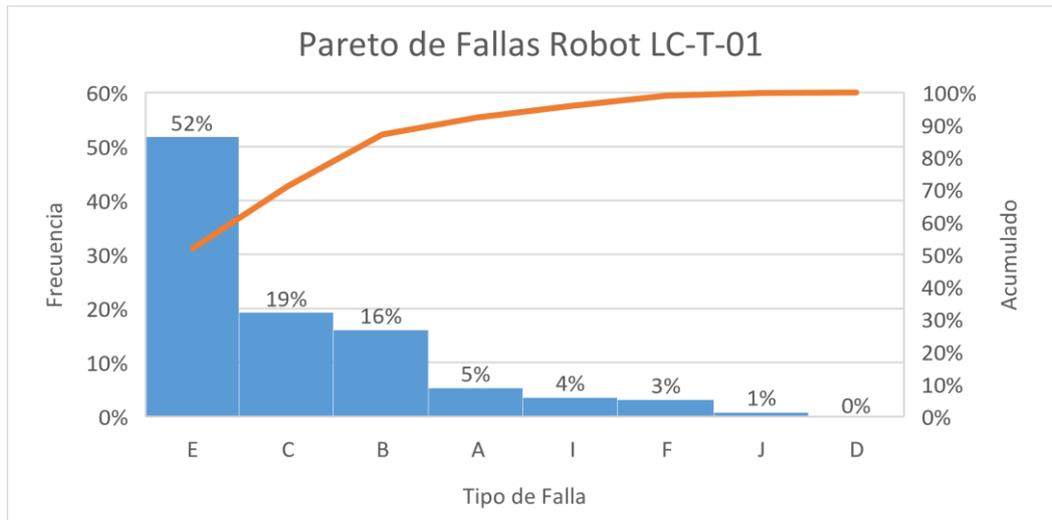


Elaboración propia.

En cuanto al equipo robot, este presenta una mayor frecuencia de fallas tipo E (componentes motor diésel), se guido de fallas C (sistemas y componentes hidráulicos), como se ilustra en la figura 19.

Figura 19

Pareto de Fallas del equipo robot LC-T-01

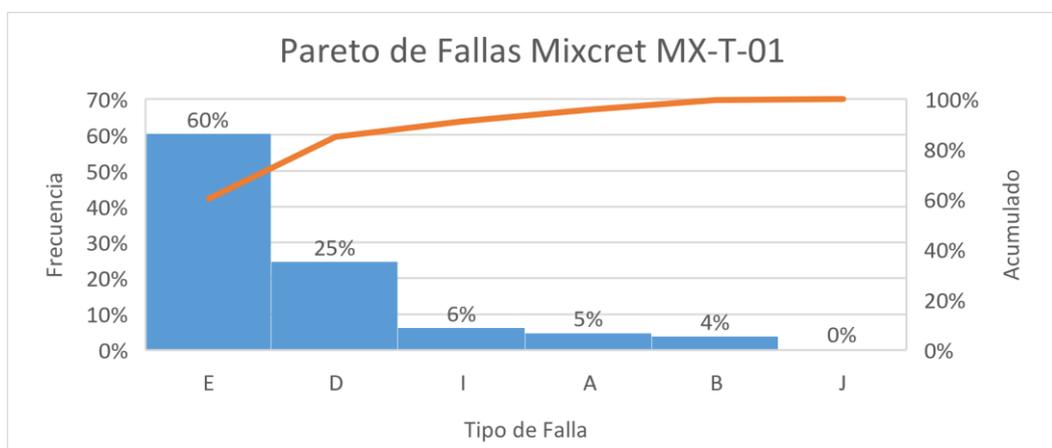


Elaboración propia.

Por último, el equipo mixcret MX-T-01 presentó una mayor frecuencia de fallas tipo E (motor diésel) seguido de fallas tipo D (sistemas de transmisión), como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Pareto de Fallas del equipo mixcret MX-T-01

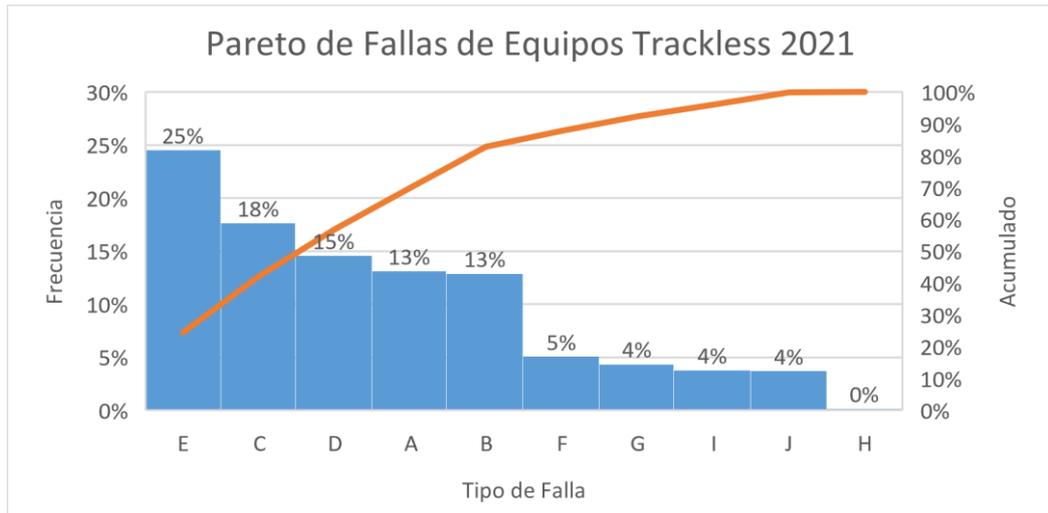


Elaboración propia.

Finalmente, las fallas frecuentes en todos los equipos durante el año 2021, se categorizaron de manera general, observándose en la figura 21.

Figura 21

Pareto de Fallas presentadas en los equipos trackless año 2021



Elaboración propia.

De la figura 21, se puede apreciar que las falla tipo E presentaron mayor frecuencia de ocurrencia con 25%, las cuales están relacionadas con los componentes del motor diésel, en segundo lugar, las fallas tipo C con 18% de frecuencia, estas están asociadas a los sistemas hidráulicos como cilindros, sellos, etc. Luego siguen las fallas tipo D, A y B con frecuencias de 15% y 13% respectivamente; estas se asocian con los sistemas de transmisión, sistemas mecánicos, sistemas y componentes eléctricos.

Tiempo Medio entre Fallas. Se analizaron los tiempos medios ente fallas (MTBF) de los equipos trackless, medidos en término de horas (cuántas horas transcurren desde el término de una falla el inicio de otra) cada mes, durante el año 2021. Los mismos se reportan en la tabla 4.

Tabla 4

Tiempos medios entre fallas (MTBF) de los equipos trackless durante el año 2021

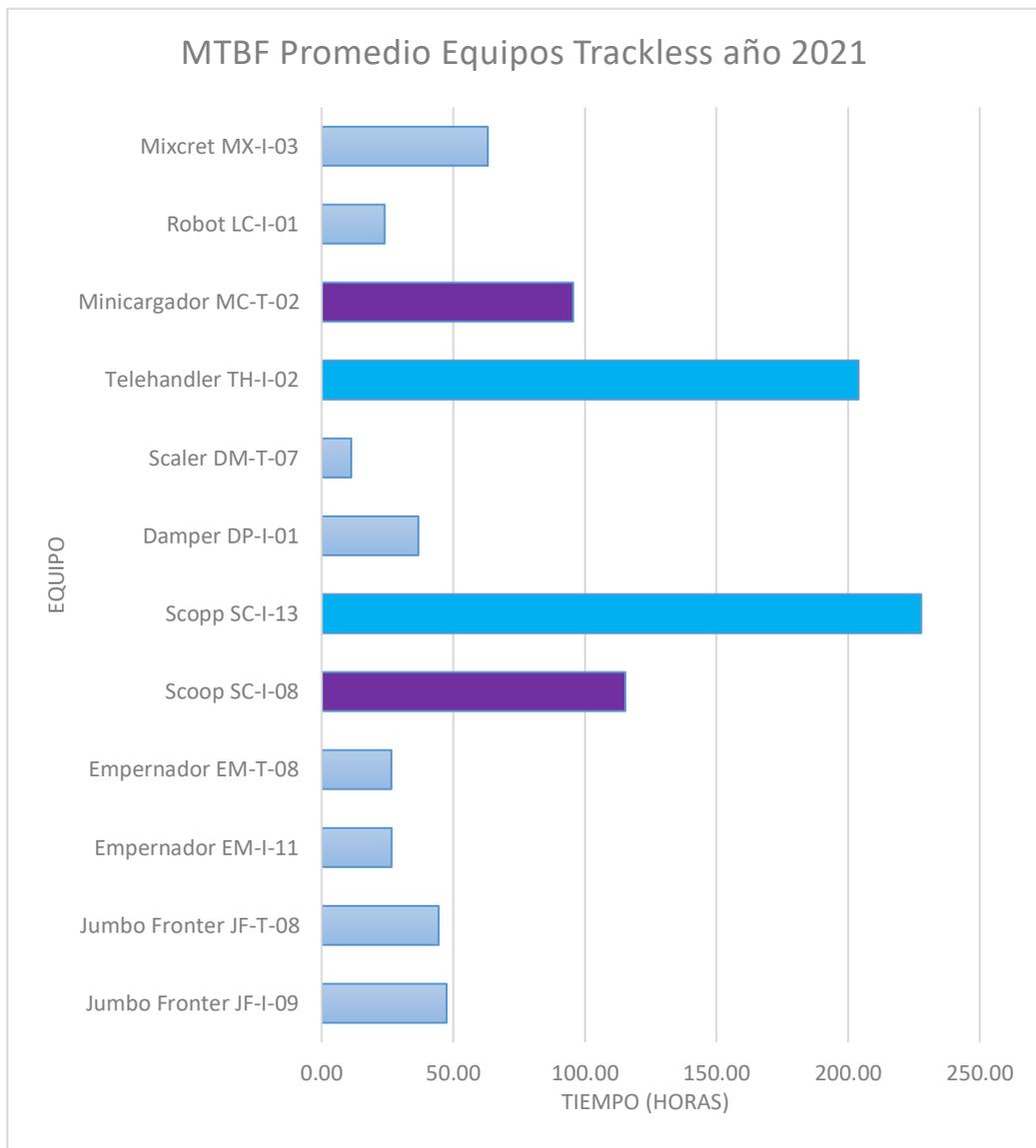
Flota	Código	MTBF (Mean Time Between Failures) - Tiempo medio entre fallas 2021												Prom .
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Jumbo	JF-I-09	39.5	16.8	67.8	61.5	50.1	82.4	41.7	21.3	50.4	56.4	34.2	52.3	47.5
	JF-T-08						37.6	25.9	24.1	31.5	81.0	59.9	23.5	44.5
Empernador	EM-I-11	27.5	29.8	18.6	19.6	16.7	19.3	43.6	38.5	20.4	28.9	25.8	22.3	26.6
	EM-T-08						20.1	33.8	23.0	22.8	31.7	21.2	24.3	26.5
Scooptram	SC-I-08	93.0	188.4	50.2	415.0	72.4	143.6	85.4	56.6	148.8	46.3	63.7	21.0	115.4
	SC-I-13						132.0	403.0	432.0	99.1	30.8	437.0	60.8	227.8
Dumper	DP-I-01										41.5	32.0	37.1	36.8
Scaler	DM-T-07										8.5	14.0	12.9	11.3
Telehandler	TH-I-02	253.6	236.8	49.2	244.4	85.8	335.3	218.3	73.1	61.4	323.3	362.9	348.2	204.0
Minicargador	MC-T-02	58.0	63.7	13.9	39.8	30.1	151.6	205.8	250.6	118.1	53.5	66.1	50.9	95.6
Robot Lanzador	LC-I-01	13.3	7.2	18.0	17.6	28.7	33.9	16.9	18.0	48.3	14.6	47.0	13.6	24.0
	LC-T-01						26.9	22.7	14.4	16.4	22.0	25.0	16.9	20.6
Mixcret	MX-I-03	23.8	17.0	29.2	65.3	59.8	31.9	283.0	35.0	40.0	74.8	34.8	132.0	63.1
	MX-T-01						21.0	24.5	28.1	22.4	49.5	8.0	34.4	27.8

Elaboración propia

En la figura 22, se muestra una comparación gráfica de los tiempos medios entre fallas de los equipos trackless, donde se puede apreciar que los equipos que presentan un periodo más largo entre fallas son el telehandler y el scooptram SC-I-13, con tiempos de 204 horas y 227.8 horas respectivamente. Por el contrario, los equipos más críticos que presentan un período menor entre la ocurrencia de la falla, son el scaler, el robot, los empernadores y los jumbos frontoneros.

Figura 22

MTBF promedio de equipos trackless año 2021



Elaboración propia.

Tiempo Medio de Reparación. Se analizaron los tiempos medios de reparación (MTTR) de los equipos trackless, medidos en término de horas (cuántas horas transcurren en la reparación) cada mes, durante el año 2021. Los mismos se reportan en la tabla 5. Los cuales pueden ser cotejados con la escala de gravedad (S) de la tabla 6, que indica que tan severa es la falla en función del tiempo que demanda la reparación.

Tabla 5

Tiempos medios de reparación (MTTR) de los equipos trackless durante el año 2021

Flota	Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Jumbo	JF-I-09	1.8	1.7	3.3	3.3	3.2	3.5	2.9	1.4	1.3	20.2	3.4	2.3	4.0
	JF-T-08						3.0	1.3	2.5	1.0	3.8	21.1	1.9	4.9
Empernador	EM-I-11	1.4	3.6	2.0	2.8	2.1	1.6	2.7	3.6	1.7	2.2	5.0	2.0	2.6
	EM-T-08						1.3	2.5	2.0	1.7	1.2	2.4	1.5	1.8
Scooptram	SC-I-08	3.0	3.6	2.8	3.0	3.9	5.8	11.1	1.6	4.7	1.7	1.9	4.7	4.0
	SC-I-13						0.0	0.0	2.0	1.6	1.9	0.5	2.6	1.2
Dumper	DP-I-01										3.7	15.4	4.7	7.9
Scaler	DM-T-07										5.5	5.7	3.2	4.8
Telehandler	TH-I-02	7.5	0.0	2.9	0.0	1.2	0.0	3.5	1.7	1.4	0.5	0.0	0.0	1.6
Minicargador	MC-T-02	8.1	1.0	1.6	1.8	1.8	7.0	3.5	2.0	1.3	1.3	5.0	3.0	3.1
Robot Lanzador	LC-I-01	7.6	3.5	3.1	2.0	3.1	4.1	2.6	2.9	9.0	2.5	7.4	2.8	4.2
	LC-T-01						3.5	3.3	4.7	5.5	2.5	4.0	2.4	3.7
Mixcret	MX-I-03	12.5	4.1	2.8	5.1	5.0	2.6	7.0	21.6	6.8	34.5	3.6	9.5	9.6
	MX-T-01						4.0	1.2	3.7	6.2	6.3	8.2	5.7	5.1

Elaboración propia.

Tabla 6

Tiempos medios de reparación (MTTR)

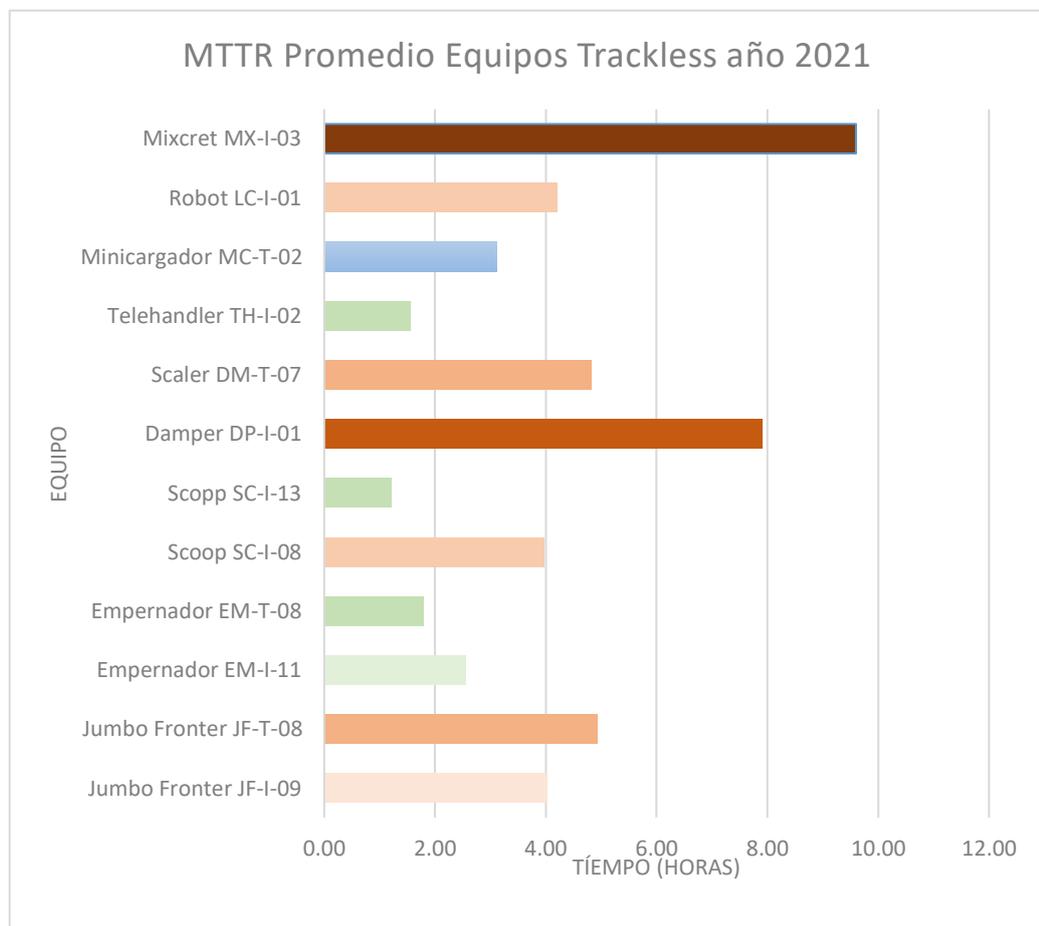
Duración del servicio interrupción	Criterio de severidad	Valor
> 8 h	muy catastrófica	8
7 h	Catastrófico	7
6 h	Muy serio	6
5 h	Grave	5
4 h	Medio	4
3 h	Significativo	3
2 h	Menor	2
1 h	muy menor	1
30 minutos	Pequeña	0.6
< 30 minutos	Muy pequeña	0.2

Nota: Índices de valoración de tiempo de servicios. Tomado de (Huarilloclla, 2023).

En la figura 23, se puede apreciar que el mixcret se cataloga como muy catastróficas las fallas al presentar un tiempo medio de reparación mayor a 8 horas. Luego se tiene el Dámper con un MTTR de 7.91 horas considerada como catastrófica; seguidamente se encuentran los equipos con severidad grave siendo el scaler y el jumbo frontero JF-T-08 y con severidad media, se tienen el scooptram y robot.

Figura 23

MTTR promedio de equipos trackless año 2021



Elaboración propia.

4.1.4. Disponibilidad Mecánica año 2021

En la tabla 7, se presenta la disponibilidad mecánica de los equipos trackless durante el año 2021.

Tabla 7

Disponibilidad mecánica de equipos trackless año 2021

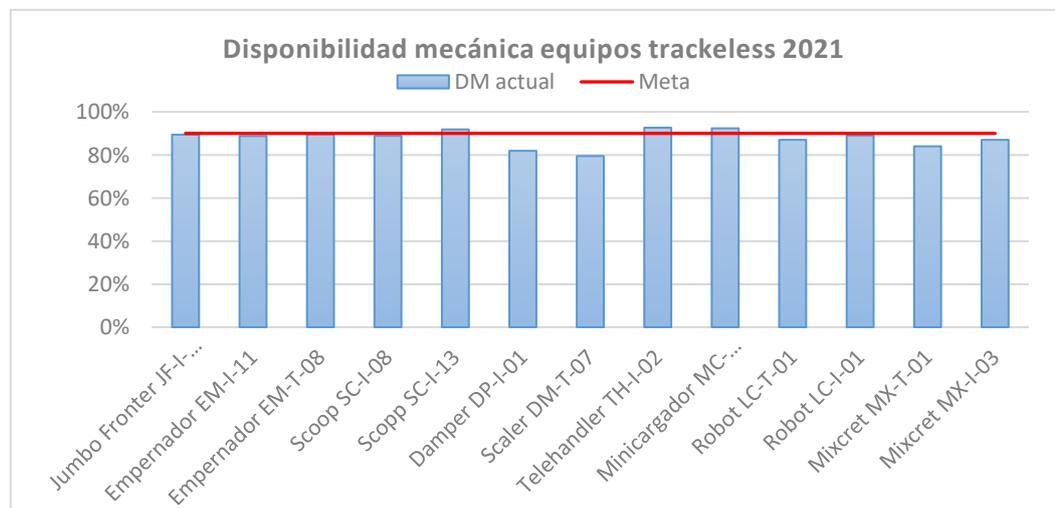
Flota	Equipos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Jumbos	JF-I-09	91%	90%	91%	90%	90%	91%	91%	90%	91%	79%	88%	90%	89%
	JF-T-08						93%	92%	90%	90%	91%	78%	87%	89%
Empernador	EM-I-11	91%	88%	91%	89%	88%	89%	91%	91%	87%	90%	84%	87%	89%
	EM-T-08						92%	90%	89%	88%	91%	88%	89%	90%
Scooptram	SC-I-08	91%	90%	90%	91%	89%	91%	84%	91%	90%	89%	90%	79%	89%
	SC-I-13						93%	93%	93%	91%	88%	92%	91%	92%
Dumper	DP-I-01										89%	72%	84%	82%
Scaler	DM-T-07										75%	81%	83%	79%
Telehandler	TH-I-02	93%	93%	92%	93%	92%	92%	93%	92%	92%	93%	93%	93%	93%
Minicargador	MC-T-02	89%	94%	94%	94%	92%	93%	93%	93%	93%	93%	90%	90%	92%
Robot	LC-I-01	84%	83%	88%	89%	91%	89%	89%	91%	91%	90%	89%	90%	89%
	LC-T-01						90%	87%	81%	80%	91%	88%	89%	87%
Mixcret	MX-I-03	83%	85%	90%	90%	91%	89%	91%	77%	88%	78%	89%	90%	87%
	MX-T-01						92%	90%	88%	83%	89%	58%	86%	84%

Elaboración propia.

