

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Optimización del plan de mantenimiento preventivo de grupos electrógenos de 1500kW de un proyecto minero, utilizando la herramienta RCM para aumentar la disponibilidad y reducir costos de mantenimiento.

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborado por

Luisiño Edinson Dextre Ocospoma

 [0009-0001-5031-0803](https://orcid.org/0009-0001-5031-0803)

Asesor

MSc. Ing. Augusto Elmer Cabello López

 [0009-0007-2969-3874](https://orcid.org/0009-0007-2969-3874)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Dextre, 2025)
Referencia/Reference	Dextre, Luisiño (2025). <i>Optimización de un plan de mantenimiento preventivo utilizando la herramienta RCM enfocado a modo de fallas, para grupos electrógenos de 1500 kW ubicados en un proyecto minero.</i> [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

*A mis padres que siempre fueron mi inspiración y fortaleza para conseguir mis
objetivos.*

Resumen

La investigación tuvo como objetivo diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM con el fin de mejorar la confiabilidad de los grupos electrógenos de 150 kW en una empresa del sector minero. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo y aplicado, analizando el desempeño de 12 grupos electrógenos a lo largo de un período de 12 meses, comprendido entre agosto de 2023 y julio de 2024. Durante este análisis, se evaluaron indicadores clave como el tiempo medio de reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallas (MTBF) y la disponibilidad operativa. Además, se utilizó el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) para identificar problemas recurrentes y determinar su impacto en la operatividad. Los resultados indicaron que solo tres de los doce grupos electrógenos evaluados se mantenían operativos, mientras que los demás presentaban fallas críticas o bajo rendimiento. La implementación del plan de mantenimiento basado en RCM permitió reducir los costos de mantenimiento correctivo de S/ 10,049 a S/ 6,029, generando un ahorro de S/ 4,020. Asimismo, la disponibilidad operativa de los equipos mejoró significativamente, alcanzando valores de hasta 95.85% en algunos casos. En conclusión, la aplicación de la metodología RCM resultó ser una estrategia efectiva para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los grupos electrógenos, logrando una reducción de costos y optimizando la disponibilidad operativa. Se evidenció que una planificación adecuada del mantenimiento preventivo y una redistribución eficiente de los recursos pueden minimizar las emergencias correctivas y mejorar la operatividad de la empresa.

Palabras clave — RCM, confiabilidad, optimización.

Abstract

The research aimed to design a maintenance plan based on the RCM methodology to improve the reliability of 150 kW generator sets at a company in the mining sector. To this end, a quantitative and applied approach was adopted, analyzing the performance of 12 generator sets over a 12-month period, from August 2023 to July 2024. During this analysis, key indicators such as mean time to repair (MTTR), mean time between failures (MTBF), and operational availability were evaluated. Additionally, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was used to identify recurring problems and determine their impact on operability. The results indicated that only three of the twelve generator sets evaluated remained operational, while the others presented critical failures or underperformed. The implementation of an RCM-based maintenance plan reduced corrective maintenance costs from S/ 10,049 to S/ 6,029, generating savings of S/ 4,020. Furthermore, the operational availability of the equipment improved significantly, reaching values of up to 95.85% in some cases. In conclusion, the application of the RCM methodology proved to be an effective strategy for improving the reliability and efficiency of generator sets, achieving cost reduction and optimizing operational availability. It is evident that proper preventive maintenance planning and efficient resource redistribution can minimize corrective emergencies and improve company operations.

Keywords — RCM, reliability, optimization.

Tabla de contenido

Resumen	iv
Abstract	v
Tabla de contenido	vi
Lista de tablas.....	ix
Lista de Figuras	x
Introducción	xi
CAPITULO I. Planteamiento de la Realidad Problemática.	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Antecedentes internacionales	1
1.1.2 Antecedentes nacionales.....	2
1.2 Descripción de la Realidad Problemática.	3
1.3 Formulación del Problema	4
1.3.1 Problema General	4
1.3.2 Problemas Específicos	4
CAPITULO II. Marco teórico y Marco conceptual.....	6
2.1 Bases Teóricas.....	6
2.2 Marco Conceptual	21
2.2.1 Análisis de modos y efectos de falla	21
2.3 Grupo electrógeno.....	28
2.4 Partes de un Grupo electrógeno:	29
2.4.1 Sistema de generación de energía:	29
2.4.2 Sistema de Control y Monitoreo:.....	30
2.4.3 Sistema de refrigeración:.....	31
2.4.4 Sistema de Transformación de energía eléctrica:.....	31
2.4.5 Mantenimiento de grupos electrógenos	31
2.5 Valor actual neto (VAN)	32
2.6 Tasa interna de retorno (TIR)	33
2.7 Indicador OEE	33
2.8 Disponibilidad (D).....	34

2.9 Rendimiento (R)	35
2.10 Calidad (C)	35
2.11 Interpretación del OEE	36
2.12 Factores que Afectan el OEE	36
2.13 Justificación e importancia de la investigación	37
CAPÍTULO III. Objetivos, Hipótesis, Variables e Indicadores	38
3.1 Objetivos	38
3.1.1 Objetivo General	38
3.1.2 Objetivos Específicos	38
3.2 Hipótesis	39
3.2.1 Hipótesis General	39
3.2.2 Hipótesis Específicas	39
3.3 Variables, dimensiones e indicadores	39
3.3.1 Variables	39
3.4 Dimensiones	40
3.5 Indicador	40
3.6 Operacionalización de variables	40
CAPÍTULO IV. Diseño Metodológico	41
4.1. Unidad de Análisis	41
4.2. Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación	41
4.3. Periodo de Análisis	42
4.4. Fuentes de Información e instrumentos utilizados	42
CAPÍTULO V. Resultados	43
5.1 Identificar la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa	43
5.2 Determinar las estrategias de solución para eliminar las fallas críticas detectadas empleando la metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)	50
5.3 Proponer mejoras en los planes de mantenimiento preventivo utilizando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa	55
5.4 Determinar los montos totales de costos ahorrados luego de optimizar el plan de mantenimiento preventivo usando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).	63

CAPÍTULO VI. Análisis y discusión de resultados.....	70
Conclusiones	73
Recomendaciones	75
Referencias	77
Anexos.....	83

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Clasificación de consecuencia de falla	11
Tabla 2: Criterio de consecuencia o impacto de falla.....	13
Tabla 3: Rango de valor del NPR	23
Tabla 4: Tabla de gravedad	24
Tabla 5: Tabla de frecuencia	25
Tabla 6: Índice de detección.....	26
Tabla 7: Datos de los grupos electrógenos	44
Tabla 8: Tiempo de producción entre agosto de 2023 y julio de 2024	45
Tabla 9: Número de mantenimientos correctivos de empresa minera (grupo electrógenos)	46
Tabla 10: Tiempos por mantenimientos correctivos	47
Tabla 11: Indicadores de mantenimiento iniciales.....	48
Tabla 12: Indicadores de mantenimiento mensual para cada equipo.....	49
Tabla 13: AMEF del equipo GE05	51
Tabla 14: AMEF del equipo GE06	52
Tabla 15: AMEF del equipo GE03.....	53
Tabla 16: RCM – grupo electrógeno - GE03	57
Tabla 17: RCM – grupo electrógeno - GE05	58
Tabla 18: RCM – grupo electrógeno - GE06	59
Tabla 19: Resumen de cálculo de indicadores	63
Tabla 20: Costos antes de la optimización	63
Tabla 21: Costos tras la implementación.....	65
Tabla 22: Costos con la disponibilidad.....	66
Tabla 23: Ahorro monetario	67

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Flujograma del proceso de RCM.....	7
Figura 2 Escala de criticidad según por frecuencia	12
Figura 3 Pasos para el Análisis de modos y efectos de falla	27
Figura 4 Ilustración de un grupo electrógeno	29
Figura 5 Interpretación del OEE	69

Introducción

La operación continua de equipos es crucial para el éxito industrial, especialmente en minería, donde la confiabilidad de la maquinaria impacta directamente en la productividad y rentabilidad. Los grupos electrógenos son vitales; su falla genera costos, retrasos y riesgos. No obstante, muchas empresas mineras aún enfrentan desafíos en la gestión de activos, resultando en altos costos de mantenimiento, baja disponibilidad y menor eficiencia operativa.

El mantenimiento ha evolucionado de ser una actividad reactiva a un enfoque proactivo y estratégico. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una metodología que optimiza las estrategias de mantenimiento al enfocarse en las funciones del equipo, los modos de falla y sus consecuencias, asegurando que los activos operen de forma eficiente y consistente.

Esta investigación de pregrado abordó la problemática de la confiabilidad de grupos electrógenos de 150 kW en una empresa minera, diseñando e implementando un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM. Se adoptó un enfoque cuantitativo, analizando el desempeño de doce grupos electrógenos entre agosto de 2023 y julio de 2024. Se evaluaron indicadores clave como el MTTR, MTBF y la disponibilidad operativa, complementado con un AMEF para identificar las causas raíz de las fallas. Los resultados iniciales revelaron que la mayoría de los equipos mostraban fallas críticas y bajo rendimiento. Tras la implementación del plan RCM, se logró una reducción significativa en los costos de mantenimiento correctivo y una mejora sustancial en la disponibilidad operativa. Esta tesis demuestra la efectividad de RCM como una estrategia integral para optimizar la gestión de activos, promoviendo la eficiencia, la reducción de costos y la mejora de la confiabilidad en entornos mineros exigentes.

CAPITULO I. Planteamiento de la Realidad Problemática.

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes internacionales

Castillo y Villar (2022) presentó su proyecto de estudio, cuyo objetivo era proporcionar un plan RCM para el motor diésel del grupo electrógeno de la empresa productora Rubiales. Se basó en un enfoque de mantenimiento que utiliza el (RCM) para reducir los costos de mantenimiento y, al mismo tiempo, aumentar por lo tanto la confiabilidad y disponibilidad, por medio de un enfoque cuantificable y de tipo aplicado. Después de restar el costo de la estrategia de mantenimiento (\$29,419) del riesgo mitigado (\$1,292,236), que es igual al beneficio anual de la estrategia de mantenimiento (\$USD 997,734), y restar el costo de producción perdida (\$USD 265,083). Por último, se evidenció un progreso en la disponibilidad de mantenimiento y un ahorro significativo, concluyendo que el plan es rentable y práctico.

Mendoza (2021) investigó sobre la integración de un programa de mantenimiento para una planta de energía de emergencia de 625 KVA, 480 VAC, de acuerdo con los principios RCM. Es una combinación de diferentes enfoques, dependiendo de la técnica. El producto final es un programa de mantenimiento adecuado a la maquinaria y sus especificaciones técnicas y estructurales específicas que afectan su tiempo de funcionamiento y confiabilidad. Los beneficios económicos incluyen menores existencias de materiales, repuestos y recursos humanos debido a que los miembros del personal previamente asignados para responder a emergencias de mantenimiento correctivo ahora tendrán más tiempo para concentrarse en otras iniciativas que promuevan el desarrollo de habilidades técnicas avanzadas.

1.1.2 Antecedentes nacionales

Condori (2023) centró su investigación en la optimización de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de una flota de grupos electrógenos de baja y media tensión. La investigación fue de tipo aplicada, con un diseño cuasi experimental y un enfoque cuantitativo. Entre los hallazgos, se registró que, del total de fallas registradas, un 70% se atribuyó a la falta de mantenimiento preventivo, un 15% a una operación inadecuada de los grupos electrógenos, y el 5% restante a condiciones ambientales adversas. El plan de mantenimiento implementado permitió aumentar la disponibilidad de los equipos en un 0.88%. En conclusión, al comparar los antes y el después de la optimización, se registró un incremento significativo en la eficiencia de la finalización de órdenes de trabajo, pasando de 60 a 90, lo que representó una mejora del 94%.

López (2021) en su tesis de pregrado, pretendió proponer una estrategia de mantenimiento de RCM que permitiera a la empresa Santa Elena obtener un mayor aprovechamiento de los motores de sus grupos electrógenos. Este estudio técnico emplea un diseño experimental y como técnica el método explicativo, los cuales se derivan de la investigación aplicada. El sobre costo de mantenimiento del año 2018 se descubrió mediante un análisis gráfico, debido a que el monto invertido en el desempeño del mantenimiento fue superior al 12% de la producción. En 2019, los motores Diesel aumentó su disponibilidad entre un 2% y un 4% debido al RCM, mientras que en 2020 aumentó un 4% en comparación con el 91% en 2018. Los resultados muestran una mejora de MCI aumentó entre 2 y 4 puntos porcentuales una vez implementado el mantenimiento apoyado en la confiabilidad.

Chávez (2019) en su trabajo se buscó mejorar a través de una gestión en base RCM para que sus activos físicos estén más disponibles operativamente. Las tipologías aplicadas y cuantitativas conformaron la técnica. Se hallaron 25 fallas en

estado crítico, 13 medianamente críticas y 6 fallas no críticas en la evaluación de criticidad de los motores y generadores eléctricos. Al utilizar las primeras tres preguntas del análisis de elementos finitos (función realizada), "modo de falla funcional" y "causas potenciales de la falla"), pudimos evaluar la falla de cada elemento esencial mediante la creación de una hoja de información. Para localizar la fuente de los elementos críticos utilizando diagramas de Ishikawa, las 25 fallas críticas se clasificaron conforme al número de prioridad de riesgo. De ellas, 19 fueron inadmisibles, 2 fueron reducibles deseables y 4 fueron admisibles. Se encontró una mejora del 9% en la disponibilidad, una mejora del 8,4% en la confiabilidad y una mejora del 4% en la mantenibilidad a partir de la comparación de los parámetros e indicadores de mantenimiento. El resultado final fue un aumento de 13,93 horas de trabajo en el tiempo medio entre averías, una disminución de 25 averías, 387 intervenciones y 531,04 horas de reparación.

1.2 Descripción de la Realidad Problemática.

A lo largo del tiempo, el mantenimiento industrial ha pasado a ser un factor importante para garantizar el éxito en cualquier proceso productivo. La razón es que, si las máquinas y los equipos no operan con eficiencia y no están disponibles cuando se necesitan, la capacidad de producción se ve gravemente afectada. Esto puede incrementar los gastos de operación de manera considerable, y como resultado, impactar negativamente en la satisfacción del cliente (Tractian, 2023).

Los grupos electrógenos son los más utilizados para garantizar el suministro de energía en situaciones de interrupción o fallos en la red eléctrica. Su uso es especialmente relevante en áreas donde el acceso a la electricidad es limitado o inestable, permitiendo mantener instalaciones operativas clave y evitando pérdidas económicas debido a la falta de energía (Santos, 2023).

Actualmente, los grupos electrógenos con los que cuenta la empresa del rubro minero han presentado fallas frecuentemente lo cual ha originado tiempos de inactividad no planificados. Estos problemas han llevado a una baja confiabilidad y han afectado significativamente las operaciones diarias que resultan al haber interrupciones del suministro de energía crítica. El impacto que lleva la escasez de un programa de mantenimiento adecuado afecta en la fiabilidad de los grupos electrógenos y con ello se incluyen a las interrupciones del suministro de energía, el elevado costo de reparación y mantenimiento y la desconfianza por parte de los consumidores en la empresa.

Los datos a analizar comprenden cuatro grupos electrógenos, de los cuales uno o dos están operando a plena carga, mientras que los otros permanecen en modo de reserva o stand by. Esta configuración, si bien asegura una cierta disponibilidad de respaldo, sigue exponiendo a la empresa a riesgos importantes debido a la escasez de un mantenimiento preventivo.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema General

¿En qué medida el uso de la herramienta RCM optimiza el plan de mantenimiento preventivo de los grupos electrógenos de 1500 kW de una empresa de rubro minero?

1.3.2 Problemas Especificos

- ¿Cuál es la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa?
- ¿Cómo eliminar las fallas críticas detectadas empleando la herramienta Análisis de Modo y Efecto de Falla?

- ¿Cómo mejorar el plan de mantenimiento preventivo utilizando la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa?
- ¿Cuál es el monto total de ahorro del ejecutar el plan de mantenimiento optimizado con las herramientas RCM?

CAPITULO II. Marco teórico y Marco conceptual

2.1 Bases Teóricas

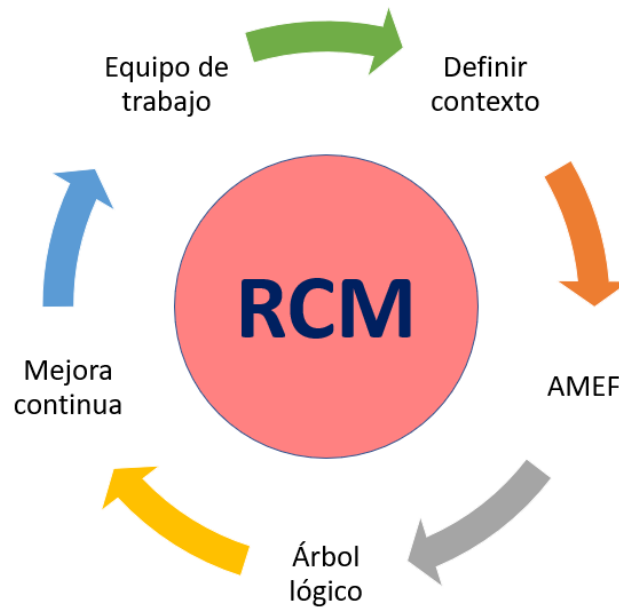
Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM)

Modelo diseñado para asegurar que un activo pueda realizar su operación y su uso se da para realizar planes de mantenimiento con el objetivo de satisfacer al cliente final (Campos et al. 2019). Entre los enfoques de mantenimiento, esta metodología es conocida por sus estrategias de gestión de activos y su objetivo de lograr la estrategia ideal para el mantenimiento de los elementos del sistema. Esta metodología comienza con la identificación de los componentes importantes que se pueden inspeccionar para determinar su utilidad. Luego, se realiza un análisis de los modos de falla y sus implicaciones, posterior a ello, se asigna la estrategia de mantenimiento ideal para todos los tipos de fallos. Se busca cumplir con la restricción de costos de la instalación a lo largo de todo el sistema (Enjavimadar y Rastegar 2022).

Para Bao et al. (2018) es una forma de capturar las posibles causas del tiempo de inactividad y el bajo rendimiento al prevenir fallas y tener un enfoque proactivo para las operaciones y el mantenimiento. Por otro lado, es una serie de pasos de ingeniería que llevan a fin de establecer los requerimientos del mantenimiento preventivo de los activos y la optimización del mismo; tiene un enfoque práctico y sistemático que mejora las estrategias de mantenimiento de cada activo, por lo que, sigue una metodología compuesta por la seguridad y costos. Los principales defectos de la metodología son los siguientes: carece de la priorización necesaria para la aplicación industrial general, es costoso de implementar y requiere componentes de Mantenimiento Productivo Total para mantener su capacidad total; además, carece de la flexibilidad y todos los méritos de los modelos probabilísticos; finalmente, no puede cuantificar los beneficios del mantenimiento en la confiabilidad y los costos del sistema.

Figura1

Flujograma del proceso de RCM



Fuente: Elaboración propia

Este método debe abordar de manera efectiva siete preguntas clave. Gonzáles (2021), las detalla a continuación.

