

**OPTIMIZACION DE EFICIENCIA DE MANTENIMIENTOS BASADOS EN  
KPI'S Y CONFIABILIDAD DE ELEMENTOS MECANICOS.**

**ANDRES FELIPE VILLAR REYES**



**PRÁCTICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2025**

**OPTIMIZACION DE EFICIENCIA DE MANTENIMIENTOS BASADOS EN KPI'S Y  
CONFIABILIDAD DE ELEMENTOS MECANICOS**

**ANDRES FELIPE VILLAR REYES**

**PRÁCTICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR**

**MSc SERGIO ANDRES GOMEZ SUAREZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2025**

## DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres Lina Reyes y Saul Villar, ya que gracias al esfuerzo, dedicación y sacrificio que tuvieron que hacer a lo largo de su vida dio como resultado la persona que soy hoy día y el que seré el resto de mi vida, tanto en el ámbito profesional como en el personal también, porque sin ellos no hubiese podido llegar al punto donde estoy hoy, es por eso que mis triunfos siempre serán de ustedes y de Dios que guía mis pasos.

También a mi pareja sentimental, quien es mi motivación para hacer las cosas bien. Quien me pone los pies en el piso y me recuerda que no estoy loco por ser un soñador, sino que al contrario me impulsa a seguir esas corazonadas. Te espero pronto colega. Sé que llegaremos muy lejos juntos, y espero estar ahí para verte con orgullo y decir “Esa es mi abogada”.

Por último, y el más importante de mi vida porque es quien me ha dado todo por medio de mis padres y quien me puso en esta vida con las personas que tengo hoy en día.

Gracias Dios, En tus manos pongo mi ser a disposición tuya. Llévame a donde debo llegar.

Infinitas gracias a cada uno de ellos, por su apoyo incondicional y por creer siempre en mi capacidad para superar los desafíos, les agradezco desde el fondo de mi corazón. Este logro también les pertenece.

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Pontificia Bolivariana. En especial a la escuela de ingeniería mecánica, a todos los profesores y colaboradores, que hicieron de esta una experiencia muy amena, llena de retos por afrontar y quienes me dieron lo mejor de sí para ser no solo un gran ingeniero, sino un gran ser humano.

Al ingeniero Edwin Jesús Córdoba Tuta, quien me acompañó y aconsejó en más de una ocasión durante mi paso por la universidad y al que puedo llamar amigo, adicionalmente a quien es una segunda madre Luz Dary Zaraza Castillo, quien estuvo pendiente de todos y cada uno de nosotros los estudiantes y a quienes nos decía “hijos” con mucho cariño y dándonos un saludo muy cálido cada que pasábamos por la puerta de la oficina de la facultad.

A mis compañeros de universidad y futuros colegas, por todo el apoyo, compañerismo y risas que no faltaron durante todo el ciclo educativo en la universidad y a todas las personas que a diario me rodean que en algún momento aportaron de diferentes maneras en mi formación personal y profesional.

A ENEL, gracias por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas y acogerme tan gratamente. Ha sido un honor trabajar de la mano de profesionales del más alto nivel y con una calidad humana excepcional, quienes no solo compartieron su conocimiento y experiencias, sino que también me inspiraron e impulsaron a seguir creciendo tanto personal como profesionalmente. En todo momento, y siempre que surgía la oportunidad, me orientaron y me brindaron su apoyo. Cuando identificaban áreas en las que podía mejorar, me ofrecieron las correcciones necesarias para ampliar mi aprendizaje y continuar mi evolución. Gracias a su guía, pude reconocer y aprovechar oportunidades para perfeccionar mis habilidades y seguir avanzando en mi desarrollo profesional.

## CONTENIDO

I.	GENERALIDADES.....	13
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
III.	JUSTIFICACIÓN.....	15
IV.	OBJETIVOS.....	16
	A. Objetivo general.....	16
	B. Objetivos específicos.....	16
V.	MARCO REFERENCIAL.....	17
	A. Marco legal.....	17
	1) Organización.....	17
	2) Misión.....	17
	3) Visión.....	17
	4) Ubicación.....	17
	5) Estructura organizativa.....	17
	6) Valores de la compañía.....	18
	7) Impacto en la industria.....	18
VI.	METODOLOGÍA.....	19
	A. Actividades iniciales.....	19
	B. Responsabilidades adicionales.....	20
VII.	RESULTADOS.....	21
	A. Análisis y revisión de KPI's y zPMO.....	21
	B. Actualización de los KPI'S y seguimiento del zPMO.....	22
	C. Comunicación con jefes de mantenimiento de centrales hidroeléctricas.....	24
	D. Seguimiento de inspección y reparaciones de activos.....	24
	E. Seguimiento de inventario del área de STM.....	25