El valor anual de la disponibilidad de cada equipo trackless, es representado en la figura 24, en la cual se compara gráficamente. Se puede apreciar que menos de la mitad de los equipos alcanzan la disponibilidad establecida como meta, encontrándose por debajo de 90%.

Figura 24

Disponibilidad mecánica de equipos trackless año 2021



Elaboración propia.



4.1.5. Confiabilidad año 2021

En la tabla 8, se presenta la confiabilidad de los equipos trackless durante el año 2021.

Tabla 8

Confiabilidad de equipos trackless año 2021

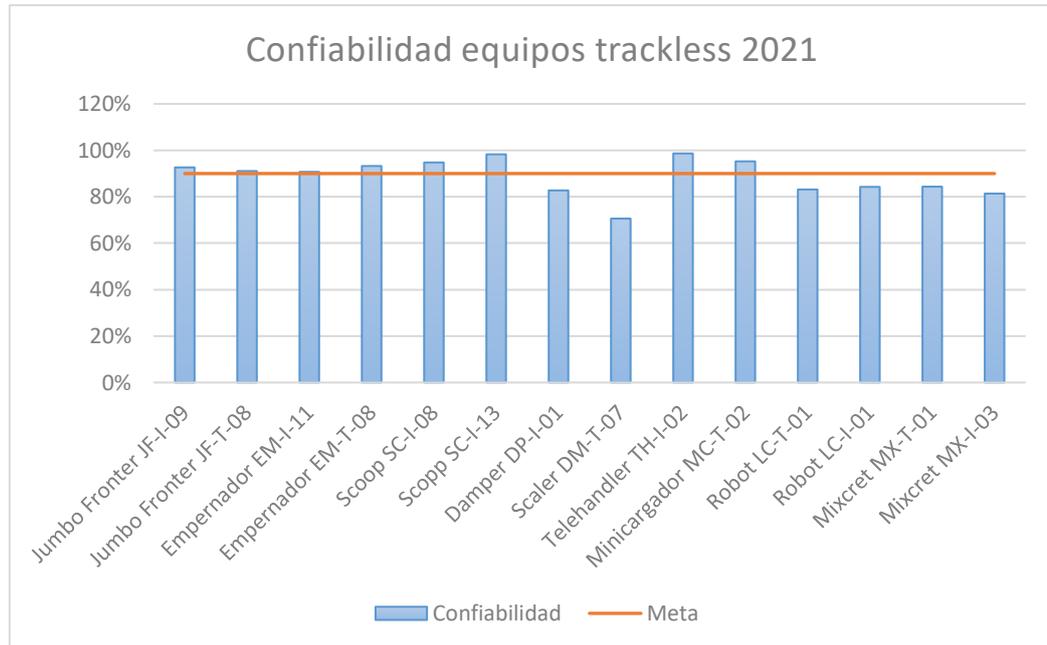
Flota	Equipos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	R(%)
Jumbos	JF-I-09	96%	91%	95%	95%	94%	96%	93%	94%	98%	74%	91%	96%	93%
	JF-T-08						93%	95%	91%	97%	96%	74%	93%	91%
Empernador	EM-I-11	95%	89%	90%	87%	89%	92%	94%	92%	92%	93%	84%	92%	91%
	EM-T-08						94%	93%	92%	93%	96%	90%	94%	93%
Scooptram	SC-I-08	97%	97%	95%	99%	95%	96%	89%	97%	97%	97%	97%	82%	95%
	SC-I-13						100%	100%	100%	98%	94%	100%	96%	98%
Dumper	DP-I-01										92%	68%	89%	83%
Scaler	DM-T-07										61%	71%	80%	71%
Telehandler	TH-I-02	97%	100%	94%	100%	99%	100%	98%	98%	98%	100%	100%	100%	99%
Minicargador	MC-T-02	88%	98%	90%	96%	94%	96%	98%	99%	99%	98%	93%	94%	95%
Robot	LC-I-01	64%	67%	85%	90%	90%	89%	86%	86%	84%	86%	86%	83%	83%
	LC-T-01						88%	87%	75%	75%	90%	86%	88%	84%
Mixcret	MX-I-03	65%	81%	91%	93%	92%	92%	98%	62%	85%	68%	91%	93%	84%
	MX-T-01						84%	95%	88%	78%	89%	49%	86%	81%

Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 8, el valor anual de la confiabilidad de cada equipo trackless, es representado en la figura 25, en la cual se compara gráficamente. Se puede apreciar que, del total de los 14 equipos, 6 no logran la confiabilidad esperada como meta, estos son los equipos mixcret, robot, scaler y dumper.

Figura 25

Confiabilidad de equipos trackless año 2021



Elaboración propia.

4.2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

4.2.1. Descripción general de las etapas del ciclo de minado

La empresa INCIMMET S.A., ejerce labores en la unidad minera Orcopampa ubicada en la provincia de Castilla, departamento de Arequipa. Las operaciones mineras están comprendidas en el ciclo de minado de la unidad, donde se pueden identificar los diferentes equipos trackless que intervienen según se describe a continuación:

- Etapa de perforación: equipos Jumbo Fronteros (taladros)
- Etapa de carguío de frentes y ventilación: se ubica el equipo telehandler.
- Etapa de limpieza de mineral: se ubican los equipos scooptram
- Etapas de transporte de mineral y mantenimientos de vías: se ubican los equipos Dumper y minicargador.
- Etapa de desate mecanizado de rocas: se tiene el equipo scaler.

- Etapa de sostenimiento: se tienen los equipos empernador, robot (lanzador de schocrete) y mixer (mezclador de schocrete).

En la figura 26 se muestra un diagrama gráfico de las etapas y equipos mencionados, para su mejor identificación en el contexto de estudio.

Figura 26

Ciclo de minado minera Orcopampa y equipos trackless involucrados



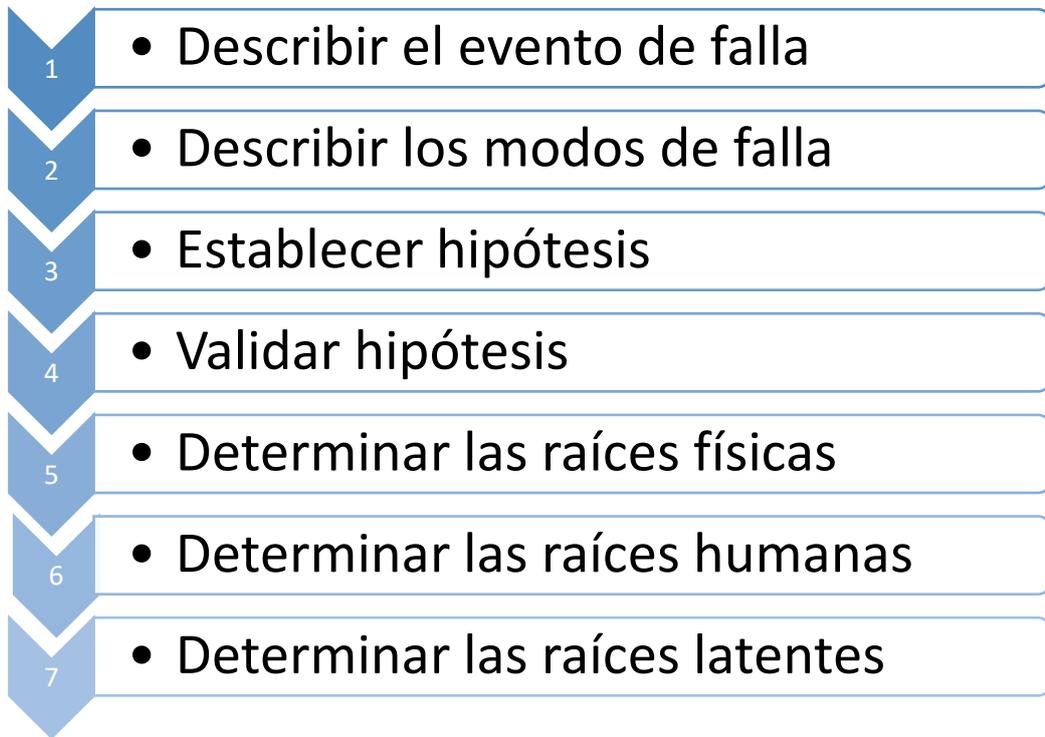
Elaboración propia

4.2.2. Desarrollo del método árbol de causas

El RCA se aplicó mediante la técnica del árbol de causas (CTM), la cual permite analizar y graficar sistemáticamente los eventos y condiciones que contribuyen a un evento foco; a partir de esta técnica, se construye un árbol lógico de causas, considerando las de naturaleza técnica, organizacional, humanas y ambientales. Las etapas generales que se emplearon, se describen en la figura 27.

Figura 27

Etapas de aplicación del CTM

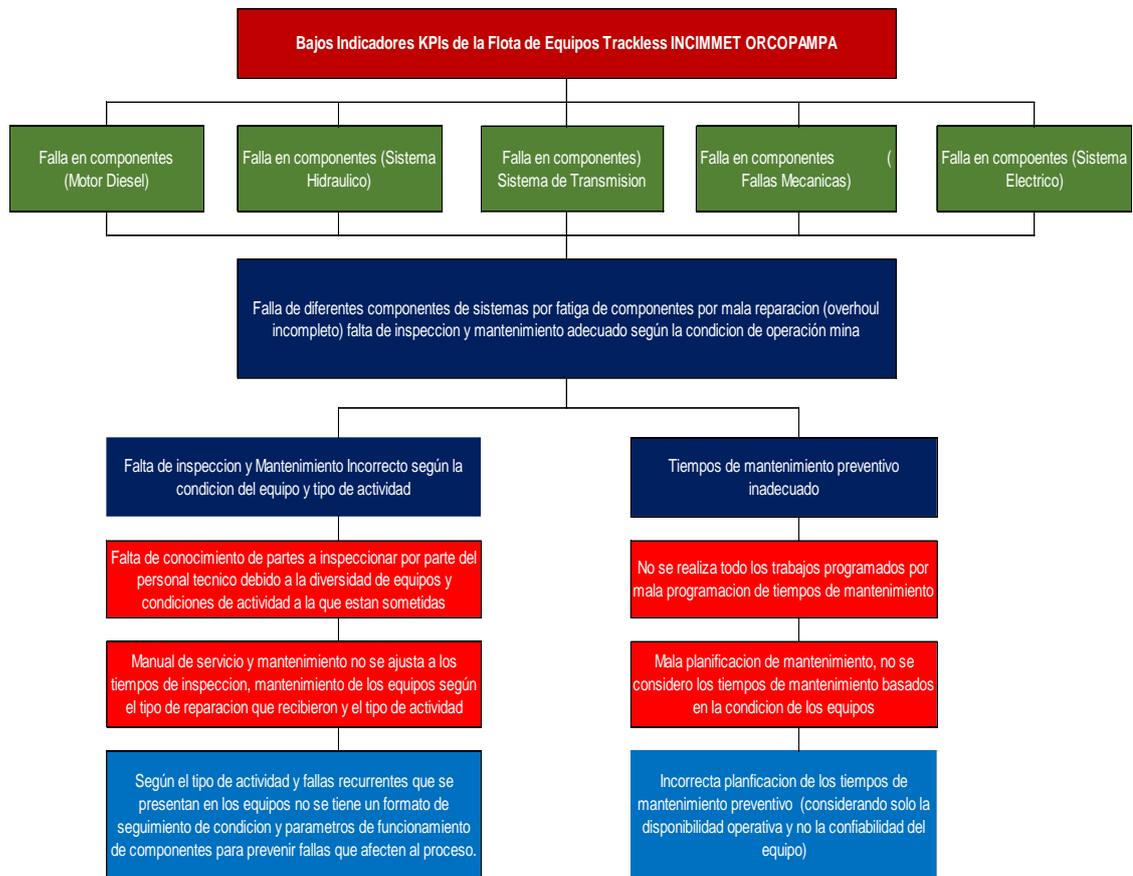


Elaboración propia.

Árbol lógico de causas de la Gestión de Mantenimiento. En la figura 28 se muestra el árbol lógico de causas de la gestión de mantenimiento en la minera, el cual inicia con problema principal: bajos indicadores claves de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A. en la unidad minera Orcopampa. Asociándose a los mecanismos de fallas previamente definidos: fallas en componentes de motor diésel, falla en sistemas y componentes hidráulicos, fallas en sistemas y componentes de transmisión, fallas mecánicas y fallas de componentes y sistemas eléctricos. A partir de las cuales se estableció la hipótesis principal, la cual plantea que la falla de componentes del sistema por fatiga de los mismos se atribuye a una inadecuada reparación, falta de inspecciones y mantenimiento inadecuado.

Figura 28

Árbol lógico de causas de la Gestión de Mantenimiento



Elaboración propia.

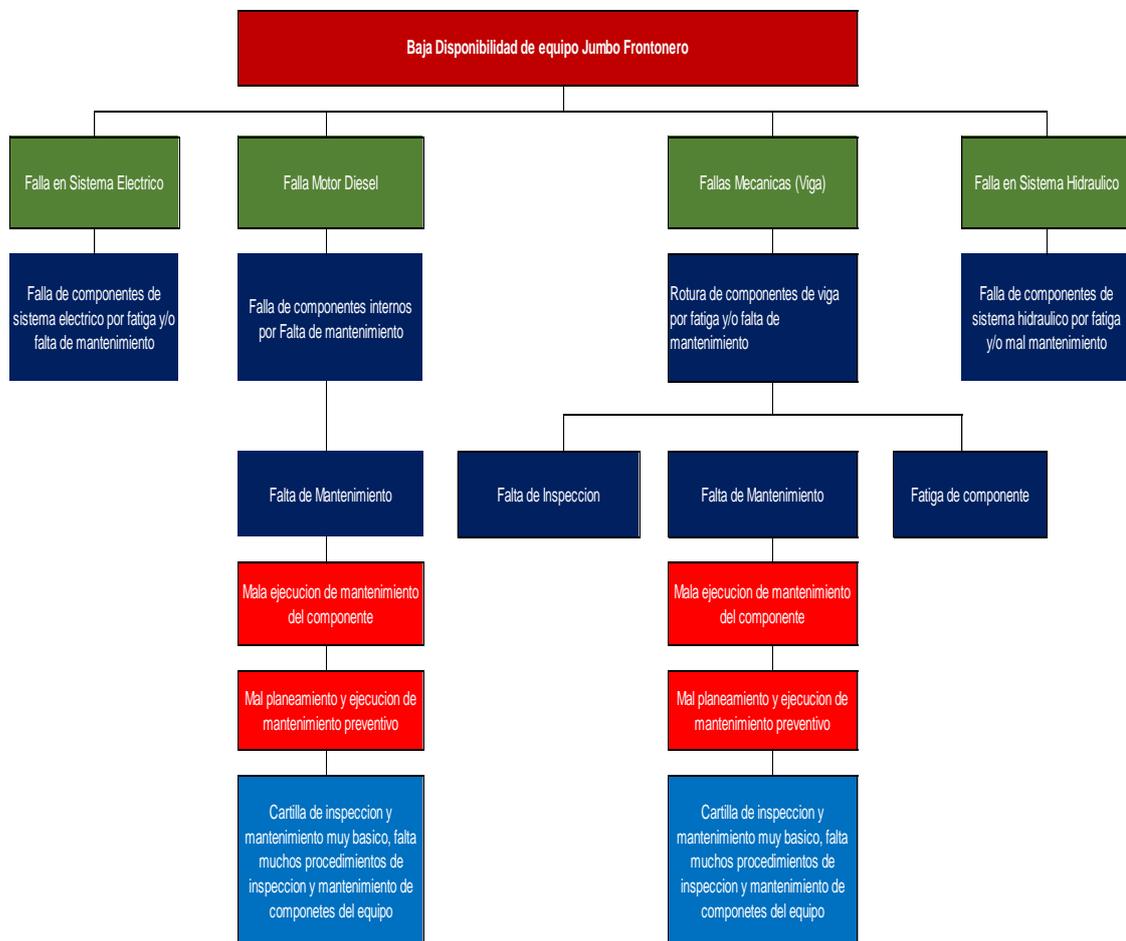
Árbol lógico de causas de los equipos trackless. Desde la figura 29 hasta la 37, se muestra el árbol lógico de causas para cada uno de los equipos, identificándose la causa principal, los mecanismos de fallas que presenta, la hipótesis planteada y las causas humanas, organizativas, técnicas, ambientales y latentes asociadas. A continuación, se identifica la causa principal de cada equipo según lo mostrado en dichas figuras, Como también la visualización de los equipos en el **(anexo 6)**.

- Jumbo Frontero: baja disponibilidad
- Jumbo Empernador: baja disponibilidad
- Scooptram: baja disponibilidad

- Dumper: baja confiabilidad y disponibilidad.
- Scaler: baja confiabilidad y disponibilidad.
- Telehandler: falla en componentes mayores (bajo MTBF)
- Minicargador: falla en componentes (bajo MTBF)
- Robot: baja confiabilidad y disponibilidad
- Mixcret: baja confiabilidad y disponibilidad

Figura 29

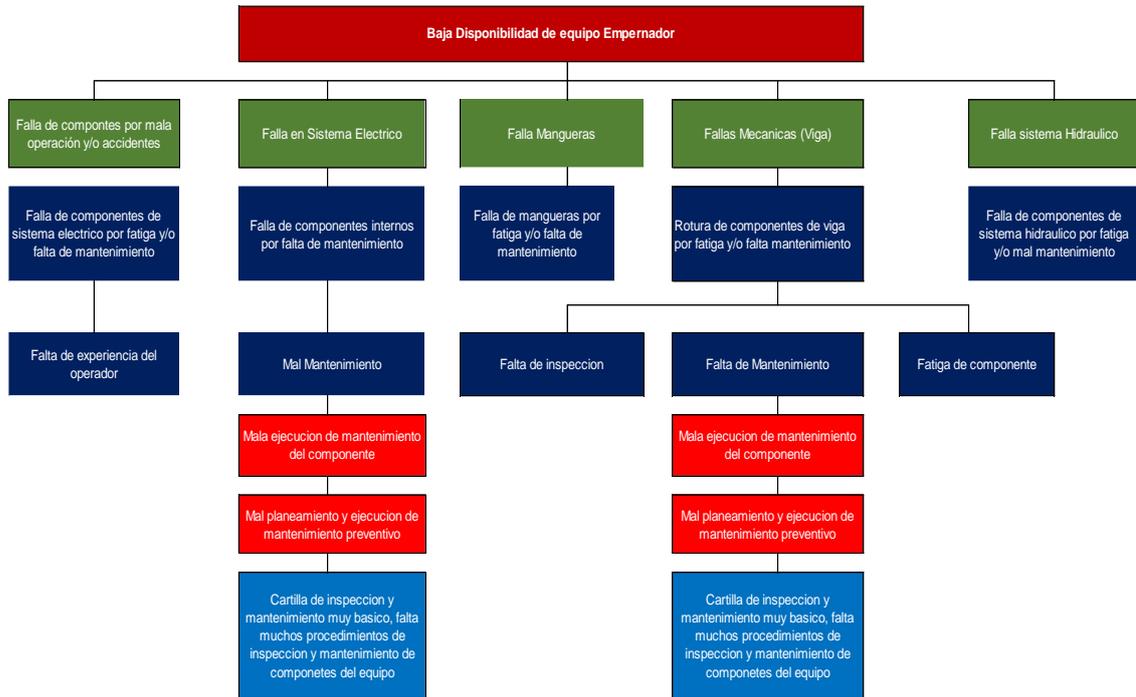
Árbol lógico de causas del equipo jumbo frontonero



Elaboración propia.

Figura 30

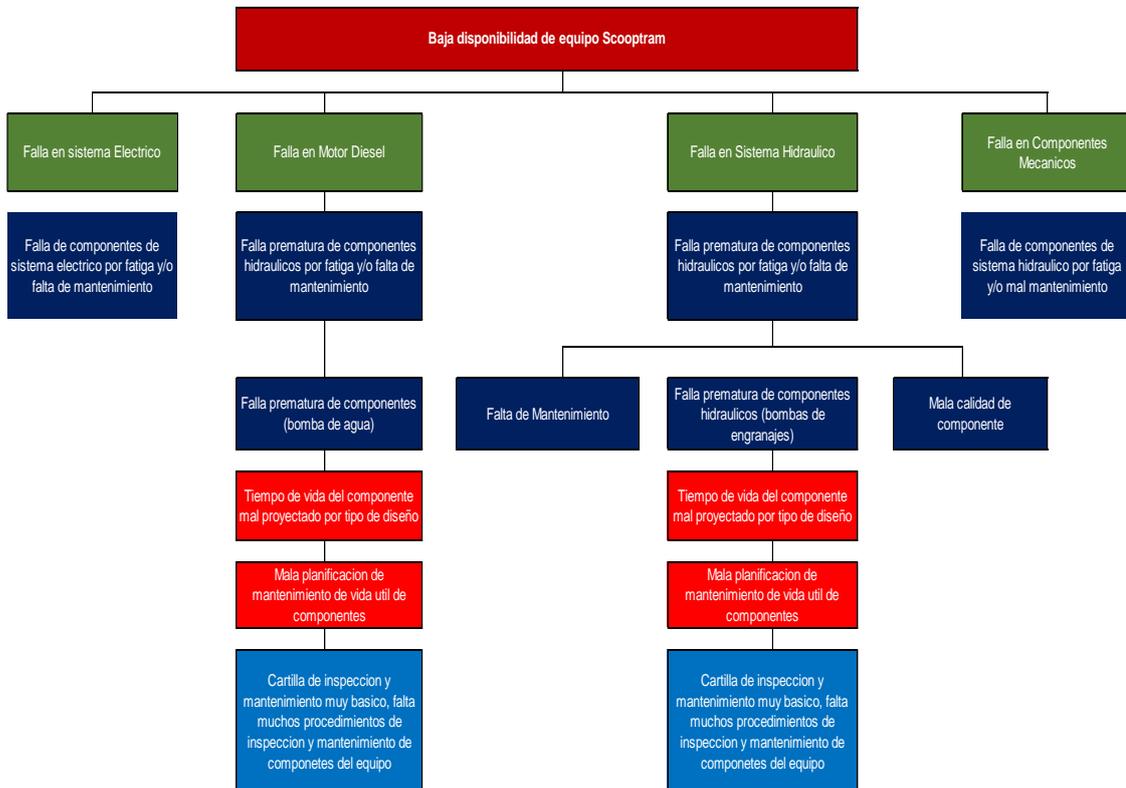
Árbol lógico de causas del equipo jumbo empernador



Elaboración propia.

