



**DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN
LA CONFIABILIDAD, APLICADO A LOS MOTORES DE TIRO INDUCIDO EN LA
CENTRAL TERMOELÉCTRICA GECELCA 3.**

Nidia Milena Velandia Castro

Informe de práctica empresarial para optar al título de
Ingeniera Industrial

Asesor

Luis Fernando Córdoba Henao, Ingeniero electrónico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Medellín, Antioquia, Colombia

2025

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

Cita	(Velandia Castro, 2025)
Referencia	Velandia Castro. (2025). <i>Diseño De Una Política De Mantenimiento Predictivo, Centrado En La Confiabilidad, Aplicado Los Motores De Tiro Inducido En La Central Termoeléctrica Gecelca 3</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Caucaasia, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A Dios, por ser la fuente infinita de sabiduría, fortaleza y amor, quien guía mis pasos y me ilumina en cada desafío de la vida, gracias por tus bendiciones constantes, por enseñarme a confiar en tus tiempos perfectos y por llenar mi corazón de fe y esperanza.

A mi familia, el pilar de mi vida, por su amor incondicional, su apoyo incansable y por ser mi refugio en los momentos difíciles, quienes, con sus palabras de aliento, me inspiran para mejorar cada día. Este logro es tan suyo como mío.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una manera u otra, hicieron posible este logro. A mis compañeros, quienes con su trabajo en equipo, dedicación y apoyo constante se convirtieron en una fuente de apoyo invaluable. Juntos enfrentamos retos, aprendimos y crecimos, demostrando que la unión y la colaboración son clave para alcanzar nuestras metas, los llevo en mi corazón.

A mis amigos, por ser un refugio de alegría y ánimo. Gracias por sus palabras de aliento, su fe en mis capacidades y por recordarme siempre la importancia de disfrutar del proceso mientras trabajamos por nuestros sueños. Gracias.

A mis profesores y tutores quienes nunca escatimaron en compartir su conocimiento y experiencia, gracias por su dedicación, paciencia y apoyo a lo largo de este camino. A mi alma mater, la Universidad de Antioquia por abrir las puertas del conocimiento a todo aquel que quiera aprender y superarse, cada experiencia vivida ha sido fundamental para mi formación como profesional y como persona, siempre llevaré con orgullo los valores y conocimientos adquiridos.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a la empresa Gecelca 3 por brindarme la oportunidad de aplicar lo aprendido en la universidad y ponerlo en práctica en el ámbito laboral. Agradezco de manera muy especial al ingeniero Juan David Zárate, al ingeniero Carlos Orozco y a todo el equipo de trabajo, quienes apoyaron mi proceso de práctica, compartiendo generosamente su conocimiento y experiencia.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción	11
2. Objetivos	12
2.1 Objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. Marco teórico	13
3.1 Las Centrales Termoeléctricas y su Funcionalidad	13
3.2 Concepto general de mantenimiento	14
3.2.1 Importancia del mantenimiento	15
3.2.2 Tipos de mantenimiento.....	16
3.2.2.1 Mantenimiento Preventivo.	16
3.2.2.2 Mantenimiento Predictivo: Definición y Necesidad.	16
3.2.2.3 Mantenimiento Correctivo	17
3.2.2.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [RCM].....	17
3.3 Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF].....	18
3.4 Motores.....	20
3.5 Integración de Entrevistas en el Análisis del Mantenimiento	21
4. Metodología	22
4.1 Fases de Desarrollo de la Investigación	23
4.1.1 Fuentes de Información.....	23
4.1.2 Preguntas Diseñadas para las Entrevistas	24

4.1.3	Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF]	25
4.1.4	Diseño de la Política de Mantenimiento Predictivo.....	25
4.1.5	Validación	26
4.2	Cronograma.....	26
5.	Conclusiones y Recomendaciones	27
5.1	Características y Función de los Motores	28
5.1.1	Principales Modos de Falla y Causas.....	28
5.1.2	Impacto de las Fallas.....	28
5.1.3	Eficiencia del Mantenimiento Actual	28
5.2.	Optimización de Frecuencia de Mantenimiento.....	29
5.2.1	Implementación de Programas Predictivos.....	29
5.2.2	Gestión de Repuestos.....	29
5.2.3	Capacitación del Personal Técnico	29
5.2.4	Revisión de Sistemas Auxiliares.....	29
5.3	Resultados	29
5.3.1	Recomendaciones	33
	Referencias	34
	Anexos.....	36

Lista de figuras

Figura 1 Metodología22

Figura 2 Cronograma de actividades27

Figura 3 Componentes que falla y su acción pertinente31

Siglas, acrónimos y abreviaturas

A continuación, se presenta un listado de siglas, acrónimos y abreviaturas utilizadas en el presente trabajo. Cada uno se define la primera vez que se menciona en el texto para garantizar claridad y comprensión:

AMEF:	Análisis de Modos y Efectos de Fallas (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA)
RCM:	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance)
NPR:	Número de Prioridad de Riesgo (Risk Priority Number - RPN)
SAE:	Society of Automotive Engineers
CA:	Corriente Alterna
UdeA:	Universidad de Antioquia
MAINSAYER:	Sistema Computarizado para Administración de Mantenimiento (CMMS).

Resumen

Este trabajo se centró en la elaboración de una política de mantenimiento predictivo para los motores de tiro inducido en la Central Termoeléctrica Gecelca 3. Para ello, se realizó un análisis de datos históricos de fallas y mantenimientos previos, recopilados durante los últimos 8 años, con el objetivo de identificar patrones recurrentes que afectan la operatividad de estos motores. Se implementó el Análisis de Modos y Efectos de Fallas [AMEF] como herramienta clave para categorizar los modos de falla según su criticidad, permitiendo priorizar acciones de mantenimiento mediante la clasificación del Número de Prioridad de Riesgo [NPR]. Las estrategias diseñadas están orientadas a prevenir fallas, prolongar la vida útil de los equipos, optimizar los recursos disponibles y garantizar la confiabilidad de los motores bajo condiciones operativas exigentes. Esta política no solo mejora la eficiencia operativa de la planta, sino que también establece un modelo replicable para otros componentes similares dentro de la industria.

Palabras clave: Mantenimiento Predictivo, Motores de Tiro Inducido, Confiabilidad Operativa.

Abstract

This work focused on the development of a predictive maintenance policy for the induced draft motors at the Gecelca 3 Thermoelectric Plant. To achieve this, an analysis of historical failure and maintenance data collected over the past eight years was conducted, aiming to identify recurring patterns that affect the operational performance of these motors. The Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) was implemented as a key tool to categorize failure modes based on their criticality, enabling the prioritization of maintenance actions through the classification of the Risk Priority Number (RPN). The designed strategies are aimed at preventing failures, extending the lifespan of the equipment, optimizing available resources, and ensuring the reliability of the motors under demanding operational conditions. This policy not only enhances the operational efficiency of the plant but also establishes a replicable model for other similar components within the industry.

Keywords: Predictive Maintenance, Induced Draft Motors, Operational Reliability.

1. Introducción

Gecelca 3, una empresa dedicada a la generación y comercialización de energía eléctrica fue constituida en 2009 e inició sus operaciones en 2015. Ubicada en Puerto Libertador, en el departamento de Córdoba, esta central termoeléctrica se ha destacado como la primera en Colombia en utilizar calderas de lecho fluidizado para la combustión de carbón (Gecelca, 2008). Con una capacidad neta instalada de 434 Megavatios, representa el 8% del parque térmico nacional y cubre el 5% de la demanda energética del país, consolidándose como un actor clave en el sector energético colombiano. En este contexto de la central termoeléctrica, la operación continua y eficiente de Gecelca 3 depende, en gran medida, de la confiabilidad de sus equipos, entre los que se encuentran los motores de tiro inducido, estos componentes cumplen la función crítica de regular la presión interna de las calderas, garantizando una combustión óptima y un adecuado flujo de gases. Sin embargo, debido a las exigentes condiciones operativas, estos motores han estado expuestos a un desgaste acelerado y a fallas recurrentes, tanto mecánicas como eléctricas. Estas situaciones no solo han afectado el desempeño de los motores, sino que también han generado interrupciones no planificadas, incrementado costos operativos por mantenimientos correctivos y afectando la producción de energía.

En la realización de esta práctica académica se desarrolló una investigación cualitativa, orientada a analizar los patrones de fallas y diseñar estrategias de mantenimiento predictivo para estos motores. Por esta razón, se tomó como base los 37 motores de 6.3 Kilovoltios, instalados en la Central Termoeléctrica, el trabajo se centró en los motores de tiro inducido de la unidad 3.2, con énfasis en el análisis de los datos históricos de mantenimiento recopilados durante los últimos 8 años. En este análisis se identificaron 111 modos de fallas, lo que permitió priorizar los equipos críticos y definir un enfoque más eficiente para su mantenimiento.

La investigación se estructuró en tres fases principales. En la primera fase, se recopiló y analizó la información histórica. Posteriormente, se aplicó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas [AMEF] junto con el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo [NPR]. Finalmente, se diseñó una política de mantenimiento predictivo y un cronograma de acciones preventivas y predictivas, orientados a garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los motores de tiro inducido. Este enfoque metodológico permite, no solo optimizar los recursos operativos, sino

también establecer un modelo escalable para otros motores similares dentro de la planta termoeléctrica Gecelca 3.

2. Objetivos

Este apartado define las metas que orientan el desarrollo del trabajo, estableciendo un enfoque claro para abordar las necesidades de mantenimiento en los motores de tiro inducido. Los objetivos planteados buscaron optimizar la confiabilidad de los equipos mediante herramientas y metodologías técnicas adecuadas, garantizando un enfoque sistemático y eficiente.

2.1 Objetivo general

Elaborar una política de mantenimiento predictivo a los motores de tiro inducido de la Central Termoeléctrica Gecelca 3, mediante el análisis de datos históricos de fallas, implementando la metodología RCM y usando como principal herramienta un análisis del modo y efectos de fallas AMEF para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener datos técnicos, el historial de mantenimiento y los registros de las fallas, usando la información del sistema de mantenimiento Mainsarver, realizando indagación directa o entrevista al personal encargado del mantenimiento de los motores, con el fin de analizar las causas raíz de las fallas y establecer una base sólida para la implementación del mantenimiento predictivo.
- Identificar los modos de fallas, mediante el análisis del modo y efecto de falla [AMEF] para identificar los equipos de mayor criticidad
- Diseñar la política del mantenimiento predictivo y recomendar acciones para mejorar la confiabilidad de los equipos

3. Marco teórico

En el ámbito industrial, el mantenimiento de equipos es esencial para garantizar la continuidad operativa y la optimización de recursos, en particular, el mantenimiento predictivo y las metodologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [RCM] y el Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF] han ganado relevancia por su capacidad de prevenir fallas, mejorar la confiabilidad y reducir costos operativos. Este marco teórico aborda estas estrategias en el contexto de las centrales termoeléctricas, destacando su aplicación en motores de tiro inducido y sus componentes críticos para la operatividad de estas plantas (Kaewprapha et al., 2022; Pillado et al., 2022).

3.1 Las Centrales Termoeléctricas y su Funcionalidad

Las centrales termoeléctricas son instalaciones diseñadas para convertir energía térmica en energía eléctrica, utilizando recursos como carbón, gas natural, petróleo o biomasa. El calor generado impulsa una turbina conectada a un generador eléctrico. La eficiencia de este proceso depende de la confiabilidad de componentes clave como los motores de tiro inducido, Según Chefredakteur (2022), " El motor de inducción de tiro se introdujo cuando el gobierno ordenó estándares de eficiencia para los hornos."(párr. 9). Es decir, son los responsables de mover los gases de combustión hacia la chimenea (Toro & Céspedes, 2001). Estos motores enfrentan condiciones operativas exigentes, como altas temperaturas y vibraciones constantes, lo que aumenta su susceptibilidad a fallas (Barrera-Singaña et al., 2022).

Como lo menciona (Kaewprapha et al., 2022; como lo citó Barrera-Singaña et al., 2022).