- 1. ¿Qué funciones se esperan del activo y qué estándares de rendimiento se requieren en su entorno operacional presente?
- 2. ¿Cuáles son las formas en las que puede fallar al realizar sus actividades?
- 3. ¿Qué origina cada fallo funcional?
- 4. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo funcional?
- 5. ¿Cómo impacta cada fallo?

- 6. ¿Qué acciones se deben tomar para anticipar o evitar cada tipo de fallo?
- 7. ¿Qué medidas se deben tomar si no se puede realizar una tarea proactiva recomendada?

Moubray (2021) describe los aspectos que abarcan las preguntas, de la siguiente manera:

El RCM inicia estableciendo las funciones y estándares de funcionamiento de todos los activos en su entorno operativo, enfocándose en cuantificar estos estándares siempre que sea posible. De acuerdo a la norma ISO 14224 (2016) la función estándar o requerida se define como un servicio función o combinación de funciones de un ítem que es considerado necesario para proporcionar un servicio dado. Los estándares a los que se rigen estas funciones, incluyen aspectos como el funcionamiento operativo, calidad del producto, atención al cliente, impacto ambiental, nivel apropiado costos operacionales y seguridad.

El siguiente paso es identificar posibles fallos en relación con esas funciones. Esto conduce a la definición de falla, según ISO 14224 (2016) refiriéndose a la pérdida de la capacidad de realizar lo requerido por incapacidad del activo o componente o no consiguiendo el nivel de desempeño esperado.

Según la norma ISO 14224 estas fallas pueden ser las siguientes:

- **Fallas de causa común:** *Fallas de ítems múltiples que de otra manera se considerarían independientes la una de la otra, resultando de una causa común. (ISO 14224, 2016, p. V)*
- **Fallas de modo común:** *Fallas de diferentes ítems caracterizadas por el mismo modo de falla. (ISO 14224, 2016, p. V)*

- **Falla crítica:** Falla de un equipo que causa un cese inmediato de la capacidad de realizar una función requerida. (ISO 14224, 2016, p. V)
- **Falla de degradación:** Falla que no cesa la función(es) fundamental, pero abarca una o varias funciones. (ISO 14224, 2016, p. VI)
- **Falla incipiente:** Imperfección en el estado o condición de un ítem que hace que una falla degradada o crítica pueda (o no) eventualmente ocurrir como resultado esperado si las acciones correctivas no se llevan a cabo. (ISO 14224, 2016, p. V)
- **Falla no crítica:** Falla de un equipo que no causa un cese inmediato de la capacidad de realizar la función requerida. (ISO 14224, 2016, p. 30)
- **Falla sistemática:** Falla que ocurre con mucha frecuencia bajo condiciones particulares en el manejo, almacenaje o uso. (ISO 14224, 2016, p. 31)

El modo de falla cumple un rol importante en el mejor entendimiento del contexto de lo ocurrido, por ello la Norma ISO 14224 (2016) la define como la forma en que la falla ocurre o el modo en que esta puede ocurrir. Por ende, siguiendo al proceso anteriormente mencionado, se identifican los modos de falla más probables que podrían provocar la pérdida de una función. Esto ayuda a comprender mejor el problema. Es importante determinar la causa subyacente de cada fallo para evitar tratar solo los síntomas. Además, cada tipo de falla debe evaluarse a un nivel conveniente, excluyendo los que no son vigilados por la organización. En el anexo C, encontraremos las tablas con los códigos de los modos de falla para tipos de funcionamiento de cada equipo, el cual nos ayudará a identificar la causa raíz.

Al identificar cada modo, es esencial registrar el impacto de falla, el cual la Norma ISO 14224 (2016) la define como Efecto de una falla en la función(es) de un equipo o en la planta, es decir, qué sucedería si ocurriera el fallo. Este paso ayuda a evaluar la

importancia de cada falla y a determinar el nivel de intervención necesario. Responder a las primeras cuatro preguntas del proceso puede revelar oportunidades significativas para optimizar el rendimiento y la seguridad, así como para corregir errores y aumentar la comprensión del funcionamiento de los equipos. En el nivel de equipo la Norma ISO 14224 clasifica los efectos de falla de tres maneras:

- (...) **Falla crítica:** Falla de un equipo que causa un cese inmediato de la capacidad de realizar una función requerida. *(ISO 14224, 2016, p. V)*
- (...) **Falla de degradación:** Falla que no cesa la función(es) fundamental, pero abarca una o varias funciones. *(ISO 14224, 2016, p. VI)*
- (...) **Falla incipiente:** Imperfección en el estado o condición de un ítem que hace que una falla degradada o crítica pueda (o no) eventualmente ocurrir como resultado esperado si las acciones correctivas no se llevan a cabo. *(ISO 14224, 2016, p. V)*

Después de definir lo anterior, el próximo paso en el desarrollo de un RCM es analizar la importancia de cada falla. Esto es importante porque las consecuencias de cada falla determinan si es necesario tomar medidas proactivas. Si se requiere intervención, esto también indica el nivel de esfuerzo necesario para analizar las fallas. Las consecuencias se definen según la norma ISO 14234 como:

Tabla 1

Clasificación de consecuencia de falla

Consecuencias	Categoría			
	Catastróficas Falla que resulta en fatalidades o pérdida del sistema	Severas Lesión o enfermedad severa o daño mayor al sistema	Moderadas Lesión o enfermedad leve o daño menor al sistema	Menores Menor que lesión o enfermedad leve o daño menor al sistema
Seguridad	I — Pérdida de vidas — Sistemas críticos para la seguridad inoperables	V — Lesión grave a personal — Potencial de pérdida de funciones de seguridad	IX — Lesiones que requieren de tratamiento médico — Efecto limitado en funciones de seguridad	XIII - Lesiones que no requieren de tratamiento médico - Efecto menor en funciones de seguridad
Medioambiente	II Contaminación mayor	VI Contaminación significativa	X Contaminación	XIV Ninguna contaminación o contaminación insignificante
Producción	III Interrupción extendida en producción/operación	VII Interrupción en producción sobre límite aceptable ^a	XI Interrupción en producción debajo de límite aceptable ^a	XV Interrupción menor en producción
Operacional	IV Muy alto costo de mantenimiento	VIII Costo de mantenimiento sobre nivel normal aceptable ^a	XII Costo de mantenimiento en o debajo de nivel normal aceptable ^a	XVI Bajo costo de mantenimiento
^a Es necesario definir los límites aceptables para cada aplicación.				

Fuente: Norma ISO 14224:2016(E)

Muchos creen que mejorar la disponibilidad de un activo se logra con mantenimiento rutinario, como reparaciones o reemplazos a intervalos fijos. Este enfoque, basado en la idea de que los componentes funcionan bien por un tiempo antes de deteriorarse rápidamente, utiliza registros históricos de fallas para planificar el mantenimiento preventivo. Aunque este método es efectivo para activos simples o con fallas dominantes, algunas organizaciones han abandonado el mantenimiento preventivo, especialmente para fallas de baja importancia. Sin embargo, cuando las consecuencias son significativas, es necesario manejar proactivamente las fallas o minimizar su impacto.

Criticidad de los activos

Según Parra y Crespo (2019) la clasificación de los activos en función de factores como la calidad, la productividad y la seguridad permite dividir la criticidad en tres categorías: críticos, importantes y prescindibles. El desarrollo de un análisis de criticidad contribuye a evaluar la relevancia y las ramificaciones de los posibles acontecimientos de falla en los sistemas de manufactura relacionados con su contexto operativo. Según Kulcsár et al. (2020) la escala de criticidad podría ser la siguiente.

Figura 2

Escala de criticidad según por frecuencia

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

Fuente: UNIVERSIDAD NORORIENTAL PRIVADA "GRAN MARISCAL DE AYACUCHO"

Tabla 2

Criterio de consecuencia o impacto de falla

Categoría	Daños al personal	Efecto de la población	Impacto Ambiental	Pérdida de producción (\$)	Daños a la Instalación (\$)
5	Uno o más miembros de la empresa sufren una enfermedad mortal, una incapacidad total o una lesión grave.	Uno o más miembros de la comunidad sufren una fatalidad, una discapacidad total permanente, una lesión grave o una enfermedad.	Daño permanente al medio ambiente causado por el incumplimiento de las normas y la legislación ambiental.	Mayor de 1 MM	Mayor de 1 MM
4	Lesiones, enfermedades o discapacidades graves de los empleados de la empresa, ya sean temporales o permanentes.	Una enfermedad, lesión o discapacidad que afecta a una parte de la población, ya sea temporal o permanentemente.	A pesar del cumplimiento de las normas y regulaciones ambientales, el ecosistema sufre daños irreparables.	De 500 mil a 1 MM	De 500 mil a 1 MM
3	Varias personas de la planta resultaron gravemente heridas o enfermas. Es necesario detener las operaciones.	Es algo probable que dé lugar a que tres personas sean hospitalizadas.	Los daños al medio ambiente que no se pueden reparar sin violar la ley permiten un proceso de reparación acumulativo.	De 100 mil a 500 mil	De 100 mil a 500 mil
2	Empleados de la planta que necesitan atención médica o primeros auxilios.	Podría causar daños que requieran atención médica o ayuda inicial.	Prácticas que cumplen con la ley y tienen poco impacto en el medio ambiente	De 50 mil a 100 mil	De 50 mil a 100 mil

1	Empleados de la planta no afectados.	La población no se ve afectada.	Ausencia de daños ambientales y adherencia a las normas y regulaciones aplicables	De 10 mil a 50 mil	De 10 mil a 50 mil
---	--------------------------------------	---------------------------------	---	--------------------	--------------------

Fuente: Elaboración propia

Análisis de modo y efectos de falla (AMEF)

Método diseñado para la detección y evaluación de modos de falla y efectos. El proceso inicia con realizar una lista detallada de los activos existentes de un sistema de la entidad, para realizar un análisis total de los sistemas de la entidad se realiza en orden dependiendo factores de prioridad. Se detalla en la lista los efectos de falla evidenciando el nivel, finalmente, se determina la severidad y tareas de prevención para amortiguar los efectos de falla (Campos et al., 2023).

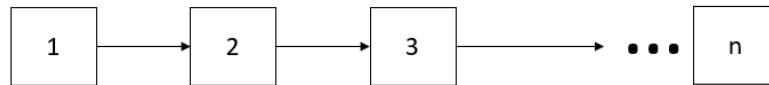
Confiabilidad

Es la probabilidad de que un proceso no realice un fallo durante su tiempo de operación (Arteaga y Gorozabel, 2021). La confiabilidad operacional es una estrategia que trata de analizar el comportamiento y condiciones de cada uno de los activos de una empresa, y comprende tres aspectos, el primero es la confiabilidad de los equipos, el segundo se basa en los procesos y el tercero la confiabilidad humana (Solórzano, 2022). La confiabilidad se expresa bajo la siguiente formula:

$$C = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas no programadas}}{\text{Horas totales}} \quad 2.1$$

Sistema Serie

Este es el modelo más utilizado y el más simple de evaluar en la confiabilidad. Además, es necesario que todos los componentes funcionen correctamente para que el sistema en conjunto funcione adecuadamente (Flores et al., 2010).



Si los componentes del sistema funcionan de manera estocásticamente independiente, entonces en un sistema en serie, tenemos:

$$R_s = P(E_1)P(E_2) \dots P(E_i) = \prod_{i=1}^n R_i \quad 2.2$$

$$Q_s = 1 - R_s \quad 2.3$$

Donde:

E_i : Evento "i-ésimo subsistema funciona efectivamente"

R_i : Confiabilidad del i-ésimo sistema

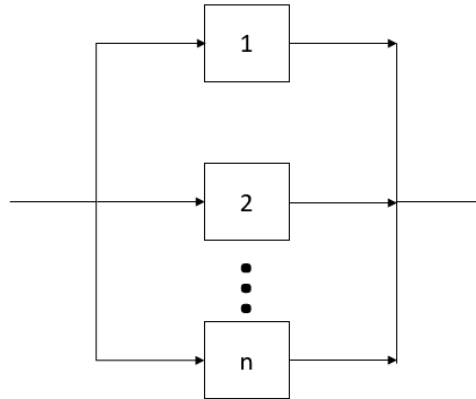
R_s : Confiabilidad del sistema

Q_s : Probabilidad de falla del sistema

Dado que $0 \leq R_i \leq 1$, en un sistema en serie, la fiabilidad del sistema disminuye de manera rápida a medida que se amplía el número de componentes. La confiabilidad total siempre será igual o menor que la del componente con menor confiabilidad, esto quiere decir: $R_s \leq \text{mín. } \{R_i\}$.

Sistema Paralelo

Está compuesto por varios componentes conectados de manera que el sistema puede seguir funcionando incluso si uno o más componentes fallan, siempre que al menos uno siga en operación (Flores et al., 2010).



Por lo tanto, para el sistema en paralelo tenemos:

$$Q_s = [1 - P(E_1)][1 - P(E_2)] \dots [1 - P(E_i)] = \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad 2.4$$

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad 2.5$$

Indicadores de mantenimiento

Son un conjunto de mediciones que indican el éxito de las operaciones en términos de calidad, mantenimiento y productividad, es crucial para la gestión de las operaciones de fabricación y la mejora continua. El seguimiento de los KPI nos permite medir y señalar los componentes de las operaciones operativas. Los indicadores clave de rendimiento (KPI) cuidadosamente diseñados facilitan la identificación de problemas de rendimiento y el monitoreo de cómo han progresado las mejoras. Según el estándar

europeo para KPI de mantenimiento, estos indicadores se dividen en tres categorías: económicos, técnicos u organizativos (Lambán et al., 2022).

Disponibilidad

Es un indicador expresado en porcentaje, que permite determinar el periodo efectivo en la que un activo está disponible. Se considera una buena disponibilidad en un rango superior a 90% (Bermeo, 2022).

Disponibilidad Inherente

Es la disponibilidad que un equipo o sistema tendría si solo se considera el tiempo necesario para reparar fallas corregibles, es decir, excluyendo los tiempos de mantenimiento preventivo y otros factores externos. Está relacionada únicamente con la estructura y la calidad de los componentes, y no incluye retrasos debido a problemas logísticos, tiempo de espera por repuestos, o interrupciones en el servicio de mantenimiento (Ordoñez, 2023). Se expresa de la siguiente manera:

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad 2.6$$

Disponibilidad Lograda

Esta medida incluye tanto las fallas correctivas como las actividades programadas de mantenimiento preventivo, por lo que refleja una evaluación más realista de la disponibilidad, considerando el tiempo dedicado a mantenimiento preventivo (Moscoso, 2022).

$$D_l = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad 2.7$$

Donde MTBM es el tiempo medio entre mantenimientos y MDT el tiempo medio de mantenimiento, que incluye el correctivo y preventivo.

Disponibilidad operativa

Es la disponibilidad más completa, ya que considera todos los agentes que afectan en el desempeño de un sistema o equipo, incluyendo fallas, mantenimiento preventivo, y factores externos como logística y tiempos de espera para reparación o repuestos. Esta disponibilidad refleja la aptitud real de una máquina o sistema para estar disponible en el entorno operativo (Vásquez, 2021). Se expresa con la siguiente expresión:

$$D_o = \frac{\textit{Tiempo Operativo}}{\textit{Tiempo total}} \quad 2.8$$

Incluye todo el tiempo en que el sistema debería estar en funcionamiento, considerando tanto tiempos programados como no programados de inactividad.

Mantenibilidad

Implica lograr un rendimiento óptimo de un activo durante toda su vida operativa con un costo mínimo del ciclo de vida (Marzouk y Hanafy 2022). la mantenibilidad se expresa bajo la siguiente fórmula:

$$M = e^{-\mu * t} = \frac{1}{TPPR} * t \quad 2.9$$

Tiempo Medio a la reparación (MTTR)

El MTTR representa el periodo medio requerido para arreglar equipos tras una avería. Si este tiempo es corto, ayuda a reducir el período de inactividad. (Flores y Tocre, 2023). Este se expresa bajo la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\textit{Horas de paro por fallas}}{\textit{\# de fallas}} \quad 2.10$$

Tiempo medio entre fallas

El MTBF hace alusión al tiempo promedio entre las fallas, lo que indica con qué frecuencia ocurren. Es un criterio fundamental clave para la evaluación de la fiabilidad de un sistema, puesto que admite estimar la frecuencia con la que un equipo puede fallar durante su funcionamiento normal. (Baldeon y Casani, 2021)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{\# de fallas}} \quad 2.11$$

Tiempo medio entre mantenimientos

Es la medida que indica el tiempo promedio entre las acciones de mantenimiento de un sistema o equipo. A diferencia del MTBF que se enfoca en el tiempo promedio

entre fallas, el MTBM toma en cuenta tanto el mantenimiento correctivo como el mantenimiento preventivo (Alvarado y Sabando, 2021).

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_C} + \frac{1}{MTBM_P}} \quad 2.12$$

Donde:

$MTBM_C$: Tiempo medio entre mantenimientos correctivos

$MTBM_P$: Tiempo medio entre mantenimientos preventivos

Estos se detallan a continuación:

$$MTBM_C = \frac{\sum T_O}{n_{mc}} \quad 2.13$$

$$MTBM_P = \frac{\sum T_O}{n_{mp}} \quad 2.14$$

Donde:

$\sum T_O$: Tiempo total de mantenimiento

n_{mc} : Número de mantenimientos correctivos

n_{mp} : Número de mantenimientos preventivos

2.2 Marco Conceptual

Empleando datos de análisis de modos de falla y efectos, este estudio busca determinar los tipos de fallas catastróficas más comunes en grupos electrógenos y proponer un plan para una gestión de mantenimiento confiable que pueda reducir el impacto de estos elementos. Tres fases distintas componen el mantenimiento la cual se basa en la confiabilidad, el instrumento de investigación que ahora se utiliza. El primero es identificar los componentes críticos para inspecciones útiles. El segundo es analizar los modos de falla y sus efectos. Y finalmente, para todos los modos de falla, asignar la estrategia de mantenimiento óptima. De ello se desprende que una asociación entre el mantenimiento de prevención y correccional es esencial.

Para un análisis de criticidad, la etapa inicial para desarrollar una estrategia de gestión, implicaría clasificar las diversas fallas de los grupos electrógenos de acuerdo con un conjunto de criterios y escalas que permitirán una fácil visualización de su importancia relativa. El siguiente paso es realizar el FMEA, que es un método para evaluar los puntos de falla y el daño que causaron. Identificar los impactos de las fallas, clasificar su gravedad y desarrollar un plan para mitigar su impacto son los primeros pasos del proceso.

Finalmente, se evalúa el impacto económico de la propuesta en la empresa en estudio, calculando el coste del mantenimiento de acuerdo a cada falla analizada. Esta evaluación tiene en cuenta la rentabilidad, el retorno de la inversión y la funcionalidad.

2.2.1 Análisis de modos y efectos de falla

Utilizado con la finalidad de reconocer y evaluar los eventuales fallos en un proceso, sistema o producto, y analizar sus efectos y causas. Su objetivo es priorizar los riesgos asociados a estos fallos, permitiendo implementar medidas correctivas o preventivas para mitigar su impacto (Cahuaya, 2023)

De acuerdo con Campos et al. (2023), los beneficios de utilizar el Análisis de defectos de modos de fallos (FMEA) son:

- Optimiza la calidad, fiabilidad y seguridad de los procesos.
- Aumenta la satisfacción de los usuarios finales.
- Disminuye el tiempo y los costos asociados con la ejecución de los procesos.
- Facilita la aplicación de medidas efectivas para reducir los riesgos.
- Minimiza la cantidad de solicitudes, quejas y reclamaciones relacionadas con el servicio prestado.