Figura 31

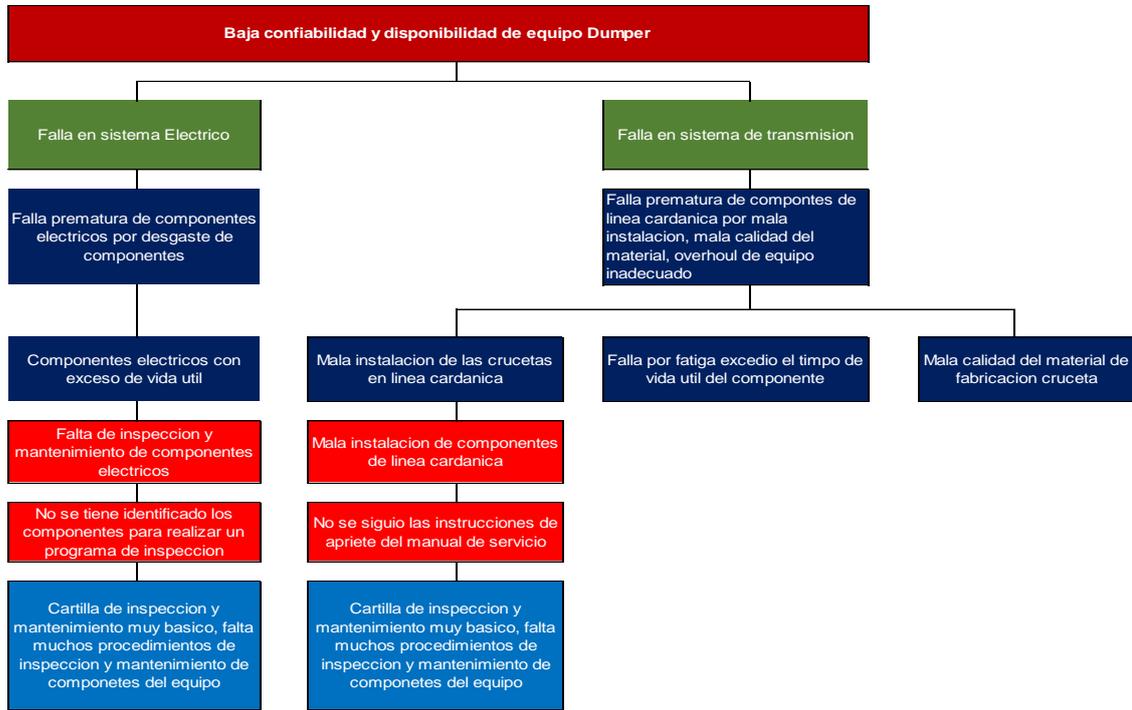
Árbol lógico de causas del equipo scooptram



Elaboración propia.

Figura 32

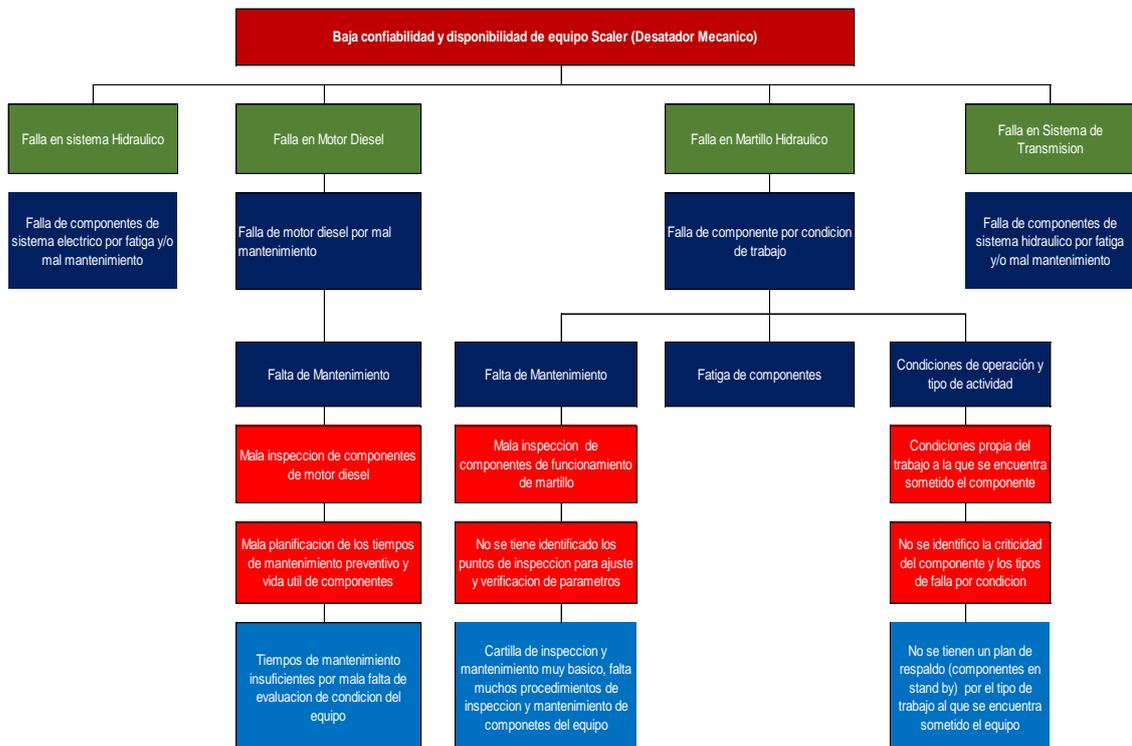
Árbol lógico de causas del equipo dumper



Elaboración propia.

Figura 33

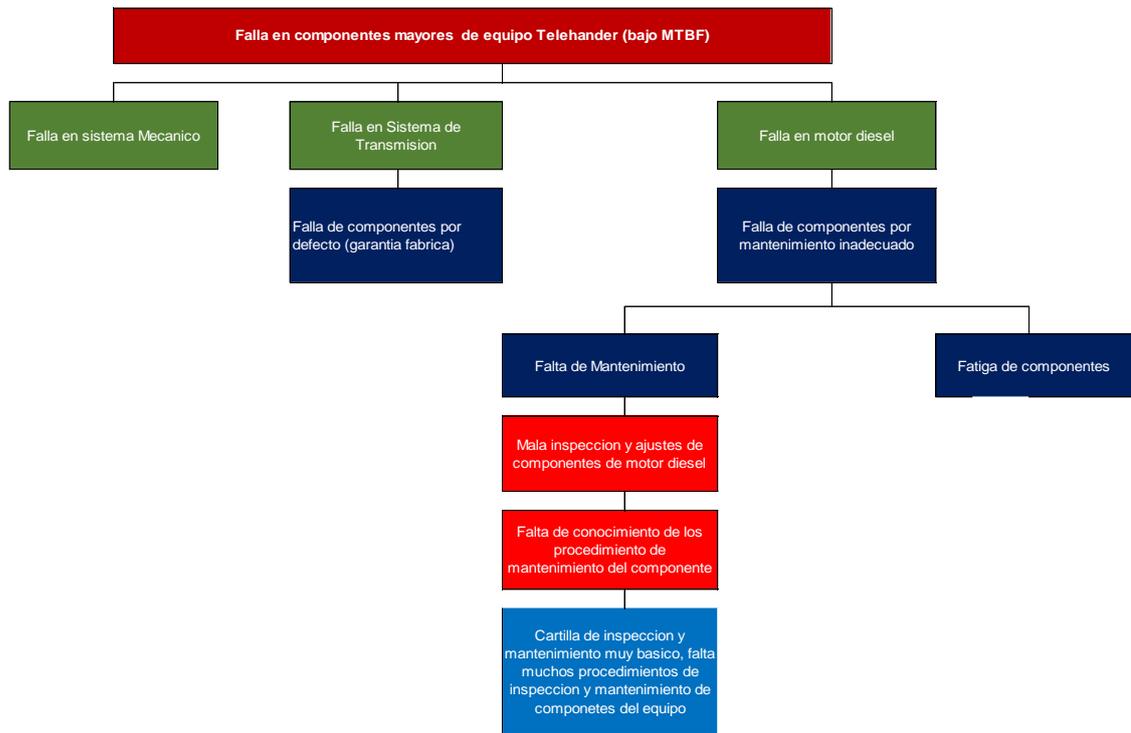
Árbol lógico de causas del equipo scaler



Elaboración propia.

Figura 34

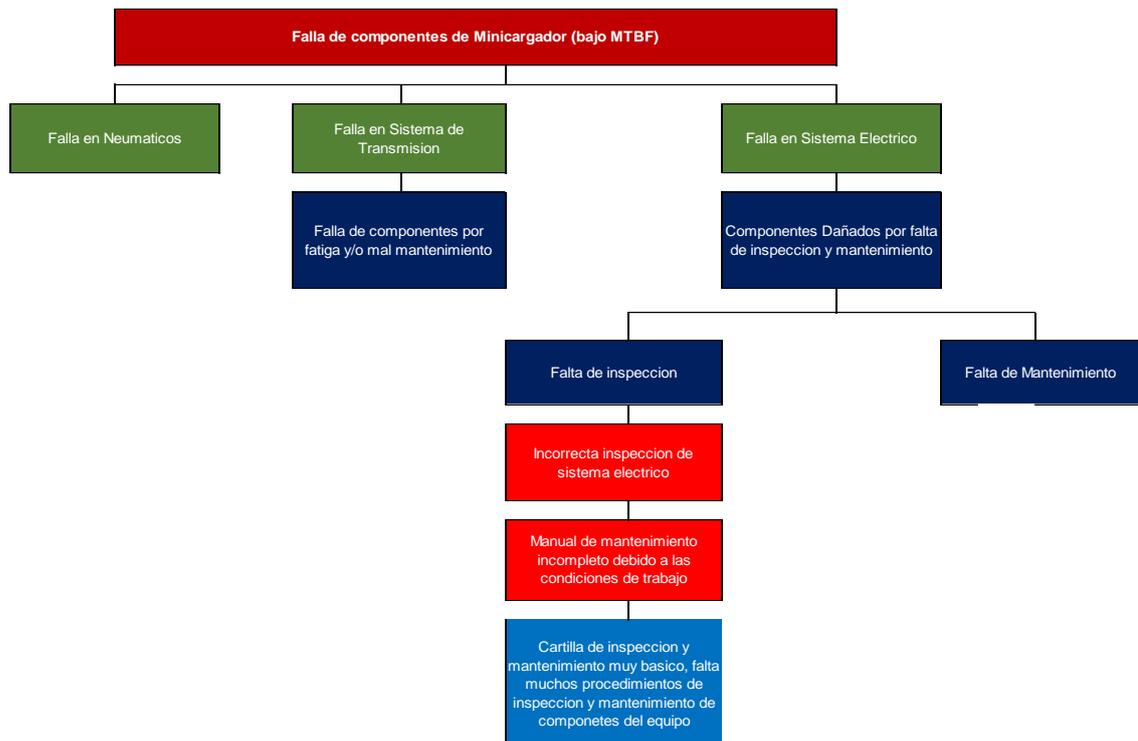
Árbol lógico de causas del equipo telehandler.



Elaboración propia.

Figura 35

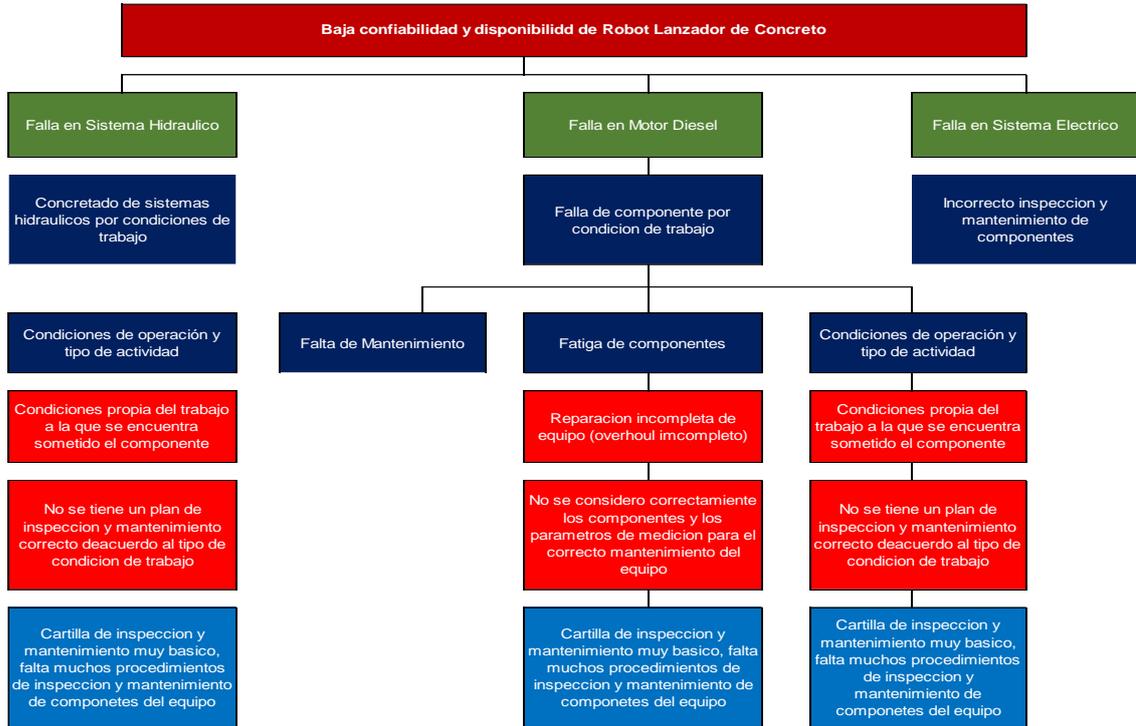
Árbol lógico de causas del equipo minicargador.



Elaboracion propia.

Figura 36

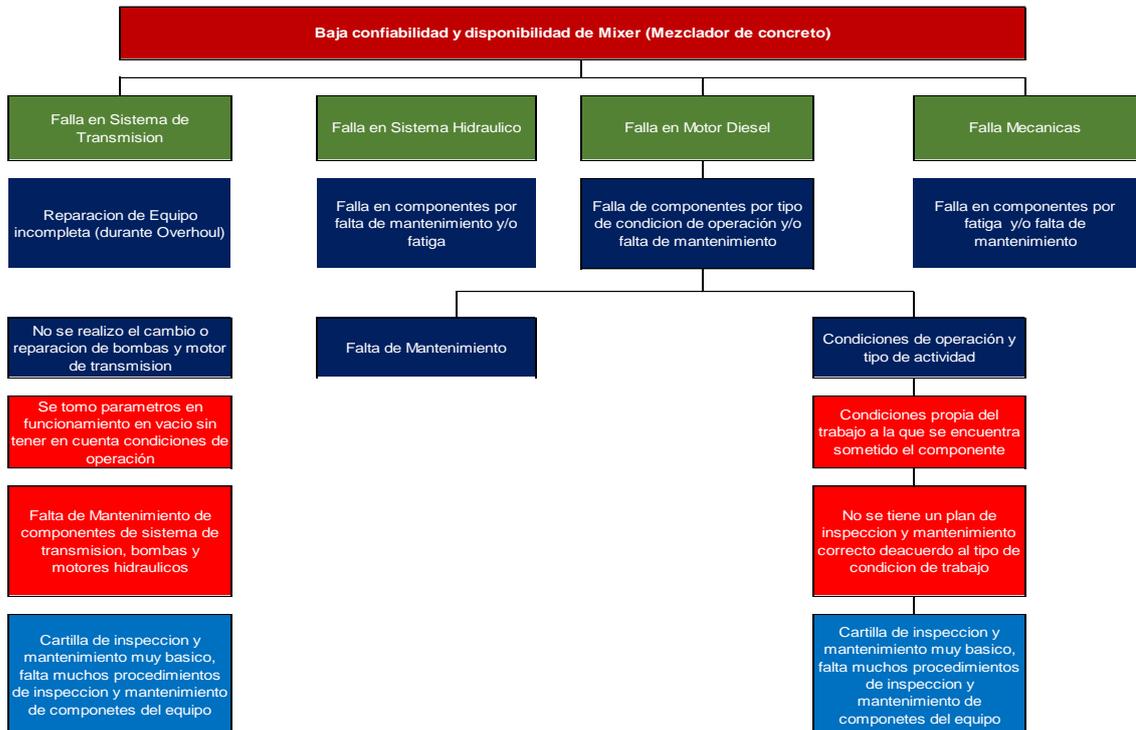
Árbol lógico de causas del equipo robot



Elaboración propia.

Figura 37

Árbol lógico de causas del equipo mixcret



elaboración propia

4.2.3. Resultado del Análisis de Causa Raíz

Las estrategias o acciones preventivas para cada uno de los equipos trackless estudiados, contemplan los siguientes elementos para cada uno de los mecanismos de fallas:

- Nombre – código del equipo.
- Problema.
- Causa raíz
- Tarea preventiva.
- Rutina.
- Parámetros.
- Pruebas a realizar.
- Tiempo de duración.
- Recursos a emplear.

En las siguientes tablas, desde la 9 hasta la 16 se presentan las estrategias basadas en el análisis causa raíz (RCA) implementadas para cada uno de los equipos.

Tabla 9

Estrategias RCA para el equipo Jumbo frontero

Jumbo frontero	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
SISTEMA DE TRANSMISIÓN							Minutos	
CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	15	Reloj Comparador
			Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	15	Reloj
SISTEMA DE MOTOR DIÉSEL							Minutos	



Jumbo frontero	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	15	Reloj
			Inspección de fuga de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5	
MOTOR DIESEL	Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T° 120 C	Medición de presión con manómetro	15	Compresímetro
			Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	>0.5 bar a T° 110 C	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.15 mm	Medición con Gauge de válvulas	75	Gauge
	Pérdida de potencia de motor	Exceso de operación.	revoluciones del motor diésel en vacío.	500 horas.	min 1190 rpm max 2210 rpm	Medición en tacómetro	15	Tacómetro
			velocidad máxima	500 horas.	min 18 km/h max 20 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
			velocidad limitada	500 horas.	min 4 km/h max 6 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
SISTEMA HIDRÁULICO							Minutos	
BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS		
			Presión de bomba hidráulica brazo	1000 horas.	210 bar +/- 10	Medición de punto de toma de presión con manómetro.	10	Manómetro
			Presión de posicionamiento de brazo	1000 horas.	200 bar +/- 10		10	
			Presión de reserva bomba principal de brazo	1000 horas.	18 bar +/- 10		10	
SISTEMA DE FRENOS							Minutos	
FRENO DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 4.5 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/Calibrador de laines.	20	Gauge
SISTEMA ELÉCTRICO							Minutos	
ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones	Verificación visual	5	
			Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	10	Multitester
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	Densímetro
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
			Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	10	Multitester
SISTEMA DE DIRECCIÓN							Minutos	



Jumbo frontero	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
PINES Y BOCINAS	Desgaste en articulaciones	Falta de engrase	Medición del juego entre las partes móviles, articulación central, cilindros de dirección	500 horas.	<2 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj comparador
SISTEMA DE VIGA Y BRAZO							Minutos	
BRAZO DE PERFORACIÓN	Desgaste en pines y bocinas	Falta de engrase	Medir el juego de pines y bocinas	500 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
CABLES DE AVANCE Y RETORNO	Rotura de los cables acerados	sobre esfuerzo por atascamiento de barra de perforación	Inspeccionar rotura de hilos acerados de los cables acerados.	250 horas.	Presencia de torones desprendidos	Verificación visual.	5	
TUBO TELESCÓPICO	Baquelitas de regulación	Falta de engrase	Medir el juego en telescópico	250 horas.	<5 mm	Medición con el reloj comparador.	15	Reloj
BOOM	Rotulas	Falta de engrase	Medir el juego de rotulas	250 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
VIGA	Placas deslizantes	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de placas	250 horas.	<5 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge
	Postizos	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de lana inoxidable	250 horas.	<1 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge
	Centralizadores	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste interno de centralizador	250 horas.	<5 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
UNIDAD DE ROTACIÓN	Motor 240°	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Evaluar juego y fuga interna	250 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
	Motor 360°	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Evaluar juego y fuga interna	250 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
CILINDROS HIDRÁULICOS	Cilindro de avance de perforadora	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de Extensión	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de Basculación	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindros de divergencia	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de 3 vías	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de avance de viga	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
PINES, RÓTULAS Y BOCINAS	Desgaste en articulaciones	Falta de engrase	Medición del juego entre las partes móviles, articulación central, cilindros de dirección	500 horas.	<2 mm	Medición con el reloj comparador.	20	Reloj
SISTEMA DE PERFORACIÓN							Minutos	

Jumbo frontero	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
PERFORADOR A HLX5	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Desgaste de componentes internos	Medir el desgaste de componentes principales	500 horas	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
		Presiones de perforación	RPM del barreno de la perforadora	125 horas.	190 RPM	Medición de RPM con tacómetro	5	Tacómetro
			Presión de avance en baja de la perforadora	125 horas.	45 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión de avance en alta de la perforadora	125 horas.	90 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión de máximo de avance de la perforadora	125 horas.	125 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión piloto de retorno de la perforadora	125 horas.	30 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Lubricación por pulsaciones de la perforadora	125 horas.	40 gotas / min	Medición con contador de gotas	5	Cronómetro
			Presión de emboquillado de la perforadora	125 horas.	90 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión de percusión en alta para perforadora	125 horas.	175 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión anti atascos de perforadora	125 horas.	90 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
			Presión de nitrógeno del acumulador de alta	65 horas	50 bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			Presión de nitrógeno del acumulador de baja	65 horas	3 a 5 bar	Medición de presión con manómetro	8	Manómetro

Elaboración propia.