La producción de energía eléctrica de manera clásica es enfocada a la transformación energética de un recurso primario, el cual puede ser de origen renovable como el agua o no renovable como el carbón, gas natural u otros combustibles de origen fósil. En las centrales termoeléctricas se utilizan diferentes máquinas motrices de vapor o gas, según sea el combustible a disposición. El vapor necesario para la central se produce en las calderas donde dentro de las mismas se encuentra agua a altas temperaturas y presiones, y el vapor se conduce por medio de tuberías adecuadas a los niveles de presión propios hacia las turbinas. (p.776)

Para garantizar una producción continua se necesita prevenir cualquier falla de los motores de tiro inducido, para que, de esta manera se mantenga la operación de la planta. Por esta razón, un solo fallo puede generar interrupciones no planificadas en la generación de energía, con pérdidas económicas que impactan tanto en los costos operativos como en la disponibilidad de energía para los usuarios finales. Además, estas fallas pueden tener implicaciones medioambientales al interrumpir el tratamiento adecuado de los gases de combustión. Por ello, se considera esencial la implementación de estrategias de mantenimiento avanzadas que garanticen la operatividad continua de estos componentes críticos.

3.2 Concepto general de mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de acciones y actividades destinadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones en un proceso de producción, permitiendo que este alcance su máximo rendimiento. Su objetivo principal es conservar o restaurar estos elementos, maximizando su vida útil y asegurando la continuidad del servicio que

proporcionan Olarte et al. (2010). En el contexto industrial, el mantenimiento es crucial para garantizar la operatividad de los equipos y el buen estado de las máquinas, que son fundamentales para la producción de bienes y servicios. En este orden de ideas, el mantenimiento predictivo es un enfoque proactivo basado en el monitoreo continuo de los equipos mediante herramientas tecnológicas avanzadas. Entre estas herramientas destacan los sensores de vibración, el análisis de aceite, la termografía infrarroja y los ultrasonidos. Estas tecnologías permiten recopilar datos en tiempo real sobre las condiciones operativas de los equipos, lo que facilita la identificación de fallas potenciales antes de que estas ocurran (Lecca, 2022).

3.2.1 Importancia del mantenimiento

En el contexto de las centrales termoeléctricas, el mantenimiento predictivo resulta especialmente valioso para garantizar la confiabilidad de los motores de tiro inducido. Estas unidades desempeñan un papel crucial en la circulación de gases de combustión, asegurando el correcto funcionamiento del sistema de generación de energía. Por otra parte, la detección temprana de anomalías, como desalineaciones o desgastes en componentes internos, permite realizar intervenciones oportunas que prolongan la vida útil de los equipos y evitan fallas catastróficas (Pillado et al., 2022).

El mantenimiento es fundamental para las industrias no solo para garantizar la operación continua y eficiente de los equipos, máquinas y sistemas, sino también para mejorar la rentabilidad, la seguridad y la sostenibilidad a largo plazo, algunas de sus funciones más relevantes son:

- Aumento de la vida útil de los equipos y máquinas
- Prevención de fallas o paradas no planificadas

- Reducción de costos operativos
- Mejoramiento de la calidad de productos y servicios
- Sostenibilidad y responsabilidad ambiental

3.2.2 Tipos de mantenimiento

Existen varios tipos de mantenimiento que se aplican según las necesidades y los objetivos específicos de una planta, industria o instalación. Cada tipo tiene características y enfoques diferentes, pero todos buscan garantizar la fiabilidad y eficiencia de los equipos, los principales tipos de mantenimiento son:

- Preventivo
- Predictivo
- Correctivo

3.2.2.1 Mantenimiento Preventivo. Su principal finalidad es conservar y prolongar la vida útil de máquinas, equipos o infraestructura. De acuerdo con Pillado et al. (2022) “En la actualidad, la implementación del mantenimiento preventivo dentro de la industria es fundamental para minimizar las averías en la maquinaria” (p. 3) de esta forma reducir los costos de parada de producción no programados y sobrecostos en mantenimiento correctivo. Dentro de las acciones que se realizan en el mantenimiento preventivo están las revisiones periódicas, ajustes, limpieza y cambio de piezas o partes desgastadas, estas actividades se deben realizar antes de que los equipos fallen o se dañen.

3.2.2.2 Mantenimiento Predictivo: Definición y Necesidad. El programa de mantenimiento predictivo se basa en la gestión eficiente de los recursos y la ejecución de actividades de mantenimiento no invasivas con el propósito de identificar y anticiparse a posibles fallos en los sistemas. (Lecca, 2022). Este enfoque permite implementar estrategias orientadas a prevenir

problemas antes de que ocurran, minimizando interrupciones operativas, se prioriza el análisis continuo de datos y la utilización de tecnologías avanzadas para monitorear el estado de los equipos, optimizando así la planificación y la toma de decisiones en el mantenimiento.

El objetivo principal del mantenimiento predictivo es optimizar los recursos y garantizar la continuidad operativa. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se basa en calendarios fijos de intervención, el predictivo utiliza datos operativos reales para programar acciones de mantenimiento. Esto no solo reduce los costos asociados con intervenciones innecesarias, sino que también minimiza las interrupciones en la operación de los equipos (Martínez et al., 2024).

3.2.2.3 Mantenimiento Correctivo

Es diferente al mantenimiento preventivo y predictivo debido a sus limitaciones inherentes. Este enfoque reactivo implica esperar a que ocurra una falla antes de intervenir, lo que puede resultar en paros no planificados, pérdida de productividad y altos costos de reparación. Así mismo, las fallas pueden tener consecuencias colaterales, como daños adicionales a los equipos interconectados o riesgos para la seguridad del personal operativo. Por estas razones, la transición hacia métodos preventivos y predictivos se ha vuelto imperativa en industrias que dependen de la alta disponibilidad de sus activos, como las centrales termoeléctricas. El mantenimiento preventivo, basado en calendarios y ciclos de vida estimados de los equipos, ayuda a mitigar algunas de estas fallas, pero no ofrece la misma precisión y personalización que el mantenimiento predictivo. Este último, al apoyarse en el monitoreo en tiempo real y análisis de datos, no solo identifica fallas incipientes, sino que también optimiza recursos y minimiza tiempos de inactividad.

No obstante, el mantenimiento correctivo sigue siendo necesario en casos donde las fallas no pueden ser previstas o cuando los costos de intervención preventiva son mayores que los riesgos asociados a una falla eventual. Por ello, su aplicación estratégica y combinada con enfoques modernos asegura una gestión eficiente de los activos.

3.2.2.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [RCM]. Por sus siglas en inglés: Reliability-Centered Maintenance es una metodología estructurada que busca maximizar la confiabilidad y el rendimiento de los activos mediante el análisis de sus modos de falla y la implementación de estrategias de mantenimiento adaptadas a sus necesidades específicas. Este enfoque se basa en el principio de que no todos los equipos requieren el mismo tipo de

mantenimiento, y que las estrategias deben priorizarse según la criticidad del activo y las consecuencias de su falla (Kaewprapha et al., 2022).

El proceso de implementación del RCM incluye varias etapas clave:

- **Identificación de activos críticos:** En esta fase, se determina qué equipos son esenciales para la operación de la planta. Los motores de tiro inducido, por ejemplo, se consideran críticos debido a su impacto directo en la eficiencia del proceso de generación de energía.
- **Análisis de modos de falla:** Se identifican las posibles formas en que un equipo puede fallar, considerando tanto fallos mecánicos como eléctricos. Este análisis permite comprender las causas y las implicaciones de cada tipo de falla.
- **Evaluación de consecuencias:** Una vez identificados los modos de falla, se analizan sus efectos en términos de seguridad, impacto ambiental y costos operativos. Esto ayuda a priorizar las acciones de mantenimiento.
- **Selección de estrategias de mantenimiento:** Finalmente, se diseñan estrategias adaptadas a las necesidades de cada activo, ya sea mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo (Pillado et al., 2022).

El RCM no solo mejora la confiabilidad de los equipos, sino que también optimiza los recursos al enfocar los esfuerzos de mantenimiento en los activos que realmente lo necesitan. Esto resulta particularmente útil en plantas termoeléctricas, donde los recursos y el tiempo son factores críticos (Toro & Céspedes, 2001).

3.3 Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF]

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF] es una herramienta esencial dentro del enfoque RCM. Este método permite identificar y priorizar los modos de falla más críticos en un

sistema, asegurando que se implementen acciones preventivas efectivas para mitigar los riesgos asociados (Martínez et al., 2024).

El proceso de implementación del AMEF incluye:

- **Identificación de modos de falla:** Se analizan las formas en que los componentes pueden fallar, considerando factores como el desgaste, la fatiga o las condiciones operativas extremas.
- **Evaluación del impacto:** Cada modo de falla se evalúa en función de su impacto en el sistema general. Por ejemplo, una falla en los rodamientos de un motor de tiro inducido podría generar vibraciones que afecten otros componentes.
- **Clasificación de riesgos:** Los riesgos se clasifican según su severidad, la probabilidad de ocurrencia y la capacidad de detección. Esto ayuda a priorizar las fallas más críticas.
- **Definición de acciones correctivas y preventivas:** Con base en el análisis, se diseñan estrategias para mitigar los riesgos asociados con las fallas más relevantes (Cardona García, 2023).

En el contexto de las centrales termoeléctricas, el AMEF resulta particularmente útil para abordar las fallas en los motores de tiro inducido, ya que permite optimizar las estrategias de mantenimiento y garantizar la operatividad continua de estos componentes críticos. Las herramientas de Monitoreo Predictivo dependen de una serie de herramientas tecnológicas que permiten monitorear las condiciones de los equipos en tiempo real. Algunas de las más destacadas incluyen:

- **Monitoreo de vibraciones:** Detecta desbalanceos, desalineaciones y defectos en los rodamientos de los motores. Estas anomalías pueden indicar fallas inminentes y permiten intervenir antes de que el problema se agrave.
- **Análisis de aceite:** Identifica contaminantes y desgaste en los componentes internos de los equipos. Esta información es crucial para evaluar el estado general del motor.

- **Termografía infrarroja:** Permite detectar puntos calientes en equipos eléctricos y mecánicos, lo que ayuda a identificar problemas de sobrecalentamiento.
- **Análisis ultrasónico:** Se utiliza para detectar fugas y fallas en componentes mecánicos, como rodamientos y juntas (Pérez & Gómez, 2023).

Estas herramientas no solo mejoran la capacidad de detección de fallas, sino que también permiten planificar intervenciones de manera eficiente, reduciendo los tiempos de inactividad y mejorando la confiabilidad de los sistemas, por eso, la disponibilidad y la confiabilidad son indicadores clave de desempeño en las centrales termoeléctricas, mientras que la disponibilidad mide el tiempo que un equipo está operativo, la confiabilidad evalúa su capacidad para funcionar sin fallas durante un período determinado. Ambos factores son esenciales para minimizar los tiempos de inactividad, reducir los costos operativos y garantizar la continuidad en la generación de energía (Barrera-Singaña et al., 2022).

3.4 Motores

En cuanto a las máquinas eléctricas, los motores eléctricos son dispositivos rotativos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, variando en tamaño y potencia según su aplicación (Cardona García, 2023). Entre ellos, los motores eléctricos trifásicos, que funcionan mediante un sistema de alimentación trifásica de corriente alterna [CA], son ampliamente utilizados en la industria por su alta eficiencia y capacidad para generar grandes cantidades de potencia. En el caso de los motores de tiro inducido, mantener altos niveles de disponibilidad y confiabilidad es fundamental para evitar interrupciones en la operación de la planta. La implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, respaldadas por herramientas tecnológicas avanzadas, es clave para alcanzar estos objetivos (Toro & Céspedes, 2001).

Ventiladores de tiro inducido se ubica en la salida de la caldera, aspira los gases de la combustión y los envían a la chimenea, siendo por tanto de hogar en depresión. Está instalado en las proximidades de la chimenea, asegura junto con esta, el tiro necesario en ese punto.

La política de mantenimiento predictivo para los motores de tiro inducido de la central termoeléctrica Gecelca 3 se elabora utilizando como base el análisis de datos históricos de fallas.

Además, se implementó la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [RCM], usando un Análisis del Modo y Efectos de Fallas [AMEF] como herramienta principal. Este enfoque permite identificar y priorizar fallas críticas, estableciendo estrategias efectivas para prevenirlas. Se espera que, con los resultados, se mejore la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, optimizando su desempeño y reduciendo tiempos de inactividad en la planta. El política proporciona lineamientos claros y procedimientos detallados.

