

“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA
EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS EN UNA
EMPRESA DE MANTENIMIENTO”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Roberto Carlos Trujillo Hermitaño

Asesor:

Mg. Ing. Fernando Renato Huayna Ávila
<https://orcid.org/0009-0000-2103-9324>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Wilson Alcides Gonzales Abanto	70211187
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

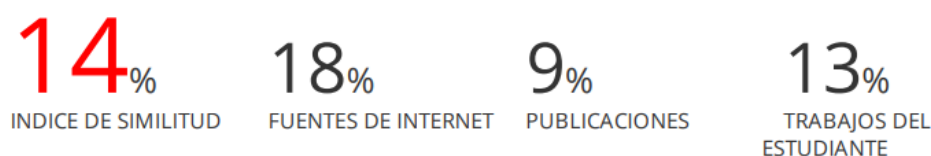
Jurado 2	Erick Humberto Rabanal Chávez	42009981
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Eduardo Martin Reyes Rodriguez	41212791
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis de Roberto Trujillo Hermitaño

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	4%
3	cict.umcc.cu Fuente de Internet	3%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uasf.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Para mis padres, quienes son mi fuerza y fortaleza y quienes me inspiran a seguir superándome.

AGRADECIMIENTO

A mi familia y brindarme todo el apoyo para continuar con mi crecimiento
profesional

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE FÓRMULAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Objetivos	21
1.4. Hipótesis	22
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS	27
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS	35
ANEXOS	38

Índice de tablas

Tabla 1 Disponibilidad promedio de los equipos periodo 2017 – 2022.....	12
Tabla 2 MTBF promedio de los equipos periodo 2017 – 2022.....	13
Tabla 3 MTTR promedio de los equipos periodo 2017 – 2022	14
Tabla 4 Criterio de detectabilidad para la evaluación de los efectos de falla.....	17
Tabla 5 Criterio de severidad para la evaluación de los efectos de falla.....	17
Tabla 6 Criterio de ocurrencia para la evaluación de los efectos de falla	18
Tabla 7 Criterio de semaforización de acuerdo al valor del número de prioridad del riesgo (NPR).....	18
Tabla 8 Matriz de operacionalización de variables	24
Tabla 9 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
Tabla 10 Instrumentos para el diagnóstico del problema de investigación.....	26
Tabla 11 Resumen de indicadores según equipo y modelo antes de la propuesta de implementación	29
Tabla 12 Resumen de indicadores según equipo y modelo después de la propuesta de implementación	31

Índice de figuras

Figura 1 Disponibilidad promedio de los equipos periodo 2017 – 2022.....	12
Figura 2 MTBF promedio de los equipos periodo 2017 – 2022	13
Figura 3 MTTR promedio de los equipos periodo 2017 – 2022	14
Figura 4 Clasificación de los equipos para el análisis de criticidad	16
Figura 5 Diagrama de Ishikawa.....	28
Figura 6 Diagrama de Pareto	29

Índice de fórmulas

Disponibilidad =

$\frac{\text{Tiempo de actividad (hrs)}}{\text{Tiempo disponible total hrs} - \text{Tiempo de parada (hrs)}} \times 100$
..... 18

Fiabilidad = $\frac{\text{Tiempo total disponible} - \text{tiempo de inactividad}}{\text{Número de paradas}} \dots\dots 19$

Mantenibilidad = $\frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número de reparaciones}} \dots\dots\dots 19$

RESUMEN

La empresa de mantenimiento presentó problemas de baja eficiencia de sus equipos lo que generó una ineficiencia operativa y un costo de mantenimiento de S/ 480 800 durante el año 2021 y 2022. El objetivo de esta investigación fue elaborar la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia de la excavadora modelo EX2500-6 y EX2500-5. El tipo de investigación fue aplicada, con diseño no experimental, con nivel explicativo y enfoque cuantitativo.

El diagnóstico inicial determinó que las causas principales de la baja eficiencia fueron las fallas mecánicas y eléctricas recurrentes y la falta de estrategias de mantenimiento. La eficiencia de los equipos según la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se estimó mejorar, para ello dentro de la metodología se empleó el análisis de modal de fallos y efectos, análisis de criticidad, mantenimiento, plan de mantenimiento preventivo y plan de capacitaciones. Con todo esto, se lograría incrementar la disponibilidad en 10,78%, reducir el MTTR en 49,67% e incrementar el MTBF en 33,90%.

La evaluación económica financiera demostró que la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad según el análisis fue viable, con un VAN de S/ 108 928,31, una TIR de 44,96%, una relación de beneficio/costo de S/ 1,72 y un periodo de recupero de inversión de 2,91 años.

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento centrado en la confiabilidad, eficiencia de equipos, empresa de mantenimiento.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad, las empresas buscan ser más eficientes para lograr posicionarse con mayor firmeza en un determinado sector industrial, para ello es necesario la utilización de herramientas de gestión que permita lograr dicho objetivo. Para ello, las empresas invierten en mejorar sus activos tangibles como los equipos o maquinaria. Esta mejora se suele dar a través de la aplicación del mantenimiento para lograr que los equipos operen con normalidad. Una de las metodologías más utilizadas hoy en día es el mantenimiento centrado en la confiabilidad que busca lograr un correcto funcionamiento de los equipos a través de análisis minucioso de los componentes más críticos de dichos equipos con la finalidad de evitar que fallen y que generen costos a la empresa.

En ese sentido, muchas empresas no suelen incorporar esta metodología de mantenimiento en sus procesos para evitar fallas y tiempos muertos de operación. Por tal motivo, suelen incurrir en mantenimientos correctivos que les generan sobrecostos e impacta su competitividad en el mercado. Tal es el caso de la empresa en estudio, que se dedica a brindar servicios de mantenimientos a grandes empresas a nivel nacional y que tienen problemas de baja eficiencia. Los problemas de eficiencia están relacionados a la falla recurrente de componentes, plan de mantenimiento tradicional (mantenimiento preventivo), bajo uso del mantenimiento de monitoreo de condiciones y falta de análisis de criticidad de los componentes principales en los equipos, principalmente en las excavadoras modelo EX2500-6 y en excavadora modelo EX2500-5. Por otro lado, las consecuencias que trajo la baja eficiencia de los equipos fue la disconformidad del cliente con el servicio de mantenimiento, quejas del cliente por las paradas constantes de los equipos y la generación de costos por garantía de componentes.

A continuación, en las tablas 1, 2 y 3 y figuras 1, 2 y 3 se muestran una tabla resumen y gráfica con la disponibilidad, MTBF (Mean Time Between Failures – Tiempo Medio entre Fallas) y MTTR (Mean Time to Repair – Tiempo Medio de Reparación) de los equipos durante los últimos 5 años.

Tabla 1

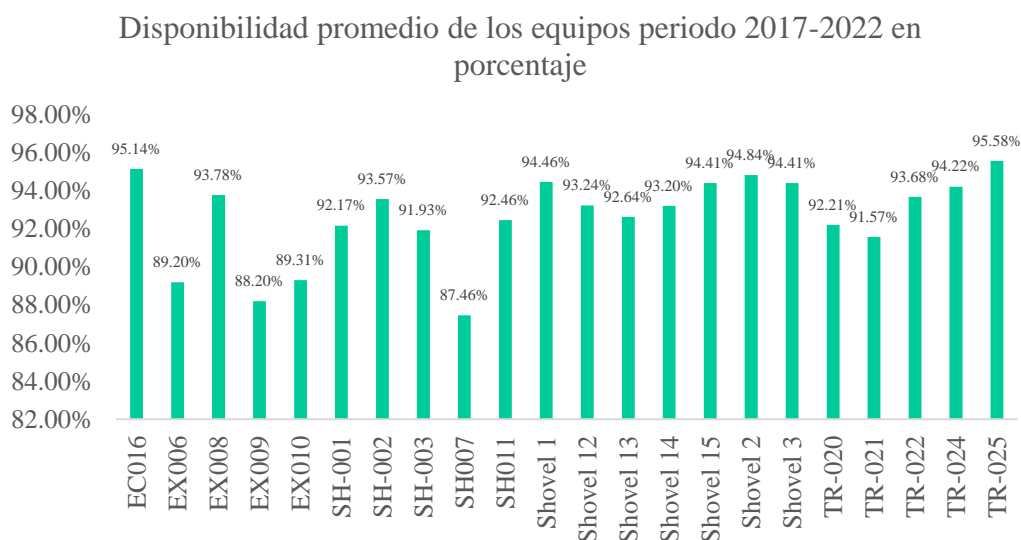
Disponibilidad promedio de los equipos periodo 2017 – 2022

Equipo	Total (Porcentaje)
EC016	95.14%
EX006	89.20%
EX008	93.78%
EX009	88.20%
EX010	89.31%
SH-001	92.17%
SH-002	93.57%
SH-003	91.93%
SH007	87.46%
SH011	92.46%
Shovel 1	94.46%
Shovel 12	93.24%
Shovel 13	92.64%
Shovel 14	93.20%
Shovel 15	94.41%
Shovel 2	94.84%
Shovel 3	94.41%
TR-020	92.21%
TR-021	91.57%
TR-022	93.68%
TR-024	94.22%
TR-025	95.58%

Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Figura 1

Disponibilidad promedio de los equipos periodo 2017 – 2022



Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Tabla 2

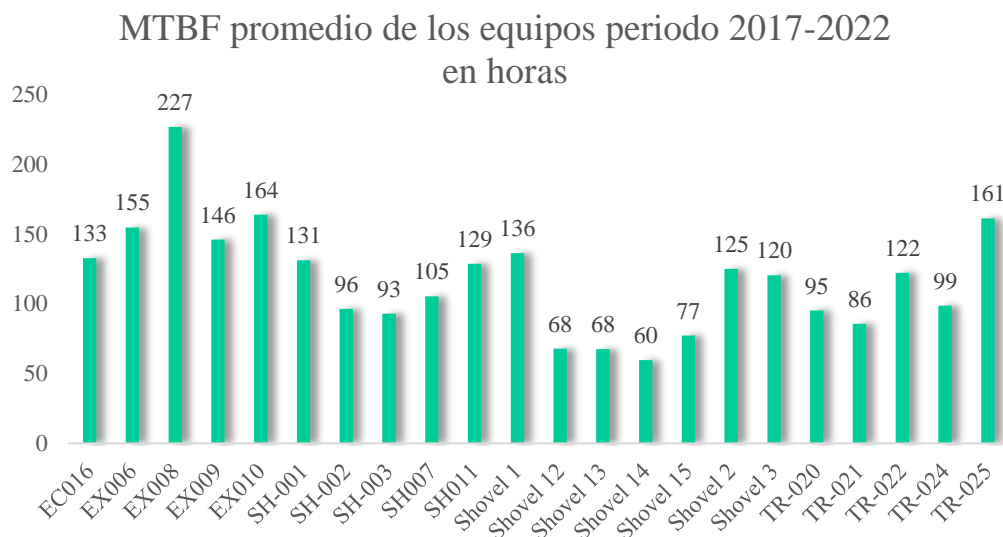
MTBF promedio de los equipos periodo 2017 – 2022

Equipo	Total (Horas)
EC016	133
EX006	155
EX008	227
EX009	146
EX010	164
SH-001	131
SH-002	96
SH-003	93
SH007	105
SH011	129
Shovel 1	136
Shovel 12	68
Shovel 13	68
Shovel 14	60
Shovel 15	77
Shovel 2	125
Shovel 3	120
TR-020	95
TR-021	86
TR-022	122
TR-024	99
TR-025	161

Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Figura 2

MTBF promedio de los equipos periodo 2017 – 2022



Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Tabla 3

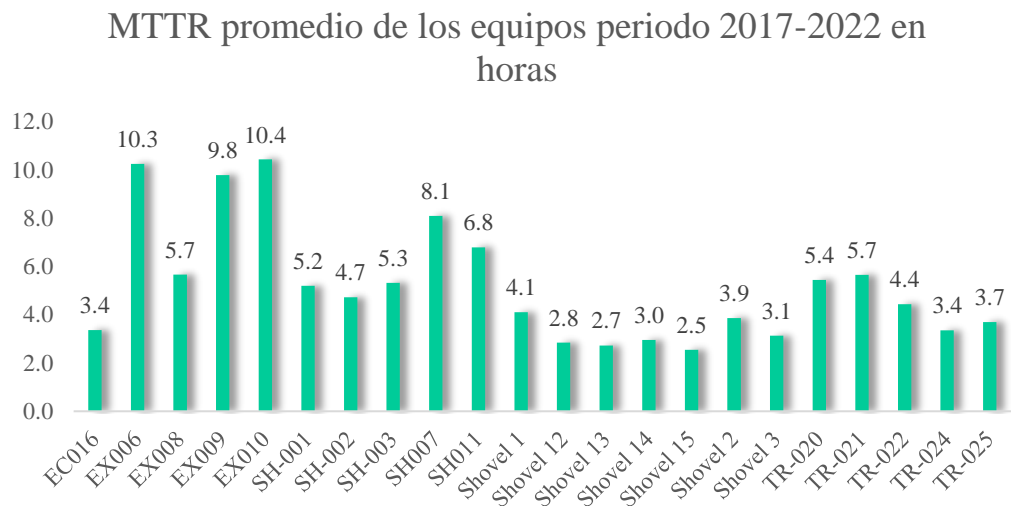
MTTR promedio de los equipos periodo 2017 – 2022

Equipo	Total (Horas)
EC016	3.4
EX006	10.3
EX008	5.7
EX009	9.8
EX010	10.4
SH-001	5.2
SH-002	4.7
SH-003	5.3
SH007	8.1
SH011	6.8
Shovel 1	4.1
Shovel 12	2.8
Shovel 13	2.7
Shovel 14	3.0
Shovel 15	2.5
Shovel 2	3.9
Shovel 3	3.1
TR-020	5.4
TR-021	5.7
TR-022	4.4
TR-024	3.4
TR-025	3.7

Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Figura 3

MTTR promedio de los equipos periodo 2017 – 2022



Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

A continuación, se detallan las bases teóricas de las variables de investigación.

