



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DEL  
CASTILLETE PRINCIPAL DE EXTRACCIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA  
BURSAL S.A.

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Industrial

AUTOR: ROBINSON ROLANDO MENDIETA SARAGURO  
TUTOR: ING. ROMÁN GENARO IDROVO DAZA, MAE.

Cuenca - Ecuador  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Robinson Rolando Mendieta Saraguro con documento de identificación N° 0106168743, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de julio del 2023

Atentamente,



-----  
Robinson Rolando Mendieta Saraguro

0106168743

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Robinson Rolando Mendieta Saraguro con documento de identificación N° 0106168743, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la compañía minera Bursal S.A.”, el cual ha sido desarrollado para obtener el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio de 2023

Atentamente,



-----  
Robinson Rolando Mendieta Saraguro

0106168743

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Román Genaro Idrovo Daza con documento de identificación N° 0102073459, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS DEL CASTILLETE PRINCIPAL DE EXTRACCIÓN EN LA COMPAÑÍA MINERA BURSAL S.A., realizado por Robinson Rolando Mendieta Saraguro con documento de identificación N° 0106168743, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio de 2023

Atentamente,



---

Ing. Román Genaro Idrovo Daza, MAE.

0102073459

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar el presente trabajo a mis padres, mis hermanos, por haberme dado la gran oportunidad y el apoyo incondicional tanto; económico como moral, siempre estar allí conmigo guiándome a lo largo de toda esta etapa de mi vida. A mis compañeros, familiares y amigos que con su cariño me han motivado a seguir en adelante.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por haberme dado la salud y la vida para poder estudiar esta carrera. A mis padres que siempre han sido mi motivación, siempre me han brindado su apoyo incondicional. A mis hermanos que siempre me apoyaron de manera incondicional tanto, económicamente como moralmente y motivando siempre a seguir en adelante a lo largo de esta etapa de vida tan importante, ya que con sus consejos, cariño y apoyo me han ayudado a crecer humanamente y profesional. A mis compañeros Juan, Valeria, Robinson, que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, dándome ánimo, consejos cuando estuve a punto de abandonarlo todo.

A mis profesores y en especial a mi tutor de tesis al Ing. Román Idrovo Daza MAE quien, con sus enseñanzas, sus consejos, sus experiencias me han ayudado culminar con este proyecto técnico.

# Índice

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Índice .....	III
Índice de Figuras .....	IV
Índice de Tablas.....	V
Resumen .....	VI
Abstract.....	VII
1 Introducción.....	1
Capítulo 1 .....	3
1.1 Problema.....	3
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.3.1 Justificación Teórica.....	4
1.3.2 Justificación práctica.....	5
1.4 Importancia y alcance.....	6
1.4.1 Importancia.....	6
1.4.2 Alcance .....	7
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6 Hipótesis General .....	8
1.6.1 Hipótesis descriptiva.....	8
1.6.2 Variable dependiente.....	8
Capítulo 2 .....	9
2.1 Marco teórico.....	9

2.1.1	Antecedentes de Investigación. ....	9
2.2.	Bases Teóricas. ....	11
2.2.1.	Que es la Gestión. ....	11
2.2.2.	Mantenimiento. ....	12
2.2.3.	Tipos de mantenimiento. ....	12
Mantenimiento correctivo	.....	12
Mantenimiento preventivo. ....		13
Mantenimiento predictivo	.....	13
2.2.4.	Importancia del mantenimiento en la industria minera .....	13
2.2.5.	Motor eléctrico en la minería. ....	14
Funcionamiento y características de los motores eléctricos	.....	15
2.2.6.	Tipos de motores eléctricos (corriente alterna, corriente continua) .....	18
Motores de corriente alterna	.....	18
2.2.7.	Los motores de corriente continua. ....	19
2.2.8.	Aplicaciones de los motores eléctricos en la minería. ....	20
Accionamiento de maquinaria pesada: .....		20
Ventilación .....		20
Bombeo de agua .....		20
Ventajas y Desventajas de los motores eléctricos utilizados en la Minería ...		21
2.2.9.	Minería .....	21
Capítulo 3	.....	25
3.1	Metodología de la Investigación. ....	25
3.2.	La Empresa. ....	27
3.2.1	Ubicación Geográfica. ....	28
3.2.2.	Verificación física del castillete principal de extracción y el taller de mantenimiento eléctrico. ....	29
3.2.3.	Verificación general del castillete principal de extracción y el taller de mantenimiento eléctrico. ....	29
3.2.4.	Plano del castillete principal de extracción. ....	31
Castillete principal de extracción. ....		32

3.2.5. Taller de mantenimiento eléctrico.....	32
3.2.6. Señalización.....	33
3.2.7 Oficinas.....	34
3.2.8 Bodega de repuestos.....	35
3.2.9. Descripción de tareas y proceso de mantenimiento correctivo de motores eléctricos.....	36
3.2.10 Diagrama de procesos de mantenimiento correctivo de los motores eléctricos.....	38
3.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.....	39
3.3.1. Etapa 1 Control de la documentación.....	40
3.3.2. Análisis de modo y efectos de fallos en los motores de la Compañía Minera "Bursal S.A." para garantizar su disponibilidad.....	40
4. Resultados.....	61
4.1. Desarrollo del plan de acción:.....	61
4.2. Plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete.....	68
4.2.1. Identificar los motores eléctricos que se desean incluir en el plan de gestión de mantenimiento.....	68
4.2.2. Identificar las causas más comunes de falla en los motores eléctricos y las medidas de compensación correspondientes.....	68
4.2.3. Establecer un calendario de mantenimiento preventivo para cada motor eléctrico.....	68
4.2.4. Sistema de registro y seguimiento de las inspecciones y el mantenimiento realizado en cada motor eléctrico.....	69
4.2.5. Capacitaciones al personal encargado del mantenimiento y la reparación de los motores eléctricos.....	70
Conclusiones.....	72
Recomendaciones.....	74
Bibliografía.....	75
Anexos.....	78

## Índice de Figuras

Figura 1 Estructura de la Maquina síncrona monofásica .....	19
Figura 2 Ubicación geográfica de la Empresa .....	28
Figura 3 Planos del Castillete principal de extracción .....	31
Figura 4 Castillete principal de extracción.....	32
Figura 5 Taller Eléctrico.....	33
Figura 6 Revisión de señalizaciones.....	34
Figura 7 Área de Oficinas.....	35
Figura 8 Bodega de Repuestos N°1 .....	35
Figura 9 Bodega de Repuestos N°2.....	36
Figura 10 Diagrama de procesos de mantenimiento .....	38
Figura 11 Diagrama del flujo de los Procesos AMEF.....	39
Figura 12 Equipo de Trabajo .....	41
Figura 13 Diagrama de Barras de disponibilidad mensual Año 2022 .....	51
Figura 14 Frecuencia de fallos.....	52
Figura 15 Matriz de Criticidad con designación de colores .....	53
Figura 16 Clasificación de la Ocurrencia .....	58
Figura 17 Probabilidad de Detección .....	59
Figura 18 Área del castillete principal de extracción.....	78
Figura 19 Área de clasificación de material metalúrgico.....	78
Figura 20 Toma de datos de zaranda y trituradora.....	79
Figura 21 Toma de datos de motobomba de piscina principal.....	79
Figura 22 Recolección de información de winche principal.....	80

## Índice de Tablas

Tabla 1 Ventajas y Desventajas de uso de los motores eléctricos en la minería.....	21
Tabla 2 Formato de Fichas Técnicas Motor SEW EuroDrive.....	42
Tabla 3 Formato de Fichas Técnicas Motor Siemens .....	43
Tabla 4 Formato de Fichas Técnicas Motor ABB Motors .....	44
Tabla 5 Formato de Fichas Técnicas Motor Pedrollo .....	45
Tabla 6 Formato de Fichas Técnicas Motor ABB Motors .....	46
Tabla 7 Inventario de Motores.....	47
Tabla 8 Herramientas y Equipos utilizados en el taller eléctrico. ....	47
Tabla 9 Componente y fallas recurrentes .....	49
Tabla 10 Priorización del motor MT005 en base a las fallas .....	49
Tabla 11 Equivalencia de días, semanas, meses o horas .....	50
Tabla 12 Disponibilidad del Motor MT005 en la Compañía Minera “Bursal S.A”	51
Tabla 13 Equivalencia para el criterio de severidad.....	53
Tabla 14 Actividades mas criticidad de Motor.....	54
Tabla 15 Identificación de las posibles causas de las fallas .....	56
Tabla 16 Valorización del NPR.....	60
Tabla 17 Prioridad de riesgo en el motor MT005 .....	60
Tabla 18 Tabla AMEF para el motor.....	62
Tabla 19 Listado de chequeo de Motores.....	69
Tabla 20 Formato de Registro e Inspección .....	69
Tabla 21 Plan de capacitación anual .....	71

## Resumen

El proyecto técnico está dirigido a la gestión en el área de mantenimiento, este será implementado en la Compañía Minera "Bursal S.A." con la finalidad de obtener mayor eficiencia en el proceso productivo y a su vez disminuir los costos de mantenimiento. La investigación se enfoca en los motores eléctricos del castillete de extracción y se recolectarán datos numéricos para el enfoque cuantitativo.

La metodología del proceso se basa en AMEF para clasificar modos de falla, en efecto cada indicador construido servirá de base a la hora de presentar una decisión determinada en la organización. La ejecución del plan de mantenimiento preventivo y predictivo dentro de la gestión puede contribuir al desarrollo sostenible al minimizar los desperdicios generados por el correctivo. El proyecto propone una solución práctica que genere confiabilidad en la empresa y contribuya en su rentabilidad y sostenibilidad. En conclusión, la activación del plan en la Compañía Minera "Bursal S.A." es una solución práctica para incrementar la eficacia del proceso productivo, limitar el valor monetario en referencia al mantenimiento además de incrementar lo que sería la seguridad laboral. Así mismo, con la activación de dicho plan predictivo, este contribuirá al desarrollo sostenible, al disminuir la cantidad de residuos (motores dañados dado de baja) generados por el mantenimiento correctivo.

Palabras Clave: AMEF, Criticidad, Minería, Castillete, Mantenimiento, Gestión.

## **Abstract**

The technical project is aimed at a specific management plan in the maintenance area, this will be implemented in the Compañía Minera "Bursal S.A." in order to improve the efficiency of the production process and reduce maintenance costs. The investigation focuses on the electric motors of the extraction headframe and numerical data will be collected for the quantitative approach. The process methodology is based on Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify and classify failure modes and prepare a criticality analysis. The built indicators will support decision making in the company. The implementation of a preventive and predictive maintenance plan can contribute to sustainable development by reducing the waste generated by corrective maintenance and prolonging the useful life of the engines. The research proposes a practical solution to improve the reliability of the company's critical assets and contribute to its profitability and sustainability. In conclusion, the implementation of the maintenance management plan in the Mining Company "Bursal S.A." It is a practical solution to improve the efficiency of the production process, reduce maintenance costs and improve work safety. The process methodology is based on Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to identify and classify failure modes and prepare a criticality analysis. In addition, the implementation of a preventive and predictive maintenance plan can contribute to sustainable development by reducing the waste generated by corrective maintenance and extending the useful life of the engines.

Keywords: FMEA, Criticality, Mining, Headframe, Maintenance, Management.

## **1. Introducción**

El mantenimiento ha atravesado por varios cambios a través de toda su historia, debido, que hoy en día, el mantenimiento no solo tiene que ver con la mecánica, armar, desarmar o componer máquinas, si no también, con lograr la eficiencia, eficacia, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos. Estas variables permiten sobre todo una buena toma de decisiones, y sobre todo conocer los periodos de buen funcionamiento de los motores y equipos logrando así obtener valores, que permitan calcular índices de eficiencia y conocer frecuencia de fallos y fallas

Es necesario mencionar que el mantenimiento en la actualidad involucra la gestión, la misma que se encarga de gestionar datos para planificar un programa de mantenimiento con la ayuda de metodologías sofisticadas, como lo es el Análisis de Criticidad, este permite que las herramientas y equipos tengan mucho más tiempo de uso.

A este respecto, la conservación de los motores del castillete de extracción en la compañía minera "Bursal S.A" es un aspecto crítico que garantiza lo que sería confiabilidad, eficiencia, disponibilidad y eficacia de los equipos. En la actualidad, lo que es el mantenimiento no solo está enfocado en la mecánica, sino que también involucra la gestión de datos y la planificación de programas de mantenimiento con metodologías sofisticadas. En efecto, El Análisis de Criticidad es una herramienta que sirve para identificar los equipos críticos para el proceso productivo y establecer el plan adecuado de mantenimiento predictivo

y a su vez preventivo el cual minimice los riesgos, logrando alargar su vida útil y mejorar su desempeño, lo que produce un impacto positivo y con ello rentabilidad.

En este contexto, dicha propuesta de gestión para el Mantenimiento del castillete de extracción en la compañía minera "Bursal S.A" tiene como objetivo principal a través de la gestión, establecer un proyecto de mantenimiento que sea predictivo, garantizando la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de las maquinas. Para ello, se utilizarán herramientas como el Análisis de Criticidad, la Confiabilidad (RCM) y el Productivo Total (TPM), entre otros.

La gestión se enfocará en cuatro aspectos fundamentales: la identificación y clasificación de los equipos críticos, la definición de las estrategias, ejecución de planes, evaluación y mejora continua del mismo. Asimismo, se establecerán medidores de desempeño (KPIs) que permitan evaluar la eficacia del plan de mantenimiento y tomar decisiones informadas para su mejora.

En conclusión, la gestión del mantenimiento para los motores del castillete extracción en "Bursal S.A" es un proyecto estratégico, él permitirá perfeccionar la disponibilidad, eficiencia y confiabilidad de las maquinas críticas para el proceso productivo. La implementación exitosa de esta gestión tendrá un efecto positivo en cada uno de los procesos productivos y rentabilidad de la compañía minera, lo que se traducirá en beneficios económicos y sociales para sus trabajadores y la comunidad en general.

# Capítulo 1

## 1.1 Problema

### 1.2 Antecedentes

El estado actual del correcto funcionamiento de la compañía "BURSAL S.A" depende mucho del mantenimiento eléctrico empleado actualmente, el cual es principalmente correctivo y no preventivo. Esto ha provocado altas pérdidas debido a las paradas intempestivas, lo que disminuye la rentabilidad y la producción. Además, el mantenimiento correctivo ha deteriorado la vida útil de los motores y redes eléctricas, generando elevados costos de mantenimiento por la pronta sustitución de máquinas a consecuencia de su deterioro físico. En este sentido, se estima que la compañía ha perdido alrededor de un 30% de su capacidad productiva debido a las paradas no programadas.

En líneas generales, no se cuenta con un registro o base de datos del mantenimiento realizado en cada máquina o equipo, esto genera retrasos en la toma de decisiones y ha llevado a elevados costos de mantenimiento. Por lo tanto, resulta oportuno una propuesta preventiva y predictiva de mantenimiento basada en una metodología AMEF para garantizar la confiabilidad y eficiencia del proceso productivo. Con la implementación exitosa de esta propuesta, se espera disminuir el valor del mantenimiento al 20%, y con ello aumentar la disponibilidad en los equipos a un 7%. Además, se espera que la implementación de esta propuesta mejore significativamente la eficiencia general del proceso productivo, lo que se traducirá en beneficios económicos y sociales para sus trabajadores.

