

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**“PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA  
OPTIMIZAR MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN LA  
EMPRESA PREDIMAS SAC -2024”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**AUTORES:** FRANKLIN OLIVER PALACIOS SEGOVIA

JESÚS MARTIN MICHUE ROBLES

BRUCE JORDANO MARINO ANDRADE

**ASESOR:** Mg. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

# TESIS\_FRANKLIN\_JESUS\_BRUCE



**4%**  
Textos sospechosos



**4% Similitudes**  
< 1% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
**< 1% Idiomas no reconocidos**

Nombre del documento: TESIS\_FRANKLIN\_JESUS\_BRUCE.pdf  
ID del documento: 66c1d5d222e78702d062b1f7c5100fee2c1cca19  
Tamaño del documento original: 1,38 MB

Depositante: FIEE PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION  
Fecha de depósito: 1/8/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 1/8/2024

Número de palabras: 24.659  
Número de caracteres: 175.715

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8419/TESIS-GUARDIA-BALBIN-SAN...">repositorio.unac.edu.pe</a> 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (217 palabras)
2	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7631/TESIS- CASAVILCA-CCOILLO-L...">repositorio.unac.edu.pe</a> 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (180 palabras)
3	TESIS_SANDRA_RODRIGO_ANDRE.docx   TESIS_SANDRA_RODRIGO_ANDRE #a6688b El documento proviene de mi biblioteca de referencias 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (141 palabras)
4	<a href="http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=50121-750X2022000300202">www.scielo.org.co</a>   Metodología para el mantenimiento predictivo de transforma... 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
5	<a href="https://www.academia.edu/114295381/Metodología_para_el_mantenimiento_predictivo_de_tran...">www.academia.edu</a>   (PDF) Metodología para el mantenimiento predictivo de tran... 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (63 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	PT CHAVEZ FERNANDEZ RAMOS.pdf   PT CHAVEZ FERNANDEZ RAMOS #c8f76a El documento proviene de mi biblioteca de referencias	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	Documento de otro usuario #32404d El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/11537/25115/2/TSP_YERSON_MIRANDA.pdf">repositorio.upn.edu.pe</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/5765/1/TESIS-PORTOCARRERO,RABANAL-FL...">repositorio.unac.edu.pe</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	<a href="http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26533/1/UPS-CT011017.pdf">dspace.ups.edu.ec</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL POR LA MODALIDAD DE**  
**TESIS SIN CICLO DE TESIS**


A los 20 días del mes de diciembre de 2024 siendo las 12:30 horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, aprobada mediante Resolución Decanal N°331-2024-DFIEE, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

<b>MG. ING. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA</b>	<b>Presidente</b>
<b>ING. FREDY ADÁN CASTRO SALAZAR</b>	<b>Secretario</b>
<b>MG. LIC. WILMER PEDRO CHÁVEZ SANCHEZ</b>	<b>Vocal</b>
<b>M.SC. LIC. RAÚL PEDRO CASTRO VIDAL</b>	<b>Suplente</b>

Con el fin de dar inicio a la exposición de TESIS de los Bachilleres: **PALACIOS SEGOVIA, Franklin Oliver; MICHUE ROBLES, Jesús Martín; MARINO ANDRADE, Bruce Jordano**; quienes habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao; como lo señalan los Arts. N°s 08 al 10 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentarán la Tesis Titulada: **“PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA OPTIMIZAR MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN LA EMPRESA PREDIMAS SAC - 2024”**, con el quórum Reglamentario de Ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en el Art. N° 80 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 150-23-CU, en el Sub Capítulo II, correspondiente al otorgamiento del Título Profesional con Tesis sin Ciclo de Tesis; efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO Calificativo BUENO nota: 15 a los expositores: **PALACIOS SEGOVIA, Franklin Oliver; MICHUE ROBLES, Jesús Martín; MARINO ANDRADE, Bruce Jordano**, con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 13:30 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 281 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.

  
.....  
**MG. ING. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA**  
**PRESIDENTE**

  
.....  
**ING. FREDY ADÁN CASTRO SALAZAR**  
**SECRETARIO**

  
.....  
**MG. LIC. WILMER PEDRO CHÁVEZ SANCHEZ**  
**VOCAL**

.....  
**M.SC. LIC. RAÚL PEDRO CASTRO VIDAL**  
**SUPLENTE**

## INFORMACIÓN BÁSICA

- **FACULTAD**

Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica

- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

Escuela de pregrado

- **TÍTULO:**

“Plan de gestión de mantenimiento predictivo para optimizar máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024”

- **AUTOR(ES):**

Nombres: Franklin Oliver Palacios Segovia

DNI: 74163894

Código ORCID: 0000-0001-9683-172X

Nombre: Jesús Martín Michue Robles

DNI: 70873187

Código ORCID: 0000-0003-3403-1297

Nombre: Bruce Jordano Marino Andrade

DNI: 45784871

Código ORCID: 0009-0001-3383-6512

- **ASESOR:**

Nombre: Mg. Carlos Humberto Alfaro Rodríguez

DNI: 17998963

Código ORCID: 000-0001-8465-9248

- **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC.

- **UNIDAD DE ANÁLISIS**

Maquinas eléctricas rotativas.

- **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Tipo: aplicada / enfoque: cuantitativo / diseño: pre experimental

- **TEMA OCDE**

Ingeniería y tecnología

## HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

**PRESIDENTE : MG. ING. JESSICA ROSARIO MEZA ZAMATA**  
**SECRETARIO : ING. FREDY ADÁN CASTRO SALAZAR**  
**VOCAL : MG. LIC. WILMER PEDRO CHÁVEZ SANCHEZ**  
**ASESOR : Mg. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRÍGUEZ**

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres, hermanos, profesores  
y todos aquellos que me apoyaron a lo  
largo de esta travesía. Sin sus palabras,  
sacrificio y aliento este logro no habría  
sido posible.

## **AGRADECIMIENTO**

Un sincero agradecimiento al jefe de la empresa PREDIMAS y a nuestro asesor cuyas contribuciones y colaboración fueron fundamentales para la realización de esta tesis.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema.....	11
1.3. Objetivos .....	11
1.4. Justificación .....	12
1.4.1. Justificación económica.....	12
1.4.2. Justificación practica .....	12
1.5. Delimitantes de la investigación.....	13
1.5.1. Delimitante teórica.....	13
1.5.2. Delimitante temporal.....	13
1.5.3. Delimitante espacial .....	13
II. MARCO TEÓRICO .....	15
2.1. Antecedentes .....	15
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	15
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	18
2.2. Bases teóricas .....	22
2.2.1. Plan de gestión de Mantenimiento Predictivo.....	22
2.2.2. Maquinas eléctricas rotativas .....	33
2.3. Marco conceptual.....	38
2.4. Definición de términos básicos .....	39
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	41
3.1. Hipótesis .....	41
3.1.1. Operacionalización de variable.....	42
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	43
4.1. Diseño metodológico.....	43
4.2. Método de investigación .....	43

4.3.	Población y muestra.....	43
4.4.	Lugar de estudio y periodo desarrollado .....	44
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	45
4.6.	Análisis y procesamiento de datos.....	45
4.7.	Aspectos éticos en investigación .....	46
V.	RESULTADOS.....	48
5.1.	Plan de gestión de mantenimiento predictivo.....	48
5.1.1.	Paso 1: Identificación y clasificación de máquinas .....	48
5.1.2.	Paso 2: Definición de objetivos .....	49
5.1.3.	Paso 3: Selección de técnicas de mantenimiento predictivo .....	51
5.1.4.	Paso 4: Implementación de sistemas de monitoreo y diagnóstico	53
5.1.5.	Paso 5: Establecimiento de protocolos de inspección y monitoreo	55
5.1.6.	Paso 6: Capacitación y desarrollo del personal.....	56
5.1.7.	Paso 7: Evaluación y mejora continua del plan de mantenimiento predictivo.....	58
5.1.8.	Paso 8: Gestión de recursos y logística .....	60
5.1.9.	Paso 9: Documentación y reportes.....	61
5.1.10.	Paso 10: Indicadores clave de desempeño (KIPs).....	63
5.2.	Implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo .....	66
5.3.	Evaluación mediante Ficha de registro .....	92
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	96
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	96
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	97
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	99
VII.	CONCLUSIONES.....	101
VIII.	RECOMENDACIONES .....	102
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
	ANEXOS .....	106
	ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	107
	ANEXO N.º 02: FICHA DE OBSERVACIÓN .....	108
	ANEXO N.º 03: AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LA EMPRESA.....	109
	ANEXO N.º 04: BASE DE DATOS .....	110

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Software DDS .....	10
Figura 2. Flujo de trabajo del mantenimiento preventivo.....	27
Figura 3. Motor eléctrico .....	35
Figura 4. Generador eléctrico.....	35
Figura 5. Ley de Faraday y Ley de Lenz.....	36
Figura 6. Comparativa en Pre y Post test de las vibraciones de máquinas eléctricas rotativas .....	92
Figura 7. Comparativa en Pre y Post test de la temperatura de máquinas eléctricas rotativas .....	93
Figura 8. Comparativa en Pre y Post test de la resistencia de aislamiento de máquinas eléctricas rotativas .....	94
Figura 9. Comparativa en Pre y Post test del flujo de máquinas eléctricas rotativas .....	94
Figura 10. Comparativa en Pre y Post test de corriente de las máquinas eléctricas rotativas .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo .....	25
<i>Tabla 2. Herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo .....</i>	<i>26</i>
Tabla 3. Operacionalización de variables .....	42
Tabla 4. Clasificación de máquinas.....	68
Tabla 5. Evaluación del estado de motores eléctricos .....	68
Tabla 6. Evaluación del estado de generadores eléctricos .....	69
Tabla 7. Evaluación del estado de compresores eléctricos .....	70
Tabla 8. Evaluación del estado de bombas eléctricas .....	70
Tabla 9. Evaluación del estado de transformadores eléctricos .....	71
Tabla 10. Evaluación del estado de ventiladores industriales.....	71
Tabla 11. Evaluación del estado de motores de corriente continua (CC) .....	72
Tabla 12. Técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas a las máquinas eléctricas rotativas .....	72
Tabla 13. Establecimiento de umbrales y criterios de alerta .....	77
Tabla 14. Recursos de la implementación del Plan de gestión de mantenimiento predictivo.....	91

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

PdM: Mantenimiento predictivo

CMMS: Sistema de gestión de mantenimiento computarizado

IoT: Internet de las cosas

RCM: Mantenimiento centrado en la confiabilidad

CBM: Mantenimiento basado en la condición

PdA: Predicción de averías

AE: Análisis de vibraciones

IR: Infrarrojo

UT: Ultrasonido

HF: Historia de fallas

CC: Corriente continua

CA: Corriente alterna

ROI: Evaluación de Retorno de Inversión

KPIs: Indicadores Clave de Rendimiento

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTR: Mean Time to Repair

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar como la implementación el plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

**Metodología:** La investigación es de tipo aplicada con un diseño pre experimental y un método cuantitativo. La población está conformada por 50 máquinas eléctricas rotativas que ingresan al proceso de reparación y mantenimiento en las instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC.

**Resultados:** Se desarrolló un plan de mantenimiento predictivo que consta de 10 pasos lo cual garantiza el correcto desarrollo del proceso. La implementación del plan de mantenimiento predictivo ha demostrado mejoras significativas en las máquinas eléctricas rotativas. Las vibraciones se redujeron de una media de 3.3 mm/s RMS a 2.1 mm/s RMS, lo que representa una disminución del 37%. La temperatura promedio disminuyó de 70°C a 65°C, resultando en una reducción del 8%. En el análisis de aceite, todas las máquinas pasaron de un estado contaminado a uno normal. La resistencia de aislamiento aumentó de 96.7 MΩ a 101.7 MΩ, mostrando un incremento del 5.17%. El flujo de aceite de lubricación aumentó de 38 l/min a 43.1 l/min, un incremento del 13%. Además, el uso de corriente disminuyó de una media de 19.8 A a 18.3 A, lo que significa una reducción del 8%. Estos resultados destacan la efectividad del mantenimiento en la optimización del rendimiento de las máquinas.

**Conclusiones:** La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

**Palabras clave:** mantenimiento, predictivo, maquinas eléctricas.

## **ABSTRACT**

**Objective:** Determine how the implementation of the predictive maintenance management plan optimizes rotating electrical machines in the company PREDIMAS SAC -2024.

**Methodology:** The research is of an applied type with a pre-experimental design and a quantitative method. The population is made up of 50 rotating electrical machines that enter the repair and maintenance process at the facilities of the company PREDIMAS SAC.

**Results:** A predictive maintenance plan was developed that consists of 10 steps which guarantees the correct development of the process. The implementation of the predictive maintenance plan has demonstrated significant improvements in rotating electrical machines. Vibrations were reduced from an average of 3.3 mm/s RMS to 2.1 mm/s RMS, representing a 37% decrease. The average temperature decreased from 70°C to 65°C, resulting in a reduction of 8%. In the oil analysis, all machines went from a contaminated state to a normal one. The insulation resistance increased from 96.7 MΩ to 101.7 MΩ, showing an increase of 5.17%. Lubricating oil flow increased from 38 l/min to 43.1 l/min, an increase of 13%. Additionally, the use of current reduction from an average of 19.8 A to 18.3 A, which means a reduction of 8%. These results highlight the effectiveness of maintenance in optimizing machine performance.

**Conclusions:** The implementation of the predictive maintenance management plan optimizes rotating electrical machines in the company PREDIMAS SAC - 2024.

**Keywords:** maintenance, predictive, electrical machines.

## INTRODUCCIÓN

En la contemporaneidad empresarial, la optimización de los procesos productivos se ha convertido en una premisa fundamental para asegurar la eficiencia y competitividad de las organizaciones. En este contexto, la gestión de mantenimiento juega un papel crucial, especialmente en el caso de máquinas eléctricas rotativas, cuyo funcionamiento continuo es esencial para el desarrollo de las actividades operativas. En consonancia con esta necesidad, el presente documento propone un detallado "plan de gestión de mantenimiento predictivo" diseñado específicamente para la empresa PREDIMAS SAC durante el año 2024. Este plan, meticulosamente elaborado, tiene como objetivo primordial maximizar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas eléctricas rotativas, a través de la implementación de estrategias avanzadas de monitoreo y mantenimiento predictivo. Para ello, se hará uso de indicadores clave como la Frecuencia de actualización de datos, el Tiempo de respuesta en la identificación de anomalías y el Porcentaje de intervenciones planificadas, los cuales permitirán evaluar y optimizar la eficacia del plan de mantenimiento.

Asimismo, el análisis de las máquinas eléctricas rotativas se llevará a cabo considerando indicadores esenciales como la Eficiencia operativa de las máquinas, la Durabilidad y vida útil, y la Sostenibilidad ambiental. Estos indicadores permitirán una evaluación integral del desempeño de los equipos, asegurando no solo su funcionamiento óptimo, sino también la alineación con prácticas de sostenibilidad.

En un entorno industrial donde la eficacia operativa es determinante, esta propuesta se erige como un instrumento estratégico para optimizar el rendimiento de los activos electromecánicos, mitigar fallos inesperados y, en última instancia, potenciar la eficiencia global de la compañía. Con la implementación de este plan de gestión de mantenimiento predictivo, PREDIMAS SAC no solo busca mantener la operatividad de sus máquinas eléctricas rotativas, sino también promover un enfoque sostenible y eficiente en todas sus operaciones, consolidando así su posición competitiva en el mercado.

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

A nivel mundial el problema reside en la creciente dependencia de la industria global en sistemas electromecánicos avanzados. En este contexto, las máquinas eléctricas rotativas representan componentes esenciales en diversos sectores productivos, desde la manufactura hasta la generación de energía, desempeñando un papel crucial en la eficiencia operativa de las empresas. Sin embargo, esta dependencia también conlleva desafíos inherentes, ya que las máquinas eléctricas rotativas están expuestas a desgastes, fallas imprevistas y posibles interrupciones operativas. La falta de un enfoque proactivo y predictivo en la gestión de mantenimiento puede resultar en costosos tiempos de inactividad, pérdida de productividad y disminución de la competitividad empresarial a nivel global. Adicionalmente, la presión actual por la sostenibilidad y eficiencia energética exige un manejo cuidadoso de los recursos y la optimización de los procesos industriales. Un mantenimiento predictivo eficaz no solo contribuye a la reducción de residuos y consumo de energía, sino que también se alinea con las tendencias internacionales hacia la responsabilidad ambiental y la eficiencia en la gestión de recursos. [1]

En el Perú, el problema radica en la importancia crítica de la industria y la producción para el desarrollo económico del país. Las máquinas eléctricas rotativas, siendo elementos fundamentales en diversos sectores industriales, enfrentan desafíos específicos en el entorno peruano que requieren una gestión de mantenimiento más eficiente y proactiva. En primer lugar, la variabilidad de las condiciones climáticas y ambientales en distintas regiones del Perú puede tener un impacto significativo en el desempeño de las máquinas eléctricas, aumentando su susceptibilidad a fallas y desgastes prematuros. Además, la geografía diversa del país puede generar condiciones operativas únicas que requieren una adaptación específica en la gestión de mantenimiento. La infraestructura industrial en algunas áreas del Perú puede enfrentar limitaciones, lo que puede resultar en la falta de acceso oportuno a repuestos y servicios especializados. Esto agrava la importancia de implementar un enfoque predictivo

en el mantenimiento, permitiendo una gestión más eficaz de los recursos y la reducción del tiempo de inactividad. [2]

La empresa PREDIMAS SAC, es una empresa enfocada en el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de todo tipo de máquinas rotativas. PREDIMAS es una empresa que presta servicios de mantenimientos ya mencionados, por lo tanto, no es una empresa donde se realicen algún tipo de materia. La empresa brinda servicios de: análisis vibracional, alineamiento de ejes, balanceo dinámico, todos estos servicios se trabajan bajo el software DDS

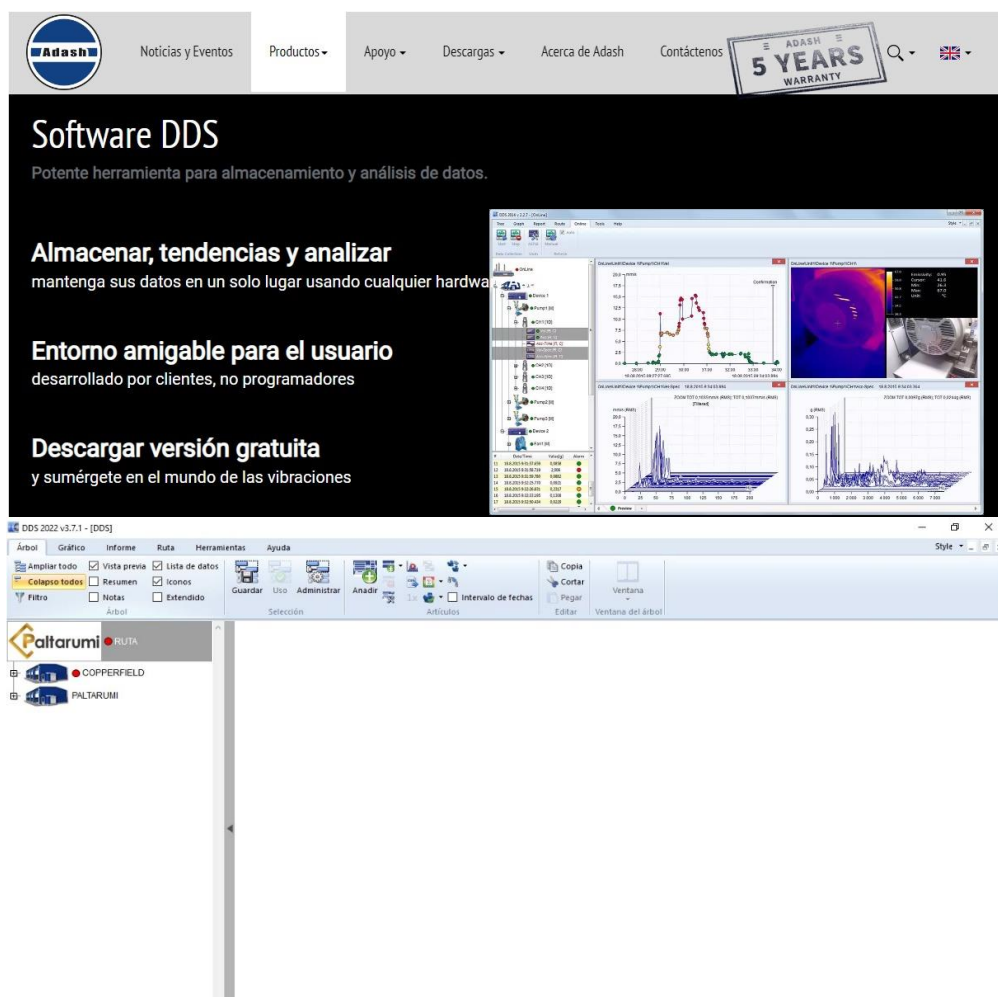


Figura 1. Software DDS

La problemática específica en el seno de la empresa PREDIMAS SAC radica en la identificación de desafíos operativos y económicos derivados de un enfoque reactivo en la gestión de mantenimiento. En primer lugar, la falta de una estrategia de mantenimiento predictivo ha generado tiempos de inactividad no

planificados, impactando negativamente en la continuidad de las operaciones y, por ende, en la eficiencia productiva. Esta realidad se traduce en costos adicionales y pérdida de oportunidades de negocio. Adicionalmente, la empresa ha experimentado pérdidas económicas significativas superando los \$ 230,000 debido a reparaciones de emergencia y reemplazos no planificados de componentes de máquinas eléctricas rotativas. La ausencia de un enfoque predictivo ha generado un ciclo de gastos imprevistos que podría mitigarse con una gestión más proactiva y planificada.

Por ello se plantea determinar de qué manera el plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

## **1.2. Formulación del problema**

### **Problema general**

¿De qué manera la implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024?

### **Problemas específicos**

1. ¿De qué manera la implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024?
2. ¿De qué manera la implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024?
3. ¿De qué manera la implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024?