Tabla 10

Estrategias RCA para el equipo jumbo empernador EM-I-11

Empernador EM-I-11	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
SISTEMA DE TRANSMISIÓN							Minutos	
CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	15	Reloj
			Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	15	Reloj
SISTEMA DE MOTOR DIESEL							Minutos	



Empernador EM-I-11	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	15	Reloj
			Inspección de resumen de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5	
MOTOR DIESEL	Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T 120° C	Medición de presión con manómetro	15	Compresímetro
			Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	>0.5 bar a T 110°C	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.15 mm	Medición con Gauge de válvulas	75	Gauge
	Pérdida de potencia de motor	Exceso de operación.	revoluciones del motor diésel en vacío.	500 horas.	min 1190 rpm max 2210 rpm	Medición en tacómetro	15	Tacómetro
			velocidad máxima	500 horas.	min 18 km/h max 20 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
			velocidad limitada	500 horas.	min 4 km/h max 6 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
SISTEMA HIDRÁULICO						Minutos		
BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS		
			Presión de bomba hidráulica brazo	1000 horas.	210 bar +/- 5	Medición de punto de toma de presión con manómetro.	10	Manómetro
			Presión de posicionamiento de brazo	1000 horas.	200 bar +/- 5		10	
			Presión de reserva bomba principal de brazo	1000 horas.	18 bar +/- 5		10	
SISTEMA DE FRENSOS						Minutos		
FRENO DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 4.5 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/calibrador de laines.	20	Gauge
SISTEMA ELÉCTRICO							Minutos	
ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones.	Verificación visual	5	
			Inspección del armés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	10	Multitester
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier



Empernador EM-I-11	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
			Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	10	Multitester
SISTEMA DE DIRECCIÓN						Minutos		
PINES Y BOCINAS	Desgaste en articulaciones	Falta de engrase	Medición del juego entre las partes móviles, articulación central, cilindros de dirección	500 horas.	<2 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
SISTEMA VIGA Y BRAZO							Minutos	
BRAZO DE PERFORACIÓN	Desgaste en pines y bocinas	Falta de engrase	Medir el juego de pines y bocinas	500 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
TUBO TELESCÓPICO	Baquelitas de regulación	Falta de engrase	Medir el juego en telescópico	250 horas.	<4 mm	Medición con el reloj comparador.	15	Reloj
BOOM	Rotulas	Falta de engrase	Medir el juego de rotulas	250 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
VIGA	Placas deslizantes	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de placas	250 horas.	<5 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge
	Postizos	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de lana inox	250 horas.	<1 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge
	Centralizadores	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste interno de centralizador	250 horas.	<4 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
UNIDAD DE ROTACIÓN	Unidad 360°	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Evaluar juego y fuga interna, externa	250 horas.	<3 mm	Visual y Medición con el reloj comparador. Prueba de estanqueidad, prueba de válvulas de contrabalance	20	Reloj
MOTORES HIDRÁULICOS	Motor de avance de perforadora	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Revisar resumen / toma de presión	250 / 1000 horas.	120 bar	Inspección visual y medición manómetro	10	Manómetro
CILINDROS HIDRÁULICOS	Motor de avance de perforadora empernado	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Revisar resumen / toma de presión	250 / 1000 horas.	120 bar	Inspección visual y medición manómetro	10	
	Cilindro de pivote	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de extensión telescópico	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	



Empernador EM-I-11	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
	Cilindro de Levante	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de brazo C	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
	Cilindro de gatas	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado	10	
SISTEMA DE PERFORACIÓN							Minutos	
PERFORADORA HC-50	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Desgaste de componentes internos	Medir el desgaste de componentes principales	500 horas	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
PERFORADORA HC50 Sist. Perforación	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Presiones de percusión	PRESIÓN DE PERCUSIÓN BAJA (EMBOQUIL LADO)	65 horas	90 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN DE PERCUSIÓN ALTA	65 horas	115 - 130 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN DE AVANCE BAJA (EMBOQUIL LADO)	65 horas	40 - 55 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN DE AVANCE ALTA	65 horas	60 - 100 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN ROTACIÓN	65 horas	35 - 60 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			* RPM DE ROTACIÓN (Broca de D = 38mm y D = 41mm)	65 horas	(216 - 324 rpm)	Medición de RPM con tacómetro	10	Tacómetro
			PRESIÓN DE BARRIDO DE AGUA	65 horas	12 - 20 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN EN PERFORADORA PERFORACIÓN	65 horas	3 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
PERFORADORA HC28 (Sist. Empernado)	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Presiones de empinado	SISTEMA DE EMPERNADO (válvula reductora de presión)	65 horas	130 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			CILINDRO INYECTOR (válvula reductora de presión)	65 horas	45 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro

Empernador EM-I-11	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
			EXTENSIÓN DE LA CLAVIJA DE GOMA (válvula reductora de presión)	65 horas	40 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN ROTACIÓN	65 horas	25 - 35 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM)	65 horas	100 - 120 rpm	Medición de RPM con tacómetro	10	Tacómetro
			PRESIÓN PERCUSIÓN	65 horas	40 - 90 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN AVANCE	65 horas	50 - 70 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE PERFORADORA EMPERNADO	65 horas	3 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
			PRESIÓN LADO CILINDRO INYECTOR DE CEMENTO	65 horas	45 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro

Elaboración propia.

Tabla 11

Estrategias RCA para el equipo Jumbo emperrador EM-T-08

Emperrador EM-T-08	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
SISTEMA TRANSMISIÓN	CARDÁN	Desgaste de crucetas Bolter 88	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	15	Reloj
				Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	15	Reloj
SISTEMA DE MOTOR DIESEL	TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	15	Reloj
				Inspección de resumen de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5	
	MOTOR DIESEL	Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T° 120 C	Medición de presión con manómetro	15	Compresímetro
				Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	>0.5 bar a T° 110 C	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro



Emprenador EM-T-08		Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
		Pérdida de potencia de motor	Exceso de operación.	Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.15 mm	Medición con Gauge de válvulas	75	Gauge
				revoluciones del motor diésel en vacío.	500 horas.	min 1190 rpm max 2210 rpm	Medición en tacómetro	15	Tacómetro
				velocidad máxima	500 horas.	min 18 km/h max 20 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
				velocidad limitada	500 horas.	min 4 km/h max 6 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio límite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS		
				Presión de bomba hidráulica brazo	1000 horas.	210 bar +/- 5	Medición de punto de toma de presión con manómetro.	10	Manómetro
				Presión de posicionamiento de brazo	1000 horas.	200 bar +/- 5		10	
				Presión de reserva bomba principal de brazo	1000 horas.	18 bar +/- 5		10	
SISTEMA FRENO	FRENO DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 4.5 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/Calibrador de lánas.	20	Gauge
SISTEMA DIRECCIÓN	ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	10	Multítester
				Inspección de los carbonos del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
				Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	
				Inspección de los carbonos del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
				Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	10	Multítester
SISTEMA DIRECCIÓN	PINES Y BOCINAS	Desgaste en articulaciones	Falta de engrase	Medición del juego entre las partes móviles, articulación central, cilindros de dirección	500 horas.	<2 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
VIGA Y BRAZO	BRAZO DE PERFORACIÓN	Desgaste en pines y bocinas	Falta de engrase	Medir el juego de pines y bocinas	500 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
	TUBO TELESCÓPICO	Baquelitas de regulación	Falta de engrase	Medir el juego en telescópico	250 horas.	<4 mm	Medición con el reloj comparador.	15	Reloj
	BOOM	Rotulas	Falta de engrase	Medir el juego de rotulas	250 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
	VIGA	Placas deslizantes	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de placas	250 horas.	<5 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge



Empernador EM-T-08		Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recursos
		Postizos	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste de lana inox	250 horas.	<1 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	20	vernier/gauge
		Centralizadores	Presencia de detritos, Falta de limpieza	revisar desgaste interno de centralizador	250 horas.	<4 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
	UNIDAD DE ROTACIÓN	Unidad 360°	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Evaluar juego y fuga interna, externa	250 horas.	<3 mm	Visual y Medición con el reloj comparador. Prueba de estanqueidad, prueba de válvulas de contrabalanc e	20	Reloj
	MOTOR HIDRÁULICO	Motor de avance de perforadora	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Revisar resumen / toma de presión	250 / 1000 horas.	120 bar	Inspección visual y medición manómetro	10	Manómetro
	CILINDROS HIDRÁULICOS	Motor de avance de perforadora empinado	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Revisar resumen / toma de presión	250 / 1000 horas.	120 bar	Inspección visual y medición manómetro		
		Cilindro de pivote	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado		
		Cilindro de extensión telescópico	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado		
		Cilindro de Levante	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado		
		Cilindro de brazo C	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado		
		Cilindro de gatas	Resumen De aceite y Fuga interna	Revisar resumen / prueba estanqueidad.	250 / 1000 horas.	Estanqueidad	Prueba de estanqueidad con tapón adecuado		
SISTEMA DE PERFORACIÓN	PERFORADORA HC-50	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Desgaste de componentes internos	Medir el desgaste de componentes principales	500 horas	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	30	Reloj
	PERFORADORA HC50 Sist. Perforación	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Presiones de percusión	PRESIÓN DE PERCUSIÓN BAJA (EMBOQUILLADO)	65 horas	90 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
				PRESIÓN DE PERCUSIÓN ALTA	65 horas	115 - 130 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
				PRESIÓN DE AVANCE BAJA (EMBOQUILLADO)	65 horas	40 - 55 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
				PRESIÓN DE AVANCE ALTA	65 horas	60 - 100 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
				PRESIÓN DE ROTACIÓN	65 horas	35 - 60 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro
				* RPM DE ROTACIÓN (Broca de D = 38mm y D = 41mm)	65 horas	(216 - 324 rpm)	Medición de RPM con tacómetro	10	Tacómetro

Empernador EM-T-08		Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
PERFORADORA HC28 (Sist. Empernado)	Deficiencias en perforación, roturas de shank y coupling	Presiones de empernado	PRESIÓN DE BARRIDO DE AGUA	65 horas	12 – 20 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN EN PERFORADOR A PERFORACIÓN	65 horas	3 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			SISTEMA DE EMPERNADO (válvula reductora de presión)	65 horas	130 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			CILINDRO INYECTOR (válvula reductora de presión)	65 horas	45 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			EXTENSIÓN DE LA CLAVIJA DE GOMA (válvula reductora de presión)	65 horas	40 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			PRESIÓN ROTACIÓN	65 horas	25 - 35 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			VELOCIDAD DE ROTACIÓN (RPM)	65 horas	100 - 120 rpm	Medición de RPM con tacómetro	10	Tacómetro	
			PRESIÓN PERCUSIÓN	65 horas	40 -90 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			PRESIÓN AVANCE	65 horas	50 - 70 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
			PRESIÓN DEL AIRE DE LUBRICACIÓN DE PERFORADOR A EMPERNADO	65 horas	3 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
PRESIÓN LADO CILINDRO INYECTOR DE CEMENTO	65 horas	45 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro				

Elaboración propia.

Tabla 12

Estrategias RCA para el equipo Scooptram

Scooptram LH307	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
SISTEMA DE TRANSMISIÓN							Minutos	
EJE POSTERIOR	Desgaste Prematuro del Diferencial	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre dientes del (backlag) entre piñón de ataque y corona.	1000 horas.	min 0.25 mm a max 0.5 mm	Medición del juego del eje que sale del piñón de ataque. Con un reloj comparador.	15	Reloj comparador
EJE DELANTERO	Desgaste Prematuro del Diferencial	Distancia de las labores del equipo,	Medición del juego entre dientes del (backlag) entre piñón de	1000 horas.	min 0.25 mm a max 0.5 mm		15	



Scooptram LH307	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
		mal estado de las vías.	ataque y corona.					
EJE CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.5 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	15	
			Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.5 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	15	
HIDRÁULICO	Baja presión del sistema	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Fordwrad 1° 2° 3° 4°	1000 horas.	16.5 – 21.4 bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			Reversa 1° 2° 3° 4°	1000 horas.	16.5 – 21.4 bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			CAÍDA DE PRESIÓN 1° 2° 3° 4°	1000 horas.	0.3 - 0.7 bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			TIEMPO DE CAÍDA DE PRESIÓN 1° 2° 3° 4°	1000 horas.	Menor a 2 Segundos	Medición con cronómetro	5	Cronómetro
			T DE ENTRADA AL ENFRIADOR	1000 horas.	80 – 100 °C	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro
			DELTA DE TEMPERATURA DEL ENFRIADOR	1000 horas.	10 – 20 °C	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro
			T MANDOS FINALES 1° 2° 3° 4°	1000 horas.	40 - 60 °C	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro
			T° EN EL DIFERENCIAL	1000 horas.	46 - 48 °C	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro
SISTEMA DE MOTOR DIÉSEL							Minutos	
TURBO COMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 1.2 mm	Medición con reloj comparador	10	Reloj
MOTOR DIESEL			Inspección de fuga de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	3	
			PRESIÓN DE ACEITE (BAR)	1000 horas.	2.3 a 4.9 bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			PRESIÓN DE TURBO	1000 horas.	0 a 0.6 Bar	Medición de presión con manómetro	7	Manómetro
			T° ACEITE	1000 horas.	95 a 105 °C	Medición de temperatura con pirómetro	2	Pirómetro
			T° REFRIGERANTE	1000 horas.	75 a 85 °C	Medición de temperatura con pirómetro	2	Pirómetro
			Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.35 mm (0.013 pulg)	Medición con Gauge de válvulas	90	Gauge
			Rpm Sin carga en vacío 700 a 2,200 rpm	500 horas.	3 segundos	Medición con cronómetro	5	Cronómetro
Rpm Sin carga Stall en 4° 700 a 2,000 rpm	500 horas.	5.5 Segundos	Medición con cronómetro	5	Cronómetro			



Scooptram LH307	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
SISTEMA HIDRÁULICO							Minutos	
BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS	5	
			Presión limitadora principal del grupo de cilindros	1000 horas.	min 48 bar max 52 bar	Medición con un manómetro	5	Manómetro digital 0 - 600 bar
			presión circuito de dirección delantera.	1000 horas.	min 170 bar max 180 bar	Medición con un manómetro	5	
			presión acumuladores en cabina	1000 horas.	min 45 bar max 55 bar	Medición con un manómetro	5	
			PILOTAJE SISTEMA HIDRÁULICO	1000 horas.	35 ± 10 bar	Medición con un manómetro	5	
			TRABAJO DEL SISTEMA LEVANTE Y VOLTEO	1000 horas.	280 bar	Medición con un manómetro	5	
			TRABAJO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN	1000 horas.	210 bar	Medición con un manómetro	5	
			VÁLVULA DE ALIVIO SISTEMA DIRECCIÓN	1000 horas.	260 bar	Medición con un manómetro	5	
			INICIO Y CORTE DE CARGA DE FRENO POSTERIOR	1000 horas.	145 – 190 ± 5 bar	Medición con un manómetro	5	
			PRECARGA ACUMULADOR	1000 horas.	90 ± 5 bar	Medición con un manómetro	5	
			PRECARGA ACUMULADOR DE PILOTAJE	1000 horas.	15 bar	Medición con un manómetro	5	
			FRENO DELANTERO	1000 horas.	0 – 110 bar	Medición con un manómetro	5	
			FRENO POSTERIOR	1000 horas.	0 – 110 bar	Medición con un manómetro	5	
			PEDAL DE FRENO	1000 horas.	0 – 110 bar	Medición con un manómetro	5	
			VÁLVULA REDUCTORA	1000 horas.	200 bar	Medición con un manómetro	5	
			MOTOR HIDRÁULICO (DIESEL) MÍN. RPM	1000 horas.	45 bar	Medición con un manómetro	5	
			MOTOR HIDRÁULICO (DIESEL) MÁX. RPM	1000 horas.	110 bar	Medición con un manómetro	5	
			MOTOR HIDRÁULICO (DIESEL) MÁX. RPM (SIN BOBINA)	1000 horas.	177 bar	Medición con un manómetro	5	

Scooptram LH307	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
FRENO DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 5.2 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/calibrador de linaas.	7	Gauge
SISTEMA ELÉCTRICO							Minutos	
ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones.	Verificación visual	5	
			Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	10	Multitester
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 15 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 15 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
			Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	Prueba con el multímetro	10	Multitester

Elaboración propia

Tabla 13

Estrategias RCA para el equipo Dumper.

Dumper TH320	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	EJE POSTERIOR	Desgaste Prematuro del Diferencial	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre dientes del (backlag) entre piñón de ataque y corona.	1000 horas.	min 0.25 mm a max 0.5 mm	Medición del juego del eje que sale del piñón de ataque. Con un reloj comparador.	15	Reloj comparador
	EJE DELANTERO	Desgaste Prematuro del Diferencial	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre dientes del (backlag) entre piñón de ataque y corona.	1000 horas.	min 0.25 mm a max 0.5 mm		15	
	EJE CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.5 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	10	
				Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.5 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	10	
	HIDRÁULICO	Baja presión del sistema	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Presión lubricación transmisión bajas rpm (A)	1000 horas.	22 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Presión salida del convertidor bajas rpm (B)	1000 horas.	60±5 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Presión entrada al convertidor altas r.p.m. (C) P3	1000 horas.	142 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro



Dumper TH320	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso		
			Presión inicial embrague velocidad bajas rpm (D) P1 quitar el tapo G	1000 horas.	80±5 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
			Presión embrague de velocidad en bajas rpm (D) P1	1000 horas.	370 +/- 20 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
			Presión de la bomba en bajas r.p.m. (E)	1000 horas.	310 a 390 +/- 17 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
			Presión de embrague de dirección bajas rpm (F) P2	1000 horas.	(-55 ± 8 de la presión P1 (D).	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
			Presión piloto del embrague de traba (Medición RV)	1000 horas.	250+/- 15 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
			Drenaje de embrague de traba (Medición C) US gpm	1000 horas.	Máximo 3.8 L/Min.	Medición con caudalímetro	5	Caudalímetro		
			Máxima presión del embrague de traba LU activar el solenoide directo	1000 horas.	245+/- 10 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro		
SISTEMA DE MOTOR DIESEL	TURBO COMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 1.2 mm	Medición con reloj comparador	10	Reloj	
	MOTOR DIESEL			Inspección de fuga de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5		
				R.p.m. del motor alta en vacío.	1000 horas.	2362±60r.p.m.	Medición de RPM con tacómetro	5	Tacómetro	
				R.p.m. del motor baja en vacío	1000 horas.	700±10 r.p.m.	Medición de RPM con tacómetro	5		
				R.p.m. del motor con convertidor calado.	1000 horas.	2000 +/- 100 r.p.m.	Medición de RPM con tacómetro	5		
				R.p.m. del motor calado con doble convertidor-stoll hidráulico	1000 horas.	1400 +/- 100 r.p.m	Medición de RPM con tacómetro	5		
				Presión de aceite lubricante en alta r.p.m.	1000 horas.	48 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro digital de 0 - 600 bar	
				Presión de aceite lubricante en baja r.p.m.	1000 horas.	22 psi	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión del combustible en baja rpm	1000 horas.	65 psi	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión del combustible en altas rpm	1000 horas.	113 psi	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión de bomba de agua en baja r.p.m	1000 horas.	15 psi	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión de bomba de agua en alta r.p.m	1000 horas.	18 psi	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión del turbo compresor	1000 horas.	19 PHG-29phg	Medición de presión con manómetro	5		
				Temperatura entrada refrigerante al motor	1000 horas.	80°C	Medición de temperatura con pirómetro	3		Pirómetro



Dumper TH320	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
			Temperatura salida refrigerante del motor	1000 horas.	85°C	Medición de temperatura con pirómetro	3		
			Temperatura del lubricante	1000 horas.	Max. 110°C	Medición de temperatura con pirómetro	3		
			Temperatura de escape	1000 horas.	Max. 590°C	Medición de temperatura con pirómetro	3		
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS	5	Manómetro
				Presión de la válvula de alivio Principal (2)	1000 horas.	2900+/- 50 psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Extremo de la cabeza del cilindro de inclinación	1000 horas.	1650±10psi	Medición de presión con manómetro	5	
				cabeza del cilindro de inclinación	1000 horas.	3200±10psi	Medición de presión con manómetro	5	
				presión piloto	1000 horas.	310±10psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Válvula principal de alivio	1000 horas.	2730±50 psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Válvula de alivio en línea	1000 horas.	3030±25 psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Tiempo de ciclo	1000 horas.	Lado a lado 3.2+/- 0.3 segundos	Medición con cronómetro	5	
SISTEMA DE FRENOS	FRENO DE SERVICIO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 5.2 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/calibrador de lanas.	10	Gauge
				Válvula de control de freno delantero	1000 horas.	800±50 psi	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Válvula de control de freno posterior	1000 horas.	800±50 psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Acumulador (cut in)	1000 horas.	1650+1750 psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Acumulador (cut out)	1000 horas.	2050±2150psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión de Freno de freno de servicio	1000 horas.	800±50psi	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión de Freno de parqueo	1000 horas.	500±10psi	Medición de presión con manómetro	5	
SISTEMA ELÉCTRICO	ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones.	Verificación visual	3	Multímetro
				Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfatación o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	3	

Dumper TH320	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 15 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	Densímetro
			Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 15 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
			Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	5	Multímetro

Elaboración propia.

Tabla 14

Estrategias RCA para el equipo Scaler.