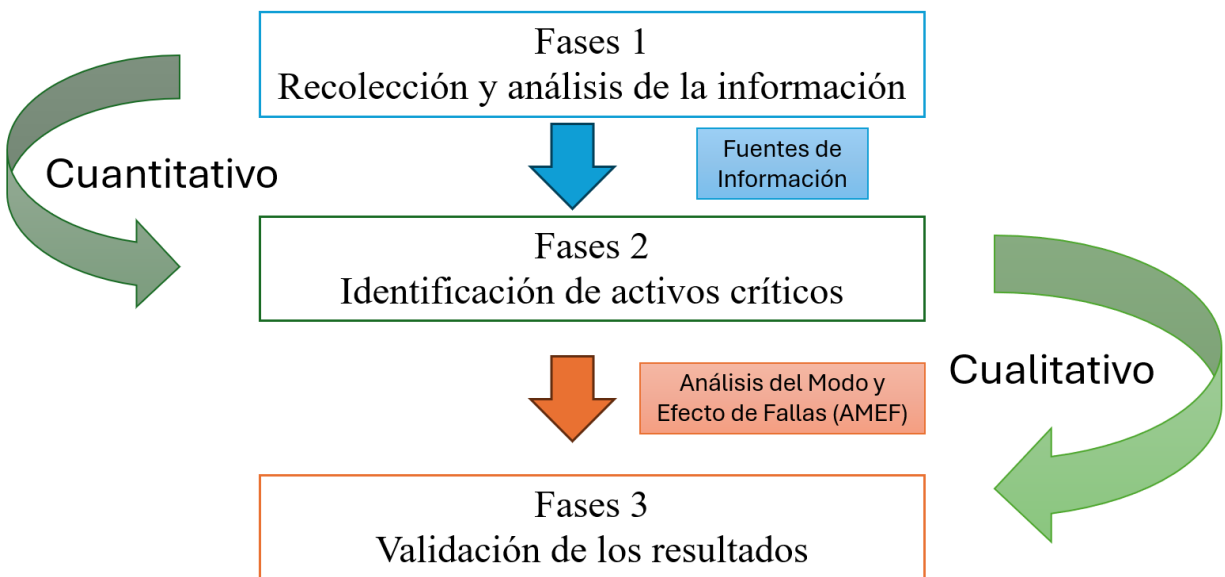
3.5 Integración de Entrevistas en el Análisis del Mantenimiento

La realización de entrevistas a expertos en mantenimiento, como técnicos y supervisores, resulta una herramienta valiosa para complementar las metodologías formales de análisis. A través de este enfoque cualitativo, es posible recopilar información sobre patrones de fallas recurrentes, desafíos específicos en la implementación de estrategias de mantenimiento y soluciones prácticas que no suelen documentarse en los registros técnicos, como las fallas de los componentes del motor y no la falla del motor en sí. En ese orden de ideas, el autor Cardona García (2023), resalta que el personal operativo a menudo son los que más identifican las anomalías sutiles que preceden a fallas significativas, lo cual enriquece la comprensión técnica y permite anticipar intervenciones más efectivas. Además, las entrevistas facilitan la adaptación de estrategias teóricas a las condiciones operativas reales de las plantas, considerando factores como limitaciones presupuestarias, disponibilidad de recursos y carga laboral. Este proceso de retroalimentación contribuye a optimizar las políticas de mantenimiento y a elaborar política es que reflejen tanto la teoría como las experiencias prácticas. Por lo tanto, integrar esta perspectiva cualitativa fortalece la eficiencia y la efectividad de los programas de mantenimiento predictivo y preventivo. De este modo el diseño de una política de mantenimiento predictivo para motores de tiro inducido debe integrar las metodologías de RCM y AMEF, así como el uso de datos históricos y tecnologías avanzadas de monitoreo. Este enfoque no solo optimiza los costos operativos y mejora la confiabilidad de los equipos, sino que también contribuye a la sostenibilidad y eficiencia a largo plazo de las operaciones.

4. Metodología

El diseño de la investigación fue de tipo descriptivo y aplicado, orientado a abordar un problema práctico en el contexto de la confiabilidad y disponibilidad de los motores de tiro inducido en la Central Termoeléctrica Gecelca 3. Igualmente, el enfoque cualitativo le permitió detallar y analizar las características de los patrones de fallas y las estrategias de mantenimiento actuales, mientras que la naturaleza aplicada buscó transformar los hallazgos en una política operativa. En el diseño propuesto, se priorizó una combinación de análisis cualitativo y cuantitativo. El análisis cualitativo incluyó entrevistas con el personal técnico, observaciones en la planta y recopilación de conocimientos prácticos, mientras que el análisis cuantitativo se centró en la interpretación de datos históricos extraídos del sistema de mantenimiento Mainsaver, a continuación, se resumen en la figura 1.

Figura 1
Metodología



Fuente: propia

Esa combinación garantizó que los resultados no solo se fundamentaran en datos concretos, sino que también consideró las condiciones operativas reales y el conocimiento de expertos encargados del mantenimiento.

El diseño también contempló la validación de la política de mantenimiento a través de un proceso iterativo, en el cual los hallazgos iniciales fueron presentados a los expertos para recibir

retroalimentación. Esto permitió refinar y optimizar las recomendaciones antes de su implementación definitiva. Por último, el diseño consideró un enfoque de sostenibilidad y mejora continua, alineado con las necesidades a largo plazo de la planta.

4.1 Fases de Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de la investigación se estructuró en diferentes fases que permitieron abordar de manera sistemática los objetivos planteados. Cada etapa fue diseñada para garantizar la recopilación, análisis e interpretación de la información necesaria, asegurando la coherencia y la calidad del proceso investigativo. Las fases estuvieron orientadas a generar resultados significativos y aplicables, permitiendo un análisis integral de las problemáticas asociadas a los motores de tiro inducido en la Central Termoeléctrica.

4.1.1 Fuentes de Información

La investigación integró tanto fuentes primarias como secundarias para garantizar una base sólida de análisis. Las fuentes primarias incluyeron datos técnicos, manuales de mantenimiento del fabricante, observaciones directas y entrevistas semiestructuradas realizadas al personal de mantenimiento. Microsoft Excel se utilizó como herramienta para almacenar registros detallados sobre fallas, historial de mantenimiento y tiempos de inactividad. Estos datos permitieron identificar patrones recurrentes de fallas y correlacionarlos con las estrategias de mantenimiento actuales, considerando el historial de fallas, los tiempos de inactividad y las actividades de mantenimiento realizadas.

El análisis comenzó con una base de datos que incluyó todos los motores de la Central Termoeléctrica Gecelca 3, identificando un total de 37 motores de 6.3 kilovoltios. Se seleccionaron como objeto de estudio las dos unidades de motores de tiro inducido de la unidad 3.2, debido a su relevancia operativa. Posteriormente, se recopilaron y clasificaron todos los registros de mantenimiento preventivo y correctivo realizados a estos motores en los últimos 8 años, organizando los datos según su relevancia para identificar patrones recurrentes y fallas críticas.

Además, se realizaron entrevistas semiestructuradas con 15 miembros del personal técnico, entre ellos mecánicos, electricistas y especialistas en instrumentación y control. Estas entrevistas

permitieron explorar las percepciones sobre las prácticas de mantenimiento actuales, identificar barreras para implementar estrategias predictivas y recopilar sugerencias basadas en la experiencia práctica del personal. Las observaciones directas en la planta complementaron la información obtenida, verificando las condiciones reales de la operación, los procedimientos y los recursos disponibles. Por otro lado, las fuentes secundarias incluyeron revisiones bibliográficas de artículos académicos, estudios técnicos y políticas que fueron relacionados con el mantenimiento predictivo. Estas revisiones proporcionaron un marco teórico que complementó los datos prácticos obtenidos en el campo. Finalmente, las observaciones directas y las entrevistas cualitativas permitieron validar la información recolectada y contrastar las condiciones operativas reales con los registros técnicos, ofreciendo una perspectiva integral para el desarrollo de estrategias efectivas de mantenimiento.

4.1.2 Preguntas Diseñadas para las Entrevistas

Como parte fundamental del desarrollo del plan de mantenimiento predictivo, las entrevistas semiestructuradas con el personal técnico desempeñaron un papel clave en la obtención de información cualitativa. Este enfoque permitió capturar datos empíricos y perspectivas prácticas sobre el estado y las necesidades específicas de los motores de tiro inducido en la Central Termoeléctrica Gecelca 3. Las preguntas diseñadas para estas entrevistas se estructuraron con base en el marco de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad [RCM] y el Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF]. El cuestionario incluyó 15 preguntas, ver anexo 1, que abordaron aspectos técnicos, operativos y estratégicos. En ese orden de ideas, las primeras preguntas exploraron características esenciales de los motores, como su tipo y funciones principales, lo que permitió contextualizar la importancia de estos equipos en el proceso de generación de energía. Posteriormente, se profundizó en aspectos relacionados con las fallas, como las formas en que pueden fallar, las causas principales y las consecuencias operativas de estas fallas. Además, se preguntó sobre la frecuencia de las fallas recurrentes y su impacto en la disponibilidad de los motores, proporcionando información valiosa para priorizar modos de falla en el análisis AMEF.

La otra sección de preguntas se enfocó en evaluar la efectividad de los planes de mantenimiento actuales y la percepción del personal sobre su suficiencia técnica. Esto incluyó

consultas sobre la frecuencia ideal de mantenimiento, las piezas más propensas a fallar y los problemas relacionados con la disponibilidad de repuestos. Por último, se incluyó un espacio para que los entrevistados proporcionaran recomendaciones personales, enriqueciendo el análisis con sugerencias prácticas y experiencias no documentadas.

Estas preguntas no solo permitieron identificar puntos críticos en los motores de tiro inducido, sino que también contribuyeron al diseño de estrategias adaptadas a las condiciones reales, la operación y a las necesidades específicas del personal técnico.

4.1.3 Análisis del Modo y Efecto de Fallas [AMEF]

Una vez recolectados los datos, se procedió a realizar el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). Este análisis, permitió identificar los modos de falla más críticos y evaluar sus consecuencias potenciales en la operatividad de los motores. Cada modo de falla fue clasificado según su probabilidad de ocurrencia, severidad y capacidad de detección, asignando una prioridad a los riesgos identificados. Del mismo modo, el AMEF proporcionó un marco estructurado para el diseño de estrategias de mitigación. Por ejemplo, se identificó que un modo de falla recurrente estaba relacionado con el desgaste de componentes internos debido a la falta de lubricación, inspecciones regulares y el uso de sensores de monitoreo de lubricantes. Este enfoque aseguró que las estrategias propuestas estuvieran alineadas con los hallazgos empíricos y contribuyeran directamente a mejorar la confiabilidad de los motores.

4.1.4 Diseño de la Política de Mantenimiento Predictivo

El diseño de la política de mantenimiento predictivo constituyó la fase culminante del proyecto, en la cual integró toda la información recolectada y analizada. Este documento fue estructurado en secciones claras y comprensibles para garantizar su aplicación efectiva. En la primera sección, incluyó una introducción que contextualizó la importancia del mantenimiento predictivo en la Central Termoeléctrica y específicamente en los motores de tiro inducido.

Posteriormente, una descripción detallada de los componentes críticos de estos motores, destacando su relevancia en la operatividad general de la planta. La política también incorporó un conjunto de guías prácticas para implementar estrategias de mantenimiento predictivo basadas en los principios del RCM y el AMEF. Estas guías incluyeron:

- Procedimientos para el uso de herramientas de monitoreo como sensores de vibración, termografía y análisis de aceite.
- Recomendaciones específicas para inspecciones periódicas y reparaciones programadas.

4.1.5 Validación

La fase de validación tuvo como objetivo garantizar que la política de mantenimiento predictivo sea funcional, práctico y alineado con las necesidades específicas de la planta. Para ello, se llevaron a cabo reuniones con el personal técnico, las pruebas piloto en motores seleccionados no se pudieron realizar debido a que la parada de mantenimiento se ha reprogramado desde el mes de octubre en más de tres ocasiones. Estas pruebas permiten evaluar la efectividad de las recomendaciones y realizar ajustes en función de los resultados obtenidos.