La finalidad de la presente investigación es sugerir una técnica en cuanto al mantenimiento preventivo y predictivo utilizando la metodología AMEF con el fin de asegurar que los equipos críticos para el proceso productivo en la empresa minera "BURSAL S.A." estén disponibles, sean confiables y eficientes. Si se implementa con éxito, esta propuesta tendrá un efecto positivo en la rentabilidad y utilidad de la empresa.

## **1.3 Justificación del Problema**

### **1.3.1 Justificación Teórica.**

La justificación teórica, en referencia a la de gestión de mantenimiento está sustentada con la metodología AMEF, la misma que se sustenta en la necesidad de garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos para el proceso productivo.

Además, la gestión se enfocará en la identificación y clasificación de los equipos críticos, la definición de la estrategia de mantenimiento predictivo y preventivo, la implementación del plan de mantenimiento y mejora continua del mismo, lo que permitirá optimizar los procesos de mantenimiento y reducir los costos asociados a las paradas intempestivas de producción y a la pronta sustitución de máquinas debido a su deterioro físico.

Asimismo, la implementación exitosa de esta gestión tendrá positivamente un impacto en la productividad y rentabilidad de la compañía minera. En este sentido, la justificación teórica se sustenta en la necesidad de aplicar metodologías sofisticadas como el Análisis de Criticidad, entre otros, para garantizar el éxito de la propuesta de gestión y lograr una mayor eficacia y eficiencia en los procesos.

### **1.3.2 Justificación práctica.**

Se sustenta en la necesidad de mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los motores, para el proceso productivo, reducir los costos asociados a las paradas intempestivas de producción.

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo basado en la metodología AMEF permitirá identificar y evaluar los modos de falla de los motores, así como sus efectos y consecuencias, lo que permitirá establecer planes de mantenimiento específicos que minimicen el riesgo de fallas y maximicen la confiabilidad y disponibilidad de los equipos. Esto se traducirá en una reducción significativa de las paradas intempestivas de producción.

Adicional, la implementación del plan de mantenimiento permitirá reducir los valores asociados a deterioro físico, ya que se podrá realizar un mantenimiento preventivo y predictivo que permita detectar y corregir problemas en los equipos antes de que se conviertan en fallas mayores. Asimismo, se podrán optimizar los procesos de mantenimiento al contar con un registro o base de datos del mantenimiento realizado en cada máquina o equipo, lo que permitirá realizar un análisis y evaluación continua del plan de mantenimiento y tomar decisiones informadas para su mejora continua.

En base a la justificación práctica se sustenta en la necesidad de mejorar la disponibilidad, eficiencia y confiabilidad de los equipos críticos para el proceso productivo, reducir los costos asociados a las paradas intempestivas de producción y a la pronta sustitución de máquinas debido a su deterioro físico, y optimizar los procesos de mantenimiento. La implementación exitosa de esta propuesta tendrá un buen impacto en la productividad y

rentabilidad de la compañía minera, lo que se convierte en beneficios económicos para la misma.

## **1.4 Alcance e Importancia**

### **1.4.1 Importancia**

Al iniciar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo eficiente puede disminuir las interrupciones no planificadas y aumentar la disponibilidad, lo que se traduce en una mejora en la eficacia del proceso productivo de la empresa minera "BURSAL S.A". Además, la disminución de los costos de mantenimiento es un beneficio adicional, el mantenimiento correctivo es mucho más caro que el mantenimiento preventivo y predictivo, ya que implica arreglar o sustituir los equipos dañados. Al implementar un nuevo modelo de mantenimiento, se pueden reducir los costos a largo plazo.

El mantenimiento correctivo acorta la vida útil de los motores, porque se espera hasta que se presenten fallas para realizar reparaciones o intervenciones. Esto hace que, la falta de mantenimiento preventivo y predictivo puede implicar en el aumento del riesgo de accidentes laborales, debido a que los equipos pueden fallar inesperadamente. Es crucial establecer un programa de mantenimiento para incrementar la seguridad en el trabajo.

La creación de un sistema de registro y seguimiento del mantenimiento realizado en cada máquina, motor o equipo puede ayudar a la compañía y sobre todo al personal técnico eléctrico, sobre cuándo realizar reparaciones o sustituciones. Además, la implementación de un plan ayudaría a contribuir al desarrollo sostenible y mejorar la vida útil de los motores, al minimizar los desperdicios generados por el mantenimiento correctivo.

## **1.4.2 Alcance**

La empresa en la actualidad dentro de su parte operativa se encuentra formada por las áreas de Producción, Mantenimiento y por la unidad de Salud, Seguridad, y Ambiente.

La propuesta de trabajo de este Proyecto Técnico se alcanza al delimitar su estudio a los departamentos de mantenimiento eléctrico y castillete principal de extracción, los mismos que corresponden a las áreas de Producción y Mantenimiento, pues de ellos se podrá obtener la información sobre el historial de mantenimiento incurrido hasta la fecha, al igual que otros datos de los motores que serán posibles obtenerlos propiamente en el castillete de extracción. El método a aplicar es el Análisis de criticidad y AMEF por ser el más indicado a dar solución al problema que se viene presentando, de no tener un adecuado nivel de calidad en el servicio de mantenimiento.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Proponer la gestión del mantenimiento de motores eléctricos del castillete de extracción de la compañía minera “BURSAL S.A”.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Describir los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A.
- Aplicar la metodología de Análisis de criticidad a los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A.
- Proponer la implementación de la gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A.

## **1.6 Hipótesis General**

### **1.6.1 Hipótesis descriptiva.**

¿La implementación de un plan de gestión del mantenimiento preventivo y predictivo de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la compañía minera "BURSAL SA" permitirá alargar la vida útil de estos equipos eléctricos?

### **1.6.2 Variable dependiente.**

- Vida útil de los motores eléctricos.

### **1.6.3 Variables independientes.**

- Identificación y clasificación de los motores críticos.
- Definición de las estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Implementación del plan de mantenimiento.
- Evaluación y mejora continua del plan de mantenimiento.

## Capítulo 2

### 2.1 Marco teórico.

#### 2.1.1 Antecedentes de Investigación.

Investigaciones sobre la metodología de Análisis de Criticidad:

Según Ramirez & Moreno (2017), El título de la tesis es "Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción, utilizando las normas SAE JA1011 y SAE JA1012". Analizar la criticidad y disponibilidad de la atracción X-Treme en el Parque Mundo Aventura, que se considera una máquina importante y es muy popular entre los visitantes. El objetivo principal del estudio es identificar los componentes eléctricos y mecánicos más críticos de la atracción para crear planes de mantenimiento que mejoren su disponibilidad y reduzcan el tiempo de inactividad debido a fallos, así como el tiempo dedicado al mantenimiento programado y correctivo. Se utilizarán las normas internacionales SAE JA1012 y SAE JA1011 para llevar a cabo este análisis.

Este estudio referido es importante para el trabajo de titulación, ya que se centra en el mantenimiento de atracciones mecánicas en parques temáticos y de entretenimiento. La disponibilidad y el análisis de criticidad de la atracción, puede proporcionar información valiosa sobre cómo se identifican los componentes eléctricos y mecánicos más críticos de una atracción y cómo generar planes adecuados para mejorar la disponibilidad de la atracción y reducir el tiempo de inactividad debido a fallos. El presente estudio puede ser utilizado como un ejemplo para demostrar cómo la metodología de mantenimiento se puede aplicar en una atracción mecánica específica. Además, su estructura metodológica es un aporte significativo a la tesis, ya que sirve como guía para cumplir con los objetivos propuestos.

Según describe Celso(2021), En su trabajo "Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores eléctricos para mejorar la disponibilidad de máquinas en la sección de chancado en una unidad minera en el sur del Perú" se enfoca en la disminución de la productividad en empresas industriales debido a fallas operacionales, de mantenimiento y procesos, lo que también afecta a las empresas mineras. El objetivo principal es mejorar el monitoreo de las condiciones de los motores eléctricos en una empresa minera para garantizar un mínimo del Noventa (90%) de disponibilidad operativa. El trabajo implica diagnosticar el contexto actual de 22 motores del área de chancado, elaborando un plan de.

La investigación previa menciona que las empresas mineras también sufren una disminución en la productividad debido a fallas operacionales, de mantenimiento y procesos. Además, el objetivo de la tesis es mejorar el monitoreo de las condiciones de los motores eléctricos en la empresa minera del Sur del Perú para asegurar que se alcance un mínimo del 90% de disponibilidad operativa y se opere a 2900 TMD, tal como se requiere en la unidad minera en estudio.

Esta investigación es útil al comparar la información e identificar los problemas que enfrenta la Compañía Minera "Bursal S.A" y proponer soluciones para mejorar el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete de extracción. Además, se podría utilizar los resultados y conclusiones obtenidos en la tesis mencionada como referencia para apoyar las conclusiones tomadas y recomendaciones de la tesis en desarrollo.

Según De la Cuz (2018) en su tesis titulada "Sistema de control para mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 30 Hp en la compañía Minera Casapalca", El objetivo de esta manifiesta que crear una metodología tecnológica basada en un sistema que permita evaluar y mejorar la operatividad del motor de inducción de 300hp en la compañía. Utilizar el ANFE para identificar los componentes críticos del motor y espera

que el sistema propuesto permita minimizar riesgos, definir planes de mantenimiento y establecer políticas y procedimientos estándares.

Dicha investigación se centra en el uso de una metodología tecnológica basada en un sistema para mejorar la confiabilidad operacional del motor en una compañía minera. Este antecedente podría proporcionar información valiosa sobre cómo se puede aplicar un análisis de modos de fallas, efectos y criticidad para identificar los componentes críticos de un motor y mejorar su confiabilidad operacional. Además, el antecedente podría servir como una referencia para ilustrar cómo se pueden definir planes de mantenimiento, minimizar riesgos y establecer políticas y procedimientos para la recopilación de información en una compañía minera.

## **2.2. Bases Teóricas.**

### **2.2.1. Que es la Gestión.**

Es el proceso de administrar los recursos de una Institución u organización para alcanzar sus objetivos de manera eficiente y efectiva. En el contexto del mantenimiento de motores eléctricos en una compañía minera, la gestión implica tomar decisiones estratégicas y tácticas para garantizar que los motores estén en óptimas condiciones de funcionamiento y que se minimicen los riesgos de fallas y paradas no planificadas. Esto incluye establecer políticas y procedimientos estandarizados para el mantenimiento, definir roles y responsabilidades claras, e implementar métricas clave de desempeño para medir la efectividad del mantenimiento. (Aldana, 2019)..

Administrar también incluye planificar y programar el mantenimiento preventivo y predictivo, asignar recursos adecuados para el mantenimiento, y usar herramientas y tecnologías avanzadas para mejorar la eficacia del mantenimiento. En síntesis, la

administración es un proceso crucial para asegurar la confiabilidad operacional y disponibilidad de los motores eléctricos en una empresa minera. (Aldana, 2019).

### **2.2.2. Mantenimiento.**

El mantenimiento se encarga de las labores necesarias para asegurar que los sistemas y equipos de una organización operen correctamente y cumplan con los estándares de seguridad, calidad y confiabilidad. En el ámbito de los motores eléctricos en una empresa minera, el mantenimiento implica realizar inspecciones, limpieza, lubricación, reparación y sustitución de piezas para prevenir fallas y prolongar la vida útil del motor. (Mollisaca, 2020).

Puede ser clasificado en diferentes tipos, como mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, dependiendo del enfoque y la frecuencia de las actividades. En resumen, el mantenimiento es esencial para garantizar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los motores eléctricos en una compañía minera (Mollisaca, 2020).

### **2.2.3. Tipos de mantenimiento.**

Según estas definiciones, hay tres clases de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo, que son esenciales para asegurar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los motores eléctricos en una empresa minera. La selección del tipo de mantenimiento dependerá del equipo, la importancia del motor, la frecuencia de uso y las condiciones ambientales en las que se utiliza. (Pinto, 2019).

#### **Mantenimiento correctivo**

Este tipo se realiza después de que se ha producido una falla o avería en el motor. La meta principal del mantenimiento correctivo es reparar el equipo a su estado de funcionamiento normal lo más rápido que se pueda para minimizar el tiempo de inactividad

y evitar pérdidas económicas. Este mantenimiento no se planifica de antemano, sino que se realiza en respuesta a una falla o avería que ha ocurrido en el motor (Pinto, 2019).

### **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo se genera de manera planificada y programada antes de que se produzca una falla o avería en el motor. El objetivo principal es prevenir la aparición de fallas y maximizar el tiempo de vida del motor mediante la realización de tareas de inspección, limpieza, lubricación, reparación y reemplazo de componentes. El mantenimiento preventivo se basa en un calendario de mantenimiento preestablecido y en la experiencia previa del personal encargado del mantenimiento (Pinto, 2019).

### **Mantenimiento predictivo**

Se apoya en la supervisión y análisis constante del estado del motor, utilizando tecnologías avanzadas como sensores, análisis de vibraciones, termografía, entre otras. Su objetivo principal es detectar posibles fallas y programar el mantenimiento antes de que ocurran averías o detenciones no planificadas. Se basa en la obtención y análisis de datos para anticipar cuándo se presentará una falla o avería en el motor, lo que permite planificar el mantenimiento con antelación y evitar interrupciones no programadas. (Pinto, 2019).

#### **2.2.4. Importancia del mantenimiento en la minera**

Tiene gran importancia en la minera, ya que los equipos y maquinarias utilizadas en las operaciones mineras suelen ser costosos y críticos para el proceso productivo. Al no tener un mantenimiento adecuado puede generar fallas y paradas no planificadas que pueden resultar en pérdidas económicas significativas para la compañía minera (Marvin, 2021).

El mantenimiento preventivo y predictivo posibilita la identificación y solución de fallas antes de que se presenten, lo que contribuye a disminuir los costos de reparación y

minimizar el tiempo de inactividad. Además, un mantenimiento apropiado puede prolongar la vida útil de los equipos y maquinarias, reducir los gastos de operación y mejorar la seguridad en el ambiente laboral.

En cuanto a los motores eléctricos empleados en la industria minera, el mantenimiento correcto es primordial para asegurar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los motores, lo que disminuye el riesgo de fallas y detenciones no planificadas. El mantenimiento preventivo y predictivo también puede mejorar el rendimiento energético de los motores, lo que puede resultar en ahorros significativos en los costos de energía. El mantenimiento es esencial para garantizar la eficacia y rentabilidad de las operaciones mineras. La implementación de programas de mantenimiento adecuados puede ayudar a reducir los costos de operación, mejorar la seguridad en el ambiente laboral y prolongar la vida útil de los equipos y maquinarias utilizados en la industria minera.

#### **2.2.5. Motor eléctrico en la minería.**

En la minería es una pieza fundamental en la extracción de minerales y su posterior procesamiento. Estos motores son utilizados para alimentar maquinarias y equipos que realizan tareas como la perforación, el transporte de materiales y la ventilación de las minas. Es importante destacar que los motores eléctricos utilizados en la minería deben ser construidos para aguantar las condiciones extremas del ambiente minero, como el polvo, la humedad y las altas temperaturas. Además, su mantenimiento y reparación son claves para asegurar la continuidad operativa de la mina (Cañavi, 2019).

