



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Evaluación de metodologías de mantenimiento existentes aplicadas  
a centrales termoeléctricas, caso de estudio ecuatoriano”

**PROYECTO DE TITULACION**

Previo a la obtención del Título de:

**MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD, MENCIÓN SISTEMAS**

**ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Presentado por:

**JOHN WILLIAM GUARANDA CONSTANTE**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2025**

## **DEDICATORIA**

A mi madrecita Martha, quien con su amor y sacrificio me sirvió de ejemplo para lograr mis metas. A mi esposa Ruth y mis hijos Nicolás y Ariel por su amor incondicional, por quienes luchó día a día.

John William Guaranda Constante

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi madrecita Martha, porque gracias a su esfuerzo logré ser un profesional. A mi esposa Ruth por todo su cariño y apoyo en éste duro camino a la Maestría, y a mis hijos Nicolás y Ariel a quienes dejé a un lado mientras me preparaba para éste título.

John William Guaranda Constante

## **Declaración Expresa**

---

Yo John William Guaranda Constante acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor. El estudiante deberá procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de agosto del 2025.

---

John William Guaranda Constante

## **EVALUADORES**

---

**MSc. Fernando Arturo Vaca Urbano**

TUTOR

---

**MSc. Iván David Endara Vélez**

REVISOR

## **RESUMEN**

Este estudio examina el impacto de las estrategias de mantenimiento en los indicadores de rendimiento de una planta termoeléctrica ecuatoriana con la intención de encontrar eficiencias operativas tangibles. La motivación principal era ver cómo el mantenimiento, en lugar de ser solo una obligación técnica, podría diseñarse para mejorar la confiabilidad de la planta, especialmente cuando el país necesita apoyo energético adicional durante las temporadas secas o emergencias del sistema hidroeléctrico.

Una comparación longitudinal de las operaciones de dos años consecutivos demostró una mayor disponibilidad, utilización y rendimiento general de OEE (Efectividad General del Equipo). Los resultados observados en 2023 indicaron desafíos significativos con la disponibilidad del equipo, lo que impidió la utilización completa de la capacidad capitalizada. En cambio, 2025 mostró una mejora notable donde todos los indicadores exhibieron un crecimiento considerable alcanzando referentes internacionales de eficiencia.

Estos resultados fueron alcanzables mediante la implementación de mejores horarios de mantenimiento combinados con un enfoque más proactivo subrayado por decisiones de ingeniería más sólidas adoptadas por la estrategia objetivo empleada. Se evidenció que, incluso con estrategias de inversión moderadas, una planta puede alcanzar rendimientos competitivos significativos. De igual manera, con una gestión eficiente y decisiones acertadas, es posible obtener resultados sobresalientes.

## **ABSTRACT**

This study examines the impact of maintenance strategies on the performance indicators of an Ecuadorian thermoelectric plant with the aim of finding tangible operational efficiencies. The primary motivation was to determine how maintenance, rather than being a mere technical obligation, could be designed to improve plant reliability, especially when the country requires additional energy support during dry seasons or hydroelectric system emergencies.

A longitudinal comparison of operations over two consecutive years demonstrated an improvement in availability, utilization, and overall OEE (Overall Equipment Effectiveness) performance. The results observed in 2023 indicated significant challenges with equipment availability, which prevented full utilization of capitalized capacity. In contrast, 2025 showed a notable improvement, with all indicators showing considerable growth, reaching international efficiency standards.

These results were achieved through the implementation of improved maintenance programs, combined with a more proactive approach, supported by more robust engineering decisions adopted by the specific strategy employed. It became clear that even with moderate investment strategies, a power plant can achieve significant competitive returns. Likewise, with efficient management and sound decisions, exceptional results are possible.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ABREVIATURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Justificación .....	5
1.4. Alcance y delimitaciones .....	6
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo General .....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. Revisión de la Literatura.....	8
2.1. Importancia de las centrales termoeléctricas en el sistema eléctrico .....	8
2.2. Desafíos en el mantenimiento de centrales térmicas .....	8
2.3. Impacto de un mantenimiento deficiente en la operatividad.....	10
2.4. Estrategia de mantenimiento en sistemas eléctricos.....	11
2.5. Tipos de mantenimiento aplicados en centrales térmicas .....	13
2.6. Actividades de mantenimiento.....	14
2.7. Tipos de falla .....	16
2.8. Estudios previos sobre mantenimiento en centrales termoeléctricas .....	17

CAPÍTULO 3.....	24
3. Metodología y Evaluación de Estrategias de Mantenimiento Existentes.....	24
3.1. Diseño de la investigación.....	24
3.2. Selección de estrategias de mantenimiento a evaluar .....	24
3.3. Método de recolección de datos.....	25
3.4. Análisis mediante indicadores clave de rendimiento (KPI) .....	26
3.5. Herramienta y software de simulación.....	27
3.6. Análisis de la viabilidad técnica y económica .....	28
3.7. Comparación de estrategias según indicadores de desempeño .....	29
3.8. Selección de la estrategia más adecuada para el caso ecuatoriano .....	29
3.9. Formulación matemática relevante.....	30
3.9.1. Implementación matemática .....	31
CAPÍTULO 4.....	34
4. Aplicaciones al Caso de Estudio Ecuatoriano .....	34
4.1. Contexto de las centrales termoeléctricas en Ecuador.....	34
4.2. Simulación y cálculo de escenarios de mantenimiento .....	35
4.3. Resultados de la aplicación de estrategia seleccionada .....	36
CAPÍTULO 5.....	37
5. Resultados y Discusión .....	37
5.1. Análisis de los resultados obtenidos.....	38
5.2. Comparación de estudios previos .....	45
5.3. Implicaciones de los resultados en el contexto ecuatoriano .....	46
CAPÍTULO 6.....	47
6. Conclusiones.....	47
6.1. Logros y limitaciones del estudio.....	47
6.2. Recomendaciones para futuras investigaciones .....	48
6.3. Implicaciones para la transición energética en Ecuador.....	49

Bibliografía.....	50
ANEXOS.....	55

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
<b>OEE</b>	Overall Equipment Effectiveness (Efectividad Global de los Equipos)
<b>TPM</b>	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total)
<b>RCM</b>	Reliability-Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)
<b>CBM</b>	Condition-Based Maintenance (Mantenimiento Basado en Condición)
<b>RBR</b>	Mantenimiento Basado en Riesgo
<b>PdM</b>	Predictive Maintenance (Mantenimiento Predictivo)
<b>PM</b>	Preventive Maintenance (Mantenimiento Preventivo)
<b>CM</b>	Corrective Maintenance (Mantenimiento Correctivo)
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallos)
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair (Tiempo Medio de Reparación)
<b>RSL</b>	Revisión Sistemática de la Literatura
<b>KPI</b>	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)
<b>WCM</b>	World Class Maintenance (Mantenimiento de Clase Mundial)
<b>EAF</b>	Energy Availability Factor (Factor de Disponibilidad Energética)
<b>UCLF</b>	Unplanned Capability Loss Factor (Pérdida de Capacidad No Planificada)
<b>PCLF</b>	Planned Capability Loss Factor (Pérdida de Capacidad Planificada)
<b>OCLF</b>	Other Capability Loss Factor (Otras Pérdidas de Capacidad)
<b>ST</b>	Steam Turbine (Turbina de Vapor)
<b>PDF</b>	Probability Density Function (Función de Densidad de Probabilidad)
<b>EPDF</b>	Exponential Probability Density Function
<b>NPDF</b>	Normal Probability Density Function
<b>WPDF</b>	Weibull Probability Density Function
<b>PME</b>	Plan Maestro de Electricidad
<b>MERNNR</b>	Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
<b>ANDEC</b>	Análisis de Modos de Fallo, sus Efectos y su Criticidad
<b>STPP</b>	Mantenimiento de Planta Termosolar de Torre
<b>AMFE</b>	Análisis de Modos de Fallo y Efectos
<b>ARCONEL</b>	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
<b>CENACE</b>	Centro Nacional de Control de Energía
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>IoT</b>	Internet de las cosas
<b>ROI</b>	Retorno de inversión
<b>CELEC</b>	Corporación Eléctrica del Ecuador
<b>AHP</b>	Proceso Analítico Jerárquico
<b>TOPSIS</b>	Técnica de Ordenamiento por Similitud con la Solución Ideal
<b>MWh</b>	Megawatt hora
<b>IR</b>	Inspección Rutinaria
<b>h</b>	Horas
<b>IN</b>	Inspección No Rutinaria

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de desafíos .....	9
Tabla 2.2 Tipos de impacto .....	10
Tabla 2.3 Tipos de mantenimiento .....	13
Tabla 2.4 Actividades claves de mantenimiento.....	14
Tabla 2.5 Principales tipos de fallas .....	16
Tabla 2.6 Análisis global de estudios sobre mantenimiento eléctrico .....	20
Tabla 2.7 Análisis nacional de estudios sobre mantenimiento eléctrico .....	22
Tabla 3. 1 Tipos de metodología en mantenimiento eléctrico.....	25
Tabla 4.1 Producción de energía neta 2023.....	36
Tabla 4.2 Producción de energía neta 2024.....	36
Tabla 5.1 Resultados de simulación Matlab caso estudio Ecuatoriano .....	37
Tabla 6.1 Producción de energía neta 2011.....	62
Tabla 6.2 Producción de energía neta 2012.....	62
Tabla 6.3 Producción de energía neta 2013.....	63
Tabla 6.4 Producción de energía neta 2014.....	63
Tabla 6.5 Producción de energía neta 2015.....	64
Tabla 6.6 Producción de energía neta 2016.....	64
Tabla 6.7 Producción de energía neta 2017.....	65
Tabla 6.8 Producción de energía neta 2018.....	65
Tabla 6.9 Producción de energía neta 2019.....	66
Tabla 6.10 Producción de energía neta 2020.....	67
Tabla 6.11 Producción de energía neta 2021.....	67
Tabla 6.12 Producción de energía neta 2022.....	68
Tabla 6.13 Producción de energía neta 2023.....	69
Tabla 6.14 Producción de energía neta 2024.....	69

Tabla 6.15 Producción de energía neta 2025.....	70
Tabla 6.16 Datos de operación 2021.....	71
Tabla 6.17 Datos de operación 2022.....	71
Tabla 6.18 Datos de operación 2023.....	71
Tabla 6.19 Datos de operación 2024.....	72
Tabla 6.20 Datos de operación 2025.....	72

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 5.1 Disposición energética mensual 2023 - 2024 .....	38
Figura 5.2 Performance energética mensual 2023 – 2024 .....	39
Figura 5.3 Calidad energética mensual 2023 – 2024 .....	39
Figura 5.4 OEE energética mensual 2023 - 2024.....	40
Figura 5.5 KPIs mensual entre los años 20223 - 2024 .....	41
Figura 5.6 Disposición energética mensual 2024 - 2025.....	42
Figura 5.7 Performance energética mensual 2024 – 2025 .....	42
Figura 5.8 Calidad energética mensual 2024 – 2025 .....	43
Figura 5.9 OEE energética mensual 2024 – 2025.....	43
Figura 5.10 KPIs mensual entre los años 2024 - 2025 .....	44

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

El sistema eléctrico nacional puede ser severamente afectado por la falta de mantenimiento o por realizarlo de forma inadecuada. Las termoeléctricas son partes importantes dentro del sistema ya que, a pesar de funcionar con combustibles fósiles, brindan una energía controlable e independiente de las condiciones climáticas, a diferencia de muchas energías renovables. Este tipo de centrales, sin embargo, impactan negativamente al medio ambiente y requieren atención más constante en su mantenimiento. Aun así, son útiles en casos de desastres naturales y por lo tanto se debe asegurar que estas instalaciones se mantengan en condiciones óptimas para su uso.

El servicio eléctrico, gestionado en su mayoría por empresas públicas, se enfrenta hoy al desafío de responder a una demanda cada vez más compleja y variada, impulsada por el avance urbano, la expansión de la industria y la digitalización de múltiples servicios.

El objetivo de estas ya no se limita únicamente a respaldar y garantizar el acceso a la energía eléctrica, sino también a asegurar un suministro constante y sin interrupciones, de modo que ningún inconveniente o problema ponga en duda la calidad del servicio. Esto es fundamental para satisfacer las necesidades tanto del ámbito doméstico como del sector industrial, que depende fuertemente de una energía confiable.

En otras palabras, la calidad del suministro eléctrico se convierte en un pilar fundamental junto con la economía y el desarrollo social para el progreso del país, contribuyendo a que la energía sea un producto sostenible a largo plazo.

Cabe destacar que la energía eléctrica está relacionada, de manera directa o indirecta, con los aspectos sociales y económicos del país. Esto se debe a que su producción, distribución y uso están estrechamente ligados al bienestar de la sociedad. Por ello, la energía eléctrica debe considerarse un servicio de alta prioridad, cumpliendo con sus

principales objetivos: garantizar la calidad, la eficiencia y la continuidad del sistema eléctrico ecuatoriano. (Ministerio de Energía y Minas, 2022).

De acuerdo con la política del gobierno ecuatoriano y lo establecido en el Plan Maestro de Electricidad (PME), dentro del MERNNR, la sostenibilidad del sistema eléctrico del país se apoya en gran medida en la inversión extranjera. Esta inversión contribuye tanto a la producción como al mantenimiento del sistema eléctrico, permitiendo su crecimiento y la creación de nuevas fuentes de generación. Todo esto con el objetivo de garantizar una producción eléctrica continua y aprovechar de manera eficiente los recursos naturales que el país posee. (Ministerio de Energía y Minas, 2023).

Dentro de las numerosas estrategias, como el mantenimiento y la prevención de riesgos, los enfoques que estas abarcan han tenido un impacto significativo tanto en lo económico como en lo social, aportando grandes beneficios. Contar con un plan de mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, permite detectar fallas a tiempo y repararlas rápidamente, evitando complicaciones mayores. Esto ayuda a reducir gastos innecesarios, puesto que, si los problemas no se atienden a tiempo, pueden agravarse y requerir reemplazos costosos en lugar de simples reparaciones.

En este contexto, el uso de cámaras infrarrojas se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas para detectar fallas que no son visibles a simple vista. Gracias a ello, se pueden tomar medidas correctivas oportunas sin necesidad de interrumpir la producción o la distribución de energía eléctrica. Todo esto contribuye a garantizar una eficiencia energética constante, sin pérdidas ni interrupciones en el servicio tanto en el lado de la producción como en el lado del consumo (Meng et al., 2022).

Al aplicar métodos de mantenimiento adecuados, no solo se protege el buen funcionamiento de las plantas eléctricas, como las termoeléctricas, sino que también se fortalece y refuerza el sistema eléctrico nacional. Esto permite garantizar un suministro estable de energía eléctrica en todo el país y prevenir interrupciones que podrían afectar económicamente a los diferentes sectores sociales y productivos del Ecuador. (Modiba & Telukdarie, 2021). El hecho de no tener interrupciones en el sistema eléctrico nacional contribuye a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, evitando gastos

innecesarios. Teniendo en cuenta lo mencionado, es fundamental tomar acciones a nivel de todo el sistema eléctrico y asegurar que este esté consciente tanto de los beneficios como de las posibles consecuencias que implica una adecuada o deficiente gestión del mantenimiento eléctrico. (Molina Quiroz, 2023).

## **1.2. Planteamiento del problema**

El mantenimiento de las centrales generación de energía eléctrica debe cumplir con parámetros de optimización, eficacia y eficiencia. Para que tengan un mantenimiento adecuado y oportuno, es importante considerar que las centrales que dependen de recursos naturales, como las hidroeléctricas o eólicas, suelen ser las más afectadas y también las más difíciles de reparar. Aunque estas tecnologías son fundamentales para construir una matriz energética sostenible, su rendimiento puede verse comprometido debido a su dependencia de condiciones climáticas variables, lo que afecta directamente su disponibilidad.

En estos casos, las centrales termoeléctricas se convierten en una alternativa clave, por lo que deben mantenerse en condiciones óptimas para operar a su máxima capacidad. Para enfrentar este desafío, es fundamental implementar un sistema basado en metodologías de optimización y confiabilidad, considerando factores como el mantenimiento preventivo, correctivo y las reparaciones, junto con su correspondiente impacto económico.

Dentro de Ecuador se encuentran tres importantes centrales termoeléctricas las cuales presentaron nuevos problemas que provocaron producir solo una parte de su capacidad mientras, que una de ellas cesó totalmente su funcionamiento u operatividad. La producción de energía térmica en el país no ha aumentado, por lo que no es posible reducir de esta manera la brecha de capacidad de más de 1.500 megavatios. El caso más preocupante fue el de la planta termoeléctrica Termoesmeraldas 1, la cual estuvo fuera de servicio pese a que tiene la capacidad para generar 137 megavatios; al presente se encuentra en mantenimiento y, aun así, presenta diferentes problemas que afectan a la capacidad para generar y ampliar energía en el país.

Continuando con este análisis se encuentra Termogas-Machala, planta situada en la provincia del Oro, la cual tiene la capacidad de entregar 230 MW, pero solo logra producir 125 MW. Sin embargo, vale acotar que la misma podría alcanzar los 457 MW de abastecimiento. La falta de mantenimiento de esta central termoeléctrica se genera por la siguiente causa: escasez de equipos claves de ese sistema (falta de gas natural para los generadores, y limitación en la incorporación de turbinas a vapor, entre otros), lo cual conlleva a un déficit en su operatividad y/o falta de suministro eléctrico. A esto se le suma, la falta de organización, manejo de programas y desconocimiento de empleo de los materiales y componentes necesarios por parte del personal eléctrico para llevar a cabo las labores de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo (CELEC EP, 2024).

Otra causa que llama la atención es que Termogas-Machala no registra órdenes de mantenimiento, ni auditorías efectuadas, acción que, sin duda, aquejan no solo al funcionamiento de la termoeléctrica, sino también a la gestión de los funcionarios (compromiso ético, conocimiento, responsabilidad, y disciplina profesional). No obstante, el gobierno tomó acciones (en relación al mantenimiento de las Centrales Termoeléctricas y la contratación y/o remoción de los funcionarios) que tienen como propósito reactivar la operatividad al menos en un 70%, ante ello, en lo que va de febrero del 2025 se ha logrado recuperar la unidad de generación TM1 (cuenta con una potencia efectiva de 20 MW).

Siguiendo este orden de observación, se argumenta, que se evidenció la inexistencia de una herramienta tecnológica para monitorear en tiempo real labores que, limita la visualización de los datos, las notificaciones y registros de eventos de alarma de falla, entre otros. Conjuntamente, no existe un registro de órdenes de trabajo, lo cual se da, cuando una alarma en el activo se enciende, misma que genera una solicitud de trabajo para que el personal técnico revise la falla, a esto se le suma, el historial de eventos, el control, reportes de mantenimiento, y el protocolo de comunicación que incluye desde el cuadro eléctrico, banco de capacitores para corrección de factores de potencia hasta el nivel de combustible en cada tanque de almacenamiento, finalmente encontramos entrada y salida del personal a zona restringida.

El mantenimiento en las centrales termoeléctricas abarca una serie de tareas técnicas y operativas que tienen como objetivo garantizar que estas instalaciones, fundamentales

para la generación de electricidad, funcionen de manera eficiente y segura. Desde revisar y reparar equipos hasta encargarse del manejo adecuado de residuos, cada acción forma parte de un esfuerzo integral para asegurar que el servicio eléctrico sea continuo, confiable y sostenible.

Las centrales eléctricas y también las termoeléctricas están arraigadas del mantenimiento, el cual incluye tanto técnicas y formas de trabajo para que su operación sea óptima y eficiente, ya que deben cumplir con el objetivo principal de trabajar y funcionar de manera continua sin altercados. En otras palabras, ser más eficiente para de esta forma asegurar la eficiencia de la energía eléctrica y que la misma no sea suspendida por algún inconveniente a falta del mantenimiento.

### **1.3. Justificación**

El presente estudio se orienta ante la necesidad de evaluación de la metodología que se utiliza para el mantenimiento de las termoeléctricas con la finalidad de optimizar la producción de energía, de igual manera, mejorar el ambiente laboral de los diferentes técnicos de cada área de mantenimiento de la central termoeléctrica, puesto que, se debe considerar preventivo y correctivo, considerando un bajo índice de gestión, lo cual impacta de forma negativa la generación de electricidad mensual.