## **1.3. Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar como la implementación el plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar como la implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.
2. Determinar como la implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.
3. Determinar como la implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Justificación económica**

La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo se justifica económicamente al ofrecer una estrategia proactiva para minimizar los costos derivados de tiempos de inactividad no planificados y reparaciones de emergencia. Este enfoque predictivo optimizará la disponibilidad operativa, asegurando una producción continua y eficiente, lo que se traduce directamente en una mejor utilización de los recursos productivos. Además, al anticiparse a posibles fallos y realizar intervenciones planificadas, la empresa podrá gestionar de manera más eficiente los recursos financieros destinados al mantenimiento, evitando gastos elevados y no planificados. La prolongación de la vida útil de las máquinas eléctricas rotativas a través de este plan estratégico también genera beneficios económicos a largo plazo, al dilatar las necesidades de inversión en nuevas maquinarias y optimizar la eficiencia del capital invertido.[3]

#### **1.4.2. Justificación practica**

Se justifica prácticamente al ofrecer una herramienta efectiva para prevenir fallos no planificados y maximizar la disponibilidad operativa. Al anticipar posibles problemas mediante un monitoreo predictivo, se optimiza la eficiencia de las

operaciones al reducir los tiempos de inactividad y minimizar las interrupciones no programadas. Esto no solo mejora la continuidad de la producción, sino que también simplifica la gestión del personal al permitir intervenciones planificadas, reduciendo la presión operativa y mejorando la planificación estratégica en el entorno industrial de PREDIMAS SAC. En última instancia, este enfoque práctico no solo contribuye a la eficiencia operativa, sino que también garantiza un uso más eficiente de los recursos y una mayor competitividad en el mercado.[4]

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Delimitante teórica**

La delimitante teórica se fundamenta en la convergencia de dos campos interdisciplinarios: la gestión de mantenimiento y la tecnología predictiva aplicada a maquinaria eléctrica rotativa. En este contexto, se aborda la necesidad de desarrollar un enfoque integral que incorpore tanto los principios de gestión estratégica del mantenimiento como las herramientas de monitoreo y análisis de datos en tiempo real, con el objetivo de maximizar la disponibilidad operativa, prolongar la vida útil y optimizar el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas en el contexto específico de PREDIMAS SAC para el año 2024.[5]

### **1.5.2. Delimitante temporal**

La delimitante temporal se establece con una duración máxima de seis meses para la investigación. Este marco temporal específico se ha definido considerando la urgencia de implementar medidas eficaces en un plazo acotado, con el propósito de obtener resultados prácticos y aplicables en el corto plazo. La investigación, diseño e implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo estarán limitados a este período, asegurando una ejecución eficiente y oportuna que se alinee con las necesidades operativas y estratégicas de PREDIMAS SAC durante el año 2024.[6]

### **1.5.3. Delimitante espacial**

La delimitante espacial establece que la investigación y aplicación del plan se realizarán exclusivamente en las instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC. La atención se centrará en los activos electromecánicos específicos presentes

en las instalaciones de la empresa, asegurando que el diseño y aplicación del plan de mantenimiento predictivo se adapten de manera precisa a las características y condiciones particulares de dichas máquinas eléctricas rotativas. Esta delimitación espacial garantiza una investigación detallada y una implementación práctica directamente relacionada con el entorno operativo y las necesidades específicas de PREDIMAS SAC, optimizando así la eficacia y relevancia del plan propuesto.[7]

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En la investigación llevada a cabo por López y Sárate en el año 2023, cuyo título es "Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo asistido por (GMAO) para la maquinaria pesada del departamento de construcción, mantenimiento y talleres de la dirección de obras públicas del municipal del Cantón Gualaquiza", se estableció como objetivo principal la formulación de un plan de mantenimiento preventivo asistido por un sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) destinado a la maquinaria pesada y vehículos pertenecientes al mencionado departamento municipal. La metodología empleada fue de tipo descriptivo con un diseño no experimental. Los resultados obtenidos a través de los peritajes realizados a la flota vehicular condujeron a la conclusión de que, en términos generales, el 79% de la flota se encuentra en condiciones óptimas, el 16% en estado regular y un 2% en malas condiciones. Esta evaluación permitió definir que la flota vehicular se encuentra en buen estado para cumplir con la planificación diseñada por el GAD municipal. En lo referente al mantenimiento preventivo y correctivo, se constató la existencia de un plan de mantenimiento con una estructura jerárquica en el taller. Como resultado final, se concluyó con éxito el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que será gestionado mediante un software, facilitando así la gestión de actividades como la adquisición de repuestos y suministros, así como la ejecución misma del mantenimiento. [1]

En el estudio llevado a cabo por Darío en 2020, titulado "Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento con corte térmico en la empresa SEDEMI", se propuso como objetivo principal diseñar un plan de mantenimiento predictivo utilizando la técnica termográfica con el propósito de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la maquinaria crítica en el área mencionada de la empresa SEDEMI. La metodología adoptada fue descriptiva, utilizando un diseño pre experimental. Los resultados revelaron mejoras en los indicadores al implementar el mantenimiento predictivo; específicamente, se

observó un aumento en la confiabilidad al reducir el tiempo de falla y prolongar el tiempo de funcionamiento efectivo en cada equipo crítico, lo que contribuyó a incrementar su confiabilidad. La aplicación del mantenimiento predictivo demostró aumentar la confiabilidad en la mesa de corte Koike 310 y la procesadora de placas Kf 2512, mientras que en la mesa de corte Tecoi 4500 la confiabilidad disminuyó debido a un tiempo de funcionamiento más prolongado, sugiriendo la necesidad de aplicar la técnica predictiva en períodos más cortos para asegurar su operación. Estos cálculos se realizaron bajo la premisa de que las condiciones del área de producción y de la máquina permanecieran constantes desde el inicio de la aplicación del mantenimiento predictivo. La implementación de la termografía tuvo un costo anual de 2688 dólares para la revisión y confirmación del estado de los componentes del sistema de plasma de los equipos críticos, representando el 15% del costo total de reemplazo de componentes \$ 17628,20, lo que significaría un ahorro significativo y un aumento en la vida útil de las partes principales, asegurando el funcionamiento prolongado del sistema de plasma. Se concluyó mediante el análisis de la información sobre mantenimiento correctivo, presentada a través del formulario 02 de solicitud de mantenimiento, al calcular los indicadores antes de la aplicación de la técnica predictiva y compararlos con los resultados después de su aplicación, evidenciando mejoras en los indicadores. [2]

En el estudio llevado a cabo por Álvarez, Lozano y Bravo en 2022, bajo el título "Desarrollo de una metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución basada en aprendizaje automático", se planteó el objetivo de diseñar una metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución utilizando aprendizaje automático. La metodología se fundamenta en un modelo predictivo de clasificación que identifica el número mínimo de transformadores de distribución propensos a fallar. Para validar esta aproximación, el modelo se implementó y evaluó con datos reales en el Departamento del Cauca (Colombia). En la validación, un modelo SVM fue entrenado con datos de 2019 y posteriormente validado con información del año 2020. El conjunto de datos de entrenamiento de 2019 se ajustó mensualmente en la variable de tasa de quema, la cual contiene

información sobre el historial de fallas del transformador, actualizándose con datos acumulados al final del año. Este conjunto de datos, compuesto por 1.585 registros, se actualizó mes a mes con información registrada en el sistema central, aumentando así la capacidad predictiva del modelo. La validación del modelo predictivo para el año 2020 se realizó de manera mensual, eliminando datos del año anterior y ajustando la información registrada en el sistema central para mejorar la capacidad predictiva del modelo, en lugar de esperar hasta el final del año. La predicción para el año 2021 identificó 910 transformadores, de los cuales 870 se encuentran en la zona rural del Cauca, siendo consistente con las tendencias de fallas observadas en años anteriores. Se presenta la distribución de capacidades nominales para los 10 transformadores predichos, resaltando que los transformadores de 10 kVA continúan siendo prioritarios en términos de riesgo. Sin embargo, el algoritmo no priorizó los transformadores con alto riesgo de quema según el estudio de nivel cerámico, ya que solo 217 transformadores (23,8%) pertenecen a esta categoría. La mayoría de los transformadores suministran energía al sector residencial (98,9%), siendo sus clientes los más vulnerables y afectados en términos de calidad de vida y bienestar. La conclusión del estudio destaca que el modelo propuesto constituye una herramienta eficaz para abordar los desafíos asociados con la programación del mantenimiento preventivo de los transformadores de distribución. [3]

En la investigación realizada por Cacho en el 2020 la cual titula "Pruebas eléctricas para máquinas eléctricas rotativas bajo normas IEEE y rediseño de devanados estáticos de motores asíncronos" estableció como objetivo la provisión de herramientas e información actualizada para el diagnóstico de motores y generadores eléctricos, así como la aplicación de rediseños eficientes a motores asíncronos. La metodología empleada fue de tipo explicativa, con un diseño no experimental. Los hallazgos revelaron que, al analizar las pruebas, se identificaron aquellas que mejor y de manera más eficiente ayudan a evaluar una máquina eléctrica rotativa, entre ellas las pruebas de voltaje directo (DC) versus voltaje alterno (AC), pruebas de baja tensión, pruebas de alta tensión (DC), ensayo de aislamiento interlaminar, pruebas a bobinados jaula de ardilla, prueba de rotor bloqueado, prueba especial a bobinados de armadura, pruebas en vacío

y pruebas con carga. En cuanto al método de CM/Amp, se recomienda el uso de hasta 2 conductores y probar el llenado de la ranura, ajustando el tamaño del conductor según sea necesario para lograr un llenado de ranura adecuado. Se concluyó que los principales rediseños aplicados en motores asíncronos incluyen cambios en el voltaje nominal, frecuencia nominal y velocidad, los cuales resultan útiles para optimizar el funcionamiento de la máquina en el proceso correspondiente.[4]

En la investigación realizada por Cardona en el 2023 la cual titula “Técnicas para la detección de fallas en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna usando tecnologías de la industria 4.0.” siendo el propósito principal fue el de examinar el rendimiento, las restricciones y las capacidades de las metodologías de inspección de fallos en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna empleando tecnologías asociadas a la Industria 4.0. La metodología adoptada fue de naturaleza exploratoria, utilizando un enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos permitieron identificar las tecnologías de la Industria 4.0 aplicadas a la detección de fallos en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna, así como evaluar su funcionamiento, limitaciones y alcances. Se registraron las técnicas de procesamiento de imágenes utilizadas en la inspección de dichas máquinas, así como las técnicas de procesamiento de señales y de inteligencia artificial empleadas con el mismo fin. Se destacó el potencial de las redes neuronales como una herramienta útil para monitorear ampliamente los posibles fallos dentro de las máquinas, dado su continuo proceso de entrenamiento y adaptación a nuevas constantes y fallos emergentes. Se llegó a la conclusión de que las técnicas de procesamiento de señales pueden ser especialmente beneficiosas en situaciones donde se generen vibraciones que puedan impactar el rendimiento de una máquina eléctrica rotativa.[5]

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la investigación llevada a cabo por Rojas en 2020, titulada "Desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo para motoventiladores asíncronos en la planta Fidería Lima de ALICORP S.A.", se estableció como objetivo la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para motoventiladores en la planta de

Fidería Lima de ALICORP S.A. en el año 2018. La metodología empleada en la investigación fue de tipo descriptiva, con un diseño pre experimental. Los resultados obtenidos indicaron que, mediante la elaboración y aplicación adecuada del plan de mantenimiento predictivo, junto con la ejecución de los procedimientos correspondientes, es posible lograr un mantenimiento eficaz. Esto permite mantener un control detallado del historial de funcionamiento de cada motoventilador a lo largo de su operación, facilitando así la planificación y programación del mantenimiento necesario. En las pruebas eléctricas de los motores, se observó que la norma IEC 61000-2-2 y la norma IEEE 1159 recomiendan que el índice de desbalance en la tensión no supere el  $\pm 5\%$ , y el desequilibrio en corriente no debe exceder el  $\pm 10\%$ . Además, según la norma IEEE 1415 – 2006 (punto 4.3.40), el desbalance resistivo de un motor eléctrico debe estar entre el 3% y el 5% de la resistencia promedio, y cualquier valor que supere estos límites debe ser analizado. La conclusión del estudio señala que la implementación del plan de mantenimiento predictivo para los motoventiladores, utilizando herramientas como las pruebas eléctricas y mecánicas para evaluar el estado actual de cada componente, es fundamental para garantizar un mantenimiento efectivo y prolongar la vida útil de estos equipos. [6]

En el estudio llevado a cabo por Miranda en 2020, bajo el título "Implementación de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en equipos rotativos críticos de la central termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros", el objetivo planteado fue la aplicación del mantenimiento predictivo basado en análisis de vibraciones en equipos rotativos críticos con el propósito de mitigar potenciales fallas en la planta termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros. La metodología utilizada fue aplicada y contempló un diseño experimental. Los resultados obtenidos indicaron una reducción del tiempo de parada de los equipos rotativos críticos, pasando del 20% al 10%. Se logró una mejora en el tiempo de disponibilidad de estos equipos, evidenciada por el aumento del tiempo medio entre fallas, que pasó de 2300 a 2450 horas. Este incremento en la disponibilidad generó ingresos adicionales de S/ 8,635.776 mil soles durante el periodo 2019 en comparación con el periodo 2018. Además, se consiguió disminuir las potenciales fallas en los equipos rotativos críticos de la

central termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros. La conclusión principal del estudio destaca la importancia de realizar un diagnóstico situacional de los equipos rotativos críticos y su impacto técnico-económico. Se llevó a cabo un levantamiento de la situación actual de los equipos rotativos críticos, focalizando los esfuerzos en motores, bombas y ventiladores, de los cuales se seleccionaron 10 equipos rotativos considerados los más críticos. [7]

En la investigación llevada a cabo por Garnique en 2023, titulada "Ejecución de un plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite para mejorar la disponibilidad del cargador frontal CAT 962H en la empresa agroindustrial Agrolmos S.A.", el objetivo planteado fue la implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite con el fin de mejorar la disponibilidad mecánica del cargador frontal CAT 962H en la empresa Agroindustrial Agrolmos S.A. La metodología empleada fue de tipo aplicada, y los datos relacionados con los resultados de los análisis de aceite fueron obtenidos a través de los programas de servicio de análisis de aceite de Smart Lab, así como Check Oil de Mobil y Shell, respectivamente. Los resultados obtenidos demostraron que, previo a la implementación del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite, la disponibilidad del cargador frontal 962H en el año 2021 fue del 83.2%, mientras que después de la implementación en el año 2022, aumentó a un 89.2%, evidenciando un incremento del 6% en la disponibilidad mecánica. La ejecución del plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite incluyó la identificación de equipos y componentes a analizar, revisión del historial y estado general del equipo, muestreo y envío de muestras de aceite, análisis de aceite, interpretación de resultados y análisis de tendencias, determinación de tareas de mantenimiento a aplicar, y retroalimentación de históricos. Siguiendo estos procesos, se logró aumentar la disponibilidad y reducir los mantenimientos correctivos no programados, garantizando así el cumplimiento efectivo de las operaciones del cargador frontal CAT 962H. La conclusión derivada de la evaluación de resultados señala un aumento del 6% en la disponibilidad mecánica del cargador frontal CAT 962H, evidenciando una mejora significativa,

ya que la disponibilidad promedio pasó de 83.2% a 89.2% tras la aplicación del plan de mantenimiento basado en análisis de aceite. [8]

En la investigación realizada por Limaymanta en el 2022 la cual titula “Análisis de calidad en motores de inducción mediante pruebas eléctricas en régimen dinámico” siendo el objetivo primordial fue examinar los resultados de la calidad en motores de inducción a través de pruebas eléctricas en un entorno dinámico. La metodología adoptada siguió un enfoque científico básico, empleando un método científico de nivel aplicativo y un diseño descriptivo. Los resultados revelaron que los niveles de tensión se encuentran dentro de las tolerancias establecidas, con un margen de  $\pm 5$  % con respecto a la subtensión operativa. El desequilibrio de tensión se mantiene dentro de los porcentajes límites según la norma EN-50160 (+/- 2 %). Se determinó que la corriente nominal alcanza los 161.0 A (100 %), con un consumo promedio de 113.5 A (70.5 %), indicando un funcionamiento óptimo del motor. La potencia activa registrada fue de 729.7 kW, mientras que la potencia de diseño del motor es de 1250 HP, equivalente a 932.12 kW. Se observó una potencia reactiva de 394.3 kVAr, con un factor de potencia de 0.88, sugiriendo una necesidad de mejora en el sistema debido al exceso de reactivos. Se concluyó que el nivel de distorsión armónica total de tensión (THDv %) es del 0.7 %, cumpliendo con las tolerancias establecidas por la norma IEEE, al ser inferior al límite permitido del 5.0 % en media tensión. Además, se encontró que los armónicos de tensión y la capacidad de corriente se mantienen dentro de los límites permitidos según la norma NTCSE/IEEE 519-2014. [9]

En la investigación realizada por Adauto en el 2021 la cual titula “Aplicación de la inteligencia artificial en la detección de fallas en los motores eléctricos de corriente continua de imán permanente” siendo el objetivo primordial fue determinar cómo la aplicación de la inteligencia artificial mejora el proceso de detección y reconocimiento de fallos en los motores eléctricos de corriente continua con imán permanente. La metodología empleada fue de índole aplicada, con un enfoque descriptivo y correlacional, utilizando un método científico y un diseño pre experimental. Los resultados demostraron que el empleo de conocimientos en inteligencia artificial, especialmente a través del

aprendizaje automático (machine learning), en el diagnóstico de fallos en este tipo de motores permite una predicción más precisa y exacta de posibles averías. Esto se fundamenta en el uso de algoritmos de aprendizaje, que capacitan al sistema mediante la información suministrada, dividida en conjuntos de entrenamiento, validación y evaluación. Por consiguiente, se puede concluir que la confiabilidad y eficiencia en la detección y reconocimiento de averías en los motores eléctricos de imán permanente mejoran significativamente con la aplicación de conocimientos en inteligencia artificial. Se destacó además la distinción entre avería y fallo, especificando que la avería está comprendida dentro de un fallo, y no al revés, lo que subraya la importancia de mejorar el procedimiento de detección y reconocimiento de averías para garantizar una mayor fiabilidad y eficiencia en el diagnóstico de fallos en estos motores eléctricos rotativos. [10]

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Plan de gestión de Mantenimiento Predictivo**

Según Zavaleta en el 2020, el "plan de gestión de mantenimiento predictivo" es una estrategia integral diseñada para optimizar la gestión de activos, específicamente en el ámbito de las máquinas eléctricas rotativas. Este plan se basa en la implementación de técnicas avanzadas de monitoreo y análisis de datos, permitiendo anticipar posibles fallas y realizar intervenciones planificadas en los equipos antes de que ocurran problemas significativos. A través de la aplicación de tecnologías predictivas, como sensores y análisis de tendencias, se busca maximizar la disponibilidad operativa, reducir los tiempos de inactividad no planificados y optimizar los recursos financieros al evitar costosas reparaciones de emergencia. El enfoque predictivo en el mantenimiento no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a prolongar la vida útil de los activos, resultando en una gestión más sostenible y rentable de los recursos empresariales.[11]

Como menciona Laban en el 2021, el "plan de gestión de mantenimiento predictivo" se erige como una estrategia esencial en la gestión empresarial, centrada en preservar y optimizar el rendimiento de las máquinas eléctricas

rotativas. Su importancia radica en su capacidad para prevenir fallos imprevistos y reducir los tiempos de inactividad, garantizando una operación continua y eficiente. Al anticiparse a posibles problemas mediante el monitoreo predictivo, este plan no solo salvaguarda la integridad de los activos, sino que también minimiza los costos asociados a reparaciones de emergencia y maximiza la eficiencia operativa, contribuyendo así a la sostenibilidad financiera y competitividad a largo plazo de la empresa.[12]

El mantenimiento predictivo es una estrategia de gestión de activos que utiliza técnicas de monitoreo y análisis de datos para anticipar y prevenir fallos en los equipos antes de que ocurran. A diferencia de los métodos de mantenimiento correctivo y preventivo, que se basan en intervenciones programadas o en respuesta a fallos, el mantenimiento predictivo busca identificar condiciones anómalas en su fase incipiente, permitiendo así una intervención oportuna y planificada.

Conceptos clave del mantenimiento predictivo:

- **Monitoreo de condición:** Proceso continuo de recopilación y análisis de datos sobre el estado de los equipos para identificar signos de deterioro o fallo inminente.
- **Diagnóstico y pronóstico:** Diagnóstico se refiere a la identificación de problemas existentes, mientras que el pronóstico estima el tiempo restante antes de que ocurra un fallo.
- **Intervención proactiva:** Acciones tomadas basadas en los resultados del monitoreo y análisis para prevenir fallos y optimizar el rendimiento de los equipos.

Evolución del mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo ha evolucionado significativamente desde sus inicios, impulsado por los avances tecnológicos y la creciente demanda de eficiencia y fiabilidad en las operaciones industriales. A continuación, se describe la evolución de esta disciplina a lo largo del tiempo:

- Primeros desarrollos (décadas de 1950-1960): El concepto de mantenimiento predictivo comenzó a emerger con la introducción de técnicas básicas de monitoreo, como el análisis de vibraciones. Estas primeras técnicas permitieron detectar desbalances y otros problemas mecánicos en equipos rotativos.
- Desarrollo de técnicas avanzadas (décadas de 1970-1980): Se introdujeron nuevas herramientas como la termografía infrarroja y el análisis de aceite, ampliando la capacidad de monitoreo y diagnóstico. Estas técnicas permitieron detectar problemas eléctricos y de lubricación, mejorando la precisión del mantenimiento predictivo.
- Digitalización y software (décadas de 1990-2000): La digitalización y el desarrollo de software especializados permitieron la integración de múltiples técnicas de monitoreo en sistemas centralizados de gestión. Los sistemas de diagnóstico y pronóstico comenzaron a utilizar algoritmos avanzados y modelos predictivos basados en datos históricos.
- Era del IoT y Big Data (década de 2010 en adelante): La incorporación del Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de Big Data revolucionaron el mantenimiento predictivo. Sensores inteligentes y conectividad en tiempo real permiten el monitoreo continuo y detallado de los equipos, mientras que las técnicas de aprendizaje automático mejoran la capacidad de pronóstico y optimización.
- Hacia el futuro (presente y más allá): La evolución del mantenimiento predictivo continúa con el desarrollo de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el gemelo digital y la computación en la nube. Estas tecnologías prometen una mayor precisión y eficiencia en la gestión del mantenimiento, permitiendo una toma de decisiones más informada y estratégica.