En primer lugar, se detalla la variable independiente (mantenimiento centrado en la confiabilidad).

Definición de Variable Independiente.

Para Espinosa et al. (2020), el mantenimiento centrado en la confiabilidad se basa en el mantenimiento exclusivo de los componentes más críticos de un equipo y que permite el correcto funcionamiento del mismo con la finalidad de evitar que falle y se generen mantenimientos correctivos. Por otra parte, Gangi et al. (2012, citado en Andrade y Herrera, 2021) mencionaron que el mantenimiento centrado en la confiabilidad se basa en el análisis de efectos y modos de falla para describir la falla, su función, modo de fallo y el efecto que genera en el equipo analizado. Finalmente, Díaz et al. (2016) mencionaron que el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología que analiza sistemáticamente cualquier tipo de instalación industrial y que permite optimizar un plan de mantenimiento preventivo para que sea eficiente y efectivo.

Fases de implementación.

Las fases de la implementación del RCM (Reliability centered maintenance - Mantenimiento centrado en la confiabilidad) según Espinosa et al. (2020) son las siguientes:

- Preparación para el análisis: en esta fase se realizan entrevistas, se revisan documentos de la empresa y se realizan reuniones de equipo para buscar el incremento de la confiabilidad operativa de los equipos.
- Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos: se selecciona los equipos críticos
- Estudio detallado el funcionamiento del sistema: se analiza por completo el funcionamiento del sistema de cada equipo de la empresa.
- Determinación de las fallas: se determinan las fallas más recurrentes de cada equipo en la empresa.
- Determinación de los modos de fallas: se determinan los motivos por el cual fallan estos equipos.

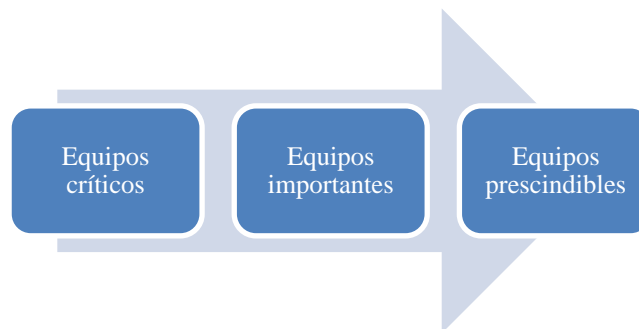
- Estudio de la consecuencia de cada modo de falla: se determina el nivel de criticidad de los equipos a través del análisis de la criticidad del equipo e importancia.
- Determinación de las medidas preventivas: se describen las tareas de mantenimiento como: inspecciones visuales, lubricación, verificación, tareas condicionales, tareas sistemáticas y grandes revisiones (mantenimiento cero horas).

Análisis de criticidad.

Solis (2022) menciona que al realizar un análisis de criticidad, se busca establecer un método para determinar las jerarquías con la finalidad de repartir los componentes de los equipos y sistemas de una manera controlada. A continuación, en la figura 4 se muestra la clasificación de los equipos.

Figura 4

Clasificación de los equipos para el análisis de criticidad



Nota. Tomado de Solis (2022)

- Equipos críticos: su parada, avería o mal funcionamiento afecta significativamente los resultados de la empresa.
- Equipos importantes: su parada, avería o mal funcionamiento, afectan a la empresa, pero sus consecuencias son asumibles.
- Equipos prescindibles: su parada, avería o mal funcionamiento, tienen una incidencia escasa en los resultados con un costo mínimo adicional.

Análisis de modos y causas de falla.

Campos et al. (2019) definen el modo de falla como el efecto por medio del cual una falla se logra observar. Este modo de falla puede ser cuantificable o un evento que indica la ocurrencia de una falla.

El efecto de la falla se puede categorizar según cuatro criterios:

- Detectabilidad
- Severidad
- Ocurrencia
- SemafORIZACIÓN

A continuación, en las tablas 4, 5, 6 y 7 se muestran los criterios de detectabilidad, severidad, ocurrencia y semafORIZACIÓN respectivamente.

Tabla 4

Criterio de detectabilidad para la evaluación de los efectos de falla

Nivel	Criterio
4	No hay probabilidad de detectar causas de falla potenciales a tiempo, se puede llegar a falla funcional
3	Baja probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
2	Mediana probabilidad de detectar causas de falla potenciales y corregirlas a tiempo
1	Causa de falla potencial fácilmente detectable y corregida durante la operación

Nota. Tomado de Campos et al. (2019)

Tabla 5

Criterio de severidad para la evaluación de los efectos de falla

Nivel	Criterio
4	Efectos críticos en la seguridad o en el medio ambiente, pueden existir lesiones, muertes o efectos irreversibles en el medio ambiente
3	Efectos importantes en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas importantes por tiempo de paro y / o reparación
2	Efecto leve en la capacidad productiva, hay pérdidas económicas leves por tiempo de paro o reparación
1	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes

Nota. Tomado de Campos et al. (2019)

Tabla 6

Criterio de ocurrencia para la evaluación de los efectos de falla

Nivel	Criterio
4	Pueden ocurrir varias fallas al año (Tasa de fallas ≥ 1 fallas / año)
3	$0,3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas / año)
2	$0,1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0,3$ (fallas / año)
1	Tasa de fallas $0,1 \leq$ (fallas / año)

Nota. Tomado de Campos et al. (2019)

Tabla 7

Criterio de semaforización de acuerdo al valor del número de prioridad del riesgo (NPR)

Semaforización	Criterio
Rojos	$\text{NPR} \geq 36$
Amarillo	$7 < \text{NPR} < 36$
Verde	$\text{NPR} \leq 7$

Nota. Tomado de Campos et al. (2019)

En segundo lugar, se detalla la variable dependiente (eficiencia).

Definición de Variable Dependiente.

Para Quintero et al. (2017), la eficiencia es el máximo resultado alcanzado de productividad a partir del uso de determinados recursos. Por otra parte, Yeverino y Montoro (2019) mencionaron que la eficiencia es la utilización correcta y mínima de recursos para lograr conseguir una meta.

Indicadores.

Para evaluar la eficiencia se determinó utilizar los indicadores de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad. A continuación, se detallan cada uno de ellos con su respectiva fórmula de cálculo.

Disponibilidad.

Para Gallegos et al. (2020), la disponibilidad de los equipos es la capacidad de un equipo de estar en óptimas condiciones para cumplir sus funciones con normalidad.

La fórmula para el cálculo de la disponibilidad de los equipos según The Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP, 2022) es:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de actividad (hrs)}}{\text{Tiempo disponible total (hrs)} - \text{Tiempo de parada (hrs)}} \times 100$$

Fiabilidad.

Para Gallegos et al. (2020), la fiabilidad de los equipos es la aptitud que tiene un equipo para realizar una tarea requerida en condiciones idóneas y durante un lapso de tiempo determinado.

La fórmula para el cálculo de la fiabilidad de los equipos según Canahua (2020) es:

$$Fiabilidad = \frac{Tiempo\ total\ disponible - tiempo\ de\ inactividad}{Número\ de\ paradas}$$

Mantenibilidad.

Para Gallegos et al. (2020), la mantenibilidad de los equipos es la probabilidad de ser devuelto un equipo en óptimas condiciones con la finalidad que pueda cumplir sus funciones y actividades de acuerdo a los procedimientos.

La fórmula para el cálculo de la mantenibilidad de los equipos según Canahua (2020) es:

$$Mantenibilidad = \frac{Tiempo\ total\ de\ mantenimiento}{Número\ de\ reparaciones}$$

En cuanto a los antecedentes internacionales, Díaz (2020) realizó una investigación sobre “Implementación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos mineros”, tesis de pregrado de la Universidad Pontificia Bolivariana – Colombia. El objetivo general de la investigación fue implementar la metodología RCM en los activos fijos en una empresa minera. Se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño pre experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con la aplicación del RCM se logró incrementar la disponibilidad de los equipos promedio de 90,77% a 96,77%, es decir hubo un incremento de 6,61%. Esto a raíz de la disminución de las horas de parada e incremento de las horas de operación de cada equipo minero en la empresa.

Cruz (2018) realizó una investigación sobre “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir interrupciones”, tesis de maestría de la Universidad Andina Simón Bolívar – Bolivia. El objetivo general de la investigación fue crear un nuevo plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para reducir las interrupciones en las redes de distribución. Se empleó un enfoque mixto con un diseño experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con la creación del nuevo plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad se

logró reducir el número de interrupciones promedio en 5,45%, lo que trajo consigo un mejor rendimiento en la transmisión y distribución del flujo eléctrico.

En cuanto a los antecedentes nacionales, Salas (2022) realizó una investigación sobre “Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad en equipos mineros”, tesis de maestría de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa – Perú. El objetivo general de la investigación fue desarrollar el plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad de tractores de oruga Caterpillar. Se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño pre experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con la implementación del plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM se logró incrementar la disponibilidad promedio de los equipos de 87,63% en el año 2017 a 91,58% en el año 2020, es decir un incremento de 4,51%, se logró incrementar el MTBF promedio de 42,54 horas / año en 2017 a 64.17 horas / año en 2020, es decir un incremento de 50,85% y se logró reducir el MTTR promedio de 9,15 horas / año en 2017 a 6,47 horas / año, es decir una reducción de 41,42%.

Astete (2018) realizó una investigación sobre “Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para equipos mineros”, tesis de pregrado de la Universidad Nacional del Centro del Perú – Perú. El objetivo general de la investigación fue diseñar un plan de gestión de mantenimiento que ayude a mejorar la disponibilidad del equipo Scooptram en la empresa minera. Se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño pre experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con el diseño del plan de gestión de mantenimiento se logró incrementar la disponibilidad de los equipos promedio de 93,65% a 98,23%, es decir un incremento de 4,89%, se logró incrementar el MTBF promedio de 73,05 horas / año a 99,65 horas / año, es decir un incremento de 36,41% y se logró reducir el MTTR de 5,14 horas / año a 2,36 horas / año, es decir una reducción de 54,09%.

En cuanto a los antecedentes locales, Villena (2023) realizó una investigación sobre “Aplicación de RCM en una empresa de servicio de mantenimiento para mejorar el OEE de equipos mineros”, tesis de pregrado de la Universidad Privada del Norte – Perú. El objetivo general de la investigación fue aplicar la metodología RCM para mejorar el OEE de los equipos en una empresa minera. Se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño pre experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con la aplicación del RCM se logró incrementar la disponibilidad promedio de

92,39% a 97,60%, es decir un incremento de 5,64%, se logró incrementar el rendimiento de 91,42% a 98,11%, es decir un incremento de 7,32% y se logró incrementar la calidad de 72,09% a 75,57%, es decir un incremento de 4,83%. Por otro lado, se logró un VAN de US\$ 51 315,05, una TIR de 89,86% y un B/C de S/ 2,24.