F.	Elaboración de capacitación en materiales y END.....	26
VIII.	CONCLUSIONES .....	28
IX.	REFERENCIAS .....	29

**LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 Centrales de Colombia .....	21
Fig. 2 Centrales de Centro América .....	21
Fig. 3 Tablero de indicadores de mantenimiento (KPI's) en Power BI.....	23
Fig. 4 Seguimiento de actividades de mantenimiento .....	24
Fig. 5 Seguimiento de indicadores de viscosidad en aceites .....	25
Fig. 6 Seguimiento de alertas de mantenimiento .....	26
Fig. 7 Presentación de ensayos no destructivos.....	27

## GLOSARIO

Indicadores Clave de Desempeño (KPI's): en mantenimiento son métricas utilizadas para evaluar la eficiencia y efectividad de las estrategias de mantenimiento en una organización. Estos indicadores permiten monitorear el estado de los activos, optimizar la planificación de intervenciones y reducir costos operativos [1].

MTBF (Mean Time Between Failures - Tiempo Medio Entre Fallas):: Evalúa el tiempo promedio necesario para reparar un activo después de una falla [2].

MTTR (Mean Time to Repair - Tiempo Medio de Reparación): Evalúa el tiempo promedio necesario para reparar un activo después de una falla [3].

Disponibilidad Operacional:: Relación entre el tiempo en que un equipo está disponible para operar y el tiempo total en un período determinado [4].

zPMO (Planes de Mantenimiento en SAP): son registros que permiten la planificación y seguimiento detallado de las órdenes de mantenimiento dentro del sistema SAP. Estos registros contienen información clave sobre los equipos, procedimientos, responsables y tiempos estimados de ejecución, asegurando una mayor organización en la gestión de activos [5].

Power BI: Power BI es una herramienta de análisis de datos y visualización que permite procesar grandes volúmenes de información de manera dinámica e interactiva. Facilita la visualización de tendencias, desviaciones y oportunidades de mejora en la ejecución de los mantenimientos en las centrales hidroeléctricas operadas por ENEL en Colombia y Centroamérica [6].



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO EN ESPAÑOL

**TITULO:** OPTIMIZACIÓN DE EFICIENCIA DE MANTENIMIENTOS BASADOS EN KPI'S Y CONFIABILIDAD DE ELEMENTOS MECÁNICOS

**AUTOR(ES):** Andrés Felipe Villar Reyes

**PROGRAMA:** Ing. Mecánica

**DIRECTOR(A):** Sergio Andrés Gómez Suarez

### RESUMEN

El proyecto consistió en la práctica profesional en ENEL, específicamente en el área de soporte técnico mecánico de ENEL Green Power (EGP). Se identificó que esta área está en un proceso continuo de optimización, apoyado por indicadores clave de rendimiento (KPIs) y de mantenimiento zPMO, con el objetivo de mejorar la operación y planificación anual.

El estudiante evaluó las tareas de su equipo y participó en el desarrollo de paneles interactivos en Power BI para el seguimiento de indicadores de mantenimiento en varios países. Además, colaboró en la implementación de un panel que centraliza datos de muestras de aceite para la planta Termozipa, facilitando el análisis de resultados.

Como resultado, se redujo el tiempo de ejecución de tareas optimizadas, permitiendo a los ingenieros enfocarse en actividades más complejas. Además, el estudiante desarrolló habilidades en gestión administrativa, de activos y logística, asumiendo responsabilidades adicionales y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos.

**PALABRAS CLAVE:** ENEL, Soporte Técnico Mecánico, KPI's (Indicadores Clave de Desempeño), Power BI, END (Ensayos No Destructivos).

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**



## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** OPTIMIZATION OF MAINTENANCE EFFICIENCY BASED ON KPI'S AND RELIABILITY OF MECHANICAL ELEMENTS

**AUTHOR(S):** Andres Felipe Villar Reyes

**FACULTY:** Mechanical Engineering

**DIRECTOR:** Ing. Sergio Andrés Gómez Suarez

### ABSTRACT

The project involved professional practice at ENEL, specifically in the mechanical technical support area of ENEL Green Power (EGP). It was identified that this area is in a continuous optimization process, supported by KPIs and zPMO maintenance indicators, aimed at improving operations and annual planning.

The student evaluated team tasks and participated in developing Power BI dashboards to track maintenance indicators in multiple countries. He also helped implement a dashboard centralizing oil sample data for the Termozipa plant, easing result analysis.

As a result, task execution time was reduced, allowing engineers to focus on more complex activities. The student also developed skills in administrative management, asset management, and logistics, taking on additional responsibilities and contributing to achieving the objectives.