A continuación, determinamos las ventajas y desventajas:

Tabla 1. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo

Ventajas	Desventajas
Reducción de costos de mantenimiento: Al anticipar fallos, se pueden realizar intervenciones antes de que ocurra un daño mayor, lo que reduce los costos de reparaciones mayores y tiempos de inactividad.	Costos iniciales elevados: La implementación de un sistema de mantenimiento predictivo puede requerir una inversión significativa en equipos de monitoreo y software.
Mejora en la disponibilidad de los equipos: Al identificar problemas potenciales antes de que causen fallos, se puede programar el mantenimiento en momentos que no afecten la producción.	Necesidad de personal capacitado: Requiere personal con conocimientos técnicos avanzados para interpretar los datos y tomar decisiones informadas.
Extensión de la vida útil de los equipos: El mantenimiento predictivo puede ayudar a prolongar la vida útil de los equipos al prevenir daños graves y desgaste excesivo.	Dependencia tecnológica: La eficacia del mantenimiento predictivo depende en gran medida de la precisión y fiabilidad de los sensores y sistemas de monitoreo.
Incremento en la seguridad: Al prevenir fallos inesperados, se reduce el riesgo de accidentes y situaciones peligrosas para los operarios y el entorno.	Complejidad en la implementación: Integrar un sistema de mantenimiento predictivo en una planta existente puede ser un proceso complejo y disruptivo.
Optimización de los recursos: Permite una mejor planificación y utilización de los recursos de mantenimiento, evitando intervenciones innecesarias y optimizando el uso del personal y materiales.	Posible sobrecarga de datos: La gran cantidad de datos generados por los sistemas de monitoreo puede ser abrumadora y difícil de gestionar si no se cuenta con las herramientas adecuadas.
Aumento de la eficiencia operativa: Al mantener los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, se mejora la eficiencia general del proceso productivo.	Resistencia al cambio: La adopción de nuevas tecnologías y métodos puede enfrentar resistencia por parte del personal acostumbrado a métodos tradicionales de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia del autor

El mantenimiento predictivo se basa en una variedad de herramientas y técnicas que permiten el monitoreo continuo y el análisis de la condición de los equipos.

Estas herramientas y técnicas son esenciales para anticipar fallos y optimizar el rendimiento de los activos. A continuación, se detallan las principales herramientas y técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo.

*Tabla 2. Herramientas y técnicas del mantenimiento predictivo*

Técnica	Descripción	Aplicaciones
Monitoreo de condición	Observación continua del estado de los equipos mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real.	Detección de cambios anómalos en el comportamiento de los equipos.
Análisis de vibraciones	Medición de vibraciones generadas por el equipo en funcionamiento para detectar problemas mecánicos.	Identificación de desbalanceo, desalineación, fallos en rodamientos y problemas de engranajes.
Termografía infrarroja	Uso de cámaras térmicas para detectar cambios de temperatura en los equipos, revelando puntos calientes y problemas de fricción o eléctricos.	Monitoreo de equipos eléctricos y mecánicos para identificar sobrecalentamiento y problemas de aislamiento.
Análisis de aceite	Examen del lubricante para detectar signos de desgaste, contaminación o degradación.	Evaluación de partículas metálicas, agua, oxidación y otros contaminantes en el aceite para identificar problemas en componentes internos.
Otros métodos	Técnicas adicionales como el ultrasonido y el análisis de corriente para detectar fallas.	Ultrasonido para identificar fugas de aire y problemas en rodamientos; análisis de corriente para monitorear consumo eléctrico y detectar desbalanceo o cortocircuitos.

Fuente: Elaboración propia del autor

El mantenimiento predictivo es una estrategia esencial para optimizar la operatividad y la eficiencia de los equipos industriales. Las herramientas y

técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo, como el monitoreo de condición, el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, el análisis de aceite y otros métodos como el ultrasonido y el análisis de corriente, proporcionan una capacidad avanzada para anticipar y prevenir fallos antes de que se conviertan en problemas graves.

El uso de estas herramientas permite una intervención oportuna y planificada, lo que resulta en la reducción de costos de mantenimiento, la mejora de la disponibilidad de los equipos, la extensión de su vida útil y el incremento de la seguridad operativa. Además, la integración de tecnologías emergentes como el IoT y el análisis de Big Data amplía las capacidades del mantenimiento predictivo, ofreciendo una mayor precisión y eficacia en la gestión de los activos.

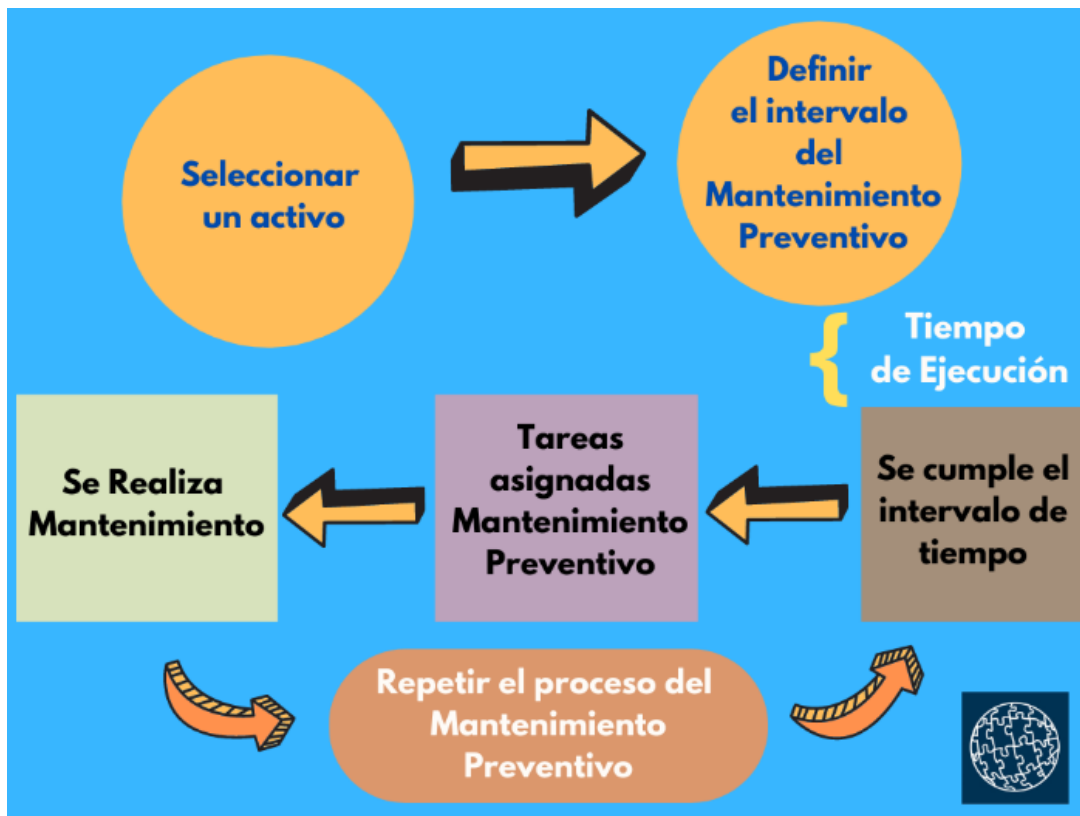


Figura 2. Flujo de trabajo del mantenimiento preventivo

### Indicadores Generales

El éxito de un plan de gestión de mantenimiento predictivo depende en gran medida de la capacidad de monitorear y evaluar continuamente su eficacia a través de indicadores de desempeño clave. Estos indicadores proporcionan

datos críticos que permiten ajustar y optimizar las estrategias de mantenimiento, garantizando que los objetivos del plan se cumplan de manera eficiente y efectiva. A continuación, se detallan los indicadores generales más importantes para un plan de mantenimiento predictivo:

- Frecuencia de actualización de datos

La frecuencia de actualización de datos se refiere a la regularidad con la que se recopilan y analizan los datos del estado de los equipos. Este indicador es crucial para garantizar que la información utilizada para tomar decisiones de mantenimiento sea precisa y actual. Una alta frecuencia de actualización permite una detección temprana de anomalías y una respuesta más rápida a posibles fallos.

- Importancia: Una mayor frecuencia de actualización de datos permite detectar cambios en el estado de los equipos más rápidamente, lo que facilita intervenciones oportunas y evita fallos catastróficos.
- Medición: Este indicador se mide en términos de intervalos de tiempo (por ejemplo, cada minuto, hora, día) entre las actualizaciones de datos. Se puede expresar como una tasa (número de actualizaciones por unidad de tiempo).

- Tiempo de respuesta en la identificación de anomalías

El tiempo de respuesta en la identificación de anomalías es el tiempo que transcurre desde que se detecta una condición anómala hasta que se toma acción para corregirla. Este indicador es fundamental para minimizar el impacto de los fallos potenciales en las operaciones de la empresa.

- Importancia: Un tiempo de respuesta rápido es esencial para reducir el tiempo de inactividad no planificado y los costos asociados con reparaciones emergentes.
- Medición: Se mide en unidades de tiempo (minutos, horas, días) desde la detección de la anomalía hasta la intervención. También puede incluir subindicadores como el tiempo de diagnóstico y el tiempo de implementación de la solución.

- Porcentaje de intervenciones planificadas

El porcentaje de intervenciones planificadas indica la proporción de las actividades de mantenimiento que se realizan de manera planificada en lugar de reactiva. Este indicador refleja la eficacia del plan de mantenimiento predictivo en anticipar y programar las necesidades de mantenimiento.

- Importancia: Un alto porcentaje de intervenciones planificadas reduce la incidencia de fallos inesperados y permite una mejor gestión de los recursos de mantenimiento.
- Medición: Se calcula como la relación entre el número de intervenciones planificadas y el número total de intervenciones realizadas en un periodo determinado. Se expresa como un porcentaje.

- Eficiencia Operativa de las Máquinas

La eficiencia operativa de las máquinas eléctricas rotativas se refiere a la relación entre la salida útil de la máquina (trabajo, potencia) y la energía de entrada. Este indicador es crucial para evaluar el rendimiento energético y la efectividad del mantenimiento predictivo en optimizar la operación de las máquinas.

- Importancia: Una alta eficiencia operativa indica que la máquina está funcionando de manera óptima, con mínimas pérdidas de energía. Esto no solo reduce los costos operativos, sino que también disminuye el desgaste y prolonga la vida útil del equipo.
- Medición: Se calcula como el cociente entre la energía útil producida por la máquina y la energía total consumida, expresado como un porcentaje. Mediante la siguiente fórmula:

$$Eficiencia\ operativa = \left( \frac{Energía\ útil}{Energía\ total} \right) \times 100\%$$

- Durabilidad y Vida Útil

La durabilidad y vida útil de las máquinas eléctricas rotativas se refieren al tiempo durante el cual las máquinas pueden operar eficazmente antes de

requerir reemplazo. Este indicador es vital para planificar el ciclo de vida de los activos y realizar presupuestos de mantenimiento y reemplazo.

- **Importancia:** Evaluar la durabilidad y vida útil permite a las empresas planificar reemplazos y actualizaciones de manera eficiente, evitando costos inesperados y tiempos de inactividad no planificados.
- **Medición:** Se puede medir en términos de horas de operación, ciclos de trabajo, o años de servicio. La vida útil también puede ser estimada mediante el análisis de tendencias de fallos y el historial de mantenimiento.

- **Sostenibilidad Ambiental**

La sostenibilidad ambiental mide el impacto ambiental de las operaciones de las máquinas eléctricas rotativas, incluyendo aspectos como el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, y la generación de residuos. Este indicador es fundamental en el contexto actual de responsabilidad social corporativa y normativas ambientales.

- **Importancia:** La sostenibilidad ambiental es crucial para reducir la huella ecológica de la empresa y cumplir con las regulaciones ambientales. Además, puede mejorar la reputación de la empresa y atraer a clientes y socios comprometidos con la sostenibilidad.
- **Medición:** Incluye varios subindicadores, como el consumo de energía (kWh), emisiones de CO<sub>2</sub> (toneladas), y la cantidad de residuos generados (kg). Estos datos se pueden recopilar y analizar para evaluar y mejorar las prácticas ambientales de la empresa.

#### Importancia de los indicadores

Estos indicadores generales proporcionan una visión clara y cuantificable de la eficacia del plan de mantenimiento predictivo. Al monitorear y analizar estos indicadores de manera continua, la empresa puede:

- **Identificar tendencias y patrones:** Detectar tendencias en los datos de mantenimiento puede ayudar a predecir futuros problemas y planificar acciones correctivas antes de que se conviertan en fallos críticos.

- Optimizar la programación de mantenimiento: Ajustar la frecuencia y el tipo de actividades de mantenimiento basándose en datos reales, mejorando así la eficiencia y reduciendo los costos.
- Mejorar la toma de decisiones: Disponer de datos actualizados y precisos permite a los responsables de mantenimiento tomar decisiones informadas y basadas en hechos, en lugar de suposiciones o reacciones tardías.
- Aumentar la vida útil de los equipos: Al identificar y abordar problemas en etapas tempranas, se puede extender la vida útil de los equipos y optimizar su rendimiento a lo largo del tiempo.

### Etapas de la Implementación

La implementación de un plan de mantenimiento predictivo se divide en varias etapas, cada una de las cuales es fundamental para asegurar que el plan sea efectivo y sostenible a largo plazo.

#### Evaluación inicial

- La primera etapa de la implementación implica una evaluación inicial de los equipos y sistemas actuales. Esto incluye un inventario detallado de todas las máquinas eléctricas rotativas, así como una evaluación de su estado actual y su historial de mantenimiento.
- Objetivo: Identificar las necesidades específicas de mantenimiento predictivo y establecer una línea base para el monitoreo futuro.
- Actividades clave:
  - Inventario de equipos.
  - Evaluación del estado y rendimiento actual.
  - Revisión del historial de mantenimiento y fallos anteriores.
  - Identificación de áreas críticas que requieren atención prioritaria.

#### Selección de herramientas y técnicas

- Con base en la evaluación inicial, se seleccionan las herramientas y técnicas adecuadas para el mantenimiento predictivo, como el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja, el análisis de aceite, entre otros.

- Objetivo: Asegurar que las herramientas seleccionadas sean las más adecuadas para monitorear y analizar las condiciones de las máquinas específicas.
- Actividades clave:
  - Evaluación de diferentes tecnologías y proveedores.
  - Selección de sensores, software y otros equipos necesarios.
  - Configuración y calibración de herramientas de monitoreo.

#### Capacitación del personal

- El éxito del plan depende en gran medida de la capacidad del personal para utilizar las herramientas y técnicas seleccionadas de manera efectiva.
- Objetivo: Asegurar que el equipo de mantenimiento esté adecuadamente capacitado en el uso de las nuevas tecnologías y en la interpretación de los datos recopilados.
- Actividades clave:
  - Programas de formación y talleres prácticos.
  - Entrenamiento en el uso de software de monitoreo y análisis de datos.
  - Desarrollo de manuales y guías de referencia rápida.

#### Implementación Piloto

- Antes de una implementación completa, es aconsejable realizar un proyecto piloto en una sección limitada o en equipos seleccionados para probar la eficacia del plan.
- Objetivo: Identificar y resolver cualquier problema antes de la implementación a gran escala.
- Actividades clave:
  - Selección de un grupo de máquinas para el piloto.
  - Monitoreo intensivo y recopilación de datos.
  - Evaluación de resultados y ajuste de estrategias.

#### Implementación Completa

- Una vez que el piloto ha sido evaluado y ajustado, se procede a la implementación completa del plan de mantenimiento predictivo en toda la planta.
- Objetivo: Integrar el mantenimiento predictivo en las operaciones diarias de la empresa.
- Actividades clave:
  - Despliegue de herramientas y técnicas en todas las máquinas eléctricas rotativas.
  - Monitoreo continuo y recopilación de datos.
  - Revisión y ajuste periódico del plan.

### **2.2.2. Maquinas eléctricas rotativas**

Según Antía y sus cols. en el 2023, las máquinas eléctricas rotativas son dispositivos electromecánicos fundamentales en diversos sectores industriales que transforman la energía eléctrica en energía mecánica mediante el principio de la rotación. Este término engloba una variedad de equipos, como motores eléctricos y generadores, que operan con componentes giratorios esenciales para su funcionamiento. En el caso de los motores, convierten la electricidad en movimiento rotativo para impulsar maquinaria, mientras que los generadores realizan la conversión inversa, transformando la energía mecánica en electricidad. Dada su relevancia en la producción y generación de energía, la eficiencia y confiabilidad de las máquinas eléctricas rotativas son cruciales para el desempeño óptimo de diversas operaciones industriales y servicios eléctricos.[13]

Como menciona Cardona en el 2023, las máquinas eléctricas rotativas son componentes críticos en la infraestructura industrial, desempeñando un papel central en la conversión de energía eléctrica. Su importancia radica en su capacidad para impulsar la maquinaria esencial para la producción y en la generación de energía eléctrica. Un mantenimiento efectivo de estas máquinas es vital, ya que garantiza su funcionamiento óptimo, previene fallos imprevistos y reduce los tiempos de inactividad. La atención diligente a su mantenimiento no solo preserva la integridad de estos activos, sino que también contribuye a la

eficiencia operativa, la durabilidad y la rentabilidad a largo plazo de las operaciones industriales y los servicios eléctricos asociados.[5]

Las máquinas eléctricas rotativas son dispositivos electromecánicos diseñados para convertir energía eléctrica en energía mecánica (en el caso de los motores) o energía mecánica en energía eléctrica (en el caso de los generadores), mediante un movimiento rotatorio. Estas máquinas son esenciales en aplicaciones industriales y comerciales, ya que permiten la generación de potencia, la conversión de energía y el movimiento de maquinaria.

### Clasificación

Las máquinas eléctricas rotativas se pueden clasificar según la corriente que utilizan y su función principal:

- Por Tipo de Corriente:
  - Corriente Alterna (CA): Estas máquinas funcionan con una corriente que cambia de dirección periódicamente. Los dos tipos más comunes son:
    - Motores Síncronos: Operan a una velocidad constante sincronizada con la frecuencia de la corriente alterna.
    - Motores Asíncronos (o de Inducción): Funcionan a una velocidad ligeramente menor que la velocidad sincronizada, y son muy utilizados en aplicaciones industriales debido a su robustez y simplicidad.
  - Corriente Continua (CC): Funcionan con una corriente que fluye en una sola dirección. Los tipos más comunes incluyen:
    - Motores de Escobillas: Usan escobillas para conmutar la corriente en el rotor, permitiendo el control de velocidad y par.
    - Motores Sin Escobillas: Utilizan un control electrónico para conmutar la corriente, lo que elimina el desgaste de las escobillas y mejora la eficiencia.
- Por Función:
  - Motores: Convertir la energía eléctrica en movimiento rotativo. Ejemplos comunes incluyen motores utilizados en ventiladores, bombas y cintas transportadoras.



Figura 3. Motor eléctrico

- Generadores: Convertir el movimiento rotativo en energía eléctrica. Se utilizan en centrales eléctricas y generadores portátiles.



Figura 4. Generador eléctrico

### Principios de Funcionamiento

Las máquinas eléctricas rotativas operan basándose en el principio de la interacción de campos magnéticos. En un motor eléctrico, la corriente eléctrica pasa a través de las bobinas del estator, generando un campo magnético. Este campo magnético interactúa con el campo magnético del rotor, produciendo un movimiento rotativo. En un generador eléctrico, el movimiento rotativo del rotor genera un campo magnético que induce una corriente en el estator mediante la inducción electromagnética.

### Principios Básicos:

- Ley de Faraday: Esta ley establece que una variación en el flujo magnético a través de un circuito induce una fuerza electromotriz (EMF). Es crucial para el funcionamiento de generadores y transformadores, ya

que describe cómo el cambio en el campo magnético genera una corriente eléctrica.

- Ley de Lenz: Según esta ley, la dirección de la corriente inducida es tal que se opone al cambio en el flujo magnético que la provocó. Esto es fundamental para entender cómo las máquinas eléctricas responden a cambios en el campo magnético y por qué se requiere una energía adicional para mantener el movimiento.

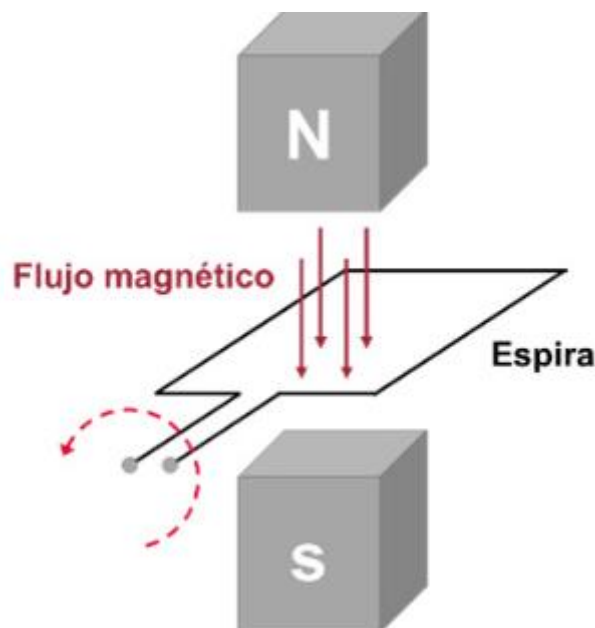


Figura 5. Ley de Faraday y Ley de Lenz

Efecto en el Rendimiento:

La eficiencia y el rendimiento de una máquina eléctrica rotativa dependen de la correcta interacción entre los campos magnéticos generados por el estator y el rotor. Un diseño óptimo y una calidad adecuada de los componentes aseguran una conversión efectiva de energía y un funcionamiento estable y duradero.

Componentes principales

- Estator: El estator es la parte estacionaria de una máquina eléctrica rotativa. Su función principal es generar un campo magnético que interactúe con el rotor. Está compuesto por un núcleo de hierro laminado y bobinas de alambre, que pueden estar conectadas en serie o paralelo.

La importancia radica en que es crucial para asegurar una transferencia eficiente de energía y minimizar pérdidas.

