

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Implementación de plan de mantenimiento  
predictivo en motores del sistema de enfriamiento de  
variadores de velocidad de bombas Geho**

Jeancarlo Cordova Huali

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de suficiencia profesional



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Percy Javier Juan de Dios Ortiz  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 18 de Abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**  
IMPLEMENTACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN MOTORES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE VARIADORES DE VELOCIDAD DE BOMBAS GEHO

**Autor:**  
JEANCARLO CORDOVA HUALI – EAP. Ingeniería Eléctrica

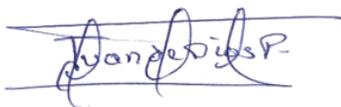
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más profundo agradecimiento al decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, Dr. Felipe Gutarra Meza, por su incondicional respaldo a lo largo de este proceso académico. Asimismo, agradezco al director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Dr. César Quispe, cuyo liderazgo y orientación académica han sido fundamentales para que los bachilleres de nuestra facultad alcancen sus metas profesionales y contribuyan al fortalecimiento de la carrera.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Abad y Soledad, y a mi hermano Anthony, por su amor y apoyo incondicional. También lo dedico a mis colegas y colaboradores, cuya dedicación e interés han sido clave para la culminación de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>vi</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>xi</b>
<b>Executive summary</b> .....	<b>xii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>14</b>
<b>Aspectos generales de la empresa</b> .....	<b>14</b>
1.1. Datos generales de la institución.....	14
1.2. Actividades principales de la empresa .....	15
1.3. Reseña histórica de la empresa .....	15
1.4. Organigrama de la empresa.....	17
1.5. Visión y misión .....	17
1.5.1. Misión .....	17
1.5.2. Visión.....	17
1.6. Bases legales o documentos administrativos .....	17
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales.....	18
1.7.1. Área de Mantenimiento Eléctrico e Instrumentación .....	18
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa .....	18
<b>Capítulo II</b> .....	<b>20</b>
<b>Aspectos generales de las actividades profesionales</b> .....	<b>20</b>
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional .....	20
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional.....	20
2.3. Objetivos de la actividad profesional.....	21
2.3.1. Optimización operacional.....	21
2.3.2. Gestión de costos .....	21
2.3.3. Mejora de la seguridad.....	21
2.4. Justificación de la actividad profesional .....	22
2.4.1. Reducción de costos y tiempos de inactividad .....	22
2.4.2. Mayor disponibilidad y confiabilidad del sistema.....	22
2.4.3. Mejora de la seguridad y el entorno de trabajo.....	22
2.4.4. Optimización del rendimiento y eficiencia del sistema .....	23
2.5. Resultados esperados .....	23

2.5.1. Mejora de la disponibilidad y confiabilidad del sistema .....	23
2.5.2. Optimización de costos y recursos .....	23
2.5.3. Mejora de la seguridad y el entorno de trabajo.....	23
2.5.4. Mayor vida útil de los equipos.....	24
2.5.5. Optimización del rendimiento del sistema .....	24
<b>Capítulo III.....</b>	<b>25</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>25</b>
3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades .....	25
3.1.1. Mantenimiento.....	25
3.1.2. Generación del Mantenimiento.....	27
3.1.3. Objetivos de mantenimiento.....	32
3.1.4. Implementación de mantenimiento para la Bomba GEHO .....	41
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>43</b>
<b>Descripción de las actividades profesionales.....</b>	<b>43</b>
4.1. Descripción de actividades profesionales .....	43
4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales .....	43
4.1.2. Alcance de las actividades profesionales.....	45
4.1.3. Entregables de las actividades profesionales.....	46
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	48
4.2.1. Metodologías .....	48
4.2.2. Técnicas .....	48
4.2.3. Instrumentos .....	49
4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades .....	50
4.3. Ejecución de las actividades profesionales .....	51
4.3.1. Cronograma de actividades realizadas.....	51
4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.....	54
<b>Capítulo V.....</b>	<b>57</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>57</b>
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas .....	57
5.2. Logros alcanzados.....	57
5.3. Dificultades encontradas .....	58
5.4. Planteamiento de mejoras .....	58
5.4.1. Metodologías propuestas .....	58
5.4.2. Descripción de la implementación.....	58
5.5. Análisis .....	58
5.6. Aporte del bachiller en la empresa .....	59
<b>Conclusiones.....</b>	<b>60</b>

<b>Recomendaciones.....</b>	<b>61</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reseña Histórica de la Organización.....	16
Figura 2. Organigrama de la Empresa Chinalco.....	17
Figura 3. Análisis de vibraciones.....	34
Figura 4. Termodinámica.....	35
Figura 5. Análisis boroscopio realizado a las camisas de un motor de combustión interna.....	36
Figura 6. Inspección por ultrasonido a los pines de los rodillos en el lower de una pala eléctrica. ....	37
Figura 7. Sistema de enfriamiento de lo variadores de velocidad de las bombas GEHO .....	40

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación del mantenimiento preventivo de clase real y clase mundial.....	28
Tabla 2. Comparación del mantenimiento predictivo de clase real y clase mundial para los diferentes tipos de industrias.....	29
Tabla 3. Metas del cumplimiento en el mantenimiento preventivo de acuerdo con el nivel de criticidad.....	31
Tabla 4. Límites de vibración .....	34
Tabla 5. Temperatura máxima de motores según clase de aislamiento.....	36

## RESUMEN EJECUTIVO

Las actividades mineras son fundamentales para la economía peruana, al representar uno de los principales indicadores de desarrollo del país. Su importancia abarca todo el proceso productivo, desde la extracción hasta la exportación, siempre bajo criterios de eficiencia económica, calidad y seguridad. El Perú se posiciona como un actor destacado en el ámbito minero global, siendo el segundo mayor abastecedor de plata, cobre y zinc, así como el principal proveedor de oro, estaño, plomo y molibdeno en toda Latinoamérica.

La región andina, considerada la espina dorsal del país, alberga algunos de los yacimientos minerales más abundantes del mundo. En este contexto, el uso de herramientas y maquinarias adecuadas resulta esencial para garantizar la continuidad y eficacia de las operaciones extractivas en todas sus etapas, lo que constituye el eje central del presente estudio.

En la actualidad, es indispensable contar con un conocimiento detallado de los aspectos mecánicos y eléctricos de dichos equipos. Ello implica comprender sus componentes, principios de funcionamiento y elementos constitutivos, los cuales son clave para asegurar la operatividad continua de los procesos de extracción. Es necesario, por tanto, establecer criterios que aseguren el óptimo desempeño de estos sistemas, ya que su eficiencia impacta directamente en los resultados productivos.

En consecuencia, este análisis se centra en la implementación de un programa de mantenimiento predictivo para los motores del sistema de refrigeración de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, en la minera Chinalco, Perú (2023), subrayando la importancia de abordar integralmente los aspectos técnicos con el fin de optimizar las operaciones extractivas.

**Palabras claves:** Minería, mantenimiento predictivo, variadores de velocidad, motores eléctricos, bombas GEHO, eficiencia operativa, Chinalco.

## EXECUTIVE SUMMARY

Mining activities are fundamental to Peru's economy, representing one of the country's main development indicators. Their importance spans the entire production process—from extraction to export—while adhering to standards of economic efficiency, quality, and safety. Peru ranks as a leading global mining player, being the second-largest supplier of silver, copper, and zinc, and the foremost provider of gold, tin, lead, and molybdenum in Latin America.

The Andes, considered the backbone of the country, contain some of the world's richest mineral deposits. In this context, the proper use of tools and machinery is essential to ensure the continuity and efficiency of extractive operations, which is the focus of this study.

Currently, a detailed understanding of both the mechanical and electrical aspects of mining equipment is crucial. This includes knowledge of components, operating principles, and structural elements that are key to maintaining uninterrupted mineral extraction. Thus, it is necessary to define criteria that ensure the optimal performance of these systems, given their direct impact on production efficiency.

This analysis focuses on the implementation of a predictive maintenance program for the cooling system motors of variable frequency drives in GEHO pumps at Chinalco mining operations in Peru (2023), emphasizing the importance of a comprehensive technical approach to enhance extractive performance.

**Keywords:** Mining, predictive maintenance, variable frequency drives, electric motors, GEHO pumps, operational efficiency, Chinalco.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión del mantenimiento se ha consolidado como un componente esencial a nivel global para garantizar la continuidad operativa, minimizando las interrupciones en los procesos productivos ocasionadas por fallas en maquinaria y equipos. La adopción de estrategias de mantenimiento eficaces no solo previene paradas imprevistas, sino que también se convierte en un factor clave para alcanzar la competitividad y la eficiencia en las operaciones empresariales.

En el sector minero, el uso de distintos tipos de equipos de bombeo resulta indispensable. Entre estos destacan las bombas centrífugas y las bombas de pulpa, las cuales cumplen un rol crucial en las plantas metalúrgicas al permitir el transporte de grandes volúmenes de líquido entre diversos puntos del proceso operativo (1).

La correcta ejecución de las actividades de mantenimiento es un factor determinante para asegurar la operatividad tanto del complejo en su conjunto como de los equipos destinados al procesamiento del mineral. En este sentido, los fundamentos del Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés) se orientan a incrementar significativamente la productividad mediante la reducción de pérdidas y la consolidación de una cultura de mejora continua (2). El TPM incide directamente en la disponibilidad y confiabilidad del equipamiento, que son indicadores operativos fundamentales. A su vez, al integrarse con el indicador de calidad, se obtiene la Eficiencia Global del Equipo (OEE, por sus siglas en inglés), una métrica universal que permite evaluar el rendimiento integral de los equipos y procesos.

Este trabajo de suficiencia profesional se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I presenta los aspectos generales de la empresa; el Capítulo II describe los aspectos generales de las actividades profesionales; el Capítulo III expone las bases teóricas de las metodologías o actividades desarrolladas; el Capítulo IV detalla la descripción de las actividades profesionales; y el Capítulo V muestra los resultados finales de las actividades. Posteriormente, se incluyen las conclusiones y recomendaciones, seguidas de la bibliografía y, finalmente, los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA**

#### **1.1. Datos generales de la institución**

Razón social	:	Minera Chinalco Perú S.A.
Tipo de Empresa	:	S. A.
RUC	:	20506675457
Condición	:	Activo
Inicio de Actividades	:	11/ Junio /2003
Actividad Comercial	:	Extracción de cobre
Central Telefónica	:	708 8000
FAX	:	708 8001
Ubicación		
Sede Lima	:	Av. Santa Cruz N° 180, Torre A, San Isidro
Sede Huancayo	:	Av. Uruguay 450 Urb. San Carlos, Huancayo
Morococha	:	Mz. M2, lotes 1 y 2, Carretera Central km 150.5
Email	:	<a href="mailto:comunicaciones@chinalco.com.pe">comunicaciones@chinalco.com.pe</a>
Localización	:	En la parte central de los andes del Perú
Distrito	:	Morococha
Provincia	:	Yauli

Departamento	:	Junín
Límites		
Este	:	Provincia de Yauli
Oeste	:	Nevado Wuayrakancha
Norte	:	Provincia de Morococha
Sur	:	Laguna Pomacocha.