Abad (2022) realizó una investigación sobre “Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad operativa de equipos de minería”, tesis de pregrado de la Universidad Privada del Norte – Perú. El objetivo general de la investigación fue determinar en qué medida la aplicación del RCM incrementa la disponibilidad de los equipos mineros. Se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño pre experimental. El investigador llegó a la conclusión que:

Con la aplicación de la metodología RCM se logró incrementar el MTBF promedio de 13,7 horas / año a 18 horas / año, es decir un incremento de 31,39%, se logró incrementar la disponibilidad promedio de 76,34% a 92,98%, es decir un incremento de 21,80% y una reducción del MTTR promedio de 4,2 horas / año a 2,3 horas / año, es decir una reducción de 45,24%. Por otro lado, se logró un VAN de S/ 50 413,14, una TIR de 52,37%, un B/C de S/ 3,71 y un PRI de 2,14 años.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en la mejora de la eficiencia de los equipos en una empresa de mantenimiento?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Elaborar la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia de la excavadora modelo EX2500-6 y excavadora modelo EX2500-5 una empresa de mantenimiento.

Objetivos Específicos

- Aumentar la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos en un 5%.
- Realizar la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

- Determinar la viabilidad económica financiera de la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a través de la medición de la relación beneficio - costo (B/C) para garantizar un 10% de rentabilidad.

1.4. Hipótesis

La propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la eficiencia de la excavadora modelo EX2500-6 y excavadora modelo EX2500-5 en una empresa de mantenimiento.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología empleada en la investigación, el enfoque de la investigación fue cuantitativo, ya que Sánchez (2019) menciona que en este tipo de investigación se trata con fenómenos que son medibles por medio del empleo de técnicas estadísticas para el análisis de datos. En ese sentido, se utilizó el enfoque cuantitativo para recolectar y analizar los datos para comprobar la hipótesis de investigación.

Respecto al nivel de la investigación, fue aplicada porque se buscó conseguir un nuevo conocimiento para lograr solucionar problemas prácticos. Para el caso de esta investigación, se revisaron teorías, investigaciones y revistas científicas sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia de los equipos.

Por otro lado, el alcance de la investigación fue explicativo, ya que se busca una explicación a ciertos fenómenos y además es obligatorio el planteamiento de hipótesis de investigación para la determinación de una relación causa-efecto (Ramos, 2020). En esta investigación se buscó conocer las causas y efectos que generaron la baja eficiencia de los equipos de la empresa.

Finalmente, el diseño de la investigación esta fue no experimental, ya que no se manipuló la variable independiente para ver la respuesta sobre la variable dependiente (Álvarez, 2020). En la investigación se buscó determinar la mejora de la eficiencia a través de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Luego de analizar el enfoque, nivel, alcance y diseño de investigación se procedió a determinar la población y muestra del estudio.

En primera lugar, la población “es un conjunto de casos definidos, limitados y accesibles que formarán el referente para la elección de la muestra y que cumple con una serie de criterios predeterminados” (Arias et al., 2016, p.3). Para la presente investigación la población fue la totalidad de equipos con los que cuenta la empresa. Por otra parte, la muestra “es un subgrupo de la población en estudio que cuentan con las mismas características” (Arias et al., 2016, pp.3-4). En ese sentido la muestra fueron dos equipos (excavadora hidráulica modelo EX2500-5 y excavadora hidráulica modelo EX2500-6), los cuales fueron elegidos por medio de la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia. Esto debido a que fueron seleccionados por la fácil accesibilidad a la información y cercanía para el investigador (Otzen y Manterola, 2017).

En cuanto a la operacionalización de las variables de estudio en la tabla 8 se muestra la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 8

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Mantenimiento exclusivo de los componentes más críticos de un equipo y que permite el correcto funcionamiento del mismo con la finalidad de evitar que falle y se generen mantenimientos correctivos (Espinosa et al.,2020).	Metodología empleada para asegurar que el equipo funcione correctamente durante un periodo de tiempo determinado	Gestión de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de máquinas críticas • Porcentaje de componentes críticos • Porcentaje de mano de obra empleada para el mantenimiento • Porcentaje de tareas preventivas realizadas • Porcentaje de tareas correctivas realizadas 	Razón
Eficiencia	Máximo resultado alcanzado de productividad a partir del uso de determinados recursos (Quintero et al.,2017).	Nivel de confianza que se tiene de un equipo en función a su disponibilidad, MTBF y MTTR.	Gestión de equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad <ul style="list-style-type: none"> • MTBF • MTTR 	Razón

Nota. Elaboración propia

Por otro lado, respecto a las técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos. En la tabla 9 se muestran las técnicas e instrumentos que se usaron en la presente investigación.

Tabla 9

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Objetivo	Técnica	Justificación	Instrumento	Fuente
Aumentar la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos en un 5%	Análisis documental	Permitió observar la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos	Registro de contenido de la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos	Área de mantenimiento
Realizar la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.	Análisis documental	Permitió ahondar en información interna de la empresa respecto al mantenimiento centrado en la confiabilidad	Registro de contenido del mantenimiento centrado en la confiabilidad	Área de mantenimiento
Determinar la viabilidad económica financiera de la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a través de la medición de la relación beneficio costo (B/C) para garantizar un 10% de rentabilidad.	Análisis económico	Permitió analizar la viabilidad económica financiera después de aplicado el mantenimiento centrado en la confiabilidad.	Hoja de cálculo Excel	Empresa de mantenimiento

Nota. Elaboración propia

Análisis documental.

Se empleó la técnica de análisis documental a través del instrumento registro de contenido para indagar y recopilar información cuantitativa de la empresa respecto a la data histórica de los indicadores de disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad e información del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Análisis económico.

Se empleó la técnica de análisis económico a través del instrumento hoja de cálculo Excel para analizar económica y financieramente el proyecto por medio del cálculo de la relación beneficio-costos (B/C).

Respecto a la interpretación y análisis de datos se empleó:

- Tablas estadísticas: mostró el porcentaje y la frecuencia de cada uno de los datos recopilados.
- Gráficas estadísticas: se sintetizó la información de las tablas estadísticas a través de gráficas para un mayor entendimiento.

Por otra parte, respecto a los materiales, instrumentos y métodos. En primer lugar, se utilizó el método deductivo – inductivo con la finalidad de desarrollar una teoría sobre la baja eficiencia de los equipos y probar dicha teoría a través del mantenimiento centrado en la confiabilidad. En la tabla 10 se muestran los instrumentos que se usaron para lograr diagnosticar el problema en la presente investigación.

Tabla 10

Instrumentos para el diagnóstico del problema de investigación

Instrumento	Objetivo
Diagrama de Ishikawa	Determinar las causas raíces del proyecto de investigación
Matriz de Priorización	Ordenamiento de las causas raíces según prioridad
Diagrama de Pareto	Determinar las causas raíces que generan el 80% de los problemas de baja eficiencia

Nota. Elaboración propia

Respecto a los procedimientos realizados en la investigación, para el procesamiento de datos la investigación en primer lugar, se utilizó los conceptos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad de los equipos con el fin de proponer alternativas de solución a la problemática actual respecto a la baja eficiencia. En segundo lugar, se utilizó herramientas de ingeniería como diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto y matriz de priorización para determinar las causas principales que generaron la baja eficiencia y de esta manera priorizar dichas causas con el propósito de aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Además, dentro del diagnóstico inicial se midió la eficiencia actual por medio del registro de contenido de los indicadores de disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad, para elaborar la propuesta de herramientas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se utilizaron las técnicas de análisis documental y análisis económico. Posterior al diagnóstico inicial se propuso la propuesta de implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para darle solución a la problemática, a través del desarrollo de cada una de las fases de implementación de la metodología. Luego, se evaluó la mejora en la eficiencia por medio de gráficas estadísticas y se calculó el beneficio económico que se obtendría luego de aplicado la propuesta de implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Por último, se compararon los resultados obtenidos con los antecedentes de la investigación para poder analizar el impacto que tendría la aplicación del Mantenimiento

Centrado en la Confiabilidad en la empresa de mantenimiento y además se concluyó los resultados obtenidos en cada objetivo de la investigación.

Para el análisis de datos, se emplearon la hoja de cálculo de Excel y el procesador de textos Word. El primero se utilizó para elaborar las tablas de frecuencia y gráficas y el segundo para la elaboración del informe final de tesis. Por otra parte, se utilizó el software estadístico SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales) v.28 para realizar la estadística descriptiva e inferencial de los datos obtenidos como resultado de la aplicación de la metodología.

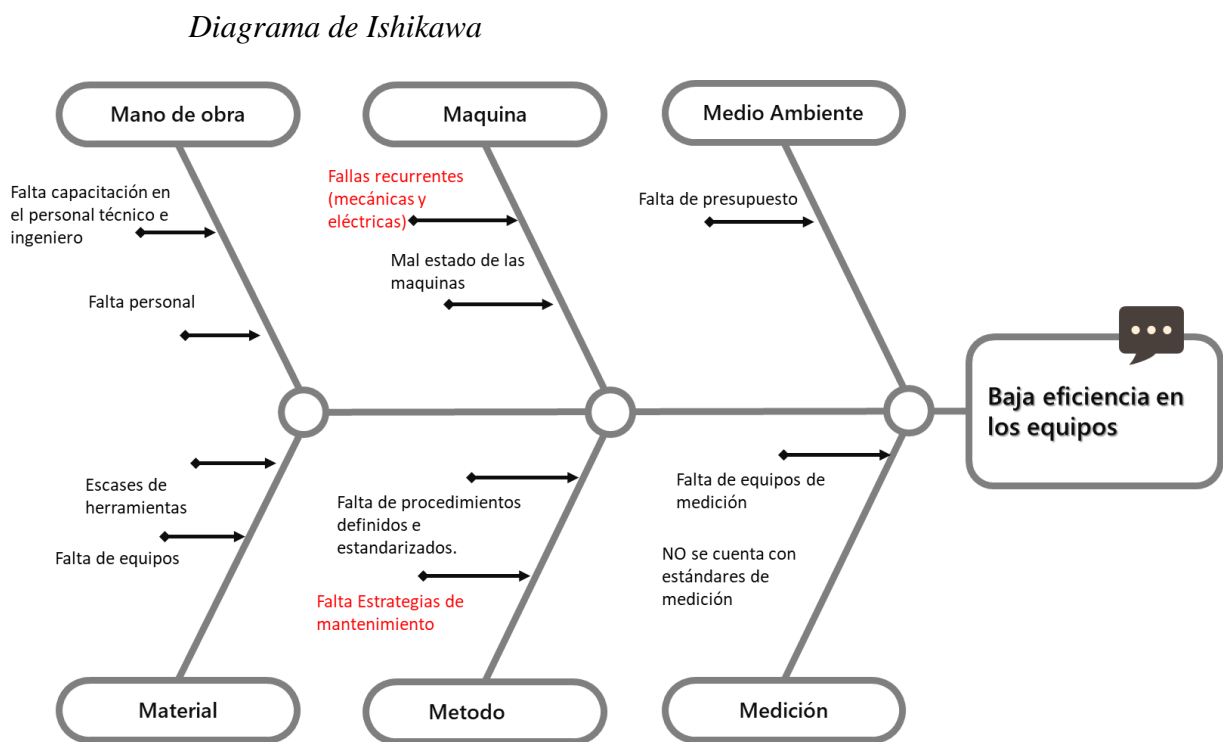
Además, se contó con el permiso de la empresa en estudio para utilizar su información e instalaciones para el desarrollo y análisis de los resultados de la investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Respecto al diagnóstico de la problemática del estudio, se efectuó el diagnóstico del área de mantenimiento, con la finalidad de identificar las causas raíces que conllevaron a tener baja eficiencia en los equipos de la empresa.

En la figura 5 se muestra el diagrama de Ishikawa con las once causas raíces identificadas según las 6M del diagrama.

Figura 5

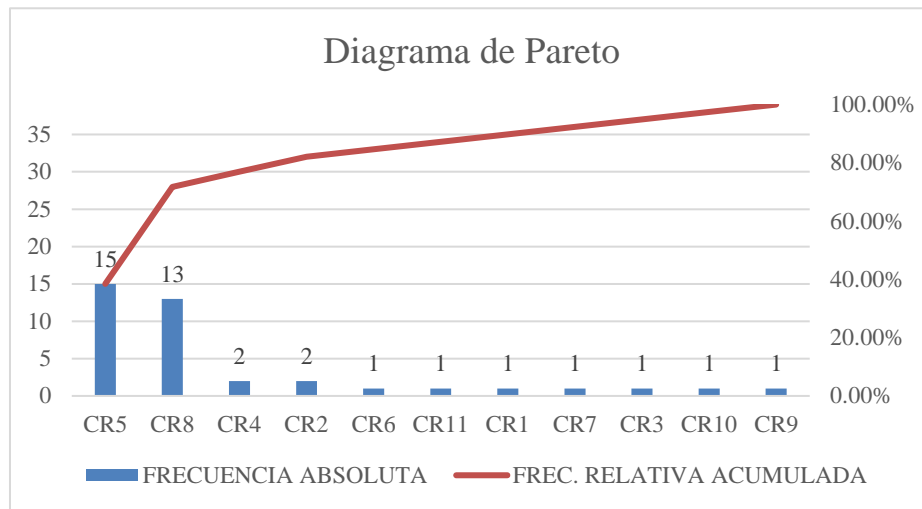


Nota. Elaboración propia

Para estructurar el diagrama de Pareto, se consideró la opinión de los colaboradores de la empresa a través de una encuesta sobre el impacto de cada una de las causas raíces sobre el problema. Esta información se muestra en el anexo 1 y en el anexo 2 y figura 6 se muestra el impacto de las causas raíces y diagrama de Pareto respectivamente.