Componentes:

- Núcleo de Hierro: Reduce las pérdidas por corriente de Foucault y mejora la eficiencia.
- Bobinas (o devanados): Producen el campo magnético cuando pasa una corriente eléctrica.
- Rotor: El rotor es la parte giratoria de una máquina eléctrica rotativa. Está montado sobre un eje y está diseñado para interactuar con el campo magnético generado por el estator. En motores, el rotor genera el movimiento rotativo; en generadores, convierte el movimiento en energía eléctrica. La importancia radica en que debe ser diseñado para soportar fuerzas centrífugas y resistir el desgaste durante el funcionamiento.

Componentes:

- Núcleo de Rotor: Hecho de laminaciones para reducir pérdidas por corrientes de Foucault.
- Conmutador (en motores CC): Permite la conmutación de la corriente en el rotor.
- Coils (Bobinas) o Barras (en motores de inducción): Transportan la corriente inducida por el campo magnético.
- Sistemas de Enfriamiento: Los sistemas de enfriamiento en máquinas eléctricas rotativas son necesarios para disipar el calor generado durante el funcionamiento, evitando el sobrecalentamiento y asegurando un rendimiento óptimo. La importancia radica en que un enfriamiento eficiente prolonga la vida útil de la máquina y mejora su eficiencia operativa.

Tipos de sistemas de enfriamiento:

- Enfriamiento por Aire: Utiliza ventiladores para forzar el flujo de aire a través del estator y el rotor. Es común en motores pequeños y generadores.

- Enfriamiento por Agua: Utiliza un fluido refrigerante que circula a través de canales en el estator o rotor para absorber el calor. Se emplea en generadores grandes y en aplicaciones industriales.
- Enfriamiento por Aceite: Similar al enfriamiento por agua, pero utiliza aceite como fluido refrigerante. Es útil en entornos donde el agua no es adecuada.

### **2.3. Marco conceptual**

#### Plan de gestión de mantenimiento predictivo

- Monitoreo de datos: Se enfoca en la implementación de tecnologías para el monitoreo constante de parámetros clave de las máquinas eléctricas rotativas. La efectividad se mide por la frecuencia y la precisión de la recopilación de datos en tiempo real.
- Análisis y diagnóstico Predictivo: Es la capacidad de interpretar los datos recopilados para identificar patrones y tendencias. Un análisis efectivo permite prever posibles fallos y determinar el estado de salud de las máquinas. Los indicadores clave incluyen el tiempo requerido para el análisis y la precisión en la detección de anomalías.
- Programación y ejecución intervenciones: Se concentra en la planificación proactiva de intervenciones basadas en los resultados predictivos. La eficacia se evalúa mediante el cumplimiento del cronograma de intervenciones planificadas en comparación con aquellas realizadas de manera reactiva. Una gestión exitosa se traduce en la reducción de tiempos de inactividad no programados y una mayor disponibilidad operativa.

#### Maquinas eléctricas rotativas

- Eficiencia operativa de las máquinas: Enfocada en la capacidad de las máquinas eléctricas rotativas para operar de manera eficiente y productiva, esta dimensión evalúa la relación entre la energía de entrada y la salida mecánica, considerando factores como la pérdida de calor y la vibración.

- Durabilidad y vida útil: Esta dimensión se centra en la resistencia y longevidad de las máquinas eléctricas rotativas. Evalúa la capacidad de los componentes mecánicos y eléctricos para soportar cargas y condiciones operativas, contribuyendo así a una mayor vida útil de los equipos.
- Sostenibilidad ambiental: Enfocada en el impacto ambiental de las máquinas, esta dimensión evalúa la eficiencia energética y el uso sostenible de recursos, buscando reducir la huella ambiental de las operaciones que involucran máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC.

#### **2.4. Definición de términos básicos**

- Eficiencia operativa: Medida de la productividad y rendimiento de las operaciones, buscando maximizar la salida con el menor uso de recursos, tiempo y energía.
- Tiempo de inactividad: Periodo durante el cual las máquinas o equipos no están en funcionamiento, generando pérdidas económicas y de productividad.
- Monitoreo predictivo: Proceso continuo de supervisión y análisis de variables específicas para anticipar posibles fallas en las máquinas eléctricas rotativas.
- Intervención planificada: Acciones de mantenimiento llevadas a cabo de manera programada y proactiva en respuesta a indicadores predictivos, evitando reparaciones de emergencia.
- Sostenibilidad financiera: Capacidad de mantener operaciones eficientes y rentables a lo largo del tiempo, considerando la gestión óptima de recursos financieros.
- Generadores de energía: Máquinas eléctricas rotativas que convierten energía mecánica en energía eléctrica, esenciales para la generación de electricidad.

- Reparaciones de emergencia: Acciones correctivas llevadas a cabo de manera inmediata ante fallos no planificados, generalmente más costosas y con mayores impactos en la producción.
- Optimización de recursos: Proceso de gestión eficiente de recursos como tiempo, personal, y financieros para maximizar la eficacia y rentabilidad de las operaciones.
- Análisis de tendencias: Evaluación de patrones y comportamientos históricos de datos recopilados, utilizado para identificar posibles irregularidades y prever problemas futuros en las máquinas eléctricas rotativas.
- Disponibilidad operativa: Medida de la capacidad de las máquinas para estar en funcionamiento cuando se requiere, sin interrupciones no planificadas.
- Costos de mantenimiento: Gastos asociados a la planificación, ejecución y seguimiento de actividades de mantenimiento, incluyendo reparaciones, inspecciones y adquisición de repuestos.
- Planificación estratégica: Desarrollo de un enfoque a largo plazo para el mantenimiento predictivo, considerando metas y objetivos específicos.
- Gestión de activos: Práctica de administrar los recursos y equipos de la empresa, incluyendo máquinas eléctricas rotativas, de manera eficiente para maximizar su rendimiento y vida útil.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **Hipótesis General**

La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

##### **Hipótesis Especifica**

1. La implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.
2. La implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.
3. La implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

### 3.1.1. Operacionalización de variable

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador	Ítems	Método y Técnicas
VI: Plan de gestión de Mantenimiento Predictivo	Un conjunto de acciones sistemáticas que incluyen monitoreo continuo, análisis de datos en tiempo real, e intervenciones planificadas basadas en indicadores predictivos para prevenir fallos en las máquinas eléctricas rotativas.	Un enfoque estratégico integral que utiliza tecnologías avanzadas y análisis de datos para anticipar y prevenir posibles fallos en las máquinas eléctricas rotativas, con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa, reducir tiempos de inactividad y garantizar la sostenibilidad financiera.	Monitoreo de Datos	Frecuencia de Actualización de Datos	Ficha de Registro	<b>Técnica:</b> Observación  <b>Método:</b> Ficha de Registro
			Análisis y Diagnostico Predictivo	Tiempo de Respuesta en la Identificación de Anomalías		
			Programación y Ejecución Intervenciones	Cumplimiento del Cronograma de Intervenciones		
VD: Optimización de Maquinas eléctricas rotativas	Equipos electromecánicos que transforman energía eléctrica en energía mecánica mediante la rotación de sus componentes, como motores eléctricos y generadores.	Componentes fundamentales en la infraestructura industrial, incluyendo motores y generadores, que desempeñan un papel esencial en la conversión de energía eléctrica, siendo cruciales para la operación eficiente y la generación de electricidad.	Eficiencia Operativa de las Máquinas	Relación de Eficiencia Energética	Ficha de Registro	<b>Técnica:</b> Observación  <b>Método:</b> Ficha de Registro
			Durabilidad y Vida Útil	Índice de Desgaste de Componentes Críticos		
			Sostenibilidad Ambiental	Consumo de Energía por Producción		

Fuente: Elaboración propia del autor

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño metodológico**

La investigación aplicada se enfocará en la implementación y evaluación del "Plan de gestión de mantenimiento predictivo para optimizar máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024". Este enfoque aplicado se centra en resolver problemas prácticos y específicos que enfrenta la empresa, buscando proporcionar soluciones concretas y directamente aplicables a su contexto operativo. [14]

El diseño pre experimental se llevará a cabo mediante la aplicación de un solo grupo pretest-postest. En este contexto, se realizarán mediciones antes (pretest) y después (postest) de implementar el plan de gestión de mantenimiento predictivo en las máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC. La falta de un grupo de control limita la capacidad de establecer causalidad directa, pero este diseño permitirá evaluar la efectividad del plan mediante la comparación de los resultados antes y después de su implementación, proporcionando una medida inicial de su impacto en las operaciones de la empresa.

### **4.2. Método de investigación**

El método cuantitativo se llevará a cabo mediante un enfoque estructurado que incluirá la recopilación sistemática de datos numéricos relacionados con el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas antes y después de la implementación del "plan de gestión de mantenimiento predictivo" en PREDIMAS SAC.

### **4.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población estará conformada por 50 máquinas eléctricas rotativas que ingresan al proceso de reparación y mantenimiento en las instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC.

## Muestra

Para el cálculo de la muestra se usará la fórmula para poblaciones finitas:

$$n_0 = \frac{NZ^2pq}{e^2(N-1) + Z^2pq}$$

Donde:

$n_0$ : Primera aproximación del tamaño de muestra

$N$ : Tamaño poblacional (50)

$Z$ : valor de la tabla normal según nivel de confianza (1.96)

$p$ : Probabilidad de éxitos (0.9)

$q$ : Probabilidad de fracasos (0.1)

$e$ : error relativo (0.05)

Vamos a evaluar la regla si se cumple se procede a calcular la muestra:

$$\frac{n_0}{N} > 0.05 \rightarrow n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}$$
$$\frac{36.9}{50} > 0.05 \rightarrow n = \frac{36.9}{1 + \frac{36.9}{50}} = 21$$

La muestra será de 21 máquinas eléctricas rotativas que ingresan al proceso de reparación y mantenimiento en las instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC.

### 4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar de estudio para la investigación se ubica en las instalaciones operativas de PREDIMAS SAC, la empresa dedicada al servicio de reparación de maquinaria. Este entorno comprende los talleres y espacios designados para la realización de reparaciones y mantenimiento de maquinaria, específicamente las máquinas eléctricas rotativas. Las actividades de estudio se llevarán a cabo en las instalaciones físicas de la empresa, permitiendo una observación directa y la implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo en el contexto real de la operación y servicio de reparación de maquinaria ofrecido por PREDIMAS SAC.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

Para la recolección de información con la autorización de la empresa para el desarrollo de la investigación (Anexo N.º 03), se usarán diversas técnicas e instrumentos diseñados para obtener datos precisos y exhaustivos sobre el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas en las instalaciones de PREDIMAS SAC. En primer lugar, se implementarán sensores de monitoreo especializados que capturarán en tiempo real parámetros cruciales como vibración, temperatura y corriente, permitiendo una vigilancia continua y detallada de las condiciones operativas. Adicionalmente, se llevará a cabo un meticuloso registro de los tiempos de inactividad, tanto planificados como no planificados, para obtener información sobre la frecuencia y duración de las interrupciones operativas. Complementando estos enfoques cuantitativos, se emplearán encuestas y entrevistas estructuradas al personal técnico encargado del mantenimiento y reparación, proporcionando percepciones cualitativas sobre la eficacia del plan de mantenimiento predictivo. La revisión de registros históricos de reparaciones y la utilización de instrumentos de medición de eficiencia energética completarán el conjunto de herramientas, permitiendo una evaluación integral del impacto del plan en el rendimiento y la eficiencia operativa de las máquinas eléctricas rotativas.

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para el análisis y procesamiento de datos se seguirá el siguiente proceso:

- **Pretest:** Antes de la implementación del plan, se analizarán los datos recopilados durante el periodo inicial de observación. Se realizará una revisión detallada de los registros de condiciones operativas, tiempos de inactividad y eficiencia energética de las máquinas eléctricas rotativas. Esto servirá como línea de base para evaluar el estado inicial y los desafíos que enfrenta PREDIMAS SAC en cuanto al mantenimiento de sus equipos.
- **Implementación del plan:** Se llevará a cabo la implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo. Durante este período, se registrarán y monitorearán los datos según las nuevas prácticas establecidas,

incluyendo los indicadores clave como vibración, temperatura, eficiencia energética y tiempos de inactividad. La implementación se realizará con el seguimiento continuo del personal técnico encargado.

- **Postest:** Después de un periodo adecuado de aplicación del plan, se realizará un postest para evaluar el impacto de las intervenciones implementadas. Se analizarán los mismos indicadores y variables que en el pretest, permitiendo comparar los resultados obtenidos antes y después de la implementación. Esto revelará la efectividad del plan en términos de mejoras en la eficiencia operativa y la reducción de tiempos de inactividad.
- **Análisis estadístico y comparativo:** Se aplicarán técnicas estadísticas, como pruebas de t-student, para realizar comparaciones entre los datos del pretest y postest. Esto proporcionará una evaluación cuantitativa de la efectividad del plan, identificando posibles mejoras en el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas.
- **Informe y conclusiones:** Finalmente, se elaborará un informe detallado que incluirá los hallazgos del análisis, las tendencias identificadas y las conclusiones sobre la eficacia del plan de gestión de mantenimiento predictivo. Este informe proporcionará recomendaciones para ajustes futuros y servirá como base para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de mantenimiento en PREDIMAS SAC.

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

En el marco de la investigación se dará especial atención a los aspectos éticos que guiarán el desarrollo y ejecución del estudio. En primer lugar, se garantizará la confidencialidad de la información recopilada, asegurando que los datos sensibles relacionados con las operaciones internas de PREDIMAS SAC sean tratados con el máximo respeto y protección. Además, se obtendrá el consentimiento informado de todos los participantes, tanto del personal técnico entrevistado como de aquellos cuyas máquinas serán objeto de monitoreo. Se respetará la autonomía y privacidad de los participantes, asegurando que su participación sea voluntaria y que tengan la opción de retirarse en cualquier momento sin repercusiones. Cabe destacar que los resultados se presentarán

de manera agregada y anónima, preservando la identidad de la empresa y de los individuos involucrados. Este enfoque ético garantizará la integridad y la transparencia en cada etapa de la investigación, cumpliendo con los principios fundamentales de la ética de la investigación científica.

## **V. RESULTADOS**

### **5.1. Plan de gestión de mantenimiento predictivo**

El plan de gestión de mantenimiento predictivo cuenta con una serie de 10 pasos donde se define que se debe hacer para desarrollar un mantenimiento predictivo eficiente y que permita asegurar la fiabilidad de las operaciones.

#### **5.1.1. Paso 1: Identificación y clasificación de máquinas**

Este paso es crucial para tener una visión clara de los equipos que se van a monitorear y mantener.

##### **Inventario de máquinas**

Para desarrollar el inventario de máquinas lo primero es realizar la recolección de datos donde se debe considerar los siguientes factores:

- **Características Técnicas:** Recopilar información técnica detallada de cada máquina, incluyendo el modelo, número de serie, fabricante, año de fabricación, y especificaciones operativas (como potencia, velocidad, tipo de motor, etc.).
- **Ubicación Física:** Documentar la ubicación exacta de cada máquina dentro de las instalaciones de la empresa, incluyendo el edificio, planta, y área específica.

Con ello debemos crear una base de datos para ello se debe considerar 2 factores:

- **Software de Gestión de Activos:** Utilizar un software de gestión de activos para almacenar y gestionar toda la información recopilada de las máquinas.
- **Accesibilidad y Actualización:** Asegurar que la base de datos sea accesible para el personal autorizado y que se actualice regularmente con cualquier cambio o nueva adquisición de máquinas.

##### **Clasificación de críticos**

Para desarrollar la clasificación de críticos se realiza un análisis de criticidad y las categorías de criticidad.

El análisis de criticidad se maneja mediante 2 factores:

- Impacto en la Producción: Evaluar cómo la falla de cada máquina afectaría la producción total. Las máquinas cuya falla podría causar un paro total o significativo en la producción se consideran críticas.
- Costos de Reparación y Reemplazo: Considerar los costos asociados con la reparación o reemplazo de cada máquina, así como los costos indirectos como el tiempo de inactividad y la pérdida de producción.

Las categorías de criticidad se dividieron en 3:

- Alta Criticidad: Máquinas cuya falla tiene un impacto grave en la producción, altos costos de reparación y reemplazo, y requieren un monitoreo y mantenimiento más frecuente.
- Mediana Criticidad: Máquinas que tienen un impacto moderado en la producción y costos de reparación y reemplazo medios. Requieren un monitoreo regular pero menos intensivo que las de alta criticidad.
- Baja Criticidad: Máquinas cuya falla tiene un impacto menor en la producción y bajos costos de reparación y reemplazo. Pueden tener un monitoreo y mantenimiento menos frecuente.

### **5.1.2. Paso 2: Definición de objetivos**

La definición de objetivos es un paso esencial para guiar y evaluar la efectividad del plan de gestión de mantenimiento predictivo. Los objetivos deben ser claros, medibles y alineados con las metas estratégicas de la empresa. A continuación, se explican los aspectos clave a considerar:

#### **Reducción de Fallos**

1. Establecer Metas de Reducción de Fallos
  - Identificación de Fallos Comunes: Analizar el historial de fallos de las máquinas eléctricas rotativas para identificar los tipos más comunes de fallos y sus causas.

- Metas de Reducción: Definir metas específicas para reducir la frecuencia de estos fallos comunes. Por ejemplo, "Reducir los fallos mecánicos en un 30% en el próximo año."
2. Estrategias para Lograr las Metas
    - Implementación de Técnicas Predictivas: Utilizar técnicas de mantenimiento predictivo (como análisis de vibraciones y termografía infrarroja) para detectar problemas antes de que causen fallos.
    - Mantenimiento Proactivo: Planificar y ejecutar intervenciones de mantenimiento preventivo basadas en los datos recolectados para abordar los problemas antes de que se conviertan en fallos.

### **Optimización del Tiempo de Funcionamiento**

1. Maximizar la Disponibilidad de las Máquinas
  - Tiempo de Inactividad Planificado: Minimizar el tiempo de inactividad planificado al coordinar las actividades de mantenimiento predictivo con los horarios de producción.
  - Tiempo de Inactividad No Planificado: Reducir el tiempo de inactividad no planificado mediante la detección temprana de problemas y la rápida intervención.
2. Medición del Tiempo de Funcionamiento
  - Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs): Definir KPIs específicos como el Mean Time Between Failures (MTBF) y el Mean Time to Repair (MTTR) para medir y mejorar el tiempo de funcionamiento de las máquinas.
  - Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para rastrear el desempeño de las máquinas y tomar decisiones informadas.

### **Costos de Mantenimiento**

1. Reducción de Costos de Mantenimiento Reactivo

- **Análisis de Costos:** Evaluar los costos históricos de mantenimiento reactivo, incluyendo reparaciones de emergencia y pérdidas de producción debido a fallos.
  - **Objetivos de Reducción de Costos:** Establecer metas para reducir estos costos mediante la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Por ejemplo, "Reducir los costos de mantenimiento reactivo en un 20% en el próximo año."
2. Optimización del Presupuesto de Mantenimiento
- **Asignación de Recursos:** Priorizar la asignación de recursos (personal, equipos y presupuesto) a las actividades de mantenimiento predictivo y preventivo.
  - **Evaluación de Retorno de Inversión (ROI):** Realizar evaluaciones periódicas del ROI para asegurar que las inversiones en mantenimiento predictivo generen los beneficios esperados.

### **5.1.3. Paso 3: Selección de técnicas de mantenimiento predictivo**

La selección de técnicas de mantenimiento predictivo es un aspecto crucial para garantizar que las máquinas eléctricas rotativas se mantengan en óptimas condiciones y funcionen de manera eficiente. A continuación, se explican las principales técnicas de mantenimiento predictivo que deben considerarse y su implementación.

#### **Análisis de Vibraciones**

1. Descripción y Uso
  - **Principio:** El análisis de vibraciones se basa en la medición y análisis de las vibraciones producidas por las máquinas en funcionamiento. Las vibraciones pueden indicar desbalances, desalineaciones, fallos en rodamientos y otros problemas mecánicos.
  - **Implementación:** Instalar sensores de vibración en puntos críticos de las máquinas para monitorear las vibraciones de manera continua o periódica.
2. Ventajas

- **Detección Temprana:** Permite detectar problemas mecánicos en sus etapas iniciales, antes de que causen fallos graves.
- **Diagnóstico Preciso:** Proporciona información detallada sobre el tipo y la severidad del problema.

### **Termografía Infrarroja**

#### 1. Descripción y Uso

- **Principio:** La termografía infrarroja utiliza cámaras térmicas para detectar la radiación infrarroja emitida por los objetos, permitiendo identificar puntos calientes en las máquinas que pueden indicar problemas eléctricos o mecánicos.
- **Implementación:** Realizar inspecciones periódicas con cámaras térmicas para identificar anomalías térmicas en componentes críticos.

#### 2. Ventajas

- **No Invasiva:** Permite inspeccionar las máquinas sin detener su funcionamiento.
- **Amplitud de Aplicación:** Es útil para detectar sobrecalentamiento en conexiones eléctricas, motores y otros componentes.

### **Análisis de Aceite**

#### 1. Descripción y Uso

- **Principio:** El análisis de aceite implica la toma de muestras de lubricantes de las máquinas y su análisis en laboratorio para detectar la presencia de contaminantes, partículas de desgaste y otros indicadores de problemas internos.
- **Implementación:** Establecer un programa de muestreo regular para los lubricantes y enviar las muestras a un laboratorio especializado.

#### 2. Ventajas

- **Detección de Desgaste:** Identifica el desgaste de componentes internos antes de que cause fallos.
- **Monitoreo de la Calidad del Lubricante:** Asegura que el lubricante se mantenga en condiciones óptimas para proteger las máquinas.

## **Ultrasonido**

### 1. Descripción y Uso

- **Principio:** El ultrasonido se utiliza para detectar sonidos de alta frecuencia que son inaudibles para el oído humano. Estos sonidos pueden indicar problemas como fugas de aire, problemas de rodamientos y descargas eléctricas.
- **Implementación:** Utilizar dispositivos de detección ultrasónica para inspeccionar las máquinas de manera regular.

### 2. Ventajas

- **Detección de Fugas:** Es especialmente útil para detectar fugas de aire comprimido, que pueden ser costosas y difíciles de identificar con otros métodos.
- **Versatilidad:** Puede detectar una amplia gama de problemas, desde fugas hasta fallos eléctricos.