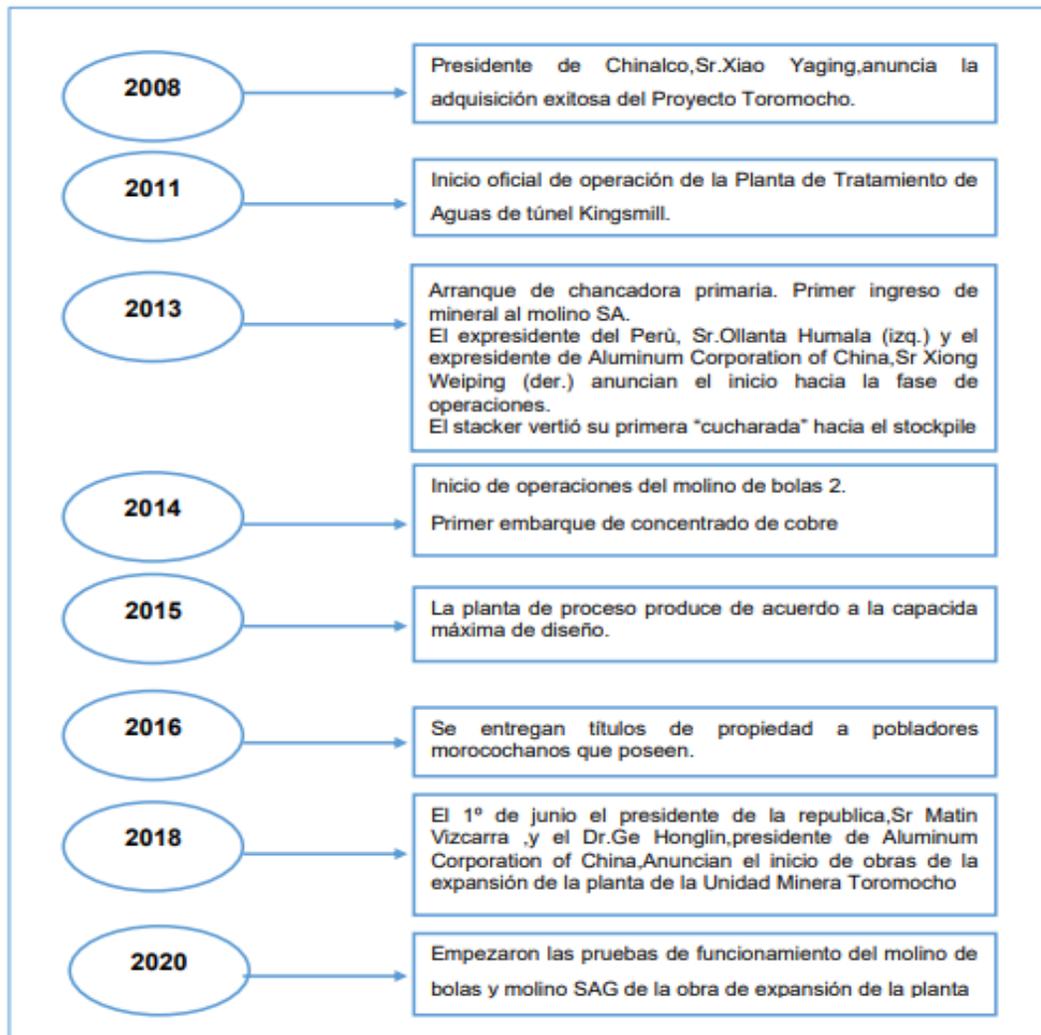
## **1.2. Actividades principales de la empresa**

El trabajo actual de la Unidad Minera (UM) Toromocho se basa en la extracción de minerales mediante la técnica de tajo abierto, aplicando procesos de perforación, voladura, carguío, acarreo y transporte. Los desmontes son trasladados y depositados en las zonas específicamente designadas para tal fin, mientras que el mineral extraído es sometido a diversos tratamientos en la planta concentradora existente. Dichos tratamientos comprenden las etapas de chancado, molienda, flotación, espesamiento y filtrado, permitiendo así la obtención de concentrado de cobre. Asimismo, los relaves generados durante el procesamiento del mineral en el complejo de concentración son espesados nuevamente y transportados hacia el depósito de relaves de Tunshuruco, donde se gestionan de forma segura y controlada para su disposición final.

## **1.3. Reseña histórica de la empresa**

En el año 2007, la Corporación de Aluminio de China (CHINALCO) fundó Minera Chinalco Perú S.A. (Chinalco Perú) con el propósito de desarrollar, construir y operar el megaproyecto cuprífero Toromocho. Este emprendimiento representó un avance significativo, al convertirse en la primera mina de cobre de nivel global diseñada, ejecutada y desarrollada de manera integral por una empresa china en el ámbito internacional.

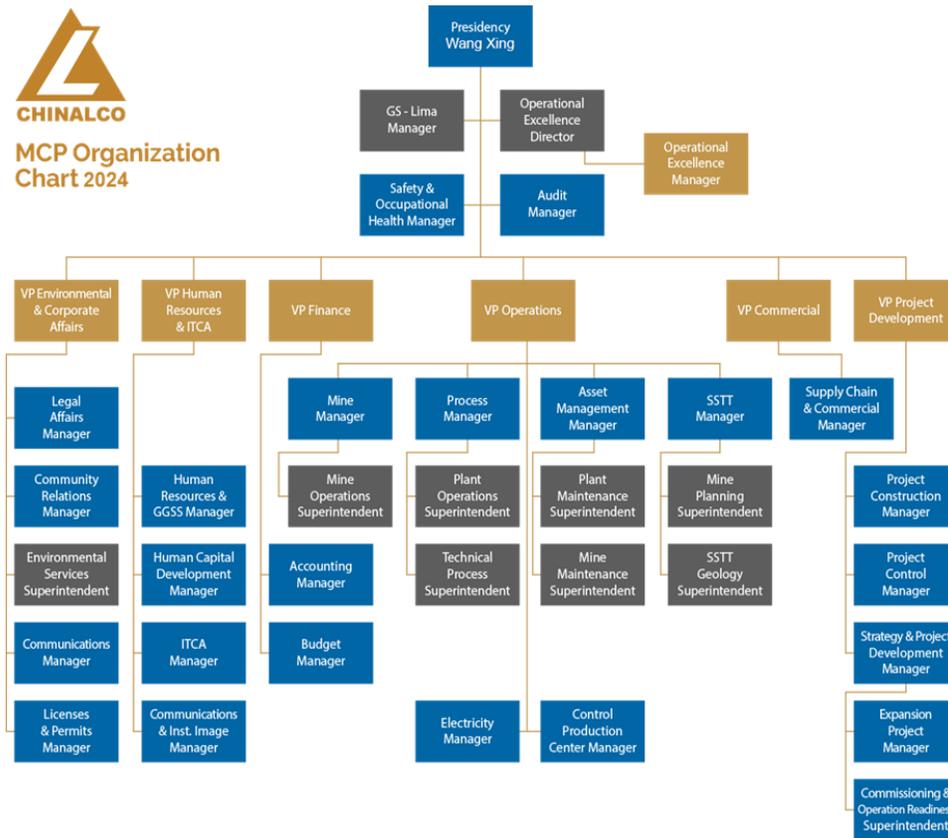
Actualmente, Chinalco Perú se posiciona como una de las compañías más importantes de China Copper y la mayor en cuanto a propiedades gestionadas dentro de dicha organización.



**Figura 1. Reseña Histórica de la Organización.**  
**Fuente: Empresa Minera Chinalco.**

Una de las actividades más significativas de Minera Chinalco Perú es el proyecto de minería Toromocho, ubicado en la región Junín. Toromocho constituye una mina de gran envergadura dedicada a la extracción de concentrados de cobre y molibdeno. La empresa ha realizado inversiones sustanciales en tecnología y en procesos innovadores, lo que le permite operar de manera eficiente y sostenible. Asimismo, Minera Chinalco Perú demuestra un firme compromiso con la responsabilidad social y ambiental, mediante la implementación de estrategias orientadas a mitigar el impacto ambiental y a promover el desarrollo de las comunidades aledañas. Entre sus iniciativas, destacan diversos programas de desarrollo social.

## 1.4. Organigrama de la empresa



**Figura 2. Organigrama de la Empresa Chinalco.**  
Fuente: Empresa Minera Chinalco.

## 1.5. Visión y misión

### 1.5.1. Misión

Minera Chinalco Perú, gracias al sólido compromiso de su equipo, se dedica a la transformación responsable y eficiente del recurso natural. El mencionado punto de vista posee la meta de coadyuvar en la mejora con sostenibilidad en el lugar donde opera, así como mejorar el bienestar de todos sus grupos de interés, para así lograr la armonía en los componentes económicos, sociales y de la naturaleza.

### 1.5.2. Visión

El propósito de Minera Chinalco Perú es establecerse como una compañía minera de alta categoría, destacándose por su capacidad para crear valor mediante una notable eficiencia operativa, una gestión sobresaliente y un liderazgo destacado en la implementación de tecnología e innovaciones.

## 1.6. Bases legales o documentos administrativos

Minera Chinalco Perú S.A. opera en conformidad con las normativas eléctricas y mineras aplicables en el país. En cuanto al marco normativo eléctrico, la empresa se constituyó y se encuentra

supeditada a la Ley General de Electricidad N.º 23406 y su reglamento, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 031-82-EM/VM del 4 de octubre de 1982, y formalizado por la Resolución Ministerial N.º 319-83-EM/DGE del 21 de diciembre de 1983.

Por su parte, en el ámbito minero, Minera Chinalco Perú S.A. se rige bajo la normativa privada y está sujeta a las disposiciones establecidas en la Resolución Secretarial N.º 0205-2022-RE, que oficializa el evento "Perumin 35 Convención Minera" en abril de 2022, así como a otras normativas sectoriales aplicables.

## **1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales**

### **1.7.1. Área de Mantenimiento Eléctrico e Instrumentación**

Área perteneciente a la vicepresidencia de operaciones, gerencia de gestión de activos, superintendencia de mantenimiento planta. Encargada de realizar mantenimiento correctivo y preventivo a los distintos equipos que se cuentan en planta.

## **1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa**

- ✓ Ejecutar las tareas de mantenimiento preventivo, correctivo del sistema eléctrico, instrumentos, hidráulico y neumático, de la instalación asignada en coordinación con el técnico superior a su categoría.
- ✓ Realizar las rutas de inspección a través del uso de *check list* (inspección visual) y cámaras termográficas, registrando los hallazgos mediante la aplicación del *check list* por equipo. Además, contribuir a la realización del plan de acciones correctivas que permitan la eliminación de los orígenes de las posibles fallas.
- ✓ Apoyar en el análisis y solución de fallas en los equipos eléctricos e instrumentación, en el proceso de la planta en el menor tiempo posible.
- ✓ Implementar las mejores prácticas de mantenimiento de los equipos y documentos de control realizando recomendaciones y observaciones para proteger y cuidar los equipos en coordinación con el jefe/supervisor inmediato
- ✓ Ejecutar el backlog identificado de acuerdo con la prioridad que determina el proceso de gestión de mantenimiento.
- ✓ Generar ordenes de trabajos (OTS) y realizar el cierre técnico/ notificación de cada OT que realice el equipo de mantenimiento.
- ✓ Reparar y calibrar componentes, reparar motores eléctricos, calibrar instrumentos, etc.
- ✓ Participar de las ideas de mejora que permitan reducir la incidencia de accidentes, incrementar la disponibilidad y reducir los costos operativos.
- ✓ Elaborar y ejecutar Procedimientos Estándares de Trabajo Seguro (PETS) y planes de acción correctivas que permitan el cero incidentes de seguridad y medio ambiental.

- ✓ Elaborar reportes rutinarios relacionados a actividades de mantenimiento.
- ✓ Cumplir con otras funciones que delegue su superior inmediato alineado a los objetivos del área

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES**

#### **2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional**

En Minera Chinalco Perú S.A. se llevó a cabo la creación de líneas de 23kV, para lograr distribuir la electricidad de la SE Toromocho 220/23kV, hasta la instalación para la Mina Toromocho. La carga de planta está alimentada por dos subestaciones principales que a su vez alimentan a las distintas áreas de la planta, para el caso de molienda están alimentadas por las subestaciones 210US001 y 210US002, en caso de relaves están alimentadas por las subestaciones 255US, 255US001 y 255US002, en todos los casos cada subestación tiene la capacidad de asumir la carga de toda el área generando así más confiabilidad y disponibilidad en la planta.

#### **2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional**

En la actualidad, existen oportunidades significativas para el avance en el ámbito de la ingeniería, enfocadas en la optimización de la productividad usando metodología investigativa en cada fase del trabajo de extracción. Técnicas como la estadística y el estudio de data, tanto a nivel básico como complejo, son esenciales para mejorar las operaciones, los mantenimientos y las parametrizaciones del equipamiento. En particular, estas técnicas se aplican en el sistema de chancar, dentro del proceso de moliendas, lo que permite un análisis más efectivo y la mitigación de problemas asociados. Este documento se localiza contextualmente en la actividad de extracción llevada a término en el proyecto Toromocho.

### **2.3. Objetivos de la actividad profesional**

En la meta de llevar a término el implementar una planificación de mantenimiento predictivo destinado a los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, me propondré alcanzar un conjunto de objetivos que se reúnen en tres categorías fundamentales:

#### **2.3.1. Optimización operacional**

✓ **Reducción del tiempo de inactividad:** Minimizar las interrupciones en el funcionamiento del sistema de enfriamiento debido a fallas en los motores, asegurando un flujo continuo de refrigeración para los variadores de velocidad de las bombas GEHO.

✓ **Mejora de la confiabilidad del sistema:** Aumentar lo disponible y confiable del mecanismo de enfriamiento, reduciendo el riesgo de fallas inesperadas y asegurando un funcionamiento estable y eficiente.

✓ **Optimización del rendimiento del sistema:** Mejorar la eficiencia del sistema de enfriamiento, minimizando las pérdidas de energía y asegurando un funcionamiento óptimo de los motores.