Figura 6

Diagrama de Pareto



Nota. Elaboración propia

Luego de haber identificado cada una de las causas raíz que generaron la baja eficiencia de los equipos, en la tabla 11 se muestran los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF antes de la propuesta de implementación de los equipos y modelos más críticos en la empresa.

Tabla 11

Resumen de indicadores según equipo y modelo antes de la propuesta de implementación

Equipo	Modelo	Disponibilidad (Porcentaje)	MTTR (Horas)	MTBF (Horas)
EX010	EX2500-6	89.70%	10.4	164
EX009	EX2500-6	89.56%	9.8	146
EX008	EX2500-5	89.91%	5.7	227
EX006	EX2500-5	89.69%	10.3	155

Nota. Tomado de empresa de mantenimiento (2022)

Respecto al desarrollo de la propuesta de implementación, se empleó la metodología del RCM para lo cual se siguieron los siguientes pasos.

1. Conformación de equipo para implementación y capacitaciones.
2. Codificación y listado de los equipos, sistemas y subsistemas.
3. Análisis detallado del funcionamiento del sistema.
4. Determinación de las fallas.
5. Determinación de los modos de falla.
6. Estudio de consecuencia de cada modo de falla.

7. Determinación de las medidas preventivas.

En primer lugar, la conformación del equipo de implementación y las capacitaciones estará a cargo de mi persona Roberto Trujillo Hermitaño como líder de la implementación y encargado de las capacitaciones en la metodología RCM.

En segundo lugar, se codificó y se listo los sistemas y subsistemas del modelo EX2500-5 y EX2500-6, ya que son los dos modelos que presentan peores resultados en los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF tal y como se muestra en los anexos 3, 4 y 5 respectivamente.

Mientras que en el anexo 6 se muestra la lista de los códigos de los sistemas y subsistemas de los modelos EX2500-5 y EX2500-6, los cuales comparten los mismos sistemas y subsistemas.

En tercer lugar, se realizó el análisis detallado del funcionamiento de cada sistema de los modelos EX2500-5 y EX2500-6. A continuación, en el anexo 7 se muestra las funciones de cada uno de los principales sistemas de ambos modelos.

En cuarto lugar, se realizó el análisis de criticidad de cada sistema de los modelos EX2500-5 y EX2500-6. A continuación, en el anexo 8 se muestra el análisis de criticidad para ambos modelos.

Como se aprecia en el anexo 8, los sistemas más críticos fueron el motor diesel (70 fallas / año) y sistema hidráulico (93 fallas / año). Para ello se consideraron diferentes aspectos como el impacto en la operación del equipo, el impacto a la seguridad, el efecto en la disponibilidad, el MTTR y el costo de reparación.

Luego de haber determinado los sistemas más críticos, se procedió a determinar las fallas, modos de falla y el estudio de consecuencia de cada modo de falla. Para ello se empleó el análisis de modo y efecto de la falla (AMEF). A continuación, en los anexos 9 y 10 se muestran el AMEF para el sistema hidráulico y motor diesel respectivamente.

Después de haber analizado el AMEF para los dos sistemas más críticos en los modelos EX2500-5 y EX2500-6, se procedió a determinar la estrategia de mantenimiento para cada componente de los sistemas analizados. En los anexos 11 y 12 se muestran las estrategias de mantenimiento para el sistema hidráulico y motor diesel respectivamente.

Finalmente, para las medidas preventivas se empleó un plan de mantenimiento preventivo con las actividades, tiempo, frecuencia, cantidad y responsable y un programa de capacitación anual. A continuación, en el anexo 13 y 14 se muestran el plan de

mantenimiento preventivo anual y programa de capacitación anual elaborado para la empresa respectivamente.

Después de haber plasmado el desarrollo de la propuesta de implementación se procedió a estimar los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF, para ello se tomó como referencia las investigaciones realizadas por Abad (2022) en cuya investigación logró incrementar la disponibilidad de los equipos en 21,80%, incrementar el MTBF en 31,39% y reducir el MTTR en 45,24%. Mientras que en la investigación realizada por Villena (2023) el investigador logró incrementar la disponibilidad en 5,64%, incrementar el rendimiento en 7,32% e incrementar la calidad en 4,83%. Por otra parte, en la investigación realizada por Astete (2018) se evidenció un incremento de la disponibilidad de 4,89%, un incremento del MTBF de 36,41% y una reducción del MTTR en 54,09%. Tomando como referencias dichas mejoras en estas tres investigaciones, se estimó la mejora para los indicadores de disponibilidad, MTBF y MTTR. A continuación, en la tabla 12 se muestra la mejora en los tres indicadores.

Tabla 12

Resumen de indicadores según equipo y modelo después de la propuesta de implementación

Equipo	Modelo	Disponibilidad (Porcentaje)	MTTR (Horas)	MTBF (Horas)
EX010	EX2500-6	99.37%	5.23	219.60
EX009	EX2500-6	99.21%	4.93	195.49
EX008	EX2500-5	99.60%	2.87	303.95
EX006	EX2500-5	99.36%	5.18	207.55

Nota. Elaboración propia

Posterior a la determinación de la estimación de la mejora en los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF, se procedió a realizar el análisis del beneficio – costo de la implementación de la propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la empresa.

Para ello en primer lugar, se determinó el cuadro de inversiones en contratación de personal, útiles de escritorio, equipos de oficina, materiales de implementación, equipos de implementación y capacitación al personal. Esta información se puede apreciar en los anexos 15, 16, 17, 18, 19 y 20 respectivamente.

Como se observa en el anexo 15, la inversión en contratación de personal requerido para implementar el RCM en la empresa sería de S/ 60 000. Por otra parte, en el anexo 16 se observa la inversión en útiles de escritorio requerido para implementar el RCM en la empresa que ascendería a S/ 280. Mientras que en el anexo 17 se observa la inversión en equipos de

oficina requerido para implementar el RCM en la empresa que ascendería a S/ 20 000. Además, en el anexo 18 se observa la inversión en materiales requerido para implementar el RCM en la empresa que ascendería a S/ 7 040. Por otro lado, en el anexo 19 se observa la inversión en equipos requerido para implementar el RCM en la empresa que ascendería a S/ 28 400. Además, en el anexo 20 se observa la inversión en capacitación al personal requerido para implementar el RCM en la empresa que ascendería a S/ 40 000.

Finalmente, en el anexo 21 se muestra la inversión total requerida para implementar el RCM en la empresa, la cual ascendería a S/ 151 220.

En cuanto a la proyección de los costos posterior a la implementación de la propuesta de RCM, se analizó los costos de mantenimiento antes y después para que en base a estos costos se estimen los ingresos. En los anexos 22 y 23 se muestran los ingresos y costos proyectados respectivamente, los ingresos proyectados ascenderían a S/ 174 296 y los costos proyectados ascenderían a S/ 107 040.

En cuanto a la evaluación económica, en el anexo 24 se muestra el flujo de caja económico del proyecto, para ello se determinó un COK de 17,04% cuyo cálculo se muestra en el anexo 25. En la evaluación económica se logró determinar que se obtendría un VAN de S/ 108 928,31, una TIR de 44,96%, una relación beneficio – costo de S/ 1,72 y un periodo de recupero de la inversión de 2,91 años.

Respecto al análisis estadístico, en el anexo 26 se muestra la estadística descriptiva, mientras que en el anexo 27 se muestra la prueba de normalidad de los datos. Por otro lado, en los anexos 28, 29 y 30 se muestra la contrastación de hipótesis para los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF respectivamente.

Para finalizar este apartado, se realizaron las gráficas de mejora de los indicadores de disponibilidad, MTTR y MTBF luego de la propuesta de implementación del RCM. En los anexos 24, 25 y 26 se muestran las gráficas de mejora de la disponibilidad de los equipos, reducción del MTTR y mejora del MTBF respectivamente. En los anexos 31, 32 y 33 se aprecia que el indicador de disponibilidad se incrementaría en 10,78%, el indicador del MTTR se reduciría en 49,67% y el indicador de MTBF se incrementaría en 33,90% respectivamente.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En cuanto a la discusión de resultados, Villena (2023) con la aplicación de RCM en una empresa de servicio de mantenimiento para mejorar el OEE de los equipos mineros logró demostrar que con la aplicación del RCM se incrementó la disponibilidad en 5,64%, en el caso del presente estudio se incrementaría la disponibilidad en 10,78%. Por otra parte, el investigador logró obtener un VAN de US\$ 51 315,05, una TIR de 89,86% y un B/C de 2,24, en el caso del presente estudio se lograría un VAN de S/ 108 928,31, una TIR de 44,96% y un B/C de S/ 1,72.

Díaz (2020) con la implementación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad para equipos mineros logró incrementar la disponibilidad en 6,61%, en el caso del presente estudio se lograría incrementar la disponibilidad de los equipos en 10,78%.

Cruz (2018) en su tesis realizó la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para reducir interrupción en los equipos y empleó el análisis de criticidad, análisis de modos y fallas, plan de mantenimiento preventivo y programa de capacitación, en el caso del presente estudio también se siguió estos mismos pasos para realizar la propuesta de implementación de mantenimiento RCM.

Salas (2022) en su tesis sobre el diseño de un plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM logró incrementar la disponibilidad en 4,51%, incrementar el MTBF en 50,85% y reducir el MTTR en 41,42%, en el caso del presente estudio se lograría incrementar la disponibilidad en 10,78%, incrementar el MTBF en 33,90% y reducir el MTTR en 49,67%.

Por otra parte, las limitaciones que se encontraron en la presente investigación estuvieron relacionadas al desconocimiento de la metodología RCM por parte de la gerencia y trabajadores de la empresa, la poca disponibilidad de recursos para llevar a cabo la propuesta de implementación y a la falta de registros de mantenimiento, para superar estas limitaciones se debe capacitar a la gerencia y personal en los beneficios de la implementación de la herramienta y a la importancia de mantener un registro constante y actualizado del mantenimiento de cada componente, subsistema, sistema y equipo de la empresa.

Finalmente, en cuanto a las implicancias del presente estudio se tuvo que la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad ayudaría a incrementar la eficiencia de los equipos y que esta mejora a su vez permitiría un mejor desempeño operativo de la empresa, debido a que se generaría una reducción en los costos de mantenimiento de la empresa. Además, la empresa ya no tendría quejas por parada de

máquinas y mantenimientos correctivos. Finalmente, la empresa debe continuar implementando herramientas de mejorar para incrementar su competitividad y rentabilidad.

En cuanto a las conclusiones de la investigación:

- Como primera conclusión se determinó que con la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se lograría mejorar la disponibilidad de los equipos en 10,78% con un nivel de significancia del 0,000, se lograría reducir el MTTR en 49,67% con un nivel de significancia de 0,005 y se incrementaría el MTBF en 33,90% con un nivel de significancia de 0,005.
- Como segunda conclusión, se realizó la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a través del análisis de los equipos más críticos en la empresa que fueron los modelos EX2500-5 y EX2500-6, además se analizaron los sistemas, subsistemas y componentes de cada modelo a través de la utilización de la matriz AMEF, plan de mantenimiento preventivo y plan de capacitación.
- Finalmente, como tercera conclusión se determinó la viabilidad económica financiera de la propuesta de implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, concluyendo que la propuesta sería rentable ya que se obtendría un VAN positivo de S/ 108 928,31, una TIR de 44,96% mayor al costo de oportunidad anual de la empresa de 17,04%, un B/C de S/ 1,72 y un PRI de 2,91 años.