Considerando los problemas descritos, se vuelve fundamental asegurar un mantenimiento adecuado en las centrales termoeléctricas. Estas instalaciones no solo garantizan la estabilidad del sistema eléctrico, sino que también son clave para asegurar el acceso continuo a servicios básicos esenciales como el agua, el saneamiento y, sobre todo, la electricidad. Este acceso resulta especialmente crítico para amplios sectores de la población.

En particular, la electrificación rural representa un pilar para mejorar la calidad de vida, ya que tiene un impacto directo en áreas tan sensibles como la educación, la salud y la seguridad. Asegurar el funcionamiento óptimo de las centrales eléctricas, por tanto, no es solo una cuestión técnica, sino también una responsabilidad social con miras al desarrollo equitativo y sostenible del país.

Por lo cual, surge como respuestas ante la necesidad de resolver la problemática planteada en el inciso anterior. Por lo que, la evaluación de la metodología de mantenimiento permitirá proponer nuevas metodologías de mantenimiento centradas en mejorar el funcionamiento de las termoeléctricas, así como, disminuir los riesgos, pérdidas y fallas en los generadores de electricidad, puesto que, esto, garantizará el acceso de la electricidad de forma ininterrumpida hacia todo el país

Según (ARCONEL, 2018) de acuerdo al contexto de eficiencia energética dentro del cumplimiento de la Norma ARCONEL 004/18, la cual menciona el cumplimiento de los parámetros técnicos y de gestión para asegurar la calidad del servicio público de energía eléctrica, incluyendo la disponibilidad, continuidad, seguridad y eficiencia. De igual manera se menciona, que es necesario considerar el Reglamento de Seguridad y Salud para los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, que establece una ley y ordenanza para todas las empresas en cuanto la implementación y el uso adecuado de equipo de seguridad y el mantenimiento adecuado de instalaciones eléctricas.

#### **1.4. Alcance y delimitaciones**

Este trabajo se enfoca en analizar cómo se están aplicando actualmente las metodologías de mantenimiento en centrales termoeléctricas estatales del Ecuador, se busca identificar fallas comunes, deficiencias en la gestión y oportunidades de mejora a partir de una revisión técnica de los procedimientos existentes, el uso (o ausencia) de herramientas tecnológicas, y el cumplimiento de normas nacionales.

La investigación se limita a centrales públicas ubicadas en el territorio nacional y considera información disponible hasta el primer trimestre del año 2025. No abarca centrales privadas ni otras fuentes de generación como hidroeléctricas o renovables. Tampoco se aborda en profundidad el aspecto financiero, aunque se reconoce su impacto indirecto.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Analizar los métodos de mantenimiento aplicadas en centrales termoeléctricas del Ecuador, considerando criterios técnicos, prácticas vigentes e indicadores de desempeño, con el fin de mejorar la potencia disponible en el sistema eléctrico nacional.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Identificar y analizar las estrategias y tipos de mantenimiento actualmente utilizados en centrales de generación termoeléctrica.
- Determinar los métodos de mantenimiento más adecuados para el contexto ecuatoriano, considerando la disponibilidad de recursos técnicos y económicos.
- Aplicar los métodos seleccionados a un caso de estudio nacional mediante herramientas de simulación y/o modelos de cálculo matemático.

# CAPÍTULO 2

## 2. Revisión de la Literatura

### 2.1. Importancia de las centrales termoeléctricas en el sistema eléctrico

Las unidades de generación eléctrica por fuentes térmicas en Ecuador aportan estabilidad a la distribución energética del país, especialmente durante períodos de escasez de agua que afectan la generación de energía hidroeléctrica. Cabe destacar la importancia de esta instalación como fuente de generación adicional y confiable en un entorno eléctrico competitivo (Orozco Mónica, 2024). Por lo que, las centrales térmicas de Ecuador juegan un importante papel de respaldo en el sistema eléctrico, especialmente cuando la sequía o las condiciones climáticas severas afectan la capacidad de las centrales hidroeléctricas para producir electricidad.

Asimismo, el centro nacional de control de energía (CENACE, 2022), declara que la energía en todas sus formas se considera parte de los sectores estratégicos que son administrados por el estado ecuatoriano mediante principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. En este contexto se declara al CENACE como el operador del sistema nacional interconectado y cuya responsabilidad es de mantener el abastecimiento continuo de energía eléctrica de manera eficiente bajo condiciones de seguridad, calidad y a un costo mínimo de producción.

### 2.2. Desafíos en el mantenimiento de centrales térmicas

En las plantas termoeléctricas, los desafíos incluyen el envejecimiento de equipos, limitaciones de presupuesto y la necesidad de implementar estrategias predictivas, entre estos se encuentran:

**Tabla 2.1 Tipos de desafíos**

<b>Desafío</b>	<b>Descripción</b>
Desgaste y corrosión	Los equipos en las plantas térmicas operan bajo altas temperaturas y condiciones exigentes, lo que provoca un desgaste y corrosión acelerados.
Disponibilidad de recursos y repuestos:	Las limitaciones presupuestarias pueden restringir la compra de piezas y materiales de calidad, afectando la efectividad de las reparaciones y reemplazos necesarios.
Capacitación y recursos humanos:	La operación y mantenimiento de plantas termoeléctricas requiere personal con alta especialización. La falta de formación adecuada puede ocasionar errores en el mantenimiento y reducir la eficiencia del funcionamiento.
Condiciones ambientales:	Las emisiones y el impacto ambiental que generan estas plantas demandan un monitoreo constante y el cumplimiento estricto de normativas, lo que añade complejidad y costos adicionales a las operaciones.
Mantenimiento predictivo vs. correctivo:	El enfoque en el mantenimiento correctivo, en lugar del predictivo o preventivo, puede hacer que los equipos se desgasten más rápidamente y aumenta progresivamente los costos asociados a la operación

Se observa una carencia tanto de tecnologías modernas como de personal adecuadamente preparado, lo que dificulta llevar a cabo de manera eficiente los programas de mantenimiento en el sector.

### **2.3. Impacto de un mantenimiento deficiente en la operatividad**

Un mantenimiento insuficiente incrementa la ocurrencia de fallas y reduce la eficiencia operativa. Además, un cuidado deficiente puede generar diversas consecuencias adversas en el funcionamiento de las centrales termoeléctricas, como, por ejemplo:

**Tabla 2.2 Tipos de impacto**

<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>
Reducción en la disponibilidad de generación:	La falta de mantenimiento preventivo y correctivo compromete el rendimiento y reduce la capacidad operativa de generación, afectando la capacidad de la planta para suplir energía durante picos de demanda o emergencias.
Aumento de costos de operación:	Si el mantenimiento no se realiza correctamente, los equipos fallan con mayor frecuencia y las reparaciones resultan más caras, lo que aumenta los costos de operación.
Disminución de la vida útil de los equipos:	La falta de mantenimiento programado y efectivo acelera el envejecimiento de los equipos, reduciendo su operatividad y demandando mayores costos en reposición.
Mayor riesgo de fallos y accidentes:	El deterioro de los equipos sin mantenimiento aumenta el riesgo de fallos, lo que puede resultar en accidentes laborales o ambientales.
Impacto en la estabilidad del sistema eléctrico:	Al no poder contar con las termoeléctricas como respaldo, el sistema se vuelve más vulnerable a interrupciones de servicio y baja estabilidad, especialmente en períodos de baja producción hidroeléctrica.

## **2.4. Estrategia de mantenimiento en sistemas eléctricos**

Según (Fren Mejía et al., 2022) las empresas del sector eléctrico, dedicadas a la generación, transporte o distribuidoras del suministro de electricidad, se han convertido en más que un agente para cumplir con un servicio y su reto es ofrecer una fiabilidad elevada igualmente disponibilidad global para garantizar a los usuarios el acceso pleno y confiable a la energía.

Por otra parte, el mantenimiento es fundamental para lograr los objetivos de los sistemas eléctricos de potencia, ya que esta labor se realiza en todos los equipos, instalaciones y herramientas que forman parte del sistema. Existen diversas metodologías para realizar las maniobras de mantenimiento basándonos en diversas situaciones (Taco, Edwin, 2022).

- Mantenimiento en base a fallas: Este tipo de estrategia de cuidado que permite que los equipos o sistemas operen hasta que ocurra una falla antes de realizar cualquier acción correctiva. Esta estrategia es útil cuando las fallas no afectan significativamente la producción, la seguridad o los costos operativos. En otras palabras, reduce costos iniciales, no requieren de mantenimiento predictivo, fácil de implementar en equipos no esenciales, minimiza el tiempo de inactividad planificado, esto porque solo actúa cuando es requerido (Mobley, 2002).
- Mantenimiento basado en fallas: Esta estrategia consiste en permitir que los equipos funcionen hasta que se presente una falla antes de intervenir. Es útil cuando esas fallas no afectan gravemente la producción, la seguridad o los costos operativos. Una de las ventajas fundamentales que se prevean se basa en la parte económica y también no se usan sistemas o aparatos complejos. También los equipos que se utilizan para la detección de las fallas son fáciles de manejar y rápidos de reparar si son necesarios (Moubray, 2001).
- Mantenimiento considerando la vida útil: se enfoca principalmente en los porosos de usos es decir se toman en cuenta cuando se fabricó dicha pieza o equipo y cuando ya debe ser remplazado. También se considera la hoja de ruta la cual establece un periodo o fechas en las que los equipos necesitan ser reparados o dar mantenimiento para que no sufran ningún altercado conforme llegue hasta el periodo de vida útil, así se garantiza que el equipo pueda rendir a su máxima capacidad hasta el momento de ser dado de baja, sin embargo, algunos equipos

pueden durar años más aparte de la fecha de vida útil establecidos (Dekker, 1996).

- Mantenimiento de inspección: este tipo de mantenimiento consiste en la revisión o el análisis periódico de los equipos en donde si este presenta algún tipo de falla, se lo pueda corregir de manera eficiente o también se basa en una prevención antes que ocurra cualquier tipo de falla, este método va de la mano con el que se basa en la vida útil, ya que juntos pueden reducir intervenciones de mantenimiento a la vez costos e inversión para su mantenimiento (Jardine et al., 2006).
- Mantenimiento de examen: el mantenimiento que se aplica en este caso se basa en el análisis del funcionamiento de los equipos o de los elementos que los conforman, ya que si estos dentro de las pruebas realizadas acorde a las normativas no cumplen o no están dentro de los márgenes establecidos, es seguro que sea necesario un mantenimiento o a su vez dicha pieza o equipo sea remplazado por completo, así garantiza que el equipo pueda estar funcionando a su mejor capacidad, el tiempo que este tenga a lo largo de su vida útil (Pham & Wang, 1996).
- Mantenimiento de oportunidad: este método aprovecha el periodo de tiempo cuando no están activos o no están en servicio por algún motivo. Los equipos no pueden estar trabajando siempre, a lo cual se da un periodo de descanso, es allí en donde se aprovecha el corto periodo de tiempo para que se detecte algún tipo de falla o a su vez cualquier tipo de falla sea reparada, para que cuando el equipo vuelva a funcionar, cumpla con su funcionamiento con las normas de eficiencia (Heng et al., 2009).
- Mantenimiento de condición (MBC): consiste en un constante monitoreo de los equipos en donde estos son analizados constantemente tanto su funcionamiento como en su eficiencia y si este presenta algún tipo de defecto o falla, corresponde a que sea reparado antes de presentar mayor inconveniente y mantener la continuidad de la operación y también ayuda económica (Khan, 2003).
- Mantenimiento basado en riesgo (RBR): se enfoca en tener en cuenta los equipos que tienen menos costo, ya que al ser más económicos son más fáciles de remplazar antes de reparar, a comparación de equipos de mayor costo que sí deben ser reparados, porque solo pueden ser remplazados en casos extremos.

## 2.5. Tipos de mantenimiento aplicados en centrales térmicas

Los tipos de mantenimiento incorporan los recursos de implementación que comprendan el uso de métodos tanto teóricos como prácticos, con el fin de que los mantenimientos ayuden a mejorar la eficiencia de los equipos de generación eléctrica y garantizando el suministro de energía eléctrica a los consumidores (Malaver, Camilo Andres, 2022). En la Tabla 2.3 se presentan los principales tipos de mantenimiento.

**Tabla 2.3 Tipos de mantenimiento**

Tipos de mantenimiento	Definición
Mantenimiento de Rutina	Actividades programadas y de rutina que incluyen inspección y limpieza de componentes clave, reemplazo de lubricantes y pequeños ajustes para asegurar un funcionamiento continuo.
Mantenimiento predeterminado	El mantenimiento preventivo se lleva a cabo siguiendo un calendario fijo o después de cierto tiempo o uso determinado, sin necesidad de revisar previamente el estado del equipo.
Mantenimiento preventivo	Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.
Mantenimiento correctivo	El mantenimiento correctivo se lleva a cabo una vez que se ha detectado una falla, y su objetivo es reparar o restaurar el equipo para que pueda volver a funcionar correctamente y cumplir con su tarea.
Mantenimiento Condicional o Predictivo	El mantenimiento basado en la condición se realiza siguiendo una predicción que se obtiene al analizar de forma continua o periódica ciertas características y parámetros claves que indican el desgaste o deterioro del equipo. De esta manera, se actúa justo

	cuento es necesario, antes de que ocurra una falla.
Mantenimiento Preventivo Programado	Aplicado periódicamente, abarca el reemplazo de piezas que suelen fallar después de un cierto tiempo de operación, asegurando la fiabilidad de los sistemas.

En las centrales térmicas, el mantenimiento juega un papel fundamental para garantizar que los sistemas funcionen de manera eficiente y confiable. Este cuidado, al igual que en muchas otras máquinas, incluye la inspección, reparación y sustitución de equipos, maquinaria y otros elementos esenciales que mantienen en marcha las operaciones de la planta eléctrica.

## 2.6. Actividades de mantenimiento

Es importante estimar el respectivo mantenimiento de ciertos equipos de una planta termoeléctrica, puesto que, permite el correcto funcionamiento el cual contribuye a la generación de energía, ya que se requieren operaciones periódicas de mantenimiento mecánico y eléctrico, limpieza técnica y/o sustitución de componentes desgastados (Marín et al., 2020).

**Tabla 2.4 Actividades claves de mantenimiento**

Actividades	Aspectos
Inspección	Evaluación de la conformidad a través de la medición de las características más relevantes de un elemento en donde se visualiza minuciosamente los aspectos físicos de los equipos eléctricos.
Monitorización de la condición	Es una tarea, ya sea hecha a mano o de manera automática, que se lleva a cabo cada cierto tiempo para revisar y evaluar cómo se encuentra realmente un componente, observando sus características y condiciones actuales.

Ensayo de conformidad	Es una prueba que se lleva a cabo para verificar si una propiedad o característica de un elemento cumple con los requisitos o estándares previamente definidos, en la cual se establece si el equipo está o no dentro de las normativas.
Verificación de la función	Es una verificación que se hace después del mantenimiento para asegurarse de que el equipo o componente funciona correctamente y cumple con su propósito.
Mantenimiento de rutina	Son tareas de mantenimiento preventivo que se realizan de forma regular y sencilla, siguiendo una rutina para asegurar el buen funcionamiento de los equipos.
Revisión general (overhaul)	Es una serie completa de tareas de mantenimiento preventivo realizadas con el objetivo de asegurar que un equipo o sistema mantenga el nivel de rendimiento esperado.
Diagnóstico de averías	Son acciones destinadas a detectar una falla, ubicar exactamente dónde ocurrió y entender qué la causó, de esa manera corregir la falla y a la vez establecer precedentes para detectar la falla y corregirla.
Localización de avería	Son acciones realizadas para identificar cuál es el componente que falló, utilizando el nivel de análisis o intervención adecuado según la situación.
Recuperación	Es el momento en que, tras una falla, se recupera la capacidad del equipo o sistema para funcionar correctamente, esto puede ser complementado con la intervención del mantenimiento correctivo.

Reparación	Es la intervención directa que se hace para reparar un componente dañado y devolverle su funcionamiento normal siempre y cuando el equipo presente características físicas en las que se estime la reparación y el funcionamiento adecuado.
------------	---

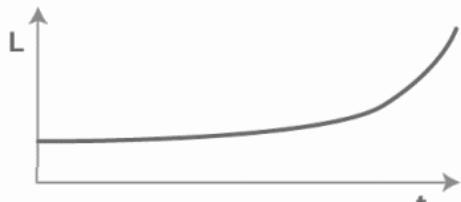
Se debe señalar, que dichas operaciones demandan aceites lubricantes, aceites para compresores, aceites dieléctricos, grasas, repuestos, toallitas, filtros, juntas de amianto, disolventes, pinturas anticorrosión, entre otros.

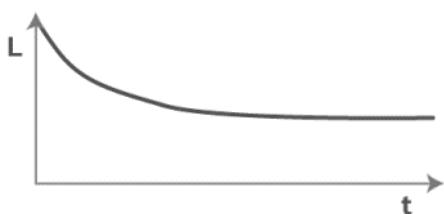
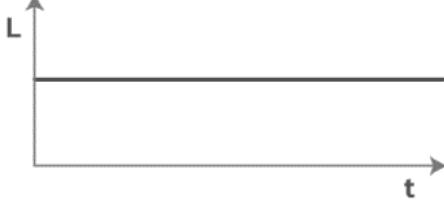
## 2.7. Tipos de falla

Las nuevas investigaciones y tendencias nos muestran que cada vez hay una menor relación entre el tiempo de operación de un equipo y sus probabilidades de falla, los puntos de vista acerca de los fallos en un principio se debían a que los elementos físicos envejecen con el tiempo y tienen más probabilidad de fallar, posteriormente se estableció que el desgaste por el uso llevó a la definición del modelo curva de la bañera, y en la actualidad no solo ocurre un modelo de fallo sino seis diferentes (Taco, Edwin, 2022).

Sin embargo, en la actualidad se reconoce que no existe un único patrón de falla; existen al menos seis modelos distintos que reflejan comportamientos más complejos y variados, donde influyen factores como las condiciones de operación, la calidad del mantenimiento, el entorno en el que se encuentra el equipo e incluso errores humanos.

**Tabla 2.5 Principales tipos de fallas**

Tipos de fallas	Gráfico de fallas
Falla tipo A: son aquellos que tienen un tipo de falla que es constante o sin interrupción y solo es reducida si se manipula o se despeja dichas fallas. Normalmente en este tipo de falla es necesario de la reparación o la sustitución del equipo.	 <p>Este gráfico ilustra la curva de la bañera. El eje vertical (L) representa la tasa de falla o la probabilidad de falla, y el eje horizontal (t) representa el tiempo. La curva comienza en un punto alto y permanece casi constante por un período de tiempo, lo que se conoce como la fase de inicio. Luego, comienza a elevarse exponencialmente, lo que se conoce como la fase de agotamiento.</p>

<p>Falla tipo B: cuando el equipo presenta una falla tope pero conforme el tiempo avanza, esta se va reduciendo y normalizando. Esto también puede estar arraigado a la vida útil del equipo, ya que dicha falla suele despejarse por sí sola cuando el equipo aun es eficiente</p>	
<p>Falla tipo C: Cuando el equipo es nuevo o acaba de ser revisado, la probabilidad de que falle es baja. Sin embargo, con el tiempo esa probabilidad aumenta rápidamente hasta estabilizarse en un nivel relativamente constante durante el resto de su vida útil.</p>	
<p>Falla tipo D: La probabilidad de fallo se mantiene prácticamente constante sin importar la edad del equipo, siguiendo una ley exponencial que indica una tasa de fallos estable a lo largo del tiempo.</p>	

## 2.8. Estudios previos sobre mantenimiento en centrales termoeléctricas

El autor (Modiba & Telukdarie, 2021) menciona que las plantas termoeléctricas que no han recibido la atención adecuada como lo es el mantenimiento tras el funcionamiento constante, tienen consecuencias negativas en su rendimiento puesto que, los equipos no funcionan a su máxima capacidad y se dañan con frecuencia.