Durante las pruebas piloto, se debe monitorear el desempeño de los motores y registrar cualquier mejora en su disponibilidad y confiabilidad.

Los comentarios obtenidos durante esta etapa deben ser analizados minuciosamente y utilizados para refinar el contenido de la política. Este enfoque iterativo asegura que el producto final no solo sea técnicamente sólido, sino también práctico y adaptable a las condiciones específicas de la operación. La política fue presentada como una herramienta oficial para el mantenimiento predictivo en la planta termoeléctrica.

4.2 Cronograma

El cronograma fue elaborado como una herramienta clave para la planificación y organización de las actividades del proyecto. Este documento detalló las fases principales y asignó

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

tiempos específicos para cada tarea. La estructura del cronograma permitió un seguimiento eficiente del progreso, asegurando que todas las actividades se desarrollaran en los plazos establecidos y cumplieran con los objetivos del proyecto de manera oportuna. Además, sirvió como una guía para coordinar esfuerzos y optimizar los recursos disponibles.

Figura 2
Cronograma de actividades (semanas).

ACTIVIDAD	INICIO DEL PLAN	DURACIÓN DEL PLAN	INICIO REAL	DURACIÓN REAL	PERIODOS																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Reunión inicial con el equipo de trabajo	1	2	1	2	■	■																						
Diseño de las entrevistas semiestructuradas	1	1	1	1		■																						
Configuración de acceso al sistema Meanserver	2	1	2	1			■																					
Desarrollo de cronogramas específicos para cada actividad	2	2	2	2			■	■																				
Revisión inicial de literatura para contextualización del proyecto	4	2	4	2				■	■																			
Descarga y organización de datos históricos del sistema Meanserver	5	2	5	2					■	■																		
Realización de entrevistas al personal técnico.	6	2	6	2						■	■																	
Observaciones directas en la planta para verificar condiciones operativas	7	2	7	2							■	■																
Recolección de datos adicionales necesarios.	8	2	8	2								■	■															
- Clasificación y análisis de los datos del sistema Meanserver	8	2	8	2									■	■														
Identificación de patrones de fallas y puntos críticos.	10	2	10	2										■	■													
Transcripción y síntesis de información cualitativa obtenida en entrevistas	11	3	11	3											■	■	■											
Consolidación de datos obtenidos	14	2	14	2												■	■											
Aplicación del Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF).	16	1	16	1													■											
Clasificación de fallas según su criticidad.	17	1	17	1														■										
Priorización de riesgos y diseño de estrategias de mitigación	18	1	18	1															■									
Verificación de resultados preliminares del AMEF.	19	1	19	1																■								
Estructuración del manual de mantenimiento predictivo.	20	1	20	1																	■							
Elaboración de guías prácticas y diagramas.	21	1	21	1																		■						
Diseño del plan de capacitación para el personal técnico.	22	1	22	1																			■					
Integración de recomendaciones basadas en los datos recolectados	22	1	22	1																				■				
Presentación del manual a expertos para retroalimentación.	23	1	23	1																					■			
Realización de pruebas piloto en motores seleccionados.	23	1	23	1																						■		
Incorporación de ajustes finales según resultados obtenidos	24	1	24	1																						■		
Preparación del manual final para implementación.	24	1	24	1																						■		

Fuente: propia

5. Conclusiones y Recomendaciones

A lo largo de las practicas académicas se analizó la operatividad y mantenimiento de los motores de tiro inducido en la Central Termoelectrica Gecelca 3. El estudio permitió identificar las principales causas y modos de falla, así como evaluar la efectividad de las estrategias de mantenimiento actuales. A partir de esta investigación, se generaron propuestas orientadas a

optimizar los procesos de mantenimiento, mejorar la confiabilidad de los equipos y garantizar su funcionamiento bajo condiciones operativas exigentes. Las conclusiones aquí presentadas buscan proporcionar una base sólida para la implementación de un plan de mantenimiento predictivo centrado en la confiabilidad, que permita reducir riesgos, prolongar la vida útil de los equipos y optimizar los recursos disponibles en la planta. A continuación, se detallan los resultados de la entrevista:

5.1 Características y Función de los Motores

Teniendo en cuenta que los ventiladores de tiro inducido en la Central Termoeléctrica Gecelca 3 están equipados con motores eléctricos de corriente alterna, diseñados para operar bajo condiciones extremas de carga y temperatura. Su función principal es mantener la presión en el sistema de calderas, permitiendo la adecuada extracción de los gases de combustión hacia la chimenea.

5.1.1 Principales Modos de Falla y Causas

Los modos de falla más recurrentes incluyen el desgaste de componentes como cojinetes, acumulación de suciedad en las aspas, fallos eléctricos y problemas en los sistemas auxiliares, como los motores de refrigeración forzada y los variadores de velocidad. Las principales causas se atribuyen a la falta de mantenimiento preventivo, acumulación de partículas abrasivas, desbalanceo mecánico y fallas en la lubricación de los cojinetes.

5.1.2 Impacto de las Fallas

La falla de estos equipos tiene graves consecuencias operativas, como paradas no planificadas, aumento de la presión interna del sistema y riesgos de daños a otros equipos. Estos eventos generan altos costos de reparación y pérdida de producción, además de posibles penalizaciones por incumplimientos operativos.

5.1.3 Eficiencia del Mantenimiento Actual

El mantenimiento actual es considerado técnicamente eficiente y adecuado, según las respuestas del personal. Las intervenciones están planificadas con base en la criticidad de los equipos, lo que permite mantener una baja tasa de fallas y asegurar la continuidad operativa.

5.2. Optimización de Frecuencia de Mantenimiento

Se recomienda realizar inspecciones visuales y limpieza de componentes de manera mensual, ejecutar mantenimiento preventivo completo cada 3-6 meses y monitorear los equipos en tiempo real desde el sistema DCS. Estas medidas asegurarán la prevención de fallas recurrentes y prolongarán la vida útil de los equipos.

5.2.1 Implementación de Programas Predictivos

Se sugiere fortalecer el programa de mantenimiento predictivo mediante el monitoreo continuo de vibraciones, temperaturas y niveles de lubricación. Esto permitirá anticipar fallas incipientes y planificar intervenciones oportunas.

5.2.2 Gestión de Repuestos

Se considera fundamental mantener un stock adecuado de repuestos críticos, como filtros de aceite y componentes del sistema de lubricación. En caso de no disponer de ellos, garantizar la redundancia operativa para minimizar el impacto de los tiempos de reposición. Asimismo, contar con proveedores confiables y efectivos que pudieran suministrar rápidamente repuestos en caso de emergencia.

5.2.3 Capacitación del Personal Técnico

Es esencial implementar programas de capacitación para el personal técnico, enfocados en el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y en la correcta aplicación de estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo.

5.2.4 Revisión de Sistemas Auxiliares

Dado que las fallas pueden originarse en sistemas auxiliares, como la unidad de lubricación o los motores de refrigeración forzada, es importante integrarlos dentro del plan de mantenimiento predictivo para garantizar su correcto funcionamiento.

5.3 Resultados

En este trabajo se realizó un análisis crítico de los componentes y modos de falla identificados en los motores, utilizando el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) y el enfoque del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Este procedimiento se llevó a cabo en varias etapas que permitieron identificar, evaluar y priorizar los fallos, así como proponer estrategias de mantenimiento adecuadas para cada caso. Trabajando de la mano con el equipo multidisciplinario de la empresa, se contó con la experiencia del personal con conocimiento del proceso. Utilizando los datos del formato Correctivos motores (ver anexo 3), Se revisó para cada componente los posibles modos de fallo, que representan las formas en las que el proceso podría fallar. Con base en esto, se asignaron valores a los siguientes criterios.

- Severidad (S): Impacto del fallo (1: menor, 10: catastrófico).
- Ocurrencia (O): Probabilidad de que ocurra el fallo (1: muy poco probable, 10: muy probable).
- Detección (D): Probabilidad de detectar el fallo antes de que cause daño (1: muy probable, 10: muy improbable).

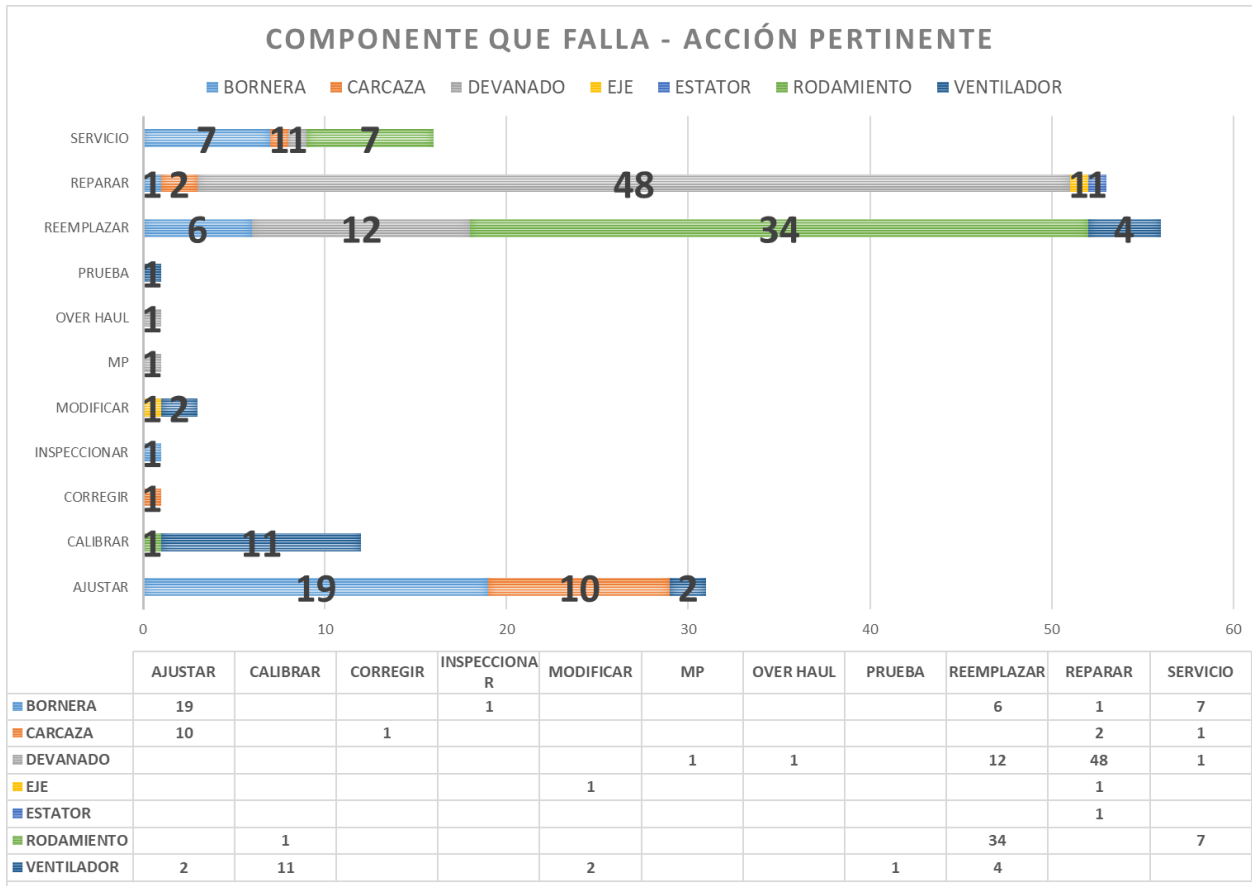
Primero, se identificaron los componentes clave, sus modos de falla, las posibles causas y los efectos asociados. Para cada fallo identificado, se asignaron valores a tres parámetros fundamentales: Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D). Estos valores se establecieron en una escala del 1 al 10, de acuerdo con su impacto operativo, la probabilidad de ocurrencia y la facilidad de detección antes de que ocurran, respectivamente.

El cálculo del NPR se realizó utilizando la fórmula estándar, es un indicador numérico calculado en el Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF), se utilizó para priorizar fallos basándose en su severidad, probabilidad de ocurrencia y probabilidad de detección. La fórmula es:

$$\text{NPR} = \text{S(Severidad)} \times \text{O(Ocurrencia)} \times \text{D(Detección)}.$$

El enfoque del análisis identifica a los componentes individuales, como contactores y cables alimentadores, como los puntos críticos de fallo, en lugar de evaluar únicamente el motor de forma global. Este nivel de detalle permite diagnosticar las fallas de manera más precisa y desarrollar estrategias de mantenimiento específicas para cada componente, optimizando los recursos y la confiabilidad operativa, como se parecía en la siguiente Figura 3.