Referencias

- Abad, R. (2022). *Aplicación de la metodología RCM para incrementar la disponibilidad operativa de camiones-volquetes de una empresa minera, 2021* [Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31562/Abad Belen%2C Ricardo Julio.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31562/Abad%20Ricardo%20Julio.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Álvarez, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota Académica 2018.04.2021%29 - Clasificación de Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10818/Nota%20Académica%202018.04.2021%29-Clasificación%20de%20Investigaciones.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Andrade, C., & Herrera, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Journal Ingeniar*, 4(8), 2–18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Arias, J., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201–206. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Astete, M. (2018). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para los equipos de bajo perfil de la Service Sandvik - Compañía Minera Castrovirreyna S.A.* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3661/Astete Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3661/Astete%20Perez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51–59. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Canahua, N. (2020). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Revista Industrial Data*, 24(1), 49–76. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Cruz, M. (2018). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para la reducción de interrupciones de las redes de distribución* [Universidad Andina Simón Bolívar]. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/516/2/TE-238.pdf>
- Díaz, A., Villar, L., Cabrera, J., Gil, A., Mata, R., & Rodríguez, A. (2016). Implementación

- del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica*, 19(3), 137–142. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v19n3/im03316.pdf>
- Díaz, J. (2020). *Implementación de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para los equipos mineros a cargo del área de mantenimiento de la empresa Minesa S.A.S* [Universidad Pontificia Bolivariana]. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5240/digital_36246.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espinosa, J., De la Paz, E., Pérez, R., & Acosta, I. (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Revista Centro Azúcar*, 47(1), 22–32. <http://www.scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n1/2223-4861-caz-47-01-22.pdf>
- Gallegos, C., Viscaíno, M., & Villacrés, S. (2020). Estudio de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad aplicado a grupos electrógenos prime. *Conciencia Digital*, 3(3), 44–61. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1266>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Quintero, R., Labori, R., Bermúdez, L., & González, I. (2017). Aspectos teóricos sobre eficacia, efectividad y eficiencia en los servicios de salud. *Revista Información Científica*, 96(6), 1153–1163. <https://www.redalyc.org/journal/5517/551764135018/html/>
- Ramos, C. (2020). Los alcances de la investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–5.
- Salas, P. (2022). *Plan de mantenimiento aplicando pmo y rcm para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas caterpillar D11T en una empresa minera de Tacna* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f4d9f3f9-42aa-447b-9c20-443fa6ffcbab/content>
- Sánchez, F. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 13(1), 101–122. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ridu/v13n1/a08v13n1.pdf>
- SMRP. (2022). *SMRP Best Practices 6th Edition*. <https://smrp.org/>
- Solis, J. (2022). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo en una empresa de estacionamiento aplicando la metodología RCM para la mejora de la*

disponibilidad de los equipos, Lima, 2021 [Universidad Privada del Norte].

[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30096/Solis Junior Nestor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30096/Solis_Junior_Nestor.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villena, A. (2023). *Aplicación de RCM en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo para mejorar el OEE de una empresa del sector minero, Lima 2022* [Universidad Privada del Norte].

[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33257/Villena Aaron Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33257/Villena_Aaron_Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Yeverino, J., & Montoro, M. (2019). Efficiency and productivity in transfer units of scientific research results in Mexico. *Contaduria y Administracion*, 64(3), 1–33. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1421>

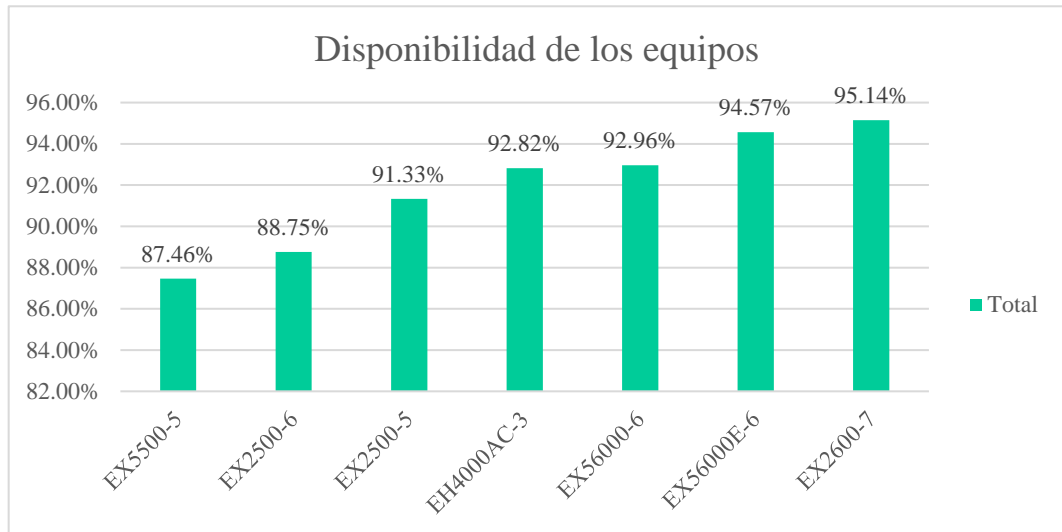
Anexos**ANEXO N°1. Resultados de encuestas**

DESCRIPCIÓN DE LA CAUSA RAÍZ	RESULTADOS
Fallas recurrentes (mecánicas y eléctricas)	15
Falta estrategias de mantenimiento	13
Falta de equipos	2
Falta personal	2
Mal estado de las máquinas	1
No se cuenta con estándares de medición	1
Falta capacitación en el personal técnico e ingeniero	1
Falta de procedimientos definidos y estandarizados	1
Escases de herramientas	1
Falta de equipos de medición	1
Falta de presupuesto	1
Total	39

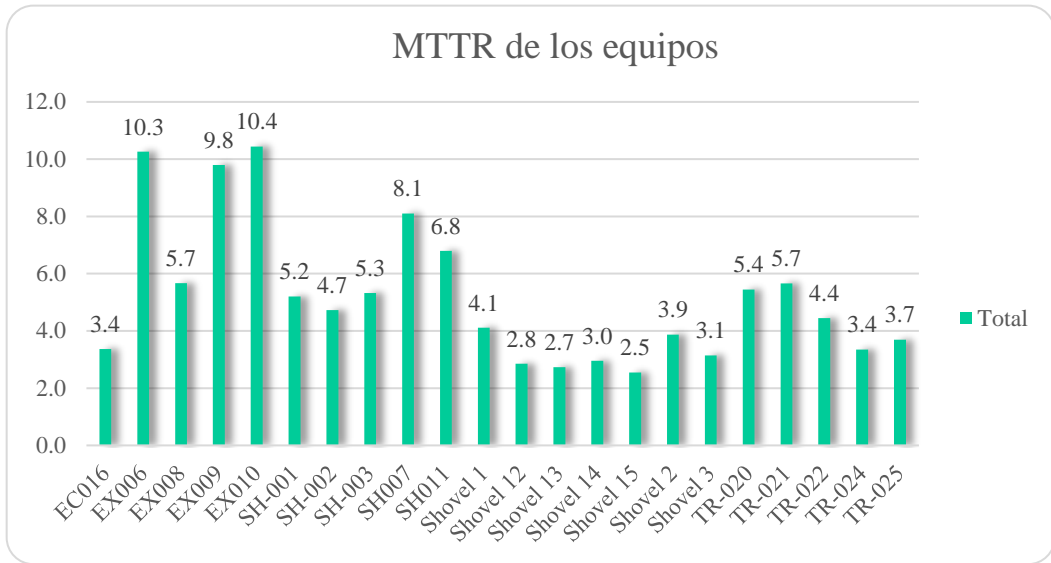
ANEXO N°2. Impacto de las causas raíces

CAUSAS RAÍCES	DESCRIPCIÓN DE LA CAUSA RAÍZ	FRECUENCIA ABSOLUTA	FRECUENCIA RELATIVA	FREC. RELATIVA ACUMULADA
CR5	Fallas recurrentes (mecánicas y eléctricas)	15	38.46%	38.46%
CR8	Falta estrategias de mantenimiento	13	33.33%	71.79%
CR4	Falta de equipos	2	5.13%	76.92%
CR2	Falta personal	2	5.13%	82.05%
CR6	Mal estado de las máquinas	1	2.56%	84.62%
CR11	No se cuenta con estándares de medición	1	2.56%	87.18%
CR1	Falta capacitación en el personal técnico e ingeniero	1	2.56%	89.74%
CR7	Falta de procedimientos definidos y estandarizados	1	2.56%	92.31%
CR3	Escases de herramientas	1	2.56%	94.87%
CR10	Falta de equipos de medición	1	2.56%	97.44%
CR9	Falta de presupuesto	1	2.56%	100.00%
TOTAL		39	100%	100%

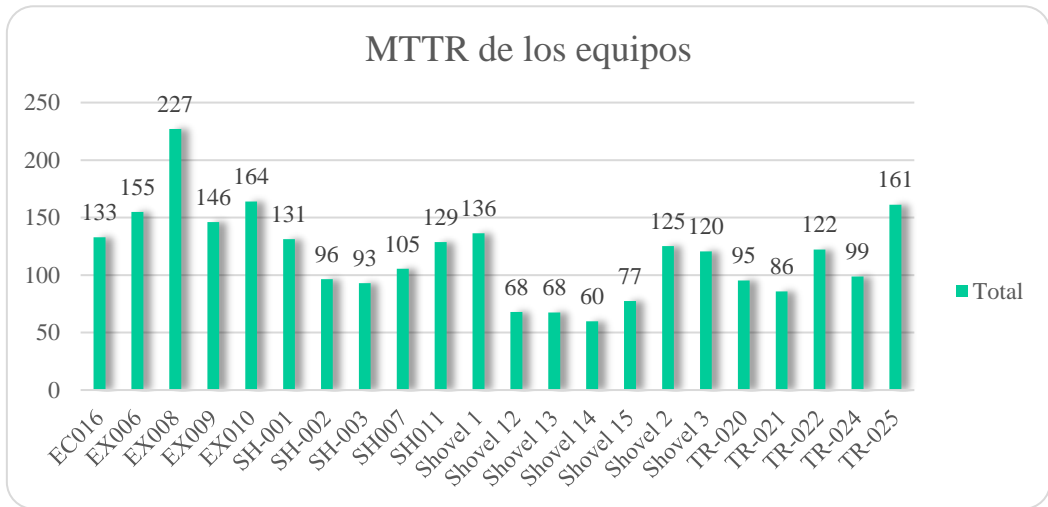
ANEXO N°3. Disponibilidad de los equipos de la empresa



ANEXO N°4. MTTR de los equipos de la empresa



ANEXO N°5. MTBF de los equipos de la empresa



ANEXO N°6. Lista de códigos, sistemas, subsistemas y componentes del modelo EX2500-5 y EX2500-6.

EQUIPO	SISTEMAS	SUBSISTEMA	COMPONENTES	
NOMBRE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL SISTEMA	NOMBRE DEL SUBSISTEMA	NUMERACIÓN	NOMBRE DEL COMPONENTE
EX2500-5 y EX2500-6	Sistema eléctrico	A/C y Calefacción	1	Calefactor
			2	Compresor
			3	Condensador
			4	Evaporador
			5	Faja de compresor
			6	Filtro secador
			7	Línea de A/C
			8	Línea de calefacción
			9	Otras partes
			10	Unidad completa A/C
		Control, líneas, actuadores y accesorios	1	Arnés eléctrico
			2	Brazo o plumilla
			3	Claxon - corneta
			4	Electroválvula
			5	Fusible
			6	Joystick o pedal
			7	Módulo de control
			8	Monitor principal
			9	Otras partes
			10	Relé eléctrico
			11	Sensor
			12	Switch
			13	Video - cámara
			14	Video - monitor
		Motores eléctricos	1	Compresor de claxon
			2	Motor bomba de escalera
			3	Motor bomba de succión
			4	Motor bomba Prelub
			5	Motor de arranque
			6	Motor de limpiaparabrisas
			7	Motor de ventilador A/C
			8	Motor soplador A/C
			9	Motor ventilador de combustible
			10	Otras partes
		Sistema de carga y luces	1	Alternador
			2	Batería
			3	Breaker
			4	Faja de alternador
			5	Faro de posición
			6	Faro principal
			7	Lámpara de cuarto de motor