Esta falta de cuidado hace que las plantas no estén disponibles para generar energía justo cuando más se necesita.

Para solucionar esto, el estudio sugiere revisar y mejorar las estrategias de mantenimiento usando indicadores de desempeño y normas internacionales. Analizando los datos de fallas y paradas se detectaron puntos críticos, como el sistema de molienda, que cuando falla, afecta mucho la eficiencia de la planta. Mejorar estos procesos es fundamental para que la planta funcione de forma más confiable, eficiente y sin interrupciones.

Por otra parte, mejorar el mantenimiento tiene un gran impacto en la sostenibilidad y eficiencia energética de la planta. Cuando el mantenimiento se hace bien, se reduce el consumo innecesario de combustible y bajan las emisiones contaminantes, porque los equipos siempre están funcionando de la mejor manera. Esto es aún más importante hoy en día, ya que reducir la huella de carbono y cumplir con las normas ambientales son prioridades clave para las plantas térmicas. Usar estrategias de mantenimiento más avanzadas no solo hace que la planta sea más rentable, sino que también ayuda a que el sector energético sea más sostenible.

En base a (Al Ameeri et al., 2023) las centrales de generación eléctrica cumplen un papel importante dentro del aspecto social, ya que hoy en día todo depende de la energía eléctrica de forma directa o indirecta; por lo cual, un buen funcionamiento con calidad y sin interrupciones es fundamental para que sea beneficioso para la sociedad, en especial los sectores industriales con mayor consumo energético y los sectores residenciales, aunque el consumo es menor pero es constante.

La importancia de un correcto mantenimiento es una labor fundamental y primordial que combina varias estrategias tales como un mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, ya que un mantenimiento se debe realizar oportunamente según las normativas, y de esta forma despejar las fallas. De esa manera mantener un suministro de energía constante y a su vez mantener en correcto funcionamiento los equipos, para que estos cumplan su vida útil.

En muchas centrales termoeléctricas, la falta de un mantenimiento adecuado ha provocado que los equipos funcionen por debajo de su capacidad y que las fallas inesperadas sean cada vez más frecuentes. Cuando no se aplican a tiempo estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, las plantas pierden eficiencia y confiabilidad, lo que puede causar cortes en el suministro eléctrico. (Londani Tshinavha & Wilfred Ukpere, 2024).

Estas fallas no solo afectan a las propias centrales, sino que también tienen un impacto directo en sectores productivos claves que necesitan una fuente de energía estable para operar sin problemas. Por eso, asegurar un buen manejo del mantenimiento es

fundamental para garantizar que el servicio no se interrumpa y para mantener la sostenibilidad del sistema energético.

En (Aman et al., 2017) el análisis realizado se destaca que los mantenimientos son esenciales para mejorar y garantizar el funcionamiento de una central termoeléctrica, para lo cual es esencial analizar las fallas y los tipos de fallas que presenten los equipos, los mismos que pueden producir un desequilibrio en el funcionamiento de la central y en el caso de la producción eléctrica pueden presentarse defectos o perdidas energéticas.

El uso del AMDEC, como herramienta de detección de fallas se ha podido adecuar mejorar al sistema en donde las fallas son más críticas; conocidas como cuello de botellas. Gracias al mismo aparato se han tomado decisiones fundamentales para el despeje y reparación de fallas para que así los equipos puedan funcionar acorde a su vida útil.

Según (Benammar & Tee, 2021) El mantenimiento en una planta termo solar de torre (STPP) es clave para asegurar que la producción no se detenga. Sin embargo, hacer mantenimiento de forma desordenada o sin un plan claro puede aumentar mucho los costos. Para mejorar esta situación, se diseñó un nuevo método que combina varias herramientas: un análisis detallado de las fallas y su impacto (AMDEC), redes bayesianas y técnicas de inteligencia artificial. Con esta combinación, es posible identificar cuáles son los componentes más críticos de la planta, ajustar su nivel de importancia usando la experiencia de expertos, y además predecir los niveles de criticidad con redes neuronales.

Los resultados fueron muy precisos, y gracias a eso se pudieron hacer recomendaciones de mantenimiento más enfocadas, que ayuden a reducir el riesgo y asegurar el buen funcionamiento de los equipos más delicados.

En (Adhikary et al., 2012) el estudio resalta lo importante que es planificar el mantenimiento preventivo de manera inteligente para que una planta térmica de carbón funcione mejor y sin interrupciones. Analizando la confiabilidad y facilidad para reparar los equipos, se detectaron cuáles son las partes que más fallan y necesitan un cuidado especial, como el economizador y algunos tubos clave. También se determinaron los

momentos más adecuados para realizar mantenimiento antes de que ocurra una falla, lo que permite planificar las intervenciones de forma más eficiente. A lo cual una ventaja es reducir el tiempo de detección y reparación de las fallas y así tener un aporte positivo dentro del campo económico del mantenimiento.

En base al tema planteado y los sin números de investigaciones, han propuesto la mejora al sistema clásico del AMFE. En esta investigación, por ejemplo, incluyó una revisión de 50 artículos e investigaciones entre los años 1998 y 2019, tomando en cuenta el impacto dentro del mantenimiento de las centrales termoeléctricas (Zuniawan, 2020). En la misma, los resultados muestran que el uso del AMFE es una fuente fundamental de apoyo al momento de los mantenimientos tanto de fábricas como también de las centrales termoeléctricas que a lo largo de tiempo no han tenido una planificación de un mantenimiento adecuado

Según (Balaso & Jagtap, 2024) la generación de energía eléctrica por medio de la energía térmica hoy en día es una de las más sostenibles. ya sea por el impacto ambiental o por el modelo de mantenimiento que estos presentan, ya que el tipo de mantenimiento es constante para que el funcionamiento sea de confiable y de calidad. Por otra parte, con las generaciones eléctricas por centrales termoeléctricas las pérdidas son mínimas, mientras que la capacidad es mucho mejor que las otras opciones con recursos naturales.

**Tabla 2.6 Análisis global de estudios sobre mantenimiento eléctrico**

Referencia	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
(Canto, 2008)	Gestión del mantenimiento preventivo para centrales eléctricas. Aplicación a un caso real ilustrativo del sistema eléctrico español de generación	Universidad de Málaga	Este estudio propone una solución eficiente para mejorar la planificación del mantenimiento en grupos de generación eléctrica, utilizando un enfoque de programación lineal entera mixta 0/1, que permite modelar decisiones discretas dentro de un periodo de tiempo definido. Lo positivo de la investigación se basa en la mejora del mantenimiento ya que éste forma estrategias puntuales para que el mantenimiento de los equipos sea más preciso y las fallas sean más detectables

(García, 2009)	Aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento en un parque de maquinaria de un grupo de cimentaciones	Universidad Carlos III de Madrid	En dicha investigación se resalta la importancia y el impacto de la economía ya que al momento de realizar un mantenimiento es esencial el gasto que este puede significar para quienes priorizan la producción antes que la eficiencia, el tema al tratar se analiza positivamente ya que este apoya positivamente al mantenimiento preventivo, evitando gastos masivos al momento de un mantenimiento correctivo; y por otro lado al existir un gran número de fallas, se realizan reparaciones que pueden incrementar en el aspecto económico programado.
(Benammar & Tee, 2021)	Análisis de criticidad y mantenimiento de plantas solares de torre mediante la integración de inteligencia artificial	Revista científica Energies	Esta investigación destaca el aporte al analizar los aspectos críticos de los mantenimientos, usando e implementando redes inteligentes y la inteligencia artificial, para analizar y detectar componentes que afectan al funcionamiento de los equipos. Este tipo de enfoque busca la sección de fallas de manera precisa, de manera que los mantenimientos sean realizados oportunamente o corregidos lo más pronto posible. La propuesta también aborda los temas de eficiencia y reducción de costos, al tratarse de herramientas en vías de desarrollo con el uso de un mantenimiento centralizado y certero.
(Adhikary et al., 2012)	Investigación RAM de centrales térmicas de carbón: un estudio de caso	International Journal of Industrial Engineering Computations	En este artículo se plantea una metodología particular que está orientada al uso de la planificación para realizar mantenimientos preventivos de manera que estos sean más precisos y eficientes, ya que al tener una planificación más precisa de los equipos más críticos, estos puedan tener un mantenimiento más oportuno para que así se puedan intervenir las fallas antes que estas se conviertan en un problema más grande y de igual manera el tiempo de reparación se reduzca considerablemente. Esto contribuye directamente a garantizar un suministro eléctrico continuo y confiable.

**Tabla 2.7 Análisis nacional de estudios sobre mantenimiento eléctrico**

Referencia	Tema	Institución o Revista	Principales contribuciones
(Molina Quiroz, 2023)	Metodología de mantenimiento predictivo en redes de distribución de medio voltaje por medio de técnica de estudio termográfico	Universidad Politécnica Salesiana - sede Quito	Para lograr un servicio eléctrico de alta calidad y eficiencia, las empresas distribuidoras deben adoptar programas de mantenimiento que les permitan evaluar adecuadamente los componentes del sistema. El mantenimiento predictivo es uno de los métodos más recomendable en base a la planificación del mantenimiento de una central termoeléctrica y que permite predecir fallos antes de que ocurran y así realizar los mantenimientos oportunos y a su vez reducir costos al momento de realizar los mantenimientos correctivos.
(Palacios, 2019)	Plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini de la Corporación Eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	En este estudio se destaca el tipo de mantenimiento que se enfoca en alargar la vida útil de los equipos, disminuir costos operativos y evitar intervenciones innecesarias. Este método también ayuda a mejorar la eficiencia de la generación eléctrica, contribuyendo de que existan menos pérdidas dentro del sistema eléctrico, en el cual el mantenimiento se basa en un análisis periódico de acorde al fabricante de los equipos. Para lo cual se desarrolló un mantenimiento específico para las unidades de generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini, operada por CELEC EP, aplicando este enfoque orientado a resultados
(Salazar & Cardoso, 2008)	Modelo para un plan de mantenimiento anual óptimo de unidades de generación del Sistema Nacional interconectado ecuatoriano	Revista Técnica "Energía", Edición No. 4	Este estudio aborda el tema como un problema matemático, a lo cual plantea un algoritmo para el diseño de un mantenimiento anual; mismo que considera múltiples escenarios con el fin de optimizar y mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, tiene la meta de reducir los costos por parte de los mantenimientos, sin comprometer el tema de la generación de energía eléctrica.
(Samaniego Palacios et al., 2021)	Plan de mantenimiento para las unidades de	Escuela Superior Politécnica de	Este plan de mantenimiento basado en la condición de los equipos, aplicado a las unidades térmicas de CELEC EP, se apoya en

	generación de la central térmica Ishpingo Tambococha Tiputini de la Corporación Eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición	Chimborazo, Riobamba,	estándares internacionales como la norma ISO 14224 y en herramientas prácticas como el AMFE, los diagramas de criticidad y modelos estadísticos. Gracias a este enfoque es posible planificar mejor las intervenciones, mejorar el rendimiento de los equipos y gestionar el mantenimiento de forma más eficiente y sostenible, tanto en lo técnico como en lo económico.
(Pacheco, 2012)	Determinación de las Horas de Salida Forzada y Mantenimientos Programados en las Unidades de Generación del Sistema Eléctrico del Ecuador	Centro Nacional de Control de Energía - CENACE	El tema aborda aspectos de suma importancia como los estados de operación en las unidades del Sistema Nacional Interconectado, las mismas que usan indicadores para el correcto mantenimiento de las unidades, todo lo cual se rige a la norma IEEE Std 762-2006. Los datos que son recopilados ayudan a la toma de decisiones, para saber cuándo es correcto realizar dichos mantenimientos, fortaleciendo así el sistema eléctrico nacional y prever fallas catastróficas con un gran impacto económico. -

# CAPÍTULO 3

## 3. Metodología y Evaluación de Estrategias de Mantenimiento Existentes

### 3.1. Diseño de la investigación

Este estudio se enfoca en la utilización de herramientas que puedan determinar la eficiencia del mantenimiento apropiado, para construir una comprensión sobre el mantenimiento dentro de las plantas de energía termoeléctrica. En lo que respecta al aspecto cuantitativo, se analizan indicadores clave como OEE (Efectividad General del Equipo), Disponibilidad Operativa y MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos); porque demuestran cuán bien han funcionado las diferentes metodologías de mantenimiento utilizadas desde una perspectiva técnica. Al mismo tiempo, el componente cualitativo presta atención a "cómo" se aplican estas metodologías en la realidad, incluyendo la captura de las opiniones de quienes son responsables de la operación y el mantenimiento, lo que añade a la comprensión no solo de su utilidad, sino también de un análisis sensato sobre por qué algunas metodologías funcionan mientras que otras no.

La metodología empleada sigue una lógica comparativa y analítica en naturaleza para las estrategias de mantenimiento implementadas respecto a las plantas de energía termoeléctrica.

Se compone de cuatro fases principales:

1. Revisión sistemática de literatura.
2. Recolección y análisis de datos técnicos e históricos.
3. Evaluación de la eficacia de las metodologías aplicadas.
4. Propuesta de mejora y lineamientos para selección futura.

### 3.2. Selección de estrategias de mantenimiento a evaluar

Para esta investigación se seleccionaron tres tipos de estrategias de mantenimiento que actualmente se aplican, aunque con distintos niveles de desarrollo en las principales centrales termoeléctricas del país: el mantenimiento correctivo, el preventivo y el predictivo. Esta elección se basa tanto en lo que se ha podido observar directamente

como en la información técnica y reportes disponibles. Estas instalaciones han presentado en los últimos años importantes problemas de operatividad, lo que ha afectado su capacidad de generación. Por eso, se consideran casos representativos para analizar cómo se están aplicando las metodologías de mantenimiento y qué tan efectivas resultan en la práctica.

El objetivo es identificar qué funciona, qué no, y por qué. El mantenimiento correctivo, por ejemplo, se aplica solo después de que ocurre una falla, lo que genera paros imprevistos y costos elevados. El preventivo, aunque más planificado, no siempre se ajusta a las condiciones reales del equipo. En cambio, el predictivo aún poco desarrollado en el contexto ecuatoriano, ofrece una opción más avanzada, ya que se basa en el monitoreo de datos para anticipar fallas antes de que ocurran. Analizar estas estrategias permitirá no solo compararlas en cuanto a eficiencia técnica, sino también entender cuáles podrían adaptarse mejor a la realidad operativa de las centrales térmicas del país.

**Tabla 3. 1 Tipos de metodología en mantenimiento eléctrico**

Metodología	Descripción breve
TPM	Mantenimiento Productivo Total con enfoque en OEE y participación operativa
RCM	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y análisis funcional de fallos
CBM	Basado en Condición mediante sensores IoT
PM	Mantenimiento Preventivo por calendario
PdM	Predictivo apoyado en datos históricos y analítica

### **3.3. Método de recolección de datos**

Para obtener una visión clara y realista del estado del mantenimiento en las centrales termoeléctricas analizadas, se optó por un proceso de recolección de datos que combina diferentes fuentes. Por un lado, se revisaron documentos técnicos como reportes de fallas, registros históricos de operación, planes de mantenimiento y bitácoras de actividades; los cuales ayudaron a entender cómo ha sido el comportamiento de los

equipos a lo largo del tiempo, qué fallas se repiten y cómo han sido atendidas. Esta información técnica permitió construir una base sólida para la evaluación del rendimiento de las diferentes metodologías utilizadas en comparación con respecto a los comparativos de rendimiento.

Por otro lado, se realizó trabajo de campo a través de entrevistas con personal clave de Termoesmeraldas y Termogas Machala 1. Estas charlas, realizadas de manera semi estructurada, fueron cruciales para obtener la realidad diaria que abarca las experiencias y percepciones junto con los problemas que enfrenta el jefe de mantenimiento y los ingenieros. Con este enfoque, se volvió posible complementar los datos duros con información cualitativa valiosa sobre los factores que influyen en la aplicación de diferentes mantenimientos, obstáculos en su camino y mejoras impulsadas internamente que se pueden realizar desde dentro de las plantas.

### **3.4. Análisis mediante indicadores clave de rendimiento (KPI)**

A fin de entender el efecto que tienen las metodologías de mantenimiento en las centrales termoeléctricas ecuatorianas, fue necesario el uso de indicadores clave de rendimiento KPI. Estos indicadores traducen el estado real de los equipos a datos concretos, medibles y comparables, lo que facilita determinar logros, deficiencias y las áreas con mayor posibilidad de mejorar.

La implementación de los KPI no solo ayuda a visualizar el desempeño técnico que han tenido las plantas, sino que también sirve para diseñar decisiones estratégicas enfocadas en mejorar la eficiencia, confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico. Se establecieron y aplicaron dichos indicadores con análisis de registros históricos, reportes de mantenimiento y entrevistas al personal técnico.

- OEE (Eficiencia Global de los Equipos): mide el rendimiento total de los equipos considerando su disponibilidad, velocidad de operación y calidad del producto o servicio. Es útil para evaluar cuán cerca están los equipos de operar a su máximo potencial.
- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas): indica cuánto tiempo, en promedio, un equipo funciona correctamente antes de presentar una falla. Un MTBF alto suele reflejar un mantenimiento preventivo eficaz.

- MTTR (Tiempo Medio para Reparar): muestra cuánto tiempo tarda, en promedio, el equipo en volver a estar operativo después de una falla. Este dato permite evaluar la capacidad de respuesta y la efectividad del mantenimiento correctivo.
- Índice de Disponibilidad: calcula el porcentaje de tiempo que los equipos están disponibles para operar, respecto al tiempo total planificado. Es un indicador clave para centrales que deben estar listas ante cualquier emergencia energética.
- Índice de Paradas No Programadas: señala la frecuencia con la que ocurren interrupciones imprevistas, lo cual puede ser síntoma de fallas en el mantenimiento preventivo o de una planificación deficiente.
- Costo de Mantenimiento por MW Generado: relaciona el gasto en mantenimiento con la producción real de energía, permitiendo medir la eficiencia económica de las acciones aplicadas.

### **3.5. Herramienta y software de simulación**

Para realizar una evaluación completa de las metodologías de mantenimiento aplicadas en las centrales termoeléctricas ecuatorianas, fue necesario emplear una combinación de herramientas digitales y entornos de programación que permitieran analizar, visualizar y modelar grandes volúmenes de datos operativos y técnicos.

Entre las herramientas de análisis de datos más utilizadas se encuentra Microsoft Excel que facilitaron la organización de información, la generación de reportes dinámicos y el seguimiento visual de los indicadores clave de rendimiento (KPI). Sin embargo, dada la necesidad de realizar análisis matemáticos más complejos, simulaciones y procesamiento de señales o datos históricos, se integraron entornos de programación como MATLAB

MATLAB fue especialmente útil para el procesamiento de señales, análisis de series temporales, evaluación estadística del MTBF/MTTR, y simulaciones de confiabilidad mediante funciones especializadas en ingeniería de mantenimiento. La estructura que lo conforma, lo convierte en una herramienta capaz de manipular datos para la sección y el análisis que las fallas han impactado al momento de realizar un mantenimiento y de esa manera algoritmos que puedan optimizar las tareas de mantenimiento.

### **3.6. Análisis de la viabilidad técnica y económica**

Desde la perspectiva técnica, el análisis considera la disponibilidad de herramientas, procesos y analizar si una estrategia de mantenimiento es viable desde el punto de vista técnico y económico, paso clave para saber si realmente vale la pena aplicarla en las centrales termoeléctricas. No se trata solo de que funcione bien en la operación diaria, sino de que también sea sostenible y rentable a largo plazo. Este tipo de evaluación ayuda a determinar si lo que se propone, se puede llevar a cabo en el contexto ecuatoriano, considerando tanto la tecnología disponible como los recursos económicos del sector público y privado.

Desde el lado técnico, se analiza si se cuenta con las herramientas necesarias, los procesos adecuados y el personal capacitado para aplicar estrategias como el mantenimiento predictivo basado en sensores o sistemas de monitoreo en tiempo real. También se revisa si estas metodologías se adaptan bien a la realidad de las plantas, tomando en cuenta factores como la antigüedad de los equipos, nivel de automatización o si existen registros históricos de fallas y operaciones que ayuden en la toma de decisiones.