Figura 3
Componentes que falla y su acción pertinente



Fuente: propia

Con base en esta información se calculan los fallos con un NPR para determinar cuales tienen los niveles más elevados para priorizar, logrando con esto garantizar intervenciones inmediatas según sea posible en cada caso. Los valores obtenidos se clasificaron de la siguiente manera:

- NPR > 150: Fallos críticos que requieren acciones correctivas inmediatas o estrategias de mantenimiento predictivo/preventivo.
- NPR entre 50 y 150: Fallos moderados que demandan acciones planificadas.
- NPR < 50: Fallos de bajo riesgo, manejables mediante monitoreo o mantenimiento correctivo ocasional.

Tabla. Análisis AMEF y resultados del NPR

Componente	Modo de Falla principal	Causas del Falla	Efectos del Falla	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR
Devanado	Sobrecalentamiento	Sobrecarga eléctrica	Daño en el aislamiento y falla del motor	8	5	4	160
Ventilador	Bloqueo de aspas	Acumulación de suciedad	Sobrecalentamiento del motor y Balancear Motor	8	5	3	120
Bornera	Aflojamiento conexiones	Vibraciones y temperatura	Pérdida de continuidad eléctrica	6	5	5	150
Rodamiento	Desgaste excesivo	Falta de lubricación	Vibraciones y daño mecánico en el motor	7	6	4	168
Carcasa	Corrosión	Exposición a humedad	Pérdida de rigidez estructural	5	4	4	80
Eje	Desalineación	Sobrecarga o impacto	Vibraciones y fallo mecánico	5	4	3	60
Estator	Cortocircuito	Fallo en el aislamiento	Falla total del motor	10	4	1	40

Fuente: propia

La tabla presentada analiza los componentes críticos del motor eléctrico, identificando modos de falla, causas, efectos y su priorización mediante el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Este enfoque desglosa elementos individuales como el devanado, ventilador, bornera, rodamiento, carcasa, eje y estator, permitiendo un análisis detallado y enfocado. Los modos de falla incluyen problemas como sobrecalentamiento en el devanado, bloqueo de aspas en el ventilador, aflojamiento de conexiones en la bornera y desgaste excesivo en los rodamientos, entre otros. Las causas, como la sobrecarga eléctrica, la acumulación de suciedad, vibraciones, falta de lubricación o exposición a humedad, destacan vulnerabilidades operativas específicas. Los efectos varían desde pérdidas de continuidad eléctrica y fallos mecánicos hasta la parada total del motor, subrayando la importancia de un mantenimiento dirigido. Los componentes con mayor NPR, como los rodamientos (168) y la bornera (150), son clasificados como críticos debido a sus altos valores de severidad, ocurrencia y detección, lo que exige estrategias de mantenimiento predictivo y preventivo. Por otro lado, elementos como la carcasa (80) y el eje (60), con menores

valores de NPR, pueden gestionarse con inspecciones periódicas menos intensivas. Este análisis revela que, aunque componentes como el estator tienen alta severidad, su fácil detección disminuye su riesgo general. En contraste, fallos como el desgaste en rodamientos, con una ocurrencia alta y detección limitada, representan riesgos significativos para la operatividad del sistema, por eso, la necesidad de priorizar la optimización de la asignación de recursos de mantenimiento, orientando intervenciones hacia los puntos más críticos, mientras que los menos relevantes se gestionan con técnicas estándar. Este enfoque estructurado no solo mejora la confiabilidad del motor, sino que también garantiza una mayor eficiencia operativa, prolongando la vida útil de los componentes y reduciendo tiempos de inactividad no planificados.

5.3.1 Recomendaciones

Se recomienda que esta política de mantenimiento predictivo sea dinámica para garantizar su efectividad y adaptabilidad a lo largo del tiempo. Debido a, que es necesario realizar actualizaciones periódicas basadas en la experiencia operativa, el análisis de datos históricos y los avances tecnológicos. Una política de mantenimiento dinámica permite ajustarse a las condiciones cambiantes de los equipos y del entorno operativo, asegurando que las estrategias implementadas sigan siendo relevantes. De ahí la razón, para incorporar la retroalimentación del personal técnico y las lecciones aprendidas de fallas previas, se promueve la mejora continua, se optimizan los recursos disponibles y se fortalece la confiabilidad y eficiencia de los sistemas.

Referencias

- Arrow Electronics. (2021, 13 de agosto). Motores de CC con escobillas y cómo accionarlos. Arrow.com. Recuperado de <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/brushed-dc-motors-and-how-to-drive-them>
- Barrera-Singaña, C., Reinoso, P., Tamayo, P., & Jaramillo-Monge, M. D. (2022). Rendimiento de una central termoeléctrica de ciclo combinado basado en su modelo energético. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(2), 774-787. <https://pure.ups.edu.ec/es/publications/rendimiento-de-una-central-termoel%C3%A9ctrica-de-ciclo-combinado-basa>
- Cardona García, J. S. (2023). Técnicas para la detección de fallas en máquinas eléctricas rotativas de corriente alterna usando tecnologías de la industria 4.0. <http://hdl.handle.net/20.500.12237/2561>
- Chefredakteur. (2022). ¿Cuál es la diferencia entre tiro forzado e inducido? Resumenea. Recuperado de <https://resumenea.com/cual-es-la-diferencia-entre-tiro-forzado-e-inducido/>
- Cortés A, S., Yohannessen V, K., Tellerías C, L., & Ahumada P, E. (2019). Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional? *Revista chilena de pediatría*, 90(1), 102-114. <http://dx.doi.org/10.32641/rchped.v90i1.748>.
- Fausing Olesen, J., y Shaker, HR (2020). Mantenimiento predictivo para sistemas de bombeo y plantas de energía térmica: revisión de vanguardia, tendencias y desafíos. *Sensors*, 20 (8), 2425. <https://doi.org/10.3390/s20082425>

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

Gecelca3 S.A.S. E.S.P., (2008) ¿Quiénes somos? <https://gecelca3.com.co/conocenos/quienes-somos/>

Kaewprapha, P., Prepaneerach, P., Singh, V., Tinikul, T., & Intarangsi, N. (2022). Machine Learning Approaches for Estimating the Efficiency of Combined Cycle Power Plant. 1–4. <https://doi.org/10.1109/IEECON53204.2022.9741611>

Lecca Venaute, W. A. (2022). Programa de mantenimiento predictivo, confiabilidad y disponibilidad de equipos industriales en procesos rendering. Universidad César Vallejo. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/107174>

Martínez, O. F. O., Vargas, A. V. V., & González, A. M. (2024). Aplicación Del Análisis Del Modo Y Efecto De Falla Para La Disposición Adecuada Del Manejo De Químicos Y Condiciones De Seguridad Industrial. https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/06/3_15_aplicacion-del-analisis-del-modo-y-efecto-de-falla-para-la-disposicion-adecuada-del-manejo-de-quimicos-y-condiciones-de-seguridad-industrial.pdf

Méndez Aldana, C. A. (2024). Diseño de un plan de mantenimiento predictivo, mediante el uso del software Power BI para reducir fallas mecánicas de maquinaria del sector industrial. Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/10320>

Olarte C., W., botero A., M., & Cañon A., B. (2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia Et Technica*, XVI(44), 354-356. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>

Pillado Portillo, M., Castillo Pérez, V. H., & De la Riva Rodríguez, J. (2022). Metodología de administración para el mantenimiento preventivo como base de la confiabilidad de las

máquinas. RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 12(24). <https://doi.org/10.2391pillado>

3/ride.v12i24.1218

Pillado, B., Mingo, B., del Olmo, R., Matykina, E., Kooijman, A. M., Gonzalez-Garcia, Y., Arrabal, R., & Mohedano, M. (2022). LDH conversion films for active protection of AZ31 Mg alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2022.09.014>

Suárez Carrillo, J. G. (2011). Implementación del plan de mantenimiento predictivo con termografía infrarroja en equipos de la planta Bavaria S.A. Cervecería de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/800c2b2c-60e8-449b-80ab-a2931624ffe4/content>

Toro & Céspedes. (2001). Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Universidad EAFIT – Medellín, Colombia, 8. https://imc-peru.com/articulos/Metodologia_para_medir_Confiabilidad.pdf

Anexo 1. Entrevista

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD,
APLICADO LOS MOTORES DE TIRO INDUCIDO EN LA CENTRAL
TERMoeLECTRICA GECELCA 3.**

Preguntas para diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

1. ¿Qué tipo de motores son los ventiladores de tiro inducido?

2. ¿Cuáles son las funciones que cumple este equipo?

3. ¿De qué forma pueden fallar?

4. ¿Qué causa que fallen?

5. ¿Cuál cree usted que es la principal causa de fallas?

6. ¿Con qué frecuencia ocurre la falla más recurrente?

7. ¿Qué ocurre si falla? (cuál es el problema)

8. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?

9. ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla? (consecuencias)

10. ¿Los planes de mantenimiento que realizan son técnicamente eficientes?

11. ¿Considera que es suficiente o deficiente el mantenimiento que hacen a estos equipos?

12. ¿Cuál considera que debería ser la frecuencia de mantenimiento adecuada para estos equipos?

13. ¿Las piezas que fallan son generalmente las mismas?

14. ¿Cuáles son las partes que más fallas y con qué frecuencia?

15. Cuando falla alguna pieza, ¿su reposición es tardía? (hay existencia en almacén)

Hay alguna recomendación personal para mejorar este proceso.

Muchas gracias por su tiempo y por compartir su conocimiento.

Anexo 2. Respuestas de la entrevista

ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, APLICADO LOS MOTORES DE TIRO INDUCIDO EN LA CENTRAL TERMoeLECTRICA GECELCA 3.

Preguntas para diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

3.2

Ventilador

1. ¿Qué tipo de motores son los ventiladores de tiro inducido?
← motor eléctrico
2. ¿Cuáles son las funciones que cumple este equipo?
Genera el tiro y los gases que se generan por la combustión en la caldera
3. ¿De qué forma pueden fallar?
hay diferentes tipos de fallas
- variador electrónico hidráulico - rupturas de mangueras - descalibración de unidad hidra
4. ¿Qué causa que fallen?
- fatiga de los componentes, calibración de precisión de los switches de presión diferencial
5. ¿Cuál cree usted que es la principal causa de fallas?
- fallas mecánicas
6. ¿Con qué frecuencia ocurre la falla más recurrente?
no hay tiempo estipulado, depende de diferentes parámetros
7. ¿Qué ocurre si falla? (cuál es el problema)
el equipo es vital para la generación puede sacar la planta de servicio
8. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?
mtto basada en confiabilidad con una ruta de mantenimiento programada
9. ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla? (consecuencias)
quede el equipo indisponible, lo cual genera pérdida en la generación

UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

10. ¿Los planes de mantenimiento que realizan son técnicamente eficientes?
No, falta una ruta más eficiente y un seguimiento al tipo de falla
11. ¿Considera que es suficiente o deficiente el mantenimiento que hacen a estos equipos?
No, falta más seguimiento
12. ¿Cuál considera que debería ser la frecuencia de mantenimiento adecuada para estos equipos?
Cada 6 meses, mantenimiento general
13. ¿Las piezas que fallan son generalmente las mismas?
Si
14. ¿Cuáles son las partes que más fallas y con qué frecuencia?
Variador y sistema hidráulica
15. Cuando falla alguna pieza, ¿su reposición es tardía? (hay existencia en almacén)
Si, por lo general se cambia la pieza

Hay alguna recomendación personal para mejorar este proceso.

Hacer una hoja de vida del equipo, donde se pueda llevar registro de las fallas y cambio de repuestas

Muchas gracias por su tiempo y por compartir su conocimiento.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD, APLICADO LOS MOTORES DE TIRO INDUCIDO EN
LA CENTRAL TERMoeLECTRICA GECELCA 3.

Preguntas para diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

1. ¿Qué tipo de motores son los ventiladores de tiro inducido?

eléctricos.

2. ¿Cuáles son las funciones que cumple este equipo?