Además, se clasifica en varios tipos según el enfoque y la etapa de la vida útil del producto o proceso en el que se implementa. Pursell (2024) detalla los principales tipos de AMEF de la siguiente forma:

- **Diseño:** Se utiliza en la etapa de diseño del producto o sistema para identificar posibles fallos en el diseño antes de que el producto entre en producción. Tiene como finalidad acrecentar la calidad y la fiabilidad del diseño y reducir el riesgo de fallos en la etapa de fabricación y uso.
- **Proceso:** Se aplica durante la fase de producción para identificar y evaluar los fallos potenciales en los procesos de fabricación o ensamblaje. Busca optimizar el proceso, así como garantizar que el producto final se ajuste a los requisitos de calidad.
- **Sistema:** Se enfoca en el análisis de fallos en sistemas complejos que pueden involucrar múltiples subsistemas y componentes. Este tipo de

AMEF es útil para comprender cómo los fallos en diferentes partes del sistema pueden interactuar y afectar el rendimiento global del sistema.

Esta metodología emplea una evaluación de la criticidad de posibles fallos y sus efectos, a través de un cálculo que considera la severidad, la frecuencia y la capacidad de detección. Su propósito es estimar el Índice de Prioridad de Riesgo (IRP) para priorizar y facilitar la toma de decisiones (Contreras, 2023).

$$IRP = S * O * D \quad 2.15$$

Donde:

S: índice de gravedad

O: índice de frecuencia

D: índice de detección

La escala de evaluación varía entre 1, siendo el valor más bajo, y 10, el más alto. Todo el análisis se realizará dentro de una matriz que recopilará toda la información. El resultado del Índice de Prioridad de Riesgo (IRP) permitirá clasificar un fallo según su puntuación, la cual oscilará entre 1 y 1000.

Tabla 3

Rango de valor del NPR

Sin riesgo de falla	0
Riesgo de falla menor	1 – 124
Riesgo medio de falla	125 – 499
Riesgo alto de falla	500 – 1000

Fuente: (Mosquera, 2022)

El índice de Gravedad es un valor que se asigna para medir el impacto o la severidad de un fallo en el sistema, producto o proceso. Este índice refleja las consecuencias que tendría el fallo sobre la funcionalidad, la seguridad o la calidad (Farias, 2021). Se evalúa de la siguiente manera:

Tabla 4

Tabla de gravedad

Gravedad	Criterio	Valor
Muy baja	Este fallo de poca relevancia no debería afectar el rendimiento del sistema.	1
Baja	Se podría notar una leve disminución en el rendimiento. Es fácil de corregir.	2 – 3
Moderada	Genera insatisfacción, se notará una disminución en el rendimiento del sistema.	4 – 6
Alta	Podría ser crítico, inutilizando el sistema y generando un alto grado de insatisfacción en el cliente.	7 – 8
Muy alta	Compromete la seguridad del producto o proceso.	9 – 10

Fuente: (Betancourt, 2020)

El índice de ocurrencia o frecuencia, mide la probabilidad de que ocurra un fallo específico en un sistema, producto o proceso (Pursell, 2024).

Tabla 5

Tabla de Frecuencia

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy baja	No se han registrado fallos similares en procesos casi idénticos en el pasado.	1
Baja	Es probable que ocurran fallos aislados en procesos similares.	2 – 3
Moderada	El desperfecto ha aparecido de manera accidental y es probable se repita varias veces a lo largo de la vida útil de la máquina o sistema.	4 – 5
Alta	Ha ocurrido con cierta regularidad en procesos similares o anteriores.	6 – 8
Muy alta	El fallo es casi inevitable y se producirá con frecuencia.	9 – 10

Fuente: (Betancourt, 2020)

El índice de detección mide la probabilidad de que un fallo sea detectado antes de que cause un impacto significativo en el sistema, producto o proceso (Benitez et al., 2023).

Tabla 6

Índice de detección

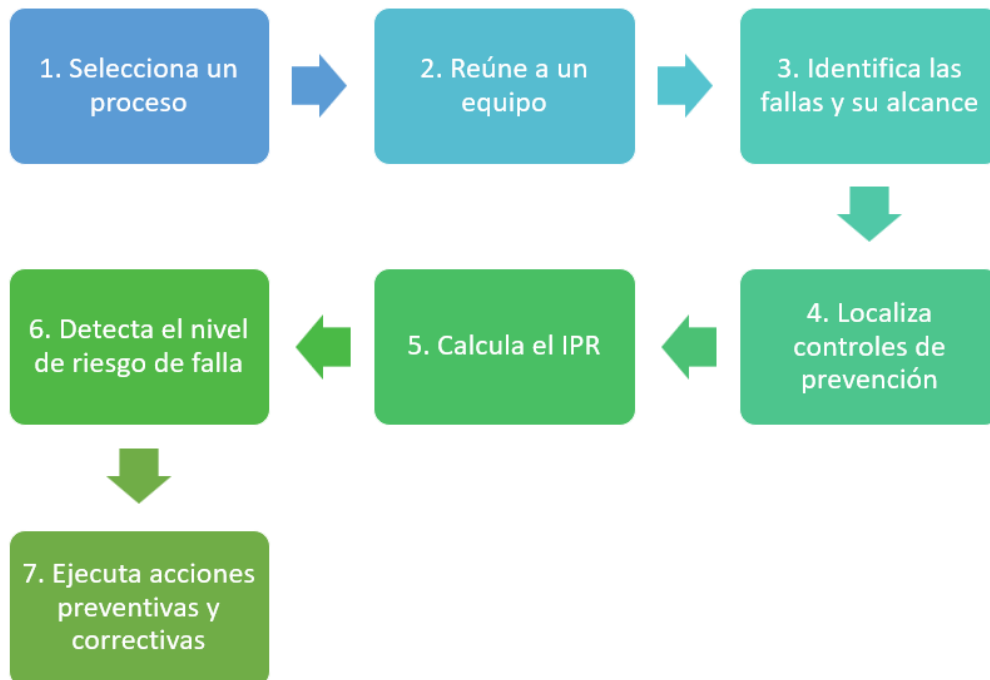
Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy baja	Es notorio el defecto	1
Baja	Es indiscutible y fácil de detectar, pero podría escaparse en algunas ocasiones durante el primer control.	2 – 3
Moderada	Es identificable y es probable que no llegue al usuario final.	4 – 6
Alta	Es complicado de detectar con los procedimientos actuales.	7 – 8
Muy alta	Es indetectable y probablemente será notado por el cliente final.	9 – 10

Fuente: (Betancourt, 2020)

Los pasos que se deben de seguir para aplicar correctamente la metodología, están determinados por la UNE-EN 60812-2008. Asimismo, Pursell (2024) las detalla de la siguiente forma:

Figura 3

Pasos para el Análisis de modos y efectos de falla



Fuente: Elaboración propia

- **Selección del proceso:** Elige el proceso, producto o sistema que se va a analizar. Define su alcance y los objetivos del AMEF.
- **Reunión de equipo:** Forma un equipo con expertos en el área del proceso seleccionado, incluyendo representantes de diferentes disciplinas relevantes.
- **Identificar las fallas y su alcance:** Determina los posibles modos de fallo y sus respectivas consecuencias en el proceso. Define el alcance de cada fallo y cómo puede impactar el sistema.
- **Localizar controles de prevención:** Identifica los controles actuales y las medidas de prevención que están en su lugar para detectar y mitigar los fallos.

- **Calcular el IPR:** Asigna puntuaciones para la gravedad, ocurrencia y detección de cada modo de fallo. Multiplica estas puntuaciones para obtener el IPR.
- **Detección del nivel de falla:** Evalúa el nivel de riesgo basado en el IPR. Prioriza los modos de fallo según su riesgo potencial.
- **Ejecutar acciones preventivas y correctivas:** Desarrolla e implementa acciones para prevenir la ocurrencia de fallos y corregir los problemas identificados. Revisa y ajusta las medidas según sea necesario.

2.3 Grupo electrógeno

En sectores industriales ubicados en áreas de difícil acceso, como campos petroleros, petroquímicas y centrales energéticas, es importante garantizar un suministro continuo de energía eléctrica. Para ello, se emplea un grupo electrógeno, un equipo que transforma la energía de tipo mecánica en eléctrica al accionar un generador mediante un motor de combustión interna (Lugo y Prada, 2023).

Asimismo, Santa (2020) lo define como una máquina que integra un grupo motriz, típicamente un motor de combustión interna, con un generador eléctrico para generar energía eléctrica. Estos equipos se utilizan principalmente como una fuente alternativa de suministro eléctrico, proporcionando energía en situaciones donde la red eléctrica principal no está disponible.

AutoSolar (2021) detalla las partes de un grupo electrógeno de la siguiente manera. Un grupo electrógeno es un sistema en serie compuesto por diversos componentes que trabajan de manera conjunta para generar energía eléctrica. Según la normativa aplicable, las principales partes de un grupo electrógeno son:

Figura 4

Ilustración de un grupo electrógeno



Fuente: Distribuidora Cummins Perú S.A.C.

2.4 Partes de un Grupo electrógeno:

Consta generalmente de los siguientes sistemas y sub sistemas:

2.4.1 Sistema de generación de energía:

En este sistema se encuentra como mecanismo principal el motor de combustión, quien transforma energía química en mecánica, dentro de este sistema se encuentran los siguientes sub sistemas:

- **Sistema de combustible:** Incluye el tanque de combustible, bomba de combustible, filtros y los inyectores. Su función es suministrar el combustible necesario para la combustión. Según Energy DC/AC, "el sistema de combustible asegura al motor un suministro confiable e ininterrumpido".
- **Sistema de lubricación:** Distribuye aceite a las partes móviles del motor para reducir la fricción y el desgaste. Incluye la bomba de aceite, filtros y conductos.

Su función es garantizar un funcionamiento suave y prolongar la vida útil del motor.

- **Sistema de refrigeración:** Mantiene la temperatura del motor en niveles óptimos. Puede ser por aire, agua o aceite, dependiendo del diseño del grupo electrógeno. Según Agresa, "el sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire".
- **Sistema de escape:** Dirige y filtra los gases de combustión generados durante la operación del motor. Incluye el tubo de escape y el silenciador. Su función es reducir las emisiones y el ruido

2.4.2 Sistema de Control y Monitoreo:

El sistema de control es esencial para la operación segura y eficiente del grupo electrógeno. Incluye el cuadro de mando, que permite al operador iniciar, detener y monitorear el estado del equipo. Además, cuenta con sensores y alarmas que detectan condiciones anormales, como sobrecalentamiento o baja presión de aceite. Según Energetica21, "el cuadro de mando está formado por un controlador de grupo que arranca y pone en servicio del grupo en caso de fallo de la red pública o al recibir una señal exterior de arranque"

- **Panel de control:** Actúa como el "cerebro" del grupo electrógeno, permitiendo al operador iniciar, detener y monitorear el estado del equipo. Incluye indicadores de tensión, frecuencia, temperatura, nivel de combustible, entre otros.
- **Sistema de protección:** Detecta condiciones anormales como sobrecarga, sobrecalentamiento o baja presión de aceite, activación de alarmas o apagado del motor para evitar daños.

2.4.3 Sistema de refrigeración:

Mantiene la temperatura del motor en niveles seguros. Puede incluir los siguientes subsistemas.

- **Radiador:** Disipa el calor del líquido refrigerante.
- **Bomba de agua:** Circula el líquido refrigerante a través del motor y el radiador.
- **Termostato:** Regula la temperatura del motor al controlar el flujo del líquido refrigerante.
- **Ventilador:** Aumenta el flujo de aire a través del radiador para mejorar la disipación del calor.

2.4.4 Sistema de Transformación de energía eléctrica:

En este sistema se encuentra principalmente el generador eléctrico, quien convierte la energía mecánica proporcionada por el motor para hacer girar el rotor y crear energía eléctrica junto al campo magnético del estator.

2.4.5 Mantenimiento de grupos electrógenos

Este abarca diversas partes importantes, como el motor, la bancada, el ventilador, el radiador y el alternador, entre otros componentes. Las actividades incluyen verificar y ajustar el nivel de aceite, cambiar los filtros, limpiar el radiador, cebar la manguera de succión de combustible, y ajustar la velocidad de la bomba. También es importante revisar la corriente y el voltaje de operación y comprobar el estado del botón de emergencia, junto con otras tareas necesarias para garantizar el buen funcionamiento del equipo (Suica y Guamán, 2023).

Un mantenimiento de aspecto preventivo puede acrecentar significativamente la disponibilidad y fiabilidad de un sistema o equipo, hecho que

es fundamental para sostener la eficiencia en entornos industriales. Tal es así que, de acuerdo con el estudio de Airaldi (2021), después de diecisiete meses de la integración completa de un plan de mantenimiento, la disponibilidad real de unos grupos electrógenos destinados al mantenimiento eléctrico en el sector minero, experimentó un notable incremento. Este plan, que se cumplió al 100%, permitió alcanzar índices de disponibilidad mensual de hasta el 95%, reflejando una mejora sustancial en el desempeño y la fiabilidad del equipo.

Por otro lado, según el estudio de Cossios y Arévalo (2018), se logró un incremento en la confiabilidad de un grupo electrógeno mediante un programa de mantenimiento preventivo. Inicialmente, la confiabilidad de la máquina era del 94.31%, sin embargo, tras la integración de este plan desarrollado con la ayuda de un software especializado, la confiabilidad aumentó al 96.96%. Este avance destaca la efectividad del plan de mantenimiento en mejorar el rendimiento y la fiabilidad del grupo electrógeno.

2.5 Valor actual neto (VAN)

Es un instrumento económico utilizada para estipular la rentabilidad de un proyecto o inversión. Esta técnica implica descontar los flujos de efectivo a futuro previstos a su valor presente y luego deducir la inversión inicial. De esta manera, el VAN permite comparar la rentabilidad de distintos proyectos al ajustar los flujos de efectivo futuros en base al costo del capital y el valor temporal del dinero (Arcentales, 2020).

Fernández (2023) detalla la siguiente expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad 2.16$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial.

C_n : Flujo de caja o beneficios generados por la inversión en cada periodo.

N : Número total de periodos

n : Año en el que se van obteniendo los beneficios de cada periodo.

r : tasa de descuento

2.6 Tasa interna de retorno (TIR)

Esta tiene la función de evaluar la viabilidad financiera de una inversión o proyecto. Se establece como el porcentaje de descuento que iguala el VAN de los flujos de efectivo futuros del proyecto a cero. Es decir, es el porcentaje de interés a la que el valor actual de los ingresos venideros esperados coincide con la inversión inicial realizada (Flores, 2020). Se expresa bajo la siguiente fórmula:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad 2.17$$

Para determinar la viabilidad del proyecto se tiene en cuenta lo siguiente (Ramírez, 2023).

TIR = r . Se establece que el proyecto no generará ni ganancias ni pérdidas, es indistinto.

TIR > r . Se acepta que el proyecto será beneficioso

TIR < r . Se considera el proyecto no viable.

2.7 Indicador OEE

El Overall Equipment Effectiveness (OEE) es un indicador clave en la manufactura que mide la eficiencia operativa de un equipo, proceso o línea de producción. Su importancia radica en su capacidad para identificar y cuantificar

pérdidas en la producción, permitiendo a las empresas mejorar la utilización de sus recursos. Se expresa como un porcentaje y su valor ideal es del 100%, lo que indicaría que el proceso opera sin interrupciones, a la máxima velocidad y sin generar defectos. El OEE se basa en tres pilares fundamentales: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad, los cuales deben ser optimizados para alcanzar una producción eficiente. Este indicador es ampliamente utilizado en metodologías como Lean Manufacturing y TPM (Mantenimiento Productivo Total), ya que proporciona una visión clara de la efectividad global del equipo y permite la toma de decisiones informadas para reducir desperdicios y mejorar la productividad.

2.7.1. Fórmula General del OEE

El cálculo del OEE se realiza mediante la siguiente fórmula general:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Cada uno de estos factores representa un aspecto crítico del desempeño del equipo y su combinación refleja el nivel de eficiencia global. Al desglosar este cálculo, se pueden identificar las áreas específicas que requieren mejoras. Un equipo con alta disponibilidad, pero bajo rendimiento o calidad aún tendrá un OEE deficiente, lo que demuestra la necesidad de optimizar los tres componentes simultáneamente.

2.8 Disponibilidad (D)

La Disponibilidad mide el tiempo en que el equipo está operativo en comparación con el tiempo planificado de producción. Se calcula como:

$$D = \frac{\textit{Tiempo de Operacion}}{\textit{Tiempo planificado}}$$

Este indicador refleja el impacto de las interrupciones en la producción, tales como mantenimientos no planificados, averías, tiempos de preparación o ajustes de máquina. Un valor bajo de disponibilidad indica que hay tiempos muertos

significativos que reducen la productividad. La mejora en la disponibilidad se logra mediante estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, reducción de tiempos de cambio de herramientas y optimización en la programación de producción para minimizar paros innecesarios.

2.9 Rendimiento (R)

El Rendimiento mide la eficiencia con la que un equipo produce en comparación con su capacidad teórica. Se calcula con la fórmula:

$$R = \frac{\textit{Produccion Real}}{\textit{Produccion Teórica}}$$

o en términos de tiempo de ciclo:

$$R = \frac{\textit{(Piezas producidas x Tiempo de Ciclo Ideal)}}{\textit{Tiempo de operación}}$$

Un rendimiento bajo indica que el equipo está funcionando a una velocidad menor de la esperada, lo que puede deberse a pequeños paros, fallos en el suministro de materiales, desgaste de herramientas o mala configuración del proceso. Para mejorar este factor, es fundamental analizar y eliminar las causas de ralentización, implementar mantenimientos proactivos y capacitar al personal para operar el equipo a su máxima capacidad sin comprometer la calidad.

2.10 Calidad (C)

El factor de Calidad evalúa la cantidad de productos buenos en relación con la producción total. Se expresa como:

$$C = \frac{\textit{Piezas Buenas}}{\textit{Piezas Totales}}$$

Un valor bajo de calidad indica una alta cantidad de piezas defectuosas o que requieren retrabajos, lo que representa desperdicio de material, tiempo y recursos.

Las principales causas de pérdida de calidad incluyen variaciones en el proceso, fallas en la materia prima, errores humanos y problemas en el mantenimiento del equipo. Para mejorar este indicador, se deben implementar controles de calidad más estrictos, automatización en los procesos críticos y metodologías de mejora continua como Six Sigma para reducir la variabilidad y defectos en la producción.

2.11 Interpretación del OEE

El valor del OEE proporciona una visión clara del desempeño de un equipo o línea de producción. Un OEE del 85% al 100% indica una operación altamente eficiente con pérdidas mínimas, mientras que un OEE entre 70% y 85% sugiere que hay oportunidades de mejora, aunque el proceso aún es competitivo. Si el OEE está entre 50% y 70%, significa que las pérdidas son significativas y se requieren mejoras urgentes en disponibilidad, rendimiento o calidad. Finalmente, un OEE menor al 50% indica una producción altamente ineficiente, con grandes desperdicios que afectan la rentabilidad. La meta ideal es alcanzar un OEE superior al 85%, pero esto depende del tipo de industria y del nivel de automatización del proceso productivo.