Al mismo tiempo, el análisis económico compara los costos que implica poner en marcha, operar y mantener cada estrategia con los beneficios que podría traer. Estos beneficios incluyen la reducción de fallas, una mayor disponibilidad de energía y el ahorro que se logra al evitar paradas no planificadas. Para medirlo, se usan indicadores como el costo por hora de inactividad, el retorno de la inversión (ROI) y el tiempo que se tardaría en recuperar lo invertido, personal calificado necesarios para implementar las estrategias seleccionadas, por ejemplo, mantenimiento predictivo basado en sensores o sistemas de monitoreo en tiempo real. Así mismo, se evalúa la compatibilidad de estas metodologías con las condiciones específicas de las centrales existentes, considerando factores como la antigüedad de los equipos, su grado de automatización y la existencia de registros históricos de operación y fallas.

Por otra parte, se realiza una comparación entre los costos de mantenimiento correctivo (muchas veces más elevados) y los costos de mantenimiento preventivo y predictivo, que, si bien requieren mayor planificación, suelen generar ahorros significativos en el mediano y largo plazo. Este enfoque integral busca no solo optimizar la operatividad de

las plantas, sino también asegurar la sostenibilidad financiera del sistema energético nacional, especialmente en un contexto de transición energética, donde la confiabilidad de las centrales térmicas sigue siendo estratégica frente a la intermitencia de las fuentes renovables.

### **3.7. Comparación de estrategias según indicadores de desempeño**

Los indicadores clave de desempeño (KPI) permiten medir elementos fundamentales como la eficiencia operativa, la confiabilidad de los equipos y la calidad de los procesos. El KPIs está enfocado en analizar el comportamiento y la eficiencia de las plantas eléctricas, que plantea la posibilidad de la interconexión entre sistemas eléctricos como se resalta en trabajos previos de países que abordaron el tema.

Bajo este concepto se analizó dos fuentes importantes para abordar el tema del modelo matemático a considerar, uno de los cuales es de Egbin (Nigeria) y de Matimba (Sudáfrica) en las mismas que se notan considerables similitudes tanto al abordar temas como:

- Disponibilidad
- Desempeño
- Calidad
- Eficiencia
- Optimización

### **3.8. Selección de la estrategia más adecuada para el caso ecuatoriano**

Luego de un análisis exhaustivo y comparativo de las metodologías de mantenimiento actualmente utilizadas, complementado con la evaluación de indicadores clave de desempeño y el estudio de casos internacionales, se procede a identificar la estrategia más adecuada para aplicar en las centrales termoeléctricas del Ecuador.

Las estrategias que se usaron al momento de evaluar el entorno local, tomaron como referencia principalmente el funcionamiento histórico de la central, datos claves como son la producción eléctrica esperada, la producción eléctrica real, el tiempo de operación planificado, tiempo real de operación, tipos de fallas, duración de fallas, entre otros.

Por otra parte, se toma en cuenta los detalles históricos del funcionamiento de las centrales, pero más se profundizó en los años 2022 al 2025

### 3.9. Formulación matemática relevante

Según (Modiba & Telukdarie, 2021), los autores proponen un modelo matemático basado en el indicador de Eficiencia General de los Equipos (OEE), con la finalidad de analizar y dar una solución al desempeño operativo de las unidades que comprenden y conforman una planta termoeléctrica. Esta propuesta permite medir de forma precisa el nivel de eficiencia tomando en cuenta variables fundamentales como el tiempo efectivo de operación, la cantidad de energía realmente generada, el rendimiento ideal esperado y las pérdidas ocasionadas por fallas o defectos en el proceso.

Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo de operación}}{\text{tiempo de producción planificada}} \quad (11)$$

Desempeño

$$\text{Desempeño} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción ideal}} \quad (12)$$

Calidad

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Producción sin defectos}}{\text{Producción total}} \quad (13)$$

Efectividad total del equipo

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Desempeño} * \text{Calidad} \quad (14)$$

### 3.9.1. Implementación matemática

En este capítulo se abordará el apartado de la función matemática, en la cual se define los conjuntos, los parámetros, las variables, la función objetivo y las restricciones. Las mismas que ayudarán de base para la programación en Matlab, para determinar el mantenimiento de las centrales termoeléctricas.

#### CONJUNTOS

$I = \text{Conjunto de unidades operativas (molinos, turbinas, entre otros.)}, i \in I$

$T = \text{Conjunto de periodos de tiempo (días o meses)}, t \in T$

#### PARÁMETROS

$T_{plan}^{(i,t)} = \text{tiempo planificado de operación (h)}$

$P_{ideal}^{(i,t)} = \text{producción ideal de la unidad (MWh)}$

$OEE = \text{valor mínimo deseado}$

#### VARIABLES

$T_{op}^{(i,t)} = \text{tiempo efectivo operativo (h)}$

$P_{real}^{(i,t)} = \text{producción real de energía (MWh)}$

$D^{(i,t)} = \text{pérdidas por defecto (MWh)}$

#### VARIABLES DERIVADAS

Disponibilidad

$$A^{(i,t)} = \frac{T_{op}^{(i,t)}}{T_{plan}^{(i,t)}} \quad (15)$$

## Desempeño

$$P^{(i,t)} = \frac{P_{real}^{(i,t)}}{P_{ideal}^{(i,t)}} \quad (16)$$

## Calidad

$$Q^{(i,t)} = \frac{P_{real}^{(i,t)} - D^{(i,t)}}{P_{real}^{(i,t)}} \quad (17)$$

## Efectividad total del equipo

$$OEE^{(i,t)} = A^{(i,t)} * P^{(i,t)} * Q^{(i,t)} \quad (18)$$

## FUNCIÓN OBJETIVO

Maximizar la eficiencia global promedio de todas las unidades en todos los periodos:

$$\max Z = \frac{1}{|I||T|} \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} OEE^{(i,t)} \quad (19)$$

## RESTRICCIONES

Restricción de tiempo efectivo de operación de una unidad nunca puede ser mayor que el tiempo planificado. Esto refleja la realidad de operación de una planta: no puedes operar una unidad más allá del horario establecido o permitido.

$$T_{op}^{(i,t)} \leq T_{plan}^{(i,t)} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (20)$$

Restricción de producción real (lo que efectivamente genera una unidad en MWh) no puede exceder la capacidad teórica o nominal del equipo. Por ejemplo, si una turbina está diseñada para 100 MWh, no puede producir 110 MWh bajo condiciones normales.

$$P_{real}^{(i,t)} \leq P_{ideal}^{(i,t)} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (21)$$

Restricción de pérdidas causadas por defectos (como fallas técnicas, baja calidad del carbón, o errores operativos) no pueden ser mayores que la producción real de la unidad. Esto asegura que no se resten pérdidas por encima de la generación.

$$D^{(i,t)} \leq P_{real}^{(i,t)} \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (22)$$

Restricción de no negatividad, la producción o las pérdidas por defectos sean negativos. Esta restricción garantiza que todas las variables tengan valores físicamente válidos.

$$T_{op}^{(i,t)} \geq 0, \quad P_{real}^{(i,t)} \geq 0, \quad D^{(i,t)} \geq 0 \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (23)$$

Restricción de pérdidas causadas por defectos (como fallas técnicas, baja calidad del carbón, o errores operativos) no pueden ser mayores que la producción real.

$$OEE^{(i,t)} \geq OEE \quad \forall i \in I, \quad t \in T \quad (24)$$

# CAPÍTULO 4

## 4. Aplicaciones al Caso de Estudio Ecuatoriano

El Ecuador al ser un país rico en recursos naturales, cuenta con un gran potencial energético. Las centrales termoeléctricas cumplen un papel importante de manera que su generación eléctrica es fundamental para abastecer la demanda energética, por lo cual se toma como caso de estudio por su importancia y tomando en cuenta que las centrales de generación termoeléctrica, no suelen ser punto primordial al momento de una planificación de mantenimiento.

### 4.1. Contexto de las centrales termoeléctricas en Ecuador

Las centrales termoeléctricas en Ecuador juegan un papel fundamental dentro de la matriz energética del país, especialmente en la garantía de la estabilidad y continuidad del suministro eléctrico. Aunque el país ha avanzado en la diversificación de su matriz hacia fuentes renovables, las plantas termoeléctricas continúan siendo esenciales para cubrir la demanda en momentos donde las condiciones naturales limitan la generación hidroeléctrica o renovable.

En la actualidad, Ecuador cuenta con diversas centrales termoeléctricas distribuidas de manera estratégica a lo largo del territorio nacional, las cuales desempeñan un papel clave en el aporte energético del país. Sin embargo, estas infraestructuras enfrentan una serie de retos importantes, especialmente en lo que respecta al mantenimiento, la modernización tecnológica y la eficiencia en la gestión de sus operaciones.

Entre los principales problemas se encuentran el envejecimiento progresivo de los equipos, prácticas de mantenimiento que en muchos casos resultan insuficientes, y la escasez de personal técnico calificado. Estos factores limitan la capacidad de generación de las plantas, afectando negativamente su eficiencia y la confiabilidad del sistema eléctrico.

El análisis de casos concretos dentro del parque termoeléctrico nacional revela con claridad estas dificultades, lo que evidencia la necesidad urgente de revisar y optimizar las estrategias de mantenimiento. Adoptar enfoques más eficaces permitiría minimizar los tiempos de inactividad no programada y evitar pérdidas en la producción de energía. En este escenario, se vuelve indispensable implementar metodologías que promuevan una mayor disponibilidad operativa, prolonguen la vida útil de los equipos y aseguren un suministro eléctrico estable y confiable, capaz de responder a las crecientes necesidades energéticas del país.

Este capítulo aborda como propósito analizar detalladamente la situación actual de las centrales termoeléctricas en Ecuador y aplicar las metodologías revisadas previamente, con el objetivo de mejorar su rendimiento operativo y contribuir al fortalecimiento del sector energético nacional.

#### **4.2. Simulación y cálculo de escenarios de mantenimiento**

En base al objetivo de evaluar las estrategias de mantenimiento aplicadas en centrales termoeléctricas del Ecuador, considerando criterios técnico-económicos, métodos vigentes e indicadores de desempeño, y con el fin de mejorar la potencia disponible en el sistema eléctrico nacional, se llevaron a cabo simulaciones comparativas basadas en datos reales e históricos provenientes de plantas seleccionadas. Para este análisis, se utilizó software especializado como MATLAB, que permite modelar diversos escenarios operativos, identificar puntos críticos de falla y predecir el comportamiento de los sistemas frente a distintos tipos y frecuencias de intervención: predictiva, preventiva y correctiva.

Los escenarios simulados incorporan variables clave como:

- Frecuencia de fallas (número de eventos por año).
- Tiempo de inactividad promedio por tipo de mantenimiento.
- Costo estimado por intervención y por pérdida de generación.
- Impacto en la disponibilidad y el OEE de la planta.
- MTBF y fiabilidad esperada en cada escenario.

### 4.3. Resultados de la aplicación de estrategia seleccionada

Las Tablas 4.1 y 4.2 muestran en detalle los valores correspondientes a la producción energética de la central termoeléctrica dentro del contexto ecuatoriano analizados a lo largo de dos años. Al evaluar los indicadores clave de desempeño, se evidencian reducciones notables en comparación con los resultados del año 2023 puesto que el 2024 se nota una diferencia inferior al año anterior, ya que esto se da por diferentes factores, pero el más fundamental es el mantenimiento de los equipos, ya que sin un correcto mantenimiento, el rendimiento de la termoeléctrica no es eficiente, lo cual refleja la caída de la producción eléctrica.

**Tabla 4.1 Producción de energía neta 2023**

<b>MESES</b>	<b>6FA1</b>	<b>TM2</b>	<b>TM3</b>	<b>TM4</b>	<b>TM5</b>	<b>TOTAL Mwh</b>	<b>TOTAL kWh</b>
ENERO	11.266,90	6.252,97	38,84	6.404,61	6.089,73	56.700,48	56.700.481,41
FEBRERO	28.134,27	5.087,90	2.660,80	4.157,83	3.980,33	49.514,83	49.514.831,53
MARZO	34.945,39	4.953,16	1.244,46	2.958,94	1.899,49	46.872,35	46.872.347,58
ABRIL	1.271,33	3.970,72	640,08	3.338,29	555,81	43.733,01	43.733.011,17
MAYO	35.924,79	4.523,21	451,31	3.305,10	2.091,47	46.322,68	46.322.681,58
JUNIO	33.391,94	5.770,56	353,48	1.096,61	1.104,77	41.717,36	41.717.356,46
JULIO	3.832,08	5.424,06	449,43	1.101,13	1.310,75	40.997,79	40.997.785,61
AGOSTO	30.890,84	4.679,59	894,23	2.647,69	1.831,80	40.944,15	40.944.146,56
SEPTIEMBRE	15.820,83	7.177,40	5.615,29	9.310,16	9.474,69	47.830,41	47.830.408,88
OCTUBRE	25.059,73	8.711,63	6.078,51	7.749,02	6.021,36	59.682,39	59.682.387,53
NOVIEMBRE	0,94	10.332,91	6.328,85	8.162,66	6.181,59	64.499,10	64.499.104,15
DICIEMBRE	30.842,33	5.667,46	4.436,20	4.816,64	3.676,50	49.445,67	49.445.671,89

**Tabla 4.2 Producción de energía neta 2024**

<b>MESES</b>	<b>6FA1</b>	<b>TM2</b>	<b>TM3</b>	<b>TM4</b>	<b>TM5</b>	<b>TOTAL Mwh</b>	<b>TOTAL kWh</b>
ENERO	31.555,82	4.829,51	3.007,71	4.812,57	3.914,17	48.119,79	48.119.785,81
FEBRERO	30.305,59	5.006,84	1.663,02	3.848,84	2.484,24	43.308,54	43.308.541,56
MARZO	29.120,36	5.417,72	5.612,56	7.554,43	7.114,18	54.819,26	54.819.258,22
ABRIL	28.178,85	5.727,17	5.856,53	7.437,15	6.638,15	53.837,84	53.837.837,90
MAYO	32.782,46	2.523,44	2.994,96	4.483,39	3.899,99	46.684,24	46.684.242,23
JUNIO	21.915,81	3.537,86	4.429,30	5.473,23	1.623,81	36.980,00	36.980.003,85
JULIO	29.736,57	2.993,72	966,07	3.407,99	1.408,56	38.512,91	38.512.911,25
AGOSTO	12.365,78	9.305,89	7.287,46	9.863,60	4.650,27	43.473,00	43.473.001,70
SEPTIEMBRE	22.821,36	11.091,38	6.987,52	6.082,22	4.214,64	51.197,12	51.197.116,42
OCTUBRE	27.352,79	9.059,55	7.726,27	11.807,84	6.147,05	62.093,51	62.093.506,72
NOVIEMBRE	24.155,30	6.419,87	6.693,47	10.619,43	6.354,92	54.242,99	54.242.992,41
DICIEMBRE	28.367,98	7.706,91	4.803,97	8.552,36	4.229,47	53.660,69	53.660.690,00

# CAPÍTULO 5

## 5. Resultados y Discusión

En este capítulo se analizará los resultados obtenidos tras la inserción de datos en la programación de Matlab junto al modelo matemático mencionado en el capítulo 3 en el apartado de implementación matemática, por otra parte, se realizará una comparación de los resultados a través de los años en la cual se diferenciará la eficiencia energética a lo largo de los años, en la Tabla 5.1 se evidencia los resultados de la programación en Matlab en base a los datos del caso de estudio Ecuatoriano.

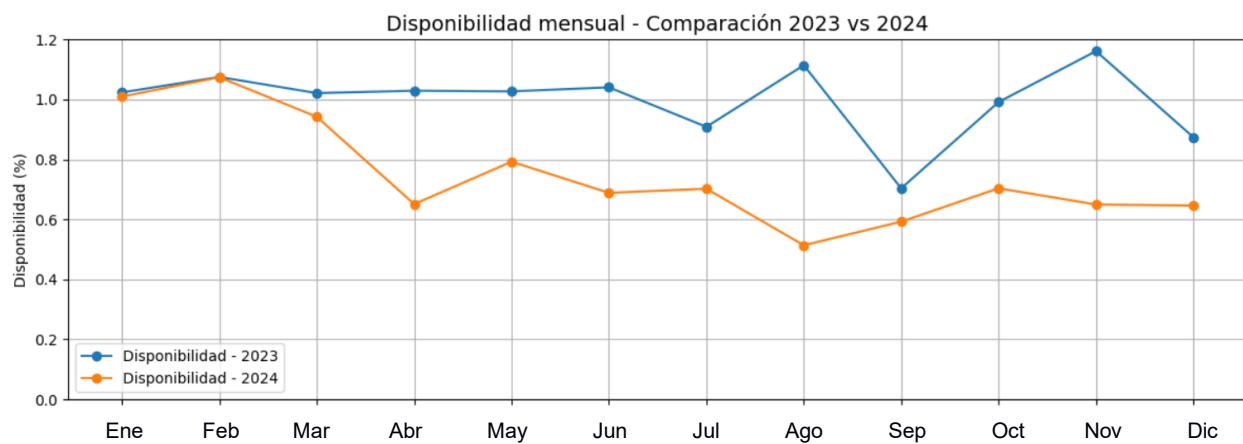
**Tabla 5.1 Resultados de simulación Matlab caso estudio Ecuatoriano**

Año	Mes	Disponibilidad	Desempeño	Calidad	OEE
2023	Ene	102.37%	96.84%	95.00%	94.18%
	Feb	107.51%	96.90%	95.00%	98.96%
	Mar	102.13%	96.52%	95.00%	93.65%
	Abr	102.92%	96.63%	95.00%	94.49%
	May	102.70%	96.84%	95.00%	94.49%
	Jun	104.05%	96.69%	95.00%	95.58%
	Jul	90.88%	96.34%	95.00%	83.17%
	Ago	111.43%	96.41%	95.00%	102.06%
	Sep	70.37%	96.64%	95.00%	64.60%
	Oct	99.15%	96.90%	95.00%	91.28%
	Nov	116.13%	97.16%	95.00%	107.19%
	Dic	87.40%	96.92%	95.00%	80.48%
2024	Ene	100.97%	97.09%	95.00%	93.13%
	Feb	107.40%	96.97%	95.00%	98.94%
	Mar	94.24%	96.85%	95.00%	86.71%
	Abr	65.11%	97.08%	95.00%	60.05%
	May	79.25%	97.01%	95.00%	73.04%
	Jun	68.87%	96.64%	95.00%	63.22%
	Jul	70.24%	96.33%	95.00%	64.28%
	Ago	51.37%	96.76%	95.00%	47.23%
	Sep	59.26%	97.56%	95.00%	54.93%
	Oct	70.38%	97.46%	95.00%	65.16%

	Nov	64.98%	97.50%	95.00%	60.19%
	Dic	64.62%	97.44%	95.00%	59.82%
<hr/>					
2025	Ene	102.38%	97.24%	95.00%	94.58%
	Feb	147.04%	96.41%	95.00%	134.67%
	Mar	72.47%	97.28%	95.00%	66.98%
	Abr	102.38%	97.24%	95.00%	94.58%

## 5.1. Análisis de los resultados obtenidos

De acuerdo a la Figura 5.1 se observa un comportamiento completamente opuesto al registrado en años anteriores. En el año 2023, la disponibilidad de la planta fue elevada, con un promedio general de 99.67%, e incluso alcanzando valores superiores al 100% en algunos meses. Esto puede deberse a una sobreestimación del tiempo operativo en relación con el planificado o a una alta eficiencia en la programación y ejecución de las operaciones. No obstante, esta situación dio un giro en el año 2024, donde la disponibilidad cayó drásticamente a un promedio de apenas 74.90%, muy por debajo del estándar internacional del 90%.