Scaler paus	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	10	Reloj
				Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	10	
	HIDRÁULICO	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de componentes	Presión de carga de la Bomba de Transmisión	1000 horas.	30+/- 2 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				temperatura de transmisión	1000 horas.	80° +/- 5°	Medición de temperatura con pirómetro	5	
				Presión máxima marcha adelante	1000 horas.	420° +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5	
				presión máxima marcha retroceso	1000 horas.	420° +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5	
	SISTEMA DE MOTOR DIESEL	TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	10
Inspección de resumen de aceite					500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5	
MOTOR DIESEL		Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T° 120 C	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	>0.5 bar a T° 110 C	Medición de presión con manómetro	5	
				Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.15 mm	Medición con Gauge de válvulas	75	
	Desgaste de componentes de motor		R.p.m. del motor alta en vacío.	1000 horas.	2400+/- 50 rpm.	Medición de RPM con tacómetro	5	Tacómetro	

Scaler paus	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
			R.p.m. del motor baja en vacío	1000 horas.	850 +/- 50 rpm.	Medición de RPM con tacómetro	5		
			Temperatura del combustible	1000 horas.	45 °C	Medición de temperatura con pirómetro	5	Pirómetro	
			Temperatura del refrigerante	1000 horas.	82°C - 97°C	Medición de temperatura con pirómetro	5		
			Temperatura de escape	1000 horas.	200 °C	Medición de temperatura con pirómetro	5		
			R.p.m. del motor con S. Hidráulico calado.	1000 horas.	(RPM MAX) - 50 RPM	Medición de RPM con tacómetro	5	Tacómetro	
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS	5	
				Presión de bomba hidráulica brazo	1000 horas.	210 bar +/- 5	Medición de punto de toma de presión con manómetro.	5	Manómetro digital de 0 - 600 bar
				Presión de posicionamiento de brazo	1000 horas.	200 bar +/- 5		5	
		Presión de reserva bomba principal de brazo	1000 horas.	18 bar +/- 5	5				
		Desgaste prematuro por falta de pericia	Presión Basculación Arriba	1000 horas.	120 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión basculación Abajo	1000 horas.	120 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión extensión del telescópico Extensión	1000 horas.	120 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión extensión del telescópico Retorno	1000 horas.	140 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión levante Brazo	1000 horas.	150 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión bajada de Brazo	1000 horas.	150 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión giro de tornamesa Derecha	1000 horas.	120 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión giro de tornamesa Izquierda	1000 horas.	120 +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión pala Arriba Y Abajo	1000 horas.	180 +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión LS de implementos	1000 horas.	15 +/- 3 bar	Medición de presión con manómetro	5		
			Presión sistema válvula principal de alivio	1000 horas.	180 +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5		
presión de percusión vacío	1000 horas.		55 +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5				

Scaler paus	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
			temperatura de percusión	1000 horas.	80° +/- 5°	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro	
SISTEMA DE FRENOS	FRENO DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx. 4.5 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/Calibrador de lanas.	10	Gauge
				Presión freno de estacionamiento	1000 horas.	30+/- 2 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Presión de carga acumulador de freno de servicio.	1000 horas.	160+/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión shut in de carga de acumulador.	1000 horas.	120+/- 5bar	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión shut out de carga de acumulador.	1000 horas.	145+/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión freno de servicio delantero	1000 horas.	40/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5	
				Presión freno de servicio posterior	1000 horas.	40/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5	
SISTEMA ELÉCTRICO	ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones.	Verificación visual	5	
				Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	5	Multímetro
				Inspección de los carbonos del bobinado.	1000 horas.	máx. 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
	ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	Densímetro
				Inspección de los carbonos del bobinado.	1000 horas.	máx. 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier
				Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	5	Multímetro
SISTEMA DIRECCIÓN	PINES Y BOCINAS	Desgaste en articulaciones	Falta de engrase	Medición del juego entre las partes móviles, articulación central, cilindros de dirección	500 horas.	<2 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj
	HIDRÁULICO	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por falta de pericia	Presión de LS	1000 horas.	10 +/- 3 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Presión de la Válvula Línea Giro a la Derecha.	1000 horas.	180 +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5	
Presión de la Válvula Línea Giro a la Izquierda.	1000 horas.	180 +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5					
BRAZO TELESCÓPICO	BRAZO DE PERFORACIÓN	Desgaste en pines y bocinas	Falta de engrase	Medir el juego de pines y bocinas	500 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	5	Reloj

Scaler paus	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso
TUBO TELESCÓPICO	Baquelitas de regulación	Falta de engrase	Medir el juego en telescópico	250 horas.	<4 mm	Medición con el reloj comparador.	5	

Elaboración propia.

Tabla 15

Estrategias RCA para el equipo Robot

Robot Alpha 20	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso		
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	EJE DELANTERO	Desgaste Prematuro Rótulas de dirección	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre terminales y Rótula.	1000 horas.	Evaluación visual	Medición del juego axial-aro interior del eje del muñón con la referencia de una herramienta de patrón.	10	Reloj comparador	
	EJE POSTERIOR	Desgaste Prematuro Rótulas de dirección	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre terminales y Rótula.	1000 horas.	Evaluación visual		10		
	CARDÁN	Desgaste de crucetas	Exceso de operación	Medición del juego entre los ejes de la cruceta y los balines de los dados.	500 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y las crucetas con un reloj comparador.	10		
				Medición del juego entre los dientes del estriado del jugo del cardán.	1000 horas.	min 0.5 mm a max 1.2 mm	Medición del juego del eje de cardán y tubo del yugo. Con el reloj comparador.	10		
	HIDRÁULICO	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de componentes	Presión de carga de la Bomba de Transmisión	1000 horas.	30+/- 2 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro	
				temperatura de transmisión	1000 horas.	80° +/- 5°	Medición de temperatura con pirómetro	3	Pirómetro	
				Presión máxima marcha adelante	1000 horas.	420° +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro	
				presión máxima marcha retroceso	1000 horas.	420° +/- 20 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro	
	SISTEMA DE MOTOR DIESEL	TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	10	Reloj
					Inspección de resumen de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5	
MOTOR DIESEL		Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T° 120 C	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro	
				Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	>0.5 bar a T° 110 C	Medición de presión con manómetro	5		
				Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.15 mm	Medición con Gauge de válvulas	75	Gauge	
				R.p.m. del motor alta en vacío.	1000 horas.	2400+/- 50 rpm.	Medición de RPM con tacómetro	5	Tacómetro	
	Desgaste de componentes de motor									



Robot Alpha 20	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
			R.p.m. del motor baja en vacío	1000 horas.	850 +/- 50 rpm.	Medición de RPM con tacómetro	5		
			Temperatura del combustible	1000 horas.	45 °C	Medición de temperatura con pirómetro	5	Pirómetro	
			Temperatura del refrigerante	1000 horas.	82°C - 97°C	Medición de temperatura con pirómetro	5		
			Temperatura de escape	1000 horas.	200 °C	Medición de temperatura con pirómetro	5		
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS	5	
	BOMBA DE HORMIGÓN	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Revoluciones bomba	1000 horas.	l/min 1.500	Medición con caudalímetro	15	Caudalímetro
				Presión de cambio del tubo S	1000 horas.	bar 220	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Rendimiento teórico (máx.)	1000 horas.	m3/h 20	Medición con caudalímetro	10	Caudalímetro
				Presión máxima sobre el hormigón	1000 horas.	bar 65	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
				Cilindros de transporte Ø	1000 horas.	mm 150	Medición con vernier	10	Vernier
				Dimensiones cilindros hidráulicos (carrera teórica)	1000 horas.	mm 700	Medición con vernier	10	Vernier
				Revoluciones	1000 horas.	rpm 1500 1800	Medición de RPM con tacómetro	10	Tacómetro
				Revoluciones Agitador (OMR 315)	1000 horas.	L/min 43	Medición con caudalímetro	10	Caudalímetro
	Presión Agitador	1000 horas.	bar 190	Medición con caudalímetro	10	Caudalímetro			
	SISTEMA HIDRÁULICO	Desgaste de partes internas	Contaminación	Bomba hidráulica principal A10V71DFLR	1000 horas.	106,5 L/min	Medición con caudalímetro	10	Caudalímetro
				Filtro de aspiración (micras)	1000 horas.	10 micras	Visual	5	
				Presión máxima hidráulica	1000 horas.	220 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro
BOMBA DE ADITIVO	Desgaste de partes internas	Contaminación	Campo de regulación máx.	1000 horas.	60—500 L/hr	Medición con caudalímetro	5	Caudalímetro	
			Presión máxima trabajo/ rotura	1000 horas.	10,5 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro	
SISTEMA DE FRENOS	FRENOS DE SERVICIO FRENO DE PARQUEO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 4.5 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/Calibrador de lánas.	15	Gauge
				Presión freno de estacionamiento	1000 horas.	30+/- 2 bar	Medición de presión con manómetro	5	Manómetro

Robot Alpha 20		Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
				Presión de carga acumulador de freno de servicio.	1000 horas.	160+/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión shut in de carga de acumulador.	1000 horas.	120+/- 5bar	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión shut out de carga de acumulador.	1000 horas.	145+/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión freno de servicio delantero	1000 horas.	40/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5		
				Presión freno de servicio posterior	1000 horas.	40/- 5 bar	Medición de presión con manómetro	5		
SISTEMA ELÉCTRICO	ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	roturas de diente y deformaciones	Verificación visual	5		
				Inspección del armés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	5		Multímetro
				Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10		Vernier
	ALTERNADO	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	Densímetro	
				Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier	
				Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	5	Multímetro	
BRAZO TELESCÓPICO	BRAZO DE MOVIMIENTO	Desgaste en pines y bocinas	Falta de engrase	Medir el juego de pines y bocinas	500 horas.	<3 mm	Medición con el reloj comparador.	10	Reloj	
	TUBO TELESCÓPICO	Baquelitas de regulación	Falta de engrase	Medir el juego en telescópico	250 horas.	<4 mm	Medición con el reloj comparador.	10		
	VIGA	Placas deslizantes/r odillos	Presencia de detritos, Falta de limpieza	Revisar desgaste de placas	250 horas.	<5 mm	Verificación visual. Medir con el vernier	10	Vernier	

Elaboración propia.

Tabla 16

Estrategias RCA para el equipo Mixcret

Mixcret	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	EJE POSTERIOR	Desgaste Prematuro Rótulas de dirección	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre terminales y Rótula.	1000 horas.	Evaluación visual	Medición del juego axial-aro interior del eje del muñón con la referencia de una herramienta de patrón.	15	Reloj Comparador
	EJE DELANTERO	Desgaste Prematuro Rótulas de dirección	Distancia de las labores del equipo, mal estado de las vías.	Medición del juego entre terminales y Rótula.	1000 horas.	Evaluación visual		15	

Mixcret	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso		
BOMBA DE TRASLACIÓN	Recalentamiento y pérdida de fuerza	Traslado de tramos largos	Presión de carga de la bomba transmisión.	1000 horas.	20 bar +/- 2 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro digital 0 -600 bar		
			Presión de alta bomba traslación.	1000 horas.	410 bar +/- 10 bar	Medición de presión con manómetro	10			
			Temperatura de transmisión	1000 horas.	80 °c +/- 5 °c	Medición de temperatura con pirómetro	5	Pirómetro		
SISTEMA DE MOTOR DIESEL	TURBOCOMPRESOR	Falla por desgaste prematuro	Exceso de operación, abuso de operación.	Medición del juego radial	500 horas.	min 0.1 mm a max 0.5 mm	Medición con reloj comparador	15	Reloj	
				Inspección de fuga de aceite	500 horas.	Está húmedo o no.	Verificación visual	5		
	MOTOR	Desgaste interno de anillos	Exceso de operación.	Medición de compresión de cilindros	1000 horas.	>16 bar a T° 120 C	Medición de presión con manómetro	15	Compresímetro	
				Medición de presión de aceite de motor	1000 horas.	min 3.5 bar max 4.5 bar	Medición de presión con manómetro	10	Manómetro	
				Luz de válvulas admisión y escape	1000 horas.	0.35 mm (0.013 pulgadas)	Medición con Gauge de válvulas	75	Gauge	
	Pérdida de potencia de motor	Exceso de operación.	revoluciones del motor diésel en vacío.	500 horas.	min 1190 rpm max 2210 rpm	Medición en tacómetro	15	Tacómetro		
			velocidad máxima	500 horas.	min 18 km/h max 20 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro		
			velocidad Mínima	500 horas.	min 4 km/h max 6 km/h	Medición en traslado con el equipo	20	cronómetro		
	SISTEMA CUBA - MEZCLADOR	CAJA REDUCTORA	Desgaste prematuro de partes internas	Material pegado en el interior de la cuba	Medición del juego entre dientes del piñón de ataque de la caja reductora	1000 horas.	min 0.25 mm a max 0.33 mm	Medición del juego del eje que sale del piñón de ataque. Con un reloj comparador.	15	Reloj
					RPM a máxima velocidad en vacío a ambos lados	1000 horas.	min 21 rpm max 27 rpm	Medición con un Tacómetro	15	Tacómetro
CUBA MEZCLADORA		Desgaste prematuro de la cinta.	Material pegado en el interior de la cuba	Medición del espesor de la cinta de rodadura de la cuba.	500 horas.	máx 10 mm desgaste	Medición con calibrador o vernier	15	Vernier	
SISTEMA HIDRÁULICO	BOMBA HIDRÁULICA	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro de la bomba	Análisis de aceite	1000 horas.	Laboratorio limite ppm	Datos de prueba de laboratorio SOS			
				Presión del sistema	1000 horas.	180 bar +/- 20 bar	Medición con un manómetro	10	Manómetro	
				presión circuito de dirección	1000 horas.	181 bar +/- 20 bar	Medición con un manómetro	10	Manómetro	
				presión acumuladores (frenos)	1000 horas.	150 bar	Medición con un manómetro	10	Manómetro	

Mixcret	Problema	Causa	Tarea preventiva	Rutina	Parámetros	Prueba a realizar	Tiempo	Recurso	
SISTEMA FRENO	FRENO DE SERVICIO	Desgaste de discos de frenos (4 MFs)	Exceso de uso en pendientes y frenado brusco	Medición de desgaste de discos de freno	1000 horas.	máx 5.2 mm desgaste	Medición con una herramienta de patrón de desgaste/Calibrador de lanas.	20	Gauge
SISTEMA ELÉCTRICO	ARRANCADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Estado de los dientes del bendix	1000 horas.	Roturas de diente y deformaciones.	Verificación visual	5	
				Inspección del arnés eléctrico	1000 horas.	Sulfataciones o conexiones deterioradas.	Verificación visual, prueba de continuidad.	10	Multitester
				Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
	ALTERNADOR	Desgaste de partes internas	Desgaste prematuro por humedad, recalentamiento	Inspección de baterías	500 horas.	Indicador en verde con densímetro	verificar de forma visual con el densímetro	5	
				Inspección de los carbones del bobinado.	1000 horas.	máx 50% 10 mm desgaste	Verificación visual. Medir con el vernier	10	vernier
				Prueba del relé de carga	500 horas.	Carga con voltaje de 28V	prueba con el multímetro	10	Multitester

Elaboración propia.

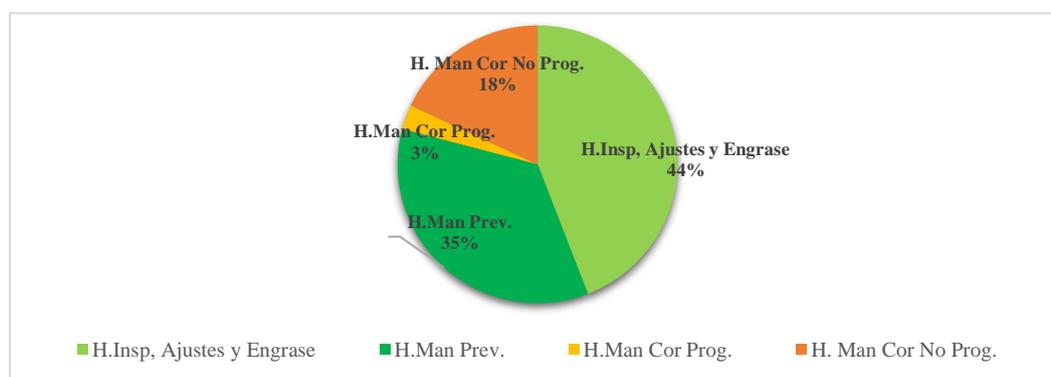
4.3. RESULTADOS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO AÑO 2022 (POST - TEST)

4.3.1. Mantenimientos Efectuados año 2022

En el gráfico de la figura 38 se representan la proporción de actividades de mantenimientos realizadas durante el año 2022.

Figura 38

Gestión de mantenimientos equipos trackless año 2022



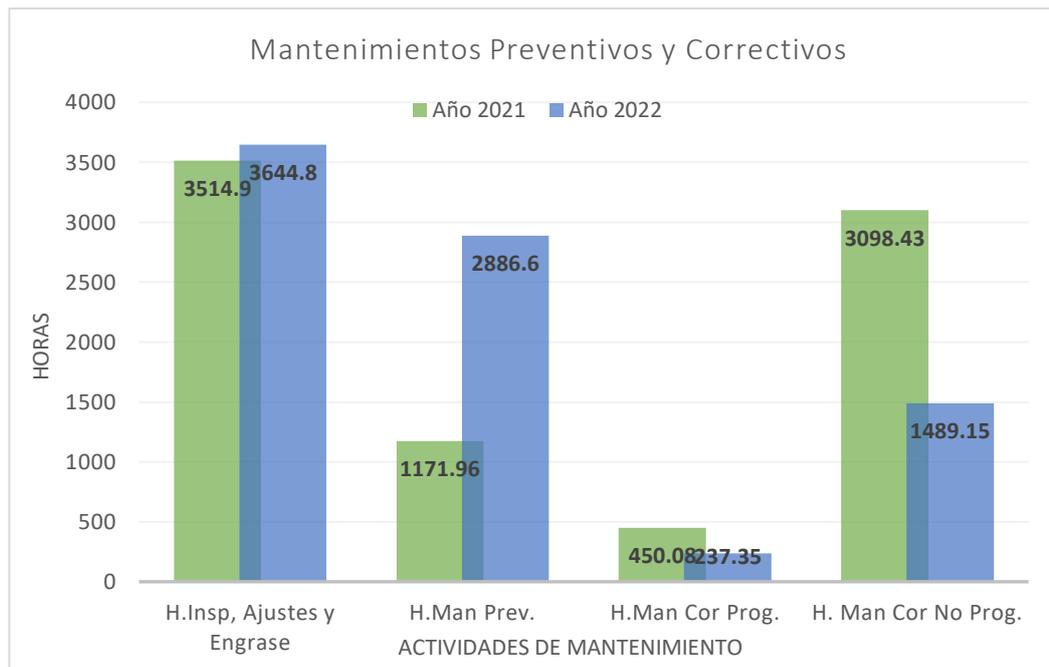
Elaboración propia

De la figura 38 se puede observar que del total de actividades preventivas suman el 79% en contraste con las correctivas que suman 21%, esto denota una mejor relación de la gestión de mantenimiento, ya que los mantenimientos correctivos no programados han disminuido, lo cual es positivo para los equipos, por ende, para la empresa.

Lo anterior, se puede apreciar en la figura 39, donde se compara los resultados de la gestión de mantenimiento del año 2022 contra los del año 2021. En cuanto a las horas por inspecciones, lubricación y ajustes, en el año 2022 se realizaron 129 horas más que en 2021. Respecto a los mantenimientos preventivos, se invirtieron 1714.64 horas más que en el año 2021, por su parte, los mantenimientos correctivos programados disminuyeron en 212.65 horas, mientras que los no programados redujeron en 1609.28 horas.

Figura 39

Comparación de la gestión de mantenimientos equipos trackless año 2022 vs 2021



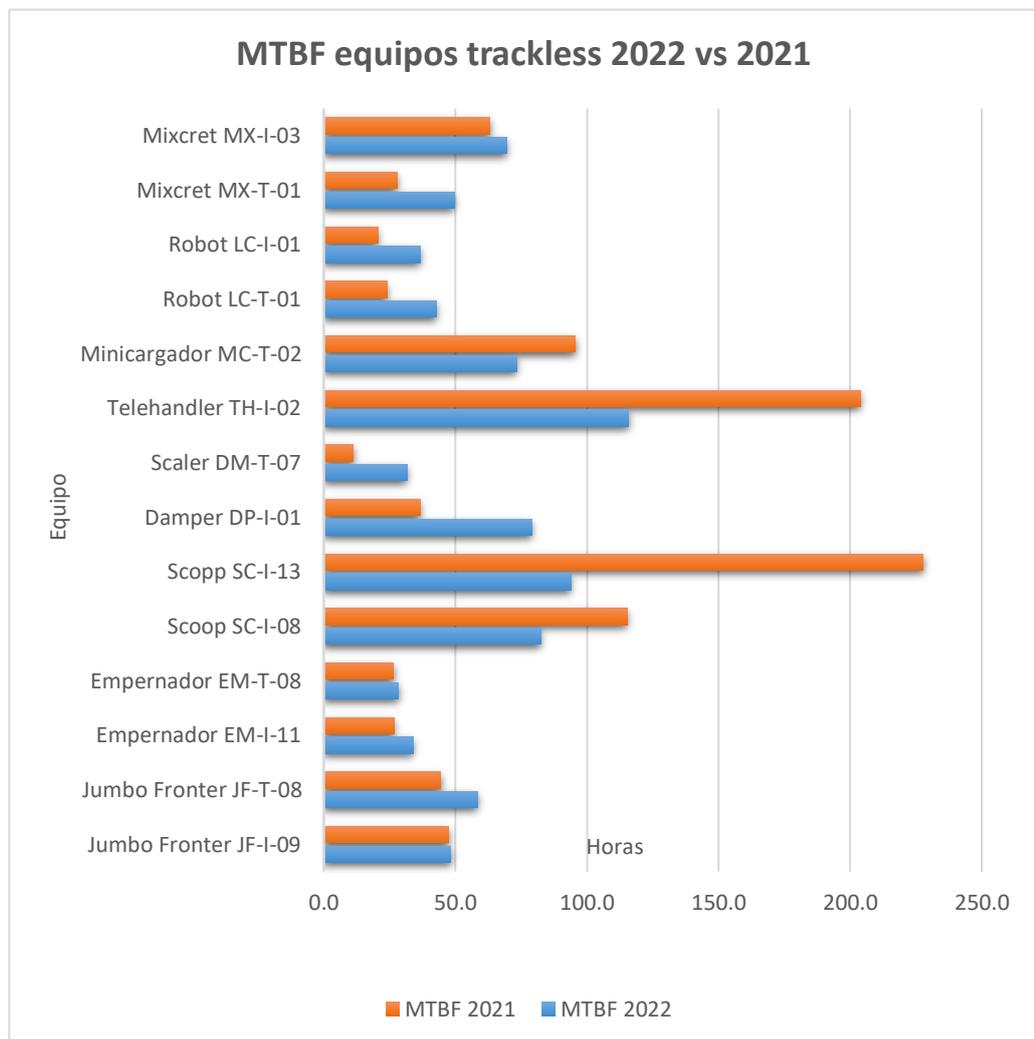
Elaboración propia.

4.3.2. Análisis de Fallas de los Equipos Trackless año 2022

Tiempo Medio entre Fallas. De la base de datos MTBF de los equipos durante el año 2022 (**anexo 1**), se obtuvo la figura 40, donde se muestra el MTBF anual de los durante el año 2022, comparados con los del año 2021.

Figura 40

MTBF equipos trackless 2022 vs 2021.