#### **5.1.4. Paso 4: Implementación de sistemas de monitoreo y diagnóstico**

La implementación de sistemas de monitoreo y diagnóstico es crucial para un plan de mantenimiento predictivo efectivo. Esto implica instalar hardware y software para recolectar y analizar datos de las máquinas eléctricas rotativas, permitiendo la detección temprana de problemas y la toma de decisiones informadas.

## **Sensores y Dispositivos**

### 1. Tipos de Sensores

- **Sensores de Vibración:** Para medir las vibraciones en los componentes mecánicos y detectar desequilibrios, desalineaciones, y otros problemas.

- **Sensores de Temperatura:** Para monitorear la temperatura de los motores y componentes eléctricos, detectando sobrecalentamientos.
- **Sensores de Ultrasonido:** Para detectar sonidos de alta frecuencia asociados con fugas de aire, problemas en rodamientos y descargas eléctricas.
- **Sensores de Presión y Flujo:** Para monitorear la presión y el flujo en sistemas hidráulicos y neumáticos, identificando anomalías.

## 2. Instalación de Sensores

- **Ubicación Estratégica:** Colocar los sensores en puntos críticos de las máquinas donde es más probable que se presenten problemas.
- **Integración con el Sistema:** Asegurarse de que los sensores estén integrados con el sistema de monitoreo central, permitiendo la recolección de datos en tiempo real.

## **Software de Monitoreo**

### 1. Características del Software

- **Recolección de Datos en Tiempo Real:** El software debe ser capaz de recolectar y almacenar datos de los sensores en tiempo real.
- **Análisis de Datos:** Debe incluir herramientas de análisis para procesar los datos recolectados, identificar tendencias y patrones, y generar alertas tempranas.
- **Interfaz de Usuario Intuitiva:** Una interfaz fácil de usar que permita al personal acceder rápidamente a la información y tomar decisiones informadas.

### 2. Implementación del Software

- **Configuración Inicial:** Configurar el software para que se comuniquen con todos los sensores instalados y defina los parámetros y umbrales de alerta.
- **Capacitación del Personal:** Capacitar al personal en el uso del software para que puedan interpretar los datos y tomar las acciones necesarias.

## **Protocolo de Inspección y Monitoreo**

1. Frecuencia de Monitoreo
  - Monitoreo Continuo: Para las máquinas más críticas, implementar monitoreo continuo que recolecte datos en tiempo real.
  - Monitoreo Periódico: Para máquinas menos críticas, definir intervalos regulares (diarios, semanales, mensuales) para recolectar datos.
2. Procedimientos de Inspección
  - Rutinas de Inspección: Establecer rutinas de inspección estándar que especifiquen qué sensores verificar, qué datos recolectar y cómo interpretarlos.
  - Registro de Datos: Mantener un registro detallado de todos los datos recolectados, incluyendo la fecha, hora y condiciones de operación de las máquinas.

#### **5.1.5. Paso 5: Establecimiento de protocolos de inspección y monitoreo**

El establecimiento de protocolos de inspección y monitoreo es crucial para asegurar la consistencia y efectividad del plan de mantenimiento predictivo. Estos protocolos definen cuándo, cómo y con qué frecuencia se deben realizar las inspecciones y el monitoreo de las máquinas eléctricas rotativas.

#### **Frecuencia de Monitoreo**

1. Monitoreo Continuo: El monitoreo continuo implica la recolección ininterrumpida de datos a través de sensores instalados en las máquinas.
  - Aplicación: Es especialmente útil para las máquinas más críticas cuya falla podría causar paradas significativas en la producción.
  - Ventajas: Permite la detección inmediata de anomalías, proporcionando alertas en tiempo real y permitiendo intervenciones rápidas.
2. Monitoreo Periódico: El monitoreo periódico implica la recolección de datos a intervalos regulares, como diarios, semanales o mensuales.
  - Aplicación: Adecuado para máquinas menos críticas o cuando el monitoreo continuo no es necesario o económicamente viable.

- Ventajas: Reduce los costos de monitoreo y es suficiente para detectar problemas en una etapa temprana en máquinas menos críticas.

### **Procedimientos de Inspección**

#### 1. Definición de Procedimientos

- Estándares de Inspección: Establecer procedimientos estandarizados que especifiquen qué sensores y parámetros se deben verificar durante las inspecciones.
- Pasos Detallados: Documentar pasos específicos para la recolección de datos, incluyendo el uso de herramientas y equipos necesarios.
- Criterios de Evaluación: Definir criterios claros para evaluar los datos recolectados y determinar si se requiere una acción correctiva.

#### 2. Documentación de Resultados

- Registro de Inspecciones: Mantener un registro detallado de todas las inspecciones realizadas, incluyendo la fecha, hora, máquina inspeccionada, y datos recolectados.
- Análisis de Datos: Analizar los datos recolectados para identificar tendencias, patrones y posibles problemas.
- Informes de Inspección: Generar informes regulares que resuman los hallazgos de las inspecciones y recomienden acciones correctivas si es necesario.

### **5.1.6. Paso 6: Capacitación y desarrollo del personal**

La capacitación y desarrollo del personal es un componente fundamental para el éxito de un plan de mantenimiento predictivo. Asegurar que el equipo de mantenimiento tenga las habilidades y conocimientos necesarios garantiza la correcta implementación y operación del plan. A continuación, se describen los aspectos clave de este proceso:

#### **Identificación de necesidades de capacitación**

##### 1. Análisis de Competencias

- Evaluación Inicial: Realizar una evaluación del personal de mantenimiento actual para identificar las habilidades y conocimientos existentes.
  - Identificación de Brechas: Determinar las áreas donde el personal necesita capacitación adicional, como el uso de nuevas tecnologías de monitoreo y diagnóstico.
2. Definición de Objetivos de Capacitación
- Competencias Específicas: Establecer objetivos claros para la capacitación, como la habilidad para interpretar datos de análisis de vibraciones o el uso de software de monitoreo.
  - Alineación con el Plan: Asegurar que los objetivos de capacitación estén alineados con los requerimientos del plan de mantenimiento predictivo.

## **Programas de capacitación**

1. Desarrollo de Contenidos
- Temarios: Desarrollar temarios específicos que cubran todos los aspectos necesarios, desde los fundamentos del mantenimiento predictivo hasta el uso de herramientas y tecnologías específicas.
  - Recursos Didácticos: Utilizar una variedad de recursos didácticos, como manuales, tutoriales en video y simulaciones, para facilitar el aprendizaje.
2. Métodos de Capacitación
- Capacitación en el Aula: Proporcionar formación teórica en un entorno de aula para cubrir los fundamentos del mantenimiento predictivo y la teoría detrás de las técnicas utilizadas.
  - Capacitación Práctica: Realizar sesiones prácticas donde el personal pueda aplicar lo aprendido en un entorno controlado, utilizando el equipo y las herramientas que utilizarán en el trabajo diario.
  - Capacitación en el Trabajo: Implementar programas de tutoría y acompañamiento en el trabajo para proporcionar orientación y apoyo continuo.

## **Evaluación y mejora continua**

### **1. Evaluación de la Efectividad de la Capacitación**

- **Pruebas y Exámenes:** Realizar evaluaciones periódicas para medir el progreso del personal y la efectividad de los programas de capacitación.
- **Feedback del Personal:** Recoger opiniones y sugerencias del personal capacitado para identificar áreas de mejora en los programas de formación.

### **2. Actualización y Revisión de Programas**

- **Revisión Periódica:** Revisar y actualizar los programas de capacitación regularmente para incluir nuevas tecnologías, métodos y mejores prácticas.
- **Adaptación a Cambios:** Asegurarse de que los programas de capacitación se adapten a los cambios en el equipo, software y procedimientos operativos de la empresa.

## **5.1.7. Paso 7: Evaluación y mejora continua del plan de mantenimiento predictivo**

La evaluación y mejora continua del plan de mantenimiento predictivo es esencial para garantizar su efectividad y adaptación a las necesidades cambiantes de la empresa. Este proceso implica monitorear el rendimiento del plan, identificar áreas de mejora y realizar ajustes basados en los datos recolectados y el feedback del personal.

### **Monitoreo del Rendimiento del Plan**

#### **1. Indicadores Clave de Desempeño (KPI)**

- **Definición de KPIs:** Establecer indicadores clave de desempeño que permitan medir la efectividad del plan de mantenimiento predictivo. Ejemplos de KPIs incluyen el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio para reparar (MTTR), y la disponibilidad de las máquinas.
- **Recolección de Datos:** Implementar un sistema de recolección de datos que permita monitorear estos KPIs de manera continua. Utilizar

software de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para automatizar la recolección y análisis de datos.

## 2. Análisis de Rendimiento

- Comparación con Objetivos: Comparar los KPIs recolectados con los objetivos establecidos para determinar si el plan está alcanzando sus metas.
- Identificación de Desviaciones: Analizar las desviaciones entre los resultados reales y los objetivos para identificar posibles problemas o áreas de mejora.

## **Feedback del Personal y Stakeholders**

### 1. Recolección de Feedback

- Encuestas y Entrevistas: Realizar encuestas y entrevistas periódicas con el personal de mantenimiento y otros stakeholders relevantes para recoger su feedback sobre la implementación y efectividad del plan.
- Reuniones de Revisión: Organizar reuniones de revisión regulares donde se discutan los resultados del plan, se compartan experiencias y se propongan mejoras.

### 2. Análisis del Feedback

- Identificación de Problemas: Analizar el feedback recolectado para identificar problemas recurrentes o desafíos que el personal pueda estar enfrentando.
- Propuestas de Mejora: Utilizar el feedback para proponer y priorizar mejoras en el plan de mantenimiento.

## **Implementación de Mejoras**

### 1. Planificación de Mejoras

- Desarrollo de un Plan de Acción: Desarrollar un plan de acción que detalle las mejoras a implementar, incluyendo las responsabilidades, plazos y recursos necesarios.

- **Priorización de Acciones:** Priorizar las acciones de mejora basadas en su impacto potencial en la eficiencia y efectividad del plan de mantenimiento.

## 2. Ejecución y Seguimiento

- **Implementación de Mejoras:** Implementar las mejoras planificadas y asegurar que se sigan los procedimientos establecidos.
- **Monitoreo de Resultados:** Monitorear los resultados de las mejoras implementadas para asegurar que tengan el impacto deseado y ajustar el plan según sea necesario.

### **5.1.8. Paso 8: Gestión de recursos y logística**

La gestión de recursos y logística es fundamental para la implementación efectiva de un plan de mantenimiento predictivo. Este punto abarca la administración adecuada de materiales, herramientas, personal y tiempos para asegurar que todas las actividades de mantenimiento se realicen sin contratiempos.

#### **Planificación de Recursos**

##### 1. Identificación de Recursos Necesarios

- **Herramientas y Equipos:** Determinar las herramientas y equipos específicos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento predictivo, como sensores, software de monitoreo, equipos de diagnóstico y repuestos.
- **Personal Calificado:** Identificar el personal necesario y sus respectivas competencias para realizar las tareas de mantenimiento predictivo.

##### 2. Asignación de Recursos

- **Distribución de Tareas:** Asignar tareas específicas al personal basado en sus habilidades y disponibilidad.
- **Gestión de Inventario:** Asegurar que haya un inventario adecuado de repuestos y herramientas para evitar retrasos en el mantenimiento.

#### **Coordinación Logística**

##### 1. Programación del Mantenimiento

- **Calendario de Mantenimiento:** Desarrollar un calendario detallado que incluya las fechas y horas específicas para realizar el mantenimiento predictivo, minimizando el impacto en las operaciones.
  - **Priorización de Tareas:** Priorizar las actividades de mantenimiento basadas en la criticidad de los equipos y la urgencia de las tareas.
2. **Logística de Materiales**
- **Adquisición y Suministro:** Gestionar la adquisición y suministro de materiales y repuestos necesarios para el mantenimiento predictivo.
  - **Almacenamiento y Acceso:** Implementar sistemas de almacenamiento eficientes para asegurar el acceso rápido y fácil a los materiales y herramientas necesarias.

### **Gestión del Personal**

1. **Capacitación y Desarrollo**
- **Entrenamiento Continuo:** Proporcionar capacitación continua para el personal de mantenimiento, asegurando que estén actualizados con las últimas técnicas y tecnologías de mantenimiento predictivo.
  - **Evaluación de Desempeño:** Evaluar regularmente el desempeño del personal para identificar áreas de mejora y proporcionar retroalimentación constructiva.
2. **Optimización de Recursos Humanos**
- **Turnos y Disponibilidad:** Planificar turnos de trabajo que aseguren la disponibilidad del personal calificado en los momentos necesarios.
  - **Rotación y Redundancia:** Implementar sistemas de rotación de personal para asegurar que haya redundancia y evitar la sobrecarga de trabajo en individuos específicos.

#### **5.1.9. Paso 9: Documentación y reportes**

La documentación y los reportes son elementos esenciales en un plan de mantenimiento predictivo. Una documentación adecuada asegura que todas las actividades de mantenimiento sean registradas de manera precisa, mientras que

los reportes proporcionan información valiosa para la toma de decisiones y la mejora continua del plan.

### **Tipos de Documentación**

#### 1. Registros de Mantenimiento

- **Historial de Mantenimiento:** Mantener un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fechas, tipos de mantenimiento (predictivo, preventivo, correctivo), y resultados obtenidos.
- **Datos de Monitoreo:** Documentar los datos recolectados por los sensores y sistemas de monitoreo, tales como niveles de vibración, temperaturas, y cualquier anomalía detectada.

#### 2. Manual de Procedimientos

- **Procedimientos de Inspección:** Incluir procedimientos detallados para la inspección y monitoreo de las máquinas, especificando pasos, herramientas necesarias, y criterios de evaluación.
- **Protocolos de Mantenimiento:** Describir los protocolos para diferentes tipos de mantenimiento predictivo, incluyendo la frecuencia de las actividades y los métodos utilizados.

### **Generación de Reportes**

#### 1. Reportes de Mantenimiento Regular

- **Informes Periódicos:** Generar informes periódicos (mensuales, trimestrales) que resuman las actividades de mantenimiento realizadas, los datos recolectados y cualquier anomalía detectada.
- **Análisis de Tendencias:** Incluir análisis de tendencias en los datos recolectados para identificar patrones recurrentes y predecir posibles fallas futuras.

#### 2. Informes de Incidentes

- Documentación de Fallas: Reportar cualquier fallo o incidente significativo, describiendo las causas, el impacto en las operaciones y las acciones correctivas tomadas.
- Lecciones Aprendidas: Incluir un análisis de las lecciones aprendidas de cada incidente para evitar su recurrencia y mejorar los procedimientos de mantenimiento.

## **Herramientas y Sistemas de Documentación**

1. Software de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS)
  - Funcionalidades: Utilizar un CMMS para automatizar la recolección de datos, la programación de mantenimiento y la generación de reportes. Este software debe permitir el almacenamiento y la recuperación fácil de registros históricos y proporcionar herramientas de análisis.
  - Integración: Asegurar que el CMMS esté integrado con los sistemas de monitoreo y diagnóstico para una recolección de datos eficiente y precisa.
2. Sistemas de Almacenamiento de Datos
  - Bases de Datos: Implementar bases de datos robustas para almacenar toda la información relacionada con el mantenimiento, asegurando la seguridad y accesibilidad de los datos.
  - Nube: Considerar el uso de soluciones de almacenamiento en la nube para garantizar la disponibilidad y seguridad de los datos, además de facilitar el acceso remoto.

### **5.1.10. Paso 10: Indicadores clave de desempeño (KIPs)**

Los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) son métricas utilizadas para evaluar la efectividad y eficiencia del plan de mantenimiento predictivo. Establecer y monitorear estos KPIs permite a la empresa medir el rendimiento del plan, identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos.

#### **Definición de KPIs**

1. Selección de KPIs Relevantes

- Relevancia: Seleccionar KPIs que sean relevantes para los objetivos del plan de mantenimiento predictivo y las operaciones de la empresa.
  - Medición: Asegurarse de que los KPIs seleccionados sean medibles y cuantificables.
2. Alineación con Objetivos Empresariales
    - Objetivos Estratégicos: Alinear los KPIs con los objetivos estratégicos de la empresa, como la reducción de tiempos de inactividad, la mejora de la eficiencia operativa y la optimización de costos.
    - Metas Específicas: Establecer metas específicas y alcanzables para cada KPI, basadas en los niveles de rendimiento deseados.

### **KPIs Comunes en el Mantenimiento Predictivo**

1. Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)
  - Descripción: El MTBF mide el tiempo promedio que transcurre entre fallos de una máquina. Un MTBF alto indica una mayor fiabilidad de las máquinas.
  - Cálculo:  $MTBF = (\text{Tiempo Total de Funcionamiento}) / (\text{Número de Fallos})$ .
2. Tiempo Medio para Reparar (MTTR)
  - Descripción: El MTTR mide el tiempo promedio requerido para reparar una máquina después de un fallo. Un MTTR bajo indica una mayor eficiencia en las reparaciones.
  - Cálculo:  $MTTR = (\text{Tiempo Total de Reparación}) / (\text{Número de Fallos})$ .
3. Disponibilidad de Equipos
  - Descripción: La disponibilidad mide el porcentaje de tiempo que las máquinas están operativas y disponibles para su uso.
  - Cálculo:  $\text{Disponibilidad} = (\text{Tiempo Operativo}) / (\text{Tiempo Total}) * 100\%$ .
4. Costo de Mantenimiento por Unidad
  - Descripción: Este KPI mide el costo total de mantenimiento (incluyendo predictivo, preventivo y correctivo) por unidad de producción o por hora de operación.

- Cálculo: Costo de Mantenimiento por Unidad = (Costo Total de Mantenimiento) / (Unidades Producidas o Horas de Operación).
5. Índice de Cumplimiento del Plan de Mantenimiento
- Descripción: Mide el porcentaje de tareas de mantenimiento planificadas que se completan según el calendario establecido.
  - Cálculo: Índice de Cumplimiento = (Tareas Completadas) / (Tareas Planificadas) \* 100%.

### **Monitoreo y Análisis de KPIs**

1. Recolección de Datos
  - Automatización: Utilizar sistemas de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) para recolectar y almacenar datos de manera automática y precisa.
  - Frecuencia: Establecer la frecuencia de recolección de datos para cada KPI, asegurando un monitoreo continuo y actualizado.
2. Análisis de KPIs
  - Tendencias: Analizar las tendencias a lo largo del tiempo para identificar mejoras o deterioros en el rendimiento.
  - Comparación con Metas: Comparar los valores actuales de los KPIs con las metas establecidas para evaluar el desempeño y determinar si se están logrando los objetivos.

### **Mejora Continua Basada en KPIs**

1. Identificación de Áreas de Mejora
  - Desviaciones: Identificar desviaciones significativas de los KPIs respecto a las metas establecidas y analizar las causas subyacentes.
  - Oportunidades: Detectar oportunidades de mejora en los procesos de mantenimiento y en la gestión de recursos.
2. Acciones Correctivas
  - Planificación: Desarrollar planes de acción para abordar las áreas de mejora identificadas, incluyendo cambios en procedimientos, entrenamiento adicional y actualización de equipos.

- Implementación: Ejecutar las acciones correctivas y monitorear su impacto en los KPIs para asegurar que las mejoras sean efectivas.

## **5.2. Implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo**

Para realizar la implementación iremos desarrollando el plan de gestión en función de los pasos previamente plasmados.

### **Paso 1: Identificación de máquinas eléctricas rotativas y su clasificación**

En esta primera etapa, se identificaron y clasificaron 21 máquinas eléctricas rotativas que ingresan al proceso de reparación y mantenimiento en las instalaciones de PREDIMAS SAC. Estas máquinas se catalogaron según su tipo, función y criticidad en las operaciones de la empresa.

#### **Identificación de Máquinas**

##### **1. Motores Eléctricos**

- Motor de Inducción A1: Motor de inducción de 75 HP utilizado en la línea de producción principal.
- Motor de Inducción A2: Motor de inducción de 100 HP utilizado en el sistema de transporte de materiales.
- Motor de Inducción A3: Motor de inducción de 50 HP para el sistema de ventilación industrial.
- Motor de Inducción A4: Motor de inducción de 150 HP para el sistema de bombeo de agua.

##### **2. Generadores Eléctricos**

- Generador B1: Generador de 200 kVA utilizado como fuente de energía de respaldo.
- Generador B2: Generador de 300 kVA utilizado en operaciones críticas.
- Generador B3: Generador de 150 kVA utilizado en la planta de tratamiento de agua.

##### **3. Compresores Eléctricos**

- Compresor C1: Compresor de aire de 50 HP utilizado en el sistema neumático de la planta.
  - Compresor C2: Compresor de aire de 75 HP utilizado en la línea de ensamblaje.
  - Compresor C3: Compresor de aire de 100 HP utilizado en el sistema de limpieza.
4. Bombas Eléctricas
- Bomba D1: Bomba de 25 HP utilizada en el sistema de refrigeración.
  - Bomba D2: Bomba de 40 HP utilizada en el sistema de riego.
  - Bomba D3: Bomba de 60 HP utilizada en el sistema de drenaje.
5. Transformadores Eléctricos
- Transformador E1: Transformador de 500 kVA utilizado para distribución interna.
  - Transformador E2: Transformador de 750 kVA para el sistema de suministro principal.
  - Transformador E3: Transformador de 1000 kVA para operaciones de alta demanda.
6. Ventiladores Industriales
- Ventilador F1: Ventilador de 30 HP utilizado en el sistema de ventilación de la planta.
  - Ventilador F2: Ventilador de 45 HP para el sistema de extracción de aire.
  - Ventilador F3: Ventilador de 60 HP para el sistema de enfriamiento de equipos.
7. Motores de Corriente Continua (CC)
- Motor CC G1: Motor CC de 50 HP utilizado en el sistema de control de velocidad.
  - Motor CC G2: Motor CC de 75 HP utilizado en la línea de producción secundaria.

## Clasificación de Máquinas

La clasificación se realizó en función de la criticidad de cada máquina para las operaciones de la empresa, su frecuencia de uso y la severidad del impacto en caso de falla.