**KEYWORDS:** ENEL, Mechanical Technical support, KPI's, Power BI, NDT

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

La práctica profesional, con una duración de seis meses en el área de ingeniería mecánica, se desarrolló dentro del equipo de soporte técnico mecánico en el sector de generación de la empresa multinacional ENEL Colombia. Esta compañía es una de las principales del sector energético en el país y América Latina, con una destacada presencia internacional en la generación, distribución y comercialización de energía eléctrica.

ENEL se distingue por su compromiso con la sostenibilidad, la innovación tecnológica y la eficiencia operativa en sus operaciones globales, liderando proyectos en energías renovables como la hidroeléctrica, solar, eólica y geotérmica. Además, ha implementado una sólida estrategia para la reducción de emisiones de carbono y la promoción del uso responsable de los recursos naturales, contribuyendo de manera significativa a la transición energética.

A nivel mundial, la compañía es pionera en la adopción de tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia energética y minimizar el impacto ambiental. En Colombia, su presencia es fundamental para el desarrollo de infraestructuras energéticas sostenibles, enfocándose especialmente en la generación hidroeléctrica, un recurso clave para el país. Esta capacidad de adaptación a las demandas energéticas locales ha impulsado la innovación a nivel global y consolidado su liderazgo en el sector.

En este contexto, la práctica profesional en Bogotá se orientó al apoyo en la gestión del mantenimiento, supervisión técnica, logística, seguimiento de indicadores de mantenimiento y administración de activos en las centrales hidroeléctricas que ENEL opera en Colombia, Guatemala, Panamá y Costa Rica. A lo largo de esta experiencia, se colaboró en la implementación de tecnologías de mantenimiento preventivo y predictivo, la optimización de procesos técnicos y la mejora continua de los sistemas mecánicos involucrados. El propósito de la participación fue fortalecer y apoyar los procedimientos actuales mediante propuestas de mejora basadas en el análisis técnico y en la incorporación de nuevas herramientas tecnológicas. Estas iniciativas buscan garantizar la confiabilidad de los equipos y contribuir al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad y eficiencia que caracterizan a ENEL.

El documento presenta, en primer lugar, una descripción de los objetivos generales y específicos desarrollados durante la práctica. Posteriormente, se expone información sobre la empresa, sus valores y el área de cadena de suministros, seguida de una evaluación del estado de la empresa y del área en la que se trabajó. Continúa con la justificación de la práctica, explicando

su relevancia para la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Luego, se detallan las actividades realizadas, tanto las establecidas inicialmente como las responsabilidades adicionales adquiridas. También se incluye una descripción de la metodología aplicada y el desarrollo de un marco teórico. Finalmente, se analiza el desarrollo de la práctica, evaluando las actividades realizadas y su desempeño, seguido de las conclusiones correspondientes y las referencias utilizadas.

Debido a las políticas de tratamiento de datos de ENEL, este informe no contiene imágenes de documentos, archivos o información relacionada con la empresa o las operaciones del equipo de soporte técnico mecánico. Para realizar el seguimiento de los objetivos, se presenta una descripción de los procesos preservando las políticas de privacidad, permitiendo así la evaluación del progreso alcanzado.

## I. GENERALIDADES

ENEL es una empresa multinacional del sector energético con presencia en más de 30 países y operaciones en generación, distribución y comercialización de electricidad. En Colombia, ENEL S.A. ESP es una de las compañías más importantes en el suministro de energía y en la transición hacia fuentes renovables. Su sede principal se encuentra en Bogotá, D.C., y opera en diversas regiones del país, con infraestructura que incluye plantas de generación, redes de distribución y proyectos de energías renovables en Cundinamarca, Tolima, Huila, Guaviare y otros departamentos.

La empresa fue fundada en 1962 en Italia como una entidad estatal y se privatizó en 1999. Su expansión en América Latina la ha llevado a operar en países como Colombia, Guatemala, Panamá y Costa Rica. En Colombia, su presencia se consolidó con la adquisición de Codensa y Emgesa, compañías que en 2022 fueron unificadas bajo la marca ENEL Colombia, integrando sus operaciones de generación y distribución.

Actualmente, ENEL Colombia es uno de los principales actores del sector energético nacional, con un enfoque en la sostenibilidad, la modernización de redes y el desarrollo de energías limpias [7].

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa ENEL, se encuentra a la vanguardia de la innovación en optimización de procesos. El área de *STM*, hace parte de ese constante avance, ya que cuentan con una parametrización de los procesos que les permite obtener datos claros y precisos mediante indicadores de rendimiento en el mantenimiento tanto de las personas involucradas en el proceso, como de las partes del proceso en sí. Los indicadores, se encuentran muy bien establecidos y el trabajo muy bien optimizado. Sin embargo, hay algunos detalles que, al ser una empresa tan grande y un equipo con tareas tan transversales y un alcance tan global que a veces causa que se omitan algunos temas o que no se les de la importancia necesaria ya que todos los días hay solicitudes nuevas y o proyectos por atender [8].