2.12 Factores que Afectan el OEE

Existen diversas razones por las cuales el OEE puede verse afectado, agrupadas en tres categorías principales de pérdidas: Disponibilidad, Rendimiento y Calidad. Dentro de las pérdidas de Disponibilidad, se encuentran los tiempos muertos por fallas mecánicas, falta de mantenimiento adecuado y esperas por materiales o personal. Las pérdidas en Rendimiento incluyen operar a una velocidad reducida, pequeños paros y demoras en el flujo de producción. Finalmente, las pérdidas en Calidad están relacionadas con defectos de fabricación, retrabajos y desperdicios.

Identificar y minimizar estas pérdidas es clave para mejorar el OEE y maximizar la productividad.

2.13 Justificación e importancia de la investigación

Desde una perspectiva teórica, el estudio se apoya en diversas teorías y avances científicos. Por ejemplo, existe la teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que sigue unas pautas establecidas para identificar fallos y proponer soluciones para cada uno de ellos. También se dispone de herramientas que ayudan a la detección de fallos o a realizar un diagnóstico más preciso. Además, se examinan en profundidad las variables del estudio para proporcionar una base teórica sólida y comparar y contrastar los hallazgos con otros estudios, destacando tanto las similitudes como las diferencias.

A nivel tecnológico, un plan de sistema de gestión que se vincula a los avances tecnológicos actuales, rescatando las herramientas y técnicas más utilizadas, y dejando atrás procedimientos obsoletos en el sector del mantenimiento, como el llenado manual de formularios. Este plan se justifica a nivel tecnológico.

Se justifica económicamente, ya que el objetivo del plan de gestión es aumentar los fondos a la vez que se reducen los costes de mantenimiento minimizando las averías.

A nivel Metodológico, tiene sentido emplear herramientas y técnicas para la recolección de datos como el diagrama de Pareto, el índice IRP, los gráficos de control, el diagrama de dispersión y el árbol de problemas, y seguir una metodología precisa que pueda aplicarse a futuras investigaciones.

CAPÍTULO III. Objetivos, Hipótesis, Variables e Indicadores

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

Optimizar el plan de mantenimiento preventivo de los grupos electrógenos de 1500 kW en un proyecto minero, utilizando la herramienta RCM.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa.
- Determinar las estrategias de solución para eliminar las fallas críticas detectadas empleando la metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).
- Proponer mejoras en los planes de mantenimiento preventivo utilizando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa.
- Determinar los montos totales de costos ahorrados luego de optimizar el plan de mantenimiento preventivo usando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

3.2 Hipótesis

3.2.1 Hipótesis General

La optimización del plan de mantenimiento preventivo de los grupos electrógenos de 1500kW utilizando la herramienta RCM va a mejorar la confiabilidad y reducirá costos de mantenimiento.

3.2.2 Hipótesis Específicas

- Existen bajas significativas en el rendimiento actual de los grupos electrógenos y los estándares óptimos de funcionamiento.
- La aplicación de estrategias derivadas del AMEF reduce la frecuencia y la gravedad de las fallas críticas en los grupos electrógenos.
- El enfoque RCM mejora la disponibilidad operativa y reduce los costos totales de mantenimiento de los grupos electrógenos.
- La inversión inicial para optimizar el mantenimiento preventivo mediante la herramienta RCM resulta en ahorros a largo plazo debido a la reducción de paradas no planificadas y costos de reparación.

3.3 Variables, dimensiones e indicadores

3.3.1 Variables

Variable independiente: Plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El RCM es aquel modelo que trata de imponer innovadores avances de la tecnología en el mantenimiento que ayudan en la mejora de la productividad y a su vez, en la disminución de riesgos al entorno a manera de seguridad (Andrade y Herrera, 2021).

Variable dependiente: Confiabilidad de los grupos electrógenos

Es la capacidad de un grupo electrógeno para seguir funcionando según lo previsto, sin problemas ni retrasos. Es la probabilidad de que, dentro de un período de tiempo determinado, todas las máquinas, sistemas y productos involucrados en la cadena de producción ejecuten una operación correctamente (Díaz et al., 2019).

3.4 Dimensiones

Las dimensiones de la V.I: Mantenimiento y Análisis de criticidad.

Las dimensiones de la V.D: Indicadores de mantenimiento

3.5 Indicador

Los indicadores de la V.I: Tiempo de mantenimiento, Activos críticos e importantes, AMEF y el MTBF.

Los indicadores de la V.D: Tiempo medio para fallar (TPPF), Tiempo medio de reparación (TPPR), Disponibilidad y Utilización.

3.6 Operacionalización de variables

El cuadro de operacionalización tanto de la variable dependiente como independiente, se puede apreciar en el Anexo B.

CAPÍTULO IV. Diseño Metodológico

4.1. Unidad de Análisis.

Hace referencia al elemento central que se examina y sobre el cual se extraen conclusiones, asimismo podrías obtener el tema principal de tu investigación. Es lo principal que un investigador analiza en su investigación. La unidad de análisis se conforma por los GE que están dentro de un rango de potencia de 150 kW.

4.2. Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación

Según el tipo de investigación, se clasifica como aplicada, la cual tiene como fin brindar una solución a un problema identificado con ayuda de conocimientos existentes y teorías, de modo que tiene base en la investigación pura (Fuentes et al. 2020). En la presente, se planea emplear la metodología RCM a fin de plantear un plan de mantenimiento en una organización del rubro minero; este dará una solución a las fallas suscitadas de manera inesperada e incrementar la confiabilidad de los grupos electrógenos.

Por otro lado, es de diseño pre experimental pues según Sánchez et al. (2018) es un tipo específico de diseño experimental, en donde utiliza una variable independiente de un solo nivel, en la que el grupo experimental es el receptor de la intervención del investigador. Es necesario realizar una medición de la variable dependiente antes y después de la prueba. De acuerdo a la investigación es preexperimental porque se va a considerar un pre-test y un pos-test y determinar la mejora de la confiabilidad.

Finalmente, la naturaleza es cuantitativa, ya que se emplearán datos de naturaleza matemática o estadística en el desarrollo de la investigación (Sánchez, 2019). Sustentado en el empleo de datos numéricos de las variables como la

confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, entre otros; los cuales incluyen los registros de horas, número de paradas, entre otros.

4.3. Periodo de Análisis

De acuerdo al tiempo empleado, se consideró utilizar como data un periodo de (meses o años), que en cuestión representa la condición actual con la que cuenta la empresa.

4.4. Fuentes de Información e instrumentos utilizados

Las técnicas e instrumentos que serán empleadas para la recolección de datos son la observación, la cual emplea los cinco sentidos para detectar características de un fenómeno; y, el análisis documental, cuya técnica consiste en extraer datos de bibliografía existente (Arias y Covinos, 2021).

Los instrumentos para cada técnica serán la guía de observación, el cual es un formato en el que se detallan los parámetros esenciales para el desarrollo de un estudio; y, la ficha de análisis documental, que es una ficha en que se extrae las principales ideas de un documento o escrito de interés para una investigación (Arias, 2021). El análisis documental ayudará a extraer datos importantes del historial de cada equipo y la observación a construir el diagrama de Pareto y el análisis de criticidad.

CAPÍTULO V. Resultados

5.1 Identificar la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa

El proyecto minero en cuestión dispone de un total de 12 grupos electrógenos, los cuales desempeñan un papel importante en garantizar el suministro eléctrico continuo para las operaciones de minería. Sin embargo, la situación actual de estos equipos muestra un panorama preocupante en términos de disponibilidad y funcionalidad. De los 12 grupos electrógenos, 4 han sido devueltos, lo que sugiere una posible falta de fiabilidad o problemas en su rendimiento que llevaron a su retiro anticipado.

Por otro lado, 3 grupo electrógeno se encuentra en estado de retiro, lo que indica que ya no es considerado viable para su uso en el proyecto, mientras que otro se encuentra en tránsito, posiblemente en proceso de reparación. Esta situación deja a la empresa con solo 3 grupos electrógenos operativos, lo que representa un desafío significativo en la gestión de energía, dado que la capacidad de producción eléctrica se ve limitada y puede afectar la continuidad de las actividades mineras. En cuanto a la carga que satisfacen estos equipos, se especifica que los grupos electrógenos operativos están en régimen Prime, lo que indica que trabajan como fuente principal de energía para las operaciones mineras.

Sobre la distribución de carga, en el análisis de la situación actual de los equipos, uno o dos grupos electrógenos operan a plena carga, mientras que los otros permanecen en modo de reserva o stand-by. Esto sugiere que la carga podría ser compartida en ciertos momentos, trabajando en modo paralelo, dependiendo de la demanda energética y del estado de los equipos.

Por lo tanto, para la presente investigación se ha considerado analizar y optimizar el plan de mantenimiento de los grupos GE03, GE05 y GE06.

Tabla 7

Datos de los grupos electrógenos

DATOS DEL EQUIPO						
ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	ESTATUS	REGIMEN
1	GE08	Cummins	2000DQKC	C120322316	Retirado	Standby
2	GE05	Cummins	2000DQKC	I14K741740	Operativo	Prime
3	GE06	Cummins	C2000D6	G13K529797	Operativo	Prime
4	GE09	Cummins	C2000D6	E23D009766	En transito	Prime
5	GE10	Cummins	C500D6	J22T059458	Retirado	Standby
6	GE11	Cummins	C250D6	J18T045630	Retirado	Standby
7	GE12	Cummins	C185D6	H21T054879	Retirado	Prime
8	GE04	Cummins	C450D6	I14K743717	Devuelto	Prime
9	GE03	Cummins	C1250D2R	E12K341736	Operativo	Prime
10	GE02	Cummins	C350D6	F19T048005	Devuelto	Prime
11	GE07	Cummins	2000DQKC	I010289107	Devuelto	Prime
12	GE01	Cummins	C1250D2R	I16H006016	Devuelto	Prime

Fuente: Elaboración propia.

Para analizar el tiempo total de horas de trabajo de los activos físicos, se mostró el período comprendido entre agosto de 2023 y julio de 2024. En el cálculo del total de días laborables por mes, se excluyeron los días feriados y los domingos. Este análisis es fundamental para evaluar los indicadores de mantenimiento, así como la disponibilidad y la confiabilidad de los activos físicos de la empresa.

Tabla 8

Tiempo de producción entre agosto de 2023 y julio de 2024

Año	Meses	Días del mes	Feriados	Domingos	Nº días laborables	Nº de horas trabajadas/día	Tiempo de producción (disponibilidad)
2023	Agosto	31	1	4	26	8	208
	Setiembre	30	0	4	26	8	208
	Octubre	31	0	5	26	8	208
	Noviembre	30	1	4	25	8	200
	Diciembre	31	2	5	24	8	192
2024	Enero	31	1	4	26	8	208
	Febrero	29	0	4	25	8	200
	Marzo	31	2	5	24	8	192
	Abril	30	0	4	26	8	208
	Mayo	31	1	4	26	8	208
	Junio	30	1	5	24	8	192
	Julio	31	1	4	26	8	208
TOTAL					304	8	2432

Fuente: elaboración propia.

Durante el periodo en análisis se han realizado mantenimientos inesperados (mantenimientos no proyectados), que se encuentran registrados de la siguiente manera:

Tabla 9

Número de mantenimientos correctivos de empresa minera (grupo electrógenos).

AÑO	EQUIPO	GE05	GE06	GE03	N° Fallas/Mes
	MODELO	2000DQKC	C2000D6	C1250D2R	
	SERIE	I14K741740	G13K529797	E12K341736	
2023	Agosto	1	0	0	1
	Setiembre	1	5	1	7
	Octubre	5	6	4	15
	Noviembre	6	3	1	10
	Diciembre	3	0	1	4
2024	Enero	2	0	6	8
	Febrero	0	2	3	5
	Marzo	0	4	0	4
	Abril	0	4	0	4
	Mayo	4	3	0	7
	Junio	1	0	0	1
	Julio	0	0	2	2
Total		23	27	18	68

Fuente: elaboración propia.

La tabla muestra el número de mantenimientos correctivos realizados en tres grupos electrógenos (GE05, GE06, GE03) durante los años 2023 y 2024. En el año 2023, se observa una tendencia creciente en la cantidad de mantenimientos, con picos notables en septiembre y octubre.

Al analizar la distribución total de mantenimientos no proyectados, se observa que el equipo GE06 presenta el mayor número de incidencias con 27 mantenimientos acumulados en el periodo 2023-2024, seguido del GE05 con 23 fallas registradas durante el periodo en estudio.

A continuación, se muestran los tiempos de reparación por cada mes de acuerdo a la cantidad de fallas presentadas anteriormente.

Tabla 10

Tiempos por mantenimientos correctivos

	EQUIPO	GE05	GE06	GE03
AÑO	MODELO	2000DQKC	C2000D6	C1250D2R
	SERIE	I14K741740	G13K529797	E12K341736
2023	Agosto	5.83	0.00	0.00
	Setiembre	1.50	44.00	5.83
	Octubre	8.48	56.50	13.00
	Noviembre	61.00	36.00	7.00
	Diciembre	6.98	0.00	2.00
2024	Enero	12.00	0.00	48.00
	Febrero	0.00	24.00	20.33
	Marzo	0.00	30.42	0.00
	Abril	0.00	24.00	0.00
	Mayo	12.00	24.00	0.00
	Junio	3.83	0.00	0.00
	Julio	0.00	0.00	4.67
Total		111.63	238.92	100.83

Fuente: elaboración propia.

Los datos de la tabla proporcionan un desglose detallado de las horas de reparación por equipo y mes, mostrando variaciones significativas en el tiempo de mantenimiento correctivo. En 2023, octubre y noviembre destacan con tiempos altos de reparación, especialmente para los equipos GE05 y GE06, lo que podría indicar un mal rendimiento o fallas recurrentes. En 2024, enero y mayo muestran los picos más altos en tiempos de reparación, mientras que otros meses como febrero y marzo reportan tiempos significativamente más bajos, lo que podría estar asociado con una reducción temporal en las fallas o mejoras en los procesos de mantenimiento.

A partir de los datos anteriores, podemos hallar los indicadores MTTR, MTBF y disponibilidad.

Tabla 11

Indicadores de mantenimiento iniciales

EQUIPO	N° FALLAS	TIEMPO TOTAL DE MTTO (Horas)	MTTR	TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (Horas)	MTBF	DISPONIBILIDAD
GE05	23	111.63	4.85	2432	100.89	95.41%
GE06	27	238.92	8.85	2432	81.23	90.18%
GE03	18	100.83	5.60	2432	129.51	95.85%

Fuente: elaboración propia.

El equipo GE06, con 27 fallas y 238.92 horas totales de mantenimiento, muestra un MTTR de 8.85 horas y un MTBF de 81.23 horas, resultando en la disponibilidad más baja (90.18%). Esto indica que sus reparaciones son más prolongadas, afectando directamente su rendimiento. Por otro lado, el GE03, con solo 18 fallas y un tiempo de mantenimiento de 100.83 horas, alcanza la mayor disponibilidad (95.85%), con un MTTR de 5.60 horas y un MTBF de 129.51 horas.

Tabla de Datos por Equipo y Mes

Tabla 12

Indicadores de mantenimiento mensual para cada equipo.

EQUIPO	MES	N° FALLAS	TIEMPO TOTAL MTTO (Horas)	MTTR	TIEMPO TOTAL DISPONIBLE (Horas)	MTBF	DISPONIBILIDAD
GE05	Enero	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Febrero	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Marzo	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Abril	2	9.	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Mayo	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Junio	2	9.30	4.	202.67	100.89	95.41%
	Julio	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Agosto	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Septiembre	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Octubre	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Noviembre	2	9.30	4.85	202.67	100.89	95.41%
	Diciembre	1	9	4.85	202.67	100.89	95.41%
GE06	Enero	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Febrero	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Marzo	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Abril	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Mayo	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Junio	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Julio	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Agosto	2	19.	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Septiembre	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Octubre	2	19	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Noviembre	2	19.91	8.85	202.67	81.23	90.18%
	Diciembre	3	19,98	8.85	202.67	81.23	90.18%
GE03	Enero	1	8.40	5.	202.67	129.51	95.85%
	Febrero	1	8.40	5	202.67	129.51	95.85%
	Marzo	1	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
	Abril	1	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
	Mayo	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
	Junio	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
	Julio	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%

Agosto	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
Septiembre	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
Octubre	2	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
Noviembre	1	8.40	5.60	202.67	129.51	95.85%
Diciembre	1	8.43	5.60	202.67	129.51	95.85%

Fuente: elaboración propia.

5.2 Determinar las estrategias de solución para eliminar las fallas críticas detectadas empleando la metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

Los términos Modo de Falla y Efecto de Falla están alineados con la norma ISO 14224, ya que esta norma los define y los utiliza dentro de su marco para la recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento en la industria.