Tabla 4. Clasificación de máquinas

Baja criticidad	Media criticidad	Alta criticidad
Motor de Inducción A1	Motor de Inducción A2	Motor de Inducción A3
Generador B1	Motor de Inducción A4	Compresor C3
Generador B2	Generador B3	Bomba D2
Compresor C1	Compresor C2	Transformador E1
Transformador E2	Bomba D1	Ventilador F2
Motor CC G1	Bomba D3	Ventilador F3
	Transformador E3	
	Ventilador F1	
	Motor CC G2	

Fuente: Elaboración propia del autor

La identificación y clasificación de las máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC proporcionaron una base sólida para el desarrollo del plan de mantenimiento predictivo. Esta clasificación permitió priorizar las máquinas de alta criticidad para asegurar que reciban la atención necesaria para minimizar el riesgo de fallos y mantener la continuidad operativa de la empresa.

### Paso 2: Análisis de condiciones actuales y evaluación del estado de las máquinas

En esta etapa, se realizó un análisis exhaustivo de las condiciones actuales y la evaluación del estado de cada una de las 21 máquinas eléctricas rotativas identificadas en el Paso 1. Este análisis incluyó inspecciones físicas, pruebas de rendimiento y la recopilación de datos históricos de mantenimiento y operación.

Tabla 5. Evaluación del estado de motores eléctricos

MOTORES ELÉCTRICOS			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Motor de Inducción A1	Vibraciones elevadas y aumento de temperatura en los rodamientos.	Análisis de vibraciones y termografía infrarroja.	Necesita mantenimiento inmediato
Motor de Inducción A2	Nivel de ruido normal, sin signos de desgaste excesivo.	Prueba de aislamiento y análisis de vibraciones.	Operativo, en buenas condiciones.
Motor de Inducción A3	Desalineación leve y desgaste en acoplamientos.	Análisis de alineación y pruebas de corriente.	Requiere ajuste de alineación.
Motor de Inducción A4	Vibraciones en niveles aceptables, temperatura normal.	Análisis de vibraciones y termografía infrarroja.	Operativo, en buenas condiciones.

Fuente: Elaboración propia del autor

*Tabla 6. Evaluación del estado de generadores eléctricos*

GENERADORES ELÉCTRICOS			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Generador B1	Sobrecalentamiento en el alternador.	Termografía y análisis de carga.	Necesita mantenimiento inmediato
Generador B2	Nivel de ruido y vibraciones dentro de los límites normales.	Análisis de vibraciones y pruebas de carga.	Operativo, en buenas condiciones.
Generador B3	Desgaste en las escobillas del rotor.	Inspección visual y prueba de aislamiento.	Requiere mantenimiento menor.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 7. Evaluación del estado de compresores eléctricos

COMPRESORES ELÉCTRICOS			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Compresor C1	Aumento de temperatura y desgaste en los rodamientos.	Termografía y análisis de vibraciones.	Necesita mantenimiento inmediato.
Compresor C2	Presión de aire adecuada, sin signos de desgaste excesivo.	Análisis de presión y vibraciones.	Operativo, en buenas condiciones.
Compresor C3	Nivel de ruido dentro de los límites aceptables, vibraciones normales.	Análisis de vibraciones y prueba de rendimiento.	Operativo, en buenas condiciones.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 8. Evaluación del estado de bombas eléctricas

BOMBAS ELÉCTRICAS			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Bomba D1	Desgaste en las juntas y aumento de temperatura.	Termografía y análisis de flujo.	Requiere mantenimiento menor.
Bomba D2	Funcionamiento normal, sin signos de desgaste excesivo.	Prueba de flujo y análisis de vibraciones.	Operativo, en buenas condiciones.
Bomba D3	Aumento de temperatura y vibraciones elevadas.	Termografía y análisis de vibraciones.	Necesita mantenimiento inmediato.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 9. Evaluación del estado de transformadores eléctricos

TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Transformador E1	Funcionamiento normal, sin signos de sobrecalentamiento.	Análisis de aceite y termografía.	Operativo, en buenas condiciones.
Transformador E2	Sobrecalentamiento en el núcleo.	Termografía y análisis de corriente.	Necesita mantenimiento inmediato.
Transformador E3	Desgaste en las conexiones y aumento de temperatura.	Termografía y análisis de aceite.	Requiere mantenimiento menor.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 10. Evaluación del estado de ventiladores industriales

VENTILADORES INDUSTRIALES			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Ventilador F1	Vibraciones elevadas y desgaste en las aspas.	Análisis de vibraciones e inspección visual.	Necesita mantenimiento inmediato.
Ventilador F2	Nivel de ruido normal, sin signos de desgaste excesivo.	Análisis de vibraciones y prueba de rendimiento.	Operativo, en buenas condiciones.
Ventilador F3	Desgaste en los rodamientos y aumento de temperatura.	Termografía y análisis de vibraciones.	Requiere mantenimiento menor.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 11. Evaluación del estado de motores de corriente continua (CC)

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA (CC)			
Maquinas eléctricas	Condiciones observadas	Pruebas realizadas	Estado
Motor CC G1	Desgaste en el conmutador y aumento de temperatura.	Termografía y análisis de corriente.	Necesita mantenimiento inmediato.
Motor CC G2	Funcionamiento normal, sin signos de desgaste excesivo.	Prueba de aislamiento y análisis de corriente.	Operativo, en buenas condiciones.

Fuente: Elaboración propia del autor

El análisis de condiciones actuales y la evaluación del estado de las 21 máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC proporcionaron una visión clara de la salud de cada máquina. Se identificaron las máquinas que requieren mantenimiento inmediato, las que necesitan mantenimiento menor y las que están en buenas condiciones operativas. Esta información es crucial para priorizar las actividades de mantenimiento y asegurar la continuidad operativa de la empresa.

### **Paso 3: Identificación y selección de técnicas de mantenimiento predictivo**

En esta etapa, se identificaron y seleccionaron las técnicas de mantenimiento predictivo más adecuadas para las 21 máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC. Estas técnicas fueron elegidas en función de las condiciones observadas y las características específicas de cada tipo de máquina.

Tabla 12. Técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas a las máquinas eléctricas rotativas

Máquina	Análisis de Vibraciones	Termografía Infrarroja	Análisis de Aceite	Prueba de Aislamiento Eléctrico	Análisis de Flujo y Presión	Análisis de Corriente Eléctrica
Motor de Inducción A1	X	X				
Motor de Inducción A2	X			X		

Motor de Inducción A3	X					X
Motor de Inducción A4	X			X		
Generador B1		X		X		
Generador B2		X		X		
Generador B3		X		X		
Compresor C1	X	X				
Compresor C2	X					
Compresor C3	X					
Bomba D1		X			X	
Bomba D2					X	
Bomba D3		X			X	
Transformador E1		X	X			
Transformador E2		X	X			
Transformador E3		X	X			
Ventilador F1	X	X				
Ventilador F2	X					
Ventilador F3	X	X				
Motor CC G1		X				X
Motor CC G2		X				X

Fuente: Elaboración propia del autor

La tabla anterior resume la selección de técnicas de mantenimiento predictivo para las 21 máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC. Estas técnicas permiten una monitorización efectiva del estado de los equipos, facilitando la detección temprana de posibles fallos y la planificación de actividades de mantenimiento proactivo. Esta estrategia contribuirá a mejorar la fiabilidad y eficiencia operativa de la empresa.

#### **Paso 4: Desarrollo del programa de monitoreo y recolección de datos**

En esta etapa, se desarrolla un programa estructurado para el monitoreo continuo y la recolección de datos de las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC. Este programa define la frecuencia de monitoreo, las herramientas a utilizar y el proceso de recopilación y análisis de datos.

##### Programa de Monitoreo y Recolección de Datos

#### **1. Definición de Frecuencia de Monitoreo**

##### Motores Eléctricos

- Motor de Inducción A1: Cada 2 semanas.
- Motor de Inducción A2: Cada 1 mes.
- Motor de Inducción A3: Cada 2 semanas.
- Motor de Inducción A4: Cada 1 mes.

#### Generadores Eléctricos

- Generador B1: Cada 1 semana.
- Generador B2: Cada 1 semana.
- Generador B3: Cada 2 semanas.

#### Compresores Eléctricos

- Compresor C1: Cada 2 semanas.
- Compresor C2: Cada 1 mes.
- Compresor C3: Cada 1 mes.

#### Bombas Eléctricas

- Bomba D1: Cada 2 semanas.
- Bomba D2: Cada 1 mes.
- Bomba D3: Cada 2 semanas.

#### Transformadores Eléctricos

- Transformador E1: Cada 1 mes.
- Transformador E2: Cada 2 semanas.
- Transformador E3: Cada 1 mes.

#### Ventiladores Industriales

- Ventilador F1: Cada 2 semanas.
- Ventilador F2: Cada 1 mes.
- Ventilador F3: Cada 2 semanas.

#### Motores de Corriente Continua (CC)

- Motor CC G1: Cada 1 mes.
- Motor CC G2: Cada 1 mes.

## **2. Herramientas y equipo de monitoreo**

### Análisis de Vibraciones

- Herramientas: Analizadores de vibraciones portátiles, sensores de vibración.
- Equipo de Monitoreo: Analizador portátil de vibraciones.

### Termografía Infrarroja

- Herramientas: Cámara termográfica.
- Equipo de Monitoreo: Cámara termográfica.

### Análisis de Aceite

- Herramientas: Kit de análisis de aceite, laboratorio de pruebas de aceite.
- Equipo de Monitoreo: Kit de análisis.

### Prueba de Aislamiento Eléctrico

- Herramientas: Megóhmetro.
- Equipo de Monitoreo: Megóhmetro.

### Análisis de Flujo y Presión

- Herramientas: Medidores de flujo y presión.
- Equipo de Monitoreo: Medidor de flujo marca JKL, manómetro marca MNO.

### Análisis de Corriente Eléctrica

- Herramientas: Pinza amperimétrica.
- Equipo de Monitoreo: Pinza amperimétrica marca PQR.

## **3. Proceso de Recolección y Registro de Datos**

### Procedimiento de Recolección:

- Monitoreo Diario: Para generadores y compresores de alta criticidad.
- Monitoreo Semanal: Para motores y ventiladores de alta criticidad.
- Monitoreo Mensual: Para otros equipos según su criticidad y uso.

Registro de Datos:

- Formato: Utilización de formularios digitales y hojas de cálculo para registrar datos de vibración, temperatura, flujo, presión, etc.
- Responsable: Técnico de mantenimiento asignado a cada máquina.
- Frecuencia de Reportes: Reportes semanales para equipos críticos, mensuales para equipos de baja criticidad.

#### **4. Análisis de datos y reportes**

Procedimiento de Análisis:

- Análisis de Tendencias: Evaluación de tendencias a lo largo del tiempo para detectar patrones inusuales.
- Comparación con Umbrales: Comparación de datos recolectados con los umbrales de operación normal establecidos.

Generación de Reportes:

- Reportes Semanales: Para equipos críticos y para el monitoreo de condiciones alarmantes.
- Reportes Mensuales: Para el estado general de todos los equipos y evaluación de mantenimiento realizado.

Al establecer una frecuencia de monitoreo, utilizar herramientas y equipos específicos, y definir procedimientos para la recolección y análisis de datos, se asegura una gestión eficaz del mantenimiento predictivo. Esto facilita la identificación temprana de problemas y la planificación de intervenciones necesarias para mantener la fiabilidad operativa de los equipos.

#### **Paso 5: Establecimiento de umbrales y criterios de alerta**

En esta etapa, se definen los umbrales y criterios de alerta para cada técnica de mantenimiento predictivo utilizada en las 21 máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC. Estos umbrales permitirán identificar cuándo los parámetros medidos superan los límites normales y requieren atención para evitar fallos.

*Tabla 13. Establecimiento de umbrales y criterios de alerta*

Técnicas de mantenimiento	Descripción	Umbrales	Criterios de alerta
Análisis de Vibraciones	Medición de las vibraciones mecánicas para detectar desequilibrios, desalineaciones, y desgastes.	Umbral de vibración: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Leve: 0.5 - 1.0 mm/s (mide las vibraciones en mm/s RMS).</li> <li>➤ Moderado: 1.0 - 2.0 mm/s.</li> <li>➤ Crítico: &gt; 2.0 mm/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Leve: Monitoreo más frecuente y revisión en la próxima rutina de mantenimiento.</li> <li>➤ Moderado: Revisión detallada de los componentes y ajuste necesario.</li> <li>➤ Crítico: Intervención inmediata para evitar daños mayores.</li> </ul>
Termografía Infrarroja	Uso de imágenes térmicas para detectar puntos calientes y problemas de sobrecalentamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Temperatura Normal: &lt; 80°C.</li> <li>➤ Temperatura Alta: 80°C - 120°C.</li> <li>➤ Temperatura Crítica: &gt; 120°C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Temperatura Alta: Inspección y análisis del equipo en la próxima rutina de mantenimiento.</li> <li>➤ Temperatura Crítica: Mantenimiento inmediato para evitar fallos.</li> </ul>
Análisis de Aceite	Evaluación del estado del aceite para detectar contaminación, degradación, y desgaste.	<p>Contaminación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Leve: 0 - 5% de partículas contaminantes.</li> <li>➤ Moderado: 5% - 15%.</li> <li>➤ Crítico: &gt; 15%.</li> </ul> <p>Degradación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Leve: Índice de acidez (TAN) &lt; 0.1.</li> <li>➤ Moderado: TAN = 0.1 - 0.5.</li> <li>➤ Crítico: TAN &gt; 0.5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Contaminación Leve/Moderada: Cambiar el aceite en la próxima programación de mantenimiento.</li> <li>➤ Contaminación Crítica: Reemplazo inmediato del aceite y revisión de los filtros.</li> <li>➤ Degradación Leve/Moderada: Monitoreo más frecuente.</li> <li>➤ Degradación Crítica: Reemplazo inmediato del aceite y revisión de componentes internos.</li> </ul>
Prueba de Aislamiento Eléctrico	Evaluación de la resistencia del aislamiento para prevenir fallos eléctricos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia Normal: &gt; 1 MΩ.</li> <li>➤ Resistencia Baja: 0.5 - 1 MΩ.</li> <li>➤ Resistencia Crítica: &lt; 0.5 MΩ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia Baja: Revisión y prueba más frecuente.</li> <li>➤ Resistencia Crítica: Reemplazo o reparación inmediata del aislamiento.</li> </ul>

<p>Análisis de Flujo y Presión</p>	<p>Medición del flujo y la presión para detectar ineficiencias y bloqueos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flujo Normal: Según especificaciones del fabricante.</li> <li>➤ Flujo Bajo: 10% - 20% por debajo de la especificación.</li> <li>➤ Flujo Crítico: &gt; 20% por debajo de la especificación.</li> <li>➤ Presión Normal: Según especificaciones del fabricante.</li> <li>➤ Presión Baja: 10% - 20% por debajo de la especificación.</li> <li>➤ Presión Crítica: &gt; 20% por debajo de la especificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flujo/Presión Bajo: Monitoreo más frecuente y ajuste de válvulas.</li> <li>➤ Flujo/Presión Crítico: Revisión inmediata y corrección de bloqueos o fugas.</li> </ul>
<p>Análisis de Corriente Eléctrica</p>	<p>Evaluación de la corriente para identificar problemas de funcionamiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Corriente Normal: Según especificaciones del fabricante.</li> <li>➤ Corriente Alta: 10% - 20% por encima de la especificación.</li> <li>➤ Corriente Crítica: &gt; 20% por encima de la especificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Corriente Alta: Revisión y ajuste de cargas en la próxima rutina de mantenimiento.</li> <li>➤ Corriente Crítica: Inspección inmediata para evitar daños eléctricos.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia del autor*

El establecimiento de umbrales y criterios de alerta para las técnicas de mantenimiento predictivo proporciona un marco claro para la identificación de condiciones que requieren intervención. Estos umbrales permiten la detección temprana de problemas y la planificación de acciones correctivas antes de que los fallos ocurran, asegurando la operación continua y eficiente de las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC.

### **Paso 6: Implementación del programa de mantenimiento predictivo**

En esta etapa, se lleva a cabo la implementación del programa de mantenimiento predictivo para las 21 máquinas eléctricas rotativas de PREDIMAS SAC. Esto incluye la capacitación del personal, la adquisición de equipos y herramientas necesarios, y el inicio de las actividades de monitoreo y recolección de datos según lo planificado.

## **1. Capacitación del Personal**

Objetivo: Asegurar que el personal técnico esté adecuadamente capacitado para utilizar las herramientas y técnicas de mantenimiento predictivo.

Entrenamiento Necesario:

- Análisis de Vibraciones: Capacitación en el uso de analizadores de vibraciones y en la interpretación de resultados.
- Termografía Infrarroja: Formación en la operación de cámaras termográficas y en la identificación de puntos calientes.
- Análisis de Aceite: Capacitación en la recolección de muestras de aceite y en el uso de kits de análisis.
- Prueba de Aislamiento Eléctrico: Instrucción en el uso de megóhmetros y en la interpretación de resultados de resistencia.
- Análisis de Flujo y Presión: Formación en el uso de medidores de flujo y presión, y en la interpretación de datos.
- Análisis de Corriente Eléctrica: Capacitación en el uso de pinzas amperimétricas y en la evaluación de corrientes eléctricas.

Formato del Entrenamiento:

- Teórico: Sesiones de capacitación sobre fundamentos teóricos de las técnicas de mantenimiento predictivo.
- Práctico: Talleres prácticos utilizando las herramientas y equipos reales.
- Duración: Cada módulo de capacitación durará aproximadamente 1 semana, con sesiones de refuerzo mensual.

## **2. Adquisición de Equipos y Herramientas**

Objetivo: Proveer al personal con los equipos y herramientas necesarios para la implementación efectiva del programa.

Equipos y Herramientas Requeridos:

- Análisis de Vibraciones: Analizadores portátiles de vibraciones.
- Termografía Infrarroja: Cámara termográfica.

- Análisis de Aceite: Kit de análisis de aceite.
- Prueba de Aislamiento Eléctrico: Megóhmetro.
- Análisis de Flujo y Presión: Medidores de flujo y manómetros.
- Análisis de Corriente Eléctrica: Pinza amperimétrica.

Proceso de Adquisición:

- Proveedores: Selección de proveedores confiables para cada tipo de equipo.
- Compra y Entrega: Realización de compras y coordinación para la entrega de equipos.
- Verificación: Inspección de los equipos para asegurar su funcionamiento adecuado y calibración.

### **3. Inicio de Actividades de Monitoreo y Recolección de Datos**

Objetivo: Comenzar el proceso de monitoreo y recolección de datos según el programa definido.

Actividades Iniciales:

- Establecimiento de Rutinas: Iniciar la programación de monitoreos según la frecuencia establecida para cada máquina.
- Registro de Datos: Implementar el formato de registro de datos utilizando formularios digitales y hojas de cálculo.
- Monitoreo Inicial: Realizar las primeras mediciones y pruebas para establecer una línea base de datos.

Proceso de Monitoreo:

- Vibraciones: Medición y registro de vibraciones utilizando los analizadores de vibraciones.
- Temperatura: Captura de imágenes térmicas para identificar puntos calientes.
- Aceite: Recolección y análisis de muestras de aceite.
- Aislamiento Eléctrico: Medición de resistencia del aislamiento.
- Flujo y Presión: Medición de flujo y presión en bombas y sistemas.

- Corriente Eléctrica: Medición de la corriente eléctrica en motores y generadores.

#### **4. Revisión y Ajuste del Programa**

Objetivo: Evaluar el desempeño del programa de mantenimiento predictivo y realizar ajustes según sea necesario.

Evaluación Inicial:

- Revisión de Resultados: Analizar los primeros datos recolectados para evaluar la efectividad del monitoreo.
- Retroalimentación del Personal: Obtener comentarios del personal técnico sobre el proceso de monitoreo y las herramientas utilizadas.

Ajustes:

- Modificación de Frecuencias: Ajustar la frecuencia de monitoreo si se identifican patrones que requieran cambios.
- Optimización de Procedimientos: Mejorar los procedimientos de recolección y análisis de datos basados en la experiencia inicial.

La capacitación del personal, la adquisición de equipos, y el inicio de las actividades de monitoreo y recolección de datos aseguran que el programa se ejecute de manera efectiva. La revisión y ajuste continuo del programa permitirán adaptarse a las necesidades cambiantes y mejorar la efectividad del mantenimiento predictivo.

#### **Paso 7: Análisis de datos y evaluación de condiciones**

En esta etapa, se analizan los datos recolectados del plan de mantenimiento predictivo para evaluar el estado de las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC. Este análisis permitirá identificar patrones, detectar problemas potenciales y tomar decisiones informadas sobre las acciones correctivas necesarias.

## 1. Recolección y consolidación de datos

Objetivo: Organizar y consolidar todos los datos recolectados durante el proceso de monitoreo para su análisis.

Formato de Datos:

- Vibraciones: Datos en mm/s RMS y gráficos de tendencias.
- Temperatura: Imágenes térmicas y registros de temperatura en °C.
- Aceite: Resultados de análisis de aceite (contaminación, índice de acidez).
- Aislamiento Eléctrico: Valores de resistencia en MΩ.
- Flujo y Presión: Lecturas en unidades específicas (litros/minuto, bar).
- Corriente Eléctrica: Lecturas de corriente en amperios.

Herramientas de Consolidación:

- Software: Utilización de hojas de cálculo o software especializado en gestión de datos de mantenimiento.
- Formato: Crear bases de datos para almacenar los resultados de manera estructurada y accesible.

## 2. Análisis de Tendencias

Objetivo: Identificar patrones y tendencias en los datos para anticipar posibles fallos.

Métodos de Análisis:

- Análisis de Series Temporales: Evaluar las tendencias a lo largo del tiempo para detectar cambios significativos en las mediciones.
- Comparación con Umbrales: Comparar los datos recolectados con los umbrales establecidos para identificar condiciones de alerta.
- Gráficos de Tendencias: Utilizar gráficos para visualizar las variaciones en vibraciones, temperatura, y otros parámetros críticos.

Resultados Esperados:

- Patrones Anómalos: Identificación de patrones inusuales que podrían indicar problemas emergentes.
- Tendencias de Degradación: Detectar tendencias de degradación en componentes que requieren intervención.

### **3. Evaluación de Condiciones**

Objetivo: Evaluar el estado de cada máquina basado en el análisis de datos y los umbrales definidos.