### III. JUSTIFICACIÓN

La relevancia de este trabajo de grado, desde un punto de vista de su aplicabilidad a la Ingeniería Mecánica, radicó en la puesta en práctica de habilidades de análisis de datos, evaluación de puntos críticos, análisis de causa raíz, programación y planeación de mantenimientos, extrapolando los conocimientos adquiridos en la gestión de activos a un ámbito administrativo y logístico, en búsqueda de la optimización de los KPI's de Centroamérica. Desde el punto de vista teórico, este proyecto requirió de conocimientos previos adquiridos a lo largo de la carrera, como análisis de datos, gestión de activos, análisis de causa raíz y gerencia de mantenimiento. Adicionalmente, se adquirieron nuevos conocimientos, como el manejo y optimización de herramientas como SAP, Power BI e INGEN. Por último, la utilidad metodológica de este proyecto se centró en la implementación de métodos y técnicas de análisis de datos, enfocadas en la mejora de procesos y optimización de indicadores de desempeño.

## IV. OBJETIVOS

### **A. *Objetivo general***

Desarrollar actividades de soporte técnico mecánico en hidroeléctricas de Colombia, Guatemala, Panamá y Costa Rica, realizando seguimiento a indicadores de mantenimiento mediante SAP y actualizando un dashboard en Power BI, además de acompañar procesos de mantenimiento de componentes críticos.

### **B. *Objetivos específicos***

Realizar un seguimiento detallado de los KPI y los indicadores ZPMO de las plantas hidroeléctricas mediante SAP, visualizándolos en Power BI para generar reportes mensuales que faciliten la gestión del mantenimiento.

## V. MARCO REFERENCIAL

### A. *Organización*

ENEL (Ente Nazionale per l'Energia Elettrica) fue fundada en 1962 en Italia como una empresa estatal y se privatizó en 1999. tiene su sede principal en Roma, Italia, pero en América Latina opera en varios países, incluyendo Colombia, Guatemala, Panamá y Costa Rica. Enfocándonos en Colombia, su presencia se consolidó con la adquisición de Codensa y Emgesa, empresas que fueron unificadas en 2022 bajo la marca ENEL Colombia, integrando así sus operaciones de generación y distribución en el país.

Actualmente, ENEL Colombia es uno de los principales generadores y distribuidores de electricidad en el país, con una fuerte apuesta por la sostenibilidad, la modernización de redes y el desarrollo de energías limpias [9].

### B. *Misión*

Desarrollar y ofrecer soluciones energéticas innovadoras y sostenibles, impulsando la transición hacia un modelo energético más eficiente y limpio en Colombia [10].

### C. *Visión*

Ser el líder en energía renovable y digitalización de redes en Colombia, promoviendo el desarrollo sostenible y la electrificación del país [10].

### D. *Ubicación*

ENEL Colombia tiene su sede principal en Bogotá, D.C. y opera en diversas regiones del país. Su infraestructura incluye plantas de generación de energía, redes de distribución y proyectos de energías renovables en Cundinamarca, Tolima, Huila, Guaviare y otros departamentos.

### E. *Estructura organizativa*

ENEL Colombia se divide en tres grandes áreas de operación:

**Generación de Energía:** Cuenta con una capacidad instalada de más de 3,500 MW, principalmente de fuentes renovables. Opera hidroeléctricas como El Quimbo, Betania, Guavio, Cadena Pagua, Cadena rio Bogotá, además de parques solares, eólicos en varias regiones del país y una central térmica llamada Termozipa.

**Distribución y Comercialización:** Atiende a más de 3.7 millones de clientes en Bogotá,

Cundinamarca, Tolima y otros departamentos. o Gestiona una red eléctrica moderna con inversión en digitalización y eficiencia energética.

**Innovación y Sostenibilidad:** Desarrolla proyectos de movilidad eléctrica, almacenamiento de energía y redes inteligentes. o Lidera iniciativas para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y la electrificación del transporte.

#### ***F. Valores de la compañía***

**Responsabilidad:** ENEL asume el compromiso de generar un impacto positivo en la sociedad y el medio ambiente, promoviendo el uso de energías limpias y sostenibles.

**Innovación:** La empresa apuesta por la transformación digital y el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética y ofrecer soluciones innovadoras a sus clientes.