#### **2.3.2. Gestión de costos**

✓ **Reducción de costos de mantenimiento:** Disminuir el costo vinculado a la reparación imprevista y mantenimientos correctivos, mediante un enfoque en la prevención de fallas y las mejoras en las gestiones de los recursos de mantenimientos.

✓ **Optimización de la gestión de recursos:** Mejorar la planificación y la distribución de recursos destinados al mantenimiento, centrándose en las áreas que requieren atención prioritaria y minimizando el derroche de tiempo y recursos financieros.

✓ **Aumento de la vida útil del equipamiento:** Prolongar la duración de los motores del sistema de enfriamiento, reduciendo el desgaste prematuro y minimizando la necesidad de reemplazos costosos.

#### **2.3.3. Mejora de la seguridad**

✓ **Prevención de accidentes:** Identificar y abordar problemas potenciales en los motores antes de que se conviertan en fallas que podrían causar accidentes o lesiones.

✓ **Mejora de las condiciones de trabajo:** Crear un ambiente laboral seguro al reducir el riesgo de fallas inesperadas y las interrupciones en el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

✓ **Cumplimiento de normas de seguridad:** Garantizar la adherencia a las normativas de seguridad y a las regulaciones pertinentes en la operación del sistema de refrigeración.

## **2.4. Justificación de la actividad profesional**

Se fundamenta en una serie de razones esenciales que afectan de manera directa la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de la operación.

### **2.4.1. Reducción de costos y tiempos de inactividad**

✓ **Prevención de fallas inesperadas:** El mantenimiento predictivo facilita anticipar y prevenir fallas en los motores antes de que ocurran, evitando costosas reparaciones de emergencia y tiempos de inactividad imprevistos.

✓ **Optimización de recursos:** Al enfocarse en las áreas que realmente necesitan mantenimiento, se optimizan los recursos y se evitan gastos innecesarios en tareas no esenciales.

### **2.4.2. Mayor disponibilidad y confiabilidad del sistema**

✓ **Funcionamiento continuo:** Un sistema de enfriamiento confiable garantiza el funcionamiento continuo de las bombas GEHO, evitando interrupciones en la producción y asegurando un flujo de refrigeración constante.

✓ **Incremento de la duración del equipamiento:** La detección temprana de problemas permite realizar intervenciones preventivas que prolongan la duración de los motores y otros elementos del sistema de enfriamiento, de esta manera se reduce la necesidad de reemplazos costosos.

### **2.4.3. Mejora de la seguridad y el entorno de trabajo**

✓ **Prevenir accidentes:** La identificación temprana de fallas potenciales en los motores del sistema de enfriamiento reduce el riesgo de accidentes y lesiones, creando un entorno de trabajo más seguro.

✓ **Cumplimiento de normas:** La adopción de programas de mantenimientos predictivos refleja una dedicación hacia la seguridad y el respeto por las normativas de seguridad pertinentes.

#### **2.4.4. Optimización del rendimiento y eficiencia del sistema**

✓ **Funcionamiento Óptimo:** Al mantener los motores en óptimas condiciones, se garantiza un funcionamiento eficiente del sistema de enfriamiento, minimizando las pérdidas de energía y maximizando el rendimiento de las bombas GEHO.

### **2.5. Resultados esperados**

En la realización de una planificación de mantenimiento predictivo en motores del sistema de enfriamiento de variadores de velocidad de bombas GEHO, se esperan los siguientes resultados:

#### **2.5.1. Mejora de la disponibilidad y confiabilidad del sistema**

✓ **Reducción del tiempo de inactividad:** Se prevé una disminución importante en los periodos de detención del sistema de enfriamiento debido a fallas en los motores, lo que permitirá una operación más continua de las bombas GEHO y una mayor productividad general.

✓ **Aumento de la confiabilidad:** El sistema de enfriamiento adquirirá mayor confiabilidad operativa, reduciendo la probabilidad de fallas inesperadas, lo que incrementará la seguridad de la operación y disminuirá la incertidumbre en la planificación.

#### **2.5.2. Optimización de costos y recursos**

✓ **Reducción de costos de mantenimientos:** Se estima una reducción en los costos asociados a reparaciones de emergencia y mantenimientos correctivos, al priorizar acciones preventivas.

✓ **Optimización en la gestión de recursos:** La aplicación del plan de mantenimiento predictivo permitirá una asignación más eficiente de los recursos técnicos y humanos, dirigiéndolos hacia áreas críticas y evitando el uso innecesario de tiempo y dinero.

#### **2.5.3. Mejora de la seguridad y el entorno de trabajo**

✓ **Prevención de accidentes:** Se espera una disminución del riesgo de accidentes e incidentes relacionados con fallas en los motores del sistema de enfriamiento, promoviendo un entorno laboral más seguro.

✓ **Cumplimiento de normas:** El plan de mantenimiento predictivo contribuirá al cumplimiento de las normas de seguridad y regulaciones técnicas vigentes, fortaleciendo la gestión integral del riesgo.

#### **2.5.4. Mayor vida útil de los equipos**

✓ **Prolongación de la vida útil:** Se anticipa una extensión en la durabilidad de los motores y otros componentes del sistema de enfriamiento, mediante la detección temprana de fallas y la ejecución de intervenciones preventivas, lo cual reducirá la necesidad de reemplazos frecuentes y costosos.

#### **2.5.5. Optimización del rendimiento del sistema**

✓ **Funcionamiento eficiente:** Se prevé un funcionamiento más eficiente del sistema de enfriamiento, con menor pérdida de energía y una mejora en el rendimiento de las bombas GEHO, favoreciendo la estabilidad y eficacia del proceso operativo.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades**

##### **3.1.1. Mantenimiento**

Olarte et al. (3), «el mantenimiento son los servicios que abarcan un conjunto de trabajos destinados a garantizar que el equipamiento, máquinas, construcciones civiles o instalaciones eléctricas se conserve o restablezca en condiciones óptimas para desempeñar sus funciones», destacando su importancia tanto en la calidad de los productos como en su papel estratégico para lograr una competencia efectiva.

Existen múltiples enfoques para implementar las labores de mantenimiento. Entre los más relevantes se encuentran el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés, *Reliability Centered Maintenance*) y el Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés, *Total Productive Maintenance*) (4).

##### **3.1.1.1. Función del Mantenimiento**

**Funciones primarias:** Las funciones primarias abarcan las siguientes actividades esenciales:

- ✓ Mantener, reparaciones e inspecciones al equipamiento e instalación.
- ✓ Distribuir el servicio eléctrico en el sistema de concentración.
- ✓ Renovar y retirar equipamiento e instalación determinada.
- ✓ Implementar la programación anual de mantenimientos preventivos y predictivos.

**Funciones secundarias:** Las funciones secundarias comprenden las siguientes tareas fundamentales:

- ✓ Administrar solicitudes de nuevo equipamiento para la optimización del proceso.
- ✓ Elaborar informes para adquirir repuesto, maquinaria y consumible.
- ✓ Supervisar y asegurar el correcto suministro de la relación de “repuesto y consumible”.
- ✓ Mantener en óptimas condiciones el equipamiento de seguridad y protección.
- ✓ Documentar el historial de utilización e inventarios de la maquinaria de la empresa.

### **3.1.1.2. Planes de mantenimiento**

Cuando está bien estructurado, un plan de mantenimiento se basa en actividades diseñadas para abordar de manera anticipada las posibles fallas de la maquinaria. Este modelo abarca la totalidad de las acciones necesarias para advertir los desperfectos más frecuentes que pueden afectar al equipamiento. Es esencial comprender el concepto clave asociado a un plan de mantenimiento, que se organiza en tareas agrupadas por secciones, cuyo principal objetivo es minimizar las paradas no programadas. Según Ponce (5), este enfoque es crucial para garantizar la continuidad operativa. En la generación de la planificación anual de mantenimiento, es fundamental incorporar las recomendaciones del fabricante, considerando diversos indicadores del servicio. En general, el equipamiento crítico debe ser priorizado dentro de estos planes debido a su impacto en la operación total.

La materialización de la planificación de mantenimiento predictivo requiere seguir una metodología estructurada que comprende cinco pasos fundamentales:

**Paso 1:** Identificar y registrar todos los equipos involucrados en los procesos productivos, asegurando un análisis exhaustivo de su interacción dentro del sistema operativo.

**Paso 2:** Sintetizar y priorizar las recomendaciones proporcionadas por los fabricantes, así como las directrices técnicas provenientes de la oficina correspondiente.

**Paso 3:** Organizar las actividades de mantenimiento de manera anticipada, seleccionando aquellas que puedan realizarse bajo condiciones seguras y alineadas con los objetivos operativos.

**Paso 4:** Determinar los materiales que se necesiten para la realización de los trabajos y delegar las responsabilidades correspondientes al personal técnico-operativo, asegurando claridad en las funciones.

**Paso 5:** Garantizar que todos los trabajos se den en estricta conformidad con los procedimientos y normas de seguridad establecidos.

### **Planes de mantenimiento y la recomendación de los fabricantes.**

Las definiciones de los trabajos a incluir en la planificación de mantenimiento de un sistema industrial pueden basarse en diversos juicios; no obstante, el criterio más común es seguir las recomendaciones proporcionadas por los fabricantes. Aunque este enfoque resulta relativamente sencillo de implementar, presenta ciertas limitaciones que deben considerarse para garantizar la eficacia de la planificación.

### **Plan de mantenimiento basado en protocolos.**

La planificación de trabajos específicos para todo activo en una planta industrial se formaliza en lo que se conoce como procedimiento de trabajo programado. Este procedimiento se desarrolla mediante la elaboración de un plan detallado que incluye el paso a paso de las tareas de mantenimiento asociadas a todas las actividades principales de la planta. Asimismo, se identifica y lista los activos más críticos. Una vez establecido, basta con seguir el procedimiento para cada activo, lo que permite registrar un historial completo y pormenorizado de las labores de mantenimiento llevados a cabo (6).

#### **3.1.1.3. Objetivos del Mantenimiento**

Esto representa la meta establecida y aceptada para guiar la actividad de los equipos de mantenimiento. Entre los objetivos principales se incluyen garantizar la disponibilidad de los activos, reducción de costos, excelencia en el servicio, seguridad y preservación del medio ambiente. Por el contrario, las normas de mantenimiento son un método integral que dirige la logística de la prestación de servicios de mantenimiento. Estas políticas están fundamentadas en los objetivos establecidos y se adaptan al ciclo de vida de las industrias, así como a las expectativas de los dueños, beneficiarios y consumidores.

#### **3.1.2. Generación del Mantenimiento**

La evolución de las prácticas de mantenimiento industrial puede dividirse en cuatro generaciones principales, cada una marcada por cambios significativos en la tecnología, la gestión y las prioridades de la industria (7):

**Primera generación:** Esta etapa abarca hasta la II Guerra Mundial. Durante esta época, las industrias carecían de un alto grado de mecanización, lo que hacía que los tiempos de inactividad no fueran críticos. El prevenir la falla en el equipamiento no era algo prioritario para los de gerencia, dado que la productividad no dependía significativamente de las máquinas.

**Segunda generación:** Posterior a la Segunda Guerra Mundial, se produjo un cambio drástico debido a la disminución de trabajadores disponibles, lo que impulsó un incremento significativo en la

industria mecanizada. Para los años de 1950-1960, la cantidad y lo complejo de las maquinarias habían crecido considerablemente, haciendo que la industria comenzara a depender de ellas, lo que resaltó la necesidad de estrategias de mantenimiento más avanzadas.

**Tercera generación:** A partir de 1975, la industria experimentó transformaciones aún más profundas. Este estadio se define por la llegada de nuevas expectativas, investigaciones y técnicas que ampliaron la capacidad de gestionar y mantener los equipos.

**Cuarta generación:** A partir de los 90 al presente, el mantenimiento ha evolucionado hacia una gestión basada en grandes avances tecnológicos. En este periodo, se han desarrollado nuevas tendencias, metodologías y filosofías, todas orientadas a la prevención de fallas, con un enfoque en maximizar la fiabilidad y eficiencia de los activos industriales.

### 3.1.2.1. Estrategias de Mantenimiento

Las estrategias para mantener el equipamiento se definen como las decisiones estratégicas adoptada por el responsable de la gestionar una planta con el fin de guiar las actividades de mantenimiento. Esta estrategia establece un conjunto de trabajos fundamentales como pilar principal, mientras que el resto de las actividades se subordinan a este conjunto básico.