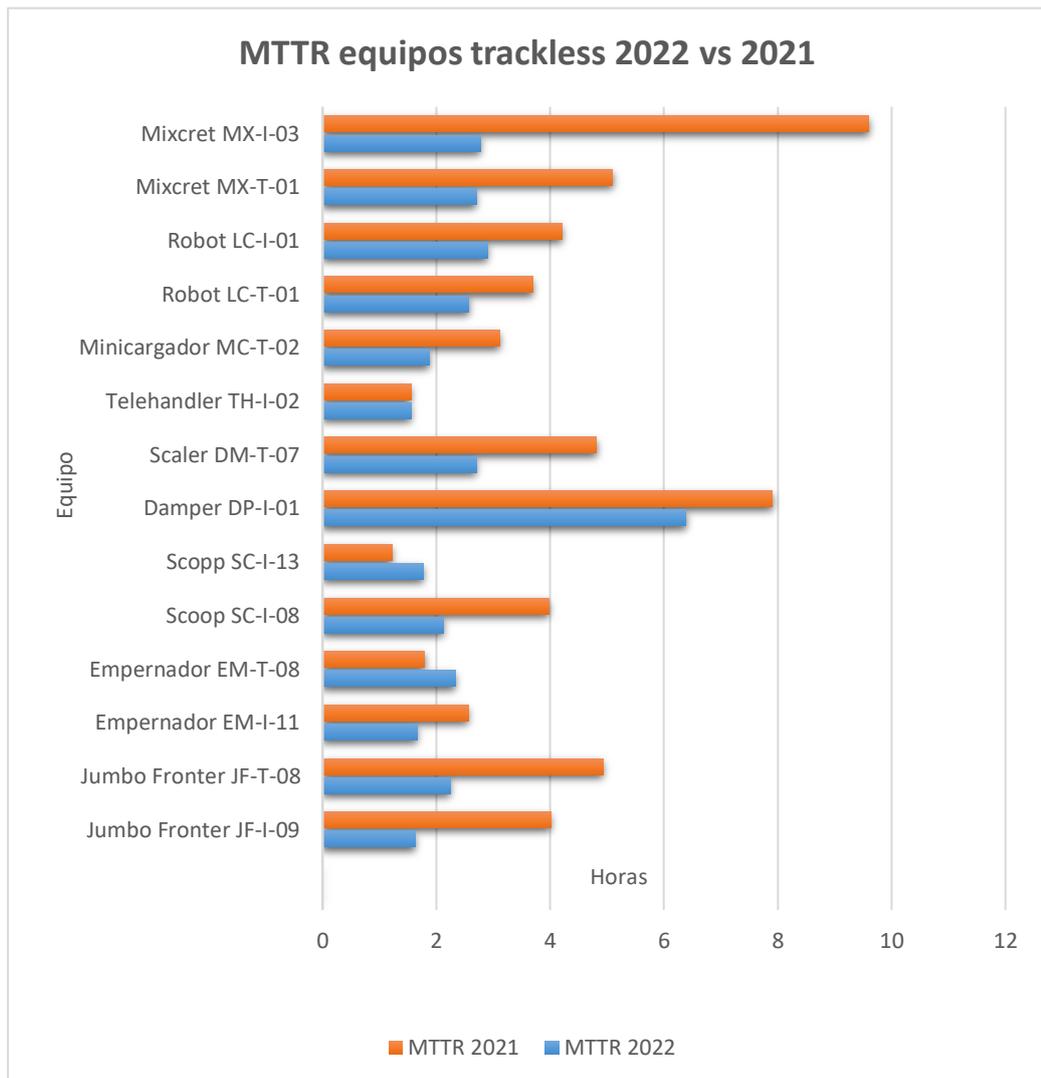
Elaboración propia.

De la figura 40 se puede apreciar que los tiempos medios entre fallas durante el año 2022, mejoraron en 10 de los 14 equipos estudiados, es decir, aumentaron, ya que lo que se busca es que el equipo tarde más tiempo en volver a fallar o que el tiempo entre el final de una falla y el principio de otra sea mayor.

Tiempo Medio de Reparación. De la base de datos MTTR de los equipos durante el 2022 (**anexo 2**), se obtuvo la figura 41, donde se muestra el MTTR anual durante el año 2022, comparados con los del año 2021.

Figura 41

MTTR equipos trackless 2022 vs 2021



Elaboración propia.

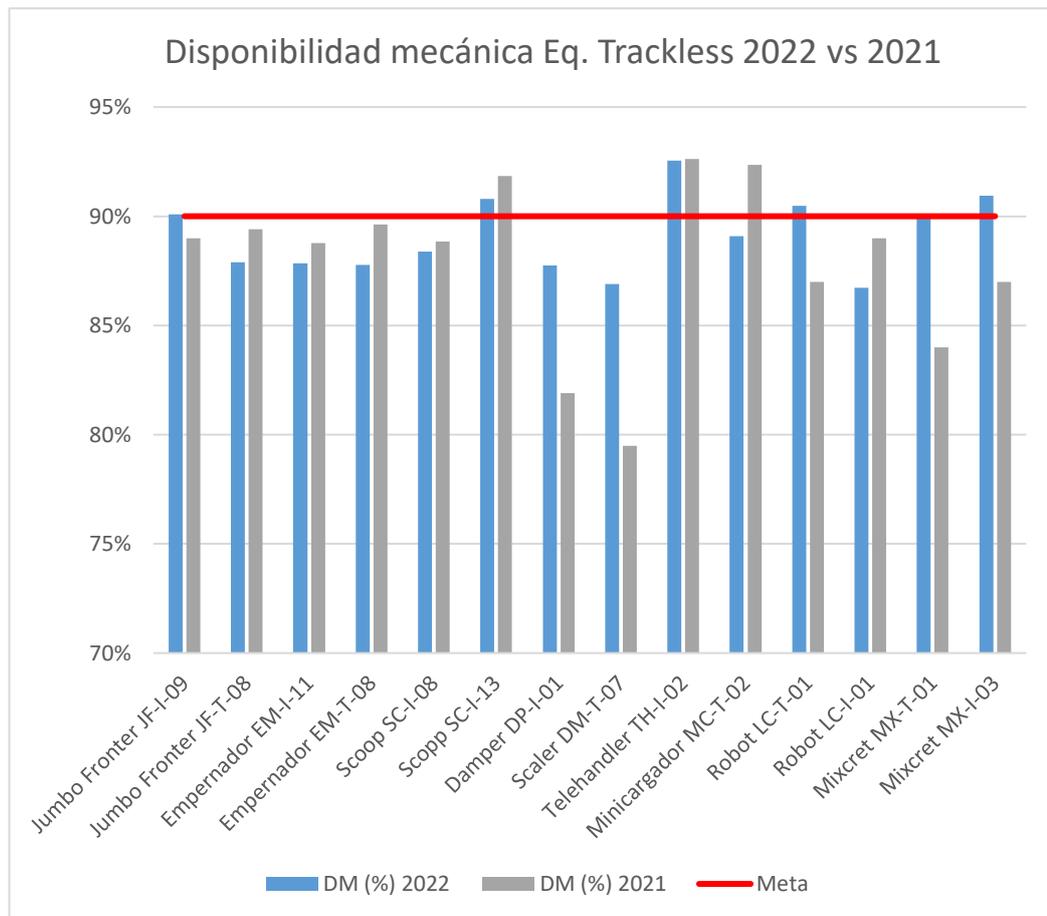
De la figura 41, se puede observar que los tiempos medios de reparación durante el año 2022, disminuyeron en todos los 14 equipos trackless intervenidos en comparación a los MTTR presentados durante el año 2021. Es decir, las horas de reparación de las fallas en cada equipo, fueron más eficientes en 2022.

4.3.3. Disponibilidad Mecánica año 2022

De la base de datos de la disponibilidad mecánica durante el año 2022 (anexo 3), se obtuvo el promedio anual comparado con el obtenido en el año 2021, como se muestra en la figura 42.

Figura 42

Disponibilidad mecánica equipos trackless 2022 vs 2021



Elaboración propia.

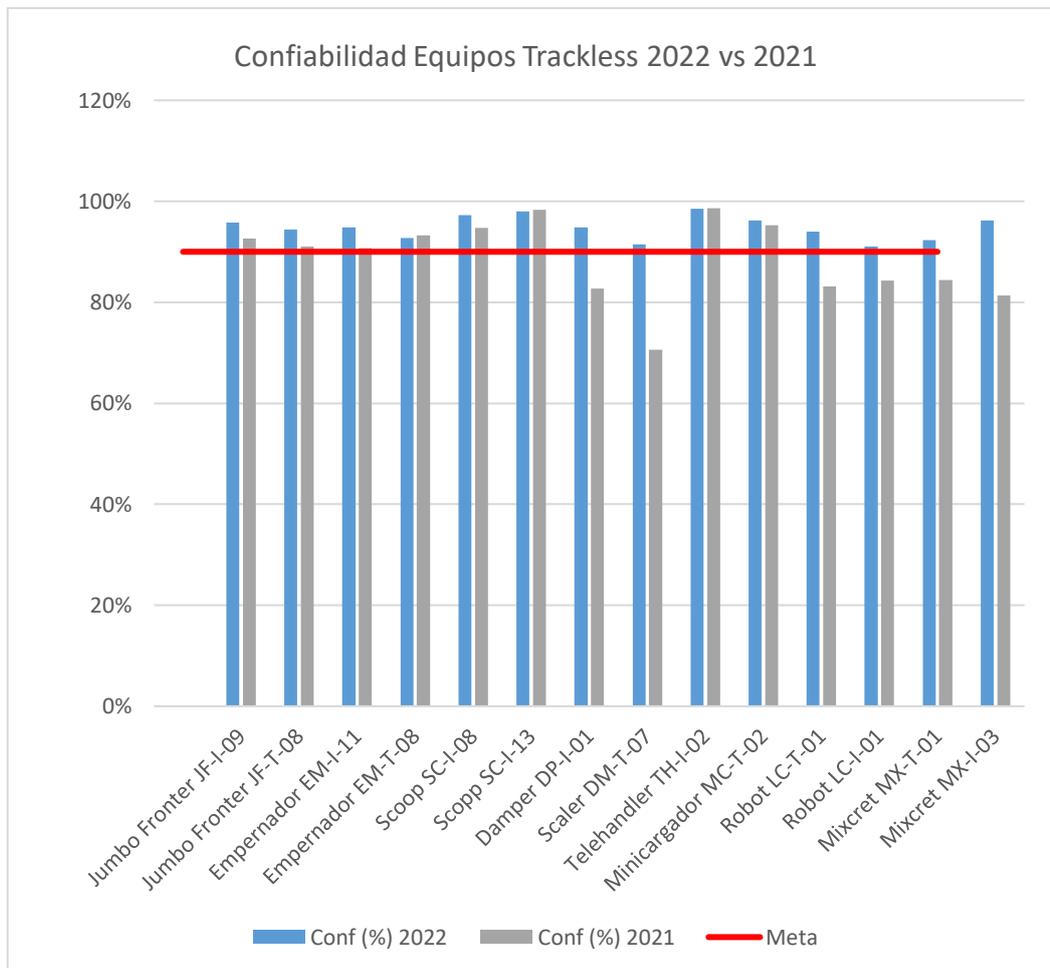
De la figura 42 se puede observar que la disponibilidad mecánica durante el año 2022, aumentó en 6 de los 14 equipos estudiados respecto al año 2021, mientras que una de ellos se mantuvo igual y 7 de ellos, bajaron ligeramente en 2022. Por otro lado, cabe destacar de los que 6 equipos que aumentaron su disponibilidad mecánica, 4 de ellos superó la meta establecida (90%).

4.3.4. Confiabilidad año 2022

De la base de datos de la confiabilidad durante el año 2022 (anexo 4), se obtuvo el promedio anual comparado con el obtenido en el año 2021, como se muestra en la figura 43.

Figura 43

Confiabilidad equipos trackless 2022 vs 2021



Elaboración propia.

De la figura 43 se puede apreciar que de los 14 equipos trackless, 13 de ellos aumentaron su confiabilidad durante el año 2022 en comparación al valor que mostraron en el año 2021, que, además, superaron el valor establecido como meta (90%).



4.4. COMPROBACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

4.4.1. Prueba de normalidad de las variables

Para seleccionar la prueba de comparación de medias del antes y después de cada indicador, para cada uno de los equipos trackless, primero se aplicó la prueba de normalidad Shapiro – Wilk, para lo cual se plantearon los siguientes criterios de aceptación y rechazo de la normalidad de las variables (MTBF, MTTR, DM y confiabilidad):

- Hipótesis nula (H_0): las variables siguen una distribución normal
- Hipótesis alterna (H_a): las variables no siguen una distribución normal
- Significancia 5% (0.05)
- Si $p\text{valor (significancia)} > 0.05$ se acepta H_0
- Si $p\text{valor (significancia)} \leq 0.05$ se rechaza H_0

En la tabla 17, se presenta una muestra de resultados de la normalidad para el equipo jumbo frontero, cuyo procedimiento se repitió para todos los equipos trackless obteniendo un resumen de la normalidad y la prueba estadística correspondiente aplicar, como se muestra en la tabla 18. El resto de resultados de normalidad se presentan en el **anexo 5**.

Tabla 17

Prueba de normalidad para las variables del equipo jumbo frontero

	Agrupación JB	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
MTBF Jumbo Frontero	Pretest	,982	12	,991
	Postest	,856	12	,044
MTTR Jumbo Frontero	Pretest	,474	12	,000
	Postest	,909	12	,207
DM Jumbo Frontero	Pretest	,520	12	,000
	Postest	,885	12	,102
Confiabilidad JF	Pretest	,638	12	,000
	Postest	,948	12	,601

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS.

Tabla 18

Prueba de normalidad para las variables de los equipos trackless

Equipo	Agrupación	Comprobación de normalidad			
		MTBF	MTTR	DM	Confiabilidad
Jumbo Frontero (JF)	Pretest	normal	no normal	no normal	no normal
	Postest	no normal	normal	normal	normal
	Prueba	T-Student	t-student	t-student	t-student
Empernador (EM)	Pretest	normal	normal	normal	normal
	Postest	no normal	normal	normal	normal
	Prueba	T-student	t -student	t -student	t -student
Scooptram (SC)	Pretest	no normal	no normal	no normal	no normal
	Postest	no normal	no normal	normal	normal
	Prueba	U Man-W	U Man-W	t-student	t-student
Dumper (DP)	Pretest	normal	normal	normal	normal
	Postest	normal	no normal	no normal	no normal
	Prueba	T-student	t-student	t-student	t-student

Equipo	Agrupación	Comprobación de normalidad			
		MTBF	MTTR	DM	Confiabilidad
	Pretest	normal	normal	normal	normal
Scaler (DM)	Postest	normal	normal	normal	no normal
	Prueba	T-student	T-student	T-student	T-student
	Pretest	normal	no normal	no normal	no normal
Telehandler (TH)	Postest	normal	no normal	no normal	no normal
	Prueba	T-student	U Man-W	U Man-W	U Man-W
	Pretest	normal	no normal	no normal	normal
Minicargador (MC)	Postest	normal	normal	normal	normal
	Prueba	T-student	T-student	T-student	T-student
	Pretest	no normal	no normal	no normal	no normal
Robot (LC)	Postest	normal	no normal	normal	no normal
	Prueba	T-student	U Man-W	T-student	U Man-W
	Pretest	no normal	no normal	no normal	no normal
Mixcret (MX)	Postest	normal	normal	normal	no normal
	Prueba	T-student	T-student	T-student	U Man-W

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS.

4.4.2. Prueba estadística de comprobación de hipótesis

Para la comprobación de las hipótesis se plantaron las siguientes hipótesis estadísticas:

- Hipótesis nula (H_0): no existen diferencias significativas entre la variable antes y después de implementar el RCA en los equipos trackless de la empresa minera.
- Hipótesis alterna (H_a): existen diferencias significativas entre la variable antes y después de implementar el RCA en los equipos trackless de la empresa minera.

- Criterios de aceptación y rechazo:
- Si $p\text{valor (significancia)} > 0.05$ se acepta la hipótesis nula.
- Si $p\text{valor (significancia)} \leq 0.05$ se rechaza la hipótesis nula.

Comprobación hipótesis específica 1. El RCA mejora la confiabilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A. Los resultados se presentan por cada uno de los equipos, según la prueba de comprobación que le corresponde.

- Equipo jumbo frontero: en la tabla 19, se muestra los resultados de prueba t- Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA en el equipo jumbo frontero.

Tabla 19

Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo jumbo frontonero JF

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Confiabilidad JF	Se asumen varianzas iguales	0.992	0.330	-1.542	22	0.137	-3.08333	1.99984	-7.23075	1.06409	
	No se asumen varianzas iguales			-1.542	15.749	0.143	-3.08333	1.99984	-7.32830	1.16163	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Para el caso del jumbo frontero, la confiabilidad obtuvo una significancia > 0.05 de la tabla 19, por lo tanto, no presentó diferencias estadísticamente significativas antes y después de implementar el RCA, por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo empernador: en la tabla 20, se muestra los resultados de prueba t-Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA en el equipo empernador.

Tabla 20

Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo empernador

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Confiabilidad Empernador	Se asumen varianzas iguales	3.468	0.076	-3.973	22	0.001	-4.16667	1.04869	-6.34151	-1.99182	
	No se asumen varianzas iguales			-3.973	18.105	0.001	-4.16667	1.04869	-6.36896	-1.96437	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con el valor de la significancia < 0.05 de la tabla 20, la confiabilidad del empernador si presentó diferencias estadísticamente significativas, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir, se acepta la hipótesis de la investigación.

- Equipo Scooptram: en la tabla 21, se muestra los resultados de prueba t-Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo scooptram.

Tabla 21

Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo scooptram

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Confiabilidad Scooptram	Se asumen varianzas iguales	5.583	0.027	-1.671	22	0.109	-2.33333	1.39624	-5.22896	0.56230	
	No se asumen varianzas iguales			-1.671	12.042	0.120	-2.33333	1.39624	-5.37430	0.70763	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con los resultados de la significancia > 0.05 de la tabla 21, no existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad del equipo scooptram antes y después de aplicar el RCA, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo Dumper: en la tabla 22, se muestra los resultados de prueba t-Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo Dumper.

Tabla 22

Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo Dumper

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Confiabilidad Dumper	Se asumen varianzas iguales	13.021	0.023	-1.941	4	0.124	-14.66667	7.55719	-35.64879	6.31545	
	No se asumen varianzas iguales			-1.941	2.008	0.191	-14.66667	7.55719	-47.06192	17.72859	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con el valor de la significancia de la tabla 22, el cual resultó mayor a 0.05, no existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo scaler: en la tabla 23, se muestra los resultados de prueba t-Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo scaler.

Tabla 23

Prueba t-Student para la confiabilidad del equipo scaler

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Confiabilidad scaler	Se asumen varianzas iguales	1.117	0.350	-3.522	4	0.024	-21.00000	5.96285	-37.55552	-4.44448
	No se asumen varianzas iguales			-3.522	2.700	0.046	-21.00000	5.96285	-41.22516	-0.77484

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Según el valor de la significancia < 0.05 de la tabla 23, sí existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad del scaler antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis de la investigación.

- Equipo telehandler: en la tabla 24, se muestra los resultados de prueba U Mann Whitney – Wilconxon de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo telehandler.

Tabla 24

Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo telehandler

	Confiabilidad telehandler
U de Mann-Whitney	63,500
W de Wilcoxon	141,500
Z	-,515
Sig. asintótica(bilateral)	,607
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,630 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con el valor de la significancia asintótica bilateral de la prueba de U de Mann Whitney - Wilconxon de la tabla 24, no existe diferencias estadísticamente significativas (p valor >0.05), por lo que se acepta la hipótesis nula.

- Equipo minicargador: en la tabla 25, se muestra los resultados de prueba t- Student de comparación de medias de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo minicargador.

Tabla 25

Prueba t – student para la confiabilidad del equipo minicargador

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Confiabilidad minicargador	Se asumen varianzas iguales	1.131	0.306	-0.664	14	0.518	-1.12500	1.69492	-4.76025	2.51025
	No se asumen varianzas iguales			-0.664	12.246	0.519	-1.12500	1.69492	-4.80970	2.55970

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con los resultados de la tabla 25, la significancia bilateral > 0.05 , indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad del minicargador antes y después de aplicar RCA, por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo robot: en la tabla 26, se muestra los resultados de prueba U Mann Whitney – Wilconxon de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo robot.

Tabla 26

Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo robot

	Confiabilidad robot
U de Mann-Whitney	10,000
W de Wilcoxon	88,000
Z	-3,598
Sig. asintótica(bilateral)	,000
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,000 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con los resultados de la tabla 26, el valor de la significancia asintótica < 0.05 , por lo que existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad del robot antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula aceptándose la hipótesis de la investigación.

- Equipo mixcret: en la tabla 27, se muestra los resultados de prueba U Mann Whitney – Wilconxon de la confiabilidad antes y después de aplicar el RCA para el equipo mixcret.



Tabla 27

Prueba U de Mann Whitney – Wilconxon para la confiabilidad del equipo

mixcret

Confiabilidad Mixcret	
U de Mann-Whitney	31,500
W de Wilcoxon	109,500
Z	-2,344
Sig. asintótica(bilateral)	,019
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,017 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Según los resultados de la tabla 27, el valor de la significancia asintótica < 0.05, indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas en la confiabilidad del equipo mixcret antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis de la investigación.

En la tabla 28, se muestra un resumen de la comprobación de la hipótesis específica 1, para la variable confiabilidad de cada uno de los equipos antes y después de aplicar el RCA.

Tabla 28

Resumen prueba de hipótesis específica 1 para la variable confiabilidad

Equipo	Pvalor	Hipótesis nula	Hipótesis de la investigación
Jumbo frontero	0.137	se acepta	se rechaza
Empernador	0.001	se rechaza	se acepta
Scooptram	0.109	se acepta	se rechaza
Dumper	0.124	se acepta	se rechaza



Equipo	Pvalor	Hipótesis nula	Hipótesis de la investigación
Scaler	0.024	se rechaza	se acepta
Telehandler	0.607	se acepta	se rechaza
Minicargador	0.518	se acepta	se rechaza
Robot	0.000	se rechaza	se acepta
Mixcret	0.019	se rechaza	se acepta

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Como se puede observar en la tabla 28, la hipótesis de la investigación se acepta para algunos equipos, vale decir, para 4 tipo de ellos. Por tanto, se puede decir que la aplicación del RCA, si mejora la confiabilidad de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

Comprobación de la hipótesis específica 2. El RCA mejora el Tiempo Medio Entre Falla (MTBF) y el Tiempo Medio Para Reparación (MTTR) de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

- Equipo jumbo frontero. Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 29.