Procedimiento de Evaluación:

- Condiciones Normales: Confirmar que los parámetros se mantienen dentro de los límites normales.
- Condiciones Leves: Revisar las máquinas con parámetros en el rango leve de alerta y planificar intervenciones menores.
- Condiciones Moderadas: Identificar máquinas con parámetros en el rango moderado de alerta y programar inspecciones detalladas.
- Condiciones Críticas: Priorizar máquinas con condiciones críticas y realizar mantenimiento correctivo inmediato.

Registro de Resultados:

- Informe de Evaluación: Documentar los hallazgos del análisis de datos en informes detallados.
- Acciones Recomendadas: Proporcionar recomendaciones para mantenimiento correctivo y preventivo.

### **4. Acciones Correctivas y Planificación**

Objetivo: Determinar las acciones correctivas necesarias y planificar su implementación para resolver problemas detectados.

Acciones Correctivas:

- Intervenciones Inmediatas: Realizar reparaciones y ajustes necesarios para las condiciones críticas.
- Mantenimiento Programado: Planificar el mantenimiento preventivo para equipos con condiciones leves y moderadas.

- Revisión de Procedimientos: Ajustar los procedimientos de mantenimiento en función de los hallazgos y tendencias observadas.

Planificación de Mantenimiento:

- Agenda de Mantenimiento: Establecer un calendario para las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo.
- Recursos Requeridos: Identificar los recursos necesarios, incluyendo personal, herramientas y repuestos.

El análisis de datos y la evaluación de condiciones son fundamentales para el éxito del programa de mantenimiento predictivo. La consolidación de datos, el análisis de tendencias, y la evaluación de condiciones permiten identificar problemas potenciales y tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento necesario. Implementar acciones correctivas y planificar el mantenimiento basado en este análisis asegura que las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC operen de manera eficiente y confiable.

### **Paso 8: Análisis de datos y evaluación de condiciones**

En esta etapa, se revisa y ajusta el programa de mantenimiento predictivo basado en la evaluación continua de su desempeño. Esto incluye la revisión de la eficacia del programa, la identificación de áreas de mejora, y la adaptación de estrategias según los resultados obtenidos y los cambios en las condiciones operativas.

#### **1. Revisión Periódica del Programa**

Objetivo: Evaluar el desempeño general del programa de mantenimiento predictivo y su capacidad para cumplir los objetivos establecidos.

Frecuencia de Revisión:

- Mensual: Revisión de los datos y resultados más recientes.
- Trimestral: Evaluación más profunda del desempeño del programa.
- Anual: Revisión completa del programa y ajustes estratégicos.

Aspectos a Revisar:

- Eficiencia del Monitoreo: Evaluar si la frecuencia de monitoreo y los métodos utilizados están proporcionando información útil y precisa.
- Efectividad de las Técnicas: Revisar si las técnicas de mantenimiento predictivo están identificando problemas a tiempo y reduciendo el número de fallos.
- Cumplimiento de Objetivos: Verificar si se están cumpliendo los objetivos del programa, como la reducción de tiempos de inactividad y el aumento de la vida útil de los equipos.

## **2. Análisis de Resultados y Retroalimentación**

Objetivo: Obtener retroalimentación de los resultados obtenidos y del personal involucrado en el programa para identificar áreas de mejora.

Análisis de Resultados:

- Comparación de Datos: Comparar los datos actuales con los datos históricos para evaluar la evolución de las condiciones de los equipos.
- Evaluación de Incidentes: Revisar los incidentes y fallos ocurridos para identificar patrones y posibles fallos en el programa.

Retroalimentación del Personal:

- Encuestas y Entrevistas: Realizar encuestas y entrevistas con el personal técnico para obtener su opinión sobre el programa y las herramientas utilizadas.
- Reuniones de Revisión: Organizar reuniones periódicas con el equipo de mantenimiento para discutir el desempeño del programa y sugerir mejoras.

## **3. Identificación de Áreas de Mejora**

Objetivo: Identificar y priorizar áreas donde el programa de mantenimiento predictivo puede ser mejorado para aumentar su eficacia.

Áreas de Mejora Potenciales:

- Ajustes en la Frecuencia de Monitoreo: Modificar la frecuencia de monitoreo en función de la criticidad y el estado de los equipos.
- Actualización de Herramientas y Técnicas: Incorporar nuevas tecnologías y técnicas de mantenimiento predictivo según la disponibilidad y los avances en el campo.
- Optimización de Procedimientos: Mejorar los procedimientos de recolección y análisis de datos para aumentar la precisión y eficiencia.

Implementación de Mejoras:

- Plan de Acción: Desarrollar un plan de acción para implementar las mejoras identificadas.
- Recursos y Capacitación: Asignar recursos necesarios y proporcionar capacitación adicional si es necesario para el personal.

#### **4. Ajustes Estratégicos y Planificación Futura**

Objetivo: Adaptar el programa de mantenimiento predictivo para asegurar que se mantenga eficaz y relevante en el tiempo.

Ajustes Estratégicos:

- Modificación de Umbrales: Revisar y ajustar los umbrales y criterios de alerta en función de la evolución de los equipos y las condiciones operativas.
- Revisión de Procedimientos de Mantenimiento: Actualizar los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo basados en los hallazgos del análisis.

Planificación Futura:

- Estrategia a Largo Plazo: Desarrollar una estrategia a largo plazo para el mantenimiento predictivo, incluyendo la integración de nuevas tecnologías y la expansión del programa a otros equipos si es necesario.

- **Presupuesto y Recursos:** Revisar el presupuesto y los recursos asignados al programa para asegurar su sostenibilidad y eficacia a largo plazo.

La revisión continua del programa de mantenimiento predictivo asegura que el sistema se mantenga relevante y efectivo a lo largo del tiempo. Al realizar revisiones periódicas, analizar resultados y retroalimentación, e identificar áreas de mejora, se pueden ajustar y optimizar las estrategias de mantenimiento para abordar problemas emergentes y mejorar el rendimiento general. La adaptación y planificación continua garantizarán que el programa siga proporcionando beneficios en términos de fiabilidad y eficiencia para las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC.

### **Paso 9: Documentación y resultados**

En esta etapa, se documentan y comunican los resultados del programa de mantenimiento predictivo. La documentación proporciona un registro detallado de todas las actividades, hallazgos y ajustes realizados, mientras que la comunicación asegura que todas las partes interesadas estén informadas y alineadas con respecto a los logros y mejoras del programa.

#### **1. Documentación del Programa**

**Objetivo:** Crear un registro completo y detallado de todos los aspectos del programa de mantenimiento predictivo.

**Contenido de la Documentación:**

- **Descripción del Programa:** Detalle del programa de mantenimiento predictivo, incluyendo objetivos, técnicas utilizadas, y procedimientos.
- **Datos de Monitoreo:** Registro de todos los datos recolectados durante el monitoreo, incluyendo vibraciones, temperatura, análisis de aceite, etc.
- **Análisis de Datos:** Resultados del análisis de tendencias y evaluación de condiciones.

- Acciones Correctivas: Documentación de todas las acciones correctivas y preventivas realizadas.
- Revisiones y Ajustes: Registro de todas las revisiones del programa, mejoras implementadas y ajustes realizados.
- Informe de Evaluación: Informes detallados sobre la eficacia del programa, incluyendo lecciones aprendidas y recomendaciones para el futuro.

Formato de la Documentación:

- Informes Electrónicos: Utilización de documentos digitales (PDF, hojas de cálculo) para un acceso y distribución fáciles.
- Base de Datos: Mantenimiento de una base de datos actualizada con todos los resultados y registros de monitoreo.

## **2. Comunicación de Resultados**

Objetivo: Asegurar que todos los interesados estén informados sobre el estado y los logros del programa de mantenimiento predictivo.

Partes Interesadas:

- Personal Técnico: Informar al equipo de mantenimiento sobre los resultados y ajustes del programa.
- Gerencia: Proporcionar a la alta dirección un resumen ejecutivo sobre el desempeño del programa y su impacto en la operación.
- Otros Departamentos: Comunicar a otros departamentos afectados por el mantenimiento, como producción y calidad.

Métodos de Comunicación:

- Reuniones de Informe: Organizar reuniones periódicas para presentar y discutir los resultados del programa con el personal técnico y la gerencia.
- Informes Escritos: Distribuir informes detallados a través de correos electrónicos o en reuniones formales.

- Presentaciones: Crear presentaciones visuales para resumir los hallazgos clave y las recomendaciones.

Contenido de la Comunicación:

- Resumen de Resultados: Resumen de los hallazgos del análisis de datos y la evaluación de condiciones.
- Impacto en la Operación: Descripción del impacto del programa en la operación, incluyendo mejoras en la fiabilidad y reducción de fallos.
- Recomendaciones: Recomendaciones para futuras acciones y ajustes en el programa.

La documentación y comunicación de los resultados del programa de mantenimiento predictivo son cruciales para garantizar que todos los interesados estén informados sobre el desempeño del programa y los logros alcanzados. La documentación detallada proporciona un registro completo de todas las actividades y ajustes, mientras que la comunicación efectiva asegura que el personal y la gerencia estén alineados y puedan tomar decisiones informadas. La incorporación de lecciones aprendidas y recomendaciones contribuirá a la mejora continua del programa y a su adaptación a las necesidades futuras.

### **Paso 10: Evaluación del impacto y optimización continua**

Se evaluó el impacto general del programa de mantenimiento predictivo en el rendimiento y la eficiencia operativa, y establecer un proceso de optimización continua.

#### **1. Evaluación del Impacto**

Desempeño de las Máquinas:

- Reducción de Fallos: Analizar la disminución en la frecuencia de fallos y tiempos de inactividad.
- Aumento de la Vida Útil: Evaluar la extensión en la vida útil de las máquinas debido al mantenimiento predictivo.

Eficiencia Operativa:

- Costos de Mantenimiento: Comparar los costos de mantenimiento antes y después de la implementación del programa.
- Productividad: Medir cualquier incremento en la productividad y eficiencia operativa atribuible al programa.

Satisfacción del Personal:

- Feedback: Recopilar retroalimentación del personal técnico y operativo sobre la eficacia y utilidad del programa.

## **2. Optimización Continua**

Revisión de Metodologías:

- Técnicas de Mantenimiento: Evaluar y ajustar las técnicas de mantenimiento predictivo en función de los resultados obtenidos.

Actualización de Herramientas y Equipos:

- Tecnología: Incorporar nuevas tecnologías y herramientas que puedan mejorar la precisión y eficacia del monitoreo.

Planificación a Largo Plazo:

- Estrategia: Desarrollar una estrategia de mantenimiento predictivo a largo plazo basada en los resultados y la retroalimentación.
- Presupuesto: Ajustar el presupuesto y los recursos según las necesidades y mejoras identificadas.

La evaluación del impacto y la optimización continua garantizan que el programa de mantenimiento predictivo no solo mantenga su efectividad, sino que también se adapte a las necesidades cambiantes y mejore con el tiempo. Analizar los resultados obtenidos y aplicar ajustes basados en la retroalimentación y la tecnología emergente asegura que el programa siga proporcionando valor a la empresa, manteniendo las máquinas eléctricas rotativas en condiciones óptimas y contribuyendo a la eficiencia operativa general de PREDIMAS SAC.

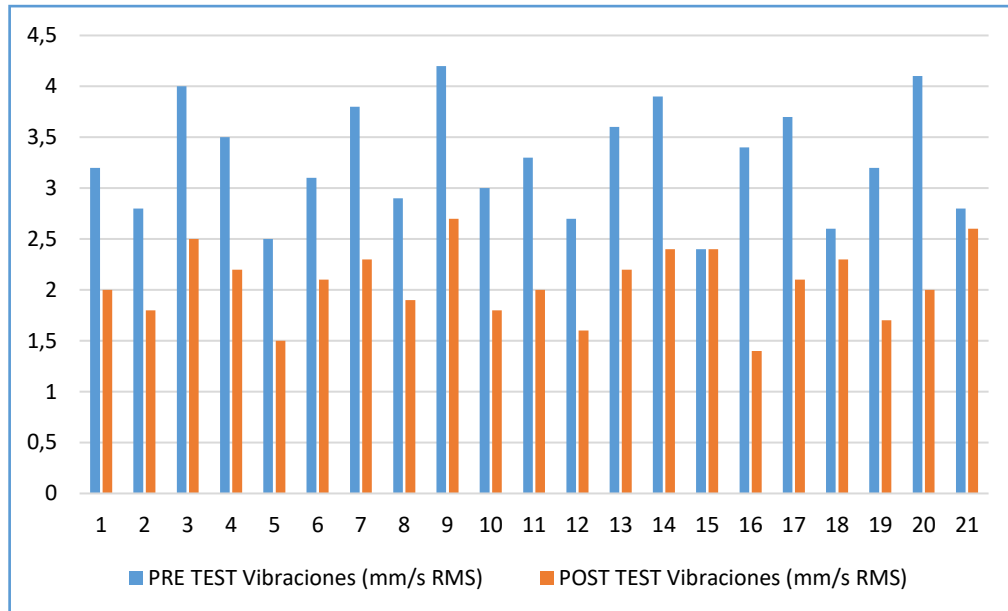
*Tabla 14. Recursos de la implementación del Plan de gestión de mantenimiento predictivo*

Paso	Recursos Humanos	Herramientas / Repuestos	Tiempo estimado
1	1 técnico de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de inventario</li> <li>• Software de gestión</li> </ul>	1 horas
2	1 técnico de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizador de vibraciones</li> <li>• Cámara termográfica</li> </ul>	2 horas
3	1 ingeniero de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuales técnicos</li> <li>• Software de análisis</li> </ul>	2 horas
4	1 ingeniero y 1 Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de monitoreo</li> <li>• Sensores</li> </ul>	3 horas
5	1 ingeniero de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manuales de equipos</li> <li>• Software de gestión</li> </ul>	3 horas
6	2 técnicos de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de monitoreo</li> <li>• Kits de prueba</li> </ul>	5 horas
7	1 ingeniero y 1 Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de análisis</li> <li>• Registros históricos</li> </ul>	2.5 horas
8	1 ingeniero de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportes anteriores</li> <li>• Software de gestión</li> </ul>	2 horas
9	1 ingeniero de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de ofimática</li> <li>• Base de datos</li> </ul>	1.5 horas
10	1 ingeniero y 1 Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de gestión</li> <li>• Reportes de resultados</li> </ul>	2.5 horas

Fuente: Elaboración propia

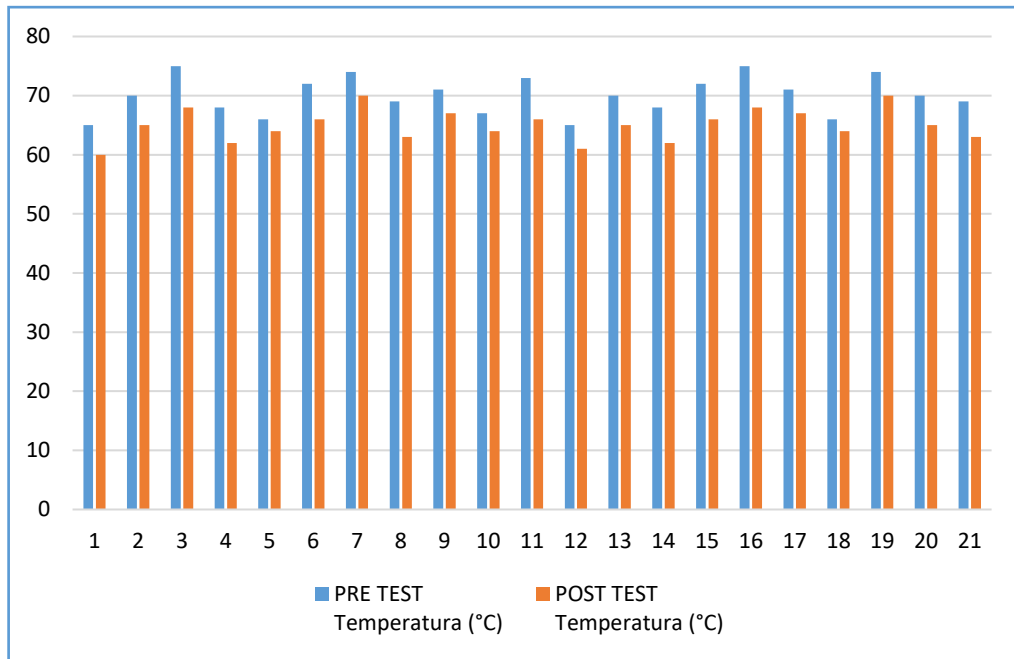
### 5.3. Evaluación mediante Ficha de registro

Al evaluar mediante la ficha de registro el estado de las maquinas eléctricas en un pre y post test implementando los planes de mantenimiento respectivos obtuvimos lo siguiente:



*Figura 6. Comparativa en Pre y Post test de las vibraciones de máquinas eléctricas rotativas*

Como se puede observar vemos una mejora en cada una de las maquinas eléctricas rotativas respecto a las vibraciones que están dadas en (mm/s RMS) ha tenido una reducción media de 3.3 a 2.1 lo cual significa una reducción del 37% después de realizado los mantenimientos.



*Figura 7. Comparativa en Pre y Post test de la temperatura de máquinas eléctricas rotativas*

Como se puede observar vemos una mejora en cada una de las maquinas eléctricas rotativas respecto a la temperatura que están dadas en (°C) ha tenido una reducción media de 70° a 65° lo cual significa una reducción en la temperatura del 8% después de realizado el mantenimiento.

En el caso del análisis de aceite obtuvimos una mejora en todos pasando de contaminado y levemente contaminado a un estado normal en cada una de las máquinas eléctricas rotativas.

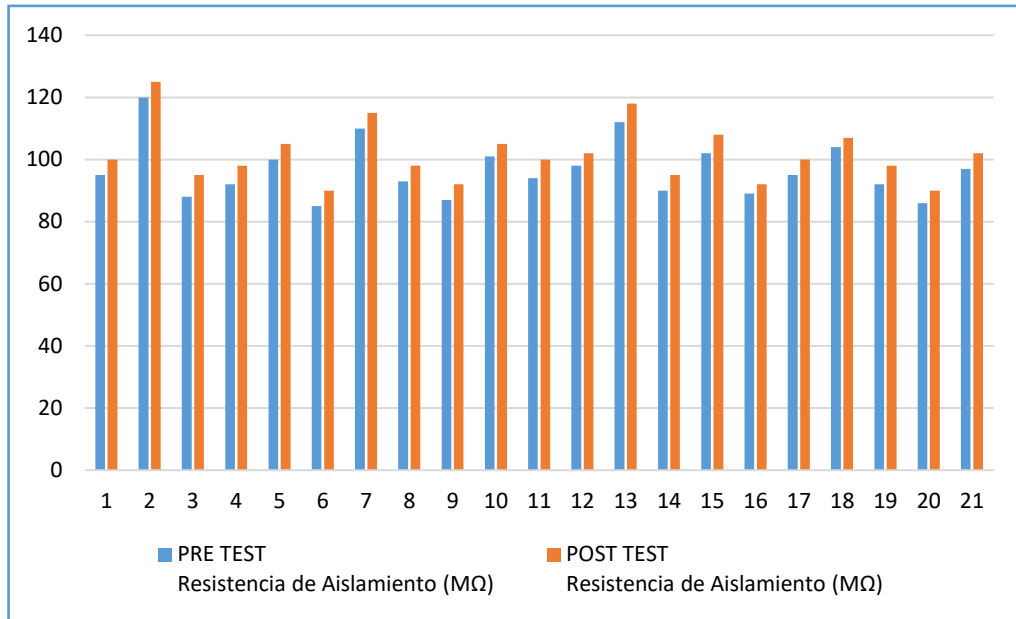


Figura 8. Comparativa en Pre y Post test de la resistencia de aislamiento de máquinas eléctricas rotativas

Como se puede observar vemos una mejora en cada una de las maquinas eléctricas rotativas respecto a la resistencia de aislamiento que están dadas en (MΩ) ha tenido un aumento de media de 96.7 a 101.7 lo cual significa un aumento en la resistencia de aislamiento del 5.17% después de realizado el mantenimiento.

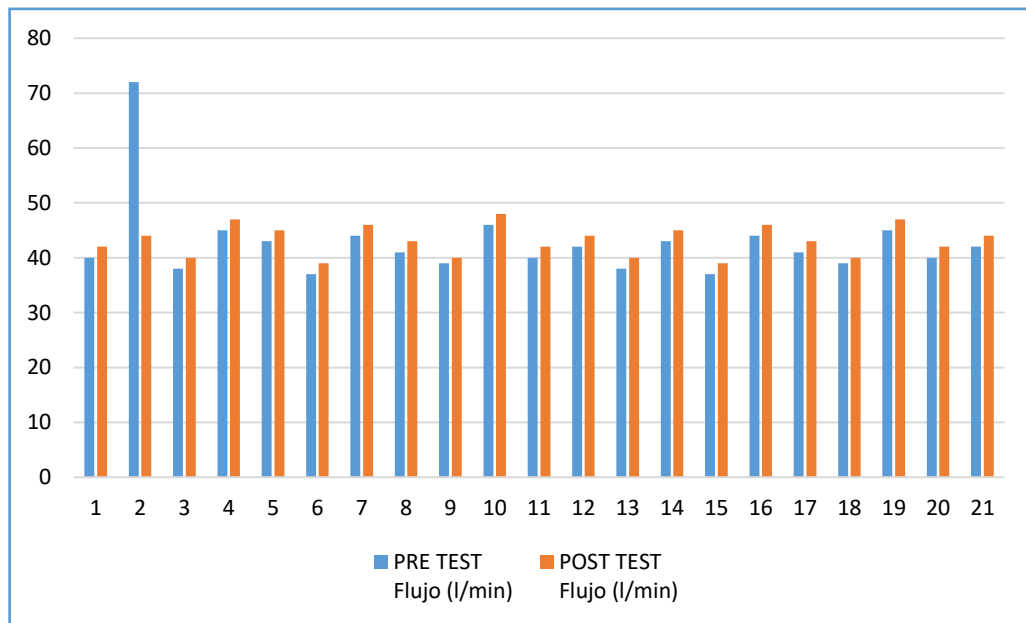


Figura 9. Comparativa en Pre y Post test del flujo de máquinas eléctricas rotativas

Como se puede observar vemos una mejora en cada una de las maquinas eléctricas rotativas respecto al flujo del aceite de lubricación expresado en (l/min) ha tenido un aumento de media de 38 a 43.1 lo cual significa un aumento en la resistencia de aislamiento del 13% después de realizado el mantenimiento.