Evacuar gases de combustión creados en el hogar y captar la ceniza liviana para llevarla al filtro de mangas. y adicional sirve para enfriamiento en ductos.

3. ¿De qué forma pueden fallar?

- * Disparo por atascos de material extraño o sobre carga. (ceniza).
- * Fallas por deterioro en placas
- * Fallas en el sistema hidráulico, Falla por válvula hidráulica.
- Daños en posible mecánicas

4. ¿Qué causa que fallen?

No dar lugar Peñisores ni información apropiada por instrumentos instalados en el equipo. condición ambiental mala, procedimientos al operar el equipo. Mantenimientos incorrectos o no optimos.

5. ¿Cuál cree usted que es la principal causa de fallas?

Ruptura de posibles mecánicas esto hace que el equipo se descalibre y por consecuencia en Sala de mando no se tiene control de flujo y hace que la caldera se descuente toda.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

6. ¿Con qué frecuencia ocurre la falla más recurrente?
al rededor de cada 2 Meses.
7. ¿Qué ocurre si falla? (cuál es el problema)
la planta podría de dejar de generar la energía o no generar la capacidad solicitada.
8. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?
atender los mensajes que son los instrumentos instalados al equipo. Aumentar la frecuencia en los mantenimientos a determinados componentes.
9. ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla? (consecuencias)
el equipo se va a falla como consecuencia de la paralización y la planta no dará la carga requerida.
10. ¿Los planes de mantenimiento que realizan son técnicamente eficientes?
Para la empresa pensar que falla no es una opción se han diseñado planes mensuales e inspecciones periódicas, pero atención correctivos más no predictiva.
11. ¿Considera que es suficiente o deficiente el mantenimiento que hacen a estos equipos?
deficiente, porque solo se atiende la falla y no se cubren otros componentes que a futuro fallaran.
12. ¿Cuál considera que debería ser la frecuencia de mantenimiento adecuada para estos equipos?
Segun Fabricante y estudios realizados por empresas con el fin de prevenir fallas.



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Facultad de Ingeniería

13. ¿Las piezas que fallan son generalmente las mismas?

Si.

14. ¿Cuáles son las partes que más fallan y con qué frecuencia?

* piezas mecánicas y partes por algunos
hidráulicos.
* depende en áreas por material particular.

15. Cuando falla alguna pieza, ¿su reposición es tardía? (hay existencia en almacén)

hay existencias. Se obtiene lo más rápido para poder cumplir nuevamente.

Hay alguna recomendación personal para mejorar este proceso.

Contar y acudir a las inducciones que
dan los instaladores.

Muchas gracias por su tiempo y por compartir su conocimiento.

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

Anexo 3. Correctivos motores

no	insento	work_type	status	org_date	sinoms	ect_code	costo que falla	Subfamta	equipo
W10010	EMAC-0686	CORR	CLO	22/12/2018	DHW	REPARAR	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W10006	EMAC-0172	CORR	CLO	07/12/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W100204	EMAC-0588	CORR	CLO	23/2/2018	FOD	AJUSTAR	VENTILADOR	480V	SIN SURFICEN
W100216	EMAC-0185	CORR	CLO	11/3/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W100427	EMAC-0705	CORR	CLO	20/4/2018	OHE	AJUSTAR	BORNERA	480V	MOTOR
W100570	EMAC-0564	CORR	CLO	7/6/2018	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W100521	EMAC-0621	CORR	CLO	2/6/2018	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W100849	EMAC-0583	CORR	CLO	12/9/2018	FOD	SERVICIO	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W100921	EMAC-0183	CORR	CLO	6/10/2018	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W101262	EMAC-0584	CORR	CLO	6/12/2017	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W102675	EMAC-0129	CORR	CLO	8/3/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102676	EMAC-0252	CORR	CLO	8/3/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W101565	EMAC-0688	CORR	CLO	31/8/2018	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W102675	EMAC-0252	CORR	CLO	23/1/2018	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W102459	EMAC-0083	CORR	CLO	5/2/2018	FOD	REEMPLAZAR	BORNERA	480V	MOTOR
W101231	EMAC-0489	CORR	CLO	28/12/2016	NOI	REEMPLAZAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W101681	EMAC-0639	CORR	CLO	6/6/2017	NOI	BORNERA	DEVANADO	480V	MOTOR
W101799	EMAC-0448	CORR	CLO	25/7/2017	FOD	SERVICIO	BORNERA	480V	MOTOR
W102642	EMAC-0477	CORR	CLO	13/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102625	EMAC-0061	CORR	CLO	13/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102626	EMAC-0066	CORR	CLO	13/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102627	EMAC-0598	CORR	CLO	13/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102273	EMAC-0203	CORR	CLO	15/12/2017	FOD	SERVICIO	RODAMIENTO	6.3KV	SIN SURFICEN
W102642	EMAC-0477	CORR	CLO	8/3/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102811	EMAC-0584	CORR	CLO	24/2/2018	FOD	REEMPLAZAR	BORNERA	480V	MOTOR
W103185	EMAC-0588	CORR	CLO	25/6/2018	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W101324	EMAC-0078	CORR	CLO	18/1/2017	NOI	SERVICIO	RODAMIENTO	6.3KV	SIN SURFICEN
W102274	EMAC-0214	CORR	CLO	15/12/2017	OHE	SERVICIO	RODAMIENTO	6.3KV	SIN SURFICEN
W101872	EMAC-0197	CORR	CLO	4/6/2017	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W101872	EMAC-0119	CORR	CLO	9/6/2017	VIB	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W102005	EMAC-0207	CORR	CLO	4/10/2017	SPT	MODIFICAR	EJE	480V	SIN SURFICEN
W102630	EMAC-0534	CORR	CLO	23/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102631	EMAC-0680	CORR	CLO	23/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W102632	EMAC-0535	CORR	CLO	23/2/2018	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W101295	EMAC-0473	CORR	CLO	12/1/2017	OHE	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	6.3KV	SIN SURFICEN
W101301	EMAC-0611	CORR	CLO	12/1/2017	OHE	AJUSTAR	CARCAZA	480V	SIN SURFICEN
W102930	EMAC-0663	CORR	CLO	4/4/2018	NOI	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W102179	EMAC-0074	CORR	CLO	28/11/2017	FOD	OVER HAUL	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W102844	EMAC-0603	CORR	CLO	7/8/2018	NOI	REPARAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W102834	EMAC-0677	CORR	CLO	9/9/2018	NOI	REEMPLAZAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W103749	EMAC-0125	CORR	CLO	24/9/2018	FOD	REEMPLAZAR	BORNERA	6.3KV	MOTOR
W102815	EMAC-0563	CORR	CLO	6/10/2018	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W104138	EMAC-0544	CORR	CLO	22/12/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W104139	EMAC-0542	CORR	CLO	22/12/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W104141	EMAC-0546	CORR	CLO	22/12/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W104022	EMAC-0147	CORR	CLO	27/11/2018	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W102930	EMAC-0663	CORR	CLO	11/1/2018	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W104213	EMAC-0616	CORR	CLO	6/10/2019	PTF	AJUSTAR	CARCAZA	480V	SIN SURFICEN
W104140	EMAC-0547	CORR	CLO	22/12/2018	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W102489	EMAC-0584	CORR	CLO	9/1/2018	OHE	SERVICIO	BORNERA	480V	MOTOR
W104346	EMAC-0174	CORR	CLO	14/2/2019	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W104517	EMAC-0584	CORR	CLO	5/3/2019	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W105172	EMAC-0415	CORR	CLO	5/6/2019	SPT	SERVICIO	BORNERA	480V	SIN SURFICEN
W105009	EMAC-0503	CORR	CLO	1/8/2019	FOD	SERVICIO	BORNERA	480V	MOTOR
W105410	EMAC-0600	CORR	CLO	11/10/2019	OHE	MP	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W105692	EMAC-0554	CORR	CLO	31/7/2019	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W105690	EMAC-0686	CORR	CLO	10/8/2019	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W107048	EMAC-0174	CORR	CLO	28/12/2019	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W107303	EMAC-0074	CORR	CLO	12/2/2020	OHE	AJUSTAR	BORNERA	480V	MOTOR
W107412	EMAC-0563	CORR	CLO	13/2/2020	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W107280	EMAC-0074	CORR	CLO	30/1/2020	OHE	INSPECCIONAR	BORNERA	480V	SIN SURFICEN
W103200	EMAC-0185	CORR	CLO	27/6/2018	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W100282	EMAC-0155	CORR	CLO	14/3/2016	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W107283	EMAC-0075	CORR	CLO	31/12/2020	VIB	AJUSTAR	BORNERA	6.3KV	MOTOR
W108211	EMAC-0140	CORR	CLO	14/6/2020	VIB	REPARAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W108353	EMAC-0621	CORR	CLO	15/5/2020	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W108745	EMAC-0586	CORR	CLO	23/8/2020	SPT	REPARAR	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W108712	EMAC-0714	CORR	CLO	19/5/2020	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W108408	EMAC-0637	CORR	CLO	21/5/2020	FOD	SERVICIO	BORNERA	480V	MOTOR
W109209	EMAC-0611	CORR	CLO	16/6/2020	VIB	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W108507	EMAC-0011	CORR	CLO	16/6/2020	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W109206	EMAC-0213	CORR	CLO	10/8/2020	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W109210	EMAC-0213	CORR	CLO	10/8/2020	BBP	REPARAR	CARCAZA	480V	SIN SURFICEN
W110409	EMAC-0686	CORR	CLO	27/11/2020	FOD	REEMPLAZAR	BORNERA	480V	MOTOR
W110101	EMAC-0637	CORR	CLO	18/11/2020	FOD	REEMPLAZAR	BORNERA	480V	MOTOR
W111878	EMAC-0445	CORR	CLO	26/5/2021	SPT	REPARAR	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W111888	EMAC-0547	CORR	CLO	27/5/2021	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W111889	EMAC-0546	CORR	CLO	27/5/2021	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W11462	EMAC-0546	CORR	CLO	9/4/2021	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W114636	EMAC-0558	CORR	CLO	10/2/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W114768	EMAC-0661	CORR	CLO	9/3/2022	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W114782	EMAC-1880	CORR	CLO	11/3/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W114690	EMAC-0130	CORR	CLO	9/3/2022	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W114797	EMAC-1263	CORR	CLO	14/3/2022	SPT	REPARAR	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W115987	EMAC-0603	CORR	CLO	28/6/2022	VIB	CALIBRAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W115104	EMAC-1433	CORR	CLO	16/6/2022	OHE	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W114836	EMAC-1080	CORR	CLO	25/2/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W115239	EMAC-0026	CORR	CLO	19/5/2022	VIB	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	6.3KV	MOTOR
W115240	EMAC-1262	CORR	CLO	19/5/2022	VIB	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	6.3KV	MOTOR
W115165	EMAC-1316	CORR	CLO	25/6/2022	NOI	SERVICIO	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W116050	EMAC-0895	CORR	CLO	12/8/2022	VIB	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W116098	EMAC-0788	CORR	CLO	15/8/2022	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	6.3KV	MOTOR
W116074	EMAC-1486	CORR	CLO	2/8/2022	FOD	AJUSTAR	BORNERA	480V	MOTOR
W116078	EMAC-0991	CORR	CLO	4/8/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W116428	EMAC-1004	CORR	CLO	10/8/2022	SPT	CORREGIR	CARCAZA	480V	SIN SURFICEN
W116709	EMAC-1263	CORR	CLO	17/10/2022	VIB	CALIBRAR	VENTILADOR	480V	MOTOR
W116989	EMAC-1391	CORR	CLO	24/11/2022	NOI	SERVICIO	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W117011	EMAC-0020	CORR	CLO	11/12/2022	VIB	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W116999	EMAC-1723	CORR	CLO	6/12/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W116763	EMAC-0021	CORR	CLO	31/10/2022	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W117151	EMAC-0786	CORR	CLO	7/1/2023	OHE	SERVICIO	BORNERA	6.3KV	MOTOR
W117164	EMAC-0910	CORR	CLO	9/1/2023	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W117264	EMAC-0889	CORR	CLO	18/1/2023	NOI	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W117370	EMAC-1483	CORR	CLO	30/1/2023	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W117410	EMAC-1511	CORR	CLO	3/2/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W117308	EMAC-1723	CORR	CLO	23/1/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W117500	EMAC-0884	CORR	CLO	14/2/2023	ELU	SERVICIO	CARCAZA	6.3KV	SIN SURFICEN
W118096	EMAC-1706	CORR	CLO	24/4/2023	FOD	REEMPLAZAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W117177	EMAC-1505	CORR	CLO	3/3/2023	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W118540	EMAC-1706	CORR	CLO	26/6/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118995	EMAC-1708	CORR	CLO	6/12/2022	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118008	EMAC-0992	CORR	CLO	24/5/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118449	EMAC-0560	CORR	CLO	14/6/2023	OHE	REPARAR	DEVANADO	480V	SIN SURFICEN
W118615	EMAC-0473	CORR	CLO	3/6/2023	SYN	REPARAR	BORNERA	6.3KV	SIN SURFICEN
W118558	EMAC-1022	CORR	CLO	27/6/2023	VIB	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W118559	EMAC-1023	CORR	CLO	27/6/2023	VIB	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W118622	EMAC-1629	CORR	CLO	4/7/2023	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W118717	EMAC-0210	CORR	CLO	12/7/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118363	EMAC-1702	CORR	CLO	3/6/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118777	EMAC-1508	CORR	CLO	18/7/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118744	EMAC-1003	CORR	CLO	13/7/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W118798	EMAC-0823	CORR	CLO	21/7/2023	VIB	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	6.3KV	MOTOR
W119036	EMAC-0987	CORR	CLO	4/8/2023	VIB	AJUSTAR	CARCAZA	480V	MOTOR
W119599	EMAC-1510	CORR	CLO	19/10/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W119602	EMAC-1512	CORR	CLO	18/10/2023	FOD	REPARAR	DEVANADO	480V	MOTOR
W119068	EMAC-1022	CORR	CLO	7/9/2023	FOD	AJUSTAR	BORNERA	480V	MOTOR
W119289	EMAC-1598	CORR	CLO	19/9/2023	NOI	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W117163	EMAC-0415	CORR	CLO	9/1/2023	FOD	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	SIN SURFICEN
W119261	EMAC-1432	CORR	CLO	6/9/2023	OHE	REEMPLAZAR	RODAMIENTO	480V	MOTOR
W119706	EMAC-148								