Tabla 29

Prueba t – student para MTBF y MTTR del Jumbo Frontonero

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
MTBF Jumbo Frontero	Se asumen varianzas iguales	1.977	0.174	-0.256	22	0.801	-2.36667	9.25376	-21.55779	16.82446
	No se asumen varianzas iguales			-0.256	19.961	0.801	-2.36667	9.25376	-21.67209	16.93876

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
MTTR Jumbo Frontero	Se asumen varianzas iguales	2.109	0.161	1.571	22	0.131	2.38333	1.51730	-0.76336	5.53003	
	No se asumen VI			1.571	11.821	0.143	2.38333	1.51730	-0.92814	5.69481	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo a los resultados de la tabla 29, tanto para el MTBF como para el MTTR el valor de la significancia bilateral >0.05 , lo que indica que no presentaron diferencias estadísticamente significativas antes y después de aplicar el RCA en el equipo Jumbo Frontonero JF. Por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo empernador. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 30.

Tabla 30

Prueba t – Student para MTBF y MTTR del Empernador

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	GI	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
MTBF Empernador	Se asumen varianzas iguales	0.382	0.543	-1.837	22	0.080	-8.10000	4.40923	-17.24418	1.04418	
	No se asumen varianzas iguales			-1.837	18.897	0.082	-8.10000	4.40923	-17.33202	1.13202	
MTTR Empernador	Se asumen varianzas iguales	9.033	0.007	2.782	22	0.011	0.89167	0.32046	0.22707	1.55626	
	No se asumen varianzas iguales			2.782	13.475	0.015	0.89167	0.32046	0.20182	1.58151	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo a los resultados de la tabla 30, en el MTBF se obtuvo un valor de significancia > 0.05 , por lo que se acepta la hipótesis nula, en cambio para el MTTR se obtuvo un valor de significancia < 0.05 , por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

- Equipo Scooptram. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 31.

Tabla 31

Prueba U Mann Whitney – Wilcoxon MTBF y MTTR del scooptram

	MTBF Empernador	MTTR Empernador
U de Mann-Whitney	37,500	29,500
W de Wilcoxon	115,500	107,500
Z	-1,992	-2,468
Sig. asintótica(bilateral)	,046	,014
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,045 ^b	,012 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con los resultados de la tabla 31, tanto el indicador MTBF como el MTTR, obtuvieron un valor de significancia asintótica < 0.05 , indicando que, si existen diferencias estadísticamente significativas en estos indicadores antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

- Equipo Dumper. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 32.

Tabla 32

Prueba t – Student para MTBF y MTTR del dumper

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
MTBF Dumper	Se asumen varianzas iguales	5.353	0.082	-3.015	4	0.039	-38.46667	12.75678	-73.88518	-3.04815
	No se asumen varianzas iguales			-3.015	2.194	0.085	-38.46667	12.75678	-88.96159	12.02826
MTTR Dumper	Se asumen varianzas iguales	10.439	0.032	1.591	4	0.187	6.03333	3.79224	-4.49562	16.56229
	No se asumen varianzas iguales			1.591	2.103	0.247	6.03333	3.79224	-9.54340	21.61007

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 32, se puede observar para el indicador MTBF del Dumper, el valor de significancia asintótica < 0.05 , por lo cual se rechaza la hipótesis nula, en cambio para el indicador MTTR del Dumper sig. > 0.05 , por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipo Scaler. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 33.

Tabla 33

Prueba t – Student para MTBF y MTTR del scaler

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
MTBF scaler	Se asumen varianzas iguales	5.587	0.077	-2.688	4	0.055	-16.10000	5.99055	-32.73243	0.53243	
	No se asumen varianzas iguales			-2.688	2.339	0.097	-16.10000	5.99055	-38.60575	6.40575	
MTTR scaler	Se asumen varianzas iguales	8.818	0.041	3.085	4	0.037	2.53333	0.82125	0.25319	4.81348	
	No se asumen varianzas iguales			3.085	2.193	0.081	2.53333	0.82125	-0.71832	5.78499	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 33, se puede apreciar que el indicar MTBF arrojó un valor de significancia > 0.05 , lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas de este indicador antes y después de aplicar el RCA, aceptándose la hipótesis nula. En contraste, el MTTR obtuvo un valor de sig. < 0.05 por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

- Equipo telehandler. Los resultados de la prueba en las tablas 34 y 35.

Tabla 34

Prueba U Mann Whitney – W para MTTR del telehandler

	MTTR telehandler
U de Mann-Whitney	60,500
W de Wilcoxon	138,500
Z	-,667
Sig. asintótica(bilateral)	,505
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,514 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

En la tabla 34 se puede apreciar que el valor de la sig. > 0.05 por lo cual se acepta la hipótesis nula, donde el MTTR no presentó diferencias estadísticamente significativas antes y después de aplicar el RCA.

Tabla 35

Prueba t – Student para MTBF del telehandler

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
MTTR telehandler	Se asumen varianzas iguales	0.679	0.419	-0.021	22	0.984	-0.01667	0.80891	-1.69424	1.66090	
	No se asumen varianzas iguales			-0.021	20.631	0.984	-0.01667	0.80891	-1.70071	1.66738	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

En la tabla 35 se puede apreciar que el valor de la sig. > 0.05 por lo cual se acepta la hipótesis nula, donde el MTBF no presentó diferencias estadísticamente significativas antes y después de aplicar el RCA.

- Equipo Minicargador. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 36.

Tabla 36

Prueba t – Student para MTBF y MTTR del minicargador

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
MTBF minicargador	Se asumen varianzas iguales	9.021	0.009	0.830	14	0.421	28.47500	34.31389	-45.12097	102.07097
	No se asumen varianzas iguales			0.830	9.538	0.427	28.47500	34.31389	-48.48638	105.43638
MTTR minicargador	Se asumen varianzas iguales	7.478	0.016	1.230	14	0.239	1.23750	1.00649	-0.92120	3.39620
	No se asumen varianzas iguales			1.230	8.518	0.252	1.23750	1.00649	-1.05913	3.53413

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

En la tabla 36 se puede apreciar que el valor de la sig. > 0.05 para los dos indicadores MTBF y MTTR, lo que indica que ambos no presentaron diferencias estadísticamente significativas antes y después de aplicar el RCA, por lo cual se acepta la hipótesis nula.

- Equipo Robot. Los resultados de la prueba se presentan en las tablas 37 y 38.

Tabla 37

Prueba t – Student para MTBF del robot

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
									95% de intervalo de confianza de la diferencia	
				F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
MTBF robot	Se asumen varianzas iguales	0.008	0.929	-3.549	22	0.002	-20.08333	5.65946	-31.82033	-8.34633
	No se asumen varianzas iguales			-3.549	21.920	0.002	-20.08333	5.65946	-31.82282	-8.34385

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Como se puede apreciar en la tabla 37, el valor de la significancia < 0.05 , para el indicador MTBF del robot, lo cual indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas en este indicador antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

Tabla 38

Prueba U Mann Whitney – W para MTTR del robot

	MTTR robot
U de Mann-Whitney	27,500
W de Wilcoxon	105,500
Z	-2,573
Sig. asintótica(bilateral)	,010
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,008 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Como se puede apreciar en la tabla 38, el valor de la sig. < 0.05 para el indicador MTTR de robot, lo cual indica que existen diferencias estadísticamente

significativas en este indicador antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación.

- Equipo mixcret. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 39.

Tabla 39

Prueba t – Student para MTBF y MTTR del mixcret

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
MTBF mixcret	Se asumen varianzas iguales	2.370	0.138	0.936	22	0.360	21.30000	22.75993	-25.90121	68.50121	
	No se asumen varianzas iguales			0.936	13.711	0.366	21.30000	22.75993	-27.61178	70.21178	
MTTR mixcret	Se asumen varianzas iguales	8.249	0.009	2.482	22	0.021	6.88333	2.77308	1.13231	12.63435	
	No se asumen varianzas iguales			2.482	11.559	0.030	6.88333	2.77308	0.81561	12.95105	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

Como se puede apreciar en la tabla 39, solo el indicador MTTR presentó diferencias significativas al obtener un valor de sig. < 0.05; por tanto, rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis de la investigación para este indicador.

En la tabla 40, se resume los resultados de las hipótesis para los indicadores MTBF y MTTR.

Tabla 40*Resumen de contrastación de hipótesis MTBF y MTTR*

Equipo	Indicador	pvalor	Hipótesis nula	Hipótesis de la investigación
Jumbo frontero	MTBF	0.801	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.131	se acepta	se rechaza
Empernador	MTBF	0.08	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.011	se rechaza	se acepta
Scooptram	MTBF	0.046	se rechaza	se acepta
	MTTR	0.014	se rechaza	se acepta
Dumper	MTBF	0.039	se rechaza	se acepta
	MTTR	0.187	se acepta	se rechaza
Scaler	MTBF	0.055	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.037	se rechaza	se acepta
Telehandler	MTBF	0.984	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.505	se acepta	se rechaza
Minicargador	MTBF	0.421	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.239	se acepta	se rechaza
Robot	MTBF	0.002	se rechaza	se acepta
	MTTR	0.010	se rechaza	se acepta
Mixcret	MTBF	0.360	se acepta	se rechaza
	MTTR	0.021	se rechaza	se acepta

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 40, se puede apreciar que, en 5 de los equipos, al menos hubo un cambio estadísticamente significativo en los indicadores, aceptándose la hipótesis de la investigación.

Comprobación de hipótesis específica 3. El RCA mejora la disponibilidad de la flota de equipos trackless de la empresa INCIMMET S.A.

- Equipos jumbo frontero, empernador, scooptram, robot y mixcret. Dado

que, estos equipos tienen la misma cantidad de datos en el pre test y post test, se agruparon por tipo de prueba. De esta manera, en la tabla 41, se presentan los resultados de los equipos jumbo frontero, empernador, scooptram, robot y mixcret.

Tabla 41

Prueba t – Student para disponibilidad mecánica de jumbo frontero, empernador, scoop, robot y mixcret

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
DM Jumbo Frontero	Se asumen varianzas iguales	,004	,950	-,552	22	,587	-,66667	1,20814	-3,17219	1,83886	
	No se asumen varianzas iguales			-,552	20,248	,587	-,66667	1,20814	-3,18482	1,85148	
DM Empernador	Se asumen varianzas iguales	,168	,686	1,153	22	,261	1,00000	,86748	-,79905	2,79905	
	No se asumen varianzas iguales			1,153	21,964	,261	1,00000	,86748	-,79922	2,79922	
DM Scooptram	Se asumen varianzas iguales	,664	,424	,274	22	,787	,33333	1,21595	-2,18839	2,85506	
	No se asumen varianzas iguales			,274	17,905	,787	,33333	1,21595	-2,22225	2,88892	
DM robot	Se asumen varianzas iguales	,000	1,000	-1,864	22	,076	-1,83333	,98345	-3,87288	,20621	
	No se asumen varianzas iguales			-1,864	21,384	,076	-1,83333	,98345	-3,87629	,20963	
DM mixcret	Se asumen varianzas iguales	5,782	,025	-2,092	22	,048	-3,33333	1,59347	-6,63798	-,02868	
	No se asumen varianzas iguales			-2,092	16,167	,053	-3,33333	1,59347	-6,70851	,04184	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De acuerdo con los resultados de la tabla 41, se puede apreciar que solo la disponibilidad mecánica del equipo mixcret obtuvo un valor de significancia $(0.048) < 0.05$, lo cual indica que, sí existen diferencias estadísticamente significativas en este indicador antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de la investigación, para el equipo mixcret. El resto de los equipos de la tabla, arrojaron valores de significancia > 0.05 , por tanto, se acepta la hipótesis nula.

- Equipos Dumper y Scaler. Dado que, estos equipos tienen la misma cantidad de datos en el pre test y post test, se agruparon por tipo de prueba. De esta manera, en la tabla 42, se presentan los resultados.

Tabla 42

Prueba t – Student para disponibilidad mecánica de Dumper y scaler

			Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
			F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
										Inferior	Superior
DM Dumper	Se	asumen	8,876	,041	-1,256	4	,278	-6,33333	5,04425	-20,33841	7,67175
		varianzas iguales									
	No se	asumen			-1,256	2,000	,336	-6,33333	5,04425	-28,03698	15,37032
		varianzas iguales									
DM scaler	Se	asumen	,073	,801	-2,800	4	,049	-9,33333	3,33333	-18,58815	-,07852
		varianzas iguales									
	No se	asumen			-2,800	3,994	,049	-9,33333	3,33333	-18,59399	-,07267
		varianzas iguales									

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 42, se puede apreciar que la disponibilidad del equipo scaler obtuvo un valor de significancia < 0.05 , lo cual indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas en este indicador antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se rechaza la hipótesis nula, aceptándose la hipótesis de la

investigación para este equipo. Por el contrario, la disponibilidad mecánica para el equipo Dumper, presento un valor de significancia > 0.05 , lo cual hace que se acepte la hipótesis nula.

- Equipo telehandler. Los resultados de la prueba se presentan en la tabla 43.

Tabla 43

Prueba U Mann Whitney – Wilcoxon para disponibilidad mecánica telehandler

	DM telehandler
U de Mann-Whitney	66,500
W de Wilcoxon	144,500
Z	-,349
Sig. asintótica(bilateral)	,727
Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,755 ^b

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 43, se puede apreciar que el valor de la significancia asintótica (0.727) resultó mayor a 0.05, por tanto, se acepta la hipótesis nula, lo cual indica que no existen cambios estadísticamente significativos en el indicador de disponibilidad mecánica antes y después de aplicar el RCA.

- Equipo minicargador. Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 44.

Tabla 44

Prueba t – Student para disponibilidad mecánica minicargador

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
									Inferior	Superior	
DM minicargador	Se asumen varianzas iguales	,512	,486	4,255	14	,001	3,75000	,88135	1,85968	5,64032	
	No se asumen varianzas iguales			4,255	13,852	,001	3,75000	,88135	1,85778	5,64222	

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS

De la tabla 44, se aprecia que el valor de la sig. Bilateral resultó menor a 0.05, lo cual indica que, si existen diferencias estadísticamente significativas en la disponibilidad mecánica antes y después de aplicar el RCA, por tanto, se acepta la hipótesis de la investigación.

En la tabla 45, se resume los resultados de contrastación de hipótesis de la disponibilidad mecánica para cada uno de los equipos, donde se puede observar que en al menos 3 de los 9 tipos de equipos, hubo cambios significativos en la disponibilidad mecánica, por tanto, se acepta la hipótesis de la investigación.

Tabla 45

Resumen contrastación de hipótesis para disponibilidad mecánica

Equipo	P valor	Hipótesis nula	Hipótesis de la investigación
Jumbo frontero	0.587	se acepta	se rechaza
Empernador	0.261	se acepta	se rechaza
Scooptram	0.787	se acepta	se rechaza
Dumper	0.278	se acepta	se rechaza
Scaler	0.049	se rechaza	se acepta
Telehandler	0.727	se acepta	se rechaza
Minicargador	0.001	se rechaza	se acepta
Robot	0.076	se acepta	se rechaza
Mixcret	0.048	se rechaza	se acepta

Nota: Obtenido del procesamiento en SPSS



V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se logró aplicar satisfactoriamente el análisis causa raíz para la gestión de mantenimiento de los equipos trackless, con enfoque en mejorar los indicadores claves MTBF, MTTR, confiabilidad y disponibilidad mecánica. A partir de ello, se establecieron las siguientes conclusiones:

- Respecto a la confiabilidad de los equipos trackless, esta mejoró significativamente en los equipos empernador, scaler, robot y mixcret. Obteniendo un promedio global de la flota de equipos trackless de 95% en el periodo del 2022, respecto al 89% del periodo 2021 por tanto, se concluye que la aplicación del RCA mejora la confiabilidad de los equipos.
- Respecto a los MTBF y MTTR, en el equipo empernador hubo un cambio positivo y significativo en los MTTR, en el equipo scooptram se presentó la mejora significativa en ambos indicadores, en tanto, para el equipo scaler, la mejora significativa resultó para el MTTR; para el equipo robot, ambos indicadores experimentaron mejoras significativas y el mixcret solo mejoró significativamente en los MTTR. Todo ello comprobado a un 95% de confianza.
- En cuanto a la disponibilidad mecánica, esta experimentó mejoras significativas en los equipos dumper, scaler, y mixcret, siendo estos los que menor disponibilidad presentaron antes de aplicar el RCA (82%, 79% y 86% respectivamente).
- En cuanto a las actividades de mantenimientos se tuvo una mejora en los tiempos de ejecución, mantenimientos preventivos de 57% aumentando a un 79%, en mantenimiento correctivo de 43% disminuyendo a un 21%.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda aplicar el RCA a otros equipos de la empresa.
- Se recomienda aplicar otras metodologías en la gestión de mantenimiento, como análisis de criticidad, mantenimiento productivo total, herramientas de calidad, entre otras, para buscar la excelencia en esta gestión.
- Se recomienda revisar periódicamente, las actividades de mantenimiento planificadas para los equipos y relacionarlas con los indicadores, a fin de identificar mejoras continuas enfocadas en aumentar la disponibilidad de los equipos, especialmente en aquellos que no experimentaron aumento significativo.
- Se recomienda llevar un registro y control de repuestos y componentes de los equipos, así como catalogarlos, para llevar una gestión efectiva en las labores de mantenimiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, E. (2014). *Análisis de fallas de una máquina extrusora de electrodos*. Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1740>
- Amendola, L. (2016). *Modelos mixtos de confiabilidad*. Editorial PMM Instituto Para el Aprendizaje.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación—Introducción a la investigación científica*. (6.^a ed.). Episteme.
- Arias, G. (2020). *Técnicas e instrumentos de investigación científica (Enfoques Consulting EIRL)*.
- Bastidas, E. (2013). *Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrogenos olympian GEP110-4 en el proyecto flowline lote 56 de la empresa serpetpol peru sac*. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3901>.
- Cabré, R. (2012). *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*.
- Castro, J. & Cendales, E. (2019). Casos aplicados del análisis de causa raíz: Revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 95-134.
- Energiminas. (2019). *La metodología RCA y la mejora de la productividad, según Shell – Energiminas*. <https://energiminas.com/la-metodologia-rca-y-la-mejora-de-la-productividad-segun-shell/>
- Enriquez, A. & Marquez, R. E. (2019). *Propuesta de mejora de la eficiencia de la línea de producción de una planta de harina de pescado aplicando la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM)*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/651567>
- Fuenmayor, E. (2020). *Aplicación de la metodología análisis causa raíz plus en las fallas recurrentes de un motor-ventilador Consultor independiente Maracaibo, Venezuela*. 217.



- García, S. (2012). *Ingeniería de mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf
- González, F. (2014). *Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobación escolar*. *Con Ciencia Tecnológica*, 48 (julio-diciembre), 17-24.
- González, F. (2015). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*.
https://www.academia.edu/42058714/Teor%C3%ADa_y_Pr%C3%A1ctica_del_Mantenimiento_Industrial_Avanzado
- Hernández, M., Pirona, F. & Tovar, J. (2013). *Plan de mantenimiento preventivo a las calderas acuotubulares en el servicio autónomo del Hospital Universitario de Maracaibo (S.A.H.U.M)*.
- Hernández, R., Fernandez, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Herrera, G., Morán, L. D. C., Gallardo, J. & Silva, A. (2020). Gestión del mantenimiento y la industria 4.0. *Revista de Ingeniería Innovativa*, 18-28.
<https://doi.org/10.35429/JOIE.2020.15.4.18.28>
- Huarilloclla, W. (2023). *Implementación de un catálogo de fallas para mejorar el mantenimiento preventivo en quipos pesado del proyecto de exploración subterránea de la unidad minera Yanacocha - 2020*. Repositorio Universidad Nacional del Altiplano, 164.
- Ivaldi, T. (2022, agosto 26). *Tipos de investigación: ¿Qué son y cuáles existen? Tesis y Másters Colombia*. <https://tesisymasters.com.co/tipos-de-investigacion/>
- Lindberg, C.-F., Tan, S., Yan, J. & Starfelt, F. (2015). *Key Performance Indicators Improve Industrial Performance*. *Energy Procedia*, 75, 1785-1790.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.474>
- Londoño, J. & Bernal, E. (2018). *Propuesta de desarrollo del método análisis causa raíz (rca) para el plan de mantenimiento preventivo de la herramienta de mano de la empresa Allians S.A.S*.
- Magan, J. (2020). *Análisis de causa raíz para la evaluación de eventos no deseados en las cisternas 8C, 10C y 11C de la flota de camiones de minera Barrick*.



Universidad Nacional de Trujillo.

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15733>

- Mendoza, R. (2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional // Criticality analysis , a methodology to improve the operational reliability. *Ingeniería Mecánica*, 3(4), Article 4.
- Novillo, E., González, E., Labanda, D. & Salcedo, V. (2017). *Herramientas de la calidad: Estudio de caso Universidad Técnica de Machala. Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*.
<https://dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/447>
- Obeso, A. & Yaya, J. (2018). *Implementación del mantenimiento productivo total para mejorar la productividad y mantenibilidad del proceso de harina de pescado en la empresa INVERSIONES REGAL - Chimbote 2018*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27842>
- Ortea, E. (2008). *Montaje y mantenimiento mecánico. Autor - Editor*.
<https://www.lavanguardia.com/libros/libro/montaje-y-mantenimiento-mecanico-9788461240173>
- Osorio, E. & Roy, S. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la perforadora diamantina superdrill H600 de la empresa Maqpower S.A.C*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1657>
- Parra, C. & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Ingeman.
- Quiñones, E. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el análisis causa raíz para aumentar la disponibilidad de los motores eléctricos jaula ardilla de la empresa Alicorp S.A.A. *Innovación en Ingeniería*, 2(1), Article 1. <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/innovacion/article/view/1749>
- Rojas, A. (2019). *Influencia de residuos de cerámica como sustitución porcentual del cemento sobre la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo – 2019*.