**Confianza:** Fomenta relaciones basadas en la transparencia y la ética, garantizando la seguridad y la confiabilidad en sus operaciones.

**Proactividad:** ENEL busca anticiparse a los cambios del sector energético y liderar la transición hacia un modelo más sostenible.

**Sostenibilidad:** Su enfoque se centra en el desarrollo de energías renovables, la reducción de emisiones de carbono y la responsabilidad social empresarial.

**Diversidad e Inclusión:** Promueve un entorno de trabajo equitativo, con igualdad de oportunidades para todos sus colaboradores.

#### ***G. Impacto en la industria***

ENEL Colombia es un actor clave en la transformación energética del país. Su enfoque en energías renovables y digitalización ha permitido la modernización del sistema eléctrico y una mayor eficiencia en la distribución de energía.

Además, la empresa ha impulsado el desarrollo de infraestructura de movilidad eléctrica, promoviendo el uso de buses eléctricos en Bogotá y la expansión de estaciones de carga en el país. Su inversión en energías limpias y tecnología sostenible contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono en Colombia [10].

## VI. METODOLOGÍA

La práctica tuvo una duración de 6 meses, en ENEL Colombia situado cerca del parque de la 93 en Bogotá, Cundinamarca, en la cra. 13ª #93-66, mediante la modalidad híbrida (2 días virtual y 3 presencial) que es como actualmente labora el área administrativa dentro de la empresa, aunque esto dependía de donde se requiriera la presencia del estudiante, ya que si había que ir a campo (central) ese día o semana, había que realizar toda la gestión de parafiscales para el ingreso a planta. El estudiante llevó a cabo una serie de actividades planteadas tanto por el tutor asignado de la empresa, como por el monitor de la institución académica UPB con el fin de dar cumplimiento a los objetivos establecidos inicialmente y desarrollar las actividades planteadas.

En un principio, el estudiante recibió la capacitación necesaria para comprender y desarrollar las actividades que lleva a cabo en el equipo de Soporte Técnico Mecánico (STM) en el sector de generación Enel Green Power (EGP). Posteriormente realizó un sondeo completo de las herramientas que se iban a usar y también una visita a toda la cadena de centrales hidroeléctricas que estaban distribuidas a lo largo del río Bogotá.

Una vez el estudiante contó con la formación necesaria, comenzó el desarrollo de las actividades planteadas por su jefe directo, el ingeniero Luis Javier Buitrago, al igual que desarrollo actividades que buscaban cumplir los objetivos establecidos.

De manera periódica se realizaron informes entregados al profesor supervisor de la práctica, con el fin de evaluar el progreso y realizar las mejoras necesarias para alcanzar los objetivos.

### A. *Actividades iniciales*

Durante la práctica profesional se llevaron a cabo actividades enfocadas en el análisis y mejora de los indicadores clave de desempeño KPI para las diferentes centrales de Centroamérica abarcando la gestión y manejo de datos el seguimiento de órdenes de mantenimiento y la identificación de posibles causas de disminución en el rendimiento de los activos además se brindó apoyo en la resolución de inquietudes relacionadas con los mantenimientos en seguimiento considerando métricas como el MTBF tiempo medio de disponibilidad del activo MTTRF tiempo medio requerido para restaurar la funcionalidad de un activo después de una falla MTTRI tiempo medio que toma realizar un mantenimiento programado y MTBI tiempo medio entre un mantenimiento programado y el siguiente también se llevaron a cabo procesos de inspección y

reparación aplicando ensayos no destructivos bajo la norma CCH70-4 con el fin de garantizar la confiabilidad de los equipos y su correcta puesta en marcha

***B. Responsabilidades adicionales***

Durante el desarrollo de la práctica se asumieron nuevas responsabilidades con el objetivo de brindar apoyo en diversas áreas y optimizar los procesos dentro del equipo entre estas tareas se incluyó la aplicación de ensayos no destructivos bajo la norma CCH70-4 para la inspección y reparación de equipos permitiendo garantizar la confiabilidad operativa además se participó en la elaboración y revisión de tableros en Power BI inicialmente enfocándose en la actualización de datos pero posteriormente asumiendo la gestión completa de su creación y validación finalmente se brindó apoyo en la resolución de problemas técnicos mediante cálculos revisión de planos de estructuras y otros aspectos relacionados con el área de soporte técnico mecánico contribuyendo a la eficiencia operativa y a la optimización de los procesos

## VII. RESULTADOS

### A. Análisis y revisión de KPI's y zPMO

Se llevó a cabo un seguimiento y actualización de los indicadores clave de desempeño (KPI's) utilizados para evaluar el mantenimiento en las centrales hidroeléctricas de ENEL Colombia y Centroamérica, en la Fig. 1 se puede observar las centrales que maneja ENEL en Colombia y en la Fig. 2 Las que maneja a nivel de centro américa.