	Sistema hidráulico	Bombas hidráulicas	1	Bomba de ventilador hidráulico
			2	Bomba piloto auxiliar
			3	Bomba principal
			4	Otras partes
			5	Regulador de bomba principal
		Cilindros hidráulicos	1	Cilindro de boom
			2	Cilindro de brazo
			3	Cilindro de cucharón
			4	Cilindro de escalera
			5	Cilindro de llenado rápido
			6	Otras partes
		Enfriamiento	1	Enfriador Hidraulico
			2	Otras partes
			3	Ventilador Hidraulico
		Líneas hidráulicas y otros	1	Acumulador de circuito piloto
			2	Acumulador de tensor de cadena
			3	Junta central
			4	Línea hidráulica - abrazadera
			5	Línea hidráulica - cañería
			6	Línea hidráulica - conector / niple
			7	Línea hidráulica - coupling
			8	Línea hidráulica - manguera
			9	Línea hidráulica - oring
			10	Línea hidráulica - strainer
			11	Línea hidráulica - tubería
			12	Microfiltración de aceite hidráulico
			13	Otras partes
			14	Tanque de aceite hidráulico
		Motores hidráulicos	1	Motor de giro
			2	Motor de propulsión
			3	Motor de ventilador hidráulico
			4	Motor hidráulico A/C
			5	Otras partes
		Válvulas de control	1	Bloque de válvulas de control principal
			2	Otras partes
			3	Válvula de compensación, sobrecarga
			4	Válvula de freno de propulsión

			5	Válvula de retorno o succión
			6	Válvula DQR
	Sistema de lubricación	Lubricación	1	Bomba de Grasa
			2	Inyector de Grasa
			3	Línea de grasa - cañería
			4	Línea de grasa - manguera
			5	Motor hidráulico de bomba de grasa
			6	Otras partes
			7	Tanque de Grasa
			8	Valvula de Venteo
	Sistemas adicionales	Banderas de contrapeso	1	No aplica
		Gets	2	No aplica
		Radio de comunicación	3	No aplica
		Reparación de cucharón	4	Cucharón
		Sistema contra incendio	5	No aplica
	Transmisión de fuerza	Transmisión de bombas	1	Enfriador de Tx de Bombas
			2	Línea de lubricación - cañería
			3	Línea de lubricación - manguera
			4	Otras partes
			5	Transmision de Bombas
		Transmisión de giro	1	Línea de aceite de transmisión - cañería
			2	Línea de aceite de transmisión - manguera
			3	Otras partes
			4	Transmision de Giro
		Transmisión de propulsión	1	Otras partes
			2	Transmision de Propulsion
	Motor Diesel	Admisión y escape	1	Abrazadera de admisión
			2	Abrazadera de escape
			3	Caja ciclónica
4			Ducto de admisión	
5			Ducto de escape	
6			Otras partes	
7			Silenciador	
8			Turbocargador	
Combustible		1	Bomba de inyección	
		2	Enfriador de combustible	
		3	Inyector de combustible	
		4	Línea de combustible - cañería	
		5	Línea de combustible - manguera	
6	Microfiltración de combustible			

			7	Otras partes	
			8	Sistema primario de combustible	
			9	Tanque de combustible	
		Enfriamiento	1	Bomba de agua	
			2	Faja de ventilador	
			3	Línea refrigerante - cañería	
			4	Línea refrigerante - manguera	
			5	Otras partes	
			6	Polea de ventilador	
			7	Radiador de motor	
			8	Radiador LTA	
			9	Tanque de expansión	
			10	Tensor de faja de ventilador	
		Lubricación	1	Bomba de aceite	
			2	Línea de aceite - cañería	
			3	Línea de aceite - manguera	
			4	Microfiltración de aceite de motor	
			5	Otras partes	
			6	Tanque de reserva de aceite de motor	
		Motor	1	Culata	
			2	Cushion	
			3	Motor diesel	
			4	Otras partes	
		Sistema eléctrico	1	Actuador	
			2	Arnés eléctrico	
			3	ECM	
			4	Sensor, switch	
		Estructura	Cabina	1	Asiento Copiloto
				2	Asiento Principal
				3	Cinturon de Seguridad
				4	Consola Derecha
				5	Consola Izquierda
	6			Espejo Retrovisor	
	7			Estructura de Cabina	
	8			Otras partes	
	9			Parabrisas Lateral	
	10			Parabrisas Principal	
	11			Puerta	
	12			Sistema de Evacuacion	
	Contrapeso		1	Barandas	
			2	Contrapeso	
			3	Piso	
			4	Soporte de Faro	
	Implementos frontales		1	Boom	
			2	Brazo	
			3	Cucharon	
			4	Otras partes	
	Inferior		1	Bastidor Central	
			2	Bastidor Derecho	

			3	Bastidor Izquierdo	
			4	Corona de Giro	
			5	Otras partes	
			6	Protectores de Propulsion	
		Superior central	1	Chasis	
			2	Estructura de Bloque de Valvulas	
			3	Guarda Frontal	
			4	Llenado Rapido	
			5	Otras partes	
		Superior derecha	1	Baranda	
			2	Estructura cuarto de Motor	
			3	Guardas	
			4	Piso	
			5	Puerta	
		Superior izquierda	1	Baranda	
			2	Escalera	
			3	Estructura cuarto de Motor	
			4	Guarda	
			5	Piso	
			6	Puerta	
		Carrilería	Cadena	1	Cadena
				2	Otras partes
				3	Zapata
			Tren de rodamiento	1	Cilindro Tensor
				2	Otras partes
				3	Rodillo Inferior
				4	Rodillo Superior
				5	Rueda guía
6	Rueda Motriz de Propulsion				
7	Yugo				

ANEXO N°7. Funcionamiento de cada uno de los principales sistemas de los modelos EX2500-5 y EX2500-6

Sistema principales	Funciones
Carrilería	Permite la transmisión de la fuerza mecaniza desde la transmisión de propulsión hacia la superficie para el traslado. Permite trasladar el equipo con la totalidad del peso. El sistema está compuesto por la cadena y el tren de rodamiento.
Estructura	Permite el soporte del peso de la carga y de los compontes hidráulicos, eléctricos y mecánicos del equipo Transmite la fuerza hidráulica para el traslado del material de suelo hacia la tolva del camión minero La estructura está compuesto por Main Frame, Track Frame, Side Frame LH, Side Frame RH, Boom, Brazo y cucharon.
Sistema adicionales	Permite el funcionamiento de los accesorios adicionales como radio, etc.
Sistema de lubricación	Permite transportar la grasa hacia las articulaciones o componentes que requieren de grasa para su lubricación. Sistema compuesto por la bomba de grasa y las mangueras y tuberías de grasa.
Sistema hidráulico	Permita convertir la energía mecánica en hidráulica para posteriormente convertir en energía mecánica en los cilindros hidráulicos y motores hidráulicos. Sistema compuesto por bombas hidráulicas, motores hidráulicos, cilindros hidráulicos, mangueras hidráulicas, válvulas.
Transmisión de fuerza	Permite convertir la energía mecánica en otra mecánica de mayor fuerza a través del conjunto de engranajes reductores. Compuesto por la transmisión de bombas, transmisión de propulsión y transmisión de giro.
Sistema eléctrico	Permite el funcionamiento de todos los accesorios eléctricos como lámparas, actuadores, solenoides, sensores, computadoras etc. Sistema compuesto por el grupo de AC, acutadores eléctricos, luces, etc.
Motor Diesel	Permite generar la energía mecánica principal de la pala para el funcionamiento de la transmisión de bombas Compuesto únicamente por el motor Diesel.

ANEXO N°8. Análisis de criticidad de los sistemas del modelo EX2500-5 y EX2500-6

Descripción de activo PM (Sistema)	Probabilidad falla (P)	20%	30%	20%	20%	10%	Consecuencia (C)	Jerarquía (S)	Criticidad	Fallas en un periodo anual
		Impacto a la operación de equipo	Impacto a la seguridad	Efecto en la Disponibilidad	MTTR	Costo de reparación				
Carrilería	3	3	3	3	1	1	3	9	B	23
Estructura	3	3	0	0	3	3	2	6	B	27
Motor diesel	5	5	3	5	3	3	4	20	A	70
Sistema de lubricación	5	0	0	0	1	1	1	5	B	87
Sistema eléctrico	5	3	0	3	1	1	2	10	B	65
Sistema hidráulico	5	5	5	5	3	5	5	25	A	93
Transmisiones de fuerza	1	5	5	5	3	3	5	5	B	11

ANEXO N°9. AMEF para el sistema hidráulico

FMEA - ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA										NPR	
Subsistema	Función ¿Cuál es la función del subsistema?	Fallo Funcional (Pérdida de la función)		Modo de falla ¿Qué causaría que no se cumpla la función?		Gravedad	Ocurrencia	Controles Actuales Preventivos	Controles Actuales de Detección	Detección	(G x O x D)
Bombas Hidráulicas Principal	Generar caudal como máximo 375-425 L/min	A	No Genera caudal	1	Pistones dañados	3	3	Cambio de aceite según programa de mantenimiento	-	3	27
				2	Fuga interna por sellos	3	3	-	Pruebas operacionales	3	27
	Contener el fluido dentro del componente	A	Fuga externa	1	Fuga externa por sellos	3	1	-	Detección visual	3	9
Motores Hidráulicos	Generar fuerza mecánica rotativa en el eje de salida (Presión de trabajo 450)	A	No gira el motor hidráulico	1	Daño interno de rodamiento y platos	3	1	Cambio de aceite y filtro según programa de mantenimiento	-	3	9
				2	Desgaste interno	5	3	Mantenimiento según manual.-	Detección visual	5	75
	Permitir el frenado de parqueo cuando el equipo se encuentra estacionado	A	No frena el equipo	1	Desgaste en disco de freno	3	1	Mantenimiento según manual.	-	3	9
Cilindros hidráulicos	Generar fuerza mecánica lineal a través de la energía hidráulica recibida del sistema.	A	Perdida de fuerza	1	Fuga interna por sellos	5	3	Prueba de presión sistema hidráulico	-	3	45
				2	Fuga externa por sellos tubo	5	1	Mantenimiento según manual.	Detección visual	5	25
	El desplazamiento del vástago no debe ser mayor a 5 sec	B	Velocidad baja de desplazamiento	1	Fuga interna	1	3	Mantenimiento según manual.	-	3	9
Válvulas de control	un mecanismo-dispositivo que encausa, dirige o bloquea el flujo del aceite hacia un sistema hidráulico	A	No realiza los cambios / Mando	1	Desgaste	5	1	Mantenimiento según manual.	-	5	25
				2	Fuga interna	3	1	Mantenimiento según manual.	-	3	9

ANEXO N°10. AMEF para el motor diesel

FMEA - ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA											NPR	
Subsistema	Función ¿Cuál es la función del subsistema?	Fallo Funcional (Pérdida de la función)		Modo de falla ¿Qué causaría que no se cumpla la función?		Efecto de la falla (Que sucede cuando se produce la falla)	Gravedad	Ocurrencia	Controles Actuales Preventivos	Controles Actuales de Detección	Detección	(G x O x D)
Admisión y Escape	Permitir el ingreso limpio de aire a la cámara de combustión	A	Ingresa aire sucio a la cámara de combustión	1	Filtro sucio o dañado	*Desgaste acelerado de los anillos de compresión. *baja potencia del motor por desgaste de anillos de compresión. *Baja potencia por presión baja de aire de admisión.	3	3	Cambiar filtro	-	3	27
				2	Tuberías de admisión con fugas de aire		3	1	-	Detección visual	3	9
	Permitir el ingreso de aire a la presión correcta. 2 Bares	B	Ingresa aire a baja presión, muy deficiente	1	Falla en lubricación de turbo	*Baja potencia del motor por baja eficiencia de presión de aire en la cámara de admisión, menos a 2 bares.	3	1	-	Detección por percepción	3	9
				2	Tuberías de admisión con fugas de aire		3	3	-	Detección visual	5	45
				3	Turbocompresor con desgaste		3	3	Cambio de aceite según programa de mantenimiento	Detección por percepción	3	27
Combustible	Permite el suministro de combustible limpio a la cámara de combustión	A	Suministro de combustible sucio	1	Filtro sucio o dañado	*Pérdida de potencia. *Desgaste de anillos de cámara de combustión.	3	1	Cambio de filtro según programa de mantenimiento	-	3	9
				2	Fuga de combustible	*Pérdida de potencia puede obstrucción en inyectores.	3	3	-	Detección visual	3	27
	Permite el suministro de combustible a la presión adecuada	B	Suministro de combustible a baja presión deficiente.	1	Bomba de combustible deficiente o dañada		3	3	-	-	3	27
				2	Inyectores desgastados		3	1	-	-	3	9
Enfriamiento	Mantener la temperatura del motor Diesel a una temperatura de 96 °C	A	La temperatura de motor excede los 96 °C	1	Enfriadores obstruidos	Calentamiento excesivo y por encima del estándar, se puede producir daños internos en el motor diesel.	3	3	Limpieza cada 500 horas	-	3	27
				2	Bomba de refrigeración deficiente		3	1	-	-	3	9
				3	Termostatos dañados		3	1	-	Detección visual en panel de control	5	15
	Controlar el aumento de temperatura del motor diesel paulatinamente	B	La temperatura del motor demora en subir	1	Termostatos dañados	Demora en el calentamiento del motor a temperatura de operación	1	1	-	-	5	5
Lubricación	Recircular el aceite por todos los compartimentos del motor para su lubricación.	A	Falta de lubricación	1	Falla de bomba de lubricación	Deficiencia en la lubricación falta de motor por falta de lubricación	5	1	Cambio de componentes según horas	-	3	15
				2	Nivel de aceite bajo		3	3	Inspección de nivel	-	1	9
	Lubricación del motor a una presión adecuada	B	Presión baja de lubricación, Deficiente	1	Fuga de aceite		5	3	Inspección general	-	5	75
				2	Válvula de alivio deficiente		3	1	-	-	3	9
				3	Falla de bomba de lubricación		3	1	Cambio de componentes según horas	-	3	9
Motor	Parte principal donde se genera la combustión.	A	Baja compresión en la combustión	1	Desgaste monoblok	Pérdida de potencia. Desgaste de anillos de cámara de combustión	3	1	Cambio de aceite según programa de mantenimiento	-	5	15
			2	Fractura de monoblock	Motor deja de funcionar	3	1	Reparación cada 18,000 hrs	-	3	9	
Sistema eléctrico	Energizar los componentes para el arranque del motor y controlar eléctricamente los componentes durante el funcionamiento	A	Los componentes eléctricos no funcionan	1	Arrancador averiado	El Equipo no arranca	3	1	Inspección general	-	3	9
			B	No hay carga de energía para la batería	1	Falla en alternador	El motor se apaga y/o presenta baja potencia	5	1	Inspección general	-	3
		2			Falla en arnés	3		3	Inspección general	-	3	27