Tabla 13

AMEF del equipo GE05

Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Código de modo de Falla	Efecto de Falla	Grav.	Ocur.	Det.	NPR	Clasificación del Riesgo
Suministrar energía	No genera energía	Fuga de aceite por empaque culatas	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Pérdida de lubricación, daño en componentes	8	6	5	240	Riesgo medio de falla
Generar potencia eficiente	Pérdida de eficiencia	Humo azul, requiere calibrar bomba	ERO – (Producción errática)	Combustión incompleta, aumento de emisiones	7	5	4	140	Riesgo medio de falla
Mantener temperatura adecuada	Paro por sobrecalentamiento	Alta temperatura del motor (shutdown)	OHE – Sobrecalentamiento	Reducción de vida útil, parada inesperada	9	7	4	252	Riesgo medio de falla
Filtrar combustible	Pérdida de potencia	Saturación de filtro de combustible	ERO – (Producción errática)	Aumento de consumo, pérdida de rendimiento	7	6	3	126	Riesgo medio de falla
Refrigerar el motor	Disminución de la capacidad de enfriamiento	Fuga de refrigerante	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Sobrecalentamiento, daños graves	8	6	4	192	Riesgo medio de falla
Arrancar correctamente	Arranque ineficiente	Fallo en el pick up de arrancador	FTS – (Falla en el arranque bajo)	Retraso en el encendido del equipo	6	5	3	90	Riesgo de falla menor
Operar con carga máxima (750 kW)	Reducción de rendimiento bajo carga alta	Alta temperatura del motor (750 kW)	OHE – Sobrecalentamiento	Sobrecarga térmica, posibles daños graves	9	8	5	360	Riesgo medio de falla
Filtrar combustible	Bloqueo del flujo de combustible	Saturación de filtro Racord	ERO – (Producción errática)	Interrupción del flujo, pérdida de potencia	7	5	3	105	Riesgo de falla menor

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14

AMEF del equipo GE06

Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Código de modo de Falla	Efecto de Falla	Grav.	Ocur.	Det.	NPR	Clasificación del Riesgo
Refrigerar el motor	Paro por sobrecalentamiento	Fuga de refrigerante por radiador	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Daño crítico al motor, reducción de vida útil	9	9	3	243	Riesgo medio de falla
Refrigerar el motor	Paro por sobrecalentamiento	Falla de termostato	OHE – (Sobrecalentamiento)	Motor recalienta, pérdida de funcionalidad	9	8	4	288	Riesgo medio de falla
Suministrar energía	No genera energía	Falla del controlador	OTH – (Otros)	Pérdida de control del sistema	8	5	5	200	Riesgo medio de falla
Suministrar energía	No genera energía	Falla del display del controlador	OTH – (Otros)	Retraso en la operación, control deficiente	7	4	5	140	Riesgo medio de falla
Mantener combustión eficiente	Pérdida de potencia	Fuga por manguera de combustible	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Incremento de consumo y emisiones	7	6	4	168	Riesgo medio de falla
Mantener integridad del sistema de escape	Operación con ruido excesivo	Falla del silenciador	NOI – (Ruido)	Impacto acústico, incumplimiento de normas	6	4	4	96	Riesgo de falla menor

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15

AMEF del equipo GE03

Función	Falla Funcional	Modo de Falla	Código de modo de Falla	Efecto de Falla	Grav.	Ocur.	Det.	NPR	Clasificación del Riesgo
Refrigerar el motor	Paro por sobrecalentamiento	Fuga de refrigerante por radiador	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Daño crítico al motor, reducción de vida útil	9	8	3	216	Riesgo medio de falla
Refrigerar el motor	Paro por sobrecalentamiento	Fuga de refrigerante por mangueras	OHE – (Sobrecalentamiento)	Motor recalienta, pérdida de funcionalidad	9	7	3	189	Riesgo medio de falla
Mantener lubricación adecuada	Pérdida de lubricación	Fuga de aceite por empaque de culatas	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Incremento de fricción, daño a componentes	8	6	4	192	Riesgo medio de falla
Mantener lubricación adecuada	Pérdida de lubricación	Fuga de aceite por empaque de cárter	ELU – (Fuga externa - medio de suministro)	Reducción de la eficiencia, riesgo de falla	8	5	4	160	Riesgo medio de falla
Generar potencia	Pérdida de potencia	Falla del turbo compresor	ERO – (Producción errática)	Reducción del desempeño y eficiencia	8	6	4	192	Riesgo medio de falla
Generar potencia	Paro por falta de presión de combustible	Falla del sensor de presión de combustible	ERO – (Producción errática)	Parada del motor, pérdida de operación	7	5	4	140	Riesgo medio de falla
Mantener flujo de aire adecuado	Reducción de enfriamiento	Desajuste de fajas del ventilador	OHE – (Sobrecalentamiento)	Eficiencia reducida del sistema de refrigeración	7	4	5	140	Riesgo medio de falla

Fuente: elaboración propia.

La norma ISO 14224 establece directrices claras para la recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento en la industria del petróleo, gas y energía. En particular, define categorías específicas para los modos y efectos de falla. Según esta norma, el modo de falla se refiere a la manera en que se observa una falla en un artículo defectuoso, mientras que el efecto de falla describe las consecuencias inmediatas de dicha falla en la operación del equipo o sistema.

El equipo GE05 presenta riesgos medios de falla en funciones clave como el enfriamiento del motor, el suministro de energía y la operación bajo carga máxima. Las fallas con mayor impacto están relacionadas con el sobrecalentamiento del motor durante operación a alta temperatura (NPR = 360) y la fuga de aceite por empaque de culatas (NPR = 240), lo que puede generar paradas inesperadas y daños significativos en componentes. Los riesgos menores incluyen fallas en el arrancador y en los filtros, que afectan el rendimiento, pero con un impacto más limitado.

En el caso del GE06, las fallas más críticas están asociadas con problemas de sobrecalentamiento debido a fugas de refrigerante por el radiador (NPR = 243) y fallas en el termostato (NPR = 288), lo que podría provocar un daño severo al motor. También se identificaron riesgos medios en la funcionalidad del controlador y fugas en el sistema de combustible, impactando la operación y eficiencia. Las fallas menores, como problemas con el silenciador, representan un impacto acústico sin comprometer la funcionalidad del equipo.

El equipo GE03 enfrenta principalmente riesgos medios relacionados con el sistema de refrigeración y lubricación, siendo las fugas de refrigerante por radiador (NPR = 216) y mangueras (NPR = 189) las más críticas por su potencial para provocar sobrecalentamiento. Las fallas en la lubricación por pérdidas de aceite también presentan un riesgo importante para la durabilidad del equipo. Además, problemas con el turbo

compresor y sensores de combustible afectan la generación de potencia, aunque con un impacto menos severo en comparación con el sistema de enfriamiento.

5.3 Proponer mejoras en los planes de mantenimiento preventivo utilizando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa.

La herramienta que permite garantizar el cumplimiento de las actividades de mantenimiento dentro del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es el Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF). Esta metodología identifica fallas críticas, evalúa sus consecuencias y establece acciones preventivas para minimizar riesgos y optimizar la confiabilidad de los equipos. Además, facilite la planificación y ejecución de tareas de mantenimiento preventivo, asegurando que se realicen de manera sistemática y efectiva.

Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Se presenta el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los grupos electrógenos, con el objetivo de Optimizar el plan de mantenimiento preventivo de los grupos electrógenos de 1500 kW en proyecto minero, utilizando la herramienta RCM., lo que permite priorizar las actividades de mantenimiento necesarias para minimizar riesgos y asegurar el funcionamiento eficiente. A continuación, se detallan las tareas de mantenimiento específicas para cada uno los grupos: GE03, GE05 y GE06. (ANEXO G)

El plan de mantenimiento del GE03: está enfocado en asegurar su operación eficiente y prolongar su vida útil a través de revisiones y ajustes periódicos. Se realizan inspecciones mensuales del radiador, revisión trimestral de mangueras y conexiones, cambios de aceite cada 500 horas de operación y evaluación anual del turbo compresor. También se monitorea continuamente la temperatura y presión mediante

sensores. Estas actividades, realizadas por técnicos especializados, garantizan la confiabilidad del equipo y previenen fallas críticas.

El plan de mantenimiento del GE05: está diseñado para optimizar su desempeño y confiabilidad mediante acciones preventivas periódicas. Incluye inspección trimestral del sistema de lubricación, calibración semanal de la bomba inyectora, revisión trimestral del sistema de refrigeración y mantenimiento semestral del sistema de arranque. También se realiza una evaluación anual del turbo y una inspección periódica del sistema eléctrico. Estas actividades, ejecutadas por técnicos especializados, minimizan fallas y prolongan la vida útil del equipo.

El plan de mantenimiento del GE06: busca garantizar su óptimo funcionamiento mediante inspecciones periódicas y reemplazo de componentes clave. Se incluyen la limpieza mensual del radiador, revisión semestral del termostato, inspección trimestral del controlador y mangueras de combustible, además de la evaluación anual del silenciador. Estas acciones, realizadas por técnicos especializados, reducen fallas, mejoran la eficiencia y extienden la vida útil del equipo.

Tabla 16

RCM – grupo electrógeno - GE03

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) - GE03							
Actividad	Trabajo a realizar	Materiales	Herramientas	Periodo	Personal	Tiempo Aproximado	Observaciones
Inspección y limpieza del radiador	Limpieza de aletas y verificación de fugas	Agua destilada, detergente industrial	Cepillo de cerdas suaves, compresor de aire.	Mensual	Técnico Mecánico	1-2 horas	Evitar daños en las aletas del radiador.
Inspección y ajuste de mangueras	Inspección visual y ajuste de conexiones	Abrazaderas y sellador	Llave ajustable, destornillador	Trimestral	Técnico Mecánico	1-2 horas	Reemplazar mangueras si representan desgaste
Cambio de aceite y filtros	Drenado de aceite, remplazo de filtro de aceite y combustible	Aceite de motor, filtros de aceite y combustible	Llave de filtros, recipiente para los desechos de aceite	Cada 500 horas de operación	Técnico Mecánico	2-3 horas	Usar solo aceite recomendado por el fabricante
Inspección y calibración de bomba de combustible	Verificación de fugas y regulación de presión	Juntas, combustible Diesel	Manómetro, llave dinamométrica	Semanal	Técnico Mecánico	1-2 horas	Realizar calibración con el motor en marcha
Evaluación de turbo compresor	Medición de presión y limpieza interna	Limpiador de turbo, lubricante	Manómetro, llave dinamométrica.	Anual	Técnico Mecánico	2-3 horas	Verificar desgaste en las aspas del turbo
Inspección del Sistema eléctrico	Verificar estado de batería y conexiones	Batería, cables, terminales	Multímetro, llave de ajuste	Mensual	Técnico eléctrico	1-2 horas	Verificar estado de carga de baterías
Monitoreo de temperatura y presión	Evaluación en tiempo real mediante sensores	Sensores de temperatura y presión	Software de monitoreo, computadora	Permanente	Técnico eléctrico		Generar reportes mensuales de condiciones anormales

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17

RCM – grupo electrógeno - GE05

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) - GE05							
Actividad	Trabajo a realizar	Materiales	Herramientas	Periodo	Personal	Tiempo Aproximado	Observaciones
Inspección de sistema de lubricación	Verificación de fugas de aceite empaquetadura de culata	Aceite de motor, empaques de culata	Llaves ajustables, destornillador	Trimestral	Técnico Mecánico	1-2 horas	Sustituir empaques si presentan desgaste
Evaluación del sistema de combustión	Revisión y calibración de bomba inyectora por emisión de humo azul	Combustible Diesel, filtro de combustible	Llave dinamométrica, manómetro	Semanal	Técnico Mecánico	1-2 horas	Ajuste de bomba según especificaciones del fabricante
Monitoreo de temperatura del motor	Inspección y limpieza del sistema de refrigeración	Agua destilada, refrigerante, sellador	Cepillo de cerdas suave, termómetro	Trimestral	Técnico Mecánico	1-2 horas	Sustituir refrigerante si presenta contaminación
Mantenimiento del sistema de filtrado	Reemplazo de filtros de aire y combustible por saturación	Filtros de aire y combustible	Llave de filtro, recipiente para desechos.	Cada 500 horas de operación	Técnico Mecánico	1-2 horas	Utilizar filtros originales recomendados
Diagnóstico del sistema de arranque	Evaluación del pick-up del generador y revisión de batería	Batería, cables, terminales.	Multímetro, llave de ajuste	Semestral	Técnico eléctrico	1-2 horas	Comprobar conexiones y terminales
Inspección del Sistema eléctrico	Medición de presión y limpieza interna por alta temperatura en carga máxima	Limpiador de turbo, lubricante	Manómetro, llave dinamométrica.	Anual	Técnico eléctrico	2-3 horas	Verificar holgura en aspas del turbo

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18

RCM – grupo electrógeno - GE06

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) - GE06							
Actividad	Trabajo a realizar	Materiales	Herramientas	Periodo	Personal	Tiempo Aproximado	Observaciones
Inspección del sistema de refrigeración	Limpieza de radiador y verificación de fugas	Agua destilada, detergente industrial	Cepillo de cerdas suaves, compresor de aire.	Mensual	Técnico Mecánico	1-2 horas	Evitar daños en las aletas del radiador.
Mantenimiento del termostato	Revisión y remplazo del termostato según condición	Termostato	Llave ajustable, termómetro	semestral	Técnico Mecánico	2-3 horas	Confirmar la calibración adecuada del termostato
Revisión del sistema de energía	Inspección y prueba del controlador	Controlador eléctrico	Multímetro, software de diagnostico	Trimestral	Técnico Eléctrico	2-3 horas	Asegurar correcto funcionamiento del sistema
Calibración del display del controlador	Ajuste y verificación de parámetros	Pantalla digital	Destornillador, software de calibración	Semanal	Técnico Eléctrico	1-2 horas	Garantizar correcta visualización de datos
Inspección del sistema de combustible	Revisión y cambio de mangueras de combustible	Mangueras de alta presión	Llave inglesa, medidor de presión	Trimestral	Técnico Mecánico	2-3 horas	Identificar fugas en conexiones
Mantenimiento del sistema de escape	Evaluación y sustitución del silenciador	Silenciador	Llave de ajuste, detector de sonido	Anual	Técnico Mecánico	3-4 horas	Verificar reducción de ruido tras el cambio.

Fuente: elaboración propia.

Estructura de la Orden de Trabajo y Administración de la Documentación.

La Orden de Trabajo en el Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos incluye los siguientes elementos estructurales:

- **Actividad:** Indica el tipo de mantenimiento a realizar, como inspecciones, limpieza o reemplazo de componentes.
- **Trabajo a realizar:** Descripción detallada de las tareas específicas que se ejecutarán en el equipo.
- **Materiales y herramientas:** Lista de insumos y herramientas necesarias para la ejecución de la actividad.
- **Periodo:** Frecuencia con la que se realiza la actividad (mensual, trimestral, semestral, anual o por horas de operación).
- **Personal:** Responsables de la ejecución del mantenimiento (técnico mecánico, técnico eléctrico, etc.).
- **Tiempo Aproximado:** Duración estimada de la actividad.
- **Observaciones:** Notas sobre el procedimiento, recomendaciones o advertencias.

Administración de la Documentación: La documentación del mantenimiento se administra mediante.

- Registros electrónicos y físicos de las órdenes de trabajo, los cuales permiten hacer seguimiento de las actividades realizadas.
- Software de monitoreo, que recopila información en tiempo real sobre variables como temperatura y presión.

- Informes mensuales, donde se documentan anomalías detectadas y las acciones correctivas realizadas.

Cálculo de los indicadores de disponibilidad.

- **Disponibilidad inherente (D_I):**

La disponibilidad inherente se calcula con la siguiente fórmula:

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

Cálculos para cada equipo

- **GE05:**

$$D_I = \frac{105.74}{105.74 + 4.85} = \frac{105.74}{110.59} = 0.9561 = 95.61\%$$

- **GE06:**

$$D_I = \frac{90.07}{90.07 + 8.85} = \frac{90.07}{98.92} = 0.9105 = 91.05\%$$

- **GE03:**

$$D_I = \frac{135.11}{135.11 + 5.60} = \frac{135.11}{140.71} = 0.9601 = 96.01\%$$

- **Disponibilidad Lograda (D_L):**

La disponibilidad lograda se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_L = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

Donde:

$MTBM$ = Tiempo medio entre mantenimientos

MDT = Tiempo medio de mantenimiento

Usamos los valores calculados anteriormente:

- **GE05:**

$$D_L = \frac{101.33}{101.33 + 4.65} = \frac{101.33}{105.98} = 0.9561 = 95.61\%$$

- **GE06:**

$$D_L = \frac{86.86}{86.86 + 8.53} = \frac{86.86}{95.39} = 0.9105 = 91.05\%$$

- **GE03:**

$$D_L = \frac{128.00}{128.00 + 5.31} = \frac{128.00}{133.31} = 0.9601 = 96.01\%$$

- **Disponibilidad Operativa (D_o):**

La disponibilidad operativa se calcula con la siguiente fórmula:

$$D_o = \frac{\textit{T tiempo total disponible}}{\textit{T tiempo total disponible} + \textit{T tiempo total de mantenimiento}}$$

- **GE05:**

$$D_o = \frac{2432}{2432 + 111.63} = \frac{2432}{2543.63} = 0.9561 = 95.61\%$$

- **GE06:**

$$D_o = \frac{2432}{2432 + 238.92} = \frac{2432}{2670.92} = 0.9105 = 91.05\%$$

- **GE03:**

$$D_o = \frac{2432}{2432 + 100.83} = \frac{2432}{2532.83} = 0.9601 = 96.02\%$$

Tabla 19

Resumen de cálculo de indicadores

Equipo	Disponibilidad Inherente (D_I)	Disponibilidad Lograda (D_L)	Disponibilidad Operativa (D_O)
GE05	95.61%	95.61%	95.61%
GE06	91.05%	91.05%	91.05%
GE03	96.02%	96.02%	96.02%

Fuente: Elaboración propia

5.4 Determinar los montos totales de costos ahorrados luego de optimizar el plan de mantenimiento preventivo usando el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Para estimar el ahorro total generado por la optimización del plan de mantenimiento preventivo, se realizó una comparación entre el costo del mantenimiento correctivo antes de la implementación del RCM y el costo optimizado con la nueva estrategia.

A. Costos antes de la optimización.

Tabla 20

Costos antes de la optimización

Concepto	GE03	GE05	GE06	Total (S/.)
Costo mantenimiento correctivo (S/.)	967	1050	1200	3217
Costo de repuesto y materiales (S/.)	575	600	680	1855
Costo por mano de obra (S/.)	342	370	400	1112
Costo de consumibles (S/.)	50	55	60	165
Costo de lucro cesante (perdida por inactividad)	1000	1200	1500	3700
Costo total de mantenimiento correctivo (S/.)	2934	3275	3840	10049

Fuente: Elaboración propia

Estructura de costos para el mantenimiento correctivo

La estructura de costos del mantenimiento correctivo en los grupos electrógenos durante los años 2023 y 2024 incluye los siguientes rubros:

- **Costo de mantenimiento correctivo:** Gastos asociados a reparaciones y fallas imprevistas.
- **Costo de repuestos y materiales:** Insumos necesarios para las reparaciones.
- **Costo de mano de obra:** Pago a técnicos especializados por la ejecución del mantenimiento.
- **Costo de consumibles:** Materiales adicionales como lubricantes, refrigerantes y filtros.
- **Costo de lucro cesante:** Pérdidas económicas ocasionadas por la inactividad de los equipos debido a fallas.

Personal encargado de la ejecución: Las tareas de mantenimiento correctivo y preventivo son ejecutadas por:

- **Técnicos mecánicos:** Encargados de motores, sistemas de lubricación, refrigeración y escape.
- **Técnicos eléctricos:** Responsables de sistemas de control, calibraciones y sensores.

B. Costos tras la implementación del mantenimiento optimizado (RCM)- 40%.

Con la aplicación del RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), la reducción del 40% en mantenimiento correctivo permitió: Disminuir la cantidad de horas de reparación, Reduzca los costos de repuestos y mano de obra, Mejorar la disponibilidad de los equipos.

Tabla 21

Costos tras la implementación

Concepto	GE03 (S/.)	GE05 (S/.)	GE06 (S/.)	Total (S/.)
Costo de mantenimiento correctivo	580	630	720	1.930
Costo de repuestos y materiales	345	360	408	1.113
Costo por mano de obra	205	222	240	667
Costo de consumibles	30	33	36	99
Costo de lucro cesante (pérdida por inactividad)	600	720	900	2.220
Costo total tras la optimización	1.760	1.965	2.304	6.029

Fuente: Elaboración propia

Costos tras la implementación del mantenimiento optimizado (RCM)- Disponibilidad.

Tabla 22

Costos con la disponibilidad.

Concepto	GE03 (S/.)	Disponibilidad GE03 (%)	GE05 (S/.)	Disponibilidad GE05 (%)	GE06 (S/.)	Disponibilidad GE06 (%)	Total (S/.)
Costo de mantenimiento correctivo	580	95,85%	630	95,41%	720	90,18%	1.930
Costo de repuestos y materiales	345	95,85%	360	95,41%	408	90,18%	1.113
Costo por mano de obra	205	95,85%	222	95,41%	240	90,18%	667
Costo de consumibles	30	95,85%	33	95,41%	36	90,18%	99
Costo de lucro cesante ajustado	24,90	95,85%	33,06	95,41%	88,38	90,18%	146,34
Costo total tras la optimización	1.764,90	95,85%	1.965,06	95,41%	2.304,38	90,18%	

Fuente: Elaboración propia

C. Ahorro total generado

Tabla 23

Ahorro monetario

Descripción	Monto (S/.)
Costo de mantenimiento correctivo antes de la optimización	10049
Costo de mantenimiento correctivo tras la optimización	6029
Ahorro Total	4020

Fuente: Elaboración propia

Este análisis demuestra que la implementación del RCM reduce significativamente los costos de mantenimiento, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los grupos electrógenos. Además, la reducción de fallas y la optimización de los tiempos de reparación resultarán en una mayor disponibilidad de los equipos para las operaciones mineras.