**Mantenimiento correctivo:** Los mantenimientos correctivos se caracterizan por la ausencia de planificación y programación previa, enfocándose únicamente en corregir problemas imprevistos que surgen durante la operación. Este enfoque es adecuado para equipos de bajo costo, donde las interrupciones no generan impactos significativos en los procesos productivos.

**Mantenimiento preventivo:** De acuerdo con Dounce (8), los mantenimientos preventivos consisten en hacer trabajos de inspección y servicio previamente planificados, ejecutados en intervalos específicos con la meta de preservar las capacidades de funcionalidad del equipamiento y sistemas operativos. Soto (9) amplía esta idea al diferenciar los mantenimientos preventivos de clase real y de clase mundial, cuyos detalles se ilustran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Comparación del mantenimiento preventivo de clase real y clase mundial**

TIPO INDUSTRIA	REAL	CLASE MUNDIAL
Montaje	29 %	53 %
Distribución	56 %	54 %
Fabrica grande	29 %	51 %

Fabrica pequeña	34 %	52 %
Proceso	34 %	42 %
Consultor	25 %	44 %
PROMEDIO PONDERADO	33 %	47 %

**Nota:** *La Industria automotriz es referente para las demás industrias, aquí se presenta la referencia de la General Motor Company, 2000.*

### **Mantenimiento predictivo**

Este enfoque que establece una relación directa entre variables físicas y el nivel de desgaste de la maquinaria. Se fundamenta en la medición, seguimiento y monitoreo continuo de los indicadores de los equipos o instalaciones.

Los datos más relevantes proporcionados por este método son las tendencias de las variables medidas, lo que permite estimar y prever, con un margen de error aceptable, posibles fallas en los equipos. Esta capacidad predictiva es esencial para minimizar interrupciones y optimizar el rendimiento de los activos. En la Tabla 2, se detalla este mantenimiento en dos niveles: clase real y clase mundial, según los criterios establecidos (10).

**Tabla 2. Comparación del mantenimiento predictivo de clase real y clase mundial para los diferentes tipos de industrias.**

<b>TIPO INDUSTRIA</b>	<b>REAL</b>	<b>CLASE MUNDIAL</b>
Montaje	7 %	39 %
Distribución	10 %	30 %
Fabrica grande	12 %	30 %
Fabrica pequeña	12 %	32 %
Proceso	15 %	42 %
Consultor	15 %	38 %
PROMEDIO	12 %	35 %

**Nota:** *La Industria automotriz es referente para las demás industrias, aquí se presenta la referencia de la General Motor Company, 2000.*

### **3.1.2.2. Análisis de Criticidad**

FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) es una metodología diseñada para facilitar la toma de decisiones en una organización, considerando su impacto global. Esta herramienta permite reconocer que no todos los activos tienen el mismo nivel de importancia y que los recursos

disponibles —como horas-hombre y presupuesto— son limitados. Asimismo, un mismo activo puede requerir distintos tipos de mantenimiento dependiendo de su función y condición operativa.

El FMECA se enfoca en asignar un valor numérico a la consecuencia de la falla de los equipos dentro de un complejo industrial, así como a la frecuencia con que estas fallas ocurren, con el fin de priorizar la actividad de mantenimiento en aquellos procesos que representen un riesgo significativo de interrupción de las operaciones. Esta metodología resulta esencial para optimizar los recursos y garantizar la continuidad operativa de los sistemas críticos de una organización (11).

### **Clasificación del sistema de criticidad**

Dado su valor en el proceso de la planta de concentración, así como el riesgo de daños o accidentes potenciales en caso de fallas, los equipos críticos deben ser gestionados con estrategias de mantenimiento altamente efectivas. Esto asegura la continuidad operativa, minimiza los riesgos para la seguridad y evita interrupciones que podrían comprometer la productividad y los resultados de la planta.

### **Nivel de criticidad de los equipos.**

En concordancia con los estándares de las industrias, el trabajo presentado establece 3 escalas de criticidad para clasificar los activos de una planta

#### **Criticidad 1.**

El equipamiento que no debe fallar, son los cuales de los que un mal funcionamiento podría resultar en la paralización del complejo o de un ramal productivo, generando pérdidas financieras significativas. Además, su falla puede ocasionar accidentes graves, tanto para el personal de mantenimiento como para los operadores. Ejemplos comunes son calderas, grúas, y elevadores.

La falla de estos equipos no solo compromete la operación, sino que también puede generar impactos ambientales importantes, como fugas de aceite, liberación de sustancias contaminantes o desechos peligrosos. Por ello, su gestión y mantenimiento preventivo resultan cruciales para evitar interrupciones y minimizar los riesgos asociados.

#### **Criticidad 2.**

Los equipos que no deberían fallar. Aunque importantes para la operación, su avería no representa un impacto significativo debido a la existencia de unidades de respaldo o a que las reparaciones suelen ser rápidas. Su mantenimiento se prioriza en función de la disponibilidad de recursos y el posible efecto de su falla.

### **Criticidad 3.**

Los equipos que rara vez se utilizan se refieren a maquinaria que no se utiliza de manera constante. Si bien una falla de estos equipos puede interrumpir las operaciones, no tiene un impacto importante en los trabajos productivos del complejo. Por lo general, a este tipo de equipos se les asigna una prioridad menor en las órdenes de trabajo, ya que las tareas más urgentes deben abordarse primero. En consecuencia, puede que no siempre sea posible finalizar todas las órdenes de mantenimiento preventivo dentro del cronograma designado.

Con el fin de dar mejora a las gestiones del mantenimiento, es recomendable que las órdenes de trabajo incluyan un componente que indique claramente la criticidad del equipo que requiere intervención. Esta categorización permitirá la priorización de las tareas de mantenimiento en función del posible efecto que cada equipo tenga en las operaciones. La Tabla 3 ilustra los objetivos de cumplimiento alineados con los niveles de criticidad, lo que ayuda a la organización eficaz de las actividades de mantenimiento (12).

**Tabla 3. Metas del cumplimiento en el mantenimiento preventivo de acuerdo con el nivel de criticidad.**

<b>METAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	
Criticidad 1	100 % de cumplimiento
Criticidad 2	90 % de cumplimiento
Criticidad 3	80 % de cumplimiento

*Nota: La Industria automotriz es referente para las demás industrias, aquí se presenta la referencia de la General Motor Company, 2000.*

#### **3.1.2.3. Pasos para realizar análisis de criticidad.**

Los procedimientos para llevar a cabo un análisis de riesgo en el mantenimiento de activos comprenden:

**Delimitar el alcance y los objetivos del análisis:** Es fundamental especificar de manera precisa qué aspectos se van a examinar, los fines que se pretenden alcanzar y la manera en que se usará el resultado para optimizar la gestión del mantenimiento.

**Definir criterios de relevancia:** Es necesario establecer los parámetros que determinarán cuáles equipos o sistemas son más críticos, considerando aspectos como la disponibilidad, la seguridad, el impacto ambiental y los costos operativos.

**Elegir un método de evaluación para clasificar los sistemas objeto del análisis (basado en riesgo):** Siguiendo la norma ISO 55000, se debe adoptar un enfoque fundamentado en el análisis de riesgo para priorizar los activos que requieren mayor atención, en función de su nivel de criticidad.

El riesgo se conceptualiza, según la API RP 580, por ejemplo, el que se combine lo probable de que un suceso acaezca en un intervalo de tiempo específico y las repercusiones de que dicho evento se materialice. Desde un punto de vista matemático, el riesgo puede expresarse de la siguiente manera:

$$RIESGO = PROBABILIDAD \times CONSECUENCIA$$

En el marco del análisis de criticidad, se aplican diversos criterios para determinar la relevancia de los equipos y sistemas, considerando su posible impacto. Los criterios más destacados son:

- Criterio de seguridad
- Criterio ambiental
- C. de producción
- C. de Costo (operación y mantenimientos)
- C. de periodicidad de fallas

### **3.1.3. Objetivos de mantenimiento.**

De acuerdo con Ponce y Campoverde los propósitos esenciales del mantenimiento industrial pueden resumirse en los siguientes aspectos (5):

- ✓ Minimizar, y, cuando sea necesario, reparar los desperfectos en los activos.
- ✓ Mitigar la severidad de las fallas inevitables.
- ✓ Prevenir paradas imprevistas de maquinaria.
- ✓ Prevenir accidentes.
- ✓ Proteger la integridad de las personas y aumentar la seguridad.
- ✓ Conservar el activo productivo en condiciones seguras y conforme a los estándares operativos.
- ✓ Reducir los costos de operación y mantenimiento.
- ✓ Extender la vida útil de los activos.

Estos objetivos son fundamentales para asegurar una operación eficiente y segura, incrementando la productividad y reduciendo riesgos y costos a largo plazo (13).

### **3.1.3.1. Tipos de mantenimiento**

- ✓ M. Correctivo.
- ✓ M. preventivo.
- ✓ M. predictivo.
- ✓ M. productivo total.
- ✓ M. basado en la confiabilidad.

**Mantenimiento Predictivo.** También conocido como mantenimiento basado en la condición, surge como una solución para optimizar los costos en comparación con enfoques tradicionales, como el mantenimiento correctivo y el preventivo. Su esencia radica en el entendimiento detallado del estado de los equipos, lo que permite reemplazar componentes únicamente cuando no se encuentran en condiciones operativas adecuadas. De esta manera, se eliminan paradas innecesarias por inspecciones programadas. Además, se busca prevenir fallas inesperadas mediante la detección temprana de anomalías funcionales y el seguimiento de su evolución, facilitando la implementación de acciones preventivas antes de que ocurra una falla crítica (14).

La adopción del mantenimiento predictivo requiere personal capacitado en técnicas avanzadas y en el uso de herramientas especializadas. Esto les brinda las competencias necesarias para evaluar, a partir de datos y parámetros reales, la condición actualizada de los distintos componentes de los equipos, lo que permite tomar decisiones informadas y oportunas para garantizar una operación segura y eficiente.

#### **Principales técnicas usadas en el mantenimiento predictivo**

##### **Análisis de Vibraciones. -**

El análisis de vibraciones permite detectar irregularidades en maquinaria rotativa mediante el estudio de parámetros como la vibración, el desplazamiento y la aceleración. Su objetivo principal es construir un perfil espectral que represente estos parámetros durante la operación del equipo.

Este perfil es evaluado por personal especializado, quien determina si las mediciones se encuentran dentro de los rangos establecidos. Si los valores exceden dichos límites, se interpreta como una señal de advertencia que indica la necesidad de intervención técnica. Un ejemplo de este análisis puede observarse en la Figura 3.



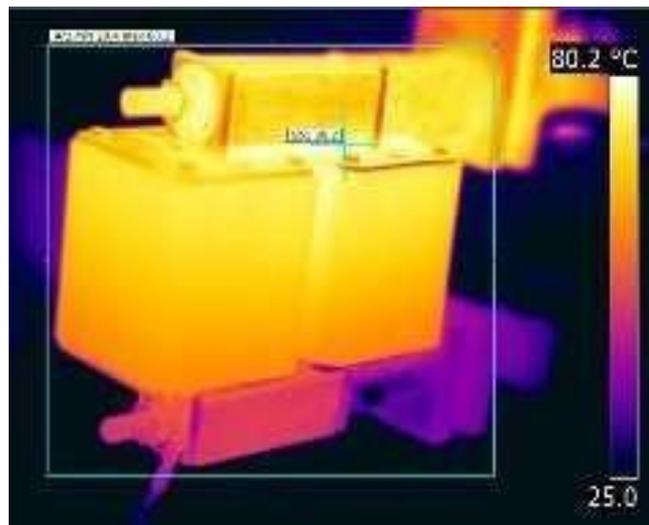
## **Termografía**

La termografía constituye una técnica de mantenimiento predictivo que permite la detección de fallas mediante la identificación de variaciones térmicas, sin necesidad de contacto físico con el equipo. Este procedimiento se basa en la medición de los niveles de radiación en el espectro infrarrojo, lo que permite visualizar cambios de temperatura que podrían indicar problemas funcionales en los componentes.

Un ejemplo de aplicación termográfica en fusibles puede apreciarse en la Figura 4. Este análisis posibilita establecer una relación entre el incremento de temperatura en un punto específico y el desperfecto de los componentes involucrados. La técnica es aplicable tanto a elementos estáticos como a partes móviles.

La selección del tipo de material a analizar (en el caso de componentes sin movimiento), así como los límites de temperatura admisibles (para elementos en movimiento), son consideraciones esenciales, ya que determinan la salud operativa del equipo y la urgencia de una intervención técnica.

Gracias a su capacidad para identificar fallas de forma temprana, antes de que evolucionen en problemas críticos, la termografía se ha consolidado como una herramienta clave en el mantenimiento predictivo (2).