Nombre	Unidades	Capacidad (MW)	Tecnología	Reserva
Guavio	1 Guavio	5	1250	Pelton eje vertical
	2 Guavio menor	2	9,9	Pelton eje horizontal
El Quimbo	3 El Quimbo	2	396	Francis eje vertical
Betania	4 Betania	3	540	Francis eje vertical
Pagua	5 Paraiso	3	276	Pelton eje vertical
	6 Guaca	3	324	Pelton eje vertical
Cadena Antigua	7 Charquito	1	19,4	Francis eje vertical
	8 Tequendama	1	56,8	Pelton eje vertical
	9 Laguneta	1	18	Francis eje vertical
	10 Limonar	1	18	Francis eje vertical
	11 Salto II	1	35	Pelton eje vertical
	12 Dario Valencia	3	150	Pelton eje horizontal

Fig. 1 Centrales de Colombia [7].

País	Nombre	Unidades	Capacidad (MW)	Tecnología
Costa Rica	14 Chucas	2	25 C/U	Francis eje vertical
	15 Don Pedro	1	14	Pelton horizontal
	16 Rio Volcán	1	17	Pelton horizontal
Guatemala	17 El Canada	2	23,7	Pelton Vertical
	18 Palo Viejo	2	43,6	Francis vertical
	19 Matanzas	1	11,8	Pelton horizontal
	20 san Isidro	2	1,7	Pelton vertical
	21 Montecristo	2	6,7	Francis horizontal
Panamá	22 Fortuna	3	100c/u	Pelton Vertical

Fig. 2 Centrales de Centro América [7].

En el tablero se realiza el seguimiento a la ejecución de cada central considerando diversos indicadores clave. Entre ellos, el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) refleja el tiempo promedio en el que el activo está disponible antes de presentar una falla. El MTTRF (Tiempo Medio de Reparación por Falla) indica el tiempo requerido para que el activo vuelva a estar operativo tras una avería. El MTTRI (Tiempo Medio de Mantenimiento Programado) muestra el tiempo que toma ejecutar una intervención planificada. Asimismo, el MTBI (Tiempo Medio Entre Mantenimientos Programados) representa el intervalo de disponibilidad del activo entre una intervención y otra.

Además, se realizó un seguimiento periódico semanal al tablero que incluye el indicador FNLIFE, que clasifica las órdenes de trabajo pendientes. También se encuentra el parámetro zPMO\_Pendiente, que permite visualizar el número de acciones pendientes y su estado, ya sea abiertas o en espera de cierre técnico. Finalmente, el apartado zPMO ofrece una representación gráfica del progreso, comparando la ejecución real con lo planeado.

Para ello, se analizaron datos extraídos de SAP, Power BI e INGEN, permitiendo identificar tendencias y optimizar la planificación de intervenciones. Entre los KPI's evaluados se incluyen:

MTBF: Tiempo medio entre fallas de los equipos críticos.

MTTR: Tiempo medio requerido para reparar un activo después de una falla.

MTTRI: Tiempo medio que toma realizar un mantenimiento programado.

MTBI: Tiempo medio disponible entre mantenimientos programados.

FNLIFE: Estado de órdenes pendientes.

zPMO\_Pendiente: Acciones pendientes y estado actual (abiertas o por cierre técnico).

zPMO: Comparación de mantenimiento ejecutado vs. planeado.

### ***B. Actualización de los KPI'S y seguimiento del zPMO***

Para la actualización de los KPI's y el seguimiento del zPMO, se han implementado herramientas tecnológicas que optimizan el control de los planes de ejecución y mantenimiento. Entre las más destacadas se encuentran SAP y Power BI.

SAP permite la recopilación y procesamiento de datos en una única plataforma, facilitando la descarga de archivos con los planes de cada central según su país. Su integración en empresas como Enel ha demostrado ser fundamental para agilizar procesos administrativos y mejorar la conectividad entre diferentes áreas.

Por otro lado, Power BI proporciona una plataforma escalable de inteligencia empresarial que permite visualizar información de manera interactiva. Su compatibilidad con herramientas como Excel facilita el análisis y la presentación de datos mediante tableros dinámicos, optimizando la toma de decisiones basada en información en tiempo real.