El tiempo de referencia: utilizado para medir los costos y evaluar el impacto del mantenimiento optimizado se basa en un ciclo anual de operación (2023 - 2024).

Se mide en función de los siguientes indicadores:

- MTTR (Tiempo Medio de Reparación): Tiempo promedio para reparar una falla.
- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas): Tiempo promedio entre fallas del equipo.
- Disponibilidad operativa: Expresada en porcentaje, refleja el tiempo efectivo en que los equipos están operativos.
- Tiempo de producción: Basado en la cantidad de días laborables en el año, considerando la operación en turnos de 8 horas diarias.

El análisis cubre un período de 12 meses (agosto 2023 - julio 2024) , tomando en cuenta la frecuencia de fallas y los costos de mantenimiento antes y después de la optimización.

Fórmula General del OEE

El cálculo del OEE se realiza mediante la siguiente fórmula general:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

$$OEE = 93.81\% \times 85\% \times 85\%$$

$$OEE = 87.94\%$$

Disponibilidad (D)

La Disponibilidad mide el tiempo en que el equipo está operativo en comparación con el tiempo planificado de producción. Se calcula como:

$$D = \frac{\textit{Tiempo de Operacion}}{\textit{Tiempo planificado}}$$

$$D = 93.81\%$$

Rendimiento (R)

El Rendimiento mide la eficiencia con la que un equipo produce en comparación con su capacidad teórica. Se calcula con la fórmula:

$$R = \frac{\textit{Produccion Real}}{\textit{Produccion Teórica}}$$

$$R = \frac{8500 \textit{ kWh}}{10000 \textit{ kWh}} = 0.85 = 85\%$$

Calidad (C)

El factor de Calidad evalúa la cantidad de productos buenos en relación con la producción total. Se expresa como:

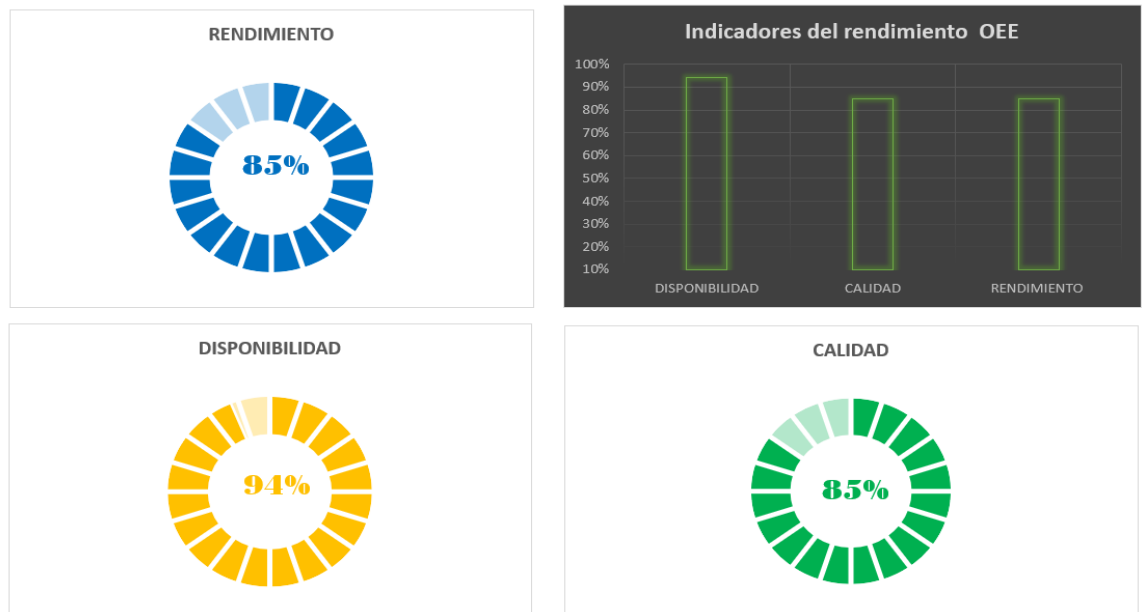
$$C = \frac{\text{Piezas Buenas}}{\text{Piezas Totales}}$$

$$C = \frac{8500 \text{ kWh}}{10000 \text{ kWh}} \times 100\% = 85\%$$

Interpretación del OEE

Figura 5

Interpretación del OEE



Fuente: Elaboración propia

El valor del OEE proporciona una visión clara del desempeño de un equipo o línea de producción. Un OEE del 85% al 100% indica una operación altamente eficiente con pérdidas mínimas, en este caso nuestro valor de cálculo del indicador OEE es de **87.94%**, quiere decir, que está en el índice de operación altamente eficiente.

CAPÍTULO VI. Análisis y discusión de resultados

El análisis inicial de los grupos electrógenos evidenció un panorama crítico en cuanto a la disponibilidad y funcionalidad de los equipos utilizados en el proyecto minero. De los 12 grupos electrógenos analizados, cuatro fueron devueltos y tres retirados por bajo rendimiento o daños críticos, dejando solo tres operativos. Estos resultados subrayan una deficiencia en las estrategias de mantenimiento, como lo demuestra el alto número de mantenimientos correctivos no proyectados realizados durante el período 2023-2024.

En comparación con los antecedentes, investigaciones previas como las de Condori (2023) también reportaron que el 70% de las fallas en grupos electrógenos se atribuyeron a la falta de mantenimiento preventivo adecuado, lo cual coincide con la situación actual descrita en este estudio. El análisis muestra que el equipo GE06 presenta un desempeño menos eficiente en términos de disponibilidad, alcanzando solo un 90.18%. En contraste, el equipo GE03 demuestra un mejor desempeño, con la mayor disponibilidad del grupo (95.85%).

Asimismo, los resultados actuales encuentran paralelismos con los hallazgos de Mendoza (2021), quien destacó que una adecuada integración de programas de mantenimiento preventivo puede disminuir las emergencias correctivas y aumentar la eficiencia operativa. Mendoza también observó que la redistribución de recursos humanos previamente asignados a emergencias permitió un enfoque más preventivo, lo cual podría ser relevante para la situación actual.

El Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) aplicado a los grupos electrógenos permitió identificar modos de falla recurrentes y clasificarlos según su índice de prioridad de riesgo (NPR). Los hallazgos principales incluyeron problemas

de sobrecalentamiento, fugas de refrigerante y aceite, así como fallas en el controlador de energía y el termostato.

Por ejemplo, en el equipo GE06, se identificó que las fugas de refrigerante en el radiador presentaron un NPR de 243, lo que representa un riesgo medio de falla con alto impacto en la disponibilidad del equipo. Este resultado encuentra correspondencia con los antecedentes de Chávez (2019), quien identificó 25 fallas críticas en motores y generadores eléctricos, de las cuales un alto porcentaje estaba relacionado con problemas en los sistemas de enfriamiento. La implementación de soluciones basadas en el AMEF le permitió a Chávez mejorar la disponibilidad de los equipos en un 9%.

En el caso del equipo GE05, el AMEF reveló que las fallas relacionadas con el sobrecalentamiento bajo carga máxima generaron un NPR de 360, lo que lo clasifica como una de las fallas más críticas. Este hallazgo es similar a los resultados de Castillo y Villar (2022), quienes lograron reducir significativamente los costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad de los equipos mediante estrategias enfocadas en fallas prioritarias identificadas con la metodología AMEF.

Las estrategias de solución propuestas, como el mantenimiento preventivo enfocado en componentes críticos y el uso de diagnósticos avanzados, están alineadas con las soluciones planteadas en estudios previos. Por ejemplo, Castillo y Villar observaron ahorros significativos y mejoras en la confiabilidad al implementar un enfoque similar, destacando la efectividad del AMEF en la optimización de recursos y la reducción de fallas críticas.

El mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) permitió disminuir en un 40% la frecuencia de los mantenimientos correctivos en los grupos electrógenos analizados. Antes de la implementación del RCM, el costo total de mantenimiento correctivo ascendía a \$6,349, mientras que, tras la optimización, se redujo a \$3,809, lo que representa un ahorro de \$2,540. Estos resultados concuerdan con los estudios

de Mendoza (2021), quien demostró que la integración de programas de mantenimiento preventivo reduce las emergencias correctivas y mejora la eficiencia operativa. Mendoza también resaltó que la redistribución de recursos humanos de tareas correctivas a preventivas genera beneficios económicos y operativos. Adicionalmente, los hallazgos refuerzan lo indicado por Andrade y Herrera (2021), quienes señalaron que el RCM permite disminuir riesgos y mejorar la productividad mediante el uso de nuevas tecnologías en el mantenimiento.

La implementación del plan RCM representó una inversión inicial, pero los beneficios a largo plazo se evidencian en la reducción de costos operativos y el aumento en la disponibilidad de los equipos. La disponibilidad del GE05 aumentó a 95.41%, la del GE06 a 90.18% y la del GE03 a 95.85%. El estudio de Ordoñez (2023) sobre la implementación de RCM en flotas de transporte encontró beneficios similares, destacando que la inversión inicial en mantenimiento confiable resulta en ahorros sostenidos debido a la disminución de paradas no planificadas y fallas críticas. Asimismo, la clasificación de criticidad aplicada en este estudio es consistente con la de Parra y Crespo (2019), quienes establecieron que la jerarquización de activos permite optimizar recursos y enfocar esfuerzos en equipos con mayor impacto en la operación.

Conclusiones

Se encontró que la disponibilidad y confiabilidad de los equipos eran deficientes, con solo tres de doce grupos electrógenos operativos. Esto generaba un alto riesgo de interrupción en el suministro de energía. Las fallas recurrentes estaban relacionadas con sobrecalentamiento, pérdidas de lubricación y problemas en el sistema de combustible. Además, se evidencia una alta frecuencia de mantenimientos correctivos imprevistos. La empresa dependía de equipos en modo stand-by, aumentando la vulnerabilidad operativa. Esto resaltó la necesidad de optimizar el mantenimiento.

Se identificaron y clasificaron los principales modos de falla de los grupos electrógenos GE03, GE05 y GE06. Los problemas más críticos fueron el sobrecalentamiento, fallas en el sistema de refrigeración y pérdidas de lubricación. Se evaluó el impacto de cada falla, determinando que varias requerían acciones inmediatas. Se diseñaron estrategias de mitigación como inspecciones periódicas, ajustes en los sistemas y reemplazo de componentes clave. Estas medidas permitieron reducir los riesgos y mejorar la confiabilidad de los equipos.

La metodología RCM optimizó el mantenimiento al priorizar fallas y establecer tareas preventivas para reducir averías y mejorar la disponibilidad del equipo. La planificación mejorada minimizó paradas no programadas, mientras que las inspecciones regulares y herramientas de diagnóstico facilitaron la detección temprana de problemas.

Se logró una disminución significativa en los costos de mantenimiento correctivo mediante la implementación del plan optimizado. La reducción en la frecuencia de fallas y el tiempo de reparación permitió disminuir el gasto en repuestos y mano de obra. También se observará un incremento en la disponibilidad operativa

de los grupos electrógenos. Esto generó un impacto positivo en la eficiencia energética y en la continuidad de las operaciones mineras. La optimización del mantenimiento representó un beneficio económico a largo plazo.

La optimización del mantenimiento mediante RCM mejoró la confiabilidad y disponibilidad de los grupos electrógenos. Se redujeron fallas, costos operativos y tiempos de inactividad, aumentando la eficiencia. Un enfoque preventivo optimiza los recursos y prolonga la vida útil de los equipos, impactando positivamente en la operación y sostenibilidad.

Recomendaciones

Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo estructurado que incluya inspecciones periódicas, monitoreo continuo de los indicadores de operación y capacitación del personal en técnicas avanzadas de diagnóstico para prevenir fallas recurrentes y extender la vida útil de los equipos.

Es importante aplicar de manera consistente el AMEF como herramienta de diagnóstico en todos los equipos, priorizando intervenciones en componentes de alta criticidad como radiadores y termostatos, además de garantizar un inventario adecuado de repuestos críticos para reducir tiempos de reparación y mejorar la disponibilidad operativa.

Es importante establecer un programa detallado de inspecciones, revisiones predictivas y correctivas. Capacitar al personal y emplear herramientas de diagnóstico avanzadas garantizará la efectividad del plan. Se recomienda implementar un sistema computarizado para el seguimiento y control del mantenimiento. Evaluar periódicamente los indicadores clave permitirá realizar mejoras continuas. Finalmente, se debe fomentar una cultura organizacional enfocada en la confiabilidad operativa.

Se recomienda realizar análisis de costos semestrales para medir el impacto financiero del mantenimiento optimizado. Un sistema de control de costos permitirá registrar gastos en repuestos, mano de obra y tiempos de inactividad. Negociar con proveedores reducirá costos en repuestos y servicios de mantenimiento. Parte del ahorro generado debe destinarse a la modernización de herramientas y capacitación. Finalmente, evaluar el impacto financiero del RCM justificará futuras inversiones en mantenimiento.

Además, se recomienda a la empresa debe adoptar una estrategia de mejora continua en mantenimiento, adaptándose a cambios operativos y tecnológicos. La capacitación constante del personal en nuevas metodologías optimizará la eficiencia

operativa. Fomentar una cultura organizacional enfocada en confiabilidad garantizará la colaboración de todas las áreas. Se recomienda establecer alianzas estratégicas con instituciones especializadas en mantenimiento. Finalmente, un seguimiento constante de indicadores asegurará mejoras sostenibles en disponibilidad y costos.

Referencias

- Airaldi, J. (2021). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de disponibilidad en flota de grupos electrógenos del área de mantenimiento eléctrico mina en la Unidad Minera Las Bambas*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio CONTINENTAL. <http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8751>
- Alvarado, E., y Sabando, L. (2021). Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 4(8), 46-77. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0023>
- Arcentales, C. (2020). *Valuación de un proyecto a través del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACHALA. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15461>
- Arias, J. y Covinos, M. (2021). *Diseño y Metodología de la Investigación*. CONCYTEC. <https://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>
- Arias, J. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica [en línea]*. S.I.: Enfoques Consulting EIRL. <https://hdl.handle.net/20.500.12390/2238>.
- Arteaga, E. y Gorozabel, F., (2021). Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad a maquinarias críticas de la plaza calderón. *Universidad & Ciencia*, 10(1), 202-2016. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8099718>
- AutoSolar. (2021). *Qué es un grupo electrógeno*. Autosolar Energía del Perú. https://autosolar.pe/aspectos-tecnicos/que-es-un-grupo-electrogeno?srsId=AfmBOopy-437qxpt11MuKBjD-qERSMXByb_br8ihoAf_Nqgb40FxJyIC
- Baldeon, O. y Casani, M. (2021). *Implementación de mantenimiento autónomo para mejorar la disponibilidad en la línea Shake Out de Aceros Chilca, Lima, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/85389>

- Bao, Y., Guo, C., Zhang, J., Wu, J., Pang, S. y Zhang, Z. (2018). Impact analysis of human factors on power system operation reliability. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(1), 27-39. <http://dx.doi.org/10.1007/s40565-016-0231-6>
- Benitez, P., Espinoza, A., y Díaz, A. (2023). Evaluación del riesgo de falla en infraestructuras existentes aplicando la metodología AMEF. *Ingenium Científica*, 1, 15-24. <https://revistas.uni.edu.py/index.php/ingeniumcientifica/article/view/422>
- Bermeo, L., Vargas, J. y Erazo, N., (2022). Aplicación del algoritmo de K-NN en la asignación de órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo para equipos biomédicos. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 39-47. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.05>
- Betancourt, D. (27 de julio de 2020). *Cómo hacer un Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF*. Ingeniero Empresa. https://www.ingenioempresa.com/analisis-modo-efecto-fallas-amef/#Como_hacer_un_AMEF
- Cahuaya, A. (2023). *Plan de mantenimiento preventivo basado en el AMEF para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento en volquetes - CNSAC Andaychagua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9735>
- Campos, T., Sánchez, L., Rodríguez, M., Castillo, D. Gutiérrez, E. y Valdéz, M. (2023). Aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Falla en Producción y su Impacto en Costos de No Calidad en una Empresa Refresquera. *Conciencia Tecnológica*, (66), 58-69. <https://www.redalyc.org/journal/944/94477589006/html/>
- Campos, O. Tolentino, G. Toledo, M. y Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
- Castillo, W. y Villar, G. (2022). *Propuesta para el Diseño de un plan de Mantenimiento basado en la Metodología RCM caso de estudio: Motor Diésel del grupo eléctrico GE-143 campo de Producción Rubiales, Puerto Gaitán, Meta* [Tesis de pregrado, Universidad ECCI]. Repositorio ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3278>

- Chávez, D. (2019). *Mejora en la implementación del RCM de los grupos electrógenos y motores trifásicos de inducción del lote V de la Empresa Graña y Montero S.A.A, para aumentar la disponibilidad operacional* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34562>
- Condori, A. (2023). *Optimización de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de una flota de grupos electrógenos de baja y media tensión, Ate Vitarte*. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio UNTELS. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/1230>
- Contreras, G. (19 de enero de 2023). *AMEF: evaluación de riesgos y calidad en una sola herramienta*. Blog QHSE. <https://www.blog-qhse.com/es/amef-evaluacion-de-riesgos-y-calidad-en-una-sola-herramienta>
- Cossios, S., y Arévalo, J. (2018). Gestión del mantenimiento para incrementar la confiabilidad en los equipos de la casa de fuerza de un hospital. *INGnosis*, 4(2), 159-169. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v4i2.2072>
- Díaz, A., Montalvo, R., Castillo, A., Cabrera, J., Villar L. y Rodríguez, A. (2021). Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 29(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000100087>
- Enjavimadar, M. y Rastegar, M., (2022). Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 203, 107-647. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107647>
- Farias, A. (2021). *Mejora en la gestión de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de los equipos Scaler mediante la metodología AMEF en la unidad minera de Andaychagua*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6148>
- Fernández, J. (25 de agosto de 2023). *Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula?* Sage. <https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>
- Flores, H. y Tocre, C. (2023). *Implementación de las metodologías de RCM y Lean Maintenance para incrementar la disponibilidad de los molinos, en la producción de*

tara en polvo. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC. <http://hdl.handle.net/10757/672289>

Flores, M., Torres, J., Rodríguez, J., y Alcaraz, A. (2010). Confiabilidad Operativa de Sistemas para Compresión de Gas y Generación Eléctrica en Complejos Petroleros. *Información Tecnológica*, 21(3), 13-25. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v21n3/art03.pdf>

Flores, Y. (2020). *Propuesta de un proyecto de inversión y aplicación del presupuesto de capital con herramientas financieras*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACHALA. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15333>

Fuentes, D., Toscano, A., Malvaceda, E., Díaz, J. y Díaz, L., (2020). *Metodología de la investigación: Conceptos, herramientas y ejercicios prácticos en las ciencias administrativas y contables*. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. <https://acortar.link/sNtRDt>

González, C. (10 de diciembre de 2021). *¿Qué es el RCM? Ventajas y limitaciones*. Aeromarine. <https://software.aeromarine.es/rcm-que-es-ventajas-y-limitaciones/>

Kulcsár, E. y Csiszér, T. y Abonyi, J., (2020). Pairwise comparison-based failure mode and effects analysis (FMEA). *MethodsX*, 7, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101007>

Lambán, M., Morella, P., Royo, J. y Sánchez, J., (2022). Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. *Computers & Industrial Engineering*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>.