## **Funcionamiento y características de los motores eléctricos**

Se usan mayormente en la industria minera debido a su eficacia energética, bajo mantenimiento y capacidad para proporcionar un alto torque a bajas velocidades. Algunas de las tipologías y funciones de los motores eléctricos en la minería son:

### **1. Potencia**

Los motores eléctricos en la minería tienen una gran capacidad para impulsar equipos pesados y realizar tareas exigentes. En esta industria, se utilizan para mover camiones de extracción, cargadores frontales, excavadoras, molinos de bolas, trituradoras y bombas de agua, entre otros equipos. La potencia de estos motores varía desde unos pocos kW hasta varios MW, dependiendo del equipo que estén impulsando. Cada uno de estos equipos tiene diferentes requisitos de potencia y torque, por lo que se seleccionan los motores eléctricos en función de estos requisitos. (Coronel, 2019).

Además de la potencia, otros elementos que influyen en la elección del motor eléctrico incluyen la velocidad, el tipo de carga, la eficacia y el factor de servicio. En general, los motores en la minería se seleccionan cuidadosamente para garantizar que sean capaces de proporcionar la potencia y el torque necesarios para impulsar los equipos de manera segura y eficiente.

### **2. Eficiencia energética**

Los motores eléctricos son más efectivos que los motores de combustión interna, lo que puede reducir los costos de energía y disminuir la huella de carbono. La eficiencia energética es otra característica relevante en la industria minera. El rendimiento de un motor eléctrico se mide por su eficiencia, que se define como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. A mayor rendimiento de un motor eléctrico, menor será la cantidad de energía perdida en forma de calor y más eficiente será su funcionamiento. En la industria

minera, donde el consumo de energía es uno de los mayores gastos operativos, la eficiencia energética es un factor crucial. Al seleccionar motores eléctricos eficientes, las empresas mineras pueden reducir sus costos operativos y su impacto ambiental. Además, los motores eléctricos modernos suelen estar diseñados con materiales y tecnologías avanzadas que mejoran su eficiencia. Por ejemplo, algunos motores eléctricos utilizan imanes permanentes en lugar de bobinas de cobre para generar el campo magnético, lo que reduce las pérdidas por resistencia y mejora la eficiencia global del motor (Coronel, 2019).

### **3. Control de velocidad**

Otra característica importante de los motores eléctricos en la minería es su capacidad para controlar la velocidad de los equipos con precisión. Esto es especialmente importante en operaciones mineras donde se requiere una alta precisión y seguridad, como en el caso de las excavadoras y los cargadores frontales. Los motores eléctricos se pueden controlar mediante vareadores de frecuencia, estos son dispositivos que ajustan la frecuencia de la electricidad que alimenta el motor. Al cambiar la frecuencia, se puede controlar la velocidad del motor y, por lo tanto, la rapidez del equipo que está impulsando (Calcina, 2016).

El control de velocidad es importante en la minería porque permite que los equipos se operen a velocidades óptimas para la tarea que se está realizando. Por ejemplo, en el caso de una excavadora, se puede ajustar la velocidad del motor para adaptarse a diferentes tipos de suelo y reducir el desgaste del equipo. Además, el control de velocidad también puede mejorar la seguridad al permitir que los equipos se operen a velocidades más lentas en áreas donde se requiere una mayor precisión (Calcina, 2016).

El control de velocidad es una característica importante de los motores eléctricos en la minería porque permite una operación segura y eficiente de los equipos. Los vareadores

de frecuencia son un componente clave en el control de velocidad y permiten que los motores eléctricos se adapten a diferentes tareas y condiciones de trabajo (Calcina, 2016).

#### **4. Bajo mantenimiento**

En la minería también son conocidos por su bajo mantenimiento y larga vida útil. La razón es que los motores poseen menos componentes móviles en comparación con los motores de combustión interna, lo que implica que necesitan menos mantenimiento y tienen menos probabilidad de sufrir fallas. Además, los motores eléctricos modernos están diseñados con materiales y tecnologías avanzadas que mejoran su confiabilidad y reducen la necesidad de mantenimiento. Por ejemplo, algunos motores eléctricos utilizan rodamientos de buena calidad y sistemas de enfriamiento avanzados para disminuir el desgaste y prolongar la vida del motor (Coronel, 2019).

Una de las ventajas de los motores eléctricos en cuanto a mantenimiento es que no necesitan cambios de aceite u otras tareas de mantenimiento usuales en los motores de combustión interna. Esto se traduce en menores costos de mantenimiento y menor tiempo de inactividad debido a labores de mantenimiento. En general, los motores eléctricos en la minería son reconocidos por su confiabilidad y bajo mantenimiento, lo que los convierte en una opción atractiva para las empresas mineras que desean reducir sus costos operativos y mejorar la eficiencia. (Coronel, 2019).

#### **5. Fiabilidad**

La fiabilidad es una característica clave de los motores en la minería. Los motores son conocidos por su capacidad para trabajar durante largos tiempo sin problemas, lo que es especialmente importante en la industria minera, donde el tiempo de inactividad puede ser costoso y reducir la productividad. Los motores eléctricos modernos están diseñados con materiales y tecnologías avanzadas que mejoran su confiabilidad. Por ejemplo, algunos

motores eléctricos utilizan sistemas de enfriamiento avanzados que reducen la temperatura del motor y prolongan la vida de uso. Además, los motores eléctricos están diseñados para soportar condiciones ambientales extremas, como temperaturas extremadamente bajas o altas, vibraciones y polvo (De la Cuz, 2018).

Otra ventaja de los motores eléctricos en cuanto a confiabilidad es que son menos propensos a sufrir fallas por problemas mecánicos o de combustión que pueden afectar a los motores. Los motores eléctricos tienen menos piezas móviles y no necesitan combustión, lo que reduce la posibilidad de fallas mecánicas. Mayormente estos motores que usan electricidad modernos están fabricados con materiales y tecnologías avanzadas que mejoran su confiabilidad y reducen la probabilidad de fallas. Además, son menos propensos a fallar por problemas mecánicos o de combustión, lo que los convierte en una opción atractiva para las empresas mineras que buscan mejorar el funcionamiento y bajar los costos operativos. (De la Cuz, 2018).

#### **2.2.6. Tipos de motores eléctricos (corriente alterna y continua)**

Existen dos tipos principales de motores eléctricos, los de corriente alterna (AC) y los de corriente continua (DC).

##### **Motores de corriente alterna**

Son los más frecuentes en la industria minera. Estos funcionan con corriente alterna y se fragmentan en las siguientes categorías principales: motores asíncronos y motores síncronos.

##### **Motores asíncronos**

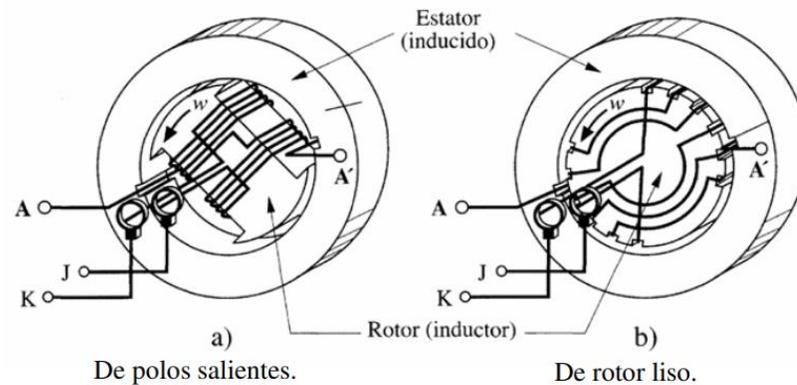
También conocidos como motores de inducción, son los más frecuentes y se utilizan para impulsar la mayoría de los equipos en la minería.

## Motores síncronos

Se usan en aplicaciones donde se requiere una mayor precisión, como en el caso de las bombas de agua.

*Figura 1*

Estructura de la Máquina síncrona monofásica



Nota: Representación esquemática de una máquina de dos polos. (Ibarra & Herrera, 2019)

### 2.2.7. Los motores de corriente continua

Los motores de corriente continua son dispositivos que convierten la energía eléctrica en movimiento mecánico mediante el uso de campos magnéticos y corriente eléctrica. Estos motores son ampliamente utilizados en diversos campos, desde juguetes hasta maquinaria pesada y vehículos eléctricos, y ofrecen beneficios como alta eficiencia, par de arranque elevado y precisión en el control de velocidad y torque. Aunque no son muy comunes en la industria minera, se emplean en algunas aplicaciones donde se requiere un control de velocidad más preciso. Estos motores funcionan con corriente continua y se emplean para impulsar equipos como molinos de bolas y trituradoras. (Luzardo, 2021).

### **2.2.8. Aplicaciones de los motores eléctricos en la minería**

Los motores eléctricos son utilizados en la minería para diversas aplicaciones, como el accionamiento de maquinaria pesada, la ventilación y el bombeo de agua.

#### **Accionamiento de maquinaria pesada:**

Se utilizan para impulsar una extensa variedad de maquinaria pesada en la minería, incluyendo camiones mineros, palas excavadoras, perforadoras, cargadores, entre otros. Proporcionan un valioso par de arranque y una excelente capacidad de control de velocidad, lo que los hace ideales para manejar cargas pesadas y el movimiento de grandes cantidades de material.

#### **Ventilación**

La ventilación es esencial en la minería subterránea para garantizar la salud de los trabajadores. Los motores eléctricos se utilizan para accionar los ventiladores que extraen el aire viciado y lo reemplazan con aire fresco del exterior. Estos motores deben ser capaces de funcionar continuamente durante muy extensos períodos de tiempo y en condiciones ambientales extremas.

#### **Bombeo de agua**

El agua es un problema común en las operaciones mineras, ya sea en forma de agua subterránea que debe ser drenada para permitir la excavación o como resultado del procesamiento del mineral. Los motores eléctricos se utilizan para accionar las bombas que sacan el agua de las minas o las plantas de procesamiento. Estos motores deben ser capaces de manejar grandes volúmenes de agua y funcionar en condiciones húmedas y corrosivas.

## Ventajas y Desventajas de los motores eléctricos utilizados en la Minería

A continuación, se explica en forma comparativa sobre las desventajas y ventajas que presentan los motores al ser utilizados en la minería.

Tabla 1  
Ventajas y Desventajas de uso de los motores eléctricos en la minería

Ventajas	Desventajas
La eficiencia energética de los motores eléctricos es mayor en comparación con otros tipos de motores, lo que implica que se necesita menos energía para realizar la misma cantidad de trabajo, lo que se traduce en un ahorro tanto de energía como de costos..	Costo inicial: Tienen un costo inicial más alto que otros tipos de motores.
Los motores eléctricos son una opción ideal para aplicaciones que necesitan un control exacto de la velocidad y el torque, ya que estos motores ofrecen un control preciso de estos parámetros.	Necesidad de infraestructura eléctrica: Los motores eléctricos requieren una infraestructura eléctrica adecuada para su funcionamiento.
Los motores eléctricos necesitan menos mantenimiento en comparación con otros tipos de motores, debido a que poseen menos piezas móviles y no requieren cambios de aceite o combustible.	Dependencia de la red eléctrica: Los motores eléctricos dependen de la red eléctrica para su funcionamiento, lo que puede ser un problema en áreas remotas o con una infraestructura eléctrica deficiente.
Reducción de emisiones: Los motores eléctricos son más seguros para los trabajadores y más amigables con el medio ambiente, ya que no emiten gases de escape.	Problemas de sobrecarga: Los motores eléctricos pueden experimentar problemas de sobrecarga si se utilizan en condiciones extremas o si están mal diseñados o seleccionados.

Nota: Las ventajas y desventajas de utilizar motores eléctricos en los procesos mineros. (Konffé & Lavayen, 2020).

### 2.2.9. Minería

Es la actividad monetaria que se dedica a la extracción de minerales y metales del suelo. La minería ha sido una actividad importante desde la época prehispanica, con la extracción de plata y oro por parte de las culturas indígenas. Durante la época colonial, la minería se convirtió en una actividad económica importante para España, con la explotación de plata y oro en varias regiones del país.

El interés por impulsar la minería en todas sus fases no es algo nuevo. En los últimos años del siglo XX, se intentó fomentar la actividad a través de acuerdos con empresas privadas, como sucedió con el acuerdo con la empresa South American Development Company - SADCO en la provincia de el Oro. Sin embargo, tras salir de la empresa, se

conformaron mineros artesanales que continúan con la extracción de recursos minerales hasta el día de hoy (Fontaine, 2020).

En la actualidad, la minería sigue siendo una actividad importante en Ecuador, con la extracción de minerales como el oro, cobre y el hierro. Sin embargo, también ha sido objeto de controversia debido a preocupaciones ambientales y sociales. El gobierno ecuatoriano ha implementado medidas para regular la actividad minera y garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Fontaine, 2020).

La minería consiste en extraer y aprovechar minerales con fines comerciales. En Ecuador, la minería aurífera ha sido una fuente de ingresos para muchas familias durante más de 100 años. La ley minera clasifica la minería en cuatro clases según los niveles de obtención diarios de una mina. Todas las formas de minería deben cumplir con las leyes que promueven el desarrollo sustentable y sostenible, La protección ambiental y la responsabilidad social. Con la nueva ley de minería y las regulaciones ambientales, se ha reducido la contaminación en el agua, el suelo y el aire. (Almeida, 2019).

#### **6.5.1 Minería Subterránea.**

En la industria minera, se pueden distinguir dos tipos de minería: la de roca blanda y la de roca dura. Los ingenieros de minas consideran que una roca es "blanda" si puede cortarse utilizando herramientas modernas sin necesidad de emplear explosivos durante el proceso de extracción. El carbón es la roca blanda más común, pero también lo son la sal común, la potasa, la bauxita y otros minerales. Por otro lado, la minería de roca dura utiliza explosivos como método de extracción (Rábano & Mata-Perelló, 2006).

#### **6.6 Castilletes.**

En general, el Castillete está compuesto por una estructura metálica con cuatro columnas verticales que sostienen las poleas en su parte superior, y dos tornapuntas que se

enlazan entre sí para proporcionar estabilidad y resistencia. En resumen, los castilletes son armazones hechos de diferentes materiales y formas que se utilizan para sostener algo. (Arapa Solano, 2018).

### **6.7 Metodología de Análisis de Criticidad.**

En esta tesis se aplicará la metodología del Análisis de Criticidad, la cual es una técnica fácil de manejar y comprender que establece rangos referentes para representar las probabilidades de ocurrencia de fallas y sus consecuencias asociadas. Ambas magnitudes, frecuencias de fallas y sus consecuencias, se enfocan en la mitigación de riesgos de falla en los equipos. Además, esta herramienta es útil para examinar errores y prevenir su repetición en el futuro, así como para identificar desaciertos en la planificación y posibles imprevistos que puedan llevar a quiebras e inactividad en los equipos (Tandalla Guanoquiza, 2017).

#### **6.7.1 Equipos críticos.**

Se pueden considerar equipos críticos aquellos que, en caso de parada o fallo, tienen un impacto significativo en los resultados de la empresa. Esto puede resultar en pérdidas de producción, insatisfacción del cliente, tiempos muertos, accidentes, daños al producto, entre otras consecuencias (Martinez Calderon, 2009).

#### **6.7.2 Equipos importantes.**

Se pueden clasificar como equipos no críticos aquellos que, aunque su fallo o avería afecte a la empresa, sus consecuencias son manejables. Estos equipos tienen un impacto directo en la línea estratégica de la empresa y pueden resultar en paradas parciales de líneas de producción, retrasos en los tiempos de producción, incidentes, entre otros. (Carpio, 2023).

### **6.7.3 Equipos prescindibles.**

Se puede describir como aquellos que tienen un impacto mínimo en los resultados, lo que significa que solo causan una pequeña incomodidad, un pequeño cambio sin mucha importancia o un pequeño costo adicional. (Carpio, 2023).

## Capítulo 3

### 3.1 Metodología de la Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, en el cual los datos a recolectar son numéricos y están relacionados con los motores eléctricos del castillete de extracción en la compañía. El objetivo de la tesis es de aplicación práctica, ya que se llevará la aplicación de la metodología de Análisis de Criticidad, y, sobre todo un análisis de modos y efectos de falla con el fin de mejorar la confiabilidad de los activos críticos de la empresa.

El alcance según ( Galarza, 2020) es descriptiva ya que se utilizarán los principios esenciales del mantenimiento mecánico, eléctrico y correctivos en los procesos críticos de la compañía. La investigación será semestral, pues se recolectará información en diferentes momentos para deducir cambios, consecuencias y determinantes en el mantenimiento de los motores del castillete de extracción.

La metodología que describe el procedimiento que se siguió para desarrollar el AMEF en la Compañía Minera "Bursal S.A. En primer lugar, se identificó y clasificó cada motor que se encuentra en los puntos de trabajo, y se codificaron las actividades correspondientes a cada equipo. Posteriormente, se recopiló información sobre los motores utilizados en los principales puntos de trabajo de la Compañía Minera "Bursal S.A.

Se generó un análisis funcional de la información obtenida y se identificaron los Modos de Falla para elaborar un análisis de criticidad. Luego, se recopilaron los modos y efectos de fallas y se clasificaron los eventos por modo de falla para realizar el análisis NPR en los equipos de Compañía Minera "Bursal S.A.". Esta metodología se utilizó como base para el desarrollo de indicadores que ayuden a la toma de decisiones en la empresa.

La metodología del proceso consta de tres objetivos principales. En primer lugar, se busca describir los procesos de mantenimiento en los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A. En segundo lugar, se aplicará la metodología de Análisis de criticidad a los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción. Por último, se expondrá un plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A.

Para lograr estos objetivos, se llevarán a cabo actividades como la revisión y análisis detallado de los procesos de mantenimiento actuales, la caracterización de los equipos críticos para el proceso de extracción, el análisis detallado de la criticidad de los motores eléctricos, la identificación de las fallas más comunes y sus consecuencias, la definición de las actividades y frecuencias para el mantenimiento preventivo, la definición de los procedimientos para el mantenimiento correctivo y recursos necesarios para llevar a cabo el plan de gestión, entre otras, como se describe en la siguiente tabla de forma organizada:

Tabla 2  
Metodología utilizada para el desarrollo de la tesis

Metodología del Proceso		
Etapas	Objetivos	Tareas a desarrollar
1	Describir los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A	Análisis de los procesos de mantenimiento actuales
		Identificación de los procedimientos utilizados
		Descripción detallada de los procesos
2	Aplicar la metodología de Análisis de criticidad a los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A	Identificación de los equipos críticos para el proceso de extracción
		Análisis detallado de la criticidad de los motores
		Identificación de las fallas más comunes y sus consecuencias.
		Descripción de los resultados del análisis de criticidad
		Aplicación de AMEF en base a los datos recabados
3	Proponer la implementación de la gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A	Utilización de los resultados del análisis de criticidad
		Definición de las actividades y frecuencias para el mantenimiento preventivo
		Definición de los procedimientos para el mantenimiento correctivo
		Descripción detallada del plan de gestión propuesto

Nota: descripción de actividades para el logro de los objetivos. Fuente: Autor

### 3.2. La Empresa.

Es una empresa minera y agrícola, dedicada como actividad principal al negocio de la exploración, explotación y obtención del Oro y otros subproductos, Reconoce que, para el acatamiento de los objetivos del negocio y EL agrado de sus clientes internos y externos, la seguridad, calidad y el cuidado debido del medio ambiente son partes fundamentales de la responsabilidad social de la empresa. Por tal razón, se compromete a disponer los recursos con el fin de:

- Se propone implementar una estrategia de responsabilidad social empresarial que garantice la calidad de los procesos, la protección del medio ambiente, la integridad física, la salud y calidad de vida de los trabajadores y colaboradores internos, así como de aquellos trabajadores indirectos que puedan verse afectados por las operaciones de la empresa.
- Garantizar la continuidad del negocio cumpliendo con las leyes aplicables y los compromisos adquiridos con las autoridades correspondientes.

- Fomentar el desarrollo de las habilidades de los trabajadores, enfocadas en alcanzar los objetivos y metas establecidos en los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo.
- Reconocer, valorar y regular los efectos ambientales, peligros y riesgos de las actividades y procesos de la empresa, con el objetivo de prevenir la contaminación ambiental, los daños físicos a los bienes y la salud de las personas.
- Comunicar esta política a los trabajadores, clientes, autoridades, comunidad y otras partes involucradas.
- Informar a los trabajadores sobre los riesgos presentes en cada área de trabajo y proporcionar los recursos necesarios, tanto humanos como materiales y económicos, para implementar y ejecutar programas de gestión eficientes, responsables y rentables. Mantener sistemas auditables y trabajar en un marco de acción preventiva y mejora continua.

### 3.2.1 Ubicación Geográfica.

La compañía minera se encuentra ubicada en la Parroquia Loma de Franco, Cantón Pasaje, Provincia de El Oro.

Figura 2  
Ubicación geográfica de la Empresa



Nota: Ubicación de la Compañía minera y agrícola BURSAL S.A Fuente: Autor

### **3.2.2. Verificación física del castillete principal de extracción y el taller de mantenimiento eléctrico.**

En este apartado se describirá la distribución y la estructuración del espacio físico del castillete principal de extracción y del taller de mantenimiento eléctrico; en el castillete principal de extracción, se encuentran puestos en marcha los motores eléctricos, los cuales están involucrados directamente en el ciclo productivo de la empresa. El taller eléctrico brinda el servicio de mantenimiento eléctrico para todos los equipos y herramientas eléctricas. Para esto se realizó una visita técnica a las instalaciones del taller, por lo cual se describe lo siguiente:

### **3.2.3. Verificación general del castillete principal de extracción y el taller de mantenimiento eléctrico.**

La compañía minera, dentro de sus procesos productivos de explotación y extracción de material aurífero, cuenta con un castillete principal de extracción ubicado en el frente de trabajo “Sacachispas 100”, El objeto descrito se compone principalmente de una estructura mecánica cónica con cuatro pies derechos reforzados que sostienen las poleas en la parte superior, y dos tornapuntas que están interconectados para proporcionar estabilidad y resistencia. Para la correcta operación del castillete de extracción es necesario ayuda del torque y la potencia, que es proporcionado por los motores y motorreductores eléctricos, los cuales están puestos en marcha en puntos estratégicos dentro de la estructura del castillete, acorde a la máquina que necesite acoplarse.

Actualmente el castillete principal se encuentra en óptimas condiciones de operación, toda su estructura se encuentra libre de corrosión u oxidación. El mantenimiento que recibe esta estructura mecánica, es un mantenimiento programado (preventivo) con fin de

precautelar la seguridad de sus trabajadores y sobre todo las paradas intempestivas de producción de la compañía.

Para que los motores y todo tipo de herramienta eléctrica, se encuentre en óptimas condiciones de uso, la Compañía minera Bursal S.A, cuenta con el departamento de mantenimiento eléctrico que tiene por objetivo brindar el servicio de mantenimiento eléctrico para todos los equipos y herramientas eléctricas, cabe mencionar que dicho departamento es propio de la empresa.

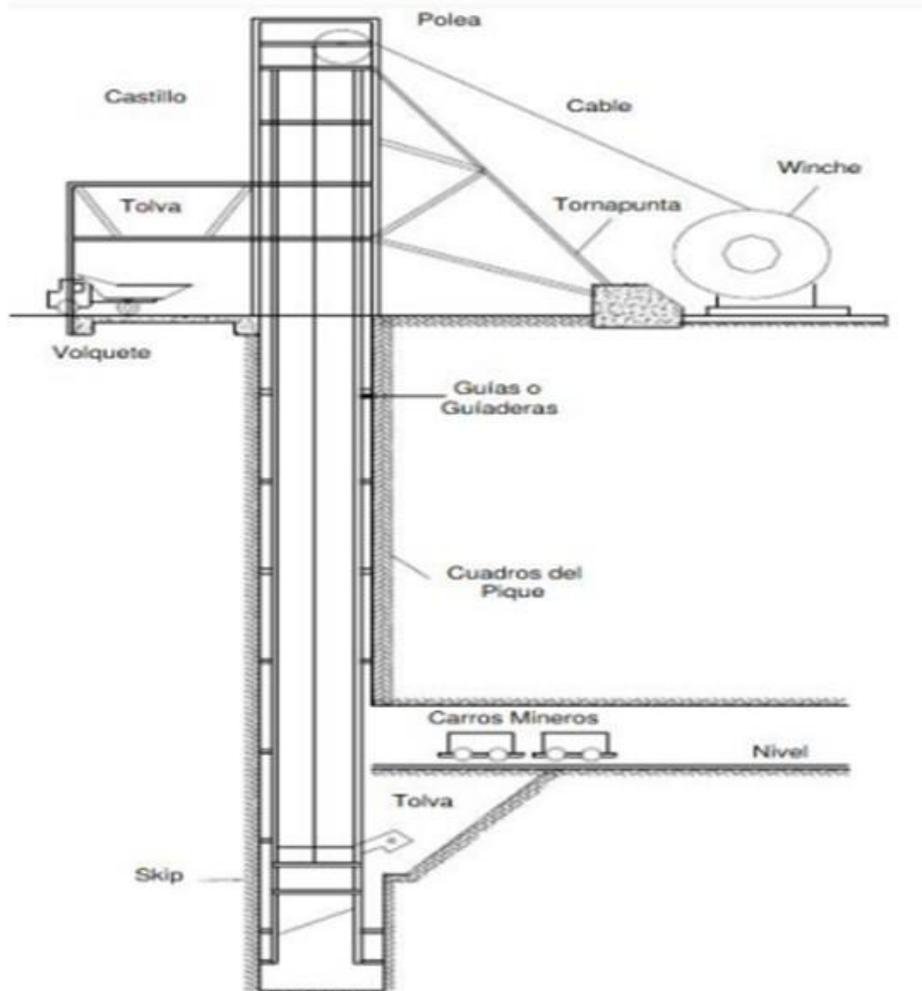
El espacio físico del taller de mantenimiento eléctrico, no posee una estructura adecuada para poder cumplir con sus labores, Este taller consta de área de 230 m<sup>2</sup>, por la parte posterior del taller cuenta con un cerramiento de malla galvanizada, en la parte lateral derecha; su construcción en parte es de malla galvanizada y pared de bloque con revestimiento de cemento, de la parte lateral izquierda está construida de bloque con revestimiento de cemento, en la parte frontal del taller está constituida de una puerta corrediza de malla cuadrangular de 10x10 cm, el piso del taller es cementado no cuenta con ningún acabado. Este taller eléctrico está dotado de todas las herramientas y máquinas necesarias para brindar con un buen servicio.

Con respecto a las tareas de mantenimiento, se pudo investigar que todos los días de la semana hay demanda de motores que necesitan mantenimiento correctivo, ya sea que provengan del castillete principal o de los distintos frentes de trabajo dispersos alrededor de toda la compañía minera, por lo tanto, existe una demanda diaria de trabajos de mantenimiento eléctrico, a esto también sumando las operaciones básicas de mantenimiento: verificación de la conexión de acometidas, limpieza de la parte externa de los motores, ajuste de pernos, medición de consumo energético, etc. Este tipo de situaciones es a lo que siempre están expuestos los motores, debido a su gran carga de trabajo.

Las tareas de mantenimiento que realizan con mayor frecuencia por parte del departamento de mantenimiento eléctrico; es el mantenimiento de los motores que trabajan ya sea, a gran revolución, indistintamente de su ubicación (exterior mina, interior mina), para nuestro estudio de investigación serán tomados en cuenta los motores del castillete principal de extracción ubicados en exterior mina.

### 3.2.4. Plano del castillete principal de extracción.

Figura 3  
Planos del Castillete Principal de extracción.



Nota: planos de la mina. Fuente: Autor

## Castillete principal de extracción

Figura 4  
Castillete Principal de extracción.



Nota: Fotografía del castillete principal de extracción. Fuente: Autor

### 3.2.5. Taller de mantenimiento eléctrico.

El taller eléctrico de la compañía minera Bursal S.A, está ubicado geográficamente en una zona plana y amplia, su ubicación se encuentra junto al taller de mantenimiento

mecánico, lo cual permite trabajar conjuntamente entre estos departamentos. Además, el taller eléctrico cuenta con el espacio necesario para dar mantenimiento a cualquier tipo de herramienta o maquinaria eléctrica.

Figura 5  
Taller Eléctrico



Nota: Espacio físico del taller eléctrico. Fuente: Autor

### 3.2.6. Señalización

Es de importancia para este estudio tomar en cuenta la señalización respectiva del castillete principal y del taller eléctrico, a veces por falta de señalización se originan accidentes o incidentes afectando a la salud de los trabajadores. Por lo cual la compañía minera ha priorizado esta necesidad.

Figura 6  
Revisión de señalizaciones.



Nota: Supervisión de las señalizaciones de la mina. Fuente: Autor

Luego de hacer una verificación técnica se determina que el castillete principal y taller de mantenimiento eléctrico, cuentan con todas las señaléticas de aviso, de prohibición, de obligación de equipos de salvamento, lucha contra incendios, o socorro y señalética complementaria de riesgo permanente. Además, cuenta con zona de manejo de materiales (sólidos y líquidos), etc.

### 3.2.7 Oficinas

El departamento de mantenimiento eléctrico posee su propia oficina, donde se encuentra el jefe del departamento, el cual es encargado de planificar, coordinar y organizar junto con los técnicos eléctricos, los mantenimientos correctivos reportados, dar instrucciones de mantenimiento y realizar la gestión de los repuestos necesarios con bodega. En esta oficina también se realizan las reuniones, capacitaciones técnicas a los técnicos eléctricos.

Figura 7  
Area de Oficinas



Nota: Departamento de mantenimiento eléctrico. Fuente: Autor

### 3.2.8 Bodega de repuestos

En la siguiente ilustración, se observa cómo se lleva el almacenamiento de los repuestos, equipos, herramientas y equipos, además, se puede divisar en la ilustración en algunas perchas la mala ubicación de los elementos eléctricos. Este desorden repercute en los sobretiempos de búsqueda y sobre todo la presentación del lugar.

Figura 8  
Bodega de Repuestos



Nota: zona de Bodegas. Fuente: Autor

Figura 9  
Bodega de Repuestos



Nota: Zona de Bodegas. Fuente: Autor

### 3.2.9. Descripción de tareas y procesamiento de mantenimiento correctivo de motores.

#### **Jefatura de operaciones.**

- Recepción de reportes de interior y superficie.
- Coordinación de trabajos a realizar.
- Entrega de informe mensual a jefatura de operaciones.

#### **Supervisor de mantenimiento eléctrico.**

- Recepción de trabajos.
- Disposición de técnicos eléctricos en el taller.
- Programar las tareas.

#### **Técnicos electricistas**

- Asignación de tareas.
- Verificación si hay material disponible en taller sino orden para bodega.
- Autorización de trabajo interior mina.
- Autorización de trabajo superficie.

- Realizan la tarea.
- Realizan informe sobre la tarea realizada.

### **Técnicos Mantenimiento**

- Asignación de tareas.
- Verificación si hay material disponible en taller sino orden para bodega.
- Autorización de trabajo interior mina.
- Autorización de trabajo superficie.
- Realizan la tarea.
- Realizan informe sobre la tarea realizada.

### 3.2.10 Diagrama de procesos de mantenimiento correctivo de los motores eléctricos.

Figura 10  
Diagrama de procesos de mantenimiento correctivo



Nota: Diagrama de procesos de mantenimiento correctivo de los motores eléctricos. Fuente: Autor

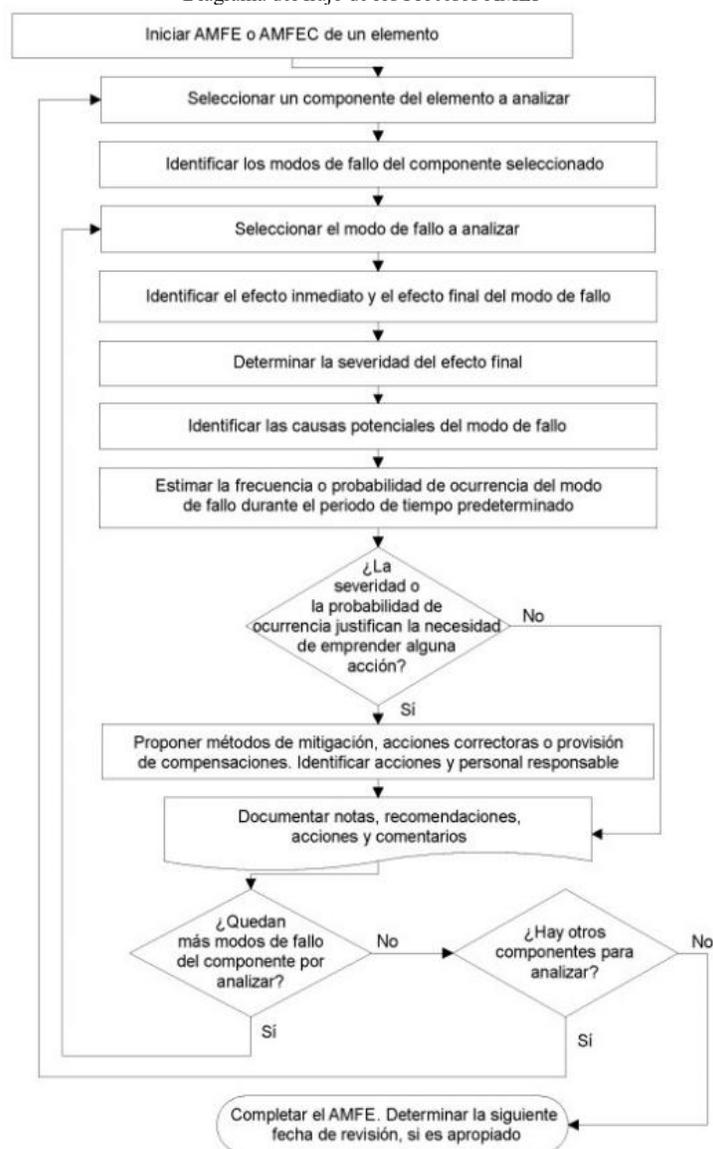
### 3.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

La metodología para introducir el mantenimiento centrado en la confiabilidad constará de tres etapas principales:

**Etapa 1** - Control de la documentación.

**Etapa 2** - Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF)

Figura 11  
Diagrama del flujo de los Procesos AMEF



Nota: Este diagrama indica como se realiza el análisis. Autor: (UNE, 2008)

### **Etapa 3 - Retroalimentación continua**

#### **3.3.1. Etapa 1 Control de la documentación**

En esta etapa se lleva a cabo la preparación, revisión y aprobación de documentos con el fin de asegurar que se encuentren actualizados y disponibles para los usuarios que cuentan con autorización.

Para realizar el análisis de los equipos prioritarios, es necesario recopilar todo el conocimiento explícito relacionado con ellos. La recopilación de datos permitirá llevar a cabo el AMEF. Es útil analizar los expedientes de diseño, mantenimiento y operación para llevar un control de la documentación, especialmente en caso de averías correctivas complejas.

Para recopilar toda la información, se deben seguir las siguientes secuencias:

- Selección del equipo de trabajo.
- Recolectar la información.
- Organización de la información en tablas.

Es necesario y primordial hacer una revisión de los motores y sus especificaciones técnicas las cuales se visualiza a continuación:

#### **3.3.2. Aplicación de AMFE en los motores de la Compañía Minera "Bursal S.A." para garantizar su disponibilidad.**

Utilizando la documentación recopilada y la priorización de elementos por el equipo de trabajo, se realiza el análisis de modos y efectos de falla. Este análisis se basa en un buen diseño de instrucciones y la experiencia de los operadores y técnicos de mantenimiento.

### 3.3.2.1. Formación del equipo de trabajo

El equipo responsable de llevar a cabo la implementación del MCC (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) está compuesto por el jefe de Operaciones, el supervisor de mantenimiento eléctrico y los técnicos eléctricos y de mantenimiento de los equipos. Todos los miembros del equipo deben participar en todo el proceso para garantizar que la propuesta de mejora sea exitosa. En la figura que se presenta a continuación, se detallan los integrantes del equipo de trabajo encargado de la implementación.



### 3.3.2.2 Identifica el proceso o producto a analizar

Selecciona el proceso o producto que deseas analizar.

**Identificación del número de motores eléctricos en el castillete principal de extracción.**

Tabla 3  
Formato de Fichas Técnicas Motor SEW Eurodrive

	<b>Ficha Técnica Equipo</b>	Motor
		SEW EURODRIVE
		Código
		MT005
<b>Especificaciones Técnicas</b>		
Ubicación	Winche Principal	
Marca	SEW EURODRIVE	
Modelo	DRE225S4BE32HR/FG/2W	
Año de Fabricación...	1985	
País de Origen	Alemania	
Proveedor	SEW-EURODRIVE Latino América	
Peso	80 kg	
Voltaje	380-480V AC, trifásica, con una frecuencia de 50 o 60 Hz.	
Potencia	50 hp	
Dimensión	Diámetro del eje: 55 mm; Longitud del eje: 110 mm; Altura del motor (con ventilador): 622 mm; Ancho del motor: 475 mm; Profundidad del motor: 365 mm;	
Frecuencia		



Nota: Ficha técnica Equipo MT005. Fuente: Autor

Tabla 4  
Formato de Fichas Técnicas Motor Siemens

	<b>Ficha Técnica Equipo</b>		Motor
			SIEMENS
			Código
			MT006
<b>Especificaciones Técnicas</b>			
Ubicación	TRITURADOR		
Marca	SIEMENS		
Modelo	1LE2225-2DA11-6AA3		
Año de Fabricación...	...2011		
País de Origen	Alemania		
Proveedor	SIEMENS		
Peso	63 kg		
Voltaje	Tensión nominal: 400 V Corriente nominal: 140 A		
Potencia	25 hp		
Dimensión	Diámetro del eje: 65 mm; Longitud del eje: 140 mm; Altura del motor: 740 mm; Ancho del motor: 530 mm; Profundidad del motor: 445 mm		
Frecuencia	60 Hz		



Nota: Ficha técnica Equipo MT006. Fuente: Autor

Tabla 5  
Formato de Fichas Técnicas Motor ABB Motors

	<b>Ficha Técnica Equipo</b>	Motor
		ABB Motors
		Código
		MT007
Especificaciones Técnicas		
Ubicación	Zaranda	
Marca	ABB Motors	
Modelo	M2QA112L4A	
Año de Fabricación...	...2005	
País de Origen	Suiza	
Proveedor	ABB Latino América	
Peso	50 Kg	
Voltaje	Tensión nominal: 400 V	
	Corriente nominal: 9.4 A	
Potencia	7.5 hp	
Dimensión	Diámetro del eje: 28 mm; Longitud del eje: 60 mm; Altura del motor: 290 mm Ancho del motor: 200 mm; Profundidad del motor: 200 mm	
Frecuencia	60 Hz	



Nota: Ficha técnica Equipo MT007. Fuente: Autor

Tabla 6  
Formato de Fichas Técnicas Motobomba Pedrollo

	<b>Ficha Técnica Equipo</b>	Motor
		PEDROLLO
		Código
		MT008
<b>Especificaciones Técnicas</b>		
Ubicación	Buzon principal	
Marca	PEDROLLO	
Modelo	CP 660	
Año de Fabricación...	...2005	
País de Origen	Italia	
Proveedor	Ecuaimco	
Peso	10 Kg	
Voltaje	Tensión nominal: 220/400 V	
Potencia	Corriente nominal: 5.9/3.2 Amp	
	2 hp	
Dimensión	Diámetro del eje: 28 mm; Longitud del eje: 60 mm; Altura del motor: 290 mm Ancho del motor: 200 mm; Profundidad del motor: 200 mm	
Frecuencia	60 Hz	

Nota: Ficha técnica Equipo MT008. Fuente: Autor

Tabla 7  
Formato de Fichas Técnicas Motor ABB Motors

	<b>Ficha Técnica Equipo</b>		Motor
			ABB Motors
			Código
			MT009
<b>Especificaciones Técnicas</b>			
Ubicación	Piscina principal		
Marca	ABB Motors		
Modelo	M2QA112S2B		
Año de Fabricación...	...2005		
País de Origen	Suiza		
Proveedor	ABB Latino América		
Peso	46 Kg		
	Tensión nominal: 220-380-460 v		
Voltaje	Corriente nominal: 20.5-11.9-10.3 Amp		
Potencia	10 hp		
	Diámetro del eje: 28 mm; Longitud del eje: 60 mm; Altura del motor: 290 mm		
	Ancho del motor: 200 mm; Profundidad del motor: 200 mm		
Dimensión			
Frecuencia	60 Hz		



Nota: Ficha técnica Equipo MT009. Fuente: Autor

Tabla 8  
Inventario de motores

Marca	SEW EURODRIVE	SIEMENS	ABB Motors	PEDROLLO	ABB Motors
Modelo	DRE225S4BE32HR/FG/2W	1LE2225-2DA11-6AA3	M2QA112L4A	CP 660	M2QA112S2B
Potencia Nominal	50 hp	25 hp	7.5 hp	2 hp	10 hp
Corriente Nominal	119/59 Amp	58/29 Amp	20.5-11.9-10.3 Amp	5.9/3.2 Amp	20.5-11.9-10.3 Amp
Tensión Nominal	230/460 v	230/460 v	220-380-460 v	220/440 v	220-380-460 v
Fases	1	1	1	1	1
Eficiencia Energética	93.00%	91.70%	82.00%	90.30%	92.00%
Factor de Potencia	0.84	0.88	0.82	0.88	0.89
Velocidad Nominal	300-1800 rpm	3525 rpm	1730 rpm	3450 rpm	3520 rpm
Frecuencia Nominal	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Grado de Protección	IP54TEFC	IE3	IP55	IP 52	IP55
Peso	80 kg	63 kg	50 kg	10 kg	46 kg
Ubicación	Winche Principal	Trituradora	Zaranda	Motobomba de buzón Principal	Motobomba de piscina principal

Nota: Comparación de Inventariado de motores en base a las especificaciones Técnicas. Fuente: Autor

Luego de hacer una visita técnica al castillete principal de extracción, se pudo verificar que en el castillete existen 5 motores puestos en marcha, los mismos que están situados en distintos puntos dentro del castillete, por ejemplo: en el winche principal, zaranda, la trituradora, banda transportadora y bombas de agua.

Tabla 9  
*Herramientas y equipos utilizados en el taller eléctrico.*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MARCA	ESTADO		
			BUENO	REGULAR	MALO
7	El multímetro Fluke se utiliza para medir diferentes parámetros eléctricos, como voltaje, corriente y resistencia, en circuitos eléctricos y electrónicos.	Fluke	X		
1	El Medidor de aislamiento Insulation Tester 1507 se utiliza para medir la resistencia del aislamiento en cables, motores, transformadores y otros equipos eléctricos.	Insulation Taster 1507	X		
1	El medidor de media tensión TOP TRONIC THSHP se utiliza para medir la tensión en circuitos de media tensión. Para usarlo, primero se debe conectar el medidor al circuito y luego encenderlo. Después, se puede leer la medición en la pantalla del dispositivo.	TOP TRONIC THSHP	X		
4	Los guantes media tensión Catum CG-2 son utilizados para proteger a los trabajadores eléctricos de descargas eléctricas de hasta 17.5 kV.	CATUM CG-2	X		
1	Medidor de media tensión. Un probador de fase de oportunidad es una herramienta utilizada para determinar si dos o más fuentes de alimentación eléctrica están en fase. Se utiliza comúnmente en la industria eléctrica para garantizar que los sistemas eléctricos estén funcionando correctamente y sean seguros.	CHANCE PHASING TESTER	X		
1	La etiquetadora BRADY BMP 21-PLUS se utiliza para imprimir etiquetas duraderas y personalizadas para identificar cables, alambres, paneles eléctricos, equipos y otros objetos en entornos industriales y de oficina.	BRADY BMP 21-PLUS	X		
7	Los Playos Klein Tools son herramientas de corte que se utilizan para cortar alambres y cables en trabajos eléctricos y de construcción.	Klein Tools	X		
7 (conjuntos)	Los desarmadores planos y estrella Fluke se usan para apretar y aflojar tornillos con cabeza plana o estrella en equipos electrónicos y eléctricos.	Fluker		X	

Nota: Inventario de herramientas y equipos del taller. Fuente: Autor

### 3.3.2.3 División de los componentes del producto

Tabla 10  
Componente y fallas recurrentes

Elemento	Fallo
Carcasa	Grietas, corrosión, deformación
Estator	Cortocircuito, falla en las bobinas,
Rotor	Desbalance, falla en los rodamientos,
Cojinetes	falta de lubricación, contaminación
Eje	Deformación, rotura
Ventilador	Bloqueo, falla en el motor, obstrucción
Conexiones eléctricas	Cortocircuito, falla en los terminales, sobrecalentamiento

Nota: detalles de los componentes principales de los motores y su fallos recurrentes. Fuente: Autor

### 3.3.2.4 Identificación de los modos de falla o Análisis de parada de motores

Actualmente no se cumplen los programas de operaciones debido a los distintos problemas que se presentan en las instalaciones. Estos retrasos que existen son registrados por el personal encargado del área en tablas de Excel a continuación, se describe la tabla general de los tipos de fallas presentadas por los motores, la frecuencia de daños de forma generalizada y las horas de parada de la misma, para luego seleccionar un motor la cual servirá como elemento para crear el estudio y aplicación del AMFE.

Tabla 11  
Priorización del motor MT005 en base a las fallas

Ref. Elemento	Código del fallo	Fallas	% frecuencia de daño	Horas de Parada
MT005	MT005F001	Sobrecalentamiento Estator	4	1.26
MT005	MT005F002	Sobrecalentamiento Rotor	6	1.88
MT005	MT005F003	Sobrecalentamiento Conexiones Eléctricas	6	1.88
MT005	MT005F004	Desgaste de los rodamientos	6	1.88
MT005	MT005F005	Desgaste de rodamientos	6	1.88
MT005	MT005F006	Problemas en el sistema de enfriamiento	8	2.5
MT005	MT005F007	Corrosión en las partes metálicas	5	1.56
MT005	MT005F008	Fallas en el sistema eléctrico	1	0.32
MT005	MT005F009	Problemas en el arranque y parada del motor.	3	0.94
MT005	MT005F010	Problemas en el sistema de lubricación	5	1.56
MT005	MT005F011	Desbalanceo del rotor	6	1.88
MT005	MT005F012	Problemas en el aislamiento eléctrico	5	1.56
MT005	MT005F013	Desgaste o rotura del estator o rotor	3	0.94
MT005	MT005F014	Problemas en el sistema de control y protección	3	0.94
MT005	MT005F015	Daños en los cables de alimentación o en las conexiones eléctricas.	3	0.94
MT005	MT005F016	Grieta de la carcasa	3	0.94
MT005	MT005F017	Corrosión de la carcasa	7	2.2
MT005	MT005F018	Deformación de la carcasa	2	0.62
MT005	MT005F019	Cortocircuito estator	3	0.94
MT005	MT005F020	Falla en las bobinas	2	0.62
MT005	MT005F021	Oscilación del rotor	5	1.56
MT005	MT005F022	Falla en los imanes	1	0.32
MT005	MT005F023	Deformación de los ejes	3	0.94
MT005	MT005F024	Rotura de ejes	2	0.62
MT005	MT005F025	Bloqueo Ventilador	2	0.62
Total			100	31.3

Nota: Priorización del motor MT005 en base a las fallas. Fuente: Autor

Este registro sirvió para calcular los siguientes datos:

**Tiempo medio entre fallas**

$$MTBF = (\text{Tiempo total de operación} / \text{Número de fallas})$$

**Tiempo Promedio de reparación**

$$MTTR = (\text{Tiempo total de fallas} / \text{Número de fallas})$$

**Disponibilidad:**

$$D(t) = (MTBF / (MTBF + MTTR)) * 100\%$$

Dónde:

D(t) = disponibilidad (%). MTBF=tiempo medio entre fallas (Hrs). 18 MTTR=tiempo medio para reparar (Hrs).

Tabla 12  
Equivalencia de días, semanas o meses a hora

Valor	Equivalencia (Horas)
1 Día	8
10 Días	80
1 Semana	56
2 Semanas	112
1 Mes	224
3 Meses	672
6 Meses	1344
1 Año	2688

Nota: Indicadores de las equivalencias de los valores estimados en tiempo de trabajo. Fuente: Autor

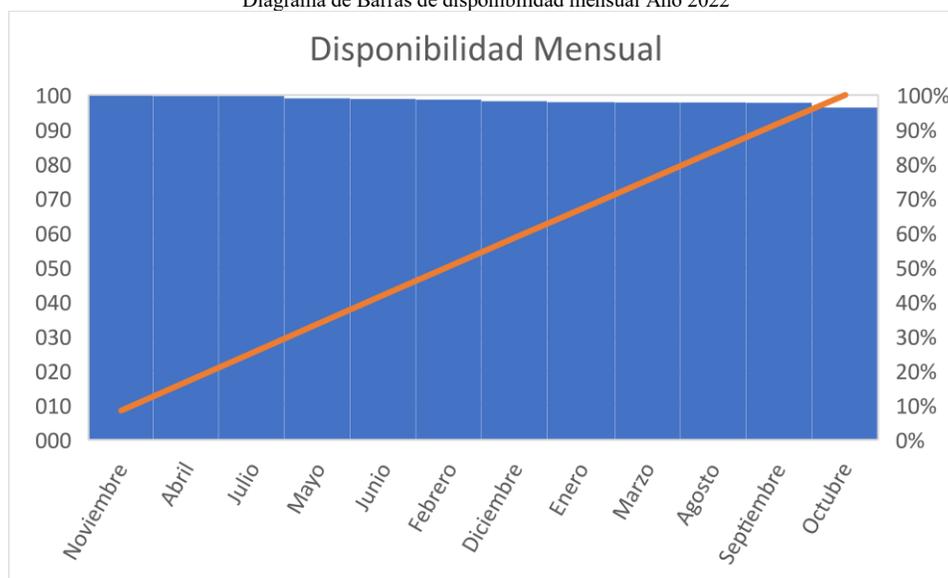
Tabla 13  
Disponibilidad del Motor MT005 en la Compañía Minera "Bursal S.A." Año 2022

Meses	Días de Producción	Horas Disponibles	Frecuencia de Fallas	Horas de Paradas	Horas de Producción	MTBF (Hrs / Fallas)	MTTR (Hrs/Fallas)	MTBF/(MTBF+MTTR)
Enero	20	160	6	3.36	156.64	26.11	0.56	97.90
Febrero	19	152	5	2	150	30.00	0.40	98.68
Marzo	21	168	5	3.66	164.34	32.87	0.73	97.82
Abril	21	168	5	0.6	167.4	33.48	0.12	99.64
Mayo	22	176	4	1.76	174.24	43.56	0.44	99.00
Junio	20	160	6	1.8	158.2	26.37	0.30	98.88
Julio	21	168	5	0.6	167.4	33.48	0.12	99.64
Agosto	22	176	5	3.86	172.14	34.43	0.77	97.81
Septiembre	22	176	5	3.94	172.06	34.41	0.79	97.76
Octubre	22	176	5	6.4	169.6	33.92	1.28	96.36
Noviembre	21	168	5	0.4	167.6	33.52	0.08	99.76
Diciembre	20	160	6	2.94	157.06	26.18	0.49	98.16
Total	251	2008	62	31.32	1976.68	388.32	6.08	98.45

Nota: esta tabla se representan los cálculos de la disponibilidad de los motores en la empresa Compañía Minera "Bursal S.A.". Fuente: Autor

La gráfica siguiente muestra la variación mensual en la disponibilidad de los motores, permitiendo identificar qué mes ha presentado mayores dificultades para cumplir con los planes de actividades.

Figura 13  
Diagrama de Barras de disponibilidad mensual Año 2022

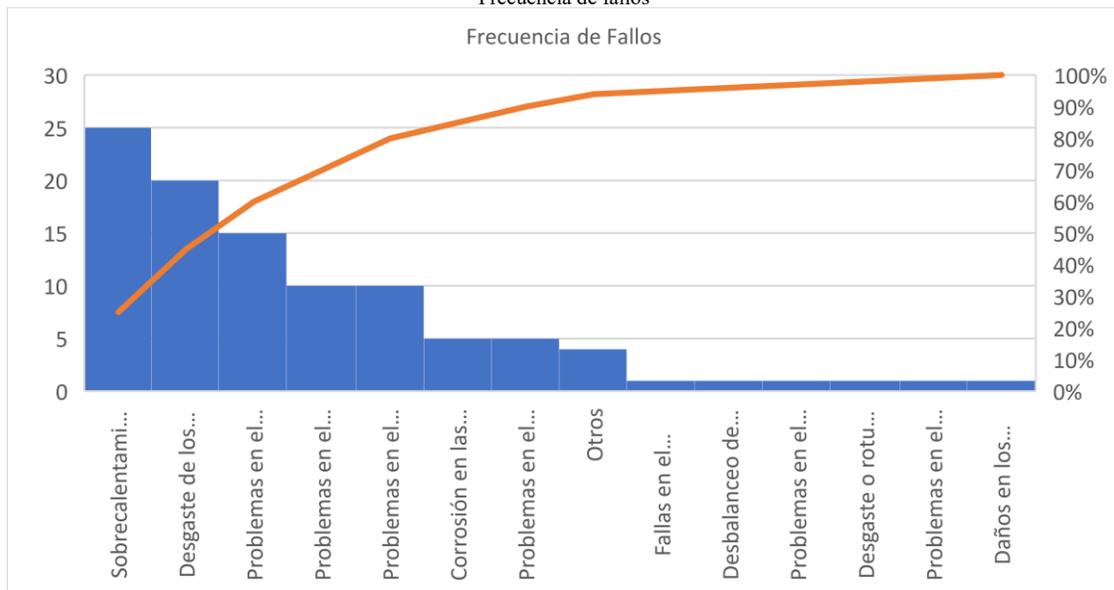


Nota: presentación de disponibilidad por mes en orden decreciente y en base al año 2022. Fuente: Autor.

Se puede observar que en el mes Octubre la disponibilidad fue del 96.36% lo cual presento uno de los desafíos más grandes del equipo técnico, considerando el mes de noviembre con un 99.76% como el mes con más disponibilidad de los motores.

Al revisar los registros, se logró identificar las causas de la parada de los motores en el año 2022, así como el tiempo que permanecieron en ese estado. Con esta información, se creó un nuevo registro que permitió generar el siguiente diagrama de Pareto. Este diagrama muestra el mayor tiempo de parada de los motores y la razón detrás de la falla.

Figura 14  
Frecuencia de fallos



Nota: Gráfico de Pareto de la frecuencia de fallos por parte de los motores. Fuente: Autor

### 3.3.2.5 Evalúa la severidad

Para cada modo de falla, evalúa la severidad de sus efectos sobre el proceso o producto. Usa una escala del 1 al 10, donde 1 es un impacto menor y 10 es un impacto mayor.

Tabla 14  
Equivalencia para el criterio de severidad

Valor-(0-4)⌘	Valor-(0-10)⌘
Insignificante-(1)⌘	Ninguna(1)⌘
Marginal-(2)⌘	Muy-Pequeña-(2)⌘
	Menor-(3)⌘
	Muy-Baja-(4)⌘
Crítico-(3)⌘	Baja-(5)⌘
	Moderada-(6)⌘
	Alta-(7)⌘
Catastrófico-(4)⌘	Muy-Alta-(8)⌘
	Peligroso-con-Aviso-(9)⌘
	Peligroso-sin-Aviso-(10)⌘

Nota: se muestra en esta tabla la equivalencia, para llevar a cabo el criterio de severidad para generar el análisis de criticidad. Fuente: El Autor

Figura 15  
Matriz de Criticidad con designación de colores

		SEVERIDAD				
		1	2	3	4	
OCURENCIA	5	5	10	15	20	INSIGNIFICANTE
	4	4	8	12	16	TOLERABLE
	3	3	6	9	12	NO DESEABLE
	2	2	4	6	8	INTOLERABLE
	1	1	2	3	4	

Nota: Matriz para identificar la jerarquía e importancia de los elementos de acuerdo a (UNE, 2008)

En base a conseguir los valores de criticidad de cada actividad se aplicará la siguiente fórmula de las cuales la severidad es tomada a través de las reuniones con el equipo de trabajo, las ocurrencias de los informes de mantenimiento y la criticidad de la multiplicación de la severidad x la ocurrencia como se visualiza en la siguiente fórmula:

$$C = S * O$$

Tabla 15  
Actividades mas criticidad de Motor

Ref. Elemento	Código del fallo	Fallo	Severidad (1-4)	Ocurrencia (1-5)	Criticidad	Nivel de Criticidad
MT005	MT005F00 1	Sobrecalentamiento Rotor	4	5	20	Intolerable
MT005	MT005F00 2	Sobrecalentamiento Conexiones Eléctricas	4	4	16	Intolerable
MT005	MT005F00 3	Problemas en el sistema de enfriamiento	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 4	Sobrecalentamiento Estator	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 5	Problemas en el sistema de lubricación	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 6	Desgaste o rotura del estator o rotor	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 7	Desgastes Cojinetes	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 8	Cortocircuito estator	3	3	9	No deseable
MT005	MT005F00 9	Desbalance del rotor	2	3	6	No deseable
MT005	MT005F01 0	Rotura de ejes	3	2	6	No deseable
MT005	MT005F01 1	Fallas en el sistema eléctrico	3	2	6	No deseable
MT005	MT005F01 2	Problemas en el arranque y parada del motor.	2	3	6	No deseable
MT005	MT005F01 3	Desgaste de los rodamientos	1	5	5	No deseable
MT005	MT005F01 4	Problemas en el aislamiento eléctrico	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F01 5	Desbalanceo del rotor	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F01 6	Daños en los cables de alimentación o en las conexiones eléctricas.	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F01 7	Falla en las bobinas	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F01 8	Problemas en el sistema de control y protección	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F01 9	Bloqueo Ventilador	2	2	4	Tolerable
MT005	MT005F02 0	Falla en los imanes	1	3	3	Tolerable
MT005	MT005F02 1	Corrosión de la carcasa	2	1	2	Insignificante
MT005	MT005F02 2	Deformación de la carcasa	2	1	2	Insignificante
MT005	MT005F02 3	Grieta de la carcasa	1	1	1	Insignificante
MT005	MT005F02 4	Corrosión en las partes metálicas	1	1	1	Insignificante
MT005	MT005F02 5	Deformación de los ejes	1	1	1	Insignificante

Nota: Tabla de Actividades mas criticidad de Motor. Fuente: Autor

### 3.3.2.6 Identificación de las causas potenciales

En AMFE, las causas potenciales se identifican mediante un proceso de análisis sistemático que implica la evaluación de cada paso del proceso o componente para determinar qué podría salir mal y cómo podría ocurrir.

Las causas potenciales se identifican mediante la evaluación de los modos de fallo posibles y las causas subyacentes que podrían contribuir a ellos. Es importante considerar tanto las causas internas como las externas al sistema o proceso que se está evaluando.

Para poder reconocer los fallos se deben generar las siguientes interrogantes:

- ¿Qué condiciones podrían contribuir al fallo?
- ¿Qué factores podrían influir en el fallo?
- ¿Qué errores humanos podrían contribuir al fallo?
- ¿Qué problemas de diseño podrían causar el fallo?
- ¿Qué problemas de fabricación podrían causar el fallo?

Tabla 16  
Identificación de las posibles causas de las fallas

Ref. Elemento	Código del fallo	Fallo	Posible causa del fallo
MT005	MT005F00 1	Sobrecalentamiento Rotor	Posibles causas pueden ser un aumento en la carga del motor, una disminución en la velocidad del ventilador, una falla en el sistema de enfriamiento o una falta de lubricación.
MT005	MT005F00 2	Sobrecalentamiento Conexiones Eléctricas	Las causas pueden incluir una sobrecarga eléctrica, una mala conexión de los cables o una resistencia eléctrica alta.
MT005	MT005F00 3	Problemas en el sistema de enfriamiento	Las posibles causas pueden ser una obstrucción en el sistema de enfriamiento, una disminución en la velocidad del ventilador o una falla en la bomba de agua.
MT005	MT005F00 4	Sobrecalentamiento Estator	Las causas pueden incluir una sobrecarga del motor, una disminución en la velocidad del ventilador, una falla en el sistema de enfriamiento o una falta de lubricación.
MT005	MT005F00 5	Problemas en el sistema de lubricación	Las posibles causas pueden ser una falta de lubricación, un mal funcionamiento del sistema de lubricación o una contaminación del aceite lubricante.
MT005	MT005F00 6	Desgaste o rotura del estator o rotor	Las causas pueden incluir un uso prolongado del motor, un mal funcionamiento del sistema de lubricación o una sobrecarga del motor.
MT005	MT005F00 7	Desgastes Cojinetes	Las posibles causas pueden ser una falta de lubricación, un mal funcionamiento del sistema de lubricación o un uso prolongado del motor.
MT005	MT005F00 8	Cortocircuito estator	Las causas pueden incluir una sobrecarga eléctrica, un mal aislamiento eléctrico o una falla en el sistema de control y protección.
MT005	MT005F00 9	Desbalance del rotor	Las posibles causas pueden ser un desgaste desigual del rotor, una mala instalación del rotor o un mal funcionamiento del sistema de control y protección.
MT005	MT005F01 0	Rotura de ejes	Las causas pueden incluir un uso prolongado del motor, un mal funcionamiento del sistema de lubricación o una sobrecarga del motor.
MT005	MT005F01 1	Fallas en el sistema eléctrico	Las posibles causas pueden ser un mal aislamiento eléctrico, un cortocircuito o una sobrecarga eléctrica.
MT005	MT005F01 2	Problemas en el arranque y parada del motor.	Las causas pueden incluir un mal funcionamiento del sistema de control y protección, un problema con los sensores o una falla en el sistema eléctrico.
MT005	MT005F01 3	Desgaste de los rodamientos	Las posibles causas pueden ser una falta de lubricación, un mal funcionamiento del sistema de lubricación o un uso prolongado del motor.
MT005	MT005F01 4	Problemas en el aislamiento eléctrico	Pueden incluir la exposición a condiciones climáticas extremas, un mal funcionamiento del sistema eléctrico o un uso prolongado del motor.
MT005	MT005F01 5	Desbalanceo del rotor	Las posibles causas pueden ser un desgaste desigual del rotor, una mala instalación del rotor o un mal funcionamiento del sistema de control y protección.
MT005	MT005F01 6	Daños en los cables de alimentación o en las conexiones eléctricas.	Las causas pueden incluir una exposición a condiciones climáticas extremas, una mala conexión de los cables o una resistencia eléctrica alta.
MT005	MT005F01 7	Falla en las bobinas	Las posibles causas pueden ser un mal aislamiento eléctrico, una sobrecarga eléctrica o un mal funcionamiento del sistema de control y protección.
MT005	MT005F01 8	Problemas en el sistema de control y protección	Las causas pueden incluir un mal funcionamiento de los sensores, una falla en el sistema eléctrico o un uso prolongado del motor.

Ref. Elemento	Código del fallo	Fallo	Posible causa del fallo
MT005	MT005F019	Bloqueo Ventilador	Las posibles causas pueden ser la acumulación de suciedad, la obstrucción por objetos extraños o una falla en el sistema eléctrico.
MT005	MT005F020	Falla en los imanes	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.
MT005	MT005F021	Corrosión de la carcasa	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.
MT005	MT005F022	Deformación de la carcasa	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.
MT005	MT005F023	Grieta de la carcasa	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.
MT005	MT005F024	Corrosión en las partes metálicas	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, acumulación de humedad, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.
MT005	MT005F025	Deformación de los ejes	Las posibles causas pueden ser el exponer a condiciones climáticas extremas, el no hacer el debido mantenimiento o el uso prolongado del motor.

Nota: Posibles causas de las fallas al motor. Fuente: Autor

### 3.3.2.7 Evalúa la probabilidad de ocurrencia

Es necesario evaluar la probabilidad de que se produzca la causa de la posible falla. Para ello, se utiliza una escala del 1 al 10, donde el valor "1" representa una probabilidad baja de ocurrencia y el valor "10" indica una alta probabilidad de ocurrencia.

Figura 16  
Clasificación de la Ocurrencia

OCURRENCIA			
Ocurrencia	Rango	Criterios	Probabilidad de Falla
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	<1 en 1,500,000
Muy Poca	2	Sólo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150,000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30,000
Moderada	4	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales	1 en 4,500
	5		1 en 800
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar han fallado a menudo.	1 en 50
	8		1 en 15
Muy Alta	9	La falla es casi inevitable	1 en 6
	10		>1 en 3

Nota: Estimación de la probabilidad de modo de ocurrencia potenciales: Fuente: (Toral Franco & Burgos Toaza, 2013)

Se evaluará la posibilidad de detectar el modo de falla antes de que el cliente lo experimente. En esta evaluación, el valor "1" indica una alta probabilidad de detección, mientras que el valor "10" indica una baja probabilidad de detección.

### 3.3.2.8 Evalúa la detección

Para cada modo de falla, evalúa la capacidad del equipo para detectar la falla antes de que llegue al cliente. Usa una escala del 1 al 10, donde 1 es una detección fácil y 10 es una detección difícil.

Figura 17  
Probabilidad de Detección

DETECCIÓN			
Probabilidad	Rango	Criterio	Detección falla
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia	99.99%
Medianamente alta	2 -5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.	99.7%
Baja	6- 8	El defecto es una característica fácilmente identificable.	98%
Muy Baja	9	No es fácil detecta la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente	90%
Improbable	10	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso. Ej: Aquellas características relacionadas con la durabilidad del producto.	Menor a 90%

Nota: Estimación de la probabilidad de modo de ocurrencia potenciales: Fuente: (Toral Franco & Burgos Toaza, 2013)

### 3.3.2,9 Calculo de puntos NPR:

Para priorizar los modos de falla y las acciones correctivas necesarias, se deben multiplicar los puntos de severidad, probabilidad de ocurrencia y detección para cada modo de falla y obtener los puntos AMEF. El análisis de modo y efectos de fallas es una herramienta importante para garantizar la disponibilidad de los motores en la Compañía Minera "Bursal S.A.". Después de identificar las actividades realizadas por los técnicos y encargados del mantenimiento, se calculó el índice de prioridad de riesgo (NPR) para cada una de ellas utilizando escalas de clasificación para evaluar la severidad, ocurrencia y detección según la normativa UNE-EN 60812.

La severidad, ocurrencia y detección se clasificaron en una escala del 1 al 10, y se detallan en las tablas 2 y 3 respectivamente. El NPR se calculó utilizando la fórmula  $NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$ . Con el NPR calculado para cada actividad, se estableció un plan de mantenimiento adecuado para garantizar la disponibilidad de los motores en los

diferentes puntos de trabajo de la Compañía Minera "Bursal S.A.". Esto permitirá asegurar el correcto funcionamiento de la maquinaria y evitar tiempos de inactividad no planificados.

Tabla 17  
Valoración del NPR.

Valor	Nivel NPR
<1	No existe riesgo de falla
<125	Riesgo de falla BAJO
<500	Riesgo de falla MEDIO
>500	Riesgo de falla ALTO

Nota: Código designado para las diferentes actividades que se realiza para solucionar los diferentes fallos, de acuerdo a (UNE, 2008).

En base a las actividades de niveles de criticidad se tomarán en consideración las fallas para aplicar NPR.

Tabla 18  
Prioridad de riesgo en el motor MT005

Ref. Elemento	Código del fallo	Actividad	S(1-10)	O(1-10)	D (1-10)	NPR	Nivel de NPR
MT005	MT005F001	Sobrecalentamiento Rotor	4	5	9	180	Riesgo de Falla Medio
MT005	MT005F002	Sobrecalentamiento Conexiones Eléctricas	4	4	9	144	Riesgo de Falla Medio
MT005	MT005F003	Problemas en el sistema de enfriamiento	3	3	8	72	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F004	Sobrecalentamiento Estator	3	3	9	81	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F005	Problemas en el sistema de lubricación	3	3	9	81	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F006	Desgaste o rotura del estator o rotor	3	3	5	45	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F007	Desgastes Cojinetes	3	3	5	45	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F008	Cortocircuito estator	3	3	1	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F009	Desbalance del rotor	2	3	2	12	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F010	Rotura de ejes	3	2	1	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F011	Fallas en el sistema eléctrico	3	2	1	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F012	Problemas en el arranque y parada del motor.	2	3	1	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F013	Desgaste de los rodamientos	1	5	1	5	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F014	Problemas en el aislamiento eléctrico	2	2	1	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F015	Desbalanceo del rotor	2	2	1	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F016	Daños en los cables de alimentación o en las conexiones eléctricas.	2	2	1	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F017	Falla en las bobinas	2	2	2	8	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F018	Problemas en el sistema de control y protección	2	2	1	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F019	Bloqueo Ventilador	2	2	1	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F020	Falla en los imanes	1	3	5	15	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F021	Corrosión de la carcasa	2	1	1	2	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F022	Deformación de la carcasa	2	1	1	2	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F023	Grieta de la carcasa	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F024	Corrosión en las partes metálicas	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo
MT005	MT005F025	Deformación de los ejes	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo

Nota: en esta tabla se muestra los índice prioridad de riesgo aplicado en el motor SEW EURODRIVE. Fuente: Autor

## **4. Resultados**

### **4.1.Desarrollo del plan de acción:**

Desarrolla un plan de acción para abordar los modos de falla prioritarios identificados en el análisis AMEF. Asegúrate de asignar responsabilidades y plazos claros para cada acción.

Tabla 19  
Tabla AMEF para el motor

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005	Rotor	Es la parte móvil del motor que gira alrededor del eje y transmite la potencia del motor a otros componentes.	MT005F001	Sobrecalentamiento Rotor	Puede causar deformaciones, desgaste y fallas en los cojinetes, lo que puede afectar el funcionamiento del motor y reducir su vida útil.	Se pueden utilizar termómetros infrarrojos para medir la temperatura del rotor y detectar posibles sobrecalentamientos.	Se pueden instalar sistemas de enfriamiento adicionales, tales como ventiladores o sistemas de enfriamiento por líquido, para reducir la temperatura del rotor y prevenir el sobrecalentamiento.	4	5	9	180	20	Riesgo de Falla Medio
MT005			MT005F009	Desbalance del rotor	Puede causar vibraciones excesivas en el motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de vibración para detectar posibles desbalances en el rotor.	Se pueden equilibrar los rotores para reducir las vibraciones y prevenir el desgaste prematuro de los componentes del motor.	2	3	2	12	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F013	Desgaste de los rodamientos	Puede causar vibraciones, ruidos y fallas en el motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de vibración y análisis de aceite para detectar posibles desgastes en los rodamientos.	Se pueden reemplazar los rodamientos desgastados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los rodamientos estén en buen estado.	1	5	1	5	5	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F020	Falla en los imanes	Puede afectar el campo electromagnético del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de magnetismo para detectar posibles fallas en los imanes.	Se pueden reemplazar los imanes dañados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los imanes estén en buen estado.	1	3	5	15	3	Riesgo de Falla Bajo

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005			MT005F002	Sobrecalentamiento Conexiones Eléctricas	Puede causar fallas en el sistema eléctrico del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden utilizar termómetros infrarrojos para medir la temperatura de las conexiones eléctricas y detectar posibles sobrecalentamientos.	Se pueden instalar sistemas de enfriamiento adicionales, tales como ventiladores o sistemas de enfriamiento por líquido, para reducir la temperatura de las conexiones eléctricas y prevenir el sobrecalentamiento.	4	4	9	144	1 6	Riesgo de Falla Medio
MT005	Sistema Eléctrico	Es el conjunto de componentes eléctricos que controlan y protegen el motor, así como garantizan su correcto funcionamiento y seguridad.	MT005F018	Problemas en el sistema de control y protección	Pueden causar fallas en el sistema eléctrico del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar pruebas de funcionamiento del sistema de control y protección para detectar posibles fallas.	Se pueden implementar sistemas redundantes para garantizar que el sistema de control y protección funcione correctamente y prevenir posibles fallas.	2	2	1	4	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F011	Fallas en el sistema eléctrico	Pueden causar fallas en el motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico para detectar posibles fallas.	Se pueden reemplazar los componentes eléctricos dañados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que el sistema eléctrico esté en buen estado.	3	2	1	6	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F014	Problemas en el aislamiento eléctrico	Pueden causar cortocircuitos y fallas en el sistema eléctrico del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar pruebas de resistencia de aislamiento para detectar posibles fallas en el aislamiento eléctrico.	Se pueden reemplazar los componentes con aislamiento eléctrico dañado y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que el aislamiento eléctrico esté en buen estado.	2	2	1	4	4	Riesgo de Falla Bajo

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005			MT005F016	Daños en los cables de alimentación o en las conexiones eléctricas.	Pueden causar cortocircuitos y fallas en el sistema eléctrico del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar pruebas de continuidad y resistencia eléctrica para detectar posibles daños en los cables y conexiones eléctricas.	Se pueden reemplazar los cables o conexiones eléctricas dañados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los cables y conexiones estén en buen estado.	2	2	1	4	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F004	Sobrecalentamiento Estator	Puede causar deformaciones, desgaste y fallas en las bobinas, lo que puede afectar el funcionamiento del motor y reducir su vida útil.	Se pueden utilizar termómetros infrarrojos para medir la temperatura del estator y detectar posibles sobrecalentamientos.	Se pueden instalar sistemas de enfriamiento adicionales, tales como ventiladores o sistemas de enfriamiento por líquido, para reducir la temperatura del estator y prevenir el sobrecalentamiento.	3	3	9	81	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005	Estator	Es la parte fija del motor donde se encuentra el conjunto de bobinas que generan el campo electromagnético necesario para el funcionamiento del motor.	MT005F017	Falla en las bobinas	Puede causar fallas en el campo electromagnético del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de resistencia eléctrica y continuidad para detectar posibles fallas en las bobinas.	Se pueden reemplazar las bobinas dañadas y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que las bobinas estén en buen estado.	2	2	2	8	4	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F008	Cortocircuito estator	Puede causar fallas en el sistema eléctrico del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar pruebas de continuidad eléctrica para detectar posibles cortocircuitos en el estator.	Se pueden reemplazar los componentes eléctricos dañados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que el estator esté en buen estado.	3	3	1	9	9	Riesgo de Falla Bajo

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005			MT005F006	Desgaste o rotura del estator o rotor	Puede afectar la integridad del motor y reducir su vida útil.	Se pueden realizar inspecciones visuales y pruebas no destructivas (por ejemplo, pruebas de penetración o ultrasonido) para detectar posibles fallas en estos componentes.		3	3	5	45	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F003	Problemas en el sistema de enfriamiento	Pueden causar sobrecalentamiento del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de funcionamiento del sistema de enfriamiento para detectar posibles fallas.	Se pueden reemplazar los componentes dañados del sistema de enfriamiento y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que el sistema de enfriamiento esté en buen estado.	3	3	8	72	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005	Sistema Mecánico	Es el conjunto de componentes mecánicos que aseguran el correcto funcionamiento y durabilidad del motor, incluyendo el sistema de lubricación, el sistema de enfriamiento, los cojinetes, los ejes, entre otros.	MT005F005	Problemas en el sistema de lubricación	Pueden causar desgaste excesivo en las partes móviles del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de análisis de aceite para detectar posibles fallas en el sistema de lubricación.	Se pueden reemplazar los componentes dañados del sistema de lubricación y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que el sistema de lubricación esté en buen estado.	3	3	9	81	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F010	Rotura de ejes	Puede afectar la transmisión de la potencia del motor a otros componentes del vehículo, lo que puede afectar su funcionamiento y seguridad.	Se pueden realizar inspecciones visuales y pruebas no destructivas (por ejemplo, pruebas de penetración o ultrasonido) para detectar posibles fallas en estos componentes.	Se pueden reemplazar los ejes rotos y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los ejes estén en buen estado.	3	2	1	6	6	Riesgo de Falla Bajo

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005			MT005F007	Desgastes rodamientos	Pueden causar vibraciones, ruidos y fallas en el motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.		Se pueden reemplazar los rodamientos desgastados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los rodamientos estén en buen estado.	3	3	5	45	9	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F025	Deformación de los ejes	Puede causar vibraciones excesivas en el motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.		Se pueden reemplazar los ejes deformados y realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que los ejes estén en buen estado.	1	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F021	Corrosión de la carcasa	Puede afectar la integridad de la estructura del motor y reducir su vida útil.		Se pueden reparar o reemplazar las partes corroídas de la carcasa y realizar un mantenimiento preventivo regular para prevenir la corrosión.	2	1	1	2	2	Riesgo de Falla Bajo
MT005	Estructura del Motor	Es la carcasa o estructura que envuelve y protege los componentes internos del motor, asegurando su integridad y protección.	MT005F022	Deformación de la carcasa	Puede afectar la integridad de la estructura del motor y reducir su vida útil.		Se pueden reparar o reemplazar las partes deformadas de la carcasa y realizar un mantenimiento preventivo regular para prevenir la deformación.	2	1	1	2	2	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F023	Grieta de la carcasa	Puede afectar la integridad de la estructura del motor y reducir su vida útil.		Se pueden reparar o reemplazar las partes agrietadas de la carcasa y realizar un mantenimiento preventivo regular para prevenir las grietas.	1	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo
MT005			MT005F024	Corrosión en las partes metálicas	Puede afectar la integridad de las partes metálicas del motor y reducir su vida útil.		Se pueden aplicar recubrimientos protectores a las partes metálicas y realizar un mantenimiento preventivo regular para prevenir la corrosión.	1	1	1	1	1	Riesgo de Falla Bajo

Ref. Maquina	Componente	Descripción y Función	Código del fallo	Posible causa de fallo	Efecto Potencial	Método de detección	Medidas de compensación contra fallos	S	O	D	NP R	C	NC
MT005			MT005F012	Problemas en el arranque y parada del motor.	Pueden causar esfuerzos excesivos en las partes mecánicas del motor, lo que puede afectar su funcionamiento y reducir su vida útil.	Se pueden realizar pruebas de funcionamiento del sistema de arranque y parada para detectar posibles fallas.	Se pueden implementar sistemas de control más avanzados para mejorar el arranque y parada del motor. También se puede realizar un mantenimiento preventivo regular para asegurar que todos los componentes del motor estén en buen estado.	2	3	1	6	6	Riesgo de Falla Bajo
MT005	Ventilador	Es un componente del sistema de enfriamiento que se encarga de mantener una temperatura adecuada en el motor, extrayendo el aire caliente generado por el funcionamiento del motor y reemplazándolo por aire fresco.	MT005F019	Bloqueo Ventilador	Puede causar sobrecalentamiento del motor y reducir la vida útil.	Se pueden realizar inspecciones visuales para detectar posibles fallas en los componentes.	Se puede hacer mantenimientos programados.	2	2	1	4	4	Riesgo de Falla Bajo

Nota: Tabla AMEF para el motor. Fuente: Autor

## **4.2. Plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete.**

Se pueden seguir los siguientes pasos para crear un plan de gestión para el mantenimiento de motores eléctricos:

### **4.2.1. Identificar los motores eléctricos que se desean agregar en el plan de gestión de mantenimiento.**

En base a la Tabla número 7 podemos identificar los motores que se desean anexar en el plan de gestión de mantenimiento.

### **4.2.2. Identificar las causas más comunes de falla en los motores eléctricos y las medidas de compensación correspondientes.**

Gracias a las investigaciones y recopilación de información podemos visualizar en la Tabla numero 10 el listado de las fallas más comunes y su codificación respectiva.

### **4.2.3. Establecer un calendario de mantenimiento preventivo para cada motor eléctrico.**

Para poder realizar un calendario de mantenimiento es necesario identificar las tareas necesarias para crear el mantenimiento a continuación se describe las actividades primordiales:

- Inspección visual del motor eléctrico.
- Reemplazo de piezas desgastadas o dañadas.
- Lubricación de partes móviles.
- Limpieza del motor eléctrico.
- Ajuste de los componentes eléctricos.
- Pruebas de funcionamiento.

Tabla 20  
Listado de chequeo de Motores

LISTADO DE CHEQUEO DE LOS MOTORES					001
Equipo:		Departamento		Fecha	
Código		Responsable		Hoja	
#	Actividad / Parámetro	ok	Mal	Observaciones	
001	Inspección visual del motor eléctrico.				
002	Reemplazo de piezas desgastadas o dañadas.				
003	Lubricación de partes móviles.				
004	Limpieza del motor eléctrico				
Comentarios:					
Firma:					
<hr style="width: 50%; display: inline-block; margin-right: 100px;"/> <hr style="width: 50%; display: inline-block;"/>					
Supervisado por:			Técnico		

Nota: Formato de listado de chequeo de motores propuesto. Fuente: Autor

Establecer la frecuencia de realización de cada tarea, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante del motor eléctrico y el uso que se le da al motor. Por ejemplo, un motor eléctrico que se utiliza con frecuencia en un ambiente polvoriento puede requerir una limpieza más frecuente.

Establecer un protocolo de inspección para detectar posibles fallas y realizar las reparaciones necesarias antes de que se convierta en un problema mayor.

#### 4.2.4. Sistema de registro y seguimiento de las inspecciones y el mantenimiento realizado en cada motor eléctrico.

A continuación, el formato propuesto:

Tabla 21  
Formato de Registro e inspección

Fecha	Sector	Tipo de Mantenimiento	Trabajo y/o Servicio	Tipos de Causa de Anomalía	Próxima Inspección
26/12/2019	Taller Eléctrico	Mejora	Se procedió a colocar manguera plástica de 3/4 de pulgada a 30 metros de cable UTP.	Equipo a instalar en interior mina.	26/01/2020

Nota: Formato propuesto para el registro de inspección. Fuente: Autor

#### **4.2.5. Capacitaciones al personal comisionado para el mantenimiento y la reparación de los motores.**

El plan se enfoca en los pilares prioritarios de la investigación y tiene como objetivo mejorar el desempeño y el trabajo en equipo de los colaboradores mediante el fortalecimiento de sus conocimientos. El objetivo principal es concienciar a los empleados sobre los cambios y mejoras que la empresa desea implementar. Los cursos de capacitación están dirigidos a todos los trabajadores de la empresa, independientemente de su género, nivel educativo o formación técnica, que estén interesados en mejorar sus habilidades. La capacitación es esencial para que todos los trabajadores se sientan capaces de realizar cualquier tarea y para fomentar un ambiente de aprendizaje continuo y desarrollo personal. En la siguiente tabla se presenta el plan anual de capacitación, donde se detallan todas las capacitaciones programadas.

Tabla 22  
Plan de capacitaciones anual

Plan Anual de Capacitaciones					
Enero 2024-Diciembre 2024					
Temáticas	Objetivo	Mes	Área	Horas	Presupuesto
AMEF	Prevención de fallas	Enero	Operativa	6	
Seguridad de trabajo y salud Ocupacional	Poder trabajar bajo condiciones seguras	Febrero	Operativa	8	
Riesgos y peligros Existentes	Identificación de los peligros en el entorno de labores	Marzo	Operativa	2	
Reportes de incidentes/ accidentes	Visualización y promover de una educación libre de accidentes dentro de la empresa	Abril	Operativa		
Equipos de Protección Personal	Concientiza a los trabajadores sobre la importancia del uso de los Equipos de protección.	Mayo	Operativa		
Señalizaciones de Seguridad	Aprender sobre el debido uso de las señales de seguridad.	Junio	Operativa		
Ergonomía	Aprender sobre las correctas posturas en el area de trabajo	Julio	Operativa		
Uso de extintores	Aprender el debido uso de los extintores.	Agosto	Operativa		
Primeros auxilios	Aprendizaje de primeros auxilios	Septiembre	Operativa		
Rutas de evacuación	Conocer las principales rutas de evacuación	Octubre			
Relaciones humanas y comunicación eficaz	Mejorar las habilidades de trabajo en equipo.	Noviembre			
Curso de auto estima	Manejo de la personalidad e interacción con equipos de trabajo	Diciembre			

Nota: Plan de capacitación anual. Fuente: (Toral Franco & Burgos Toaza, 2013)

## Conclusiones

A partir de la información recopilada, se puede concluir que es crucial describir los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A, debido a la complejidad y el alto costo de estos equipos. Para describir los procesos de mantenimiento, se consideraron las posibles fallas que pueden ocurrir en los motores eléctricos, así como los requisitos del fabricante y las normas y regulaciones aplicables al mantenimiento de estos equipos.

Una descripción detallada de los procesos de mantenimiento permitió identificar posibles mejoras y proponer un plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A. Además, esto permitirá realizar un mantenimiento preventivo y predictivo en lugar de un mantenimiento reactivo, lo que resultará en una mayor eficiencia y durabilidad de los equipos eléctricos y una reducción en los costos de mantenimiento y reparación.

La metodología de Análisis de Criticidad fue fundamental para identificar los equipos críticos y los procesos de mantenimiento necesarios para evitar fallas y prolongar la vida útil de los motores eléctricos del castillete. La metodología permitió evaluar los equipos y procesos en función de su impacto en la producción, seguridad y medio ambiente, y determinar su criticidad. De esta manera, se pueden priorizar los equipos críticos y establecer un plan de mantenimiento preventivo y predictivo que asegure su disponibilidad y confiabilidad.

Proponer un plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete es fundamental para asegurar su disponibilidad y confiabilidad, y reducir los costos de mantenimiento y reparación. El plan debe incluir una descripción detallada de los procesos

de mantenimiento preventivo y predictivo, así como los procedimientos de reparación y reemplazo de los equipos críticos, los requisitos del fabricante y las normas y regulaciones aplicables al mantenimiento de los motores eléctricos. Además, el plan debe establecer un sistema de seguimiento y monitoreo del desempeño de los motores eléctricos, así como un programa de capacitación para el personal encargado del mantenimiento.

La aplicación de la metodología AMEF para el mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos eléctricos en la minera Bursal S.A. generará múltiples ventajas para la empresa. En primer lugar, al implementar esta metodología se podrán identificar los equipos críticos y establecer un plan de mantenimiento que garantice su disponibilidad y confiabilidad. Esto resultará en una disminución significativa de los costos de mantenimiento y reparación al evitar fallas imprevistas y programar adecuadamente las actividades de mantenimiento. En segundo lugar, la implementación de esta propuesta mejorará considerablemente la eficiencia general del proceso productivo, lo que se traducirá en beneficios económicos y sociales para los trabajadores. Se espera reducir en un 20% el gasto en mantenimiento, lo que permitirá a la empresa ahorrar costos y mejorar su rentabilidad. Además, se espera aumentar la disponibilidad de los equipos en un 7%, lo que se traducirá en una mayor eficiencia en la producción y una reducción en los tiempos de inactividad.

## Recomendaciones

Se pueden hacer las siguientes recomendaciones basadas en los objetivos establecidos:

- Realizar un análisis detallado de los motores eléctricos del castillete para identificar los equipos críticos y los procesos de mantenimiento necesarios para evitar fallas y prolongar su vida útil.

- Aplicar la metodología de Análisis de Criticidad a los procesos de mantenimiento de los motores eléctricos para evaluar su impacto en la producción, seguridad y medio ambiente, y determinar su criticidad.

- Implementar el plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos del castillete principal de extracción, que incluya procedimientos de reparación y reemplazo de los equipos críticos, requisitos del fabricante y normas y regulaciones aplicables al mantenimiento.

- Implementar un sistema de seguimiento y monitoreo del desempeño de los motores eléctricos que permita evaluar la efectividad del plan y realizar ajustes necesarios.

- Establecer un programa de capacitación para el personal encargado del mantenimiento de los motores eléctricos que asegure su competencia y habilidades para realizar los procesos de mantenimiento.

- Realizar una evaluación periódica del plan de gestión para el mantenimiento de los motores eléctricos y realizar ajustes necesarios para mejorar su efectividad y eficiencia.

Estas recomendaciones asegurarán la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reducirán los costos de mantenimiento y reparación, y mejorarán la eficiencia y durabilidad de los motores eléctricos del castillete principal de extracción en la minera Bursal S.A.

## Bibliografía

- Aldana, C. (2019). *Gestión del Mantenimiento Preventivo para mejorar la disponibilidad en los equipos mineros de transporte en la unidad Inmaculada-Ayacucho de la empresa Unión de Concreteras S.A.* Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Almeida, M. (2019). *Estudio de caso sobre la gobernanza del sector minero en el Ecuador.* Santiago: Publicación de las Naciones Unidas.
- Calcina, A. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio uncp.* Huancayo: Universidad Nacional del centro de Peru.
- Cañavi, B. (2019). *Modelamiento de la carga de extracción de los sistemas de izaje para dimensionar la potencia del motor en la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Celso, P. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores eléctricos para mejorar la disponibilidad de máquinas en la sección de chancado en una unidad minera en el sur del Perú.* Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Coronel, W. (2019). *Mejoramiento del índice de consumo energético mediante sustitución de los motores eléctricos en minera Cerro Corona - 2019.* Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- De la Cuz, A. (2018). *Sistema de control para mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 30 Hp en la compañía Minera Casapalca.* Huancayo: Univerdidad Continental.
- Fontaine, G. (2020). *Los arreglos institucionales como falla de implementación: La política minera del Ecuador (2007-2016).* Quito: FLACSO Ecuador.

- Ibarra, S., & Herrera, H. (2019). *Diseño de un control de velocidad de un motor de induccion de 220 VCA*. Distrito Federal de Mexico: Instituto politecnico Nacional.
- Konffe, F., & Lavayen, C. (2020). *Diseño y Planificación de mantenimiento preventivo de lubricación de lamaquina flexo grafica Bobst para una industria cartonera*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana.
- Luzardo, J. (2021). *Diseño e implementación de una fuente de poder de corriente continua fija y variable para pruebas en circuitos electrónicos en el laboratorio de robótica de la carrera de ingeniería en computación y redes*. Jipijapa: Universidad Estatal del sur de Manabí.
- Marvin, C. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo de motores eléctricos para mejorar la disponibilidad de máquinas en la sección de chancado en una unidad minera en el sur del Perú*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Mollisaca, J. (2020). *Mantenimiento y reparación de motores eléctricos síncronos*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Pinto, J. (2019). *Desarrollo de plan de mantenimiento en*. Arequipa: Universidad Continental.
- Ramirez, J., & Moreno, H. (2017). *Elaboración de un análisis de criticidad y disponibilidad para la atracción x-treme del parque mundo aventura, tomando como referencia las normas, sae ja1011 y sae ja1012*. Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Toral Franco, X., & Burgos Toaza, L. E. (2013). *Diseño e implementación de un programa de mantenimiento productivo total(TPM) en una Empresa productora de alimentos Balanceados*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

UNE. (2008). *Técnicas de análisis de fiabilidad de sistemas - procedimientos de análisis de modos de fallos y sus efectos*. UNE.

# Anexos

Figura 18  
Área del castillete principal de extracción.



Figura 19  
Área de clasificación de material metalúrgico



Figura 20  
Toma de datos de zaranda y trituradora



Figura 21  
Toma de datos de motobomba de piscina principal.



Figura 22  
Recolección de información de Winche principal