*Figura 4. Termodinámica.*

En el caso específico de motores eléctricos, se deberán utilizar las tablas de temperatura nominal según la clase de aislamiento, a fin de establecer los valores de alarma pertinentes.

**Tabla 5. Temperatura máxima de motores según clase de aislamiento**

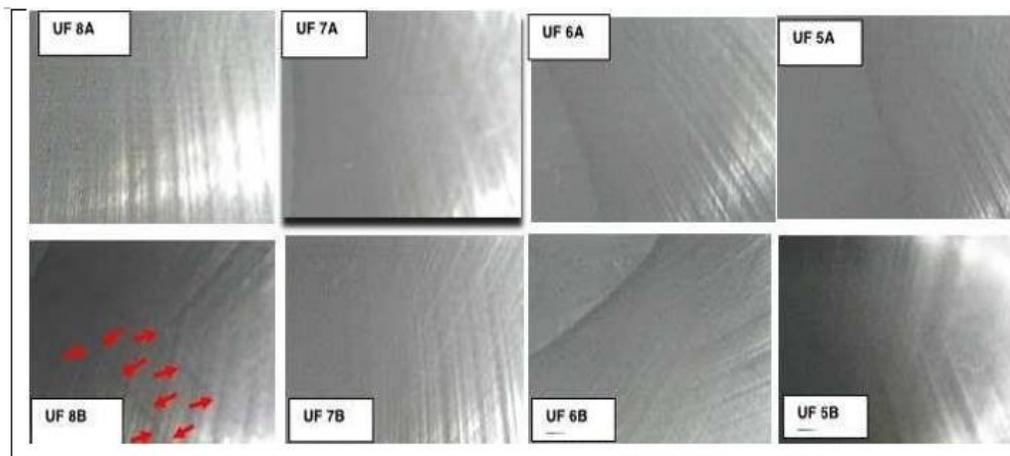
Clase de aislamiento	Temperatura límite de operación (°C)
E	120
B	130
F	155
H	180
N	200
R	220
S	240

### **Inspecciones Boroscópicas**

Este tipo de mantenimiento predictivo se basa en la evaluación del estado de componentes de difícil acceso mediante el uso de una videocámara de reducido tamaño, permitiendo realizar inspecciones sin necesidad de desmontar o abrir el equipo. Esta técnica no solo incrementa la eficiencia del mantenimiento, sino que también reduce significativamente el tiempo de inactividad operativa.

El boroscopio —también denominado videoscopio o videoboroscopio— es un sistema equipado con una pantalla que permite visualizar y grabar las imágenes capturadas por una cámara instalada en un tubo flexible. Este tubo puede ser maniobrado en múltiples direcciones, controlado generalmente desde el mismo monitor. Esta configuración facilita la exploración de zonas inaccesibles sin requerir el desensamble del equipo.

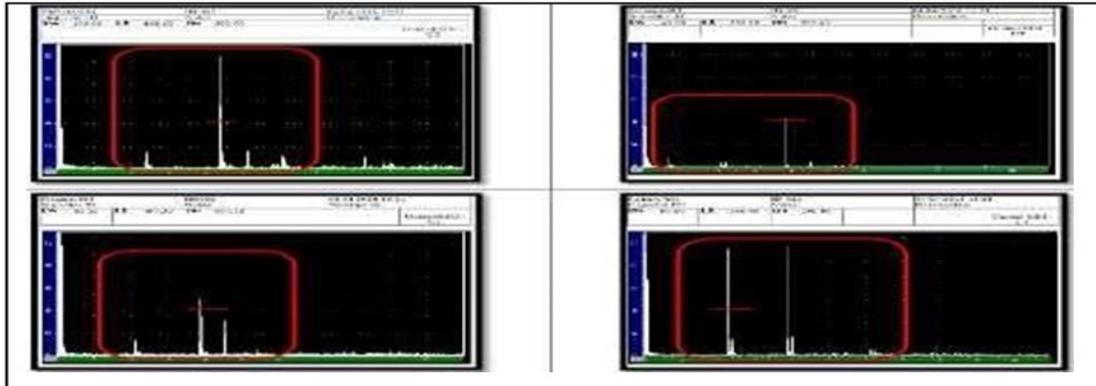
En la Figura 5 se muestran los fotogramas internos de camisas, obtenidos mediante esta técnica (15).



**Figura 5. Análisis boroscópico realizado a las camisas de un motor de combustión interna. Fuente: Informe Técnico- Komatsu, 2019.**

### **Inspecciones por Ultrasonido:**

Constituye una destreza avanzada de ensayos volumétricos que permite la identificación de situaciones anómalas en el interior de un elemento. Esta metodología es particularmente eficaz para detectar defectos internos no perceptibles a simple vista. En la Figura 6 se ilustra la discontinuidad hallada en los pines de rodillos mediante esta técnica.



*Figura 6. Inspección por ultrasonido a los pines de los rodillos en el lower de una pala eléctrica.  
Fuente: Informe técnico – Komatsu, 2019.*

Los dispositivos empleados para transformar las ondas ultrasónicas en señales audibles se conocen como sensores ultrasónicos. A través de estos instrumentos, la información convertida puede ser escuchada por auriculares o visualizada en una pantalla, lo que facilita la detección de defectos y la evaluación del estado estructural del elemento (3).

### **Análisis de aceites:**

Este análisis es primordial para establecer el estado del lubricante, identificar la presencia de contaminantes y partículas que desgastan el mecanismo, permitiendo detectar fallos en los componentes internos o predecir deterioros prematuros. El aceite actúa como protector contra el desgaste, regulador de temperatura y eliminador de impurezas. Sin embargo, su degradación o contaminación compromete estas funciones esenciales, derivando en un funcionamiento inadecuado o fallas mecánicas (3).

### **Mantenimiento Productivo Total**

Es una estrategia de mejoramiento orientada a confirmar la disponibilidad y fiabilidad deseadas en operaciones, equipos y sistemas. Se basa en principios como la prevención, la eliminación de defectos, la ausencia de accidentes y la participación del personal. El TPM promueve la colaboración integral de la organización para optimizar la eficiencia y reducir fallas e interrupciones no programadas (16).

### **Costos asociados al mantenimiento**

En seguida, se explica con brevedad el costo asociado al mantenimiento:

- ✓ **Mano de obra:** Horas hombre destinadas a la planificación y ejecución.
- ✓ **Maquinaria o equipos:** Herramientas necesarias para ejecutar el mantenimiento.
- ✓ **Materiales:** Piezas, dispositivos, lubricante, herramienta, repuesto y otros insumos necesarios para lograr el mantenimiento del equipamiento.
- ✓ **Tiempo de indisponibilidad operacional:** Intervalo durante el cual la producción se ve afectada debido a que los equipos están fuera de funcionamiento mientras se efectúa el mantenimiento.
- ✓ **Gastos generales:** Costos relacionados con servicios, logística, talleres, formación y otros recursos indirectos vinculados al mantenimiento.
- ✓ **Costos indirectos:** Gastos adicionales que se generan por la necesidad de equipos complementarios para asegurar la correcta realización del mantenimiento.

Adicionalmente, deben considerarse los costos derivados de una mala planificación:

- ✓ **Incremento de la inversión:** Un mantenimiento inadecuado del equipamiento acorta su duración, lo que a su vez retrasa el conseguir lo invertido inicialmente.
- ✓ **Pérdida de calidad:** Se producen cuando los equipos no reciben el mantenimiento necesario. Al modificar el esquema de mantenimiento, es esencial analizar los posibles efectos en la calidad del proceso o del producto.
- ✓ **Costos de capital:** Un mantenimiento ineficaz provoca un aumento en las fallas imprevistas, lo que genera sobrecostos en el sistema productivo y afecta la rentabilidad.
- ✓ **Pérdidas de energía:** Los equipos que no son mantenidos adecuadamente pueden tener un mayor consumo energético, incrementando así los costos operativos.
- ✓ **Ambiente Laboral:** Un entorno de trabajo limpio y bien mantenido es fundamental para un rendimiento laboral óptimo. La adecuada limpieza y mantenimiento de los equipos contribuyen a mejorar las condiciones laborales, lo que repercute positivamente en la productividad (15)

## A. Variadores de velocidad

### Tipos de arranques de motores

La evolución de la electrónica de potencia, motivado por la continua búsqueda de dispositivos más avanzados y por el aumento en las capacidades de procesamiento de microcontroladores del presente, ha permitido la creación de equipos altamente eficientes para la generación de ondas de corriente alterna con frecuencia y voltaje regulados. Dispositivos como los variadores de velocidad para motores de CA posibilitan el suministro de energía al motor de tal manera que se convierte en una máquina tan adaptable para el control del par motor y la velocidad, similar al motor de corriente continua (DC). Este desarrollo ha resultado en una disminución en la utilización de motores DC, especialmente debido a su mayor costo y a los requisitos de mantenimiento vinculados a las escobillas y el conmutador, en comparación con los motores de inducción asíncronos, que requieren menos mantenimiento y son más asequibles.

### Partes de un variador

**Rectificador:** La función primordial del rectificador consiste en transformar el voltaje de entrada de CA en CC, además de regular el voltaje que se dirige al inversor para su posterior tratamiento.

**Bus de continua:** En esta fase se emplean condensadores de alta capacidad (y, en ciertas ocasiones, bobinas) para acumular y depurar la corriente continua que ha sido rectificada. El propósito es lograr un nivel de V de CD con estabilidad y contar con una provisión energética adecuada para brindar la corriente necesaria para el motor.

**Etapa de salida:** A partir del voltaje del bus de CD, un ondulator transforma esta energía en un bus trifásico. Esta salida presenta cantidades de V y corriente que son ajustables, lo que facilita el control de la frecuencia de salida de acuerdo con las exigencias del motor.

### Tipos de variadores según su sistema de enfriamiento

**Enfriados por aire:** son variadores comúnmente usados, los cuales están enfriados mediante ventiladores.

**Enfriados mediante líquidos:** son variadores que debido a la gran potencia requerida requieren de un sistema de enfriamiento mediante líquidos. En el que en el presente informe será estudiado (17).



*Figura 7. Sistema de enfriamiento de lo variadores de velocidad de las bombas GEHO*

#### **Fallas comunes en el sistema**

- ✓ Fuga de glicol por las bombas y tuberías
- ✓ Vibración en los motores
- ✓ Consumo de corriente por encima de la corriente nominal.

#### **B. Bomba GEHO**

Bomba de desplazamiento positivo, de pistón y diafragma, accionada por cigüeñal. El fluido se desplaza mediante un diafragma, garantizando caudal constante sin importar la presión.

#### **Especificaciones de la bomba**

- ✓ Bomba de pistón diafragma de acción doble de dos cilindros.

Marca : GEHO  
 Modelo : ZPM 800  
 Conexión de salida : 6"- 900 #RF

- ✓ Motor Eléctrico

✓ Marca : WEG  
 Tipo : HGF 400L – IP 55  
 Potencia : 536 Hp

- ✓ Convertidor de frecuencia

Cantidad : 1

### **Características técnicas:**

- ✓ Permite un límite de concentración de sólidos de 60.3% en peso, operando a 90 bares en su desfogue.
- ✓ Está optimizado para un caudal máximo de 100 m<sup>3</sup>/h (28 l/s), con independencia del líquido bombeado, gracias a su velocidad máx. de 62.8 rpm.
- ✓ Con relación al NPSH (Net Positive Suction Head), la presión mínima de alimentación requerida para la bomba GEHO es de 3.5 bar (equivalente a 3.45 atm). En el caso del agua, la mencionada presión en la succión es equivalente a treinta y seis met. de columna de agua. Debido a las restricciones de espacio en la sala de bombeo, se necesitará la implementación de una bomba booster para garantizar un flujo adecuado (18).

### **C. Análisis de diagnóstico**

- ✓ El caudal necesitado es 100 L/s, pero la bomba provee solo 28 L/s, lo cual es significativamente menor que el caudal necesario para abastecer lo demandado.
- ✓ La bomba requiere un NPSH elevado, de 3.45 atmósferas o 36 metros de columna de agua, lo que resulta imposible de lograr debido a las dimensiones limitadas de la sala de bombeo.

### **3.1.4. Implementación de mantenimiento para la Bomba GEHO**

#### **3.1.4.1. Especificaciones técnicas de la Bomba GEHO**

La bomba GEHO de diafragma y pistón tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- ✓ Caudal de diseño: 655.25 m<sup>3</sup>/h a 100% de velocidad.
- ✓ Caudal nominal: 524.2 m<sup>3</sup>/h a 80% de velocidad.
- ✓ Presión de descarga de diseño: 11,000 KPa.
- ✓ Presión nominal: 10,000 KPa a utilizar en la segunda fase.
- ✓ En la primera fase, la presión de descarga será de 8,100 KPa.