- Sabino, C. (2014). *El proceso de investigación* (3.^a ed.).
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*, 26(1), 59-61.
- Tavares, Lourival (2004). Mantenimiento y Confiabilidad, VI Congreso Internacional de Mantenimiento, 3 y 4 de junio de 2004, Bogotá, Colombia.
- Trujillo, J. (2019). *Análisis de causa raíz para la evaluación de eventos no deseados en las cisternas 8C, 10C y 11C de la flota de camiones de minera Barrick*.
- Zegarra, M. (2016). *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados (N.º 1)*. 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.21503/cyd.v19i1.1219>

ANEXOS

ANEXO 1: MTBF de los equipos trackless durante el año 2022

MTBF (Mean Time Between Failures) - Tiempo medio entre fallas 2022														
Flota	Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Jumbo	JF-I-09	65.6	23.4	34.8	43.2	36.1	25.9	37.1	32.8	40.2	87.2	105.4	71.1	48.3
	JF-T-08	28.7	27.1	30.4	32.4	32.8	26.0	36.7	44.1	30.7	37.7	142.7	25.7	58.4
Empernador	EM-I-11	23.4	19.1	28.4	31.6	30.1	34.7	51.0	33.4	31.0	33.3	25.8	66.4	33.9
	EM-T-08	36.2	30.8	29.6	33.8	28.7	26.5	25.8	29.1	30.2				28.4
Scooptram	SC-I-08	54.2	53.0	76.2	55.9	74.4	74.2	76.3	74.2	59.0	227.4	58.0	108.0	82.6
	SC-I-13	81.8	132.2	211.4	138.3	73.1	71.2	61.8	217.4	69.8	68.4	79.5	89.2	93.9
Dumper	DP-I-01	129.2	44.1	222.5	121.5	203.7	126.9	62.0	89.8	50.3	93.3	51.4	81.3	78.9
Scaler	DM-T-07	31.7	31.9	22.6	29.8	27.9	29.4	30.9	36.7	25.6	31.7	35.4	16.6	31.6
Telehandler	TH-I-02	98.5	166.4	191.1	74.7	139.1	79.1	52.9	74.7	161.5	170.5	66.9	77.6	115.9
Minicargador	MC-T-02	122.9	37.6	112.9	39.4	117.7	67.8	54.0	33.4					73.2
Robot Lanzador	LC-I-01	25.6	62.1	28.1	73.9	27.4	39.0	43.5	50.5	46.6	37.3	37.9	46.2	42.9
	LC-T-01	59.0	20.1	21.2	46.2	49.4	20.6	70.6	59.2	15.6	17.1			36.6
Mixcret	MX-I-03	14.5	15.7	85.4	46.8	53.8	29.7	79.7	88.4	61.3	39.0	30.3	26.4	49.5
	MX-T-01	43.3	45.8	39.9	60.0	49.3	378.0	72.8	53.3	157.5	43.0	37.3	52.3	69.4

ANEXO 2: MTTR de los equipos trackless durante el año 2022

MTTR (Mean Time to Repair) - Tiempo medio de reparación 2022														
Flota	Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Jumbo	JF-I-09	2.8	1.0	2.6	2.4	1.4	2.8	2.1	2.4	1.2	0.4	0.0	0.6	1.6
	JF-T-08	1.8	1.0	1.8	1.7	1.6	2.8	2.3	1.9	2.3	1.9	5.8	2.0	2.2
Empernador	EM-I-11	1.7	1.5	1.9	1.7	1.1	2.0	1.7	1.7	1.6	1.8	2.3	1.0	1.7
	EM-T-08	1.6	1.3	1.9	1.8	1.6	3.1	2.8	2.9	4.2				2.3
Scooptram	SC-I-08	2.0	1.6	2.0	2.3	2.0	1.5	1.2	2.0	2.9	5.3	1.9	1.0	2.1
	SC-I-13	2.5	2.0	0.8	2.5	1.7	1.2	3.6	1.3	1.2	1.3	2.1	1.2	1.8
Damper	DP-I-01	4.0	3.2	25.3	19.5	3.4	6.9	1.4	1.1	6.2	3.1	1.3	1.3	6.4
Scaler	DM-T-07	4.1	3.6	2.0	2.3	1.5	2.5	2.2	4.5	3.1	2.0	2.2	2.6	2.7
Telehandler	TH-I-02	1.3	0.7	1.5	0.6	1.0	0.8	3.2	1.1	6.5	0.5	0.9	0.8	1.6

		MTTR (Mean Time to Repair) - Tiempo medio de reparación 2022												
Flota	Código	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
Minicargador	MC-T-02	2.2	2.3	0.6	3.5	2.2	2.6	1.1	2.4	0.0				1.9
	LC-I-01	8.9	6.2	1.1	1.5	1.1	2.9	1.6	2.7	1.2	1.1	1.4	1.3	2.6
Robot Lanzador	LC-T-01	1.0	2.8	2.9	3.5	2.7	2.5	4.2	3.9	2.3	3.1			2.9
Mixcret	MX-I-03	2.5	5.6	2.3	2.4	3.7	2.0	1.9	1.0	4.5	0.8	1.4	4.4	2.7
	MX-T-01	2.2	1.3	1.3	2.4	1.6	10.8	1.4	1.7	1.3	3.8	2.5	3.0	2.8

ANEXO 3: Disponibilidad de equipos trackless durante el año 2022

		DISPONIBILIDAD MECÁNICA 2022												
Flota	Equipos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	PROM.
Jumbos	JF-I-09	90%	89%	90%	89%	88%	86%	87%	89%	93%	93%	93%	93%	90%
	JF-T-08	89%	89%	88%	89%	87%	85%	86%	87%	88%	87%	90%	90%	88%
Empernador	EM-I-11	88%	87%	87%	87%	88%	85%	90%	89%	87%	87%	86%	93%	88%
	EM-T-08	88%	90%	87%	89%	89%	86%	85%	87%	87%	90%			88%
Scooptram	SC-I-08	87%	85%	88%	89%	91%	90%	91%	85%	88%	91%	87%	89%	88%
	SC-I-13	88%	93%	93%	93%	92%	94%	85%	93%	92%	86%	89%	93%	91%
Dumper	DP-I-01	87%	89%	86%	87%	88%	85%	90%	92%	86%	88%	88%	88%	88%
Scaler	DM-T-07	88%	85%	87%	85%	85%	86%	86%	89%	86%	93%	89%	85%	87%
Telehandler	TH-I-02	93%	94%	93%	92%	93%	93%	91%	93%	90%	90%	93%	94%	93%
Minicargador	MC-T-02	90%	86%	87%	89%	88%	90%	91%	91%	95%	85%			89%
	LC-I-01	90%	87%	93%	93%	89%	89%	92%	87%	92%	93%	90%	91%	90%
Robot	LC-T-01	93%	85%	87%	86%	86%	85%	85%	87%	85%	89%			87%
Mixcret	MX-I-03	91%	91%	93%	89%	86%	86%	91%	92%	89%	94%	89%	90%	90%
	MX-T-01	91%	94%	93%	90%	90%	93%	92%	90%	91%	89%	87%	91%	91%

ANEXO 4: Confiabilidad de equipos trackless durante el año 2022

		Confiabilidad (R) 2022.												
Flota	Equipos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	PROM.
Jumbos	JF-I-09	96%	96%	93%	95%	96%	90%	95%	93%	97%	100%	100%	99%	96%
	JF-T-08	94%	96%	94%	95%	95%	90%	94%	96%	93%	95%	96%	93%	94%
Empernador	EM-I-11	93%	93%	94%	95%	96%	95%	97%	95%	95%	95%	92%	99%	95%
	EM-T-08	96%	96%	94%	95%	95%	89%	90%	91%	88%				93%
Scooptram	SC-I-08	97%	97%	97%	96%	97%	98%	98%	97%	95%	98%	97%	99%	97%



Confiabilidad (R) 2022.															
Flota	Equipos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	PROM.	
	SC-I-13	97%	99%	100%	98%	98%	98%	94%	99%	98%	98%	97%	99%	98%	
Dumper	DP-I-01	97%	93%	90%	86%	98%	95%	98%	99%	89%	97%	98%	98%	95%	
Scaler	DM-T-07	88%	90%	92%	93%	95%	92%	93%	89%	89%	94%	94%	87%	91%	
Telehandler	TH-I-02	99%	100%	99%	99%	99%	99%	94%	99%	96%	100%	99%	99%	98%	
Minicargador	MC-T-02	98%	94%	99%	92%	98%	96%	98%	93%					96%	
Robot	LC-I-01	74%	91%	96%	98%	96%	93%	96%	95%	98%	97%	96%	97%	94%	
	LC-T-01	98%	88%	88%	93%	95%	89%	94%	94%	87%	85%			91%	
Mixcret	MX-I-03	85%	74%	97%	95%	94%	94%	98%	99%	93%	98%	96%	86%	92%	
	MX-T-01	95%	97%	97%	96%	97%	97%	98%	97%	99%	92%	94%	95%	96%	

ANEXO 5: Pruebas de normalidad de las variables por cada equipo

Pruebas de normalidad								
	Agrupación	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk			
		JF	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF Frontero	JumboPretest		,131	12	,200*	,982	12	,991
	Postest		,273	12	,014	,856	12	,044
MTTR Frontero	JumboPretest		,457	12	,000	,474	12	,000
	Postest		,193	12	,200*	,909	12	,207
DM Frontero	JumboPretest		,412	12	,000	,520	12	,000
	Postest		,220	12	,115	,885	12	,102
Confiabilidad JF	Pretest		,306	12	,003	,638	12	,000
	Postest		,144	12	,200*	,948	12	,601

Pruebas de normalidad

	Agrupación	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF Scooptram	Pretest	,250	12	,037	,738	12	,002
	Postest	,385	12	,000	,589	12	,000
MTTR Scooptram	Pretest	,224	12	,097	,789	12	,007
	Postest	,301	12	,004	,743	12	,002
DM Scooptram	Pretest	,361	12	,000	,650	12	,000
	Postest	,135	12	,200*	,913	12	,232
Confiabilidad Scooptram	Pretest	,347	12	,000	,672	12	,000
	Postest	,269	12	,016	,904	12	,181

Pruebas de normalidad

	Agrupación	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF Empernador	Pretest	,168	12	,200*	,889	12	,114
	Postest	,312	12	,002	,812	12	,013
MTTR Empernador	Pretest	,217	12	,125	,882	12	,093
	Postest	,204	12	,180	,932	12	,397
DM Empernador	Pretest	,175	12	,200*	,885	12	,102
	Postest	,239	12	,057	,867	12	,061
Confiabilidad Emp	Pretest	,240	12	,056	,932	12	,398
	Postest	,232	12	,073	,933	12	,410



Pruebas de normalidad							
	Agrupación Dumper	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF Dumper	Pretest	,186	3	.	,998	3	,919
	Postest	,276	3	.	,943	3	,538
MTTR Dumper	Pretest	,358	3	.	,814	3	,147
	Postest	,385	3	.	,750	3	,000
DM Dumper	Pretest	,272	3	.	,947	3	,554
	Postest	.	3	.	.	3	.
Confiabilidad Dumper	Pretest	,343	3	.	,842	3	,220
	Postest	,385	3	.	,750	3	,000

Pruebas de normalidad							
	Agrupación scaler	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF scaler	Pretest	,314	3	.	,893	3	,363
	Postest	,315	3	.	,891	3	,357
MTTR scaler	Pretest	,359	3	.	,810	3	,138
	Postest	,253	3	.	,964	3	,637
DM scaler	Pretest	,292	3	.	,923	3	,463
	Postest	,175	3	.	1,000	3	1,000
Confiabilidad scaler	Pretest	,181	3	.	,999	3	,942
	Postest	,385	3	.	,750	3	,000



Pruebas de normalidad							
	agrupación	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF Telehandler	Pretest	,196	12	,200*	,874	12	,073
	Postest	,253	12	,032	,866	12	,058
MTTR telehandler	Pretest	,242	12	,052	,747	12	,003
	Postest	,351	12	,000	,617	12	,000
DM telehandler	Pretest	,374	12	,000	,640	12	,000
	Postest	,331	12	,001	,823	12	,017
Confiabilidad telehandler	Pretest	,267	12	,018	,762	12	,004
	Postest	,447	12	,000	,645	12	,000

Pruebas de normalidad							
	agrupación	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF minicargador	Pretest	,290	8	,046	,861	8	,124
	Postest	,223	8	,200*	,833	8	,063
MTTR minicargador	Pretest	,316	8	,018	,780	8	,017
	Postest	,289	8	,048	,919	8	,418
DM minicargador	Pretest	,310	8	,023	,753	8	,009
	Postest	,205	8	,200*	,919	8	,424
Confiabilidad minicargador	Pretest	,236	8	,200*	,882	8	,195
	Postest	,273	8	,081	,879	8	,185

Pruebas de normalidad							
	agrupación robot	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF robot	Pretest	,314	12	,002	,839	12	,027
	Postest	,155	12	,200*	,928	12	,362
MTTR robot	Pretest	,286	12	,008	,775	12	,005
	Postest	,322	12	,001	,664	12	,000
DM robot	Pretest	,301	12	,004	,786	12	,007
	Postest	,169	12	,200*	,901	12	,163
Confiabilidad robot	Pretest	,333	12	,001	,709	12	,001
	Postest	,315	12	,002	,586	12	,000

Pruebas de normalidad							
	agrupación mixcret	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MTBF mixcret	Pretest	,302	12	,003	,659	12	,000
	Postest	,161	12	,200*	,918	12	,270
MTTR mixcret	Pretest	,274	12	,013	,731	12	,002
	Postest	,221	12	,107	,928	12	,358
DM mixcret	Pretest	,267	12	,018	,796	12	,008
	Postest	,164	12	,200*	,943	12	,539
Confiabilidad Mixcret	Pretest	,290	12	,006	,820	12	,016
	Postest	,282	12	,009	,800	12	,009

ANEXO 6: Ficha Técnica de equipos Trackless presentes en el ciclo de minado

Orcopampa de la empresa INCIMMET S.A.

	INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01
			FECHA:	15/12/2020
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION		VERSION:	2
			PAGINA:	1 de 1
Nombre del Proyecto		ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE	
Código Activo	THH-02			
Sufijo	1			
Descripción	TELEHANDER MANITOU MLTX625-75H			
Marca	MANITOU			
Modelo	MLTX625-75H			
Serie	MAND0000H01028398			
Año de Fabricación	Ene-20			
Capacidad	2.5TN			
Peso	4922KG			
Familia de equipo	TELEHANDER			
Fecha	Nov-20			
Horómetro * 1*	9.5			
Horómetro * 2 *				
Incremento Vida Util	10,000	Horas (depreciación x horómetro)		
		Meses (depreciación por tiempo)		

	INFORME DE ACTIVACIÓN EQUIPOS		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01		
			FECHA:	18/06/2021		
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION		VERSION:	1		
			PAGINA:	1 de 1		
Nombre del Proyecto		ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	MAX RIVERA		
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE			
Código Activo	DM-T-07					
Sufijo	1					
Descripción	DESATADOR MECANICO 4.6MTS					
Marca	PAUS					
Modelo	853 S8					
Serie	1035860					
Año de Fabricación	2016					
Capacidad	7.5MTS					
Familia de equipo	DESATADOR MECANICO					
Fecha de Entrada en Operación	Oct-21					
Horómetro Diesel	118.4					
Horómetro Percusión / Eléctrico / Otro						
Vida util del Equipo (remanente en caso de equipos usados)	5,000	Horas (depreciación x horómetro)				
		Meses (depreciación por tiempo)				

	INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS SISTEMA INTEGRADO DE GESTION	CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01	
		FECHA:	15/12/2020	
		VERSION:	2	
		PAGINA:	1 de 1	
Nombre del Proyecto		ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL ALAYA

1. DATOS GENERALES		FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE
Código Activo	MX-I-03	
Sufijo		
Descripción	REPARACION EQUIPO MESCLADOR DE CONCRETO LORENZANA (URON4)	
Marca	LORENZANA	
Modelo	URON 4	
Serie	H.0413.141	
Año de Fabricación	2013	
Capacidad	4 M3	
Peso	7000 Kg	
Familia de equipo	shocrete	
Fecha	Nov-20	
Horómetro " 1 "	1361.1	
Horómetro " 2 "		
Incremento Vida Util	6.000 Horas (depreciación x horómetro) Meses (depreciación por tiempo)	

	INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS SISTEMA INTEGRADO DE GESTION	CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01	
		FECHA:	15/12/2020	
		VERSION:	2	
		PAGINA:	1 de 1	
Nombre del Proyecto		ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL

1. DATOS GENERALES		FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE
Código Activo	MC-T-02	
Sufijo	1	
Descripción	MINICARGADOR	
Marca	CATERPILLAR	
Modelo	246D3	
Serie	GMB00673	
Año de Fabricación	2020	
Capacidad	0.57N	
Peso	3.57N	
Familia de equipo	EQUIPO AUXILIAR	
Fecha	Nov-20	
Horómetro " 1 "	250	
Horómetro " 2 "		
Incremento Vida Util	14.000 Horas (depreciación x horómetro) Meses (depreciación por tiempo)	

	INFORME DE ACTIVACIÓN EQUIPO		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01
			FECHA:	18/06/2021
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION		VERSION:	1
			PAGINA:	1 de 1
Nombre del Proyecto	ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	MAX RIVERA	
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE	
Código Activo	DP-I-01			
Sufijo	1			
Descripción	CAMION DE BAJO PERFIL DE 20 TN CON CANOPY			
Marca	SANDVIK			
Modelo	TH320			
Serie	T720D538			
Año de Fabricación	2017			
Capacidad	20 toneladas			
Familia de equipo	Camion Dumper			
Fecha de Entrada en Operación	Set-21			
Horómetro Diesel	7766.0 horas			
Horómetro Percusión / Eléctrico / Otro				
Vida útil del Equipo (remanente en caso de equipos usados)	10.000	Horas (depreciación x horómetro)		
		Meses (depreciación por tiempo)		

	INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01
			FECHA:	15/01/2021
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION		VERSION:	2
			PAGINA:	1 de 1
Nombre del Proyecto	ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL ALAYA	
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE	
Código Activo	SC-I-13			
Sufijo				
Descripción	SCOOPTRAM SANDVIK LH307			
Marca	SANDVIK			
Modelo	LH307			
Serie	SLHL307DCM40B1372			
Año de Fabricación	Feb-21			
Capacidad	4.0YD (7TN)			
Peso	19280			
Familia de equipo	SCOOP			
Fecha	Jun-21			
Horómetro "1"	0			
Horómetro "2"				
Incremento Vida Útil	14.000	Horas (depreciación x horómetro)		
		Meses (depreciación por tiempo)		

	<p style="text-align: center;">INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA INTEGRADO DE GESTION</p>		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01
			FECHA:	15/12/2020
			VERSION:	2
			PAGINA:	1 de 1
Nombre del Proyecto	ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL ALAYA	
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE	
Código Activo	LC-1-01			
Sufijo				
Descripción	REPARACION EQUIPO LANZADOR DE CONCRETO ALPHA20			
Marca	NORMET			
Modelo	ALPHA20			
Serie	S20824			
Año de Fabricación	2013			
Capacidad	18M3/HR			
Peso	7500KG			
Familia de equipo	shocrete			
Fecha	Nov-20			
Horómetro " 1 "	164			
Horómetro " 2 "				
Incremento Vida Util	5.000	Horas (depreciación x horómetro)		
		Meses (depreciación por tiempo)		

	<p style="text-align: center;">INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS</p> <p style="text-align: center;">SISTEMA INTEGRADO DE GESTION</p>		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01
			FECHA:	24/11/2020
			VERSION:	2
			PAGINA:	1 de 1
Nombre del Proyecto	ORCOPAMPA	Usuario Solicitante	FERNANDO AMAMBAL ALAYA	
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE	
Código Activo	JF-1-09			
Sufijo	2			
Descripción	JUMBO FRONTONERO DE UN BRAZO CON VIGA DE 14 PIES			
Marca	SANDVIK			
Modelo	DD311			
Serie	L17D5685-1RM			
Año de Fabricación	REMAN 2017			
Capacidad	14 PIES			
Peso	15500KG			
Familia de equipo	Jumbo frontonero			
Fecha	Nov-20			
Horómetro " 1 " (diesel)	1512.3			
Horómetro " 2 " (percusion)	2.5			
Incremento Vida Util	4.500	Horas (depreciación x horómetro)		
		Meses (depreciación por tiempo)		

	INFORME DE ACTIVACIÓN DE EQUIPOS		CODIGO:	INC-PC-GF-04-F-01	
			FECHA:	24/11/2020	
			VERSION:	2	
	SISTEMA INTEGRADO DE GESTION		PAGINA:	1 de 1	
Nombre del Proyecto		ORCOPAMPA	Usuario Solicitante		MAX ROY RIVERA MONTALVO
1. DATOS GENERALES			FOTO INICIAL EQUIPO / COMPONENTE		
Código Activo	EM-I-08				
Sufijo	2				
Descripción	JUMBO EMPERNADOR BOLTER88 CON TORRET99				
Marca	RESEMIN				
Modelo	BOLTER88				
Serie	JMC-346				
Año de Fabricación	2016				
Capacidad	8 PIES				
Peso	14220KG				
Familia de equipo	Empernador				
Fecha	Nov-20				
Horómetro " 1 " (diesel)	23.5				
Horómetro " 2 " (electrico)	5.1				
Incremento Vida Util	5,000	Horas (depreciación x horómetro)			
		Meses (depreciación por tiempo)			



ANEXO 7: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Max Roy Rivera Montalvo, identificado con DN 73146494 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“APLICACIÓN DEL RCA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ PARA MEJORAR LOS INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO KPIS DE LA FLOTA DE EQUIPOS TRACKLESS DE LA EMPRESA INCIMMET S.A. PERIODO 2021”

Es un tema original.

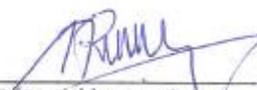
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de enero del 2024


FIRMA (obligatoria)
MAX ROY RIVERA MONTALVO



Huella



ANEXO 8: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Max Roy Rivera Montalvo, identificado con DNI: 73146494, en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniera Mecánica Eléctrica

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"APLICACIÓN DEL RCA ANÁLISIS CAUSA RAÍZ PARA MEJORAR LOS INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO KPIS DE LA FLOTA DE EQUIPOS TRACKLESS DE LA EMPRESA INCIMMET S.A. PERIODO 2021"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de enero del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella