Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0

Recibo de pago N° 743623

Visto el Informe **Nº 283-2024-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG**, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

Nº 267-2024

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN EL RCM PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS CAMIONES MINEROS 930E-5 DE LA UNIDAD MINERA CHINALCO S.A."

Presentado por:

HUAROTO LUNA, GIANCARLOS

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA. El resultado obtenido es un porcentaje de NUEVE POR CIENTO **(9%)**, por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 15 de Noviembre del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. José Luis Bonayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

TESIS

“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad de los camiones mineros 930E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.”

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR

Giancarlos Huaroto Luna

ASESOR

Ing. Javier Orlando Gutiérrez Ferreyra

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme dado salud, paciencia y voluntad para lograr este objetivo, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores, los cuales me han permitido ser una persona de bien, por enseñarme a ser perseverante, pero más que nada por su amor.

A mi hermano. Por ser una buena persona, ya que él estaba en momentos difíciles y ya logrando los objetivos trazados en mente.

AGRADECIMIENTO

Todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de Fiorella mi pareja, que estuvo a mi lado en los momentos difíciles, y a mi hija Thais mi gran motivación.

Gracias, también, a mi padre y a madre, que me dieron todo lo que necesité, y a mi hermano, que me dieron su contención.

Nada de esto hubiera sido posible sin ustedes. Este trabajo es el resultado de un sin fin de acontecimientos que poco tuvieron que ver con lo académico, sino más bien, con el amor.

Gracias infinitas a ustedes y, por supuesto, a Dios, por ponerlos en mi camino.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA 2

AGRADECIMIENTO 3

ÍNDICE GENERAL 4

INDICE DE TABLAS 6

INDICE DE FIGURAS 7

RESUMEN 8

ABSTRACT 9

I. INTRODUCCIÓN 10

1.1. Realidad problemática 10

1.2. Antecedentes del problema de investigación 12

1.2.1. Antecedentes internacionales 12

1.2.2. Antecedentes nacionales 14

1.2.3. Antecedentes locales 16

1.3. Formulación del problema 18

1.4. Justificación e importancia de la investigación 18

1.4.1. Justificación de la investigación 18

1.4.2. Importancia de investigación 19

1.5. Objetivos de la investigación 19

1.6. Hipótesis de la investigación 20

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA 22

2.1. Tipo, Nivel y Diseño de la investigación 22

2.1.1. Tipo de investigación 22

2.1.2. Nivel de investigación 22

2.1.3. Diseño de investigación 23

2.2. Población y muestra 23

2.2.2. Muestra 23

2.3. Técnicas de recolección de datos 24

2.4. Instrumentos de recolección de datos 24

2.5. Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de resultados 25

2.6. Variables de la investigación 25

III. PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 27

3.1.1. Analizar la situación actual del mantenimiento de los camioneseléctricos 930 E-5 27

Evaluación de Disponibilidad 28

3.1.2. Identificación del sistema con mayor porcentaje de fallas en elcamión 30

Nivel de Criticidad 30

Diagrama de Pareto 33

3.1.3. Proponer un plan de mantenimiento basado en RCM estableciendopolíticas, estrategias y objetivos para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A. 34

Identificación de Fallas Funcionales, modos de fallas y efectos de Falla 34

Identificación de tareas 45

Tareas de mantenimiento resultantes del RCM y Aplicación 47

3.1.4. Determinar el presupuesto de la propuesta del plan demantenimiento RCM para los camiones eléctrico 930 E-5 basado. 49

Gastos anuales de la implementación 49

Depreciación de la implementación 51

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 53

V. CONCLUSIONES 55

VI. RECOMENDACIONES 56

VII. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS 57

Anexo 1: Matriz de consistencia 61

Universidad: 63

Equipo a observar: 63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización 26
Tabla 2 *Horas laborables del camión 930 E – 5* 28
Tabla 3 Tabla de factores ponderados de la criticidad 31
Tabla 4 Tabla de resultados de criticidad 32
Tabla 5 Duración de Fallas por sistema 33
Tabla 6 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Camión Minero 930E-5 40
Tabla 7 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Camión Minero 930E-5 41
Tabla 8 Efecto de Fallas, modo de falla y efecto de falla del motor mecánico 42
Tabla 9 Diagrama de Decisión RCM 44
Tabla 10 Tareas de mantenimiento como respuesta a las consecuencias 45
Tabla 11 Tareas de mantenimiento 47
Tabla 12 Costos de inversión para la implementación del plan de mantenimiento RCM 49
Tabla 13 Costo de los gastos anuales de la implementación del del plan de mantenimiento RCM 50
Tabla 14 Costos por depreciación 51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Especificaciones técnicas 27
Figura 2 Disponibilidad 29
Figura 3 MTBF Inicial 29
Figura 4 MTTR Inicial 30
Figura 5 Diagrama de Pareto 34
Figura 6 Metales de bancada y biela 35
Figura 7 Metales de biela del banco R. en la posición N°1 destruidos y en la posición N°2 girados 35
Figura 8 Block del motor 36
Figura 9 Puño de biela fundidos en la posición N°1, puño de bancada N°1 con poco daño y puño de bancada N°2 afectado 36
Figura 10 Cuerpo de biela 1R roto y sin la tapa severamente sobrecalentado. 36
Figura 11 Cabeza de pernos de biela rotas 37
Figura 12 Los metales 6L y 6R se giraron, el metal 6L se muestra fundido en el puño del cigüeñal 37
Figura 13 Los puños de biela 7L y 7R están fundidos 37
Figura 14 El puño de las bielas 8L y 8R está dañado en 8R se muestra material adherido 38
Figura 15 Falla de cojinete de Biela 7RB 38
Figura 16 Metales de biela 39
Figura 17 Ciclo de mantenimiento del sistema mecánico 48

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es desarrollar un plan de mantenimiento óptimo basado en el enfoque RCM para aumentar la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E – 5 en la unidad minera Chinalco S.A., se determinó que actualmente no se cuenta con un adecuado plan de mantenimiento para evitar averías de los camiones. La investigación tuvo una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, empleando un nivel descriptivo y diseño no experimental, y la muestra la conformó un camión eléctrico 930E – 5. Como resultado se observó un MTBF promedio de 32.70 horas y un MTTR de 6.55 horas en promedio, la disponibilidad promedio se sitúa en un 83.43%, mientras que se han registrado 126 fallas en total. En conclusión, se definió un plan óptimo de mantenimiento fundamentado en la metodología RCM, el cual mejora significativamente la producción de la mina.

Palabras clave: Metodología RCM, camión eléctrico, MTTR, MTBF y mantenimiento.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop an optimal maintenance plan based on the RCM approach to increase the availability of the 930 E – 5 electric trucks in the Chinalco S.A. mining unit, it is decided that currently there is no adequate maintenance plan for Avoid truck breakdowns. The research had a quantitative approach methodology, of an applied type, using a descriptive level and non-experimental design, and the sample was made up of a 930E – 5 electric truck. As a result, an average MTBF of 32.70 hours and an MTTR of 6.55 hours were obtained. . On average, the average availability stands at 83.43%, while 126 failures have been recorded in total. In conclusion, an optimal maintenance plan was defined based on the RCM methodology, which significantly improves mine production.

Key words: RCM methodology, electric truck, MTTR, MTBF and maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La industria minera a nivel global se enfrenta a desafíos significativos en la gestión de sus activos, con la eficiencia operativa y la disponibilidad de equipos emergentes como áreas críticas. La falta de planes de mantenimiento preventivo efectivos puede resultar en tiempos de inactividad no planificados, lo que impacta negativamente en la productividad y rentabilidad de las operaciones mineras a escala mundial [22].

A nivel internacional, en países clave como Australia, Canadá y Sudáfrica, se evidencian problemas similares en la industria minera. Datos indican que, en promedio, el 30% de los camiones mineros tienen paradas no planificadas, afectando la producción y generando costos adicionales [23]. Estas cifras resaltan la necesidad global de abordar la gestión del mantenimiento de manera más efectiva para mejorar la disponibilidad de equipos en todos los sectores económicos ya sea en este proyecto se centra en la minería.
[24].

En el ámbito nacional, la industria minera en Perú, donde se encuentra la unidad minera Chinalco SA, no es ajena a estas paradas no planificadas. Los datos estadísticos revelan que la falta de un plan de mantenimiento preventivo estructurado contribuye a que el 25% de los camiones mineros operen por debajo de su capacidad máximadebido a fallas imprevistas [25] Este escenario afecta directamente la contribución de la minería al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, así como la generación de empleo y el desarrollo de infraestructuras locales [26].

La empresa Chinalco SA, en particular, se enfrenta a una problemática crítica en el manteamiento actual de sus camiones mineros 930E-5. Datos internos muestran que el 40% de las paradas no programadas de estos vehículos se deben a fallas mecánicas evitables con un enfoque de mantenimiento preventivo más eficiente. Esta situación no solo conlleva pérdidas económicas sustanciales, sino que también impacta negativamente en la seguridad y confiabilidad de las operaciones mineras de la empresa. Por lo tanto, surge la necesidad urgente de diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM

para maximizar la disponibilidad y eficiencia de los camiones mineros, mitigando así los impactos adversos en la productividad y rentabilidad de la empresa.

Uno de los pilares más importantes económicamente a nivel mundial es la industria minera, la actividad primordial para la ciencia es maximizar la eficiencia, es por eso que se estudian muchos métodos para las principales operaciones para de alguna manera mejorar los recursos [22].

Por ello, la Asociación de Proveedores de la Industria Minera (Aprimin) manifestó que la gestión del mantenimiento en la minería se realiza de manera compartida (por ellos mismos o por terceras empresas), en esta relación se observan varias deficiencias en la gestión del mantenimiento, buscando como objetivo primordial el aumento de la productividad una empresa minera [23]. Con el tiempo, los servicios de mantenimiento de plantas industriales mineras han sidola mejor opción para mejorar la rentabilidad de sus activos [24].

En el plano nacional, la actividad que produce más ganancias y aporta un gran porcentaje del PBI es la industria minera, ya que produce muchos puestos laborales, mejora la infraestructura, las comunicaciones y los servicios primordiales de la población [25].

En el 2017, la minería contribuyó 0,4% al crecimiento del PIB que significa el Producto Bruto Interno de un país, es por ello que hasta hoy es una actividad muy importante para el país [26].

Cabe mencionar que no cuenta con un mantenimiento de estos camiones eléctricos, así como ocasionando paradas no programadas como consecuencia, generando baja producción así como consecuencia tienen perdidas económicas a esta empresa minera, motivo por el cual surge la necesidad de proponer un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (o por las siglas en inglés RCM) para incrementar sus indicadores y garantizando la fiabilidad y seguridad de estos camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.

1.2. Antecedentes del problema de investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

Nogales y Espinoza [1], en su artículo titulado “Metodología innovadora: Reingeniería de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM-R®) para un ingenio azucarero en Santa Cruz” el objetivo fue incrementar la eficacia del procedimiento de planificación del mantenimiento preventivo en el área de extracción de los ingenios azucareros durante la extracción I y II de zafra. El enfoque metodológico empleado fue cuantitativo, de carácter aplicado, con un nivel descriptivo y un diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados que la disponibilidad de extracción I es 90.7 y extracción II de 91.0 %, siendo inferiores a los requerimientos de la empresa cuyo valor es de 97 %, debido a que se encontraron carencias en el plan actual, falta de clasificación, asignación de recursos y análisis estadístico, por lo que se realizó el desarrollo de plan propuesto basado en RCM-R con mejor organización, clasificación, y asignación de recursos. La estimación de reducción de costos de mantenimiento correctivo es de entre 50% y 89,6% con la metodología RCM-R. Por lo tanto, se concluye que la implementación del enfoque RCM-R ha demostrado ser una herramienta clave, evidenciando una reducción potencial de más del 50% en los costos de mantenimiento correctivo.

Bustamante y Cañaveral [2], en su investigación titulada “Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex” cuyo objetivo fue elaborar un plan de mantenimiento para la línea de productos de una compañía dedicada a la fabricación de productos de látex utilizando la metodología RCM. El método de investigación adoptó un enfoque cuantitativo, siendo de naturaleza aplicada, de nivel descriptivo y con un diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados que al implementar la metodología RCM para horno de vulcanizado de la Línea B su disponibilidad incrementó en un 3.69 %, teniendo un costo anual de e $ 456 623,320, siendo equivalente a un ahorro del 66,08 %. Por lo que se concluye que la aplicación de la metodología RCM en el análisis del horno de vulcanización de la línea B en la empresa manufacturera de látex ha proporcionado resultados significativos, contribuyendo no solo a extender la

durabilidad de los componentes y, al mismo tiempo, garantizar la seguridad y el respeto al medio ambiente y la eficiencia de la línea de producción.

Oviedo y Sepúlveda [3], en su investigación titulada “Diseño de un programa de mantenimiento para la flota de camiones caterpillar 777g de cerro matoso, utilizando la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad”, cuyo fue establecer un objetivo dentro de Cerro Matoso S.A., que consiste en elaborar un plan de mantenimiento para los camiones Caterpillar 777G mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. La metodología de la investigación fue cuantitativa, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados un incremento de la disponibilidad del 81% al 95%. Por lo que se concluye que la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la flota de camiones Caterpillar 777G en Cerro Matoso S.A ha demostrado constituir una estrategia eficaz para disminuir los gastos vinculados al inventario y potenciar la disponibilidad operativa de los equipos.

Rana, Medhi y Milad [4] en su artículo titulado “A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan”. El cual tuvo como objetivo de estudio proponer un enfoque híbrido de RCM para las máquinas de transporte minero en Irán. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo, con carácter aplicado, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se seleccionaron los equipos críticos mediante la toma de decisiones, además se hizo un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad o FMECA, para seleccionar y priorizar fallas para optimizar el RCM, esto se hizo con la finalidad de reducir los costos notables aplica es en los equipos. Por lo que se concluyó que el estudio realizado donde aplica el mantenimiento centrado en la confiabilidad para máquinas de transporte minero, ha permitido la identificación y priorización de máquinas críticas y fallas de alto riesgo, así mismo, contribuyendo a la eficiencia y continuidad de las operaciones mineras.

Rodríguez y Martínez [5], en su investigación titulada “Diseño de un plan de mantenimiento en gaseosas colombianas S.A.S sede sur, en la línea de producción de agua potable basado en la metodología de mantenimiento

centrado en confiabilidad (RCM)". Cuyo objetivo fue elaborar un programa de mantenimiento en la instalación de Gaseosas Colombianas Sur, aplicando la metodología de mantenimiento RCM específicamente en la línea de producción de agua potable. La investigación tuvo una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados una disponibilidad de 84,15 % inicialmente, así mismo la disponibilidad esperada es de 92,23 % en las máquinas de La línea de suministro de agua potable, así como la aplicación de la metodología de Mantenimiento AMEF fue la más adecuada para complementar la metodología RCM. La conclusión obtenida es que la puesta en marcha de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM mejorará la disponibilidad, confiabilidad y rentabilidad de las máquinas de la línea de agua potable.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Marcedo y López [6], en su investigación titulada "Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM" que tuvo como propósito la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento dirigido a mejorar la disponibilidad de equipos subterráneos en una empresa minera de tamaño mediano situada en Ayacucho, Perú. La metodología de la investigación fue cuantitativa, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados que el análisis AMEF identificó funcionales para los sistemas críticos. El diagrama de decisión RCM asignó tareas preventivas, resultando en actividades de mantenimiento específicas para cada sistema, así mismo un aumento en la disponibilidad de la Flota Scoop del 77% al 83%, el análisis económico determinó un VAN de $ 23,980.30, una TIR de 40,4%. En conclusión, la implementación de la metodología RCM en la administración del mantenimiento de maquinaria subterránea en una compañía minera de tamaño mediano situada en Ayacucho, ha demostrado una mejora significativa de la disponibilidad y eficiencia operativa.

Puente [7] en su investigación titulada "Propuesta de un modelo de plan de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad física en los camiones eléctricos Komatsu 730E, basado en metodología TPM-RCM" el propósito

consistió en desarrollar un enfoque de planificación de mantenimiento destinado a optimizar el rendimiento físico de los montacargas eléctricos Komatsu 730E, utilizando como base la metodología TPM-RCM. La investigación tuvo una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño experimental. Donde se obtuvo como resultado un incremento de la disponibilidad, pasando de un valor inicial del 84 % a un valor final del 90 %, así mismo, una inversión de $27,010 dólares, se obtiene un VAN de $813,663.67 en un lapso de doce meses y una TIR del 331%. Se determinó que la metodología de mantenimiento centrada en la confiabilidad es la más apropiada para abordar la cuestión.

Guillen y Reyna [8], en su investigación titulada “Sistema de mantenimiento RCM con el fin de optimizar la disponibilidad de equipos del área de calderos en una empresa azucarera” el propósito principal fue diseñar un sistema de mantenimiento basado en la metodología RCM con el fin de mejorar la disponibilidad de los equipos en la sección de calderas de una empresa azucarera. La metodología de la investigación fue cuantitativa, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados una disponibilidad general de los equipos en el área de calderas de 83.45% y una confiabilidad general de los equipos de 92.18%, posterior a la gestión de mantenimiento RCM se obtuvo una disponibilidad mejorada a 94.73% y una confiabilidad mejorada a 91.55%, la inversión inicial fue de 43,950.00 USD, un beneficio útil anual de 58,708.00 USD y un tiempo de retorno de la inversión de 9 meses. Por lo que se concluye que el mantenimiento basado en RCM tuvo un impacto positivo del enfoque preventivo y planificado en el mantenimiento, destacando su contribución a la eficiencia operativa, la disminución de gastos y la mejora global en la producción de la compañía azucarera.

Lara [9], en su investigación titulada “Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad de los Jumbos S1D en la unidad minera Pallca – Ancash”, el propósito de este esfuerzo fue aumentar la disponibilidad de los Jumbos S1D en la mina Pallca, logrando esto a través de la creación de un plan de mantenimiento fundamentado en la metodología RCM. La investigación tuvo una metodología de enfoque cuantitativa, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y

diseño experimental. Donde se estableció un plan de mantenimiento con intervalos específicos y tareas proactivas, optimizando la gestión de los equipos como resultados un incremento del 14% en la disponibilidad mecánica de los Jumbos S1D, alcanzando un promedio del 87%. la implementación del plan de mantenimiento fundamentado en la metodología RCM en los Jumbos S1D de la unidad minera Pallca - Ancash ha generado mejoras sustanciales en la disponibilidad mecánica de los equipos.

Gamarra [10], en su investigación titulada “Proceso de mantenimiento basado en RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de cargador frontal 962L en la empresa Ecosermy – Yauli”, la cual buscaba incrementar la disponibilidad mecánica del cargador frontal 962L de Yaul, Ecosermy, mediante la aplicación de un procedimiento de mantenimiento basado en la metodología RCM. La metodología de la investigación fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental. Donde se obtuvieron como resultados aumento del 6,45% en la disponibilidad mecánica del cargador frontal 962L – ECO 248, pasando de un 88,80% a un 95,25%, un aumento de la confiabilidad en un 8,66% pasando de 87,95 % a 96,60 %. La implementación del proceso de mantenimiento basado en RCM ha evidenciado su efectividad en mejorar tanto la disponibilidad mecánica como la confiabilidad del cargador frontal 962L – ECO 248.

1.2.3. Antecedentes locales

Calla [11] en su investigación titulada “Propuesta de implementación del RCM2 en el proceso de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO en una empresa minera del departamento de Junín”, el propósito consistía en desarrollar una propuesta para la implementación de RCM2 en el procedimiento de mantenimiento con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa de la estación de bombeo GEHO. La metodología aplicada fue de diseño no experimental, con un enfoque cuantitativo, nivel explicativo y del tipo aplicada; en la que obtuvo como resultados un incremento de la disponibilidad de 88.9% a 95.6%, teniendo un aumento del 55% en las actividades preventivas, una disminución del 26% en las actividades correctivas y un aumento del 117% de las actividades predictivas; así mismo se obtiene un

VAN de $49,689,355 y un ROI de $3.28: $1. Como conclusión se obtuvo que la implementación del RCM2 logra mejorar los indicadores de mantenimiento se mejoraron, lo que resultó en un aumento en la producción y las ganancias de la empresa.

Huamán [12] en su investigación titulada “Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza – Marcapomacocha Junín”, el propósito consistía en desarrollar un plan de mantenimiento preventivo orientado a la confiabilidad con el propósito de aumentar la disponibilidad de los equipos de transporte y carga pesada en una mina de piedra caliza. La investigación sigue un enfoque cuantitativo, tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño experimental, cuyos resultados obtenidos fueron que se logró una mejora del 7.19% de disponibilidad del Tractor oruga Cat., del 8.06% del Cargador frontal Sem y del 7.12% del Cargador frontal Cat. En conclusión, se estableció que la mejora en la disponibilidad de los equipos de carga y transporte pesado en una cantera de piedra caliza requiere la formulación de un plan de mantenimiento preventivo con un enfoque centrado en la confiabilidad.

Andrade y Ramos [13] en su investigación titulada “Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera”, el propósito consistía en elevar la eficiencia operativa de la Línea de Trituración Primaria mediante la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento. La metodología aplicada es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental, en la que obtuvo como resultados que se aumentó la disponibilidad de 86.9% a 90.95%, así como los indicadores económicos de TIR de 20.69%, VAN de $ 41,872.94, periodo de recuperación de la inversión de 2.72 años y un índice de rentabilidad de 1.17. Se llegó a la conclusión de que la administración del mantenimiento RCM sirve como una dirección crucial para impulsar el desarrollo de los activos empresariales, generando un cambio positivo en la capacidad de mantenimiento, la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos.

García [14] en su investigación titulada “Elaboración de un plan de mantenimiento con fines de reducción de costos utilizando la metodología del

RCM para el área de molienda de la Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú", propuso la creación de un plan de mantenimiento con el fin de reducir costos, empleando la metodología RCM en la planta concentradora de la empresa minera. La investigación sigue una metodología de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y con un diseño experimental, del tipo aplicada y de enfoque cuantitativo, los resultados fueron un aumento de la disponibilidad de 11.3%, llegando al 93.6%; un incremento de la mantenibilidad al 88%, lo que significa un 14% y los indicadores económicos fueron un TIR de 15% y un VAN de S/. 1,878,355.46. Por lo que se determinó que la implementación de planes de mantenimiento RCM dirigidos a los equipos críticos en el área de Molienda conduce a mejoras significativas en la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad.

1.3. Formulación del problema

a) Problema general

¿Cómo se va desarrollar un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para mejorar la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.?

b) Problemas específicos

- ¿Cómo determinar la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5?
- ¿De qué manera elaborar el plan de mantenimiento basado en RCM para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.?
- ¿Cuál es la viabilidad económica con el plan de mantenimiento RCMpara los camiones eléctricos 930 E-5?

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación de la investigación

Justificación metodológica

El objetivo de este estudio es desarrollar un plan de atención preventiva basado en RCM para los camiones mineros de la minera Chinalco, lo cual se realizó con

etapas metodológicas con el propósito de alcanzar y avanzar en el logro y avance de los objetivos, así también, para la elaboración de dispositivos o herramientas utilizadas para recopilar información, los cuales permitieron calcular las variables en estudio y llegar a plantear una solución específica para el problema presentado. Por ende, este plan de mantenimiento se realizó con el fin de fomentar el uso de esta metodología y hacer de ello una cultura preventivafrente a las fallas suscitadas durante cualquier jornada laboral.

Justificación práctica

Esta investigación encuentra justificación en términos prácticos porque con los resultados permitieron encontrar soluciones sintetizadas, se enfoca en resolver un problema que perjudica la situación actual con un motivo por el cual, mediante este plan de mantenimiento preventivo RCM tiene como objetivo mejorar el tiempo hora - máquina permitiendo obtener mayor tiempo productivo.

Justificación teórica

La propuesta de implementar un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM mejora el enfoque tradicional de mantenimiento porque considera nuevos métodos y utiliza nueva tecnología parapredecir fallas futuras.

1.4.2. Importancia de investigación

El presente proyecto aportó un plan de mantenimiento el cual logró no solo mejoras en cuanto al estado de los camiones mineros de la unidad minera Chinalco, sino que también favoreció económicamente a la unidad minera. Así mismo, lo más importante es que contribuye con garantizar la integridad y salud del personal que, en realización de sus labores, operan dichos camiones mineros.

1.5. Objetivos de la investigación

a) Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para mejorar la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.

b) Objetivos específicos

- Analizar la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5
- Proponer un plan de mantenimiento basado en RCM estableciendo políticas, estrategias y objetivos para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.
- Determinar el presupuesto de la propuesta del plan de mantenimiento RCM para los camiones eléctricos 930 E-5.

1.6. Hipótesis de la investigación

a) Hipótesis general

El plan de mantenimiento preventivo basado en RCM mejora la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.

b) Hipótesis específicas

- El análisis de la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5 permitirá determinar las causas intrínsecas que tiene mayor frecuencia en los distintos sistemas mecánicos y eléctricos en dichos equipos.
- La propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM y mediante el establecimiento de políticas, estrategias y objetivos mejorará la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.
- El cálculo del presupuesto determinará la inversión total de la propuesta del plan de mantenimiento para los camiones eléctricos 930 E-5.

En el capítulo 1, se sustenta el marco teórico, el cual está formado por los antecedentes internacionales y nacionales, los cuales se toman como referencia para nuestro análisis e investigación, además de ello se toman en cuenta las bases teóricas de la investigación con el fin de entender mejor lo que se está estudiando.

En el capítulo 2, la existencia del problema se basa en el entorno nacional e internacional, de igual forma la fundamentación de la justificación, limitaciones y el propósito que tiene nuestra investigación.

En el capítulo 3, se sustenta el marco metodológico, el cual contiene a las variables investigadas, tanto la dependiente como la independiente, junto con sus correspondientes matrices de operacionalización, a la vez que se analiza la población y la muestra.

En capítulo 4, se sustenta las técnicas que hemos utilizado para la obtención de datos en nuestro estudio de investigación.

En el capítulo 5, se fundamenta los resultados de nuestro estudio, los cuales se justifican en base a diversos cálculos y metodologías.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Tipo, Nivel y Diseño de la investigación

2.1.1. Tipo de investigación

La investigación aplicada se caracteriza por su enfoque en la generación de conocimientos con aplicaciones prácticas y utilidad concreta. En este caso, el objetivo principal es abordar problemas específicos relacionados con el aprovechamiento de horas máquina en un contexto determinado. La prioridad se centra en mejorar la eficiencia y rendimiento, particularmente en camiones eléctricos que integran sistemas mecánicos y eléctricos.

Según Azuero [27], este tipo de análisis se fundamenta en la realización de mediciones detalladas de variables, utilizando herramientas de recolección de datos que proporcionan información numérica. En el proceso de investigación, se llevó a cabo la recopilación de una cantidad significativa de datos cuantitativos, abarcando todos los aspectos del desarrollo del proyecto. El objeto de estudio se focalizó en la variable que presenta la mayor frecuencia en los sistemas mecánicos y eléctricos de los camiones eléctricos analizados

2.1.2. Nivel de investigación

Según Azuero [27], la investigación descriptiva constituye un tipo de indagación científica cuyo propósito central radica en proporcionar una descripción detallada y precisa de un fenómeno, situación, proceso o relación específicos. A diferencia de abordar las razones o causas subyacentes, su enfoque se centra en responder preguntas fundamentales sobre el qué, el quién, el cuándo y el dónde.

La investigación se caracteriza por un enfoque descriptivo, donde se busca tanto identificar generalidades significativas de situaciones y hechos como contribuir al conocimiento en el ámbito de los camiones eléctricos utilizados por Chinalco S.A. Específicamente, la investigación se centra en documentar, describir, analizar, inspeccionar e interpretar el rendimiento de los equipos mineros, con énfasis en el modelo 930 E-5.

2.1.3. Diseño de investigación

La elección de un diseño no experimental para esta investigación se justifica por la naturaleza de los registros de fallas, los cuales se presentan en diferentes lapsos de tiempo según el tipo de sistema de camión eléctrico.

Siguiendo la perspectiva de Ñaupas et al [28], en la investigación no experimental, se examina el comportamiento de una variable sin intervenir directamente en la manipulación de variables independientes ni aplicar tratamientos controlados a lo largo del tiempo y en un contexto específico. Este enfoque se adopta debido a que la variable en estudio no experimenta cambios planificados; por lo tanto, el presente estudio se centra en la observación y análisis de las variables sin modificar intencionalmente sus valores.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Ñaupas et al [28], menciona que la población en el contexto de la investigación se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que comparten ciertas características específicas y que son objeto de estudio. Esta puede ser finita o infinita, dependiendo de si es posible enumerar todos los elementos o si existe un número ilimitado. La población proporciona el marco general para la investigación y representa el universo completo sobre el cual se busca obtener conclusiones o generalizaciones.

En este contexto específico, la población se define como el conjunto completo de camiones mineros 930E-5 que pertenecen y operan en la unidad minera de Chinalco S.A.

2.2.2. Muestra

Según Ñaupas et al [28], la muestra constituye un segmento cuidadosamente seleccionado de la población total con el propósito de representar y examinar características específicas de interés en el contexto de la investigación. Dado que explorar exhaustivamente toda la población puede resultar impráctico o costoso, se opta por elegir una muestra que sea representativa y que posibilite

realizar inferencias válidas sobre la población en su conjunto. La calidad de la investigación está estrechamente ligada a la selección precisa de la muestra, ya que esta debe reflejar con precisión las características relevantes de la población.

En este caso, la muestra está compuesta por un solo camión minero 930E-5 de la unidad minera Chinalco S.A. La elección de un solo vehículo como muestra implica seleccionar representativamente un único elemento de la población total de camiones mineros 930E-5 en la unidad minera.

2.3. Técnicas de recolección de datos

Ñaupas [29] define que las técnicas de investigación son los procedimientos y métodos específicos utilizados para recolectar, analizar y interpretar datos en el contexto de una investigación. Estas técnicas pueden abarcar una variedad de enfoques, desde encuestas y entrevistas hasta observaciones, experimentos y análisis estadísticos. La elección de técnicas de investigación depende de la naturaleza del problema de investigación, los objetivos planteados y la disponibilidad de recursos.

En este estudio, se emplea el método de observación como enfoque principal. La observación se define como el proceso de obtener conocimiento sobre la realidad factual mediante la experiencia directa y la atención detallada a los fenómenos o eventos.

2.4. Instrumentos de recolección de datos

Según Azuero [27], los instrumentos de investigación son las herramientas o medios específicos que se utilizan para recolectar datos durante una investigación. Estos pueden ser cuestionarios estructurados, escalas de medición, dispositivos de medición física, software de análisis, entre otros. Los instrumentos son seleccionados y diseñados de acuerdo con la técnica de investigación elegida y los objetivos del estudio.

En este estudio, se utiliza la guía de observación como el instrumento principal. Esta herramienta facilita la evaluación de situaciones que no son previamente

conocidas, proporcionando un marco estructurado para la recopilación de datos. La guía de observación se detalla de manera específica en el Anexo 2: Guía de observación.

2.5. Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Se emplearon técnicas de procesamiento y análisis de datos, las cuales incluyeron métodos inferenciales y estadísticas descriptivas, tal como se refería en la literatura consultada [29]. Concretamente, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo a través de la elaboración de tablas de frecuencia y gráficos de barras. Estas herramientas ofrecieron una representación visual y organizada de los datos recopilados, posibilitando la identificación de patrones y tendencias clave. El análisis estadístico descriptivo resultó fundamental para una comprensión más profunda de la información recolectada.

2.6. Variables de la investigación

a) Identificación de variables

   Variable dependiente: Disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5

   Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM

b) Operacionalización de variables: Se presenta la matriz de operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Plan de mantenimiento basado en el RCM	Se trata de un proceso estructurado con el objetivo de establecer la política de mantenimiento más apropiada para cada equipo en una instalación industrial, considerando su entorno operativo	A través de metodologías como el Análisis de Modo y Efecto de Fallas, se determinan los índices de severidad, ocurrencia y detección. Estos valores multiplicados entre sí resultan en el Número Prioritario del Riesgo	Número prioritario del riesgo (NPR)	Índice de severidad	Razón
				Índice de ocurrencia	Razón
				Índice de detección	Razón
Variable dependiente: Disponibilidad	Es la estimación de la probabilidad de que un componente o sistema esté operativo durante un período específico, siendo un indicador que evalúa la frecuencia con que un sistema se encuentra en funcionamiento.	Se establece mediante el cálculo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio para Reparar (MTTR).	Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{horas\ trabajadas}{número\ de\ fallas\ presentadas}$	Razón
			Tiempo promedio para reparar (MTTR)	$MTTR = \frac{horas\ en\ reparaciones}{número\ de\ fallas\ presentadas}$	Razón

Nota. Elaboración propia.

III. PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Presentación e interpretación de resultados

3.1.1. Analizar la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5

Especificaciones Técnicas

Según la ficha técnica las especificaciones y características del camión eléctrico modelo 930E-5, se muestran en la siguiente figura:

Figura 1 Especificaciones técnicas

Peso	**215.3 t**	Neumáticos estándar	**53/80 R63**
Capacidad de la cuchara bivalva	**171 m³**	Longitud de transporte	**15.6 m**
Anchura transporte	**8.33 m**	Altura de transporte	**7.37 m**
Velocidad	**64.5 km/h**	Altura de carga	**7.06 m**
Fabr. del motor	**Komatsu**	Modelo de motor	**SSDA18V170**
Rendimiento de motor	**2611 kW**	N° de cilindros	**18**
Carga útil	**###**	Dirección	**###**
Radio de torneado exterior	**###**	Medidas lxanxa	**###**
Cilindrada	**###**	Revoluciones	**###**
Par máximo	**###**	cilindro Diámetro x carrera	**###**
Nivel de emisión	**###**		

Nota. Obtenido de la ficha técnica del modelo Komatsu 930E-5 [30]

Evaluación de Disponibilidad

Para determinar el estudio de disponibilidad, se determinó la jornada laboral de la empresa con base en los requerimientos basados en la ingeniería de la Unidad Minera Chinalco. Se dice que esta máquina está activa las 24 horas del día. Se elaboró una tabla que muestra las horas de trabajo mensuales durante 6 meses (Tabla 2).

Tabla 2

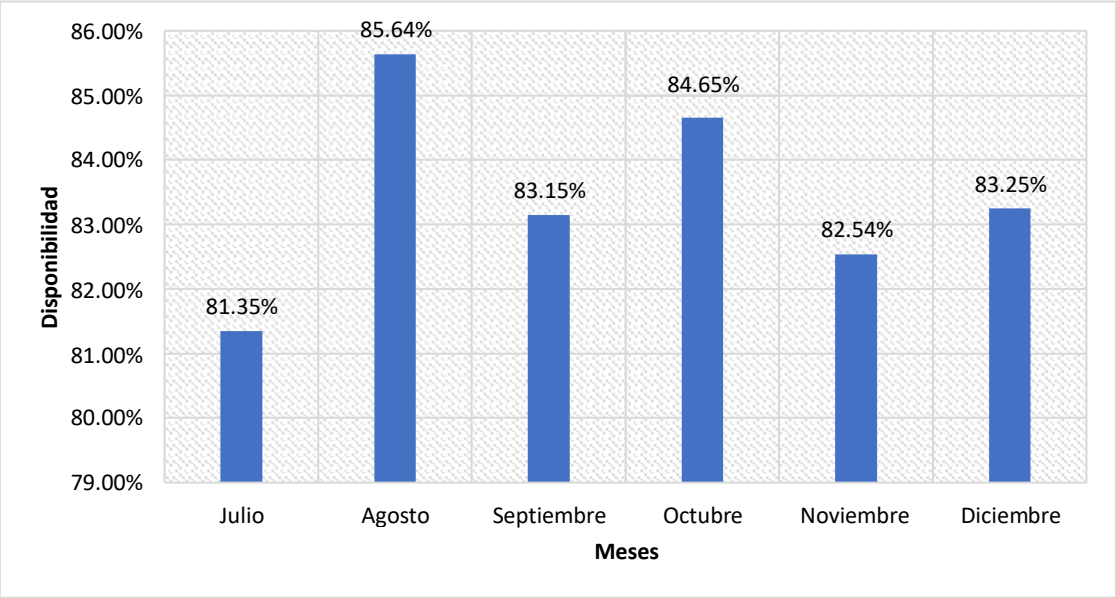
Horas laborables del camión 930 E – 5

MES	HORAS PROGRAMADAS	HORAS TRABAJADAS	HORAS PARADAS	N° FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD (%)
Julio	744	605.25	138.75	20	30.26	6.94	81.35
Agosto	744	637.13	106.87	27	23.60	3.96	85.64
Septiembre	720	598.66	121.34	24	24.94	5.06	83.15
Octubre	744	629.8	114.2	15	41.99	7.61	84.65
Noviembre	720	594.3	125.7	11	54.03	11.43	82.54
Diciembre	744	619.4	124.6	29	21.36	4.30	83.25
				126	**32.70**	**6.55**	**83.43**

Nota. Elaboración Propia

Como se pudo ver en la tabla la disponibilidad total que se ha tenido en el periodo de 6 meses del camión eléctrico 930E – 5 es del 83.43%, siento el porcentaje de disponibilidad mayor en el mes de agosto y el porcentaje de disponibilidad menor en el mes de julio.

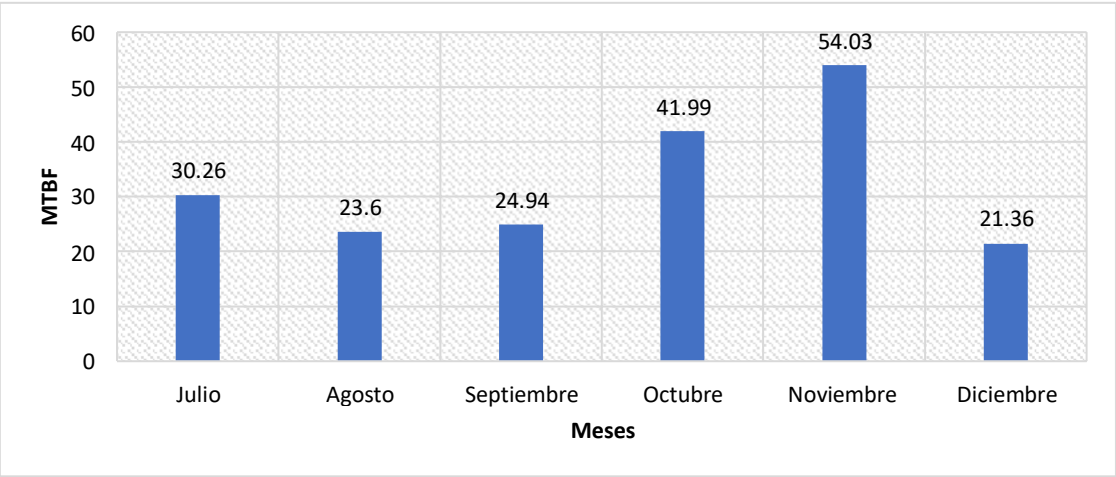
Figura 2 Disponibilidad



Nota. Elaboración Propia

La Figura 2 muestra la disponibilidad de modelo 930E-5 en el período de julio a diciembre de 2022. En esta tabla se muestra que el mes más importante es agosto. Julio es el mes con menos disponibilidad debido a menos fallas y menos horas de trabajo.

Figura 3 MTBF Inicial

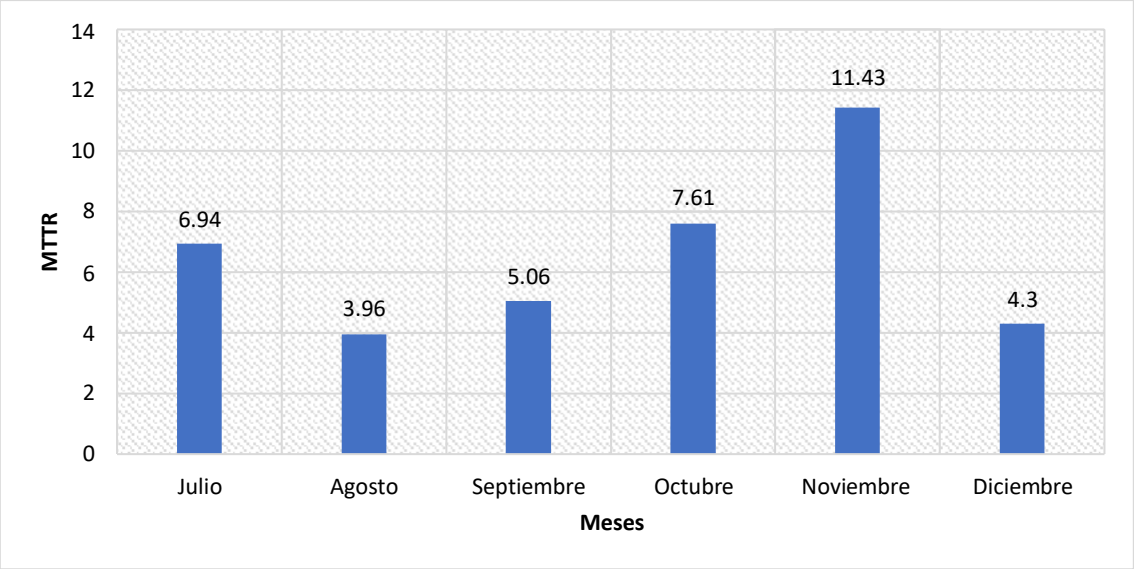


Nota. Elaboración Propia

En la Figura 3, podemos ver qué noviembre tiene el índice MTBF más alto debido al alto tiempo de uso y las reducciones de averías que se muestran, por lo que

diciembre es el mes con el MTBF más bajo. Por la gran incertidumbre de aquella época.

Figura 4 MTTR Inicial



Nota. Elaboración Propia

Si observamos la Figura 4, podemos ver que el índice MTTR fue el más alto en noviembre, el mes con el mayor porcentaje de tiempo de inactividad, y el índice MTTR fue el más bajo en el mes de agosto. Minimizar el tiempo de inactividad.

3.1.2. Identificación del sistema con mayor porcentaje de fallas en el camión

Las gráficas y tablas mostradas anteriormente de confiabilidad y disponibilidad es el primer paso para la identificación del problema del camión eléctrico Komatsu 930E – 5, es necesario que para poder conocer aún mejor la problemática que se está suscitando y analizar de manera detallada las fallas ocurridas en el periodo de tiempo en estudio se utilicen instrumentos que ayuden a superar los valores antes vistos, es por esto que se utilizó el diagrama de Pareto y se evaluó el resultado de criticidad.

Nivel de Criticidad

Para poder determinar el nivel de criticidad se tomó en cuenta los factores orientados de criticidad que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Tabla de factores ponderados de la criticidad

TABLA DE FACTORES PONDERADOS DE LA CRITICIDAD	
FRECUENCIA DE FALLAS (FF)	**PUNTAJE**
Mayor o igual a 8 fallas al mes	4
De 5 a 7 fallas por mes	3
De 2 a 7 fallas por mes	2
Menor o igual a 1 falla por mes	1
IMPACTO OPERACIONAL (IO)	**PUNTAJE**
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 50% de la producción	7
Afecta menos del 50% de la producción	4
No afecta a la producción	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	**PUNTAJE**
No se dispone de otro equipo igual o similar	4
El sistema puede seguir funcionando	2
Se dispone de otro equipo igual o similar	1
COSTO DE MANTENIMIENTO (CM)	**PUNTAJE**
Mas de 10 000 dólares	3
Entre 5 000 y 10 000 dólares	2
Menos de 5 000 dólares	1
IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTE HIGIENE (ISAH)	**PUNTAJE**
Impacta la seguridad de las personas	8
Genera impactos ambientales con consecuencias reversibles	6
Causa daños significativos a las instalaciones	4
Resulta en incidentes y accidentes de menor magnitud	2
Ocasiona impacto ambiental cuyos efectos no contravienen las normativas medioambientales	1
No genera ningún tipo de perjuicio a personas, instalaciones ni al entorno	0

Nota. Obtenida del artículo de Mendizabal [31]

Tabla 4

Tabla de resultados de criticidad

Sistema	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL HIGIENE	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
Motor Mecánico	52	4	10	3	8	51	2652
Sistema de Potencia	51	4	10	3	8	51	2601
Estructural	49	4	10	3	8	51	2499
Suspensiones	45	4	7	3	6	37	1665
Eléctrico	41	4	7	3	6	37	1517
Cabina	39	4	7	2	6	36	1404
Motor Eléctrico	38	4	7	2	4	34	1292
Sistema Dirección	34	4	4	2	4	22	748
Hidráulico	26	4	4	2	4	22	572
Frenos	25	4	4	2	4	22	550
Eléctrico Arranque	23	4	4	2	4	22	506
Sistema de Dispatch	21	4	4	2	1	19	399
Logística	19	4	4	1	0	17	323
Aire Acondicionado	17	4	1	1	0	5	85
Tren de Potencia	14	4	1	1	0	5	70
Lubricación	13	4	1	1	0	5	65
Parada Operativa	10	4	1	1	0	5	50
Sistema Contra incidentes	10	4	1	1	0	5	50

Nota. Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla el subsistema con mayor nivel de criticidad es el del motor mecánico, con una criticidad de 2 652.

Diagrama de Pareto

En primer lugar, se realizó una distribución de las horas de parada por falla, según cada sistema que sufrió daños como se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 5

Duración de Fallas por sistema

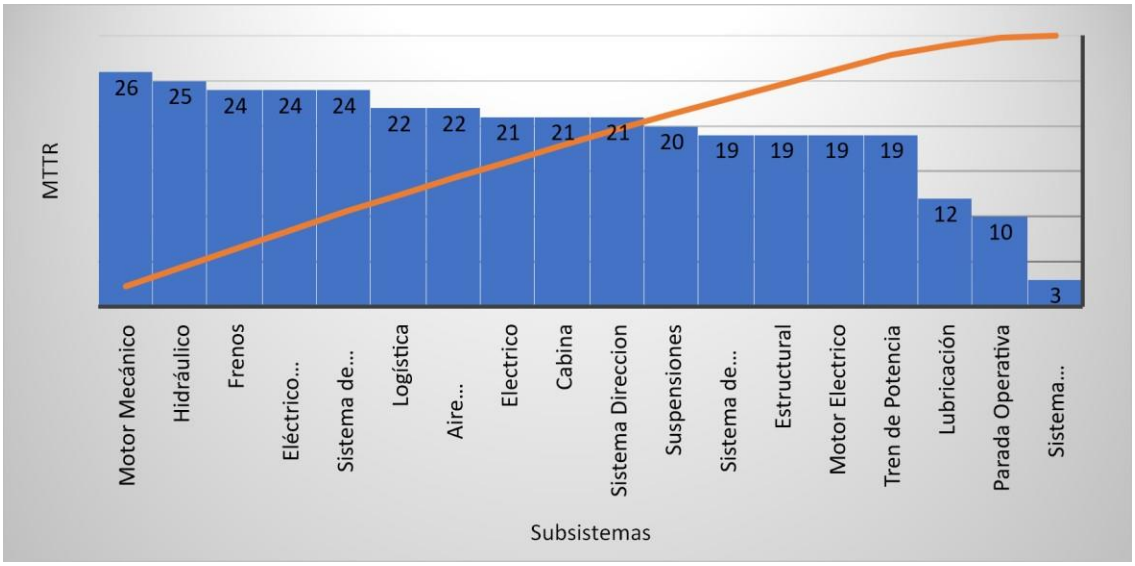
Sistema	Duración de Fallas	Cantidad de Fallas	MTTR
Motor Mecánico	1,350.4	52	26
Sistema de Potencia	978.3	51	19
Estructural	925.6	49	19
Suspensiones	895.3	45	20
Eléctrico	851.6	41	21
Cabina	821.6	39	21
Motor Eléctrico	722.5	38	19
Sistema Dirección	698.8	34	21
Hidráulico	657.6	26	25
Frenos	605.9	25	24
Eléctrico Arranque	554.6	23	24
Sistema de Dispatch	496.5	21	24
Logística	425.3	19	22
Aire Acondicionado	365.6	17	22
Tren de Potencia	263	14	19
Lubricación	152	13	12
Parada Operativa	96	10	10
Sistema Contra incidentes	30	10	3
Total	10,890.6	527	

Nota. Elaboración Propia

Con el diagrama de Pareto se puede comprobar al igual que la criticidad, que el subsistema de motor mecánico es el que presenta mayor cantidad de fallas por lo cual el camión eléctrico no se encuentra disponible.

Una vez graficado el diagrama de Pareto mostrado en Tabla 5, se puede afirmar que el sistema que reporta mayor fallos e incidencias es el motormecánico, el cual es el que tiene mayor porcentaje de error.

Figura 5 Diagrama de Pareto



Nota. Elaboración Propia

3.1.3. Proponer un plan de mantenimiento basado en RCM estableciendo políticas, estrategias y objetivos para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.

Contexto Operacional

El presente contexto operacional se realizó teniendo en mente el enfoque de operación de la corporación Aluminum Corporation of China Limited se centra en analizaron todas las máquinas de la fábrica. Posteriormente, estos datos se analizan estadísticamente utilizando la matriz de prioridades de Holmes y/o el diagrama de Pareto para determinar las denominadas cuello de botella que son las máquinas que se brindara manteamiento. así como el impacto que tiene esta en la Unidad Minera Chinalco, luego se realizó un análisis descriptivo de la operacionalización que se efectúa en la flota de camiones eléctricos 930 E – 5, se estudió los diferentes marcos de mantenimiento y a la vez los componentes que constituyen estos equipos.

Identificación de Fallas Funcionales, modos de fallas y efectos de Falla

Para realizar análisis de actividad de falla, modo de falla e impacto de falla, recopilamos información de bases de datos mantenidas por la compañía para analizar fallas detectadas recientemente y recolectar la siguiente información para cada punto de falla: Considerando y analizando los componentes y actores, todos ellos pueden determinar su función y enumerar los errores funcionales.

Identificamos el motor tiene mayor frecuencia también el componente que causó esta mayor frecuencia y por último la razón de las fallas continuas.

Equipo: Camión minero – 930E-5

Referencia: Falla catastrófica del motor

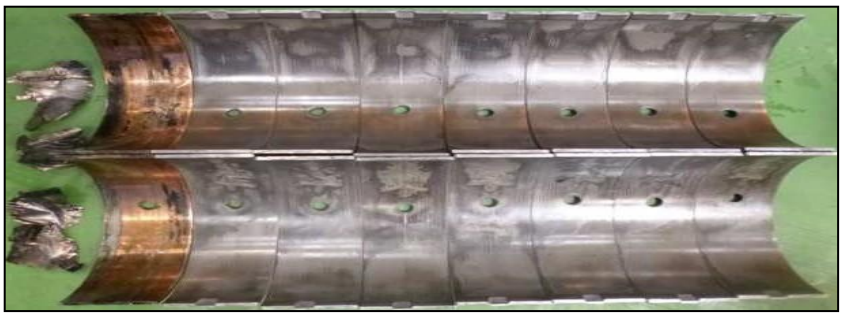
Descripción de la falla

- Se reportó que el motor se apagó súbitamente durante la operación de la rampa de la cuarta etapa de mina.
- El usuario revisó el nivel de aceite y rellenó 12 galones; el operador intento arrancar el motor, pero no lo logró.
- El cliente decidió arranca el motor usando un bypass en la conexión del solenoide de arranque. Logró arrancarlo y cuando el camión se desplazaba apareció la alerta de baja presión de aceite y el block se ventiló.

Figura 6 Metales de bancada y biela

Nota. Elaboración propia.

Figura 7 Metales de biela del banco R. En la posición N°1 destruidos y en la posición N°2 girados



Nota. Elaboración propia

Figura 8 Block del motor

Nota. Elaboración propia

- El bloque de cilindros esta ventilado en ambos lados del motor (Posiciones de las bielas 7LB y 7RB).
- La rotura del bloque de cilindros del lado izquierdo del motor
- La bancada N°8 con marcas de desgaste.
- El cilindro N° 7LB con el pistón y camisa de cilindros rotos.

Figura 9 Puño de biela fundidos en la posición N°1, puño de bancada N°1 con poco daño y puño de bancada N°2 afectado

Nota. Elaboración propia.

Figura 10 Cuerpo de biela 1R roto y sin la tapa severamente sobrecalentado.

Nota. Elaboración propia.

- 4 pernos de biela fueron hallados en el cárter uno presenta la cabeza rota como consecuencia de un golpe y los demás fracturados en la rosca debido a sobrecarga.

Figura 11 Cabeza de pernos de biela rotas

Nota. Elaboración propia.

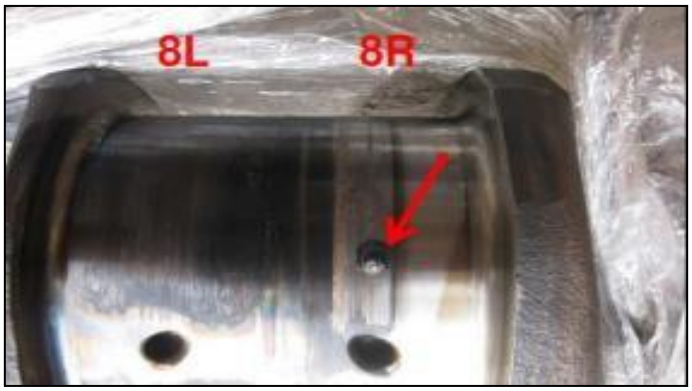
Figura 12 Los metales 6L y 6R se giraron, el metal 6L se muestra fundido en el puño del cigüeñal

Nota. Elaboración propia.

Figura 13 Los puños de biela 7L y 7R están fundidos

Nota. Elaboración propia.

Figura 14 El puño de las bielas 8L y 8R está dañado. En 8R se muestra material adherido

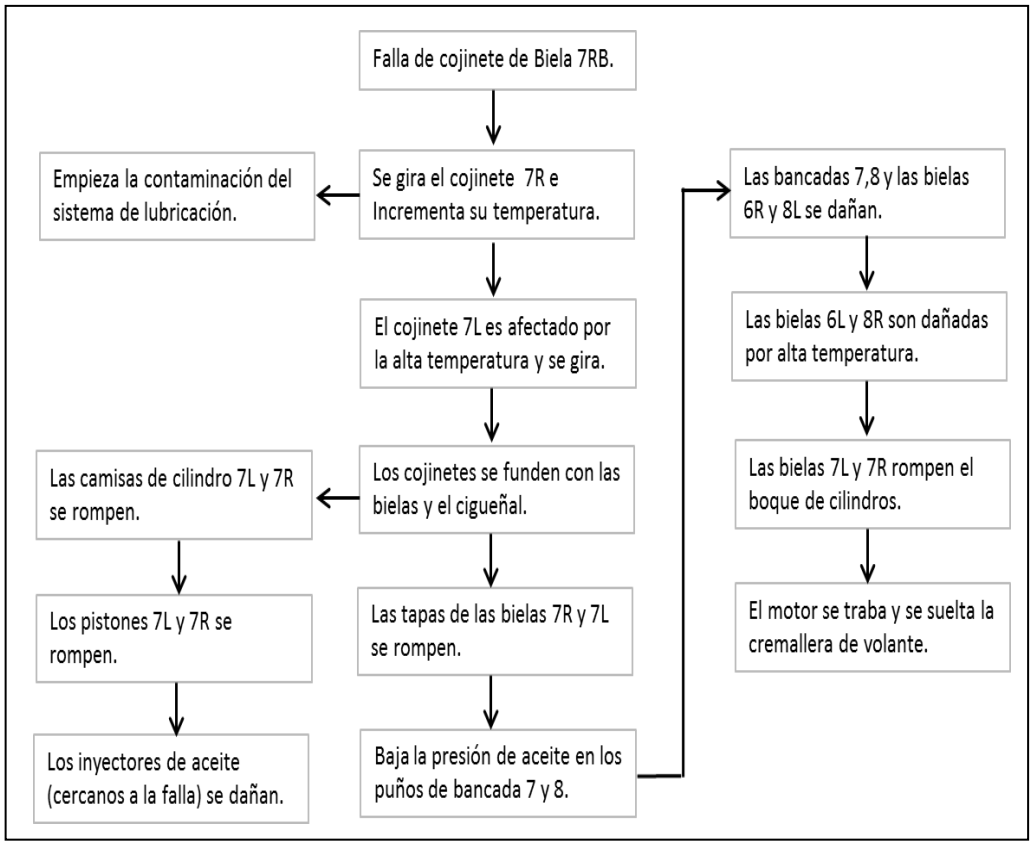


Nota. Elaboración propia.

Mecanismo de Falla

De acuerdo al análisis realizado las evidencias indican que la falla principal del motor empezó en el cojinete de la biela N° 7R. El mecanismo de la falla se explica a continuación:

Figura 15 Falla de cojinete de Biela 7RB

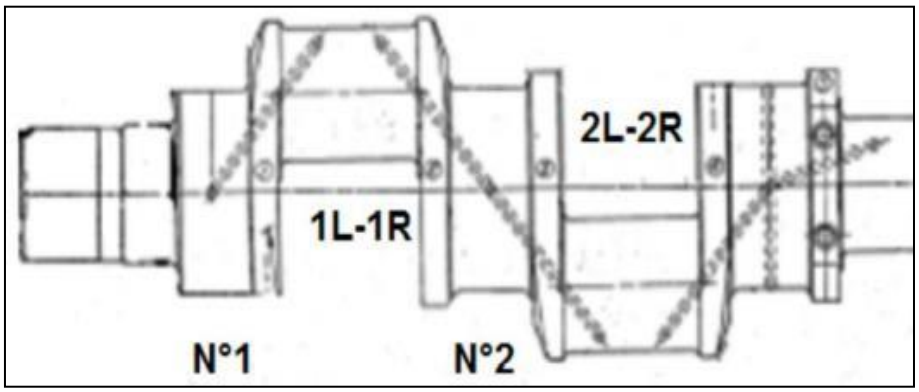


Nota. Elaboración propia.

Diagnostico Actual

La falla se inicia en los metales de biela 1R afectando la lubricación de la bancada N°2, metales de biela 1L, 2L, 2R y daño progresivo mayor al block y cigüeñal.

Figura 16 Metales de biela



Nota. Elaboración propia.

La falla de motor también se produce por falla de los cojinetes de la biela N°7R por deficiente lubricación.

La lubricación fue afectada por el tiempo extendido que operó el motor con la tobera 9R fracturada lo cual ocasionó dilución.

La falla del cojinete produjo daño al cigüeñal, bloque de cilindros, bielas, pistones de motor y camisas de cilindros (7L y 7R); inyectores de aceite, etc.

El daño en los ejes de levas no está asociado o relacionado con esta falla.

Análisis de Modo y Efecto de Fallas

El AMEF es una herramienta en la cual nos ayuda en nuestro caso a conocer por qué y cuáles son las fallas más frecuentes que existen.

Tabla 6 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Camión Minero 930E-5

ÁNALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							
ANALISTAS:	Huaroto Luna Giancarlos			**PLANTA:**	TRUCK SHOP		
				ÁREA	TALLER MANTENIMIENTO CAMIONES		
FECHA:	martes, 15 de diciembre de 2018			**FALLA FUNCIONAL N°:**	001		
TIPO OPERACIÓN:	MINERA DE TAJO ABIERTO			**FALLA FUNCIONAL TÍTULO:**	FALLAS EN EL SISTEMA COMBUSTIBLE Y BLOCK CULATA		
SISTEMA	**COMPONENTE**	**FUNCIÓN**	**FALLA FUNCIONAL**	**MODO DE LAFALLA**	**EFECTO DE LAFALLA**	**CONSECUENCIA DE LA FALLA**	**ACCIONES RECOMENDADAS**
COMBUSTIBLE	BOMBA DE CEBADO	La bomba de cebado es utilizada para cebar (llenarde líquido) el sistema combustible cuando este ha sido puesta en servicio.	No se está funcionando correctamente la bomba de cebado.	No se está purgando el sistemacombustible	Se llena de bolsas de aire enel interior.	Operacional	Programar un ajuste periódico para purgar el sistema combustible en cada mantenimiento preventivo.
	CIGÜEÑAL	Sirve para girar el pistón,el cual comprime la mezcla aire combustible pulverizado por los inyectores.	El cigüeñal no entrega eltorque requerido.	Los cojinetes del eje cigüeñalestán desgastados.	Hay muy poca o casi nada degrasa en los rodamientos	Operacional	Se debe realizar una inspección más minuciosadentro de los mantenimientos preventivos.
				El RPM es demasiado bajo	Mala combustión de la mezcla aire combustible, fugade aire o combustible antes de llegar a la cámara.	Operacional	
				El cigüeñal esta desalineado	Desgaste del soporte delcigüeñal.	Operacional	
	BALANCINES	Transmiten el movimiento de la leva, bien directamente o desde los empujadores, alas válvulas	La presión producida en la cámara de combustiónes muy baja.	Balancines trabados.	Se quebró un resorte por excesivo ajuste	Operacional	Hacer una revisión por lo menos una vez a lasemana para observar si los resortes de encuentran en buen estado de lo contrario hacer el cambio inmediatamente.
				Obstrucción en la línea de aire	Ingreso de impurezas ya queel filtro no está cumpliendo su función.	Operacional	Hacer revisiones periódicas y/o cambiar filtrode aire si es necesario.
			Desalineamiento de la bancada.	Desgaste excesivo del cilindro ypistón.	Ralladuras y desprendimientode partículas metálicas.	Operacional	Revisar el alineamiento de bancada para evitarposibles fisuras en el block.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Camión Minero 930E-5

SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE LAFALLA	EFECTO DE LAFALLA	CONSECUENCIA DE LA FALLA	ACCIONES RECOMENDADAS
COMBUSTIBLE	INYECTORES	Introduce una determinada cantidad de combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, distribuyéndolo lo más homogéneamente posibledentro del aire contenido en la cámara.	Inyectores presentan obstrucción	El combustible contieneimpurezas.	Falla el filtro combustible	Operacional	Realiza una inspección periódica de los inyectores para saber si están obstruidas o no,de lo contrario se procede a cambiar la bujía.
	PISTÓN	Sirve para comprimir losgases de la cámara de combustión.	La cabeza del pistónpresenta fisuras.	Ha ingresado impurezas quedañaron el pistón.	El filtro de combustible estádañado.	Operacional	Hacer un cambio inmediato del pistón.
	LINEA DE REFRIGERACIÓN	Refrigeración del motor.	sobrecalentamiento delsistema	Obstrucción o fugas en la línea derefrigeración	Las uniones o sellos están enmal estado o instalados, contiene impurezas oresiduos sólidos.	Operacional	Revisar las conexiones de la línea de refrigeración en cada mantenimientopreventivo o según se requiera.
BLOCK CULATA	TERMOSTATO ELECTRÓNICO	Sirve para regular la temperatura de refrigeración del motor	El sensor de temperatura refrigerante esta descalibrado.	Temperatura de refrigeracióninadecuada (sea mayor a la deseada)	Se sobrecalienta el motordebido a que esta descalibrado el sensor	Operacional	Cambio de sensor, debido al que costo es bajo.
	CULATA	Parte superior del motor que permite el cierre de lacámara de combustión.	Culata y block haciendocontacto directo.	Empaque o empaquetadura desgastadas	Rozamiento, vibración ydesprendimiento de partículas sólidas.	Operacional	Realizar el Check list del equipo periódicamente. Cambio de empaquetadura.
			Exceso de combustibledentro de la cámara de combustión	Sobrepresiones	Culata presenta rajaduras.	Operacional	Cambio de culata y bujía.
	BLOCK	Parte principal del motorel cual aloja los cilindros,está instalado entre la culata y el Carter.	Poca o casi nada lubricación en el block y/opresencia de impurezas enel aceite.	Rozamiento del pistón y el cilindro, obstrucción y/o fugas de aceite por las líneas de lubricación	Deformación de los cilindrosy/o ruptura del pistón.	Operacional	Realizar inspecciones periódicas de análisis de aceite y conexiones de lubricación. Cambio del block y/o de los pistones si es necesario.
	BANCADA	Soporte para las piezas rotantes y como pared decontención para el aceitelubricante.	golpe de bancada	Deficiente lubricación por aceitedegradado.	Desgaste excesivo del muñónde ajuste axial o juego axial.	Operacional	Hacer inspecciones periódicas y aplicar el Check list en cada mantenimiento preventivo.Reemplazar el cigüeñal y/o bancada si es necesario.
			Desalineamiento de labancada.	Desgaste excesivo del cilindro ypistón.	Ralladuras y desprendimientode partículas metálicas.	Operacional	Revisar el alineamiento de bancada para evitarposibles fisuras en el block.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8 Efecto de Fallas, modo de falla y efecto de falla del motor mecánico

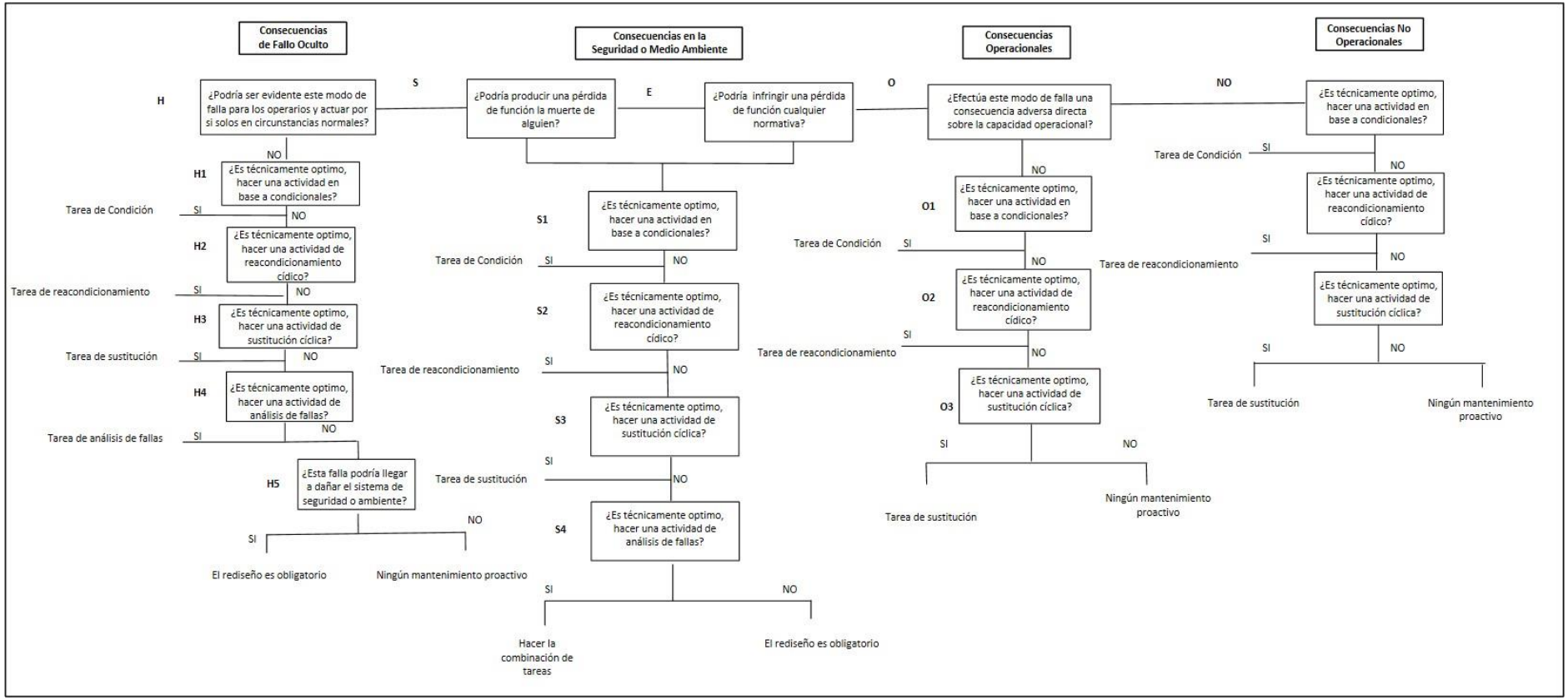
Subsistemas	Componente		Fallo Funcional	Modo de falla	Efectos de las Fallas
Estructura del Motor	**1**	**Carter**	No almacenar aceite	Fisura	Escape de aire
	2	**Reten de Cigüeñal**	Dejar pasar el combustible	Desgaste	Presión en Blow-by
	3	**Engranajes de Distribución**	No transmitir potencia	Fractura	Problemas con el arranque
Sistema de Admisión	**4**	**After Cooler**	No mantener la presión	Soplado	Aumento de temperatura
	5	**Mangueras de Admisión**	No conducir adecuadamente	Rotura	Trabamiento del motor
	6	**Filtros de Aire**	No limpiar partículas de aire	Saturación	Perdida de potencia
	7	**Turbo Cargadores**	No aumentar la presión de aire	Obstrucción	Sonido del motor
Sistema de Escape	**8**	**Tubo de Escape**	No entregar energía de comprensión	Tubo de escape descolgado	Ingreso de gases
Sistema Combustible	**9**	**Manguera de Combustible**	Fuga de combustible	Rotura	Fuga de combustible
	10	**Válvula STC**	No dosificar el combustible	Soltura	Produce humo
	11	**Válvula EFC**	No dosificar el combustible	Rotura	Oscilación de motor
	12	**Filtro de Combustible**	No limpiar el combustible	Saturación	Perdida de potencia
	13	**Válvula Shut**	No realizar la apertura y cierre	Niple	Detención del motor
	14	**Rieles de Combustible**	No distribuir el combustible	Fisura	Producción de humo
	15	**Tanque de Combustible**	No almacenar el combustible	Obstrucción	Alta o baja temperatura
	16	**Bomba de Combustible**	No bombear	Desgaste	Detención en caliente en el motor
	17	**Inyectores de Combustible**	No suministrar combustible	Obstrucción	Baja presión
Sistema de Lubricación	**18**	**Aceite de Motor**	No lubricar el motor	Fuga	Caída de presión
	19	**Filtro de aceite**	Dejar pasar las partículas	Saturación	Contaminación de motor
	20	**Enfriador de aceite**	No enfriar	Picadura	Suciedad en el refrigerante
	21	**Bomba de aceite**	No bombear el aceite	Contaminación	Fractura de bomba
Sistema de Refrigerante	**22**	**Radiador**	No enfriar	Persianas no abren	Alta temperatura del refrigerante

	23	**Manguera refrigerante**	No conducir	Rotura	Alta temperatura del refrigerante
	24	**Refrigerante**	No enfriar	Fuga	Alta temperatura del refrigerante
Sistema de Arranque	**25**	**Faja de alternador**	No conducir	Desgaste	Sonido en la faja
	26	**Batería**	No almacenar energía	Batería desgastada	No realiza el arranque
	27	**Arnés Eléctrico**	No proporcionar corriente	Mala conexión	Códigos de falla activos
	28	**Alternador**	No conectar corriente	Quemado	No producción de corriente
Control	**29**	**ECM – Cense**	No controlar los parámetros	Lectura errónea	Neutralización del equipo
	30	**Sensor**	No detectar	Conectores Sucios	Medición incorrecta

Nota. Elaboración propia

Identificación de consecuencia de falla

Tabla 9 Diagrama de Decisión RCM



Nota. Elaboración propia

Identificación de tareas

La identificación de tareas y la identificación de fallas comienzan con el diagrama de decisión RCM, que determina las diferentes actividades a realizar para cada falla y orienta la agrupación de estas en tareas asignadas.

Tabla 10 Tareas de mantenimiento como respuesta a las consecuencias

REFERENCIA	Consecuencia Evaluación				H1, S1, E1, O1	H2, S2, E2, O2	H3, S3, E3, O3	H4, S4	H5	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (Días)
	H	S	E	O							
1	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Cambio de aceite	15
2	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de fugas	10
3	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Reemplazo de pernos de soporte	15
4	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Lubricación de escuadra	15
5	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Reemplazo de manguera	365
6	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Reacomodo de abrazaderas	250
7	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Limpieza de filtros	60
8	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de todo el motor	60
9	Si	Si	No	Si	No	Si	No	No	No	Reacomodo de tubos de soporte	250
10	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de salida de fluidos	10
11	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Estudio de datos	15
12	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Estudio de datos y parámetros	15
13	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Revisión de filtro	10
14	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Acomodo de niple de válvula	250
15	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Análisis de los datos	15
16	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Acomodo del tren de válvula	60
17	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Inspección de fisuras en el tanque	365
18	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Análisis de datos	15
19	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisión del aceite lubricante	10
20	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Reemplazo de aceite lubricante	15
21	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Inspección la bomba de aceite	250
22	No	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Limpieza a vapor del motor	60

23	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisar el enfriamiento de aire	15
24	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Cambio de manguera del radiador	60
25	No	No	Si	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de bomba de agua	15
26	No	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Analizar el funcionamiento de la faja	15
27	Si	No	No	Si	Si	No	No	No	No	Revisión de alimentación	60
28	No	No	No	Si	No	No	Si	No	No	Cambio de motor	365
29	Si	No	No	Si	No	Si	No	No	No	Test de datos	365
30	No	No	No	Si		No	No	No	No	Realización de test de luces	10

Nota. Elaboración Propia

Tareas de mantenimiento resultantes del RCM y Aplicación

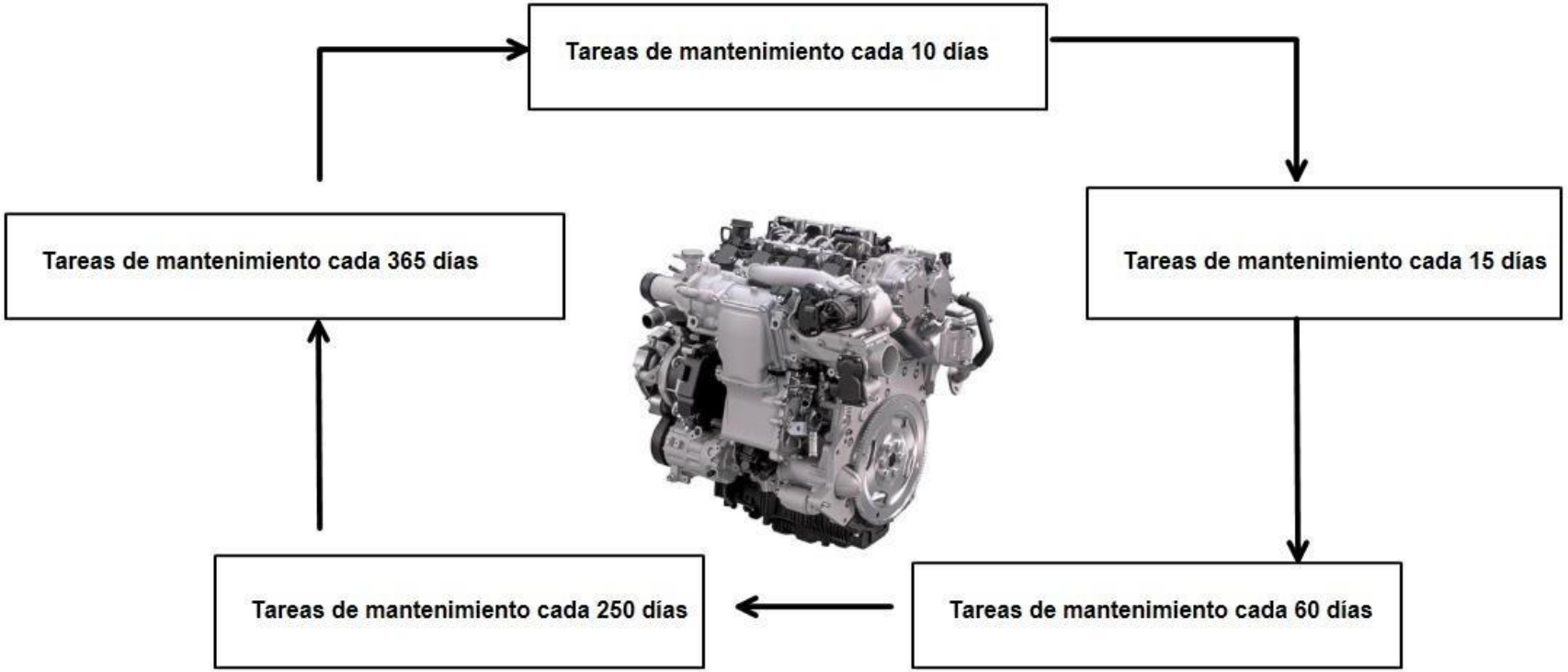
El recién instaurado plan de mantenimiento abarca labores rutinarias que van desde inspecciones sencillas hasta la sustitución del motor. La adopción de esta nueva estrategia se materializó debido a la estructuración y especificación de las actividades que involucra debían realizar cada cierto tiempo y estudiadas de acuerdo con las solicitudes que se realizaron.

Tabla 11 Tareas de mantenimiento

Clasificación	TAREA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (Días)
AF2 (Mantenimiento de afinamiento 2) REPL (Cambio de Motor)	Reemplazo de manguera	365
	Análisis de fisuras en el tanque	365
	Revisión cambio de componentes eléctricos o Cambio del Motor	365
	Analizar datos	365
MLIFE (Mantenimiento de Media Vida)	Reacomodo de tubos de soporte	250
	Acomodo de niple de válvula	250
	Revisar la bomba de aceite	250
AF1 (Mantenimiento de afinamiento 1)	Reacomodo de abrazaderas	210
PM2 (Mantenimiento Preventivo)	Limpieza de filtros	60
	Revisión de todo el motor	60
	Acomodo del tren de válvula	60
	Limpieza a vapor del motor	60
	Cambio de manguera del radiador	60
	Revisión de alimentación	60
	Cambio de aceite	15
	Reemplazo de pernos de soporte	15
	Lubricación de escuadra	15
	Estudio de datos	15
PM1 (Mantenimiento Rutinario)	Estudio de datos y parámetros	15
	Análisis de los datos	15
	Análisis de datos	15
	Reemplazo de aceite lubricante	15
	Revisar el enfriamiento de aire	15
	Revisión de bomba de agua	15
	Analizar el funcionamiento de la faja	15
INSP (Inspección)	Revisión de fugas	10
	Revisión de salida de fluidos	10
	Revisión de filtro	10
	Revisión del aceite lubricante	10

Nota. Elaboración propia

Figura 17 Ciclo de mantenimiento del sistema mecánico



Nota. Elaboración propia

3.1.4. Determinar el presupuesto de la propuesta del plan de mantenimiento RCM para los camiones eléctrico 930 E-5 basado.

Inversión

Los componentes seleccionados para la inversión en el marco de la gestión de mantenimiento basada en el plan RCM se eligen cuidadosamente debido a que su adquisición se realiza de manera única a lo largo de la duración de la gestión. La elección estratégica de estos componentes busca optimizar la gestión de activos, minimizando los costos totales y maximizando la disponibilidad operativa durante todo el ciclo de vida del sistema.

Tabla 12 Costos de inversión para la implementación del plan de mantenimiento RCM

Ítem	Cantidad (und)	Precio	Total
Manguera	1	S/ 1,350.00	S/ 1,350.00
Componentes eléctricos	1	S/ 22,850.00	S/ 22,850.00
Total	**2**		**S/24,200.00**

Nota. Elaboración Propia

La inversión consta de una manguera adquirida a S/ 1,350.00 y componentes eléctricos comprados a S/ 22,850.00. El total de la inversión es de S/ 24,200.00, Estos dos elementos son lo que tienen más frecuencias fallas y por consecuente son los más críticos brindando un plan de mantenimiento RCM aumentara a un 5.47% la disponibilidad.

Gastos anuales de la implementación

La tabla 11 proporciona una visión detallada de los gastos anuales asociados con la implementación de diversas categorías en nuestra empresa. Desde equipos de protección personal, repuestos esenciales y materiales de limpieza, hasta equipos de emergencia y útiles para oficina, esta recopilación ofrece una perspectiva completa de las inversiones realizadas en diferentes aspectos operativos.

Tabla 13 Costo de los gastos anuales de la implementación del del plan de mantenimiento RCM

Etapa	Ítem	Cantidad (und)	Precio	Sub total	Total
Epp´s	Kit de protección - casco+guantes+lentes	3	S/68.90	S/206.70	S/1,271.70
	Botas de seguridad	3	S/225.00	S/675.00	
	Overol de trabajo	3	S/130.00	S/390.00	
Repuestos	Manguera de radiador	6	S/ 580.00	S/3,480.00	S/448,000.00
	Aceite motor sae 10w-40	2165	S/ 120.00	S/259,800.00	
	Kit pernos de soporte	24	S/ 480.00	S/11,520.00	
	Aceite lubricante sae 30	2165	S/ 80.00	S/173,200.00	
Materiales de limpieza	Gasolina blanca	8	S/45.00	S/360.00	S/609.50
	Jabón liquido	5	S/49.90	S/249.50	
Equipos de emergencia	Botiquín primeros auxilios	3	S/118.00	S/354.00	S/581.70
	Extintor pqs	3	S/75.90	S/227.70	
Útiles para oficina	Papel bond millar	8	S/15.90	S/127.20	S/473.20
	Caja de lapiceros - 12u	4	S/11.50	S/46.00	
	Archivador	10	S/12.00	S/120.00	
	Cartuchos para impresora	10	S/18.00	S/180.00	
Total					S/450,936.10

Nota. Elaboración Propia

Los gastos anuales de la implementación se detallan en la tabla proporcionada. Se destinaron recursos a equipos de protección personal, incluyendo kits con

casco, guantes y lentes, botas de seguridad y overoles de trabajo. Los repuestos esenciales, como mangueras de radiador, aceite de motor y kit de pernos de soporte, representan una parte significativa de la inversión. Materiales de limpieza, equipos de emergencia y útiles de oficina también se incluyen en los costos totales. En conjunto, la suma de estos ítems resulta en un gasto anual total de S/450,936.10, brindando una visión completa de las inversiones realizadas en diferentes aspectos de la implementación.

Depreciación de la implementación

La consideración de la depreciación es crucial en la gestión de mantenimiento porque proporciona una evaluación precisa de la pérdida de valor de los activos a lo largo del tiempo. Al incorporar la depreciación en análisis financieros, como el presentado en la tabla, se obtiene una visión realista de los costos asociados con la implementación y permite una planificación estratégica para el mantenimiento, renovación o reemplazo de activos

Tabla 14 Costos por depreciación

Descripción	Activos totales	Unidades	Valor por depreciar	Años por depreciar	Depreciación anual
Manguera	S/1,350.00	1	S/1,350.00	5	S/270.00
Componentes eléctricos	S/22,850.00	1	S/22,850.00	5	S/4,570.00
Total					S/ 4,840.00

Nota. Elaboración Propia

La tabla presenta información detallada sobre la depreciación de dos activos en la implementación. La manguera, con un valor de S/1,350.00, se depreció durante un período de 5 años, resultando en una depreciación anual de S/270.00. Por otro lado, los componentes eléctricos, con un valor total de S/22,850.00, también se deprecian a lo largo de 5 años, generando una depreciación anual de S/4,570.00.

Como resultado de la evaluación, se ha determinado una inversión inicial de S/ 24,200.00 y un gasto anual de S/ 450,936.10, que abarca la adquisición de repuestos anuales entre ellos equipos de protección, repuestos, materiales de limpieza, equipos de emergencia y útiles de oficina, así mismo la depreciación de los equipos considerados dentro de la inversión en un período de 5 años.

Costo total	
Inversión	S/ 24,200.00
Costos anuales	S/ 450,936.10
Costos por depreciación	S/ 4,840.00

Nota. Elaboración Propia

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto al primer objetivo, en el estudio realizado por Calla [11], se obtuvo una disponibilidad inicial del 83.43 % antes de la ejecución del plan de mantenimiento fundamentado en la metodología RCM. En comparación, nuestros resultados revelaron un valor inicial de 88.90 %, lo que evidencia una diferencia del 5.47 % en disponibilidad. Aunque este porcentaje no es extremadamente bajo, resulta insuficiente con el objetivo de asegurar el funcionamiento eficiente de los equipos. Además, al analizar la investigación de Andrade y Ramos [13], se determinó una disponibilidad inicial de sus equipos del 86.90 %, superando en un 3.47 % los resultados obtenidos para la disponibilidad de los camiones eléctricos 930E-5 en nuestro caso. Por otro lado, Puente [7] encontró una disponibilidad inicial del 84 % en sus equipos, superando nuestros resultados en un 0.57 %. En todas las investigaciones previas, se observa La implementación de un plan de mantenimiento sustentado en la metodología RCM. Sin embargo, dado que la disponibilidad de los equipos sigue siendo inferior al 90 % en todos los casos, aunque no sea un porcentaje demasiado bajo, sigue siendo deficiente para la productividad de la empresa.

Respecto al segundo objetivo, Rana et al. [4] proponen la introducción de un plan de mantenimiento fundamentado en la metodología RCM, con la finalidad de incrementar la disponibilidad de las máquinas de transporte. En su estudio, llevan a cabo un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad. De manera similar, Puente [7] ha diseñado un plan mantenimiento centrado en la confiabilidad con el objetivo de incrementar la disponibilidad de los equipos de transporte Caterpillar 793D. Este enfoque incluyó el uso de evaluación de criticidad de fallos análisis de causa raíz, entre otras actividades, para identificar las tareas de mantenimiento RCM. Por otro lado, Andrade y Ramos [13] propusieron una gestión de mantenimiento basada en la aplicación de la metodología RCM con el propósito de mejorar la disponibilidad de su línea de chancado primario. En línea con estas investigaciones, nuestra propia la investigación se centra en la ejecución de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) con el objetivo de aumentar la disponibilidad de los camiones eléctricos 930E-5. Este

enfoque se presenta como una estrategia clave con el fin de mejorar la disponibilidad de estos equipos.

Respecto al tercer objetivo Andrade y Ramos [13], obtuvieron como resultados indicadores económicos que determinan la factibilidad de llevar a cabo la aplicación del plan de mantenimiento utilizando la metodología RCM, siendo estos un TIR de 20.69%, VAN de $ 41,872.94, periodo de retorno de 2.72 años y un índice de rentabilidad de 1.17, sin embargo a comparación de nuestra investigación donde a pesar de tener un costo anual de S/ 450,936.10, siendo relativamente alto, podemos determinar que el análisis de los indicadores será positivo económicamente para la empresa. Por otro lado, García [14], obtuvo como resultados un TIR de 15% y un VAN de S/. 1,878,355.46, estos indicadores argumentan la viabilidad del plan de mantenimiento RCM implementado en la investigación de García, por lo que se fundamenta la elección de aplicar la metodología RCM en los mantenimientos de los camiones mineros 930E-5. Por lo que podemos deducir que la aplicación de la metodología RCM a los mantenimientos repercute de manera positiva en la producción y utilidades de la empresa.

V. CONCLUSIONES

La situación actual del rendimiento del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5 en la unidad minera Chinalco S.A. Se observa un MTBF promedio de 32.70 horas y un MTTR de 6.55 horas en promedio. La disponibilidad promedio se sitúa en un 83.43%, mientras que se han registrado 126 fallas en total.

La propuesta del plan RCM se plantea para abordar las áreas críticas identificadas. Se establecen 30 tareas programadas anualmente, como el reemplazo de mangueras y la revisión de filtros, considerando la criticidad y las consecuencias de las fallas. Las estrategias se centran en reducir el MTTR, incrementar el MTBF, minimización de paradas no programadas y la maximización de la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5.

La inversión inicial para implementar el plan RCM asciende a S/ 24,200.00, distribuidos en el reemplazo de mangueras y componentes eléctricos. Los costos anuales, que incluyen equipos de protección, repuestos, materiales de limpieza y útiles de oficina, suman S/ 450,936.10. Además, se considera una depreciación anual de los activos adquiridos de S/ 4,840.00. Con un presupuesto total de S/ 480,976.10, esta inversión se justifica en función de los beneficios previstos en términos de disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 en la unidad minera Chinalco S.A.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda adoptar un enfoque proactivo y holístico desde las etapas iniciales de diseño e implementación. La incorporación de la metodología RCM en la planificación permitirá identificar de manera más precisa las necesidades de mantenimiento, maximizando la eficiencia operativa. Además, se aconseja considerar tecnologías de monitoreo avanzadas, como el mantenimiento predictivo basado en sensores y análisis de datos, para anticipar posibles fallas y optimizar la programación de tareas.

- La capacitación continua del personal debe ser un pilar fundamental en cualquier proyecto de mantenimiento. La inversión en desarrollo de habilidades y conocimientos del equipo asegurará una ejecución más eficaz de las tareas programadas, así como una respuesta ágil ante situaciones imprevistas. Asimismo, se recomienda establecer un sistema de gestión de mantenimiento integral que permita una supervisión y coordinación eficiente de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento, facilitando la toma de decisiones informada.

- En términos presupuestarios, se sugiere destinar recursos adecuados no solo para la implementación inicial, sino también para mantenimiento continuo, actualizaciones y mejoras a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La revisión periódica del presupuesto garantizará la adaptación a cambios en las condiciones operativas y la disponibilidad de nuevas tecnologías. Finalmente, se recomienda la recopilación y análisis de datos operativos en tiempo real que serán esenciales para la toma de decisiones basada en evidencia y la mejora continua en la gestión de mantenimiento de proyectos futuros.

VII. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

[1] N. Nogales y D. Espinoza, Metodología innovadora: Reingeniería de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM-R®) para un ingenio azucarero en Santa Cruz, 2022.

[2] D. Bustamante and L. Cañaveral, "Diseño de un programa de mantenimiento basado en la metodología RCM para una empresa manufacturera de látex," 2022.

[3] E. Oviedo and y. Sepúlveda, "Diseño de un programa de mantenimiento para la flota de camiones caterpillar 777g de cerro matoso, utilizando la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad," Universidad del Norte, 2020.

[4] J. Rana, K. Mehdi and A. Milad, "A hybrid reliability-centered maintenance approach for mining transportation machines: a real case in Esfahan," *International Journal of Quality & Reliability Management,* vol. 38, no. 7, 2020.

[5] C. Rodríguez and J. Martínez, "Diseño de un plan de mantenimiento en gaseosas colombianas S.A.S sede sur, en la línea de producción de agua potable basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)," 2023.

[6] D. Macedo and F. López, "Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020.

[7] F. Puente, "Propuesta de un modelo de plan de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad física en los camiones eléctricos Komatsu 730E, basado en metodología TPM-RCM," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2021.

[8] E. Guillen and W. Reyna, "Sistema de mantenimiento RCM con el fin de optimizar la disponibilidad de equipos del área de calderos en una empresa azucarera," Universidad Cesar Vallejo, 2020.

[9] Lara and Wilmer, "Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad de los Jumbos S1D en la unidad minera Pallca - Ancash," Universidad Nacional del Centro del Perú, 2023.

[10] I. Gamarra, "Proceso de mantenimiento basado en RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de cargador frontal 962L en la empresa Ecosermy – Yauli," Universidad Nacional del Centro del Perú, 2023.

[11] L. Calla, "Propuesta de implementación del RCM2 en el proceso de mantenimiento, para incrementar la disponibilidad de la estación de bombas GEHO en una empresa minera del departamento de Junín," 2020.

[12] D. Huaman, "Plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de carguío y acarreo en una cantera de caliza – Marcapomacocha Junín," 2020.

[13] R. Andrade and M. Ramos, "Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera," 2020.

[14] J. García, "Elaboración de un plan de mantenimiento con fines de reducción de costos utilizando la metodología del RCM para el área de molienda de la Planta Concentradora de Minera Chinalco Perú," 2021.

[15] C. Boero, Mantenimiento industrial, Universitas, 2020.

[16] V. Linares, Diagnosis de averías y mantenimiento correctivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311, IC Editorial, 2018.

[17] M. Luna and G. Vázquez, "Metodología de mantenimiento predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción," *Sistemas, Cibernética e Informática,* vol. 16, no. 2, 2019.

[18] F. Pérez, Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial, USTA, 2021.

[19] Geisbush and Ariaratnam, "Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice," *Journal of Quality in Maintenance Engineering,* 2022.

[20] I. Ribeiro, R. Godina, C. Pimentel, F. Silva and J. Matias, "Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line," *Procedia Manufacturing,* vol. 38, pp. 1574-1581, 2019.

[21] Asociación Colombiana de Ingenieros, "GLOSARIO - Términos de Mantenimiento," 2018. [Online]. Available: https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Especial/Escrito/Glosario_Terminos_Mtto_2018.pdf.

[22] E. Guerra and A. Oca, "Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería," *Boletín de Ciencias de la Tierra,* 2019.

[23] Minería Chilena, "Mantenimiento en minería: Con miras a un mayor rendimiento," Minería Chilena, 2017. [Online]. Available: https://www.mch.cl/informes-tecnicos/mantenimiento-mineria-miras-mayor-rendimiento/.

[24] Minería Chilena, "En la ruta de la minería que viene," *Minería Chilena,* 2017.

[25] Ministerio de Energía Y Minas, "Boletín Estadístico Minero," 2023. [Online]. Available: https://wimperu.org/wp-content/uploads/2024/02/Boletin-Estadistico-Minero-Diciembre-2023.pdf.

[26] Osinergmin, "reporte semestral de monitoreo del mercado d productos mineros primer semestre del 2017," [Online]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1400748/RSMMM-A%C3%B1o%206-N%C2%BA%2011%3A%202017-I.pdf

[27] Á. Azuero, "Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación," *KOINONIA,* vol. 4, pp. 110-127, diciembre 2019.

[28] H. Ñaupas, M. Valdivia, J. Palacios and H. Romero, "Metodología de la investigación," 2018. [Online]. Available: https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf.

[29] H. Ñaupas, J. Palacios, M. Valdivia and H. Romero, Metodología de la investigación, Ediciones de la U, 2018.

[30] M. Wang, "Research Status and Development Trend of Unmanned Driving Technology in Coal Mine Transportation," *Energies,* no. 23, p. 9133, 2022.

[31] W. Cedeño and G. F., "Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento," *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación,* vol. 4, no. 8, pp. 49-65, 2020.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TEMA DE LA INVESTIGACIÓN	Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad de los camiones mineros 930E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.				
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**	**VARIABLES**	**INDICADORES**	**DISEÑO METODOLÓGICO**
¿Cómo se va diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para mejorar la disponibilidad los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.?	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para mejorar la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.	El plan de mantenimiento preventivo basado en RCM mejora la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.	**Variable independiente:** Plan de mantenimiento basado en el RCM	- Índice de severidad - Índice de ocurrencia - Índice de detección	**Tipo de investigación:** Aplicada **Nivel de investigación:** Propositivo – descriptivo **Diseño de investigación:** No experimental **Corte de la investigación:** Longitudinal **Población:** Camiones mineros 930E-5 de la unidad minera Chinalco S.A. **Muestra:** Camiones mineros 930E-5
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**			
¿Cómo determinar la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5?	Analizar la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5	El análisis de la situación actual del mantenimiento de los camiones eléctricos 930 E-5 permitirá determinar las causas intrínsecas que tiene mayor frecuencia en los distintos sistemas mecánicos y eléctricos en dichos equipos.			
¿De qué manera elaborar el plan de mantenimiento basado en RCM para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.?	Proponer un plan de mantenimiento basado en RCM estableciendo políticas, estrategias y objetivos para los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.	La propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM y mediante el establecimiento de políticas, estrategias y objetivos mejorará la disponibilidad de los camiones eléctricos 930 E-5 de la unidad minera Chinalco S.A.	**Variable dependiente:** Disponibilidad	MT as	

¿Cuál es el presupuesto de la propuesta del plan de mantenimiento para los camiones eléctricos 930 E-5 basado en la disponibilidad?	Determinar el presupuesto de la propuesta del plan de mantenimiento para los camiones eléctricos 930 E-5 basado en la disponibilidad.	El cálculo del presupuesto determinará la inversión total de la propuesta del plan de mantenimiento para los camiones eléctricos 930 E-5.			de la unidad minera Chinalco S.A.

Anexo 2: Guía de observación.

Nombre y apellidos:

_____

Universidad:

_____

_

Lugar.

_____

_____

Equipo a observar:

_____

Instrucciones: Llenar con letra legible y clara donde corresponda, así también llenar con un Check en el recuadro que corresponda tras la evaluación visual de cada ítem.

CHECK LIST DE RETROEXCAVADORA	
FECHA.	TURNO:
OPERADOR:	
MODELO DE EQUIPO:	
HORÓMETRO INICIAL:	HORÓMETRO FINAL:

Ítem	ACCIÓN A EJECUTAR.	OPER.	INOPER.
1	INSPECCIÓN VISUAL – VERIFIQUE PARTE DAÑADA DE EQUIPO.		
2	REVISAR NIVEL DE ACEITE DE MOTOR.		
3	REVISAR NIVEL ACEITE HIDRÁULICO.		
4	REVISAR NIVEL ACEITE DE TRANSMISIÓN.		
5	REVISAR NIVEL DE REFRIGERANTE.		

6	REVISAR DE TENSIÓN Y ESTADO DE FAJAS DE VENTILADOR.		
7	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE LUCES DELANTERAS.		
8	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE LUCES POSTERIORES.		
9	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE CLAXÓN.		
10	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE ALARMA DE RETROCESO.		
11	REVISAR UNCIONAMIENTO DE PANEL DE CONTROL.		
12	REVISAR ESTADO DE LOS FILTROS DE ADMISIÓN.		
13	REVISAR ESTADO DE LA CABINA.		
14	REVISAR ESTADO DEL EXTINTOR.		
15	REVISAR ESTADO DE LLANTAS.		
16	REVISAR ESPÁRRAGOS Y TUERCAS DE LAS RUEDAS.		
17	REVISAR FUGA DE ACEITE POR CILINDRO DE DIRECCIÓN.		
18	REVISAR FUGA DE ACEITE POR CILINDRO DE LEVANTANTE.		
19	REVISAR FUGA DE ACEITE POR CILINDRO DE VOLTEO.		
20	REVISAR FUGA DE ACEITE POR MANGUERAS.		
21	REVISAR FUNCIONAMIENTO DEL FRENO DE PARQUEO.		
22	REVISAR FUNCIONAMIENTO DEL FRENO DE SERVICIO.		
23	REVISAR FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ENGRASE.		
24	VERIFICAR ENGRASE CRUCETA PRINCIPAL.		
25	VERIFICAR ENGRASE DE ARICULACIÓN CENTRAL.		
26	ORDEN Y LIMPIEZA.		

FS = Falta Sopletear
PD = Parte Dañada
PF = Presenta Fuga
FR = Falta Rellenar
FE = Falta Engrase
NF = No Funciona
DR = Desg. Regular
DA = Desg. Avanzado

EQUIPO QUEDA EN: _____

DIESEL: _____

OBSERVACIONES: _____

_____

_____

_____

_____