ANEXO N°11. Algoritmo de decisión RCM para sistema hidráulico

ALGORITMO DE DECISIÓN RCM (Modos de falla con NPR >= 25)									
Componente del equipo sujeto al modo de falla	1. ¿Es factible y vale la pena hacer una tarea programada basada en condición? En caso No		2. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una tarea programada de restauración o		3. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una combinación de		4. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una tarea programada de detección		Estrategia de mantenimiento
	Si/No	En caso sea sí, indicar técnica de CBM	Si/No	En caso sea sí, indicar si el componente es recuperable midiendo algún parámetro físico	Si/No	En caso sea sí, indicar la combinación de tareas	Si/No	En caso sea sí, indicar la tarea programada de detección de fallas	
Pistones	Si	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas, verificación de la tendencia de Hierro, Aluminio, Cobre, Silicio, Viscosidad, y PQI. Monitoreo de parámetros de operación, Velocidad de implementos.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Sellos internos	Si	Monitoreo de presión de bomba	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Sellos	No		No		Si	Inspección visual periódica. Cambio de sellos en cada reparación.	No		Combinación de tareas
Rodamientos	Si	Análisis de aceite. Análisis de vibraciones	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Platos y pistones	Si	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas. Monitoreo de temperatura de trabajo. Análisis Vibracional	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Discos y platos	No		No		Si	Prueba de frenado en giro. Cambio de componente según PCR	No		Combinación de tareas
Vástagos y sellos	Si	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas. Monitoreo de parámetros de operación (Corrimiento de cilindros)	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Tubo, tapa	No		No		Si	Inspección visual Inspección visual o UT	No		Combinación de tareas
Vástagos y sellos	Si	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas. Monitoreo de parámetros de operación (Corrimiento de cilindros)	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Spool	Si	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Sellos	No		No		Si	Análisis de aceite cada 250 horas. Reparación programada del componente	No		Combinación de tareas

ANEXO N°12. Algoritmo de decisión RCM para motor diesel

ALGORITMO DE DECISIÓN RCM (Modos de falla con NPR >= 25)									
Componente del equipo sujeto al modo de falla	1. ¿Es factible y vale la pena hacer una tarea programada		2. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una tarea		3. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una		4. ¿Es técnicamente factible y vale la pena hacer una tarea programada de		Estrategia de mantenimiento
	Sí/No	En caso sea sí, indicar técnica de CBM	Sí/No	En caso sea sí, indicar si el componente es recuperable midiendo algún parámetro físico	Sí/No	En caso sea sí, indicar la combinación de tareas	Sí/No	En caso sea sí, indicar la tarea programada de detección de fallas	
Filtro	No		No		Sí	Inspección de filtro en cada Pre-Mantenimiento 100 hrs (Técnica CBM) Cambio de Filtro según horas de trabajo 500 horas.	No		Combinación de tareas
Tuberías	Sí	Prueba de presión de aire en línea de admisión de aire. Valor Según manual de fábrica 2 bares.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Turbocompresor	Sí	Prueba de presión de aceite de lubricación de turbocompresor cada 500 horas. Análisis de aceite (Índices de desgaste de Hierro, cobre, Aluminio, PQI y viscosidad)	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Tuberías	Sí	Prueba de presión de aire en línea de admisión de aire. Valor Según manual de fábrica 2 bares.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Turbocompresor	Sí	Análisis de aceite (Índices de desgaste de Hierro, cobre, Aluminio, PQI y viscosidad) Prueba de presión de aire en línea de admisión de aire. Valor Según manual de fábrica 2 bares.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Filtro de combustible	No		No		Sí	Inspección de indicador de obstrucción de filtro secundario. Cambio de filtro de combustible según programa de mantenimiento cada 500 horas.	No		Combinación de tareas
Tuberías de combustible	No		Sí	Reemplazo programado Cada 10,000 horas de trabajo.	No		No		Tarea programada de restauración o sustitución cíclica
Bomba de combustible	Sí	Prueba de presión de combustible en bomba de combustible.	Sí		No		No		Tarea programada basada en Condición
Inyectores	No		Sí	Reemplazo programado según Ciclo de vida cada 15,000 horas	No		No		Tarea programada de restauración o sustitución cíclica
Enfriadores	Sí	Inspección visual y limpieza. Medición del delta de temperatura no menos a 15 °C	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Bomba de refrigeración	Sí	Prueba de presión de refrigeración.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Termostatos	No		No		Sí	Reemplazo programado cada 10,000 horas. Medición de temperatura regularmente.	No		Combinación de tareas
Termostatos	No		Sí	Reemplazo programado	No		No		Tarea programada de restauración o sustitución cíclica
Bomba de lubricación	No		No		Sí	Prueba de presión de aceite de lubricación. Reemplazo programado	No		Combinación de tareas
Todo el sistema	Sí	Inspección diaria de nivel de aceite. Inspección de posibles fugas de aceite.	No		No		No		Tarea programada basada en Condición
Tuberías	No		No		Sí	Inspección de fugas de aceite. Reemplazo programado de tuberías cada 15,000 hrs	No		Combinación de tareas
Válvula	No		Sí	Reemplazo programado Cada 10,000 horas de trabajo.	No		No		Tarea programada de restauración o sustitución cíclica
Bomba de lubricación	No		No		Sí	Prueba de presión de aceite de lubricación. Reemplazo programado	No		Combinación de tareas
Monoblock	No		No		Sí	Prueba de compresión. Reparación programada cada 18,000 hrs	No		Combinación de tareas
Monoblock	No		No		Sí	Prueba de compresión. Reparación programada cada 18,000 hrs	No		Combinación de tareas
Arrancador	No		No		Sí	Prueba de arranque.	No		Combinación de tareas
Alternador	No		No		Sí	Prueba de carga de energía. Reemplazo programado	No		Combinación de tareas
Arnés	No		Sí	Reemplazo programado	No		No		Tarea programada de restauración o sustitución cíclica

ANEXO N°13. Plan de mantenimiento preventivo

Sistema	Componentes	Medidas propuestas	Tiempo (Hrs)	Ejecución	Cantidad (año)	Realizado por:	Costo unitario del mantenimiento (S/)	Costo del mantenimiento (S/)
Sistema Hidraulico	Pistones	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas	0.25	Cada PM	24	Encargado de mantenimiento	S/ 396.00	S/ 9,504.00
		Monitoreo de parámetros de operación	0.25	Cada Pre PM	32	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 2,112.00
	Sellos internos.	Monitoreo de presión de bomba	0.15	Cada 500 hrs	12	Operario	S/ 66.00	S/ 792.00
	Platos y pistones y rodamientos	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas	0.25	Cada Pre PM	32	Encargado de mantenimiento	S/ 396.00	S/ 12,672.00
		Monitoreo de temperatura de trabajo	0.08	Interdiario	152	Operario	S/ 66.00	S/ 10,032.00
		Análisis vibracional	0.20	Cada PM	24	Encargado de mantenimiento	S/ 429.00	S/ 10,296.00
	Vástagos y sellos	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas	0.25	Cada PM	24	Encargado de mantenimiento	S/ 396.00	S/ 9,504.00
		Monitoreo de parámetro de operación (Corrimiento de cilindros)	0.15	Cada Pre PM	32	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 2,112.00
	Vástago	Inspección visual	0.15	Diario	360	Operario	S/ 33.00	S/ 11,880.00
		Inspección UT	2	Cada 500 hrs	24	Encargado de mantenimiento	S/ 990.00	S/ 23,760.00
	Spool	Análisis y monitoreo de aceite cada 250 horas	0.25	Cada Pre PM	32	Encargado de mantenimiento	S/ 330.00	S/ 10,560.00
	Motor Diesel	Filtro	Inspección de filtro en cada Pre-Mantenimiento 100 hrs (Técnica CBM)	0.16	Cada 100 horas	60	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00

		Cambio de Filtro según horas de trabajo 500 horas.	0.25	Cada PM	24	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 1,584.00
	Tuberías	Prueba de presión de aire en línea de admisión de aire. Valor Según manual de fábrica 2 bares.	0.15	Cada 500 horas	12	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 792.00
	Turbocompresor	Análisis de aceite (Índices de desgaste de Hierro, cobre, Aluminio, PQI y viscosidad)	0.15	Cada PM	24	Encargado de mantenimiento	S/ 396.00	S/ 9,504.00
		Prueba de presión de aire en línea de admisión de aire. Valor Según manual de fábrica 2 bares.	0.25	Cada Pre PM	12	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 792.00
	Tuberías de combustible	Reemplazo programado Cada 10,000 horas de trabajo.	10	Anual	1	Operario	S/ 1,650.00	S/ 1,650.00
	Bomba de combustible	Prueba de presión de combustible en bomba de combustible.	0.20	Cada Pre PM	12	Encargado de mantenimiento	S/ 132.00	S/ 1,584.00
	Enfriadores	Inspección visual y limpieza.	0.25	Cada 100 horas	60	Operario	S/ 33.00	S/ 1,980.00
		Medición del delta de temperatura no menos a 15 °C	0.15	Cada 100 horas	60	Encargado de mantenimiento	S/ 66.00	S/ 3,960.00
	Tuberías	Inspección de fugas de aceite.	0.16	Diario	360	Operario	S/ 33.00	S/ 11,880.00
		Reemplazo programado de tuberías cada 15,000 hrs	10	Anual	1	Encargado de mantenimiento	S/ 1,650.00	S/ 1,650.00
	Costo total anual del plan de mantenimiento preventivo (S/)							S/ 142,560.00

ANEXO N°14. Programa de capacitación anual en RCM

N°	Temas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Número de veces al año	Duración (Hrs)
1	Introducción al mantenimiento centrado en la confiabilidad	X			X			X			X			4	1
2	Procedimientos estandarizados de mantenimiento	X			X			X			X			4	1
3	Limpieza e inspección de equipos, sistemas, subsistemas y componentes		X			X			X			X		4	2
4	Check list de mantenimiento antes y después de su uso		X			X			X			X		4	2
5	Plan de contingencia ante fallas			X			X			X			X	4	1

**ANEXO N°15. Inversión en contratación de personal para la implementación
del RCM**

CONTRATACIÓN		Remuneración (S/ / MES)
1	Técnico de mantenimiento predictivo	S/. 5,000.00
TOTAL (S/ /MES)		S/. 5,000.00
TOTAL (S/ /AÑO)		S/. 60,000.00

**ANEXO N°16. Inversión en útiles de escritorio para la implementación del
RCM**

Cantidad	Descripción	Costo Unit (S/)	Costo Total (S/)
2	Papel Bond A4 De 50gr Atlas (Millar)	S/. 26.00	S/. 52.00
2	Plumones (cajas)	S/. 10.00	S/. 20.00
2	Lapiceros (caja)	S/. 5.00	S/. 10.00
3	Archivadores (unidad)	S/. 5.00	S/. 15.00
2	Motas (unidad)	S/. 4.50	S/. 9.00
2	Pizarras acrílicas (unidad)	S/. 35.00	S/. 70.00
4	Tinta de impresora (unidad)	S/. 20.00	S/. 80.00
1	Engrapador (unidad)	S/. 12.00	S/. 12.00
2	Grapas (caja)	S/. 6.00	S/. 12.00
Total (S/)			S/. 280.00