Lodos, barros y arcillas son ejemplos de contaminantes que pueden ser manejados por esta bomba de desplazamiento positivo, que funciona particularmente bien con materiales agresivos o abrasivos. Para activar el diafragma asociado, que bombea el lodo, los pistones deben desplazar el líquido propulsado. La suma de los caudales de las tres cámaras del diafragma determina el caudal total de la bomba. En el cigüeñal, los tres pistones están posicionados a un ángulo de 120°, uno detrás del otro. Para evitar que los relaves bombeados entren en unión con componentes dinámicos como los pistones, su varilla o la camisa del cilindro, un diafragma de goma mantiene separados la pulpa y el líquido limpio impulsado.

### **Enclavamientos de protección del equipo:**

- ✓ La presión de desfogue no debe superar 8910 Kilo pascales.
- ✓ Detectar si la presión de aire de instrumentación es menor de los cuatrocientos Kilo pascales.
- ✓ Detectar si la T° del sistema de lubricación es mayor a los ochenta grados centígrados.
- ✓ Detectar si la T° de lubricación del gearbox supera los cien grados centígrados.
- ✓ Detectar si la T° de rodamiento del gearbox supera los ciento veinte grados centígrados (19)

#### **3.1.4.2. Sistema de Transmisión**

La transmisión de la bomba GEHO se hace por medio de un reductor de la marca Flender, tal dispositivo tiene lubricante de aceite forzado mediante un sistema de refrigeración por aire exterior.

Los elementos para proteger el mecanismo, a fin de asegurar el trabajo adecuado de la bomba son los siguientes:

- ✓ Si la T° del aceite de lubricación supera los ochenta grados centígrados o la presión de lubricación disminuye en un valor menor a 20 KPa, se produce un paro automático.
- ✓ Si la T° del reductor supera los 100°C o la T° de los rodamientos del reductor excede los 120°C, también se produce un paro automático.

Estos enclavamientos están diseñados para prevenir daños graves en el equipo y garantizar su operación segura y eficiente (20).

#### **3.1.4.3. Líquido Propelente**

El modelo mencionado funciona mediante tres diafragmas. Un diafragma de goma en su construcción mantiene separados el líquido propulsor limpio y el lodo bombeado, mientras que las tres partes están conectadas por el líquido propulsor.

El modelo mencionado tiene un controlador automatizado, que brinda los siguientes mandos:

- ✓ Control de la carrera de los diafragmas, limitando su desplazamiento para evitar daños.
- ✓ Regulación del volumen del líquido propulsado, asegurando que se quede en el límite establecido para un funcionamiento eficiente.
- ✓ Protección de los diafragmas, previniendo que experimenten tensiones excesivas que puedan dañarlos.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES**

#### **4.1. Descripción de actividades profesionales**

##### **4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales**

La puesta en marcha de un plan de mantenimiento predictivo para los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO requiere un enfoque profesional y sistemático. Este enfoque abarca desde la planificación estratégica hasta la ejecución y el seguimiento constante del plan, con el objetivo de optimizar el rendimiento del sistema y minimizar las interrupciones en su funcionamiento.

Las labores del bachiller se centran en el mantenimiento de maquinaria eléctrica, incluidos motores y generadores de alta potencia de diversas marcas. Este trabajo se lleva a cabo con el respaldo de la documentación técnica pertinente, así como con la identificación de los niveles de urgencia necesarios para la ejecución eficaz del mantenimiento.

El primer paso consiste en realizar un análisis exhaustivo del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, incluyendo los motores que lo componen. Este análisis debe contemplar los siguientes aspectos:

- ✓ Identificación de los componentes críticos: Determinar qué motores son esenciales para el funcionamiento del sistema y cuáles presentan mayor probabilidad de fallo.

- ✓ Evaluación de la criticidad: Establecer la importancia funcional de cada componente. Los elementos críticos requieren una atención prioritaria y un plan de mantenimiento más riguroso.
- ✓ Recopilación de datos históricos: Analizar registros anteriores de mantenimiento, fallas y reparaciones para identificar patrones y tendencias relevantes.
- ✓ Definición de objetivos: Establecer metas claras, medibles y realistas para el plan de mantenimiento predictivo, tales como la reducción del tiempo de inactividad, el aumento de la confiabilidad del sistema y la optimización de los costos operativos.

Una vez finalizado el análisis del sistema, se deben seleccionar las técnicas de mantenimiento predictivo más adecuadas para cada componente. Entre las más utilizadas se encuentran:

- ✓ Análisis de vibraciones: Permite detectar fallos en el funcionamiento del motor, como desequilibrios, desalineaciones o rodamientos desgastados.
- ✓ Análisis de aceite: Evalúa la calidad del lubricante y detecta partículas metálicas que evidencian desgaste o daño interno.
- ✓ Termografía: Identifica puntos calientes en el motor que pueden indicar sobrecalentamiento o fallas en el aislamiento.
- ✓ Análisis de corriente: Detecta anomalías en la corriente eléctrica del motor, como sobrecargas o cortocircuitos.

La implementación del plan de mantenimiento predictivo comprende:

- ✓ Instalación de sensores: Colocación de sensores en los motores para recopilar datos operativos relevantes.
- ✓ Desarrollo de un sistema de monitoreo: Diseño de un sistema para la recopilación, análisis y visualización de los datos obtenidos.
- ✓ Establecimiento de umbrales de alerta: Definición de límites de operación aceptables para cada parámetro monitoreado, que indiquen condiciones anómalas.
- ✓ Planificación de intervenciones: Programación de acciones de mantenimiento en función de los datos recolectados y los umbrales establecidos.
- ✓ Documentación y registro: Registro meticuloso de todas las intervenciones, incluyendo fechas, trabajos realizados y resultados obtenidos.

El seguimiento y la evaluación del plan de mantenimiento predictivo son esenciales para garantizar su eficacia. Esto implica:

- ✓ Análisis de los datos recopilados: Estudio de las lecturas de los sensores para identificar tendencias que anticipen posibles fallos.
- ✓ Evaluación del desempeño del plan: Análisis de los resultados obtenidos en términos de reducción de inactividad, aumento de la confiabilidad del sistema y optimización de los costos.
- ✓ Ajustes y mejoras: Realización de ajustes al plan con base en los hallazgos de la evaluación, con miras a una mejora continua.

#### **4.1.2. Alcance de las actividades profesionales**

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo para los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO abarca un amplio espectro de actividades y áreas de especialización. Este alcance se extiende desde la planificación estratégica hasta la ejecución y el seguimiento del plan, involucrando múltiples disciplinas y perfiles profesionales.

##### **Planificación estratégica**

**Análisis del sistema:** Un ingeniero de mantenimiento eléctrico debe realizar un análisis exhaustivo del sistema de enfriamiento, incluidos los motores, con el fin de identificar los componentes críticos, evaluar su nivel de criticidad y recopilar los datos históricos de mantenimiento pertinentes.

**Definición de objetivos:** Se requiere la participación de la gerencia de mantenimiento y de la directiva de la organización para establecer objetivos claros y medibles, tales como la reducción del tiempo de inactividad, la mejora de la confiabilidad del sistema y la optimización de los costos de mantenimiento.

**Selección de técnicas:** Un ingeniero de mantenimiento o un especialista en mantenimiento predictivo debe elegir las técnicas más adecuadas para cada componente, considerando factores como el tipo de motor, la criticidad del componente y los recursos disponibles.

##### **Implementación del plan**

**Instalación de sensores:** Un técnico especializado en instrumentación o un ingeniero de automatización debe encargarse de la instalación de sensores en los motores, a fin de recopilar datos relevantes sobre su funcionamiento.

**Desarrollo de un sistema de monitoreo:** Se requiere la intervención de un ingeniero de software o un especialista en análisis de datos para diseñar e implementar un sistema de monitoreo que permita recopilar, analizar y visualizar los datos obtenidos por los sensores.

Establecimiento de umbrales de alerta: Un ingeniero de mantenimiento debe definir los umbrales correspondientes para cada parámetro monitoreado, de manera que se pueda detectar cuándo un motor opera fuera de los límites aceptables.

Planificación de intervenciones: La planificación de las intervenciones de mantenimiento debe ser realizada por un planificador de mantenimiento o un ingeniero del área, en función de los datos recopilados y los umbrales de alerta establecidos.

Documentación y registro: El especialista en gestión de activos es responsable de asegurar que todas las intervenciones de mantenimiento sean documentadas de forma meticulosa, incluyendo fechas, actividades realizadas y resultados obtenidos.

### **Seguimiento y evaluación**

Análisis de datos: Un analista de datos o un ingeniero de mantenimiento debe analizar la información recopilada por los sensores, con el propósito de identificar tendencias y patrones que puedan anticipar fallas potenciales.

Evaluación del desempeño: La gerencia de mantenimiento, junto con la dirección de la organización, debe evaluar los resultados del plan de mantenimiento predictivo en términos de reducción del tiempo de inactividad, aumento de la confiabilidad del sistema y eficiencia en los costos.

Ajustes y mejoras: Un ingeniero especialista debe realizar los ajustes necesarios y proponer mejoras al plan, con base en los resultados obtenidos durante la evaluación.

### **4.1.3. Entregables de las actividades profesionales**

Los entregables de la implementación de un plan de mantenimiento predictivo para los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO constituyen los resultados tangibles de la labor profesional desarrollada. Estos entregables son fundamentales para asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y garantizar la eficacia del plan de mantenimiento predictivo.

#### **4.1.3.1. Documentación del plan de mantenimiento predictivo**

Análisis del sistema: Informe detallado que describe el análisis del sistema de enfriamiento, incluyendo la identificación de los componentes críticos, la evaluación de su criticidad y los datos históricos de mantenimiento recopilados.

Definición de objetivos: Documento en el que se establecen metas específicas, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo determinado (SMART) para la ejecución del plan de mantenimiento predictivo.

Selección de técnicas: Documento que describe las técnicas de mantenimiento predictivo seleccionadas para cada componente, con la correspondiente justificación de su elección y los criterios empleados para su evaluación.

Plan de implementación: Documento que detalla las etapas de implementación del plan, los recursos necesarios, los plazos establecidos y las responsabilidades asignadas a cada equipo involucrado.

#### **4.1.3.2. Sistema de monitoreo y gestión de datos**

Sistema de monitoreo: Plataforma funcional encargada de recopilar, analizar y visualizar los datos obtenidos por los sensores instalados en los motores.

Base de datos: Infraestructura digital para el almacenamiento de los datos históricos provenientes de los sensores, así como de las intervenciones de mantenimiento y los resultados asociados.

Informes de análisis: Informes periódicos que analizan los datos recopilados, identifican tendencias y patrones, y generan reportes sobre el estado operativo de los motores.

#### **4.1.3.3. Procedimientos de mantenimiento predictivo**

Manual de procedimientos: Documento que describe los procedimientos de mantenimiento predictivo establecidos para cada componente. Incluye las técnicas a utilizar, los umbrales de alerta, las medidas correctivas en caso de desviaciones y los registros correspondientes.

Planificación de intervenciones: Documento que define las intervenciones de mantenimiento a realizar, en función de la información recopilada y los umbrales de alerta establecidos.

Registro de intervenciones: Registro sistemático de todas las acciones de mantenimiento realizadas, que incluye fechas, actividades ejecutadas y resultados obtenidos.

#### **4.1.3.4. Evaluación del desempeño del plan**

Informe de evaluación: Documento que evalúa el desempeño del plan de mantenimiento predictivo en función de criterios como la reducción del tiempo de inactividad, el incremento de la confiabilidad del sistema y la optimización de los costos.

Análisis de costo-beneficio: Estudio que pondera los beneficios obtenidos —como la disminución de gastos de mantenimiento y la mayor disponibilidad del sistema— frente a los costos asociados a la implementación y operación del plan.

Recomendaciones para la mejora continua: Documento que propone mejoras al plan de mantenimiento predictivo con base en los resultados de la evaluación, orientadas a fortalecer su efectividad a largo plazo.

## **4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional**

### **4.2.1. Metodologías**

Ésta fue de carácter aplicado, dado que su propósito es abordar de manera directa los problemas identificados, estableciendo una conexión entre la teoría y el resultado obtenido. Esta metodología requiere necesariamente un marco teórico que sustente la generación de una solución al problema particular que se desea resolver.

### **4.2.2. Técnicas**

Las técnicas se definen como el conjunto de herramientas y recursos mediante los cuales se ejecuta el método.