López, A. (2021). *Implementación del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los motores de los grupos electrógenos en la empresa Santa Elena* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5029>

Lugo, J., y Prada, W. (2023). *Caracterización a modo de dossier del mantenimiento (overhaul) para un equipo del grupo electrógeno*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio UDISTRITAL. <http://hdl.handle.net/11349/36073>

- Marzouk, M. y Hanafy, M., (2022). Modelling maintainability of healthcare facilities services systems using BIM and business intelligence. *Journal of Building Engineering*, 46, 103820. ISSN 23527102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103820>
- Mendoza, J. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para una planta eléctrica de emergencia de 625 KVA, 480 VAC, Stand by*. [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0775_MT.pdf
- Moscoso, Y. (2022). *E-business – Outsourcing en la disponibilidad de los equipos de climatización del data center en la sede central del Banco Interamericano de Finanzas. San Isidro - Lima – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio UNAC. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7805>
- Mosquera, P. (2022). *Plan de mantenimiento mediante el análisis AMEF para incrementar la disponibilidad mecánica del scoop R1600H en la unidad minera Andaychagua*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8374>
- Moubray, J. (2021). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Soporte y Campaña. <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>
- Ordoñez, R. (2023). Implementación de metodología RCM para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones CL120 Freightliner de la empresa J&J Transportes y Soluciones Integrales SAC en el periodo 2022. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/37119>
- Parra, C., Crespo, A. (2019). Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. *Industrial Management. University of Seville School of Engineering*, 19(1). <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21197.87524>
- Pursell, S. (19 de marzo de 2024). *Cómo hacer un AMEF, tipos, definición y pasos a seguir*. Blog Hubspot. <https://blog.hubspot.es/marketing/amef>
- Ramírez, P. (2023). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos*. *Economía 3*. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

- Sánchez, H., Reyes, C. Y Mejía, K., (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística (Primera edición) [en línea]. S.I.: Universidad Ricardo Palma. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>.
- Sánchez, F. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*. 13(1), 102-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Santa, E. (2020). *Estudio para la conexión de un grupo electrógeno en una empresa de minería de carbón que garantice la mínima afectación a la producción ante cortes de energía*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio UDISTRITAL. <http://hdl.handle.net/11349/25659>
- Santos, I. (2023). *Estudio de prefactibilidad para la implementación de un grupo electrógeno a gas natural en consumidores industriales de gran demanda para la reducción de sus costos por consumo de energía eléctrica*. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio UMSA. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/34919>
- Solórzano, E., (2022). Estrategias de gestión del mantenimiento de volquetes. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 5(9), 25-33. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i9.005>
- Suica, J., y Guamán, J. (2023). *Diseño de un plan de mantenimiento para la reparación de un grupo electrógeno marino*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58341>
- Tractian. (2023). *Implementando Proyectos 4.0 en Mantenimiento: De la Teoría a la Práctica*. Tractian Tecnología Industrial. <https://tractian-webpage.s3.amazonaws.com/ebooks/es/implementando-proyectos-4-0-en-mantenimiento.pdf>
- Vásquez, B. (2021). *Influencia de la metodología FMEA en la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo R9130-2 de la Empresa Cosmos S. A.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29876>

Anexos.

	Pág.
Anexo 1	Matriz de consistencia..... 1
Anexo 2	Matriz de operacionalización de variables 2
Anexo 3	Modo de falla para diversos tipos de equipos..... 3
Anexo 4	Instrumento para el análisis del modo y efecto de fallas (AMEF) 11
Anexo 5	Datos de equipos. 12
Anexo 6	Costo de los trabajos realizados a los grupos electrógenos. 12
Anexo 7	Reporte de backlog de los equipos. 13
Anexo 8	Formatos de mantenimiento..... 16
Anexo 9	Distribución mensual de costos..... 21

Anexo 1

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<u>Problema general</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipótesis general</u>	<u>Variable independiente:</u>	<u>Tipo de investigación:</u> Aplicado <u>Nivel de investigación:</u> Cuantitativo <u>Método:</u> Explicativo <u>Diseño:</u> Pre experimental
¿De qué manera el plan de mantenimiento RCM mejora la confiabilidad de los grupos electrógenos 150 kW de una empresa de rubro minero?	Proponer un plan de mantenimiento RCM, para mejorar la confiabilidad de grupos electrógenos 150 kW de una empresa de rubro minero.	La propuesta de un plan de mantenimiento RCM va a mejorar la confiabilidad de grupos electrógenos 150 kW de una empresa de rubro minero.	Plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	
<u>Problemas específicos:</u>	<u>Objetivos específicos:</u>	<u>Hipótesis específicas:</u>	<u>Variable dependiente:</u>	<u>Población y muestra:</u>
a) ¿Cuál es la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa?	a) Identificar la situación actual de los grupos electrógenos de la empresa.	a) Existen bajas significativas en el rendimiento actual de los grupos electrógenos y los estándares óptimos de funcionamiento.	Confiabilidad de grupos electrógenos	La población está constituida por cada uno de los GE de 150 W
b) ¿Cómo eliminar las fallas críticas detectadas empleando la herramienta Análisis de Modo y Efecto de Falla?	b) Determinar las estrategias de solución para eliminar las fallas críticas detectadas empleando la herramienta Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).	b) La aplicación de estrategias derivadas del AMEF reduce la frecuencia y la gravedad de las fallas críticas en los grupos electrógenos.		La muestra se considera por todos los GE críticos de 150 W
c) ¿Cómo realizar un plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa?	c) Proponer un plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos de la empresa.	c) El enfoque RCM mejora la disponibilidad operativa y reduce los costos totales de mantenimiento de los grupos electrógenos.		<u>Técnicas de recolección de datos:</u> La observación y el análisis documental
d) ¿Cuál es el presupuesto para ejecutar el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)?	d) Realizar el presupuesto que abarque todos los costos necesarios para ejecutar el plan de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).	d) La inversión inicial en un plan de RCM resulta en ahorros a largo plazo debido a la reducción de paradas no planificadas y costos de reparación.		<u>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</u> La ficha de observación y la ficha de análisis documental

Anexo 2

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Variable I.: Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	El RCM es aquel modelo que trata de imponer innovadores avances de la tecnología en el mantenimiento que ayudan en la mejora de la productividad y a su vez, en la disminución de riesgos al entorno a manera de seguridad (Andrade y Herrera, 2021).	El RCM es un procedimiento a fin de estipular el uso de mantenimiento en un tiempo determinado	Mantenimiento Análisis de criticidad	Tiempo de mantenimiento Activos críticos e importantes AMEF MTBF Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF)	RAZÓN
Variable D.: Confiabilidad	Es la capacidad de un grupo electrógeno para seguir funcionando según lo previsto, sin problemas ni retrasos. Es la probabilidad de que, dentro de un período de tiempo determinado, todas las máquinas, sistemas y productos involucrados en la cadena de producción ejecuten una operación correctamente (Díaz et al., 2021).	La confiabilidad óptima de los equipos y la disminución de costes se consiguen reduciendo la frecuencia de sustitución de los activos.	Indicadores de mantenimiento	Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR) Disponibilidad Utilización Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).	RAZÓN

Anexo 3

Modo de falla para diversos tipos de equipos

Tabla B.6 — Equipos Rotatorios — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo							
			CE	CO	EG	EM	GT	PU	ST	TE
			Motores de combustión	Compresores	Generadores eléctricos	Motores eléctricos	Turbinas de gas	Bombas	Turbinas de vapor	Turboexpansores
AIR	Lectura anormal en instrumento	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento	X	X	X	X	X	X	X	X
BRD	Parada	Daños graves (agarrotamiento, rotura)	X	X	X	X	X	X	X	X
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad	X	X		X	X	X	X	X
ELF	Fuga externa - combustible	Fuga externa de suministro de combustible/gas	X				X		X	
ELP	Fuga externa - medio del proceso	Aceite, gas, condensado, agua		X			X	X	X	X
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Lubricante, aceite de enfriamiento	X	X	X	X	X	X	X	X
FTS	Falla en el arranque bajo	No arranca bajo demanda	X	X	X	X	X	X	X	X
HIO	Alta producción	Exceso de velocidad/ producción sobre nivel aceptado	X	X		X	X	X	X	X
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro	X	X			X	X	X	X
LOO	Baja producción	Rendimiento/producción por debajo de nivel aceptado	X	X	X	X	X	X	X	X
NOI	Ruido	Ruido anormal	X	X	X	X	X	X	X	X
OHE	Sobrecalentamiento	Piezas del equipo, escape, agua de enfriamiento	X	X	X	X	X	X	X	X
PDE	Desviación de parámetros	Parámetro monitoreado excede los límites, p.ej. alarma alto/bajo	X	X	X	X	X	X	X	X
PLU	Taponamiento/ atascamiento	Restricción de flujo	X	X			X	X	X	X
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, decoloración, suciedad	X	X	X	X	X	X	X	X
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión)	X	X	X	X	X	X	X	X
STP	Falla en detención bajo demanda	No se detiene bajo demanda	X	X	X	X				
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertos anteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X	X	X	X	X
UST	Parada espuria	Parada inesperada	X	X	X	X	X	X	X	X
VIB	Vibración	Vibración anormal	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla B.7 — Equipos mecánicos — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Código de clase de equipo									
		Ejemplos	CR Grúas	HE Intercambiadores de calor	HB Calefactores y calderas	PI Tuberías	VE Tanques de presión	WI Tornos	TU Torretas	SW Uniones giratorias	TA Tanques de almacenamiento
AIR	Lectura anormal en instrumento	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BRD	Parada	Parada	X			X		X			
ELP	Fuga externa - medio del proceso	Aceite, gas, condensado, agua		X	X	X	X			X	X
ELU	Fuga externa – medio de suministro	Lubricante, aceite de enfriamiento, aceite de barrera	X	X	X	X	X	X		X	X
FCO	Falla de conexión	Falla de conexión							X	X	
IHT	Transferencia de calor insuficiente	Falta o insuficiencia de transferencia de calor			X						
		Sistema de calefacción/enfriamiento por debajo del nivel aceptado		X			X				X
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro	X	X	X	X				X	X
FLP	Falla en sistema de protección contra rayos	Falla de puesta a tierra, espesor insuficiente de techo, etc.									X
FRO	Falla de rotación	Falla de rotación	X					X	X	X	
FTD	Falla en desconexión	Falla en desconexión de conector superior							X		
FTI	Falla de funcionamiento	Falla operacional general	X						X	X	
FTS	Falla en el arranque bajo demanda	Falla en el arranque bajo demanda	X					X			
LBP	Baja presión de suministro de aceite	Baja presión de suministro de aceite								X	
LOA	Reducción de carga	Reducción de carga	X					X			
LOB	Pérdida de flotación	Pérdida de flotación en posición de espera							X		X
LOO	Baja producción	Rendimiento por debajo de especificaciones						X			
MOF	Falla de anclaje	Falla de anclaje							X		
NOI	Ruido	Ruido excesivo	X			X		X	X		
OHE	Sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento	X		X	X		X			
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertos anteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PDE	Desviación de parámetros	Parámetro monitoreado excede los límites, p.ej. alarma alto/bajo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PLU	Taponamiento/atascamiento	Restricción de flujo debido a contaminación, objetos, cera, etc.		X	X	X	X			X	X
PTF	Falla de transmisión de potencia/señal	Falla de transmisión de potencia/señal				X				X	

Tabla B.7 (continua)

Código de modo de falla	Descripción	Código de clase de equipo									
		Ejemplos	CR Grúas	HE Intercambiadores de calor	HB Calefactores y calderas	PI Tuberías	VE Tanques de presión	WI Tornos	TU Torretas	SW Uniones giratorias	TA Tanques de almacenamiento
SBU	Acumulación de lodo	Acumulación de lodo					X				X
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, descoloración, suciedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SLP	Deslizamiento	Deslizamiento de cable	X					X			
SPO	Operación espuria	Operación inesperada	X					X			
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STP	Falla en detención bajo	Falla en detención bajo demanda						X			
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X	X	X	X	X	X
VIB	Vibración	Vibración excesiva	X			X		X			

Tabla B.8 — Equipos Eléctricos — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de			
			UP Suministro de potencia ininter-rumpible	PT Transformadores de potencia	FC Convertidores de frecuencia	SG Conmutadores
AIR	Lectura anormal en instrumento	Error en nivel de aceite, falsa alarma, indicación errónea en instrumento		X	X	
BRD	Parada	Daños graves			X	
DOP	Operación retrasada	Retraso en respuesta a comandos			X	
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Fuga de aceite, lubricante, agua de enfriamiento		X	X	X
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad	X		X	
FOF	Error en frecuencia de salida	Frecuencia equivocada/oscilante	X			
FOV	Error en voltaje de salida	Voltaje de salida equivocado/oscilante	X	X		
FTC	Falla en cierre bajo demanda	El disyuntor de circuito/fusible de conmutación/desconector/bus tie no cierra bajo demanda				X
FTF	Falla en funcionamiento bajo demanda	No arranca bajo demanda, o no responde tras la activación/señal, o no responde a comandos de entrada	X	X	X	
		Función auxiliar, subsistema o dispositivo de monitoreo o control no opera				X
FTI	Falla de funcionamiento previsto	Respuesta inesperada			X	
		Dispositivo de protección / disyuntor de circuito/ interruptor no resuelve una falla en el circuito				X
FTO	Falla en abrir bajo demanda	Disyuntor de circuito/fusible conmutador/desconector/bus tie no abre bajo demanda				X
FTR	Falla de regulación	No controla la carga, mala respuesta a retroalimentación			X	
HIO	Alta producción	Exceso de velocidad/ producción sobre nivel aceptado			X	
INL	Fuga interna	Oil leakage, Leakage internally process or utility fluids		X	X	
LOO	Baja producción	Rendimiento/producción menor del nivel aceptado			X	
NOI	Ruido	Ruido anormal				X
OHE	Sobrecalentamiento	Piezas de la máquina, escape, agua de enfriamiento	X	X	X	
OHE	Sobrecalentamiento	Temperatura interna demasiado alta				X
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertas anteriormente	X	X	X	X
PDE	Desviación de parámetros	Parámetro monitoreado excede los límites, p.ej. alarma alto/bajo	X	X	X	
PLU	Taponamiento/atascamiento	Tuberías obstruidas		X		

Tabla B.8 (continua)

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de			
			UP Suministro de potencia ininter-rumpible	PT Transformadores de potencia	FC Convertidores de frecuencia	SG Conmutadores
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, descoloración, suciedad	X	X	X	
SPO	Operación espuria	Desconexión intermitente u operación no intencionada.				X
		Operación inesperada	X		X	
STD	Deficiencia estructural	Ruptura de tanque		X		
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X
UST	Parada espuria	Parada inesperada			X	
		Desconexión no intencionada de un circuito				X
VIB	Vibración	Vibración anormal				X

Tabla B.9 — Equipos de seguridad y control — Modos de falla

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo							
			FGA Detección de incendio	FGB Detección de gas	IP Dispositivos de entrada	CL Unidades de lógica de control	VA Válvulas	NO Boquillas	LB Botes Salvavidas	
AIR	Lectura anormal en instrumento	Falsa alarma, indicación errónea en instrumento						X		X
BRD	Parada	Parada, daño grave (agarrotamiento, rotura) y/o fuga importante de fluido de proceso								X
DOP	Operación retrasada	Tiempo de abertura/cierre no cumple con especificaciones						X	X	X
ELP	Fuga externa - medio del proceso	Aceite, gas, condensado, agua			X			X		
ELU	Fuga externa - medio de suministro	Aceite hidráulico, aceite de lubricación, aceite de barrera, refrigerante, agua, etc.			X			X		X
ERO	Producción errática	Oscilación, variación, inestabilidad	X	X	X	X				
FTC	Falla en cierre bajo demanda	No cierra bajo demanda						X		
FTF	Falla en funcionamiento bajo demanda	No responde tras señal/activación	X	X	X	X				X
FTO	Falla en abrir bajo demanda	No abre bajo demanda, bloqueado en posición cerrada o no abre completamente						X	X	
FTS	Falla en el arranque bajo demanda	No arranca bajo demanda								X
HIO	Alta producción	Exceso de velocidad/ producción sobre nivel aceptado	X	X	X	X		X		
INL	Fuga interna	Fuga interna de fluidos de proceso o suministro						X		X
LCP	Fuga en posición cerrada	Fuga a través de la válvula en posición cerrada						X		
LOA	Reducción de carga	Descenso/lanzamiento no intencionado de bote salvavidas								X
LOO	Baja producción	Rendimiento/producción menor del nivel aceptado	X	X	X	X		X		X
NOI	Ruido	Ruido anormal o excesivo						X		X
NOO	Sin producción	Sin producción	X	X	X					
OHE	Sobrecalentamiento	Piezas de la máquina, escape, agua de enfriamiento, etc.								X
OTH	Otro	Modos de falla no cubiertas anteriormente	X	X	X			X	X	X
PLU	Taponamiento/ atascamiento	Restricción parcial o total del flujo						X	X	

Tabla B.9 (continua)

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo							
			FGA Detección de incendio	FGB Detección de gas	IP Dispositivos de entrada	CL Unidades de lógica de control	VA Válvulas	NO Boquillas	LB Botes Salvavidas	
POW	Potencia insuficiente	Falta de potencia o potencia demasiada baja								X
PTF	Falla de transmisión de potencia/señal	Falla de transmisión de potencia/señal								X
SER	Problemas menores en servicio	Ítems sueltos, descoloración, suciedad	X		X	X	X	X	X	X
SHH	Alarma espuria de alto nivel	ej. 60 % de Límite Inferior de Explosión (LEL)	X	X						
SLL	Alarma espuria de bajo nivel	ej. 20 % de Límite Inferior de Explosión (LEL)	X	X						
SLP	Deslizamiento	Deslizamiento de cable								X
SPO	Operación espuria	ej. falsa alarma	X	X	X	X				
		Abertura indeseada						X		X
		No opera bajo demanda, falsa alarma, cierre/detención premadura, operación inesperada / no opera según demanda					X			X
STD	Deficiencia estructural	Daños materiales (grietas, desgaste, fracturas, corrosión), reduced					X	X	X	X
STP	Falla en detención bajo	No se detiene bajo demanda								X
UNK	Desconocido	Información insuficiente para definir modo de falla	X	X	X	X	X	X		X
UST	Parada espuria	Parada inesperada								X

Tabla B.9 (continua)

Código de modo de falla	Descripción	Ejemplos	Código de clase de equipo						
			FGA Detección de incendio	FGB Detección de gas	IP Dispositivos de entrada	CL Unidades de lógica de control	VA Válvulas	NO Boquillas	LB Botes Salvavidas
VIB	Vibración	Vibración anormal/excesiva					X		X
VLO	Muy baja producción	ej. lectura de entre 11 % LEL y 30 % Límite Inferior de Explosión (LEL) en gas de ensayo.		X					
<p>NOTA 1 Codificación de fallas para detectores de incendios y gas: Para detectores de incendio y gas, es importante que se registren todas las fallas, incluyendo aquellas que se producen durante las pruebas programadas y aquellas que se detectan durante la operación, p.ej. el reemplazo del cabezal de un detector debe ser registrado, incluso si se realiza como parte de un programa de mantenimiento preventivo. Modos de falla típicos incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • falla en funcionamiento: El detector no responde al estar expuesta al estímulo relevante (ej. gas o calor). Este modo de falla se observa normalmente durante las pruebas funcionales; • operación espuria: El detector emite una señal de alarma a pesar de no estar expuesta al estímulo relevante. Este modo de falla se observa normalmente durante la operación, y se registra por personal de sala de control; • otros: Adicionalmente, algunos modos de falla relacionados a alta/baja producción, ajustes y reacondicionamiento se encontrarán típicamente en los registros/bitácoras. <p>NOTA 2 Codificación de fallas para detectores de gas:</p> <p>Alta producción ej. lectura entre 10 % LEL y 20 % LEL sin gas de prueba; lectura sobre 80 % LEL con gas de prueba.</p> <p>Baja producción ej. lectura entre 31 % LEL y 50 % LEL con gas de prueba (asumiendo un punto de ajuste nominal de 65 % LEL).</p> <p>Muy baja producción p.ej. lectura entre 11 % LEL y 30 % LEL con gas de prueba.</p> <p>Sin producción ej. lectura menor de 10 % LEL con gas de prueba.</p>									

Anexo 4

Instrumento para el análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)								
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	G	O	D	NPR	Clasificación del riesgo

Donde:

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy baja	Es notorio el defecto	1
Baja	Es indiscutible y fácil de detectar, pero podría escaparse en algunas ocasiones durante el primer control.	2 - 3
Moderada	Es identificable y es probable que no llegue al usuario final.	4 – 6
Alta	Es complicado de detectar con los procedimientos actuales.	7 – 8
Muy alta	Es indetectable y probablemente será notado por el cliente final.	9 - 10

Anexo 5

Datos de equipos.