Anexo 4. Manual de Políticas de Mantenimiento Predictivo

Política de Mantenimiento Predictivo para Motores de Tiro Inducido en la Central Termoeléctrica Gecelca 3.



Tabla de Contenido

1.	OBJETIVO	2
2.	ALCANCE	3
3.	CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS	3
3.1	Alta Criticidad:	3
3.2	Moderada Criticidad:	3
3.3	Baja Criticidad:	3
4.	PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO	4
4.1.	Mantenimiento Predictivo	4
4.2.	Mantenimiento Preventivo	4
4.3.	Mantenimiento Correctivo	5
4.4.	Frecuencia del Programa	5
5.	CLASE DE TRABAJO	5
6.	REQUISICIÓN DE TRABAJO	6
7.	ORDEN DE TRABAJO	6
8.	PRIORIDAD DE LAS ORDENES DE TRABAJO	6
9.	DIAGRAMA DE FLUJO ORDEN DE TRABAJO	7
10.	BASE LEGAL	8
11.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	9
12.	MEDIDAS DE CONTROL	9
13.	PROCEDIMIENTO DE LA ORDEN DE TRABAJO	10
13.1	Tabla del procedimiento de la orden de trabajo	11
13.2	Usos del Formato	12

1. OBJETO

El propósito del presente plan es proveer una estrategia estructurada de mantenimiento predictivo y preventivo dirigida a los motores de tiro inducido en la central termoeléctrica Gecelca 3, alineando las prácticas con un enfoque integral que incluye el mantenimiento correctivo y la mejora continua de equipos, herramientas e infraestructura. Este plan busca optimizar la confiabilidad de los equipos, reducir los riesgos operativos, prolongar la vida útil de los componentes y minimizar los tiempos de inactividad no planificados.

2. ALCANCE

Esta política abarca los motores de tiro inducido y sus sistemas auxiliares en la central termoeléctrica Gecelca 3. Se enfoca en los componentes críticos, identificados mediante análisis de modos de falla y cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Se definen las estrategias aplicables y las actividades de mantenimiento correctivo, predictivo, preventivo y atención a las acciones correctivas para la gestión de activos en la Central Termoeléctrica según criticidad. Los procedimientos descritos incluyen inspecciones visuales, monitoreo predictivo, calibraciones, mantenimiento preventivo y correctivo, y la gestión eficiente de repuestos.

3. CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS

La criticidad de los equipos se fundamenta en el control de riesgos que podrían afectar a las personas, pérdida de producción, limitaciones de procesos y afectación ambiental. La criticidad de los componentes se evalúa en función del NPR, severidad, ocurrencia y detección:

3.1 Alta Criticidad:

- Rodamientos (NPR 168): Mayor riesgo por desgaste excesivo y limitada detección.
- Devanado (NPR 160): Sobrecarga eléctrica y daño al aislamiento.

3.2 Moderada Criticidad:

- Ventiladores (NPR 120): Bloqueo de aspas y sobrecalentamiento.

- **Borneras (NPR 150):** Aflojamiento de conexiones, vibraciones y pérdida de continuidad eléctrica

3.3 Baja Criticidad:

- **Carcaza (NPR 80):** Riesgo por corrosión y pérdida de rigidez estructural.
- **Eje (NPR 60):** Problemas de desalineación.
- **Estator (NPR 40):** Fallo en el aislamiento con detección sencilla.

4. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

Los programas de mantenimiento se diseñan con base en la evaluación de modos de falla y el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), priorizando los componentes más críticos para garantizar la continuidad operativa y minimizar riesgos. A continuación, se detalla la estructura del programa:

4.1. Mantenimiento Predictivo

Su principal finalidad es conservar y prolongar la vida útil de máquinas, equipos o infraestructura.

- **Rodamientos (NPR 168):**
 - Monitoreo de vibraciones, temperaturas y niveles de lubricación.
 - Uso de herramientas avanzadas como sensores de vibración y análisis tribológico.
 - Inspecciones termográficas y ultrasónicas para detección temprana de fallas.
- **Borneras (NPR 150):**
 - Inspección de conexiones eléctricas cada tres meses.
 - Termografía infrarroja mensual para detectar puntos calientes.
- **Devanado (NPR 160):**
 - Monitoreo de sobrecalentamiento mediante termografía infrarroja.
 - Verificación de carga eléctrica.

4.2. Mantenimiento Preventivo

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

Se basa en la gestión eficiente de los recursos y la ejecución de actividades de mantenimiento no invasivas con el propósito de identificar y anticiparse a posibles fallos en los sistemas.

- **Ventiladores (NPR 120):**
 - Limpieza mensual para evitar bloqueos.
 - Inspección de aspas y balanceo cada seis meses.
- **Carcaza (NPR 80):**
 - Revisión semestral contra corrosión.
 - Aplicación de recubrimientos protectores anuales.
- **Eje (NPR 60):**
 - Inspección visual y ajuste trimestral.
 - Lubricación y realineación semestral.

4.3. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo está orientado a anticipar fallos mediante el monitoreo continuo de las condiciones operativas y el análisis de datos históricos de los sistemas. Esta metodología permite implementar acciones correctivas antes de que se produzcan fallos críticos. Las acciones incluyen:

- Ventiladores (NPR 120):
 - Monitoreo de vibraciones mensuales para detectar desequilibrios.
 - Análisis trimestral del desgaste de las aspas mediante ultrasonido.
- Carcaza (NPR 80):
 - Inspección trimestral con técnicas de termografía para identificar puntos calientes.
 - Monitoreo semestral de la integridad del recubrimiento.
- Eje (NPR 60):
 - Análisis de lubricantes trimestral para detectar partículas metálicas.
 - Inspección con endoscopia semestral para identificar desgaste interno.

4.4. Frecuencia del Programa

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

- **Diario:** Inspecciones visuales y monitoreo preventivo básico permanente de vibraciones, temperatura y lubricante.
- **Trimestral:** Análisis de las vibraciones, toma de temperatura con termografía y análisis de lubricantes.
- **Anual:** Mantenimiento preventivo completo y pruebas funcionales, revisión integral de todos los componentes críticos y auxiliares.

Este enfoque garantiza que los recursos de mantenimiento sean asignados eficientemente, prolongando la vida útil de los equipos y reduciendo los tiempos de inactividad no planificados.

5. CLASE DE TRABAJO

Partiendo del software de gestión de activos Mainsaver, se utilizan diversas clases de trabajo diseñadas para gestionar de manera eficiente las actividades de mantenimiento. Estas clases permiten categorizar y priorizar las tareas según su naturaleza y criticidad, facilitando el seguimiento de las intervenciones realizadas en los equipos:

1. **Mecánico:** Reparación de cojinetes, ajuste de ejes y lubricación.
2. **Eléctrico:** Inspección de devanados, conexiones y borneras.
3. **Instrumentación y Control:** Calibración de sensores y sistemas de monitoreo.
4. **Servicios Generales:** Limpieza de ventiladores y carcazas.

6. REQUISICIÓN DE TRABAJO

La requisición de trabajo es un proceso clave para garantizar que las actividades de mantenimiento se ejecuten de manera eficiente y organizada. Este procedimiento permite documentar y gestionar de forma sistemática las anomalías identificadas durante las inspecciones visuales o los monitoreos predictivos, asegurando que las intervenciones necesarias se realicen con base en la criticidad de los equipos.

Generación de Requisición:

- Identificación de anomalías durante las inspecciones visuales o monitoreos predictivos.
- Registro en el sistema de gestión (Mainsaver).

Revisión y Aprobación:

- Validación por parte del jefe de mantenimiento.
- Priorización según la criticidad del equipo.

7. ORDEN DE TRABAJO

Creación de Orden:

- Generada tras la aprobación de la requisición.
- Incluye la descripción del problema, recursos necesarios y prioridad.

Ejecución:

- Asignación de técnicos y supervisores.
- Seguimiento en tiempo real mediante el sistema DCS.

Cierre de Orden:

- Registro de las acciones realizadas.
- Revisión por el supervisor para asegurar la calidad del trabajo.

8. PRIORIDAD DE LAS ORDENES DE TRABAJO

Emergencia:

- Fallas críticas que afectan la operatividad inmediata.
- Ejemplo: Daño en los rodamientos con riesgo de parada total.

Alta Prioridad:

- Anomalías que pueden derivar en fallos mayores si no se atienden.
- Ejemplo: Desgaste de cojinetes detectado en monitoreo predictivo.