#### **4.2.2.1. Técnica de la observación**

Esta técnica fue aplicada desde el inicio hasta la conclusión del trabajo, permitiendo una reflexión continua sobre los recursos disponibles y las necesidades por atender. Destacó por su eficacia frente a otras técnicas implementadas. Las observaciones realizadas fueron las siguientes:

- ✓ Selección del lugar y de los individuos sujetos a observación.
- ✓ Inserción en el área de trabajo.
- ✓ Análisis de los riesgos vinculados a la actividad laboral, considerando las características de las instalaciones, la naturaleza del trabajo y el contexto de desarrollo.
- ✓ Toda actividad en una red eléctrica o en sus cercanías que implique riesgo debe realizarse sin tensión.

- ✓ Se deben realizar maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones que lo requieran, como la apertura y cierre de interruptores o seccionadores, la medición de variables y las pruebas de aislamiento.
- ✓ Uso de internet: La información disponible en línea fue fundamental para la recolección de datos, así como para la localización y codificación de subestaciones de distribución y postes de media y baja tensión.
- ✓ Técnica documental: Destaca por el uso de registros impresos que detallan el cronograma de actividades, así como representaciones gráficas que ilustran la ubicación del plan a implementar.

### **4.2.3. Instrumentos**

En la ejecución de la planificación de mantenimiento predictivo de los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, se emplea una diversidad de instrumentos para la recolección y análisis de datos, así como para la toma de decisiones y las intervenciones técnicas.

#### **4.2.3.1. Instrumentos para la recopilación de datos**

- ✓ Sensores de vibración: Detectan vibraciones en distintas direcciones del motor, permitiendo identificar desequilibrios, desalineaciones, rodamientos defectuosos y otros problemas mecánicos.
- ✓ Sensores de temperatura: Miden la temperatura del bobinado, los rodamientos y la carcasa del motor, lo que permite detectar sobrecalentamientos y fallos potenciales.
- ✓ Sensores de corriente: Registran la intensidad eléctrica que circula por el motor, útiles para detectar sobrecargas, cortocircuitos y fallos de aislamiento.
- ✓ Sensores de presión: Miden la presión del aceite lubricante o del refrigerante, ayudando a identificar fallas en los sistemas de lubricación o refrigeración.
- ✓ Analizadores de aceite: Permiten examinar el aceite lubricante para detectar partículas metálicas, contaminación o desgaste anómalo del motor.

#### **4.2.3.2. Instrumentos para el análisis de datos**

- ✓ Colectores de datos: Dispositivos que almacenan la información obtenida por los sensores para su posterior análisis.
- ✓ Software de análisis de vibraciones: Analiza las señales de vibración para identificar patrones asociados a posibles fallos.
- ✓ Software de análisis termográfico: Procesa imágenes termográficas para detectar puntos calientes.

- ✓ Software de análisis de corriente: Examina las señales de corriente para identificar irregularidades en el funcionamiento del motor.

#### **4.2.3.3. Instrumentos de intervención**

- ✓ Herramientas de mantenimiento: Incluyen herramientas estándar como llaves, destornilladores, alicates, entre otras, necesarias para efectuar intervenciones.
- ✓ Equipos de diagnóstico: Permiten identificar el origen de los fallos mediante técnicas como el análisis espectral de vibraciones o el análisis de corriente.

#### **4.2.3.4. Sensores específicos utilizados para los motores del sistema de enfriamiento**

- ✓ Sensores de temperatura: Miden la temperatura del motor, del refrigerante y del aire de refrigeración.
- ✓ Sensores de presión: Monitorean la presión del refrigerante para detectar fugas.
- ✓ Sensores de flujo: Verifican el caudal del refrigerante y permiten detectar obstrucciones.
- ✓ Analizadores de vibraciones: Detectan desequilibrios en el rotor o fallos en los rodamientos.
- ✓ Software de análisis de datos: Procesa la información de los sensores para generar alertas de fallos potenciales.

### **4.2.4. Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades**

#### **4.2.4.1. Equipos de monitoreo**

##### **Sensores**

- ✓ Sensores de vibración: Acelerómetros, sensores de velocidad o de desplazamiento que detectan vibraciones en múltiples ejes.
- ✓ Sensores de temperatura: Incluyen termopares, RTD o sensores infrarrojos que miden la temperatura del motor en distintas zonas.
- ✓ Sensores de corriente: Pinzas amperimétricas o sensores de efecto Hall para registrar la intensidad eléctrica.
- ✓ Sensores de presión: Detectan la presión de lubricantes o refrigerantes.
- ✓ Sensores de flujo: Miden el caudal del refrigerante para prevenir bloqueos.

##### **Colectores de datos**

- ✓ Sistemas de adquisición de datos (DAS): Dispositivos portátiles o fijos que almacenan datos de los sensores.
- ✓ Dispositivos de registro: Equipos que grafican o tabulan la información recogida.

#### **4.2.4.2. Equipos de análisis de datos**

- ✓ Software de análisis de vibraciones: Identifica patrones de fallos a partir de las señales de vibración.
- ✓ Software de análisis de termografía: Procesa imágenes infrarrojas para detectar puntos de calor.
- ✓ Software de análisis de corriente: Detecta anomalías eléctricas a través del análisis de señales.
- ✓ Software de análisis general: Permite estudiar la data registrada y emitir alertas en caso de desviaciones críticas.

#### **4.2.4.3. Equipos de intervención**

- ✓ Herramientas de mantenimiento: Incluyen herramientas manuales y eléctricas como llaves, alicates, destornilladores, entre otras.
- ✓ Equipos de diagnóstico: Como analizadores de espectro, equipos portátiles de corriente y otras herramientas para detectar fallos y orientar las reparaciones.

#### **4.2.4.4. Materiales**

- ✓ Aceite lubricante: Utilizado para mantener en óptimo estado los rodamientos del motor.
- ✓ Refrigerante: Fundamental para el enfriamiento del motor.
- ✓ Materiales de reparación: Incluyen cables, conectores, juntas, aislantes y demás insumos necesarios para la intervención técnica.

### **4.3. Ejecución de las actividades profesionales**

#### **4.3.1. Cronograma de actividades realizadas**

##### **Fase 1: Planificación (4 semanas)**

##### **Semana 1:**

- ✓ Recopilación de información y análisis preliminar del sistema de enfriamiento, incluyendo:
- ✓ Revisión de la documentación existente (manuales, planos, históricos de mantenimiento).
- ✓ Entrevistas con operadores y personal de mantenimiento.
- ✓ Identificación de los motores del sistema y su criticidad.
- ✓ Análisis de datos históricos de mantenimiento (averías, intervenciones, etc.).

##### **Semana 2:**

- ✓ Definición de los objetivos del plan de mantenimiento predictivo.
- ✓ Discusión con la gerencia de mantenimiento y la dirección de la empresa.
- ✓ Establecimiento de objetivos SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con plazos definidos).

- ✓ Priorización de los objetivos en función de la criticidad del sistema.

### **Semana 3:**

- ✓ Selección de las técnicas de mantenimiento predictivo.
- ✓ Evaluación de las diferentes técnicas disponibles para cada tipo de motor.
- ✓ Selección de las técnicas más adecuadas considerando la criticidad del componente, los recursos disponibles y la experiencia del equipo.
- ✓ Desarrollo de una matriz de técnicas por componente.

### **Semana 4:**

- ✓ Diseño del plan de implementación del plan de mantenimiento predictivo.
- ✓ Definición de las etapas de implementación, los recursos necesarios, los plazos y las responsabilidades de cada equipo involucrado.
- ✓ Desarrollo de un cronograma preliminar de las actividades.
- ✓ Elaboración de un presupuesto inicial para el proyecto.

## **Fase 2: Implementación (4 semanas)**

### **Semana 5:**

- ✓ Adquisición de los equipos y materiales necesarios.
- ✓ Selección de proveedores de equipos de medición.
- ✓ Negociación de precios y plazos de entrega.
- ✓ Realización de las compras y la recepción de los equipos.

### **Semana 6:**

- ✓ Toma de datos en los motores.
- ✓ Preparación de base datos para llevar el control adecuado de la data obtenida.

### **Semana 7:**

- ✓ Desarrollo del sistema de gestión de datos.
- ✓ Desarrollo de la base de datos para almacenar los datos recopilados.

### **Semana 8:**

- ✓ Establecimiento de umbrales de alerta y creación de procedimientos de mantenimiento predictivo.
- ✓ Definición de los umbrales de alerta para cada parámetro monitoreado.
- ✓ Desarrollo de procedimientos de mantenimiento predictivo para cada tipo de motor.
- ✓ Elaboración de un manual de procedimientos para el personal de mantenimiento.

### **Fase 3: Puesta en Marcha y Seguimiento (4 semanas)**

#### **Semana 9:**

- ✓ Puesta en marcha del sistema de monitoreo y capacitación del personal de mantenimiento.
- ✓ Inicio del monitoreo de los motores.
- ✓ Capacitación al personal de mantenimiento sobre el uso de los equipos de monitoreo, la interpretación de los datos y la aplicación de los procedimientos de mantenimiento predictivo.

#### **Semana 10:**

- ✓ Monitoreo continuo del sistema y análisis de datos.
- ✓ Revisión de los datos recopilados por el sistema de monitoreo.
- ✓ Análisis de las tendencias y patrones en los datos.
- ✓ Identificación de posibles problemas potenciales en los motores.

#### **Semana 11:**

- ✓ Intervenciones de mantenimiento predictivo y ajuste de los umbrales de alerta.
- ✓ Realización de las intervenciones de mantenimiento predictivo en función de los datos analizados.
- ✓ Ajuste de los umbrales de alerta en función de las experiencias obtenidas.

#### **Semana 12:**

- ✓ Evaluación del desempeño del plan de mantenimiento predictivo.
- ✓ Recopilación de datos sobre el tiempo de inactividad, la confiabilidad del sistema y los costos de mantenimiento.
- ✓ Análisis de los datos y evaluación del desempeño del plan.
- ✓ Identificación de áreas de mejora y elaboración de recomendaciones.

### **Fase 4: Mejora Continua (En curso)**

- ✓ Monitoreo y análisis: Monitoreo continuo del sistema, análisis de datos y ajuste de los umbrales de alerta.
- ✓ Intervenciones: Realización de las intervenciones de mantenimiento predictivo según sea necesario.
- ✓ Evaluación: Evaluación periódica del desempeño del plan de mantenimiento predictivo y realización de mejoras continuas.

### **4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales**

Este informe describe el procedimiento y la secuencia de operaciones profesionales necesarias para llevar a cabo una planificación de mantenimiento predictivo en los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO. El objetivo principal es optimizar el rendimiento de los motores, minimizar las averías y prolongar su vida útil.

#### **4.3.2.1. Análisis inicial y planificación**

##### **Recopilación de información**

Se inicia con la recopilación detallada de datos sobre los motores del sistema de enfriamiento, incluyendo:

- ✓ Especificaciones técnicas (modelo, potencia, voltaje, etc.)
- ✓ Historial de mantenimiento y registro de fallas anteriores
- ✓ Condiciones de operación (carga, temperatura, vibraciones, etc.)
- ✓ Entorno operativo (temperatura ambiente, humedad, etc.)

##### **Identificación de componentes críticos**

Se identifican los componentes del motor más susceptibles a fallas, como:

- ✓ Rodamientos
- ✓ Sellos
- ✓ Bobinas

##### **Definición de objetivos**

Se establecen metas claras para la planificación de mantenimiento predictivo, tales como:

- ✓ Reducir el tiempo de inactividad
- ✓ Minimizar costos de mantenimiento
- ✓ Prolongar la vida útil de los motores
- ✓ Mejorar la seguridad y confiabilidad del sistema

##### **Selección de técnicas de mantenimiento predictivo**

Se eligen las técnicas más adecuadas para los motores del sistema de enfriamiento, entre las cuales se encuentran:

- ✓ Análisis de vibraciones: permite detectar fallas en rodamientos y elementos rotativos.
- ✓ Termografía: identifica puntos calientes que pueden indicar sobrecalentamiento.

- ✓ Análisis de corriente: revela anomalías en el flujo eléctrico que sugieren fallos en las bobinas.
- ✓ Inspección visual: permite detectar deterioros visibles como corrosión, desgaste o fugas.