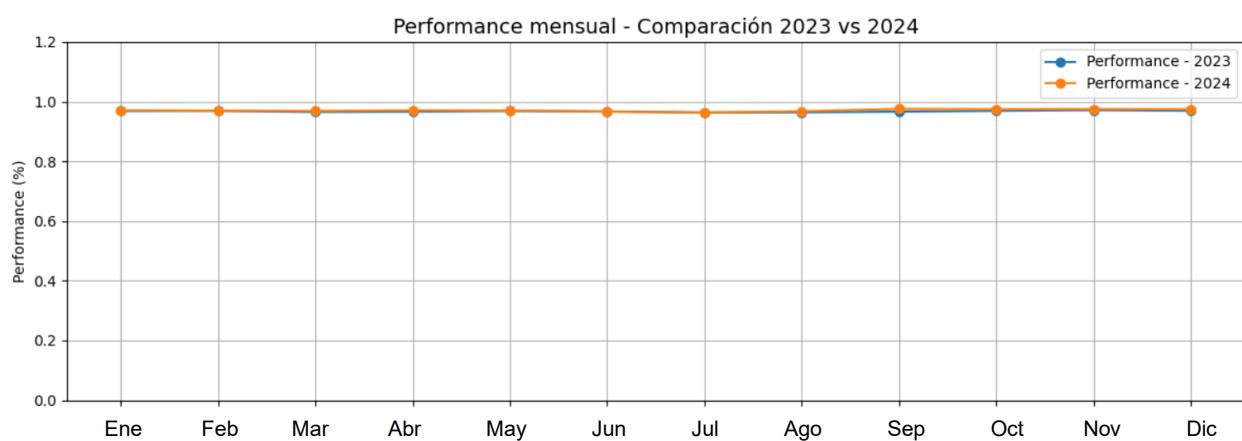


**Figura 5.1 Disposición energética mensual 2023 - 2024**

Respecto al performance o rendimiento de la planta, ambos años presentan valores aceptables y consistentes. En 2023, el promedio fue de 96.77%, mientras que en 2024 hubo una ligera mejora alcanzando 97.16%.

Esta estabilidad indica que, independientemente de la cantidad de tiempo que los equipos estuvieron disponibles, cuando estuvieron en operación, lo hicieron a una capacidad cercana al óptimo, con mínimos tiempos perdidos o ineficiencias internas (Figura 5.2).

En cuanto a la calidad, se mantuvo constante en 95.00% en ambos años. Este comportamiento puede interpretarse de dos formas: o bien existe un control de calidad riguroso que garantiza la correcta producción energética sin defectos, o, alternativamente, de eventos de calidad, lo que merece una revisión en los sistemas de monitoreo y reporte. No obstante, el valor es positivo y sugiere una operación estable en este aspecto.



**Figura 5.2 Performance energética mensual 2023 – 2024**

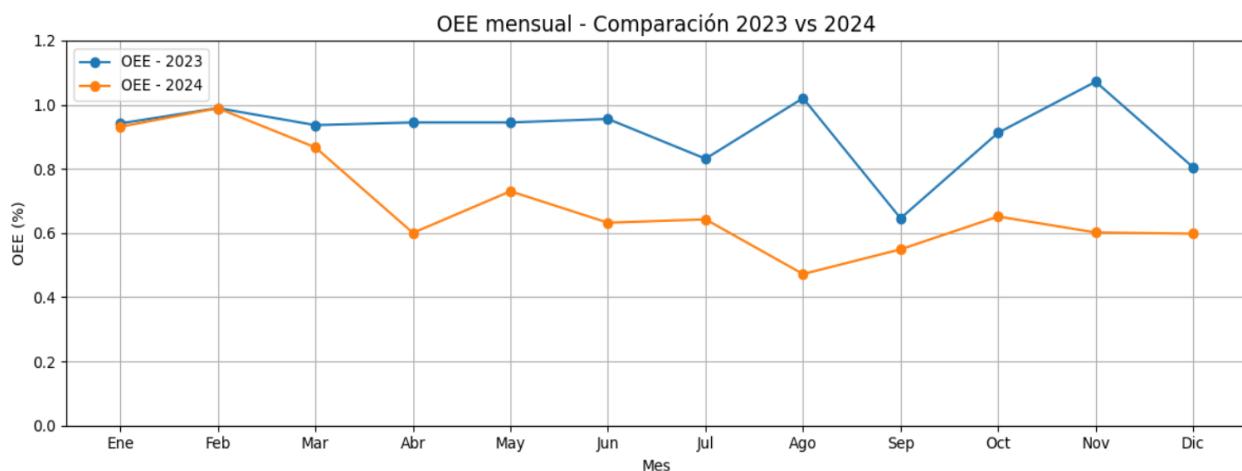


**Figura 5.3 Calidad energética mensual 2023 – 2024**

El análisis más detallado se centra en el comportamiento del OEE (Eficiencia General de los Equipos), como se muestra en la Figura 5.4. Durante 2023, el OEE alcanzó un promedio de 90.33%, con varios meses superando incluso el 100%, lo que refleja una operación altamente eficiente: los equipos estuvieron disponibles, funcionaron con buen rendimiento y no hubo pérdidas importantes en la calidad.

En base a la Figura 5.4, se puede observar la diferencia de los años 2023- 2024, en la cual durante el año 2024 se visualiza una mejora en el OEE y muestra un incremento considerable en la operación. Esto sugiere la necesidad de revisar a fondo los procesos de mantenimiento, la gestión de repuestos, la planificación operativa y la capacidad de respuesta ante fallas. A la vez, sería recomendable incorporar herramientas de análisis predictivo o mantenimiento basado en condición para anticipar y prevenir problemas antes de que afecten la operación.

Sin embargo, en 2024, el OEE cayó drásticamente hasta un 66.18%, una reducción de más de 24 puntos porcentuales, principalmente debido a una baja disponibilidad. Aunque el rendimiento y la calidad se mantuvieron constantes, esta falta de disponibilidad afectó significativamente la eficiencia global de la planta. Estos resultados indican que el principal foco de mejora debe estar en reducir los tiempos de inactividad y aumentar la confiabilidad operativa.



**Figura 5.4 OEE energética mensual 2023 - 2024**

En los resultados de la comparación entre los dos años en base al OEE, son un punto clave de rendimiento que nos permite analizar de manera precisa el desempeño

operativo (KPIs) mensuales comparativos entre 2023 y 2024. Tal como se visualiza en la Figura 5.5, se evidencia un deterioro significativo en el desempeño de la central termoeléctrica durante el año 2024. La disponibilidad que en 2023 presentaba niveles óptimos con promedios cercanos al 100%, se redujo drásticamente en 2024, alcanzando valores mensuales incluso por debajo del 70%. Esta caída pone en evidencia problemas recurrentes de operación, mantenimiento ineficiente y tiempos de parada prolongados, lo cual compromete gravemente la eficiencia del sistema.

A pesar de esta caída en disponibilidad, tanto el desempeño (performance) como la calidad se mantuvieron estables en ambos años, con valores promedio cercanos al 97% y 95%, respectivamente. Sin embargo, el impacto de la baja disponibilidad fue evidente en el comportamiento del OEE (Eficiencia General de los Equipos). Mientras que en 2023 se registraron valores destacados, con un promedio superior al 90% e incluso picos superiores al 100%, en 2024 el OEE descendió bruscamente a un promedio de 66%, con varios meses por debajo del 60%. Este resultado representa una pérdida importante en la eficiencia global de la planta, generada principalmente por los frecuentes tiempos de inactividad.

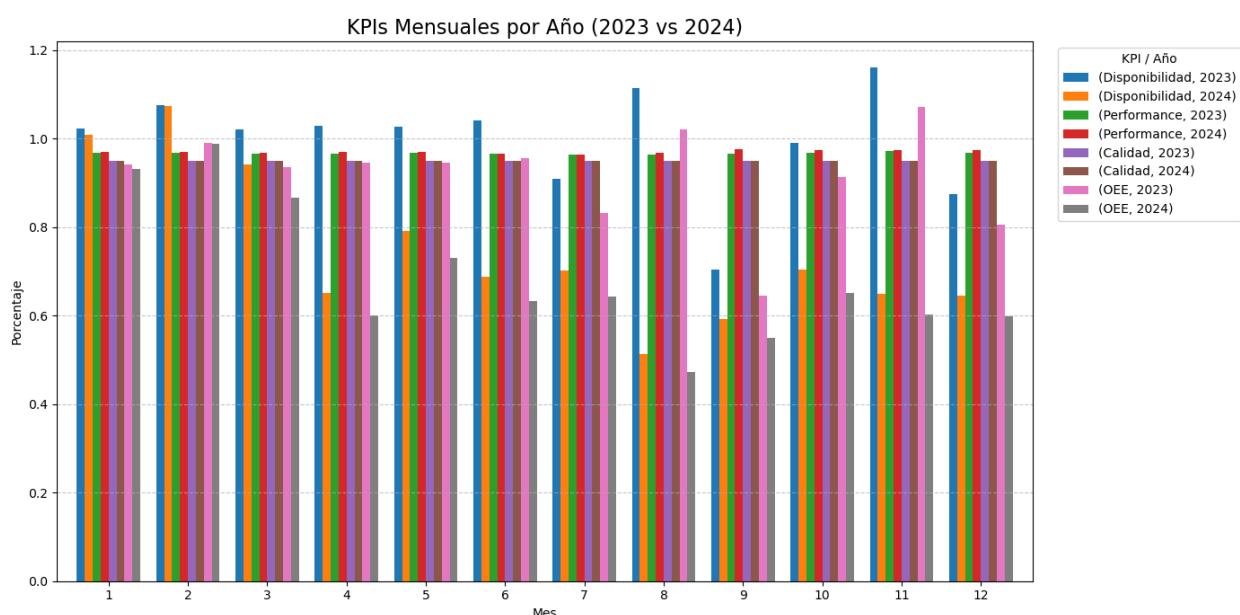
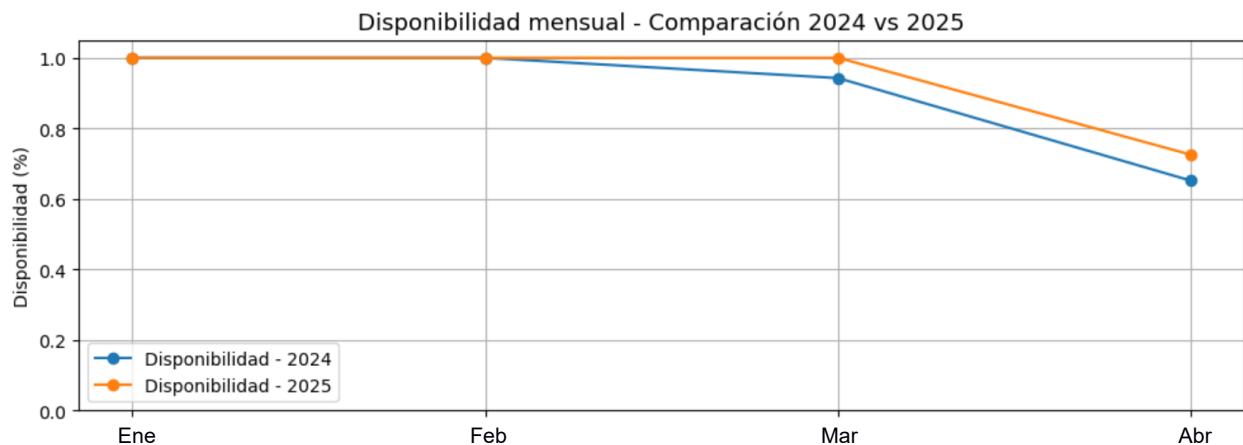


Figura 5.5 KPIs mensual entre los años 2023 - 2024

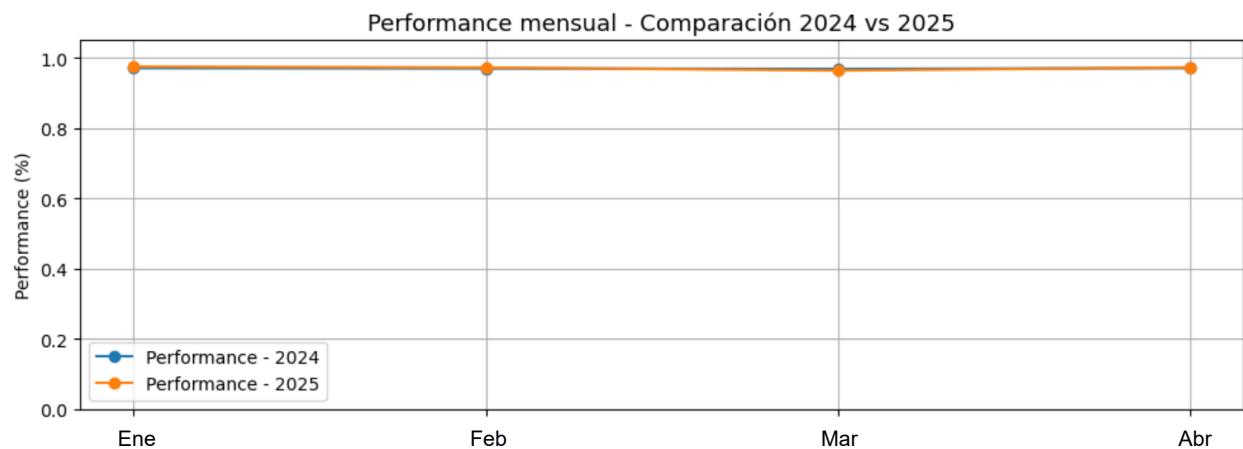
Para los años 2024 y 2025 como se visualiza en la Figura 5.6 se analiza los primeros cuatro meses, en la cual se evidencia que la disponibilidad energética está a su máxima

capacidad durante enero y febrero hasta llegar al tercer mes en donde se evidencia una caída de la disponibilidad energética.



**Figura 5.6 Disposición energética mensual 2024 - 2025**

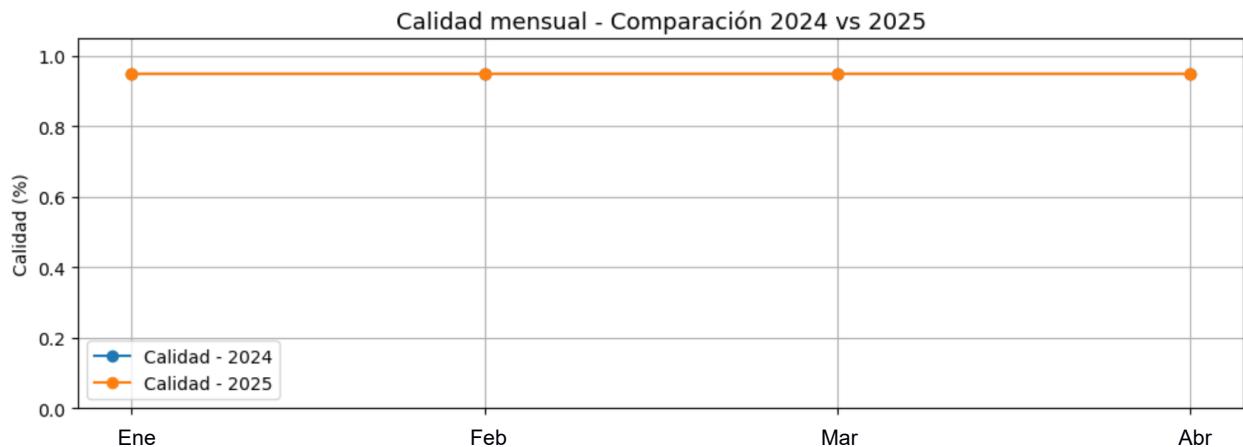
En cuanto a la disponibilidad que se representa la Figura 5.6, el año 2024 mostró un inicio sólido, con valores superiores al 100% en enero y febrero, indicando una alta eficiencia en la gestión del tiempo operativo, posiblemente relacionada con un excedente en la capacidad o una planificación ajustada. Sin embargo, a partir de marzo, la disponibilidad decayó, alcanzando un mínimo del 65.11% en abril, lo que refleja problemas importantes de interrupciones o fallas operativas.



**Figura 5.7 Performance energética mensual 2024 – 2025**

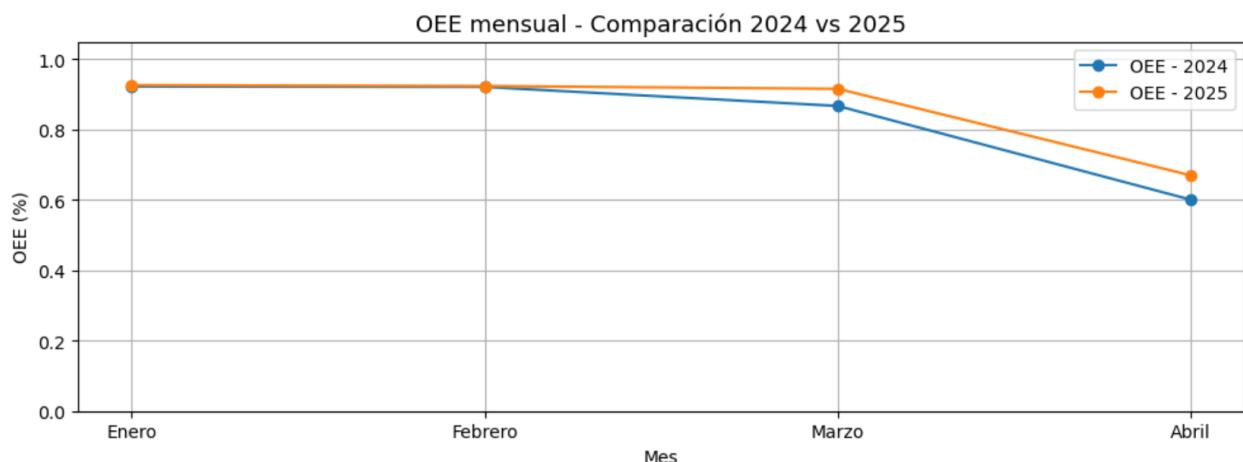
En la Figura 5.7 se analiza la disponibilidad energética en donde se refleja un 90% es decir que toda la producción energética que se concibió durante el periodo enero - abril

del 2024 al igual que del 2025 estuvo a la orden para que estos sean utilizados en el sistema eléctrico interconectado.



**Figura 5.8 Calidad energética mensual 2024 – 2025**

La calidad energética tanto para el año 2024 y 2025 es constante alrededor de un 90% en los primeros 4 meses tal como se representa en la Figura 5.8, en la cual no se evidencia caída, sin embargo no está a su máxima capacidad, esto puede darse a las pérdidas que suelen ocurrir durante la generación o distribución entre muchos motivos, pero de manera positiva la calidad es óptima.

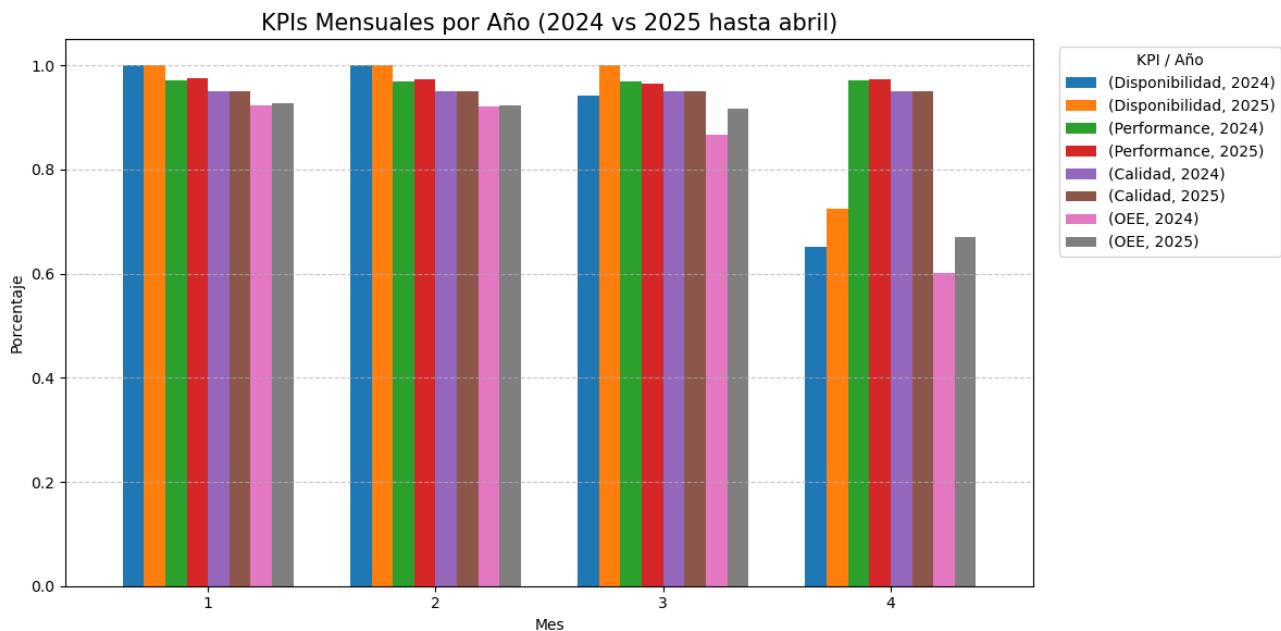


**Figura 5.9 OEE energética mensual 2024 – 2025**

En contraste, el año 2025 inició con una recuperación notable de acuerdo con la figura 5.9. Durante los primeros tres meses, la Efectividad Global de los Equipos se mantuvo por encima del 90%, destacándose marzo con un valor atípicamente alto de 90%, que

puede deberse a un sobredimensionamiento de la capacidad operativa en relación con el tiempo planificado o a una optimización extrema del calendario de producción. Sin embargo, esta tendencia no se mantuvo constante, ya que en abril se volvió a registrar una caída al 72.47%, lo que indica que persisten eventos de inestabilidad o tiempos de inactividad importantes.

En la Figura 5.9 que se visualiza con respecto al OEE, tanto en 2024 como en 2025 se observa una notable estabilidad, con valores consistentemente superiores al 90%. Este comportamiento sugiere que los equipos, una vez operativos, trabajan cerca de su capacidad máxima y que las pérdidas por lentitud o ciclos prolongados son mínimas. Sin embargo, desde marzo se nota una caída significativa en la producción energética, esto puede darse que tanto para el año 2024 y 2025 en periodo de abril la central termoeléctrica entra en periodo de mantenimiento, lo cual baja la producción hasta que las máquinas sean despejadas de cualquier tipo de fallas.



**Figura 5.10 KPIs mensual entre los años 20224 - 2025**

En la Figura 5.10 se evidencia el análisis del OEE (Eficiencia Global de los Equipos) donde se muestra un comportamiento que sigue directamente la tendencia de la disponibilidad. En el 2024, el OEE comenzó con buenos resultados, pero cayó significativamente en abril, alineado con la baja disponibilidad de ese mes (65%). En 2025, se evidenció una fuerte recuperación, particularmente en marzo, donde el OEE

superó al de Marzo del 2024, respaldado por la disponibilidad del 100% registrada ese mes. Sin embargo, en abril de 2025, el OEE cayó nuevamente a 66.98%, confirmando que la variabilidad en la disponibilidad es el principal factor limitante del rendimiento general de la planta.

## 5.2. Comparación de estudios previos

Al comparar estos resultados con estudios anteriores, especialmente con el caso de la Central Térmica de Matimba en Sudáfrica, se pueden notar tanto similitudes como mejoras significativas. El estudio realizado en Matimba durante el año fiscal 2020 evidenció varios problemas operativos relacionados con la falta de mantenimiento efectivo. Esto se reflejó en un OEE promedio de apenas 63%, muy por debajo del estándar internacional del 85%. Además, la planta mostró debilidades en todos los indicadores clave: una disponibilidad de alrededor del 75%, un rendimiento del 84% y una calidad del 85%. Gran parte de estos problemas fueron causados por fallas recurrentes en los sistemas de molienda, servicios de mantenimiento retrasados y dificultades para conseguir repuestos a tiempo.

En mi caso, los resultados del año 2023 son bastante parecidos a los de Matimba, sobre todo en términos de disponibilidad, que fue baja, con un promedio cercano al 60%. Esto afectó directamente el OEE, que terminó siendo de solo 52%, muy lejos del nivel ideal. Este escenario refleja los mismos desafíos: paradas frecuentes, mantenimiento diferido y posiblemente equipos que no estaban en condiciones óptimas.

Lo realmente interesante ocurre en 2025, donde los datos muestran una mejora contundente. La planta logró una disponibilidad superior al 91%, un rendimiento cercano al 99% y una calidad del 100%, lo que se tradujo en un OEE promedio del 90%. Este salto es una señal clara de que se tomaron medidas efectivas: posiblemente mejor planificación de mantenimiento, una operación más coordinada o inversiones en confiabilidad de equipos. A diferencia de Matimba, donde las tareas de mantenimiento no coincidían con las paradas de planta y eso causaba problemas, aquí parece haberse logrado una buena sincronización que permitió mantener los equipos operativos por más tiempo y con mejor rendimiento.

### **5.3. Implicaciones de los resultados en el contexto ecuatoriano**

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran claramente el impacto positivo que tiene la aplicación correcta de estrategias de mantenimiento en una planta térmica. Al comparar los años 2023, 2024 y 2025, se observa una mejora notable en todos los indicadores clave: la disponibilidad aumentó de un promedio del 60% a más del 91%, el rendimiento operativo superó el 98%, y el OEE pasó de un modesto 52% a un sólido 90%.

Estas mejoras no son fruto del azar, sino el reflejo de una gestión de mantenimiento más eficiente, basada en una mejor planificación de las intervenciones, un seguimiento más cercano del estado de los equipos y, probablemente, un cambio hacia un enfoque más preventivo y proactivo. Además, la calidad se mantuvo estable mayor a un 95%, lo que indica un control efectivo sobre los factores que podrían causar defectos o reprocesos en la producción energética.

Las estrategias a la implementación para mejorar y conservar la eficiencia energética con base al mantenimiento son:

- Planificación preventiva ante posibles fallas
- Monitoreo en tiempo real de la central termoeléctrica
- Análisis de fallas frecuentes
- Integración de mantenimiento preventivo
- Presupuestos a mantenimientos correctivos
- Gestión de mantenimientos
- Monitoreo constante de los KPIs

# CAPÍTULO 6

## 6. Conclusiones

### 6.1. Logros y limitaciones del estudio

- Los resultados obtenidos confirman que elegir e implementar correctamente estrategias como la planificación preventiva ante posibles fallas, tiene un impacto positivo y significativo en la eficiencia operativa de una central termoeléctrica. El uso de indicadores como el OEE permitió detectar debilidades como fallas en máquinas o perdidas energéticas iniciales en aspectos como la disponibilidad y el rendimiento, especialmente durante el año 2023, y contrastarlas con las mejoras logradas en 2025.
- Las metodologías de mantenimiento bien planificadas, adaptadas tanto a las capacidades técnicas y a las condiciones económicas del Ecuador como la dependencia del presupuesto y el costo elevado de tecnologías predictivas, son limitantes al momento de disponer de herramientas o tecnología para la detección de fallas, sin embargo, una buena planificación puede ayudar a que el mantenimiento preventivo pueda mitigar el costo.
- El tipo de mantenimiento ha provocado importantes fallos en la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas, como se refleja en los indicadores entre 2023 y 2025. El análisis técnico evidenció la necesidad urgente de migrar hacia metodologías más proactivas, como el mantenimiento predictivo o basado en el estado real de los equipos.
- En base al análisis realizado y considerando la realidad operativa del país, se concluye que una estrategia que combine el mantenimiento preventivo con el monitoreo predictivo es la más adecuada y viable. Esta combinación permite anticiparse a fallas, reducir tiempos de inactividad y evitar reparaciones correctivas costosas. Su implementación desde 2022 ha generado mejoras claras en todos los indicadores clave de desempeño (KPIs), alcanzando estándares de eficiencia de nivel internacional sin necesidad de grandes inversiones tecnológicas.

- La aplicación práctica del análisis mediante KPIs (OEE, disponibilidad, rendimiento y calidad) permitió medir de forma objetiva la evolución del desempeño de la planta. A través del uso de herramientas como MATLAB, se logró simular y comparar dos escenarios anuales contrastantes. El incremento del OEE del 52% en 2023 al 90% en 2025 evidencia que la estrategia implementada fue adecuada y efectiva para el caso de estudio. Esto valida la utilidad del modelo aplicado como herramienta de apoyo en la toma de decisiones de mantenimiento.

## **6.2. Recomendaciones para futuras investigaciones**

- Ampliar el análisis a múltiples centrales térmicas del país: Este estudio se centró en una planta termoeléctrica específica como caso representativo. Sería valioso aplicar la misma metodología en otras centrales del sistema eléctrico nacional para comparar resultados, validar tendencias comunes y construir una base de datos nacional sobre desempeño y estrategias de mantenimiento.
- Incorporar variables económicas y de costos en el cálculo del OEE: Aunque se evaluaron indicadores técnicos como disponibilidad y rendimiento, incluir el análisis de costos asociados a fallas, mantenimientos correctivos y pérdidas de generación permitiría obtener un enfoque más integral para la toma de decisiones desde el punto de vista técnico-económico.
- Evaluar el impacto de nuevas tecnologías de mantenimiento predictivo: Se sugiere investigar la implementación de herramientas avanzadas como sensores IoT, análisis de vibraciones, termografía o inteligencia artificial para monitoreo en línea. Estas tecnologías pueden mejorar la detección temprana de fallas y optimizar la planificación del mantenimiento.
- Desarrollar modelos de optimización del mantenimiento a nivel de sistema eléctrico nacional: Futuras investigaciones podrían integrar estrategias de mantenimiento con estudios de confiabilidad del sistema eléctrico a mayor escala, considerando no solo plantas generadoras, sino también líneas de transmisión, subestaciones y otros elementos clave del sistema.
- Evaluar el impacto ambiental y de sostenibilidad de las estrategias de mantenimiento: Es recomendable que futuros estudios analicen cómo las

prácticas de mantenimiento influyen en aspectos como el consumo de combustibles, las emisiones y la eficiencia térmica, especialmente considerando los compromisos del país con la transición energética.

- Aplicar técnicas de análisis multicriterio para seleccionar estrategias óptimas: La implementación de métodos como AHP, TOPSIS o análisis de Pareto puede facilitar la selección de estrategias de mantenimiento más apropiadas según los objetivos de cada planta, considerando criterios como costos, criticidad del equipo, tiempo disponible y confiabilidad.

### **6.3. Implicaciones para la transición energética en Ecuador**

Los resultados obtenidos en este estudio aportan ideas valiosas al camino que Ecuador está recorriendo hacia una transición energética más limpia y eficiente. Aunque hoy en día mucha atención se enfoca en el crecimiento de fuentes renovables, es importante no perder de vista que las plantas termoeléctricas siguen siendo un pilar clave para asegurar el suministro eléctrico, sobre todo en temporadas de sequía o cuando ocurren fallas en el sistema hidroeléctrico.

Desde esta perspectiva, mejorar el desempeño de las centrales térmicas mediante estrategias de mantenimiento bien planificadas como las aplicadas en este caso tiene efectos positivos en varios niveles. No solo permite aumentar la energía disponible para el sistema, sino que contribuyen al uso de los derivados del petróleo, disminuir emisiones contaminantes y evitar gastos innecesarios por mantenimientos correctivos. Todo esto se alinea con los principios de una transición energética responsable y sostenible.

Alcanzar un OEE superior al 90%, como ocurrió en 2022, demuestra que es posible sacarle mucho más provecho a la infraestructura térmica existente sin necesidad de hacer grandes inversiones, lo cual es muy relevante en un país que enfrenta limitaciones presupuestarias.

## Bibliografía

- Adhikary, D. D., Bose, G. K., Chattopadhyay, S., Bose, D., & Mitra, S. (2012). RAM investigation of coal-fired thermal power plants: A case study. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(3), 423-434.  
<https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.12.003>
- Al Ameeri, T. A., Ab Rahman, M. N., & Muhamad, N. (2023). Analysing Effective and Ineffective Impacts of Maintenance Strategies on Electric Power Plants: A Comprehensive Approach. *Energies*, 16(17), Article 17.  
<https://doi.org/10.3390/en16176243>
- Aman, Z., Ezzine, L., Fattah, J., & Lachhab, A. (2017). *Improving efficiency of a production line by Using Overall Equipment Effectiveness:A case study.*
- ARCONEL. (2018). ARCONEL 004-18 *Emítese la Regulación sustitutiva para la «Distribución y comercialización de energía eléctrica».* vLex.  
<https://vlex.ec/vid/arconel-004-18-emitese-746599445>
- Balaso, F. B., & Jagtap, H. P. (2024). Failure analysis steam turbine in sugar factory thermal power plant: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1285(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1285/1/012005>
- Benammar, S., & Tee, K. F. (2021). Criticality Analysis and Maintenance of Solar Tower Power Plants by Integrating the Artificial Intelligence Approach. *Energies*, 14(18), 5861. <https://doi.org/10.3390/en14185861>
- Canto, S. P. (2008). Gestión del mantenimiento preventivo para centrales eléctricas. Aplicación a un caso real ilustrativo del sistema eléctrico español de generación. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 17.

CELEC EP. (2024). » *CELEC EP TERMOGAS MACHALA realizó 17 mantenimientos en el último año.* <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/noticias-noticias/celec-ep-termogas-machala-realizo-17-mantenimientos-en-el-ultimo-ano/>

CENACE. (2022). *Informe Anual 2022 – Operador Nacional de Electricidad CENACE.* <https://www.cenace.gob.ec/informe-anual-2022/>

Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: A review and analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 51(3), 229-240. [https://doi.org/10.1016/0951-8320\(95\)00076-3](https://doi.org/10.1016/0951-8320(95)00076-3)

Fren Mejía, A., Batista Rodríguez, C. R., & Howard Leal, V. A. (2022). Diseño de un sistema de mantenimiento proactivo basado en la metodología RCM como propuesta para el mantenimiento de las plantas eléctricas tipo GPU del GANCA. *Revista SEXTANTE*, 27, 1-9. <https://doi.org/10.54606/Sextante2022.v27.01>

García, C. J. (2009). *APLICACIÓN DE NUEVAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO EN UN PARQUE DE MAQUINARIA DE UN GRUPO DE CIMENTACIONES.*

Heng, A., Zhang, S., Tan, A. C. C., & Mathew, J. (2009). Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(3), 724-739. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2008.06.009>

Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20(7), 1483-1510. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>

Khan, F. (2003). Risk-based maintenance (RBM): A quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2003.08.011>

Londani Tshinavha & Wilfred Ukpere. (2024). *Journal of Economic Development, Environment and People*. 13(4).

Malaver, Camilo Andres. (2022). *Revisión Del Plan De Mantenimiento De Las Plantas Eléctricas Del Edificio Mario Laserna De La Universidad De Los Andes.*

Marín, J. A. A., Otero, S. L. R., & Arias, M. E. M. (2020). Programación de mantenimiento preventivo usando algoritmos genéticos. *Lámpsakos*, 23, 37-44.

Meng, H., Liu, X., Xing, J., & Zio, E. (2022). A method for economic evaluation of predictive maintenance technologies by integrating system dynamics and evolutionary game modelling. *Reliability Engineering & System Safety*, 222, 108424. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108424>

Ministerio de Energía y Minas. (2022). *En 2021 el sector eléctrico dinamizó la economía nacional con un 93.2 % de generación renovable y la exportación de más de 500 GWh – Ministerio de Energía y Minas.* <https://www.recursosyenergia.gob.ec/en-2021-el-sector-electrico-dinamizo-la-economia-nacional-con-un-93-2-de-generacion-renovable-y-la-exportacion-de-mas-de-500-gwh/>

Ministerio de Energía y Minas. (2023). *MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DESARROLLÓ TALLER DE MOVILIDAD SOSTENIBLE EN EL SECTOR ELÉCTRICO – Ministerio de Energía y Minas.* <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ministerio-de-energia-y-minas-desarrollo-taller-de-movilidad-sostenible-en-el-sector-electrico/>

Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.

Modiba, T., & Telukdarie, A. (2021). Maintenance Strategy Optimization of a Thermal Power Plant. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1497-1502. <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9673017>

Molina Quiroz, E. I. (2023). *Metodología de mantenimiento predictivo en redes de distribución de medio voltaje por medio de técnica de estudio termográfico* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24573>

Moubray, J. (2001). *Reliability-centered Maintenance*. Industrial Press Inc.

Orozco Mónica. (2024, septiembre 2). *Crisis eléctrica de Ecuador: 13 termoeléctricas tienen entre 30 y 52 años de antigüedad*. Primicias. <https://www.primicias.ec/economia/crisis-electrica-ecuador-13-termoelectricas-30-y-52-anos-antigueedad-77630/>

Pacheco, A. (2012). Determinación de las Horas de Salida Forzada y Mantenimientos Programados en las Unidades de Generación del Sistema Eléctrico del Ecuador.

*Revista Técnica «energía»*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v8.n1.2012.186>

Palacios, J. B. S. (2019). *INGENIERIA DE MANTENIMIENTO*.

Pham, H., & Wang, H. (1996). Imperfect maintenance. *European Journal of Operational Research*, 94(3), 425-438. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00099-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00099-9)

Salazar, G., & Cardoso, M. F. (2008). Modelo para un Plan de Mantenimiento Anual Óptimo de Unidades de Generación del Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano. *Revista Técnica «energía»*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v4.n1.2008.261>

Samaniego Palacios, J. B., Calderón Freire, E. F., & Redroban Dillon, C. D. (2021). Plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central térmica ishpingo tambococha tiputini de la Corporación Eléctrica del Ecuador bajo la metodología de mantenimiento basado en la condición. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(2 (FEBRERO 2021)), 1123-1137.

Taco, Edwin. (2022). *Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de las unidades de generación Hyundai H21/32 de la Central Termoeléctrica Quevedo II*. <https://dspace.esepoch.edu.ec/items/51c6f120-9791-4a29-94f9-9acf8d44bf36>

Zuniawan, A. (2020). A Systematic Literature Review of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation in Industries. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 1(2), 59. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v1i2.9862>

# ANEXOS

## CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN MATLAB 2023 - 2024

% DATOS

```
periodo = [repmat(2023,12,1); repmat(2024,12,1)];  
mes = repmat((1:12)', 2, 1);  
mes_nombre =  
repmat(["Ene","Feb","Mar","Abr","May","Jun","Jul","Ago","Sep","Oct","Nov","Dic"],1,2)';  
mes_nombre = mes_nombre(:);  
  
tiempo_planificado = [74.21, 79.92, 87.59, 84.82, 85.4, 85.1, 87.39, 77.11, 87.28, 86.12,  
74.33, 97.26, ...  
88.69, 80.10, 86.66, 88.40, 74.85, 70.31, 82.53, 84.79, 78.70, 84.37, 86.74,  
87.39]';
```

```
tiempo_operativo = [75.97, 85.92, 89.46, 87.3, 87.71, 88.55, 79.42, 85.92, 61.42, 85.39,  
86.32, 85.01, ...  
89.55, 86.03, 81.67, 57.56, 59.32, 48.42, 57.97, 43.56, 46.64, 59.38, 56.36,  
56.47]';
```

```
produccion_real = [56700.48, 49514.83, 46872.35, 43733.01, 46322.68, 41717.36,  
40997.79, 40944.15, 47830.41, 59682.39, 64499.10, 49445.67, ...  
48119.79, 43308.54, 54819.26, 53837.84, 46684.24, 36980.00, 38512.91,  
43473.00, 51197.12, 62093.51, 54242.99, 53660.69]';
```

```
produccion_ideal = [58547.74, 51100.99, 48561.84, 45255.94, 47832.24, 43146.97,  
42556.23, 42467.68, 49494.87, 61589.70, 66385.60, 51016.78, ...  
49559.96, 44661.94, 56602.30, 55458.98, 48121.44, 38265.88, 39980.71,  
44926.82, 52477.19, 63710.63, 55631.01, 55069.37]';
```

% CÁLCULO KPIS

```
disponibilidad = tiempo_operativo ./ tiempo_planificado;
```

```

performance = produccion_real ./ produccion_ideal;
calidad = ones(size(disponibilidad)); % Calidad asumida 100%
OEE = disponibilidad .* performance .* calidad;

% CREAR TABLA
tbl = table(periodo, mes, mes_nombre, tiempo_planificado, tiempo_operativo,
produccion_real, produccion_ideal, disponibilidad, performance, calidad, OEE);

% AGRUPAR Y CALCULAR PROMEDIO MENSUAL POR PERIODO Y MES
resumen = groupsummary(tbl, {'periodo','mes'}, 'mean',
{'disponibilidad','performance','calidad','OEE'});

% MOSTRAR RESUMEN
disp(resumen)

% GRÁFICOS LÍNEAS KPIS
kpis = {'mean_disponibilidad', 'mean_performance', 'mean_OEE'};
fig = figure('Name','KPIs Mensuales Comparación 2023 vs 2024','Position',[100 100 900
700]);
mes_labels = ["Ene","Feb","Mar","Abr","May","Jun","Jul","Ago","Sep","Oct","Nov","Dic"];

for i=1:length(kpis)
    subplot(length(kpis),1,i)
    hold on
    for p = [2023 2024]
        idx = resumen.periodo == p;
        plot(resumen.mes(idx), resumen.(kpis{i})(idx), '-o', 'DisplayName', sprintf('%s - %d',
strrep(kpis{i}, 'mean_', ")), p));
    end
    hold off
    title(sprintf('%s Mensual - Comparación 2023 vs 2024', strrep(kpis{i}, 'mean_', ")))
    ylabel('Valor')
    ylim([0 1.2])

```

```

xticks(1:12)
xticklabels(mes_labels)
grid on
legend('Location','best')
end
xlabel('Mes')

% GRÁFICO BARRAS KPIS COMPARATIVO
figure('Name','KPIs Mensuales Comparativo 2023 vs 2024','Position',[100 100 900 500])
kpis_plot = {'mean_disponibilidad','mean_performance','mean_calidad','mean_OEE'};
hold on
bar_width = 0.35;
x = 1:12;

for i = 1:length(kpis_plot)
    for p = [2023 2024]
        idx = resumen.periodo == p;
        vals = resumen.(kpis_plot{i})(idx);
        % Desplazar barras para evitar superposición
        xpos = x - bar_width/2 + (p-2023)*bar_width;
        bar(xpos, vals, bar_width, 'DisplayName', sprintf('%s - %d', strrep(kpis_plot{i}, 'mean_', ''), p));
    end
end
hold off
set(gca,'XTick',1:12,'XTickLabel', mes_labels)
ylabel('Valor')
title('KPIs Mensuales por Periodo (2023 vs 2024)')
legend('Location','bestoutside')
grid on

```

## CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN MATLAB 2024 - 2025

% DATOS

```
periodo = [repmat(2024, 4, 1); repmat(2025, 4, 1)];  
mes = repmat((1:4)', 2, 1);  
mes_nombre = repmat(["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril"], 1, 2);  
mes_nombre = mes_nombre(:);
```

```
tiempo_planificado = [...  
88.69, 80.10, 86.66, 88.40, ... % 2024  
54.82, 56.24, 38.52, 59.47]'; % 2025
```

```
tiempo_operativo = [...  
89.55, 86.03, 81.67, 57.56, ... % 2024  
57.61, 57.58, 56.64, 43.10]'; % 2025
```

```
produccion_real = [...  
48119.79, 43308.54, 54819.26, 53837.84, ...  
59272.12, 40791.59, 45820.52, 37646.98]';
```

```
produccion_ideal = [...  
49559.96, 44661.94, 56602.30, 55458.98, ...  
60785.12, 41950.24, 47526.76, 38698.75]';
```

```
perdidas = [...  
2405.99, 2165.43, 2740.96, 2691.89, ...  
2963.61, 2039.58, 2291.03, 1882.35]';
```

```
% ASEGURAR QUE LAS PÉRDIDAS NO SUPEREN LA PRODUCCIÓN REAL  
perdidas = min(perdidas, produccion_real);
```

## % CÁLCULO DE KPIS

```
disponibilidad = tiempo_operativo ./ tiempo_planificado;  
disponibilidad = min(disponibilidad, 1); % Máximo 100%
```

```
performance = produccion_real ./ produccion_ideal;  
calidad = (produccion_real - perdidas) ./ produccion_real;
```

```
OEE = disponibilidad .* performance .* calidad;
```

## % CREAR TABLA

```
tbl = table(periodo, mes, mes_nombre, tiempo_planificado, tiempo_operativo, ...  
    produccion_real, produccion_ideal, perdidas, ...  
    disponibilidad, performance, calidad, OEE);
```

## % RESUMEN MENSUAL POR PERIODO Y MES

```
resumen = groupsummary(tbl, {'periodo', 'mes'}, 'mean', {'disponibilidad', 'performance',  
'calidad', 'OEE'});
```

## % GRÁFICOS DE LÍNEAS POR KPI

```
kpis = {'mean_disponibilidad', 'mean_performance', 'mean_calidad', 'mean_OEE'};  
kpi_labels = {'Disponibilidad', 'Performance', 'Calidad', 'OEE'};  
meses = ["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril"];
```

```
figure('Name','KPIs 2024 vs 2025 - Gráficos de líneas','Position',[100 100 1000 800])
```

```
for i = 1:length(kpis)  
    subplot(4,1,i)  
    hold on  
    for p = [2024 2025]  
        idx = resumen.periodo == p;
```

```

plot(resumen.mes(idx), resumen.(kpis{i})(idx), '-o', 'DisplayName', sprintf('%s - %d',
kpi_labels{i}, p));
end
hold off
ylabel(sprintf('%s', kpi_labels{i}))
title(sprintf('%s mensual - Comparación 2024 vs 2025', kpi_labels{i}))
ylim([0 1.1])
xticks(1:4)
xticklabels(meses)
grid on
legend('Location','best')
end
xlabel('Mes')

```

#### % GRÁFICO DE BARRAS COMPARATIVO

```

figure('Name','KPIs Comparativos 2024 vs 2025','Position',[100 100 900 500])
bar_width = 0.35;
x = 1:4;

for i = 1:4
    subplot(2,2,i)
    hold on
    for p = [2024 2025]
        idx = resumen.periodo == p;
        vals = resumen.(kpis{i})(idx);
        xpos = x - bar_width/2 + (p-2024)*bar_width;
        bar(xpos, vals, bar_width, 'DisplayName', sprintf('%s - %d', kpi_labels{i}, p));
    end
    hold off
    set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTickLabel', meses)
    title(kpi_labels{i})
    ylim([0 1.1])
    ylabel('Valor')

```

```
grid on  
legend('Location','best')  
end
```

Tabla 6.1 Producción de energía neta 2011

<b>PRODUCCIÓN DE ENERGÍA NETA UNIDADES 6FA Y TM2500 2011 – 2022</b>											
<b>AÑO</b>	<b>MESES</b>	<b>6FA1</b>	<b>6FA2</b>	<b>TM1</b>	<b>TM2</b>	<b>TM3</b>	<b>TM4</b>	<b>TM5</b>	<b>TM6</b>	<b>TOTAL Mwh</b>	<b>TOTAL kWh</b>
<b>2011</b>	JUNIO	28.464,62	27.905,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56.370,24	56.370.236,50
	JULIO	10.383,80	16.200,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26.584,17	26.584.171,70
	AGOSTO	5.399,37	38.322,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43.722,35	43.722.345,50
	SEPTIEMBRE	0,00	36.627,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36.627,10	36.627.096,90
	OCTUBRE	0,00	38.870,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38.870,63	38.870.628,50
	NOVIEMBRE	0,00	42.581,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42.581,64	42.581.641,20
	DICIEMBRE	26.997,32	38.516,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65.513,43	65.513.430,30
<b>TOTAL</b>										310.269,55	310.269.550,60

Tabla 6.2 Producción de energía neta 2012

<b>AÑO</b>	<b>MESES</b>	<b>6FA1</b>	<b>6FA2</b>	<b>TM1</b>	<b>TM2</b>	<b>TM3</b>	<b>TM4</b>	<b>TM5</b>	<b>TM6</b>	<b>TOTAL Mwh</b>	<b>TOTAL kWh</b>
<b>2012</b>	ENERO	24.135,96	29.127,97	0,00	0,00	0,00	0,00	334,31	486,02	54.084,26	54.084.261,90
	FEBRERO	31.198,72	28.198,70	0,00	0,00	0,00	7.503,60	6.184,43	6.068,19	79.153,63	79.153.630,47
	MARZO	35.916,90	31.974,26	0,00	0,00	0,00	10.212,09	9.419,05	8.308,11	95.830,41	95.830.410,67
	ABRIL	31.568,49	30.688,20	0,00	0,00	0,00	7.060,92	6.650,00	5.811,00	81.778,61	81.778.608,37
	MAYO	32.130,33	21.206,97	0,00	0,00	0,00	7.356,81	7.350,04	5.330,06	73.374,20	73.374.203,70
	JUNIO	33.910,91	33.804,16	4.149,11	7.220,11	6.798,34	6.332,71	7.221,67	4.174,98	103.611,98	103.611.978,95
	JULIO	34.199,44	19.837,24	4.411,69	8.076,99	7.682,94	7.910,30	7.750,02	5.090,43	94.959,06	94.959.055,60
	AGOSTO	2.636,46	12.909,93	2.636,46	12.909,93	12.670,11	12.765,76	12.771,48	9.903,56	79.203,69	79.203.689,96
	SEPTIEMBRE	43.472,92	41.103,14	6.614,33	12.546,73	7.345,93	12.627,23	10.826,25	1.387,09	135.923,63	135.923.634,21
	OCTUBRE	45.585,58	43.335,88	14.304,05	10.705,00	4.439,52	14.623,53	10.095,03	1.726,59	144.815,18	144.815.175,92
	NOVIEMBRE	41.761,92	41.372,98	11.190,65	3.171,44	465,64	6.879,34	2.317,18	132,22	107.291,38	107.291.375,97
	DICIEMBRE	44.296,26	42.737,21	14.116,52	3.669,14	1.400,84	9.580,98	1.384,11	396,87	117.581,94	117.581.935,40
<b>TOTAL</b>										783.386,85	783.386.846,02

**Tabla 6.3 Producción de energía neta 2013**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2013	ENERO	45.311,67	46.087,79	705,09	13.841,33	238,02	1.846,02	4.132,12	178,05	112.340,10	112.340.096,44
	FEBRERO	39.794,70	39.179,73	640,22	13.093,46	12,82	1.639,31	1.553,20	5,91	95.919,35	95.919.347,32
	MARZO	46.209,49	46.046,08	133,24	1.338,65	0,00	1.231,33	9.407,30	0,00	104.366,09	104.366.085,44
	ABRIL	42.077,91	42.085,33	1.574,28	2.153,65	269,15	2.895,59	10.522,31	56,02	101.634,23	101.634.231,55
	MAYO	43.391,84	3.058,73	14.428,31	14.411,56	5.799,76	12.813,13	14.504,93	1.160,86	109.569,13	109.569.127,39
	JUNIO	2.966,90	40.802,00	13.878,09	14.064,12	10.598,11	14.183,59	13.990,22	1.569,79	112.052,82	112.052.824,57
	JULIO	39.255,37	8.817,28	14.053,71	10.538,02	12.372,22	13.863,10	13.867,01	6.707,91	119.474,61	119.474.614,91
	AGOSTO	13.950,74	44.507,76	13.010,18	14.031,11	8.959,03	13.576,98	10.704,06	2.657,00	121.396,86	121.396.862,39
	SEPTIEMBRE	43.216,28	39.461,43	12.876,78	12.886,17	13.160,49	13.186,97	5.736,29	1.765,08	142.289,48	142.289.477,38
	OCTUBRE	38.035,59	44.304,57	14.592,54	14.493,59	2.967,09	14.736,76	9.184,17	2.629,95	140.944,25	140.944.250,03
	NOVIEMBRE	40.010,58	27.344,06	13.593,12	13.796,57	13.465,64	13.529,33	5.965,93	656,27	128.361,50	128.361.496,09
	DICIEMBRE	27.251,58	29.736,67	14.562,17	14.109,14	14.768,99	8.696,33	14.681,92	13.543,54	137.350,34	137.350.338,73
<b>TOTAL</b>										1.425.698,75	1.425.698.752,24

**Tabla 6.4 Producción de energía neta 2014**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2014	ENERO	28.792,89	29.116,72	14.178,57	14.403,13	14.518,82	10.742,62	14.486,56	13.543,33	139.782,65	139.782.651,67
	FEBRERO	30.100,43	31.253,35	11.497,77	12.829,97	5.082,79	12.988,21	12.645,06	11.426,85	127.824,43	127.824.429,56
	MARZO	27.120,14	30.260,97	13.845,98	14.396,79	9.432,99	14.410,95	14.396,30	12.425,64	136.289,75	136.289.754,92
	ABRIL	30.886,04	38.363,67	11.823,48	13.104,85	13.370,45	13.136,83	11.811,15	8.640,44	141.136,91	141.136.911,70
	MAYO	43.485,58	40.838,86	4.370,03	14.636,45	14.813,48	14.462,84	3.896,68	9.296,62	145.800,56	145.800.556,73
	JUNIO	39.665,53	26.906,81	9.335,98	13.697,66	14.037,05	13.715,92	10.800,90	8.864,02	137.023,87	137.023.873,16
	JULIO	45.398,90	11.563,47	11.550,12	14.251,00	13.464,16	13.405,54	14.171,83	8.972,29	132.777,32	132.777.318,27
	AGOSTO	33.842,83	20.561,77	13.909,97	13.781,57	13.486,95	5.661,60	11.612,49	4.955,39	117.812,57	117.812.571,53
	SEPTIEMBRE	40.264,64	41.816,08	4.207,97	13.697,57	4.016,65	13.937,39	6.771,44	3.604,30	128.316,05	128.316.050,66
	OCTUBRE	45.444,15	46.446,00	6.784,94	2.565,79	6.238,58	10.017,94	9.735,72	4.451,17	131.684,29	131.684.289,69
	NOVIEMBRE	12.131,08	44.760,10	12.386,61	13.956,13	11.588,37	14.353,36	10.926,30	8.397,34	128.499,28	128.499.282,70

	DICIEMBRE	39.890,93	45.614,32	8.252,50	14.621,53	4.139,23	13.589,76	3.361,84	459,40	129.929,51	129.929.514,95	
<b>TOTAL</b>											1.596.877,21	1.596.877.205,54

**Tabla 6.5 Producción de energía neta 2015**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2015	ENERO	44.040,57	43.067,26	3.823,19	14.403,08	8.262,78	13.955,89	5.554,21	1.775,33	134.882,29	134.882.290,90
	FEBRERO	20.834,17	19.483,86	9.270,55	12.898,35	8.729,22	12.670,06	11.576,39	6.717,41	102.179,99	102.179.993,38
	MARZO	33.998,73	35.564,41	11.015,32	12.579,23	10.211,58	12.232,53	6.825,46	5.172,27	127.599,54	127.599.541,01
	ABRIL	11.943,21	12.003,29	14.072,79	13.454,41	11.458,70	13.655,66	11.038,15	9.343,47	96.969,68	96.969.678,17
	MAYO	36.711,63	28.626,33	14.106,37	14.138,75	4.717,79	14.040,93	3.040,91	1.106,01	116.488,72	116.488.719,97
	JUNIO	36.344,83	41.035,74	14.368,45	11.625,89	7.504,28	13.733,04	6.751,12	5.830,04	137.193,39	137.193.387,76
	JULIO	46.268,74	43.404,73	14.311,11	13.294,71	4.244,47	10.421,23	6.290,76	3.440,29	141.676,03	141.676.029,50
	AGOSTO	44.322,07	45.298,50	13.491,96	10.284,57	6.158,14	7.851,32	8.587,93	5.748,52	141.743,01	141.743.012,68
	SEPTIEMBRE	44.559,40	44.545,78	12.485,99	8.448,16	3.279,96	10.754,01	3.988,74	1.397,09	129.459,13	129.459.133,87
	OCTUBRE	43.156,85	45.469,51	14.540,46	14.038,50	4.979,47	4.982,20	7.222,38	1.449,87	135.839,24	135.839.242,83
	NOVIEMBRE	40.209,24	41.323,44	6.450,76	13.422,96	4.469,76	13.657,43	4.651,77	1.244,42	125.429,76	125.429.764,35
	DICIEMBRE	27.893,37	4.794,55	7.212,39	13.434,57	5.980,79	13.549,63	9.207,74	4.119,50	86.192,54	86.192.540,80
<b>TOTAL</b>										1.475.653,34	1.475.653.335,21

**Tabla 6.6 Producción de energía neta 2016**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2016	ENERO	3.084,40	43.375,27	10.699,32	13.463,54	3.616,30	13.753,17	5.141,13	1.908,82	95.041,95	95.041.950,83
	FEBRERO	42.471,68	40.460,15	1.848,04	11.825,75	7.888,99	11.287,56	10.902,93	3.820,69	130.505,79	130.505.794,14
	MARZO	46.065,83	35.967,70	11.880,71	11.579,17	13.545,31	10.386,79	8.527,60	3.551,06	141.504,17	141.504.169,13
	ABRIL	41.283,62	38.631,07	13.038,40	4.518,09	12.061,23	10.497,75	8.225,94	3.784,20	132.040,30	132.040.296,24
	MAYO	45.268,15	39.260,21	14.244,37	13.681,13	61,87	13.138,66	5.533,22	1.538,79	132.726,40	132.726.402,72
	JUNIO	43.874,70	36.501,18	14.094,55	13.760,13	95,26	7.244,55	1.248,94	812,66	117.631,97	117.631.967,11
	JULIO	45.252,13	29.160,59	14.169,41	4.384,17	639,72	13.109,36	5.245,85	3.697,12	115.658,35	115.658.354,04

	AGOSTO	46.506,77	14.450,16	8.675,37	8.878,47	6.795,58	14.353,36	14.014,88	1.252,19	114.926,78	114.926.783,64
	SEPTIEMBRE	31.682,74	38.638,55	6.019,39	5.188,14	13.052,88	6.217,82	11.044,90	176,10	112.020,52	112.020.523,54
	OCTUBRE	47.514,12	38.500,13	5.085,63	1.837,83	10.799,48	2.920,06	8.919,39	56,96	115.633,60	115.633.600,00
	NOVIEMBRE	37.964,77	29.883,32	4.685,33	13.632,03	6.226,03	6.981,03	10.726,81	953,77	111.053,09	111.053.093,96
	DICIEMBRE	46.723,69	43.119,48	10.500,29	7.021,00	3.220,45	6.753,85	3.227,22	101,87	120.667,84	120.667.842,25
	<b>TOTAL</b>										1.439.410,78
											1.439.410.777,59

**Tabla 6.7 Producción de energía neta 2017**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2017	ENERO	44.922,26	39.439,24	10.630,43	3.206,39	13.705,89	1.398,51	1.010,62	130,53	114.443,86	114.443.856,18
	FEBRERO	42.921,84	30.682,20	12.662,68	958,04	9.118,38	1.050,68	508,72	98,20	98.000,74	98.000.739,76
	MARZO	45.433,32	39.485,29	2.226,25	9.778,00	619,27	14.169,40	385,60	199,78	112.296,91	112.296.911,28
	ABRIL	43.277,17	39.671,48	6.539,27	8.845,32	6.526,50	793,38	1.023,01	439,68	107.115,81	107.115.806,15
	MAYO	46.640,78	35.798,78	766,37	648,89	9.272,25	5.835,08	5.198,51	251,17	104.411,83	104.411.830,76
	JUNIO	42.245,92	33.451,25	1.353,14	1.171,36	215,44	9.546,84	9.828,77	1.179,11	98.991,83	98.991.826,11
	JULIO	44.816,58	36.573,39	1.379,79	7.643,21	727,85	10.209,20	1.136,65	176,30	102.662,97	102.662.969,98
	AGOSTO	46.585,53	39.778,64	1.302,35	1.391,11	9.293,29	2.354,94	98,16	63,01	100.867,03	100.867.029,63
	SEPTIEMBRE	37.950,05	7.513,74	10.984,20	13.431,72	13.630,59	14.028,54	848,93	7,11	98.394,88	98.394.877,89
	OCTUBRE	25.205,39	47.373,54	5.957,81	4.855,26	9.249,14	4.039,42	2.157,62	310,94	99.149,11	99.149.111,42
	NOVIEMBRE	43.529,59	33.620,70	172,14	461,31	1.424,92	9.451,35	102,13	5,94	88.768,08	88.768.076,61
	DICIEMBRE	43.347,80	30.299,50	499,72	1.147,38	8.921,03	560,38	180,76	73,88	85.030,44	85.030.440,36
	<b>TOTAL</b>										1.210.133,48
											1.210.133.476,14