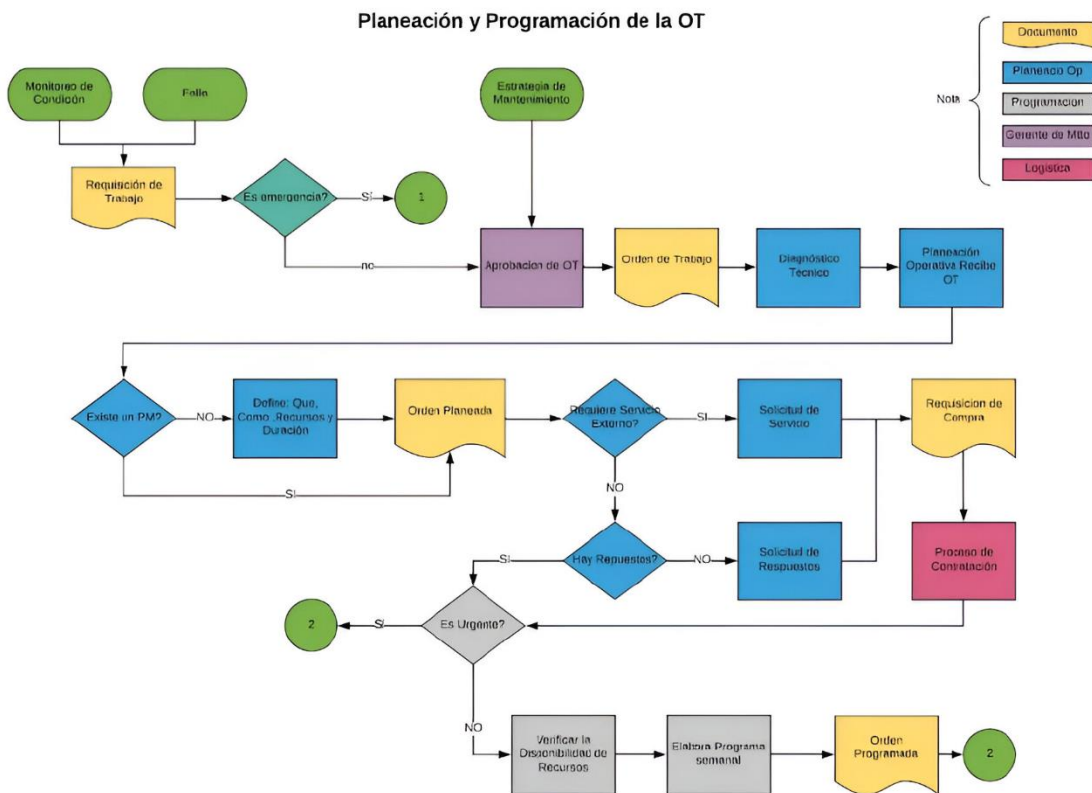
Programada:

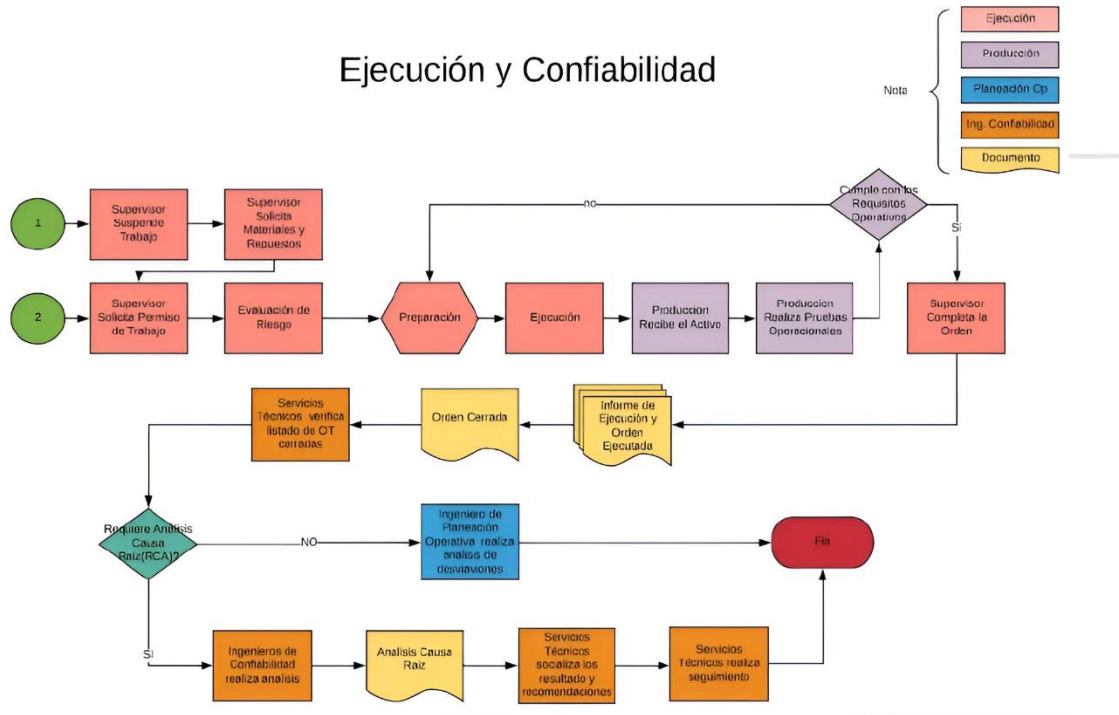
- Actividades regulares de mantenimiento preventivo.

Baja Prioridad:

- Inspecciones rutinarias y tareas menores.

8. DIAGRAMA DE FLUJO ORDEN DE TRABAJO





9. BASE LEGAL

La presente política se fundamenta en las normativas y regulaciones vigentes en Colombia relacionadas con el mantenimiento industrial, la seguridad laboral y la gestión ambiental. Entre las principales bases legales se incluyen:

Resolución 0312 de 2019 del Ministerio de Trabajo:

Establece los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), incluyendo la gestión del mantenimiento de equipos críticos.

Ley 1562 de 2012:

Reglamenta el sistema general de riesgos laborales en Colombia, exigiendo medidas preventivas y correctivas para garantizar la seguridad de los trabajadores.

Decreto 1072 de 2015:

Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, que incluye disposiciones sobre el mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria y equipos.

Resolución 1401 de 2007:

Reglamenta la investigación de incidentes y accidentes laborales, aplicable a fallas en equipos que puedan poner en riesgo a los trabajadores.

Normas técnicas colombianas (NTC):

NTC-ISO 9001: Gestión de calidad, aplicable a procesos de mantenimiento.

NTC-ISO 45001: Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo.

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE):

Garantiza la seguridad en el diseño, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

10. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los documentos de referencia constituyen una base fundamental para respaldar las estrategias y procedimientos establecidos en esta política. En esta sección, se presentan las fuentes clave que sustentan el enfoque técnico y metodológico empleado, incluyendo normas, manuales técnicos, registros históricos de mantenimiento y estudios especializados.

- Manuales de Mantenimiento y Operación de Equipos
- Planos y gráficos de equipos y sistema de planta
- Instructivos y Procedimientos de Mantenimiento de Equipos
- Planes y Programas de Parada
- Hoja de Vida equipo, maquinaria y herramientas
- Formatos de Mantenimiento, calibración, planeación de equipos, maquinaria y herramientas
- Permisos de Trabajo en Planta, Libranzas, Permisos Especiales, AST, Órdenes de Trabajo.

11. MEDIDAS DE CONTROL

Las medidas de control son esenciales para garantizar la efectividad y sostenibilidad de las estrategias de mantenimiento implementadas. Este apartado presenta las acciones y procedimientos diseñados para supervisar, evaluar y mejorar continuamente el desempeño de los equipos y sistemas críticos. Estas medidas no solo buscan prevenir fallos inesperados, sino también optimizar el uso de recursos, reducir tiempos de inactividad y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad operativa.

Generales

- Las actividades de mantenimiento preventivo, correctivos mayores o predictivos, deben realizarse secuencialmente de acuerdo con el siguiente esquema: planeación, programación, ejecución, supervisión, control del trabajo y verificación final. El cumplimiento de esta secuencia dependerá de la prioridad de la orden de trabajo.
- La base de datos con las tarifas por horas de los empleados de la Central debe ser actualizada al menos una vez por año.
- Si durante una inspección u orden de trabajo preventiva se detecta la necesidad de una acción correctiva, ésta deberá ser registrada como una nueva orden de trabajo correctiva describiendo las acciones realizadas para su cierre.
- Toda labor de mantenimiento y/o libranzas especiales que se generen durante las actividades de Arranque y Quemado en la Central, deben registrarse en las órdenes de trabajo mensuales (genéricas) abiertas para estos efectos.
- Todas las requisiciones de material para realizar labores de mantenimiento deberán estar asociadas a su respectiva orden de trabajo.
- Toda orden de trabajo debe incluir el nombre y código del originador.
- Toda requisición de trabajo debe ir asociada al código KKS (Sistema estandarizado para la clasificación de centrales eléctricas) para la identificación de cada una de las áreas, sistemas, subsistemas, equipos y elementos instalados en la central eléctrica.
- Se debe establecer que las horas/hombre que fueron dedicadas en la ejecución de las órdenes de trabajo deben ser registradas en el software Mainsaver.
- Al finalizar una orden de trabajo, el formato impreso (papel) emitido por el Software Mainsaver, debe estar completamente diligenciado y contar con el VoBo del Ingeniero de Turno (Gerencia de Producción) y de la persona responsable de la labor realizada (Gerencia

de Mantenimiento), así como la fecha real de la ejecución del trabajo. Las ordenes de trabajo y los permisos asociados a ella (Libranzas, permisos de trabajo en planta, permisos de trabajo en planta con etiqueta y candado, permiso para tareas de alto riesgo, autorización para trabajos de alto riesgo – trabajo en altura y análisis de seguridad en el trabajo AST) no deben tener tachones ni enmendaduras.

- Los Ingenieros Planeadores de Mantenimiento deberán anular la duplicidad de requerimientos de mantenimiento en el sistema.

12. PROCEDIMIENTO DE LA ORDEN DE TRABAJO

El procedimiento de la orden de trabajo define los pasos clave para garantizar la adecuada generación, planificación, ejecución y cierre de las actividades de mantenimiento. Este proceso es esencial para priorizar recursos, asegurar el cumplimiento de los objetivos operativos y minimizar riesgos asociados a fallas inesperadas. A continuación, se describe el paso a paso detallado del procedimiento, con los roles y responsabilidades asignados en cada etapa.

13.1 Tabla del procedimiento de la orden de trabajo

Paso	Responsable	Descripción
1	Ingeniero de Operación, Ingenieros de Ejecución, Ingenieros Planeadores, Ingeniero Programador, Gerentes, jefes de Área	Generar requisición de trabajo (Solo aplica para mantenimiento correctivo y/o mejoras).
2	Ingeniero jefe de Ejecución, Ingeniero jefe de Planeación	Revisar y aprobar la requisición y convertirla en Orden de Trabajo Correctiva.
3	Ingeniero Ejecutor de Mantenimiento	Recibir las órdenes de trabajo con prioridades emergencia (E), urgencias (U) y trabajos menores (M), revisar y entregar a supervisores para su ejecución inmediata.
4	Ingenieros de Servicios Técnicos	Recibir las órdenes de trabajo con prioridades paradas de planta (S) y proyectos (Y), para realizar la planeación de acuerdo con la prioridad de la orden.
5		Recibir las órdenes de trabajo con prioridades apremiante (A) y programadas (P), para realizar la planeación de acuerdo con la prioridad de la orden.
6		Generar las órdenes de trabajo del programa preventivo, tareas, rutas y Metrologías para su planeación.

DISEÑO DE UNA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO, CENTRADO EN LA CONFIAB... 3.

7	Ingeniero Planeadores de Mantenimiento	Entregar las órdenes de trabajo al Ingeniero Programador de Mantenimiento, para gestionar el programa de la semana.
8		Recibir las órdenes de trabajo planeadas para realizar la programación de los trabajos de la semana y entregarlas al Ingeniero jefe Ejecutor de Mantenimiento.
9		Recibir las órdenes de trabajo a realizar en la semana y coordinar su ejecución con los supervisores de mantenimiento.
10	Supervisor de Mantenimiento	Entregar las órdenes de trabajo a los técnicos de mantenimiento para su ejecución.
11	Técnico de Mantenimiento	Recibir la orden de trabajo para su ejecución, realizar informe de trabajos realizados y devolver al Supervisor para su revisión.
12	Supervisor de Mantenimiento	Entregar Orden de trabajo ejecutada con informes para cierre en el software Mainsaver.
13	Ingeniero Ejecutor de Mantenimiento	Revisar el informe y cerrar la orden de trabajo.

1. Actividad Realizada:

- **Qué se registra:** La tarea específica realizada en el componente.
- **Formato:** Breve descripción de la actividad de mantenimiento.
- **Ejemplo:** "Termografía infrarroja" para identificar puntos calientes.

2. Responsable:

- **Qué se registra:** El cargo o nombre completo de la persona responsable de la actividad.
- **Formato:** Cargo.
- **Ejemplo:** "Supervisor de Mantenimiento" para inspecciones de conexiones eléctricas.

3. Observaciones:

- **Qué se registra:** Resultado o detalles de la actividad realizada, como hallazgos, ajustes realizados o estado final del componente.
- **Formato:** Descripción breve.
- **Ejemplo:** "Identificado punto caliente, corregido" en un devanado.

13.2 Usos del Formato

- **Seguimiento:** Llevar un control organizado de las actividades de mantenimiento predictivo realizadas en componentes críticos.
- **Evaluación:** Identificar patrones de fallas recurrentes y determinar la efectividad de las intervenciones.
- **Auditoría:** Generar evidencia documental de las tareas de mantenimiento realizadas, cumpliendo con estándares de calidad y seguridad.