YUMPAG					
DATOS DE EQUIPO					
ITEM	EQUIPO	MODELO	SERIE	ESTATUS	RÉGIMEN
1	GE 05	2000DKQC	I14K741740		PRIME
2	GE 06	C2000D6	G13K529797		PRIME
3	GE 03	C1250D2R	E12K341736		STAND BY
4	GE 07	2000DKQC	I010289107		PRIME

Anexo 6

Costo de los trabajos realizados a los grupos electrógenos.

PM 1	Monto	Horas
Repuestos	\$575.00	4.5 hr
Mano de obra	\$342.00	
Consumibles	\$50.00	
Total	\$967.00	

PM 2	Monto	Horas
Repuestos	\$815.00	9 hr
Mano de obra	\$684.00	
Consumibles	\$50.00	
Total	\$1,549.00	

PM 3	Monto	Horas
Repuestos	\$1,735.00	15 hr
Mano de obra	\$570.00	
Consumibles	\$150.00	
Total	\$2,455.00	

Anexo 7

Reporte de backlog de los equipos.

Fecha	Equipo	HR	Turno	Hora de inicio	Hora fin	Horas	Sistema	Mantenimiento	Detalle
22/09/2023	Grupo 03	9262	turno dia	08:00	13:50	05:50	Lubricación	Correctivo	Fuga de aceite por empaque culatas
22/09/2023	Grupo 05	9318	turno dia	09:00	10:30	01:30	Combustión	Correctivo	Humo azul, requiere calibrar bomba de inyección
22/09/2023	Grupo 06	7652	turno dia	07:00	19:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en stand by. PRESENTA FUGA DE REFRIGERANTE POR PANEL RADIADOR
22/09/2023	Grupo 06	7652	turno noche	03:00	07:00	04:00	Enfriamiento		Equipo en stand by. PRESENTA FUGA DE REFRIGERANTE POR PANEL RADIADOR
23/09/2023	Grupo 06	7681	turno noche	03:00	07:00	04:00	Enfriamiento		Equipo en stand by. PRESENTA FUGA DE REFRIGERANTE POR PANEL RADIADOR
24/09/2023	Grupo 06	7672	turno dia	07:00	19:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operativo en operación (seguimiento del correctivo realizado)
24/09/2023	Grupo 06	7673	turno noche	07:00	19:00	12:00	Combustión		Fuga por manguera de combustible
13/10/2023	Grupo 06	7735	turno dia	07:00	19:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operativo queda en backup. Con observación por fuga de refrigerante.
13/10/2023	Grupo 06	7735	turno noche	00:00	06:00	06:00	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Con observación por fuga de refrigerante.
14/10/2023	Grupo 03	9757	turno dia	13:00	14:00	01:00	Combustión		Cambio de sensor de presión de combustible
14/10/2023	Grupo 05	9798	turno dia	12:00	12:14	00:14	Control		Ajuste de control de encendido en control
19/10/2023	Grupo 06	7742	turno noche	02:00	04:30	02:30	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Con observación por fuga de refrigerante.
20/10/2023	Grupo 03	9894	turno dia	10:00	11:30	01:30	Transmisión		Ajuste de fajas de ventilador
20/10/2023	Grupo 05	9942	turno dia	14:00	14:30	00:30	Arranque		Cambio de pick up de arrancador
20/10/2023	Grupo 06	7742	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Con observación por fuga de refrigerante.
20/10/2023	Grupo 06	7742	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Con observación por fuga de refrigerante.
21/10/2023	Grupo 03	9911	turno dia	13:00	21:00	08:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
21/10/2023	Grupo 05	9966	turno dia	12:05	13:50	01:45	Enfriamiento		Cambio de empaque de termostato
21/10/2023	Grupo 06	7742	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
21/10/2023	Grupo 03	9919	turno noche	20:00	22:30	02:30	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
21/10/2023	Grupo 06	7742	turno noche	12:05	23:00	10:55	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
22/10/2023	Grupo 03	9931	turno dia	12:05	23:00	10:55	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
22/10/2023	Grupo 06	7748	turno dia	12:05	23:00	10:55	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
22/10/2023	Grupo 03	9936	turno noche	12:05	23:00	10:55	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
22/10/2023	Grupo 06	7748	turno noche	12:05	23:00	10:55	Enfriamiento		Equipo operativo en modo stand by. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
23/10/2023	Grupo 03	9945	turno dia	10:00	18:00	08:00			Equipo operando con normalidad. Se relizo mantenimiento preventivo.
23/10/2023	Grupo 03	9953	turno noche	20:00	23:00	03:00			Equipo operando con normalidad. Se relizo mantenimiento preventivo.
24/10/2023	Grupo 06	7751	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
24/10/2023	Grupo 06	7751	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
25/10/2023	Grupo 06	7751	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
25/10/2023	Grupo 06	7751	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
27/10/2023	Grupo 05	10110	turno dia	14:00	19:00	05:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presento alta temperatura de motor (shutdown).
27/10/2023	Grupo 06	7751	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
28/10/2023	Grupo 05	10134	turno dia	13:00	14:00	01:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presento alta temperatura de motor (shutdown).
28/10/2023	Grupo 06	7751	turno dia	00:00	12:00	12:00			Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
1/11/2023	Grupo 05	10230	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta alta temperatura de motor con 750kw.
1/11/2023	Grupo 06	7751	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
1/11/2023	Grupo 05	10242	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta alta temperatura de motor con 750kw.
1/11/2023	Grupo 06	7751	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
2/11/2023	Grupo 05	10253	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta alta temperatura de motor con 750kw.
2/11/2023	Grupo 06	7754	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo en standby. Presenta fuga de refrigerante por radiador.
2/11/2023	Grupo 05	10266	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. Presenta alta temperatura de motor con 750kw.
3/11/2023	Grupo 05	10266	turno dia	07:00	14:00	07:00			Mantenimiento preventivo
3/11/2023	Grupo 05	10266	turno noche	17:00	23:00	06:00			Mantenimiento preventivo
6/11/2023	Grupo 03	10193	turno dia	12:00	19:00	07:00			Mantenimiento preventivo
6/12/2023	Grupo 05	10682	turno dia	17:00	23:00	06:00			Mantenimiento preventivo
9/12/2023	Grupo 05	10682	turno dia	23:00	23:59	00:59	Combustión		Fuga de refrigerante por mangueras
12/12/2023	Grupo 03	10767	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
15/12/2023	Grupo 05	10702	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo

Fecha	Equipo	HR	Turno	Hora de inicio	Hora fin	Horas	Sistema	Mantenimiento	Detalle
15/12/2023	Grupo 05	10702	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
7/12/2023	Grupo 07	1019	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
2/01/2024	Grupo 07	1247	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
3/01/2024	Grupo 03	11174	turno dia	00:00	12:00	12:00	Escape		Reparación turbo compesor
3/01/2024	Grupo 03	11174	turno noche	00:00	12:00	12:00	Escape		Reparación turbo compesor
4/01/2024	Grupo 03	11174	turno dia	00:00	12:00	12:00	Escape		Reparación turbo compesor
4/01/2024	Grupo 03	11174	turno noche	00:00	12:00	12:00	Escape		Reparación turbo compesor
6-Ene	Grupo 05	10830	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Fuga de refrigerante
19-Ene	Grupo 03	11249	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
19-Ene	Grupo 03	11249	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
28-Ene	Grupo 05	11259	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
29-Ene	Grupo 07	1865	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
4-Feb	Grupo 03	11610	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
10-Feb	Grupo 05	11553	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
16-Feb	Grupo 03	11791	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
16-Feb	Grupo 03	11791	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
25-Feb	Grupo 05	11835	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
26-Feb	Grupo 06	7901	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Recalentamiento motor: Falla de termostato
26-Feb	Grupo 06	7901	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Recalentamiento motor: Falla de termostato
27-Feb	Grupo 07	2608	turno noche	00:00	12:00	12:00	Control		Falla factor de potencia: configuración carga
1-Mar	Grupo 07	2608	turno dia	00:00	12:00	12:00	Control		Falla factor de potencia: configuración carga
1-Mar	Grupo 07	2608	turno noche	00:00	12:00	12:00	Control		Falla factor de potencia: configuración carga
15-Mar	Grupo 06	8221	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor.
15-Mar	Grupo 06	8229	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor.
16-Mar	Grupo 06	8234	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
16-Mar	Grupo 06	8234	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
17-Mar	Grupo 06	8234	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
17-Mar	Grupo 06	8255	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
18-Mar	Grupo 06	8267	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
18-Mar	Grupo 06	8276	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
19-Mar	Grupo 06	8288	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
19-Mar	Grupo 06	8300	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
20-Mar	Grupo 06	8322	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
20-Mar	Grupo 06	8322	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
21-Mar	Grupo 06	8332	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
21-Mar	Grupo 06	8343	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion recalentamiento de motor / FUGA DE REFRIGERANTE
22-Mar	Grupo 06	8355	turno noche			00:00	Control		Falla de controlador de equipo
24-Mar	Grupo 06	8387	turno dia			00:00	Control		Falla display de controlador
24-Mar	Grupo 06	8399	turno noche			00:00	Control		Falla display de controlador
30-Mar	Grupo 05	12672	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
1-Abr	Grupo 07	3347	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
6-Abr	Grupo 06	8655	turno noche			00:00	Enfriamiento		Fuga de refrigerante por radiador
7-Abr	Grupo 06	8656	turno dia			00:00	Enfriamiento		Correctivo de fuga de refrigerante y falla de silenciador.
15-Abr	Grupo 05	8828	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
22-Abr	Grupo 06	8934	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
22-Abr	Grupo 06	9004	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
23-Abr	Grupo 06	9016	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
23-Abr	Grupo 06	9028	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
24-Abr	Grupo 06	9040	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
24-Abr	Grupo 06	9052	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
25-Abr	Grupo 06	9064	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE

Fecha	Equipo	HR	Turno	Hora de inicio	Hora fin	Horas	Sistema	Mantenimiento	Detalle
25-Abr	Grupo 06	9064	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
25-Abr	Grupo 06	9071	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
26-Abr	Grupo 06	9082	turno dia	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
26-Abr	Grupo 06	9091	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con observacion FUGA DE REFRIGERANTE
29-Abr	Grupo 05	13340	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
3-May	Grupo 05	13408	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. (Observacion fuga de refrigerante).
3-May	Grupo 06	9244	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. (Observacion fuga de refrigerante).
3-May	Grupo 07	4076	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. (Observacion fuga de refrigerante).
5-May	Grupo 06	9304	turno noche	00:00	12:00	12:00	Enfriamiento		Equipo operando con normalidad. (Observacion fuga de refrigerante).
11-May	Grupo 06	9403	turno dia			00:00	Combustión		Cambio de mangueras de combustible
11-May	Grupo 07	4256	turno dia			00:00	Combustión		Cambio de mangueras de combustible
14-May	Grupo 07	4318	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
17-May	Grupo 05	13700	turno dia			00:00	Combustión		Falla en sistema de combustible: Saturación filtro de combustible
18-May	Grupo 05	13747	turno noche			00:00	Combustión		Falla en sistema de combustible: Saturación filtro Racord
19-May	Grupo 06	9597	turno noche			00:00	Enfriamiento		Fuga de refrigerante crítico
27-May	Grupo 06	9746	turno noche			00:00	Enfriamiento		Reparación sistema refrigeración
28-May	Grupo 06	9746	turno dia			00:00	Enfriamiento		Reparación sistema refrigeración
28-May	Grupo 06	9746	turno noche			00:00	Enfriamiento		Reparación sistema refrigeración
29-May	Grupo 06	9746	turno dia			00:00	Enfriamiento		Reparación sistema refrigeración
29-May	Grupo 06	9746	turno noche			00:00	Enfriamiento		Reparación sistema refrigeración
30-May	Grupo 05	13996	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
5-Jun	Grupo 07	4818	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
25-Jun	Grupo 05	14507	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
29-Jun	Grupo 07	5364	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
7-Jul	Grupo 08	11511	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
10-Jul	Grupo 05	14853	turno dia			00:00	Combustión		Cambio de mangueras de combustible
12-Jul	Grupo 07	5661	turno dia			00:00			Mantenimiento preventivo
26-Jul	Grupo 05	15212	turno noche			00:00			Mantenimiento preventivo
22-Jul	Grupo 07	5987	turno dia			00:00	Lubricación		Fuga por empaque de carter

Anexo 8

Formatos de mantenimiento

FICHA TECNICA DE MANTENIMIENTO

Información General del Sistema

Campo	Datos
Nombre del grupo electrógeno	_____
Marca y modelo	_____
Número de serie	_____
Fecha de instalación	_____
Ubicación	_____
Tipo de combustible	_____
Potencia nominal	_____
Fecha de última revisión	_____

Objetivos del Plan de Mantenimiento.

Objetivo	
Disponibilidad continua y confiable	
Maximizar la vida útil del equipo	
Reducir tiempos de inactividad y costos operativos	
Minimizar fallos y riesgos asociados	

Análisis de Funciones y Riesgos.

Componente	Función	Posibles modos de fallo	Consecuencia del fallo
Motor diésel	Generar energía eléctrica	Sobrecarga, calentamiento excesivo, falta de lubricación	Pérdida total de energía
Alternador	Convertir energía mecánica en eléctrica	Desgaste de rodamientos, cortocircuito	Pérdida de generación eléctrica
Sistema de Combustible	Probar combustible al motor	Obstrucción de filtros, fuga de combustible	Parada del motor
Sistema Eléctrico	Distribuir energía generada	Cortes de corriente, fallos de conexión	Fallo en la distribución eléctrica

Estrategias de Mantenimiento.

Estrategia	Objetivo	Método
Mantenimiento predictivo	Prevenir fallos mediante monitoreo continuo	Monitoreo de vibraciones, análisis de aceite, medición de temperatura.
Mantenimiento preventivo	Asegurar operación eficiente mediante mantenimiento periódico	Cambio de filtros, inspección del sistema de refrigeración.
Mantenimiento correctivo	Reparar o reemplazar componentes en caso de fallo	Diagnóstico de fallos, reparación o sustitución de piezas defectuosas

Planificación de tareas.

Componente	Actividad	Frecuencia	Responsable	Fecha programada	Notas
Sistema de Refrigeración	Inspección y limpieza del radiador	Cada 500 horas	_____	_____ _____ -	_____
Sistema de Mangueras	Revisión y ajuste de mangueras	Cada 500 horas	_____	_____ _____ -	_____
Motor diésel	Cambio de aceite y filtros	Cada 500 horas	_____	_____ _____ -	_____
Sistema de Combustible	Inspección y calibración	Cada 1000 horas	_____	-	_____
Turbocompresor	Evaluación de turbocompresor	Cada 1000 horas	_____	_____ _____ -	_____
Sistema Eléctrico	Inspección del sistema eléctrico	Cada 6 meses	_____	_____ _____ -	_____
Sistema de Monitoreo	Monitorear de temperatura y presión	Continuo	_____	-	_____

Evaluación de Condiciones de Operación.

Parámetro	Método de evaluación	Frecuencia de evaluación
Temperatura de operación	Monitoreo constante de la temperatura del motor.	Continuo
Presión de aceite	Verificación de niveles de presión	Continuo
Sistema de escape	Inspección de posibles obstrucciones o daños.	Anual

Indicadores de Desempeño (KPI).

KPI	Descripción	Valor Objetivo	Frecuencia de medición
MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos)	Tiempo promedio entre fallos del equipo	≥ 500 horas	Anual
MTTR (Tiempo Medio Para Reparación)	Tiempo promedio para reparar un fallo	≤ 8 horas	Anual
Disponibilidad Operativa	Porcentaje de tiempo que el grupo electrógeno está operativo	≥ 98%	Mensual

Procedimientos de Emergencia.

Fallo	Procedimiento
Fallo de motor	Parada controlada, verificación de sistema de refrigeración y aceite
Fallo del alternador	Desconexión segura, inspección de conexiones eléctricas y bobinas

Anexo 9

Distribución mensual de costos.

Distribución mensual de costos.

Actividad	Frecuencia	Meses Realización	Costo Total (S/.)	Costo mensual (S/.)
Inspección y limpieza del radiador	Cada 6 meses	Meses: 1, 7	967 (GE03)	$967 / 6 = 161,17$
Revisión y ajuste de mangueras	Cada 6 meses	Meses: 2, 8	1050 (GE05)	$1050 / 6 = 175$
Cambio de aceite y filtros	Cada 3 meses	Meses: 1, 4, 7, 10	1200 (GE06)	$1200 / 3 = 400$
Inspección y calibración de bomba de combustible	Cada 6 meses	Meses: 3, 9	575 (GE03)	$575 / 6 = 95,83$
Evaluación de turbocompresor	Cada 6 meses	Meses: 4, 10	600 (GE05)	$600 / 6 = 100$
Inspección del sistema eléctrico	Cada 6 meses	Meses: 5, 11	680 (GE06)	$680 / 6 = 113,33$
Monitoreo de temperatura y presión	Cada mes	Todos los meses	342 (GE03)	$342 / 12 = 28,50$
Costo total			6414 (S/. total)	2003.83 (S/. mensuales)