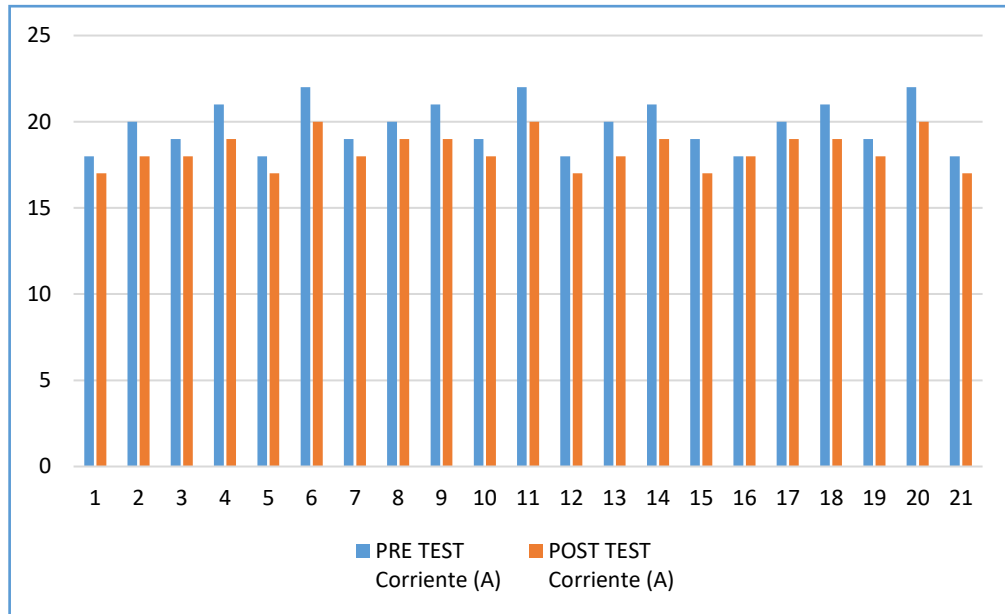


Figura 10. Comparativa en Pre y Post test de corriente de las máquinas eléctricas rotativas

Como se puede observar vemos una mejora en cada una de las maquinas eléctricas rotativas respecto al uso de la corriente expresado en (A) ha tenido una disminución de media de 19.8 a 18.3 lo cual significa una reducción en el uso de corriente del 8% después de realizado el mantenimiento.

## **VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados**

#### **Hipótesis General**

La hipótesis general “La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024” se comprueba dado que los resultados presentados demuestran claramente que la implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo ha optimizado significativamente el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC. La reducción en vibraciones y temperatura, junto con la mejora en la calidad del aceite, la resistencia de aislamiento, el flujo de aceite de lubricación y el consumo de corriente, validan la efectividad del programa y confirman la hipótesis planteada. Estos cambios no solo mejoran la eficiencia operativa y la vida útil de las máquinas, sino que también contribuyen a la reducción de costos y a la mejora de la sostenibilidad de las operaciones de la empresa.

#### **Hipótesis Específica 1**

La hipótesis específica 1 “La implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024” se comprueba dado que los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas tras la implementación del monitoreo de datos. Las vibraciones en las máquinas se redujeron de una media de 3.3 mm/s RMS a 2.1 mm/s RMS, lo cual representa una reducción del 37%. La temperatura media disminuyó de 70°C a 65°C, evidenciando una reducción del 8%. Además, la resistencia de aislamiento aumentó de 96.7 MΩ a 101.7 MΩ, lo cual implica un incremento del 5.17%. Estos cambios confirman la efectividad del monitoreo de datos en la optimización del rendimiento de las máquinas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el riesgo de fallos.

#### **Hipótesis Específica 2**

La hipótesis específica 2 “La implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024” se comprueba dado que los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas tras la implementación del análisis y diagnóstico predictivo de datos. Las vibraciones en las máquinas se redujeron de una media de 3.3 mm/s RMS a 2.1 mm/s RMS, lo cual representa una reducción del 37%. La calidad del aceite mejoró, pasando de contaminado o levemente contaminado a un estado normal en todas las máquinas. Además, el flujo de aceite de lubricación aumentó de una media de 38 l/min a 43.1 l/min, indicando un incremento del 13%. Estos cambios confirman la efectividad del análisis y diagnóstico predictivo en la optimización del rendimiento de las máquinas, mejorando la eficiencia operativa y prolongando la vida útil de los equipos.

### **Hipótesis Específica 3**

La hipótesis específica 3 “La implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024” se comprueba dado que los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas tras la implementación de la programación y ejecución de intervenciones. La temperatura media de las máquinas disminuyó de 70°C a 65°C, evidenciando una reducción del 8%. La resistencia de aislamiento aumentó de 96.7 MΩ a 101.7 MΩ, implicando un incremento del 5.17%. Además, el consumo de corriente se redujo de una media de 19.8 A a 18.3 A, lo cual representa una disminución del 8%. Estos cambios confirman la efectividad de la programación y ejecución de intervenciones en la optimización del rendimiento de las máquinas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el riesgo de fallos.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

En la investigación llevada a cabo por López y Sárate en el año 2023, cuyo título es "Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo asistido por (GMAO) para la maquinaria pesada del departamento de construcción, mantenimiento y talleres de la dirección de obras públicas del municipal del Cantón Gualaquiza",

se concluyó que el 79% de la flota vehicular se encuentra en condiciones óptimas, el 16% en estado regular y un 2% en malas condiciones. Esto se ve reflejado en lo encontrado por nosotros ya que, aunque ambos estudios se centran en mejorar el mantenimiento de equipos, nuestro enfoque predictivo muestra una reducción específica en las vibraciones (37%), temperatura (8%) y otras mejoras operativas que no solo confirman el buen estado, sino que optimizan el rendimiento de las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC.

En el estudio llevado a cabo por Darío en 2020, titulado "Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento con corte térmico en la empresa SEDEMI", se observó un aumento en la confiabilidad al reducir el tiempo de falla y prolongar el tiempo de funcionamiento efectivo en cada equipo crítico. Esto se diferencia de lo encontrado por nosotros, ya que además de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de nuestras máquinas, nuestros resultados específicos muestran una mejora en la calidad del aceite, un aumento del flujo de aceite de lubricación (13%) y una reducción en el consumo de corriente (8%), lo cual indica una optimización integral de las máquinas eléctricas rotativas.

En la investigación realizada por Cacho en 2020 titulada "Pruebas eléctricas para máquinas eléctricas rotativas bajo normas IEEE y rediseño de devanados estáticos de motores asíncronos", se identificaron pruebas que ayudan a evaluar eficientemente una máquina eléctrica rotativa y se realizaron rediseños para optimizar el funcionamiento de los motores. Esto se ve reflejado en lo encontrado por nosotros ya que nuestros resultados también subrayan la importancia de las pruebas y diagnósticos detallados, mostrando una mejora en la resistencia de aislamiento (5.17%) y en la reducción de vibraciones y temperatura, confirmando que la implementación de análisis y diagnóstico predictivo contribuye significativamente a la optimización de las máquinas.

En la investigación llevada a cabo por Rojas en 2020, titulada "Desarrollo de un plan de mantenimiento predictivo para motoventiladores asíncronos en la planta Fidería Lima de ALICORP S.A.", se indicó que un control detallado del historial

de funcionamiento de los equipos y la aplicación adecuada de mantenimiento predictivo son cruciales para su eficacia. Esto se diferencia de lo encontrado por nosotros ya que, aunque ambos estudios resaltan la importancia del mantenimiento predictivo, nuestros resultados proporcionan datos cuantitativos claros, como la reducción de la temperatura (8%) y el aumento del flujo de aceite (13%), que demuestran la efectividad del plan de mantenimiento predictivo implementado en las máquinas eléctricas rotativas en PREDIMAS SAC.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

La presente investigación se compromete a cumplir con los más altos estándares éticos en todas las fases del estudio. A continuación, se describen los principales aspectos relacionados con la responsabilidad ética en este proyecto:

- **Confidencialidad y Privacidad:** Se garantizará la confidencialidad de toda la información obtenida durante la investigación. Los datos recolectados de la Empresa PREDIMAS SAC serán tratados con estricta privacidad y solo se utilizarán con fines de investigación. Los resultados y la información de carácter sensible serán anonimizados para evitar la identificación de individuos o de la empresa.
- **Consentimiento Informado:** Se obtendrá el consentimiento informado de todos los participantes involucrados en la investigación. Se les informará sobre los objetivos del estudio, la naturaleza de la participación, y cómo se utilizarán los datos proporcionados. Los participantes tendrán la opción de retirarse del estudio en cualquier momento sin que ello afecte sus derechos o su relación con la empresa.
- **Transparencia y Veracidad:** Los resultados del estudio se presentarán de manera clara y objetiva, sin omitir información relevante o manipular datos para cumplir con expectativas preconcebidas. La metodología, análisis y conclusiones serán descritos con transparencia para asegurar la reproducibilidad y la integridad del estudio.
- **Cumplimiento Normativo:** Se adherirá a todas las normas y regulaciones pertinentes relacionadas con la investigación en el ámbito académico y empresarial. Esto incluye el cumplimiento de las normativas locales y

nacionales sobre investigación y protección de datos, así como las directrices de ética establecidas por instituciones académicas y organismos reguladores.

- **Responsabilidad Social:** El proyecto tiene un compromiso con el impacto positivo en la empresa y la comunidad. Las recomendaciones derivadas del plan de gestión de mantenimiento predictivo estarán orientadas a mejorar la eficiencia operativa y reducir los riesgos asociados a las máquinas eléctricas rotativas, beneficiando tanto a la empresa como a sus empleados.
- **Consideraciones Ambientales:** Se tomará en cuenta el impacto ambiental de las prácticas propuestas en el plan de mantenimiento. Se fomentará la adopción de métodos sostenibles y responsables para minimizar la huella ecológica del mantenimiento de las máquinas.

## **VII. CONCLUSIONES**

La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

La implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

La implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

La implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

Los resultados muestran que la calidad del aceite ha mejorado notablemente. Para mantener este estado, se recomienda establecer un programa de monitoreo y análisis del aceite más frecuente. Esto permitirá detectar posibles contaminaciones antes de que afecten el rendimiento de las máquinas, garantizando una operación más confiable y eficiente.

La reducción en el uso de corriente y la mejora en el flujo de aceite de lubricación indican una eficiencia operativa mejorada. Es aconsejable revisar y ajustar regularmente los parámetros operativos de las máquinas para mantener estos niveles de eficiencia. Implementar procedimientos estándar para la calibración de equipos y ajustes operativos contribuirá a preservar estos beneficios a largo plazo.

Para asegurar la correcta implementación y seguimiento del mantenimiento predictivo, se recomienda ofrecer capacitación continua al personal técnico. El personal debe estar bien informado sobre las técnicas de mantenimiento predictivo y el uso de herramientas de diagnóstico para detectar y resolver problemas de manera efectiva.

A fin de consolidar las mejoras observadas, es fundamental revisar y actualizar los procedimientos y políticas de mantenimiento de la empresa. Establecer directrices claras y protocolos específicos para el mantenimiento predictivo permitirá una mayor consistencia en la aplicación y seguimiento de las prácticas recomendadas.

Realizar evaluaciones periódicas del impacto del mantenimiento predictivo en el desempeño general de las máquinas. Basado en estas evaluaciones, ajustar proactivamente las estrategias de mantenimiento para abordar cualquier área de oportunidad identificada. La retroalimentación continua permitirá mejorar las prácticas y adaptarse a posibles cambios en las condiciones operativas.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. J. López y D. Sárate. “*Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo Asistido por (GMAO) para la maquinaria pesada del departamento de construcción, mantenimiento y talleres de la Dirección de Obras Públicas del GAD Municipal del Cantón Gualaquiza*”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2023.
- [2]. L. Darío. “*Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para el área de abastecimiento corte térmico de la empresa SEDEMI*”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y Comunicación, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador, 2020.
- [3]. L. Alvarez; C. Lozano y D. Bravo. “Metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución basada en aprendizaje automático”, *Revista Ingeniería*, vol. 27, no. 3, pp. 1-16, julio 2022.
- [4]. H. Cacho. “*Pruebas eléctricas para máquinas eléctricas rotativas bajo normas IEEE y rediseño de devanados estáticos de motores asíncronos*”. Tesis de licenciatura en Ingeniería mecánica eléctrica, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020.
- [5]. J. Cardona. “*Técnicas para la detección de fallas en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna usando tecnologías de la industria 4.0.*”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Sistemas, Facultad de ciencias básicas e Ingeniería, Fundación universitaria Lumen Gentium, 2023.
- [6]. D. Rojas. “*Elaboración de un Plan de Mantenimiento Predictivo de motores asíncronos para motoventiladores centrífugos en la Planta Fidería Lima Alicorp S.A.*”. Tesis de Licenciatura en ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería de Eléctrica y de Potencia, Universidad Tecnológica del Perú, Perú, 2020.
- [7]. Y. Miranda. “*Implementación de un plan de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos rotativos críticos en la central Termoeléctrica Santo Domingo de los Olleros*”. Tesis de Licenciatura

en Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú, 2020.

- [8]. J. Garnique. *“Implementación de plan de mantenimiento predictivo mediante análisis de aceite mejorando la disponibilidad de cargador frontal Cat 962H en la empresa agroindustrial Agrolmos S.A.”*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú, 2023.
- [9]. P. Limaymanta. *“Análisis de calidad en motores de inducción mediante pruebas eléctricas en régimen dinámico”*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Facultad de ingeniería, Universidad Continental, 2022.
- [10]. R. Adauto. *“Aplicación de la inteligencia artificial en la detección de fallas en los motores eléctricos de corriente continua de imán permanente”*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica, Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.
- [11]. E. Zavaleta. *“Plan de Mantenimiento en el Sistema de Ventilación del Grupo Electrónico basado en el ciclo de Deming de la Agencia Bancaria Pichincha – Tumbes 2020”*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Gestión, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Perú, 2020.
- [12]. A. Laban. *“Diseño de plan de mantenimiento basado en el riesgo y mantenimiento predictivo para mejorar los indicadores de gestión de mantenimiento de una flota de transportes de Tumbes”*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo, Perú, 2021.
- [13]. S. Antía; J. García; E. Marín; R. Tafurt y E. Chaves. *“Diseño y aplicación de un sistema de estandarización y documentación de procesos en el mantenimiento correctivo de máquinas eléctrica rotativas para la empresa BIME S.A.S., con el fin de mejorar los indicadores de*

*productividad*". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, 2023.

- [14]. R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista. *Metodología de la Investigación, 6ta ed.* México: McGraw-Hill, 2014.

## **ANEXOS**

## ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA OPTIMIZAR MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN LA EMPRESA PREDIMAS SAC -2024						
Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<b>General:</b>	<b>General:</b>	<b>Principal:</b>	<b>VI</b> Plan de gestión de mantenimiento predictivo	Monitoreo de datos	Frecuencia de actualización de datos	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada  <b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> Pre experimental  <b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</b> Cuantitativo  <b>POBLACIÓN:</b> Estará conformada por 50 máquinas eléctricas rotativas que ingresan al proceso de reparación y mantenimiento en las instalaciones de la empresa PREDIMAS SAC.  <b>MUESTRA:</b> Estará conformada por 21 máquinas eléctricas rotativas.
¿De qué manera la implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024?	Determinar de qué manera la implementación el plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024.	La implementación del plan de gestión de mantenimiento predictivo optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024.		Análisis y diagnóstico predictivo	Tiempo de respuesta en la identificación de anomalías	
<b>Específicos:</b>	<b>Específicos:</b>	<b>Secundarias</b>		Programación y ejecución intervenciones	Cumplimiento del cronograma de intervenciones	
¿De qué manera la implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024?	Determinar como la implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024.	La implementación de monitoreo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024.		<b>VD</b> Maquinas eléctricas rotativas	Eficiencia operativa de las máquinas	
¿De qué manera la implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024?	Determinar como la implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC - 2024.	La implementación de análisis y diagnóstico predictivo de datos optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.	Durabilidad y vida útil		Índice de desgaste de componentes críticos	
¿De qué manera la implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024?	Determinar como la implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.	La implementación de programación y ejecución de intervenciones optimiza máquinas eléctricas rotativas en la empresa PREDIMAS SAC -2024.	Sostenibilidad ambiental		Consumo de energía por producción	

## ANEXO N.º 02: FICHA DE OBSERVACIÓN

ID	PRE TEST					
	PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS		
	Vibraciones (mm/s) RMS	Temperatura (°C)	Análisis de Aceite Físico	Resistencia de Aislamiento (MΩ)	Flujo (l/min)	Corriente (A)

ID	POST TEST					
	PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO			MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS		
	Vibraciones (mm/s) RMS	Temperatura (°C)	Análisis de Aceite Físico	Resistencia de Aislamiento (MΩ)	Flujo (l/min)	Corriente (A)

  
**JAI ME FERNÁNDEZ URBANO**  
 INGENIERO ELECTRICISTA  
 Reg. CIP Nº 191943

  
**Ing. CIP Dante David Leon Felix**  
 Ingeniero Electricista  
 Reg. CIP Nº 195174

  
**JORIN ROBERT MENDOZA MARTINEZ**  
 Ingeniero Electricista  
 CIP Nº 208503

## ANEXO N.º 03: AUTORIZACIÓN POR PARTE DE LA EMPRESA



### AUTORIZACION

Yo, Miguel Angel Perez Castro, identificado con DNI N° 09404244, en calidad de gerente general de la empresa PREDICTIVE MAINTENANCE SERVICES S.A.C. ubicado en la Av. Caudivilla Mza T1 Lt 21 Urb. Residencial Lucyana – Carabaylo, autorizo el estudio y la implementación de un plan de gestión de mantenimiento que se llevará a cabo en la tesis titulada "PLAN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA OPTIMIZAR MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS EN LA EMPRESA PREDIMAS SAC - 2024". Así mismo, facilitar las instalaciones y uso de los equipos para permitir una observación directa para la implementación de dicho plan de mantenimiento.

Carabaylo, 14 de mayo de 2024.

PREDICTIVE MAINTENANCE SERVICES S.A.C.  
R.U.C. 20547307055

  
ING. MIGUEL PEREZ CASTRO

GERENTE GENERAL

CIP: 71671

Gerente General

Ing. Miguel Perez Castro -

DNI: 09404244

Av. Caudivilla Mz.T1 Lt.21 Urbanización Lucyana. Carabaylo - Lima Perú.

Ruc 20547307055

Central 915353788 / 981463228. Telf.:+51(01)7193172 / 7193173. Fax +51(01)7188994

e-mail [predimas@gmail.com](mailto:predimas@gmail.com) / [logistica@predimas.com](mailto:logistica@predimas.com) / Web: [www.predimas.com](http://www.predimas.com)

 Balanceo dinámico Perú -  Predimas



## ANEXO N.º 04: BASE DE DATOS

PRE TEST						
ESTADO DE MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS						
ID	PRE TEST Vibraciones (mm/s RMS)	PRE TEST Temperatura (°C)	PRE TEST Análisis de Aceite	PRE TEST Resistencia de Aislamiento (MΩ)	PRE TEST Flujo (l/min)	PRE TEST Corriente (A)
Motor de Inducción A1	3.2	65	Contaminado	95	40	18
Motor de Inducción A2	2.8	70	Normal	120	72	20
Motor de Inducción A3	4	75	Levemente contaminado	88	38	19
Motor de Inducción A4	3.5	68	Contaminado	92	45	21
Generador B1	2.5	66	Normal	100	43	18
Generador B2	3.1	72	Levemente contaminado	85	37	22
Generador B3	3.8	74	Normal	110	44	19
Compresor C1	2.9	69	Contaminado	93	41	20
Compresor C2	4.2	71	Levemente contaminado	87	39	21
Compresor C3	3	67	Normal	101	46	19
Bomba D1	3.3	73	Contaminado	94	40	22
Bomba D2	2.7	65	Levemente contaminado	98	42	18
Bomba D3	3.6	70	Normal	112	38	20
Transformador E1	3.9	68	Contaminado	90	43	21
Transformador E2	2.4	72	Normal	102	37	19
Transformador E3	3.4	75	Levemente contaminado	89	44	18
Ventilador F1	3.7	71	Contaminado	95	41	20
Ventilador F2	2.6	66	Normal	104	39	21
Ventilador F3	3.2	74	Levemente contaminado	92	45	19
Motor CC G1	4.1	70	Contaminado	86	40	22
Motor CC G2	2.8	69	Normal	97	42	18

POST TEST						
ESTADO DE MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS						
ID	POST TEST Vibraciones (mm/s RMS)	POST TEST Temperatura (°C)	POST TEST Análisis de Aceite	POST TEST Resistencia de Aislamiento (MΩ)	POST TEST Flujo (l/min)	POST TEST Corriente (A)
Motor de Inducción A1	2.0	60	Normal	100	42	17
Motor de Inducción A2	1.8	65	Normal	125	44	18
Motor de Inducción A3	2.5	68	Normal	95	40	18
Motor de Inducción A4	2.2	62	Normal	98	47	19
Generador B1	1.5	64	Normal	105	45	17
Generador B2	2.1	66	Normal	90	39	20
Generador B3	2.3	70	Normal	115	46	18
Compresor C1	1.9	63	Normal	98	43	19
Compresor C2	2.7	67	Normal	92	40	19
Compresor C3	1.8	64	Normal	105	48	18
Bomba D1	2.0	66	Normal	100	42	20
Bomba D2	1.6	61	Normal	102	44	17
Bomba D3	2.2	65	Normal	118	40	18
Transformador E1	2.4	62	Normal	95	45	19
Transformador E2	2.4	66	Normal	108	39	17
Transformador E3	1.4	68	Normal	92	46	18
Ventilador F1	2.1	67	Normal	100	43	19
Ventilador F2	2.3	64	Normal	107	40	19
Ventilador F3	1.7	70	Normal	98	47	18
Motor CC G1	2.0	65	Normal	90	42	20
Motor CC G2	2.6	63	Normal	102	44	17