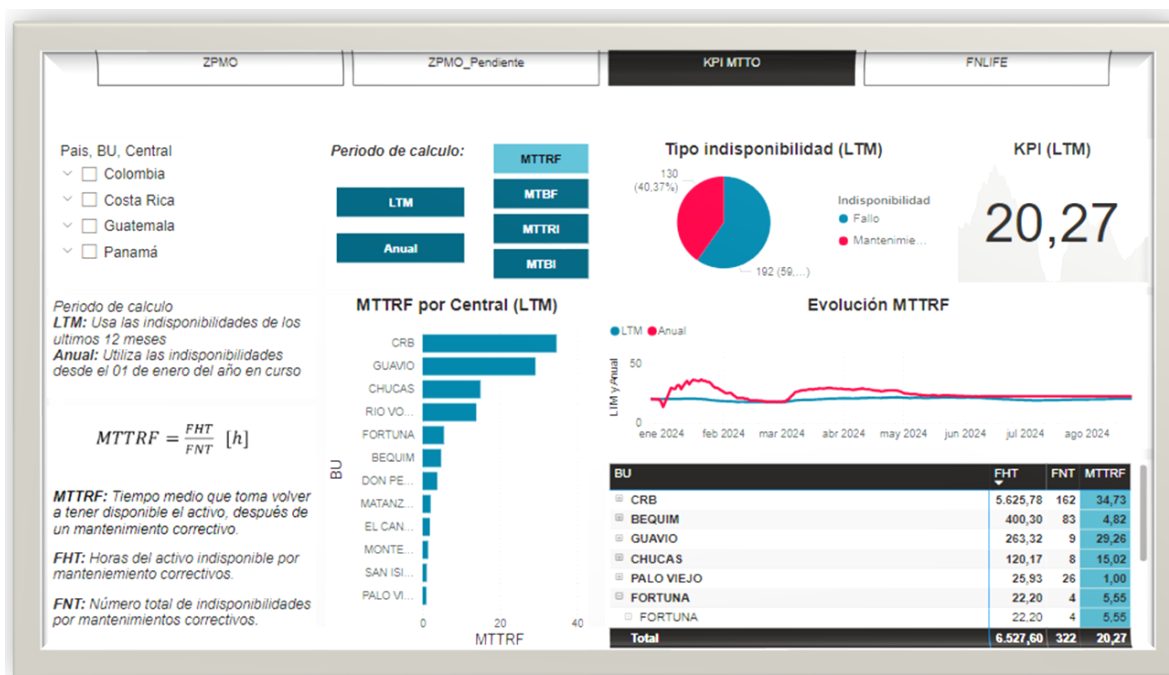


Fig. 3 Tablero de indicadores de mantenimiento (KPI's) en Power BI

Durante el seguimiento de los indicadores clave de desempeño, se realizó un control continuo de las acciones previstas para todo el año. Este proceso se cargó al inicio de cada año y se gestionó desde Colombia hacia la sede global de ENEL. El objetivo fue verificar si las acciones de mantenimiento se implementaban correctamente en la sección correspondiente. La tarea consistió principalmente en llevar un control de las acciones pendientes y las que se ejecutarían mes a mes, basándose en la planificación del año 2024. Se descargaron los archivos desde SAP relacionados con el mantenimiento, los cuales contenían información detallada y caracterizada de las acciones a realizar. Esta actualización se realizó todos los viernes, asegurando que los datos estuvieran al día. Además, al final de cada mes, se generó un informe global con los resultados correspondientes, considerando los KPI's establecidos.

Adicionalmente, se mantuvo una comunicación constante con las diferentes centrales, como Bogotá, Puerto Rico y Guatemala, para coordinar y asegurar la correcta ejecución de las

actividades de mantenimiento. Este intercambio de información facilitó la alineación entre las diversas localizaciones y contribuyó al cumplimiento de los objetivos y KPI's definidos para el periodo.

enel		RG01-PO1902																											
		Version: 2 Pagina 1 de 4 mar-24																											
ORDEN EJECUTIVO		Seneca	MTD. Proactivo (130)			MTD. Preventivo (150)		MTD. Predictivo (170)			MTD. Correctivo Planeado (507)			Pruebas (100)		REPROGRAMADO POR SOLICITUD COMERCIAL		FUERA BDG PREV/PRED/ PROACT/ NUEVA SOLICITUD		MTD. CORRECTIVO (510)		MTD. CA							
S e m a n a	Dias BDG AÑO 2025	Guano U3	Guano U4	Guano U5	Bedonia U1	Bedonia U2	Bedonia U3	Quilbo U1	Quilbo U2	Paraso U1	Paraso U2	Paraso U3	Guana U1	Guana U2	Guana U3	Menor Q U1	Menor Q U2	Changulo U1	Tegundama U1	Tegundama U2	Tegundama U3	Tegundama U4	Laguneta U1	Limonar U3	Salto II U2	Dario Valencia U1	Dario Valencia U2	Valencia U3	
4	23/01/2025	jue	M		24					24			24					24											
4	24/01/2025	vie			24					17			17					17											
4	25/01/2025	sáb			24																								
4	26/01/2025	dom			24																								
5	27/01/2025	lun			24					9					9														
5	28/01/2025	mar			24							9	9																
5	29/01/2025	mié			24											17	17												
5	30/01/2025	jue			24																								
5	31/01/2025	vie			24																								
5	1/02/2025	sáb			24																								
5	2/02/2025	dom			24																								
6	3/02/2025	lun			24					17					17														
6	4/02/2025	mar			24					24					24														
6	5/02/2025	mié	M		24					PSU					PSU						17								
6	6/02/2025	jue			24					PSU					PSU						17								
6	7/02/2025	vie			24					PSU					PSU														
6	8/02/2025	sáb			24																								
6	9/02/2025	dom			24																								
6	10/02/2025	lun			24																								