**Tabla 6.8 Producción de energía neta 2018**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2018	ENERO	44.859,10	37.652,78	5.003,86	1.359,72	720,61	723,94	0,00	0,00	90.320,00	90.320.000,24
	FEBRERO	43.140,72	38.025,54	104,21	124,37	0,00	610,67	0,00	5,14	82.010,65	82.010.648,20
	MARZO	43.402,70	37.463,62	1.607,20	904,16	1.234,71	30,25	46,09	6,84	84.695,58	84.695.579,01

	ABRIL	45.274,99	24.571,46	1.112,59	682,37	74,99	842,01	37,33	5,11	72.600,84	72.600.840,87
	MAYO	44.640,65	23.954,90	394,25	370,77	0,00	405,00	75,84	0,00	69.841,42	69.841.419,45
	JUNIO	6.482,28	28.928,15	13.309,89	9.536,22	0,00	1.261,74	12.236,21	7,47	71.761,97	71.761.968,04
	JULIO	40.501,18	6.781,31	198,31	2.946,66	12.909,93	9.840,14	224,95	85,96	73.488,44	73.488.437,19
	AGOSTO	11.768,72	34.616,82	617,41	435,84	9.610,21	12.128,15	320,62	265,49	69.763,25	69.763.249,09
	SEPTIEMBRE	41.146,59	2.668,34	9.477,67	10.604,67	618,52	296,24	1.108,32	256,13	66.176,47	66.176.474,84
	OCTUBRE	2.467,57	43.545,92	9.733,23	2.695,58	36,25	445,21	9.329,39	0,00	68.253,16	68.253.160,08
	NOVIEMBRE	40.393,12	2.099,34	5,79	1.637,08	8.735,98	9.706,96	2.045,20	965,37	65.588,84	65.588.841,66
	DICIEMBRE	0,00	37.058,00	12.171,55	99,91	354,22	98,75	10.862,85	2.033,99	62.679,27	62.679.270,55
	<b>TOTAL</b>									877.179,89	877.179.889,21

**Tabla 6.9 Producción de energía neta 2019**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
2019	ENERO	0,00	41.582,10	721,65	460,93	11.104,63	59,79	6.081,34	1.269,52	61.279,96	61.279.955,16
	FEBRERO	0,00	41.252,33	702,99	0,00	11.222,88	0,00	9.087,01	4.693,29	66.958,50	66.958.500,00
	MARZO	0,00	32.933,96	13.770,35	13.294,84	93,21	13.879,39	257,56	728,96	74.958,27	74.958.270,00
	ABRIL	35.596,19	3.873,21	7.910,30	9.915,32	2.115,75	956,05	10.092,34	367,60	70.826,77	70.826.773,99
	MAYO	37.851,75	0,00	1.377,42	1.345,36	10.965,28	2.109,82	11.745,28	7.213,50	72.608,41	72.608.405,70
	JUNIO	38.044,95	0,00	13.282,98	1.439,39	11.038,85	1.829,55	1.387,80	2.337,27	69.360,81	69.360.807,17
	JULIO	45.685,89	51,37	11.692,71	8,02	2.894,45	543,49	7.811,54	8,46	68.695,94	68.695.940,50
	AGOSTO	40.565,71	1.968,25	10.026,20	1.573,01	0,00	705,21	8.893,63	0,00	63.732,01	63.732.008,09
	SEPTIEMBRE	40.182,13	0,00	9.539,85	1.028,46	0,00	8.813,97	8,79	0,00	59.573,22	59.573.217,76
	OCTUBRE	38.890,02	2.408,35	7.406,93	6.591,33	0,00	5.104,42	2.536,71	0,00	62.937,76	62.937.760,16
	NOVIEMBRE	42.665,58	113,08	9.140,21	461,37	0,00	4.339,20	1.361,90	1.693,26	59.774,60	59.774.601,97
	DICIEMBRE	42.472,84	0,00	6.371,82	11.415,95	0,00	825,95	6.761,20	42,30	67.890,07	67.890.065,97
	<b>TOTAL</b>									798.596,31	798.596.306,45

**Tabla 6.10 Producción de energía neta 2020**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
<b>2020</b>	ENERO	591,65	44.127,60	1.178,06	0,93	0,00	0,00	10.650,85	0,00	56.549,09	56.549.093,14
	FEBRERO	22.599,52	17.436,64	312,10	147,16	0,00	11.122,69	3,34	0,00	51.621,44	51.621.444,15
	MARZO	44.819,95	0,00	0,00	845,05	0,00	4.121,77	11.645,06	47,37	61.479,21	61.479.208,17
	ABRIL	41.355,54	0,00	0,00	10.081,54	0,00	804,37	12.892,24	631,64	65.765,33	65.765.332,62
	MAYO	43.184,07	0,00	0,00	343,21	0,00	6.752,28	11.007,23	56,48	61.343,28	61.343.277,79
	JUNIO	33.403,05	5.199,17	0,00	3.528,80	0,00	9.842,86	19,42	0,00	51.993,29	51.993.292,70
	JULIO	38.928,69	3,47	0,00	4.859,76	0,00	9.614,88	119,40	72,58	53.598,77	53.598.772,81
	AGOSTO	38.643,05	1.122,17	0,00	53,92	0,00	4.574,49	9.881,36	0,00	54.274,99	54.274.990,73
	SEPTIEMBRE	24.159,59	7.778,75	0,00	499,77	0,00	692,81	9.939,45	0,00	43.070,36	43.070.362,16
	OCTUBRE	767,05	25.255,68	0,00	2.519,67	0,00	1.832,21	11.571,63	0,00	41.946,23	41.946.233,85
	NOVIEMBRE	25.645,19	13.557,88	0,00	379,98	2.670,98	6.710,74	8.919,57	0,00	57.884,34	57.884.338,60
	DICIEMBRE	26.928,26	9.168,86	0,00	486,74	10.063,40	3.489,94	11.860,43	30,81	62.028,45	62.028.445,62
<b>TOTAL</b>										661.554,79	661.554.792,34

**Tabla 6.11 Producción de energía neta 2021**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TOTAL Mwh	TOTAL kwh
<b>2021</b>	ENERO	12.275,27	0,00	0,00	7.694,88	13.250,98	8.605,15	9.157,72	6.077,83	57.061,84	57.061.842,22
	FEBRERO	23.257,25	3.683,47	0,00	0,00	9.057,83	356,48	8.842,71	0,00	45.197,74	45.197.743,63
	MARZO	33.237,60	0,00	0,00	260,21	10.048,97	778,77	9.863,66	0,00	54.189,22	54.189.216,75
	ABRIL	1.659,39	27.141,80	0,00	288,03	9.555,66	23,14	6.767,69	0,00	45.435,72	45.435.715,23
	MAYO	21.614,62	12.483,78	0,00	120,90	11.735,35	119,55	163,55	0,00	46.237,75	46.237.748,60
	JUNIO	22.296,10	0,00	0,00	4.881,44	3.054,33	14.278,67	3.850,92	0,00	48.361,47	48.361.465,50
	JULIO	0,00	0,00	0,00	13.711,02	10.376,54	14.393,75	13.177,75	0,00	51.659,06	51.659.064,99
	AGOSTO	3.346,46	17.374,05	0,00	5.179,41	3.788,12	11.439,95	4.824,68	0,00	45.952,67	45.952.674,28
	SEPTIEMBRE	3.419,56	27.232,30	0,00	0,00	9.711,36	252,87	0,00	0,00	40.616,09	40.616.094,35
	OCTUBRE	25.174,22	7.846,19	0,00	0,00	0,00	10.251,92	0,00	0,00	43.272,33	43.272.331,68
	NOVIEMBRE	31.089,99	1,53	0,00	0,00	333,00	9.336,46	0,00	0,00	40.760,98	40.760.976,65

	DICIEMBRE	4,17	31.999,38	0,00	0,00	9.279,75	18,25	53,07	0,00	41.354,61	41.354.614,89
<b>TOTAL</b>										560.099,49	560.099.488,76

**Tabla 6.12 Producción de energía neta 2022**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TOTAL Mwh	TOTAL kWh
2022	ENERO	0,00	28.692,19	0,00	0,00	12.770,82	954,00	18,98	42.435,99	42.435.992,48
	FEBRERO	2.640,42	21.045,05	0,00	1.442,73	11.917,48	838,10	906,87	38.790,65	38.790.646,52
	MARZO	4.114,46	23.176,88	0,00	2.261,63	6.513,34	11.116,39	2.088,61	49.271,32	49.271.320,19
	ABRIL	24.437,51	10.680,14	0,00	2.354,87	6.249,11	3.554,08	125,27	47.400,98	47.400.975,73
	MAYO	42.478,95	0,00	0,00	1.047,67	500,82	500,36	56,60	44.584,40	44.584.396,03
	JUNIO	32,06	41.349,49	0,00	239,93	2.817,64	576,28	210,12	45.225,51	45.225.513,93
	JULIO	20.922,48	16.252,72	0,00	117,61	7.479,82	1.445,33	162,45	46.380,41	46.380.412,60
	AGOSTO	37.850,67	305,90	0,00	282,29	6.058,37	998,55	0,00	45.495,79	45.495.789,72
	SEPTIEMBRE	533,31	15.063,22	0,00	7.261,28	10.667,04	9.497,39	1.359,89	44.382,15	44.382.145,25
	OCTUBRE	970,38	9.219,10	0,00	7.615,93	7.515,95	8.120,31	6.574,86	40.016,53	40.016.533,35
	NOVIEMBRE	0,00	0,00	0,00	399,10	13.532,87	13.749,00	11.877,82	39.558,80	39.558.797,53
	DICIEMBRE	20.760,81	3.782,86	0,00	52,71	5.918,87	7.534,63	6.751,62	44.801,49	44.801.493,40
<b>TOTAL</b>									528.344,02	528.344.016,71

**Tabla 6.13 Producción de energía neta 2023**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TOTAL Mwh	TOTAL kWh
2023	ENERO	11.266,90	26.647,42	0,00	6.252,97	38,84	6.404,61	6.089,73	56.700,48	56.700.481,41
	FEBRERO	28.134,27	5.493,70	0,00	5.087,90	2.660,80	4.157,83	3.980,33	49.514,83	49.514.831,53
	MARZO	34.945,39	870,91	0,00	4.953,16	1.244,46	2.958,94	1.899,49	46.872,35	46.872.347,58
	ABRIL	1.271,33	33.956,78	0,00	3.970,72	640,08	3.338,29	555,81	43.733,01	43.733.011,17
	MAYO	35.924,79	26,80	0,00	4.523,21	451,31	3.305,10	2.091,47	46.322,68	46.322.681,58
	JUNIO	33.391,94	0,00	0,00	5.770,56	353,48	1.096,61	1.104,77	41.717,36	41.717.356,46
	JULIO	3.832,08	28.880,33	0,00	5.424,06	449,43	1.101,13	1.310,75	40.997,79	40.997.785,61
	AGOSTO	30.890,84	0,00	0,00	4.679,59	894,23	2.647,69	1.831,80	40.944,15	40.944.146,56
	SEPTIEMBRE	15.820,83	432,03	0,00	7.177,40	5.615,29	9.310,16	9.474,69	47.830,41	47.830.408,88
	OCTUBRE	25.059,73	6.062,13	0,00	8.711,63	6.078,51	7.749,02	6.021,36	59.682,39	59.682.387,53
	NOVIEMBRE	0,94	33.492,16	0,00	10.332,91	6.328,85	8.162,66	6.181,59	64.499,10	64.499.104,15
	DICIEMBRE	30.842,33	6,54	0,00	5.667,46	4.436,20	4.816,64	3.676,50	49.445,67	49.445.671,89
<b>TOTAL</b>								588.260,21	588.260.214,35	

**Tabla 6.14 Producción de energía neta 2024**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TOTAL Mwh	TOTAL kWh
2024	ENERO	31.555,82	0,00	0,00	4.829,51	3.007,71	4.812,57	3.914,17	48.119,79	48.119.785,81
	FEBRERO	30.305,59	0,00	0,00	5.006,84	1.663,02	3.848,84	2.484,24	43.308,54	43.308.541,56
	MARZO	29.120,36	0,00	0,00	5.417,72	5.612,56	7.554,43	7.114,18	54.819,26	54.819.258,22
	ABRIL	28.178,85	0,00	0,00	5.727,17	5.856,53	7.437,15	6.638,15	53.837,84	53.837.837,90
	MAYO	32.782,46	0,00	0,00	2.523,44	2.994,96	4.483,39	3.899,99	46.684,24	46.684.242,23
	JUNIO	21.915,81	0,00	0,00	3.537,86	4.429,30	5.473,23	1.623,81	36.980,00	36.980.003,85
	JULIO	29.736,57	0,00	0,00	2.993,72	966,07	3.407,99	1.408,56	38.512,91	38.512.911,25
	AGOSTO	12.365,78	0,00	0,00	9.305,89	7.287,46	9.863,60	4.650,27	43.473,00	43.473.001,70
	SEPTIEMBRE	22.821,36	0,00	0,00	11.091,38	6.987,52	6.082,22	4.214,64	51.197,12	51.197.116,42

	OCTUBRE	27.352,79	0,00	0,00	9.059,55	7.726,27	11.807,84	6.147,05	62.093,51	62.093.506,72	
	NOVIEMBRE	24.155,30	0,00	0,00	6.419,87	6.693,47	10.619,43	6.354,92	54.242,99	54.242.992,41	
	DICIEMBRE	28.367,98	0,00	0,00	7.706,91	4.803,97	8.552,36	4.229,47	53.660,69	53.660.690,00	
	<b>TOTAL</b>									586.929,89	586.929.888,07

**Tabla 6.15 Producción de energía neta 2025**

AÑO	MESES	6FA1	6FA2	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TOTAL Mwh	TOTAL kWh
2025	ENERO	28.257,99	0,00	0,00	11.160,64	6.820,83	7.593,50	5.439,16	59.272,12	59.272.121,67
	FEBRERO	28.642,59	0,00	653,49	5.730,75	2.811,49	2.953,27	0,00	40.791,59	40.791.592,73
	MARZO	29.586,47	0,00	2.548,20	6.074,95	3.904,22	3.706,68	0,00	45.820,52	45.820.521,91
	ABRIL	26.971,81	0,00	3.780,32	0,00	0,00	6.894,85	0,00	37.646,98	37.646.979,36
	MAYO								0,00	0,00
	JUNIO								0,00	0,00
	JULIO								0,00	0,00
	AGOSTO								0,00	0,00
	SEPTIEMBRE								0,00	0,00
	OCTUBRE								0,00	0,00
	NOVIEMBRE								0,00	0,00
	DICIEMBRE								0,00	0,00
<b>TOTAL</b>									183.531,22	183.531.215,66

**Tabla 6.16 Datos de operación 2021**

	PERIODO 2021											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIEMPO OPERACIÓN PLANIFICADO	669,6	626,4	669,6	648	669,6	648	669,6	669,6	648	669,6	648	669,6
TIEMPO OPERACIÓN REAL	424,36	387,91	492,71	474,01	445,84	452,26	463,8	454,96	443,82	400,17	395,59	448,01
PRODUCCIÓN REAL	57.061,84	45.197,74	54.189,22	45.435,72	46.237,75	48.361,47	51.659,06	45.952,67	40.616,09	43.272,33	40.760,98	41.354,61
PRODUCCIÓN IDEAL	58.503,33	46.773,62	56.085,46	47.170,51	47.985,14	49.810,38	52.679,53	47.364,91	42.360,14	44.949,68	42.331,21	43.003,52
PRODUCCIÓN TOTAL	57.061,84	45.197,74	54.189,22	45.435,72	46.237,75	48.361,47	51.659,06	45.952,67	40.616,09	43.272,33	40.760,98	41.354,61

**Tabla 6.17 Datos de operación 2022**

	PERIODO 2022											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIEMPO OPERACIÓN PLANIFICADO	669,6	626,4	669,6	648	669,6	648	669,6	669,6	648	669,6	648	669,6
TIEMPO OPERACIÓN REAL	424,36	387,91	492,71	474,01	445,84	452,26	463,8	454,96	443,82	400,17	395,59	448,01
PRODUCCIÓN REAL	42.435,99	38.790,65	49.271,32	47.400,98	44.584,40	45.225,51	46.380,41	45.495,79	44.382,15	40.016,53	39.558,80	44.801,49
PRODUCCIÓN IDEAL	44.158,77	40.306,60	51.137,41	49.254,41	46.164,36	46.882,49	47.988,02	47.118,33	45.575,97	41.042,33	40.311,37	46.309,83
PRODUCCIÓN TOTAL	42.435,99	38.790,65	49.271,32	47.400,98	44.584,40	45.225,51	46.380,41	45.495,79	44.382,15	40.016,53	39.558,80	44.801,49

**Tabla 6.18 Datos de operación 2023**

	PERIODO 2023											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIEMPO OPERACIÓN PLANIFICADO	74,21	79,92	87,59	84,82	85,4	85,1	87,39	77,11	87,28	86,12	74,33	97,26
TIEMPO OPERACIÓN REAL	75,97	85,92	89,46	87,3	87,71	88,55	79,42	85,92	61,42	85,39	86,32	85,01
PRODUCCIÓN REAL	56.700,48	49.514,83	46.872,35	43.733,01	46.322,68	41.717,36	40.997,79	40.944,15	47.830,41	59.682,39	64.499,10	49.445,67
PRODUCCIÓN IDEAL	58.547,74	51.100,99	48.561,84	45.255,94	47.832,24	43.146,97	42.556,23	42.467,68	49.494,87	61.589,70	66.385,60	51.016,78
PRODUCCIÓN TOTAL	56.700,48	49.514,83	46.872,35	43.733,01	46.322,68	41.717,36	40.997,79	40.944,15	47.830,41	59.682,39	64.499,10	49.445,67

**Tabla 6.19 Datos de operación 2024**

	PERIODO 2024											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIEMPO OPERACIÓN PLANIFICADO	88,69	80,10	86,66	88,40	74,85	70,31	82,53	84,79	78,70	84,37	86,74	87,39
TIEMPO OPERACIÓN REAL	89,55	86,03	81,67	57,56	59,32	48,42	57,97	43,56	46,64	59,38	56,36	56,47
PRODUCCIÓN REAL	48.119,79	43.308,54	54.819,26	53.837,84	46.684,24	36.980,00	38.512,91	43.473,00	51.197,12	62.093,51	54.242,99	53.660,69
PRODUCCIÓN IDEAL	49.559,96	44.661,94	56.602,30	55.458,98	48.121,44	38.265,88	39.980,71	44.926,82	52.477,19	63.710,63	55.631,01	55.069,37
PRODUCCIÓN TOTAL	48.119,79	43.308,54	54.819,26	53.837,84	46.684,24	36.980,00	38.512,91	43.473,00	51.197,12	62.093,51	54.242,99	53.660,69

**Tabla 6. 20 Datos de operación 2025**

	PERIODO 2025											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TIEMPO OPERACIÓN PLANIFICADO	54,82	56,24	38,52	59,47	53,3	52,15	43,62	76,45	76,22	70,28	77,94	51,35
TIEMPO OPERACIÓN REAL	57,61	57,58	56,64	43,1	0	0	0	0	0	0	0	0
PRODUCCIÓN REAL	59.272,12	40.791,59	45.820,52	37.646,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PRODUCCIÓN IDEAL	60.785,12	41.950,24	47.526,76	38.698,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PRODUCCIÓN TOTAL	59.272,12	40.791,59	45.820,52	37.646,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00