#### **4.3.2.2. Implementación del plan de mantenimiento predictivo**

##### **Capacitación del personal**

Se entrena al personal técnico en las siguientes competencias:

- ✓ Recolección de datos
- ✓ Interpretación de resultados
- ✓ Uso de equipos de monitoreo
- ✓ Aplicación de medidas correctivas

##### **Establecimiento del programa de monitoreo**

Se define un programa sistemático de monitoreo, considerando:

- ✓ Frecuencia: diaria, semanal, mensual, según el componente.
- ✓ Puntos críticos: rodamientos, bobinas, sellos, entre otros.
- ✓ Métodos de monitoreo: análisis de vibraciones, aceite, termografía, etc.

##### **Recopilación y análisis de datos**

Los datos son recopilados de forma metódica y analizados para identificar tendencias que adviertan fallos potenciales.

##### **Toma de decisiones y acciones correctivas**

Con base en el análisis de datos, se toman decisiones como:

- ✓ Ejecución de mantenimiento preventivo
- ✓ Realización de reparaciones correctivas
- ✓ Ajustes en las condiciones operativas

#### **4.3.2.3. Monitoreo y evaluación del plan**

##### **Seguimiento del rendimiento del motor**

Se evalúa el comportamiento del motor después de implementado el plan, monitoreando:

- ✓ Tiempo de inactividad
- ✓ Costos de mantenimiento

- ✓ Frecuencia de fallas
- ✓ Vida útil del equipo

### **Evaluación de la eficacia del plan**

Se determina si el plan cumple con los objetivos planteados, a partir del análisis de resultados.

### **Ajustes y mejora continua**

El plan se ajusta continuamente, en función de los aprendizajes obtenidos y las métricas analizadas, garantizando su mejora progresiva.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Resultados finales de las actividades realizadas**

Se logró una mejora significativa en la eficiencia de las horas productivas de la planta concentradora como resultado de la actividad realizada, ya que la modificación implementada permitió una reducción notable de las paradas imprevistas. Durante la ejecución, se cumplieron los requisitos técnicos exigidos para este tipo de intervenciones. Como resultado final, se estableció y estandarizó un procedimiento de mantenimiento predictivo para los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, lo cual garantiza una ejecución segura y eficiente, con enfoque en la producción segura y continua.

#### **5.2. Logros alcanzados**

La intervención en el mantenimiento predictivo de los motores del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO supuso una modificación en la frecuencia de intervención sobre dichos equipos. Desde la perspectiva de un ingeniero electricista, la coordinación con los responsables de las áreas involucradas fue fundamental y enriquecedora, al facilitar la entrega oportuna de los equipos al proceso productivo.

Los logros alcanzados en el marco del proyecto son los siguientes:

- ✓ Se demostró que la ejecución de estas actividades no requiere una parada total de planta, favoreciendo la continuidad operativa.
- ✓ El mantenimiento puede efectuarse durante la operación normal, sin generar riesgos para el personal, aunque siempre es indispensable realizar una evaluación de riesgos previa.

- ✓ El tiempo estimado para la implementación del procedimiento en todos los circuitos fue de dos meses.
- ✓ A nivel personal, se cumplió el objetivo de ejercer la profesión aplicando los conocimientos adquiridos en la Universidad Continental, en cumplimiento de las normativas y procedimientos de trabajo, así como de gestión ambiental, aprendidos a lo largo de la trayectoria profesional.

### **5.3. Dificultades encontradas**

Las principales dificultades identificadas fueron:

- ✓ El proceso de adquisición de equipos resultó engorroso y lento, debido a la necesidad de múltiples aprobaciones. No obstante, se intervino activamente para acelerar dicho proceso.
- ✓ Se presentaron retrasos diarios debido al papeleo y a las licencias necesarias para el inicio de las actividades.
- ✓ Las bajas temperaturas provocaron enfermedades en el personal; por ello, se implementó el uso de ropa térmica.
- ✓ El ruido en la sala eléctrica dificultó la comunicación fluida entre los trabajadores; por ello, se coordinaban previamente las actividades a ejecutar, considerando que el límite de exposición humana recomendado es de 90 dB durante un máximo de 4 horas.

### **5.4. Planteamiento de mejoras**

#### **5.4.1. Metodologías propuestas**

Se propone aplicar métodos de mantenimiento predictivo que incrementen la eficiencia de los equipos y aseguren la continuidad operativa.

#### **5.4.2. Descripción de la implementación**

La metodología consistirá en la toma de datos mediante análisis de vibraciones (vibropen) y medición de temperatura (pirómetro), con el objetivo de generar una base de datos que permita mejorar el control del estado de los equipos. Esto facilitará la detección anticipada de fallas, reduciendo el riesgo de pérdidas económicas para la empresa.

### **5.5. Análisis**

Con respecto al rendimiento del sistema de enfriamiento de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, se evidencia que puede lograrse una mejora considerable que contribuya a una ejecución más eficiente, rápida y con procedimientos más refinados. Esto incrementa la disponibilidad y confiabilidad del equipo en general. Además, la facilidad de ejecución de este método permitirá que cualquier técnico de mantenimiento eléctrico debidamente capacitado lo aplique, sin depender exclusivamente de especialistas.

## **5.6. Aporte del bachiller en la empresa**

Entre los aportes realizados por el bachiller durante su intervención en la empresa, destacan los siguientes:

- ✓ Participación en la generación del sistema de control y monitoreo industrial.
- ✓ Apoyo en la configuración y diseño del sistema en diversas plataformas.
- ✓ Contribución en el diseño, dimensionamiento y ensamblaje de paneles de control y comunicación.
- ✓ Colaboración en la puesta en marcha, pruebas y comisionado de equipos.
- ✓ Aplicación de métodos de mantenimiento preventivo para la evaluación del estado de los motores.
- ✓ Ejecución de inspecciones visuales en equipos.
- ✓ Realización de inspecciones en motores eléctricos de baja y media tensión.

## CONCLUSIONES.

1. Se concluye que, conforme al enfoque metodológico aplicado, existe una oportunidad concreta para optimizar el plan de mantenimiento actualmente utilizado en los motores eléctricos del sistema de refrigeración de los variadores de velocidad de las bombas GEHO. Existen evidencias que indican que la mejora de dicho plan, fundamentada en un análisis sistemático de datos, puede incrementar significativamente la disponibilidad operativa y, en consecuencia, la productividad de los equipos.
2. Se ha comprobado la eficacia del plan de mantenimiento implementado, al demostrarse una disminución de los costos asociados al riesgo. Asimismo, se identifican oportunidades de mejora en el tratamiento y análisis de los datos recolectados durante la ejecución. La inversión inicial se justifica plenamente por los beneficios obtenidos, que se reflejan en el aumento de la disponibilidad del equipo y en una mejora sustancial de la productividad.
3. El diagnóstico situacional del área de bombas GEHO permitió evaluar los indicadores de disponibilidad de los equipos mediante el estudio de eventos críticos que ocasionan detenciones no programadas.
4. A partir del análisis de la información obtenida, se procesaron datos recolectados en campo junto con registros históricos, lo que permitió establecer una línea base de disponibilidad, un registro común de fallas y un análisis de criticidad. Estos elementos resultan fundamentales para el desarrollo de propuestas de mejora integrales, orientadas a la gestión eficiente del mantenimiento.

## RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda adoptar un plan de mantenimiento específico para los motores del sistema de refrigeración de los variadores de velocidad de las bombas GEHO, con el objetivo de mitigar las posibles fallas identificadas en este informe. Esto permitirá contar con un equipo confiable y disponible, optimizando así la productividad del sistema.
2. Se sugiere realizar un estudio de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para el sistema, dado que ha sido identificado como un componente crítico dentro del presente análisis.
3. Es esencial capacitar tanto al personal técnico como a los supervisores para la correcta implementación de técnicas de mantenimiento avanzadas, así como para el adecuado manejo de los formatos e instrumentos requeridos.
4. En cuanto a la formación continua del personal, se recomienda que la organización refuerce las estrategias de capacitación, considerando que se requiere un equipo altamente calificado para garantizar la continuidad de las labores y evitar impactos negativos en la ejecución de las tareas asignadas.
5. Finalmente, se destaca que la disponibilidad de equipamiento, herramientas y materiales de alta calidad —o con las especificaciones técnicas apropiadas— es indispensable para la correcta ejecución de los trabajos especializados en el taller. A la fecha de presentación de este documento, este requerimiento ha sido cumplido satisfactoriamente, lo cual ha contribuido a la obtención de la certificación ISO 45001.

## REFERENCIAS

1. **CHAVEZ, W.** *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de la planta de inyección de la empresa Industrias Plásticas Reunidas S.A.C.* 2017. Tesis (Título de ingeniero Industrial). Universidad Privada del Norte.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN\\_3df928ccf3765b401222c9269356d29](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_3df928ccf3765b401222c9269356d29)  
5.
2. **ÁVILA, R.** *Fundamento de mantenimiento: Guías económicas técnicas y administrativas.* México : Limusa, 2018.
3. **OLARTE, W., BOTERO, M. y CAÑÓN, B.** *Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria [Ensayo]. Universidad Tecnológica de Pereira.* 2021.
4. **MUÑOZ, C.** *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a una flota de camiones fuera de carretera en una mina de tajo abierto [Tesis de pregrado].* Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020.
5. **PONCE, I. y CAMPOVERDE, J.** *Estudio para un programa de mantenimiento preventivo para reducir el elevado nivel de paradas imprevistas en los motores eléctricos del departamento de tostión en la empresa GUSNOBE S.A.* 2019.
6. **RAMOS, K.** *Análisis del mantenimiento preventivo en un motor eléctrico asíncrono por temperatura de trabajo.* 2020.
7. **ZAVALA, C.** *Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para el chancador primario Fuller, operación Manto Verde [Tesis de pregrado].* Valparaíso : Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.
8. **DOUNCE, E.** *La productividad en el mantenimiento industrial.* México : Larousse - Grupo Editorial Patria, 2022.
9. **SOTO, J.** *Mantenimiento basado en la confiabilidad para el mejoramiento de la disponibilidad mecánica de los volquetes Faw en Gym S.A. [Tesis de pregrado].* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022.
10. **QUIÑONES, E.** *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el análisis causa raíz para aumentar la disponibilidad de los motores eléctricos jaula de ardilla de la empresa Alicorp S.A.A.* 2017.
11. **PESÁNTEZ, A.** *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón [Tesis de pregrado].* Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2021.

12. **PALADINES, L.** *Propuesta de gestión de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los vehículos mayores de la I Macro Región Policial Piura [Tesis de pregrado]*. Piura : Universidad César Vallejo, 2019.
13. **GODÍNEZ, J.** *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en RCM para los equipos de bombeo off site [Tesis de pregrado]*. Cartago : Tecnológico de Costa Rica, 2019.
14. **GELDRES, R.** *Propuesta de mejora del sistema de gestión de mantenimiento basado en RCM, para aumentar la disponibilidad del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola [Tesis de pregrado]*. Lima : Universidad Privada del Norte, 2019.
15. **BARREDA, S.** *Plan de Mantenimiento centrado en la confiabilidad en la Edar de Nules–Vile Vella [Tesis de pregrado]*. Castellón : Universidad Jaume, 2020.
16. **SALAZAR, L.** *Diseño de propuesta de modelo de gestión de mantenimiento para el departamento de mantenimiento de Gualapack Costa Rica S.A. [Tesis de pregrado]*. Costa Rica : Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2020.
17. **TECSUP.** *Variadores de velocidad AC/DC*. 2020.
18. **CONSOLACIÓN, R. y HUANCOILLO, E.,.** *Mejora de la gestión de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad en la línea de chancado de la planta concentradora compañía minera Lincuna S.A. [Tesis de pregrado]*. Ancash : Universidad Privada del Norte., 2018.
19. **CHANG, E.** *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler [Tesis de pregrado]*. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
20. **DÍAZ, A. y CRUZ, J.** *Propuesta de guía metodológica para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en transformadores de potencia [Tesis de pregrado]*. Managua : Universidad Nacional de Ingeniería, 2019.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Variadores de velocidad de bombas de GEHO

## VARIADORES DE VELOCIDAD DE BOMBAS GEHO



- Actualmente en la planta se cuenta con 14 VFD de bombas GEHO.
- Cada VFD cuenta con dos bombas para el sistema de enfriamiento de los semiconductores.

## Anexo 2

### Sistema de enfriamiento

## Sistema de enfriamiento



- Debido a la criticidad de las bombas GEHO es importante asegurar el correcto funcionamiento de estos.
- Fallas comunes:
  - ✓ Fuga de glicol por las bombas
  - ✓ Vibración en los motores
  - ✓ Consumo de corriente por encima de la corriente nominal.
  - ✓ Fuga de glicol por tuberías.

### Anexo 3

#### Mantenimiento predictivo

## Propuestas de mejora

- Verificación de vibración con el equipo vibropen.
- Verificación de temperatura