**ANEXO N°17. Inversión en equipos de oficina para la implementación del
RCM**

EQUIPOS DE OFICINA			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Cámara fotográfica (unidad)	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00
2	Laptop	S/. 7,000.00	S/. 14,000.00
3	Teléfono celular	S/. 1,500.00	S/. 4,500.00
TOTAL (S/.)			S/. 20,000.00

ANEXO N°18. Inversión en materiales para la implementación del RCM

MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
64	Frascos para muestreo	S/. 30.00	S/. 1,920.00
64	Manguera para muestreo	S/. 10.00	S/. 640.00
64	Servicio para análisis de aceite	S/. 70.00	S/. 4,480.00
TOTAL (S/.)			S/. 7,040.00

ANEXO N°19. Inversión en equipos para la implementación del RCM

EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
1	Equipo de vibraciones	S/. 15,000.00	S/. 15,000.00
1	Cámara termográfica	S/. 13,000.00	S/. 13,000.00
1	Estante de madera (unidad)	S/. 400.00	S/. 400.00
TOTAL (S/.)			S/. 28,400.00

**ANEXO N°20. Inversión en capacitación al personal para la implementación
del RCM**

GASTOS DE CAPACITACIÓN			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Costo Unit (S/.)	Costo Total (S/.)
4	Introducción al mantenimiento RCM	S/. 2,000.00	S/. 8,000.00
4	Procedimientos estandarizados de mantenimiento	S/. 4,000.00	S/. 16,000.00
4	Limpieza e inspección de equipos, sistemas, subsistemas y componentes	S/. 2,000.00	S/. 8,000.00
4	Plan de contingencia ante fallas	S/. 2,000.00	S/. 8,000.00
TOTAL (S/.)			S/. 40,000.00

ANEXO N°21. Inversión total para la implementación del RCM

RESUMEN DE INVERSIONES	
TOTAL INVERSIONES ACTIVOS TANGIBLES E INTANGIBLES	TOTAL (S./AÑO)
INVERSIÓN EN ÚTILES DE ESCRITORIO	S/280.00
INVERSIÓN EN EQUIPOS DE OFICINA	S/15,500.00
INVERSIÓN EN MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN	S/7,040.00
INVERSIÓN EN EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN	S/28,400.00
INVERSIÓN EN CAPACITACIONES	S/40,000.00
TOTAL INVERSIÓN ACTIVOS TANGIBLES E INTANGIBLES (S/.)	S/91,220.00
INVERSIÓN EN CONTRATACIÓN DE PERSONAL	S/60,000.00
TOTAL INVERSIÓN (S/)	S/151,220.00

ANEXO N°22. Ingresos proyectados posterior a la implementación del RCM

Modelo	Costo del mantenimiento Antes	Costo del mantenimiento Después	Ingresos proyectado
EX2500-5	S/ 228,000.00	S/ 142,560.00	S/ 85,440.00
EX2500-6	S/ 252,800.00	S/ 163,944.00	S/ 88,856.00
Total	S/ 480,800.00	S/ 306,504.00	S/ 174,296.00

ANEXO N°23. Costos proyectados posterior a la implementación del RCM

Rubro	Costos proyectados
Materiales de implementación	S/ 7,040.00
Gasto de contratación	S/ 60,000.00
Gasto de capacitación	S/ 40,000.00
Total	S/ 107,040.00

ANEXO N°24. Flujo de caja económico de la implementación del RCM en la empresa

AÑO	0	1	2	3	4	5
Inversión	-S/151,220					
Ingreso proyectado		S/ 174,296	S/ 178,653	S/ 183,119	S/ 187,697	S/ 192,390
Depreciación		S/ 10,694	S/ 10,694	S/ 10,694	S/ 10,694	S/ 10,694
Costo proyectado		S/ 107,040	S/ 109,416	S/ 111,845	S/ 114,328	S/ 116,866
Flujo Neto de Efectivo	-S/ 151,220	S/ 77,950	S/ 79,931	S/ 81,968	S/ 84,063	S/ 86,217
VAN	S/ 108,928					
TIR	44.96%					
PRI	2.91	años				
B/C	S/ 1.72					

ANEXO N°25. Cálculo del COK para evaluar el proyecto

Rf	3.70%
Riesgo país	1.87%
Rm	8.70%
Beta U	1.11
Beta L	1.63
Inflación USA	4.90%
Inflación Perú	7.97%
(Costo oportunidad) COK USD	13.71%
COK PERÚ	17.04%

ANEXO N°26. Estadística descriptiva de los indicadores de eficiencia de los equipos

Estadística descriptiva		Disponibilidad Antes	Disponibilidad Después	MTTR Antes	MTTR Después	MTBF Antes	MTBF Después
N	Válido	10	10	10	10	10	10
	Perdidos	0	0	0	0	0	0
Media		,902260	,994720	8,509000	4,283000	156,400000	209,420000
Error estándar de la media		,0040298	,0021409	,7265022	,3657262	18,7201105	25,0655642
Mediana		,900400	,997450	7,650000	3,850000	185,685000	248,630000
Moda		,8864 ^a	1,0000	5,8100 ^a	2,9200 ^a	53,1100 ^a	71,1200 ^a
Desv. Desviación		,0127435	,0067700	2,2974017	1,1565278	59,1981873	79,2642739
Varianza		,000	,000	5,278	1,338	3504,425	6282,825
Asimetría		,851	-1,427	,223	,224	-1,095	-1,095
Error estándar de asimetría		,687	,687	,687	,687	,687	,687
Curtosis		,284	,676	-2,043	-2,043	-,223	-,223
Error estándar de curtosis		1,334	1,334	1,334	1,334	1,334	1,334
Rango		,0389	,0180	5,3900	2,7200	149,4000	200,0400
Mínimo		,8864	,9820	5,8100	2,9200	53,1100	71,1200
Máximo		,9253	1,0000	11,2000	5,6400	202,5100	271,1600
Suma		9,0226	9,9472	85,0900	42,8300	1564,0000	2094,2000

ANEXO N°27. Prueba de Normalidad de los indicadores de eficiencia de los equipos

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad Antes	,249	10	,080	,868	10	,094
Disponibilidad Después	,252	10	,072	,751	10	,004
MTTR Antes	,256	10	,062	,821	10	,026
MTTR Después	,256	10	,063	,822	10	,027
MTBF Antes	,267	10	,041	,772	10	,007
MTBF Después	,267	10	,041	,772	10	,007

ANEXO N°28. Prueba de T-Student para muestras paramétricas y relacionadas (Disponibilidad)

Prueba de muestras emparejadas								
Estadística inferencial	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Disponibilidad Antes – Disponibilidad Después	-,0924600	,0086168	,0027249	-,0986241	-,0862959	-33,932	9	,000

ANEXO N°29. Prueba de Wilcoxon para muestras no paramétricas y relacionadas (MTTR)

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre MTTR_ANTES y MTTR_DESPUES es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,005	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

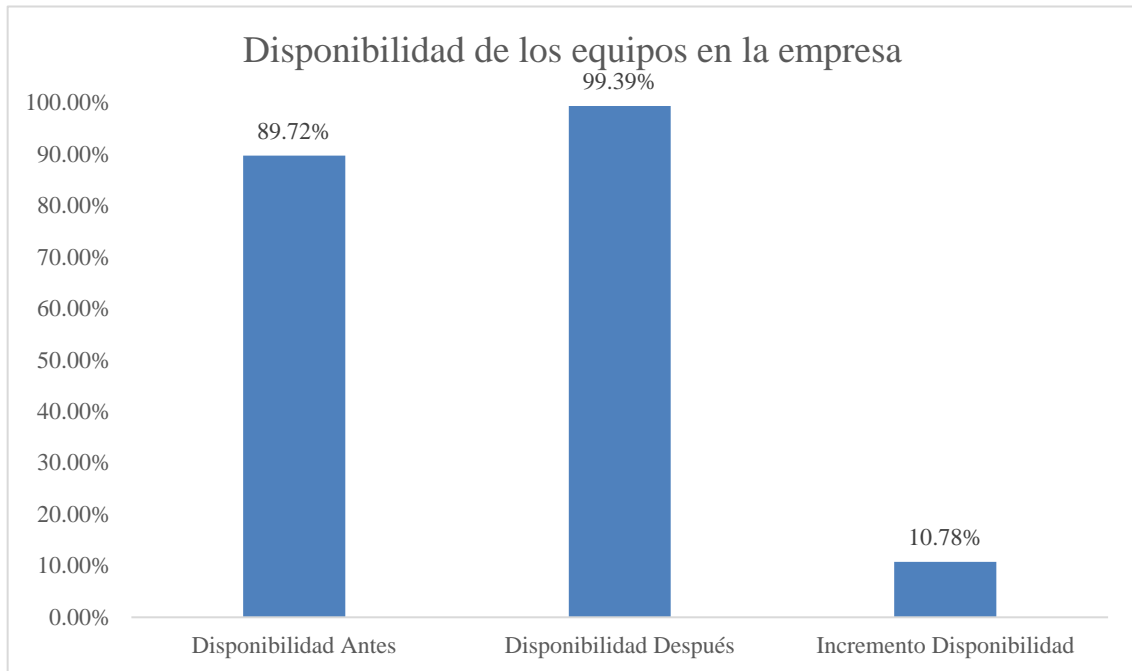
ANEXO N°30. Prueba de Wilcoxon para muestras no paramétricas y relacionadas (MTBF)

Resumen de prueba de hipótesis

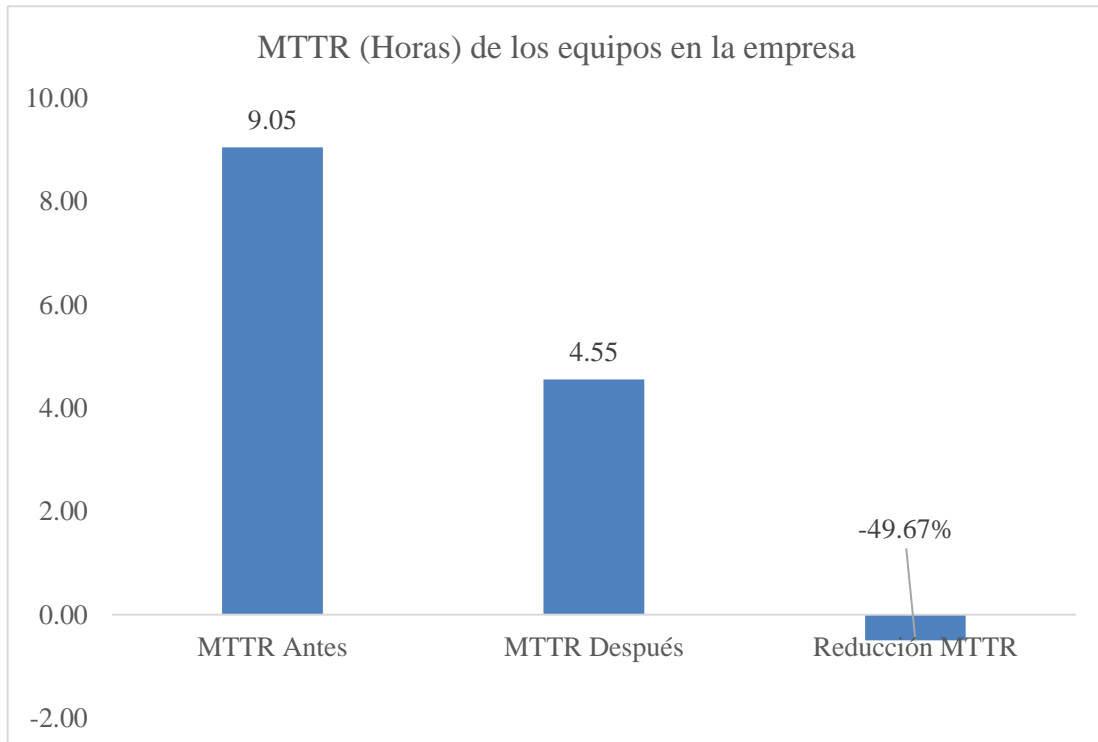
	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre MTBF_ANTES y MTBF_DESPUES es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,005	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05

ANEXO N°31. Incremento de la disponibilidad de los equipos



ANEXO N°32. Reducción del MTTR de los equipos



ANEXO N°33. Incremento del MTBF de los equipos