Fig. 4 Seguimiento de actividades de mantenimiento

Se realizó acompañamiento en planta cada vez que se efectuaba el izaje de algún rotor, estator, o turbina Francis o Pelton, con el objetivo de garantizar que se cumplieran las tareas presupuestadas y que el proceso de intervención al equipo se realizara de manera adecuada. Este seguimiento permitió evidenciar que se tomaban las medidas necesarias para asegurar la integridad tanto del equipo como del operario. Este tipo de acompañamiento se llevó a cabo tres veces al mes, asegurando que todas las intervenciones se realizaran bajo los estándares establecidos de seguridad y calidad.

**C. Comunicación con jefes de mantenimiento de centrales hidroeléctricas**

Se establecieron interacciones con los responsables de mantenimiento mediante reuniones periódicas para revisar el estado de los activos, evaluar KPI's y garantizar la alineación con los cronogramas de intervención. Además, se gestionaron recursos y personal, asegurando la disponibilidad de herramientas y repuestos, y se reportaron hallazgos relevantes para optimizar los procesos de mantenimiento.

**D. Seguimiento de inspección y reparaciones de activos**

Se participó activamente en la supervisión de mantenimientos preventivos y correctivos, asegurando el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad. Las actividades incluyeron:

Aplicación de ensayos no destructivos (END) en componentes clave como rodetes, válvulas e inyectores.

Evaluación de fallas en equipos mecánicos, identificando problemas como desgaste, corrosión y cavitación.

Registro y documentación de inspecciones con hallazgos y recomendaciones, elaboración de capacitaciones sobre materiales y END.



Fig. 5 Seguimiento de indicadores de viscosidad en aceites

Se llevaron a cabo tareas de supervisión en las turbinas Francis y Pelton, aplicando pruebas no destructivas como ultrasonido, tintas penetrantes, ensayos de dureza y alivios térmicos para metales martensíticos. Estas pruebas se aplicaron a lo largo de la práctica en tres rodetes, dado que el tiempo de reparación de estas turbinas variaba entre 2 a 3 meses, dependiendo del grado de desgaste o el estado del activo.

### ***E. Seguimiento de inventario del área de STM***

Se realizó un control riguroso del inventario de herramientas y equipos especializados del área de Soporte Técnico Mecánico (STM), asegurando la disponibilidad de los recursos necesarios para las intervenciones en campo. Como parte de esta gestión, se llevó a cabo el registro y

actualización del inventario, verificando el estado de equipos como drones de inspección, cámaras de termografía, analizadores de vibraciones y herramientas especializadas. Además, se implementó un sistema de categorización en el almacén para mejorar la eficiencia en la localización de estos elementos.

Asimismo, se optimizó la gestión de solicitudes y reposiciones, garantizando que los técnicos tuvieran acceso oportuno a los equipos sin generar retrasos en las actividades de mantenimiento. Como resultado, este control permitió reducir pérdidas, mejorar la planificación de intervenciones y optimizar el uso de recursos en las centrales hidroeléctricas, contribuyendo así a una mayor eficiencia operativa.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'ANÁLISIS DE ACEITE DE LUBRICANTES'. It contains a table with columns for 'Fecha', 'Estado del aceite', 'Fecha cambio aceite', 'Viscosidad a 40 C (cSt)', 'Viscosidad a 100 C (cSt)', 'Índice de Viscosidad (IV)', 'TAN [mg/KOH gr. ac. u.]', 'Código de ISO', and several 'Num. Partículas' columns. The data rows show various oil change events with dates ranging from 2019 to 2021, and corresponding test results. A summary table at the top lists oil brands like Chevron and MVRAL with their respective specifications.

Fig. 6 Seguimiento de alertas de mantenimiento [5].

## F. Elaboración de capacitación en materiales y END

Se llevó a cabo la elaboración de un instructivo que recopila y resume los principales Ensayos No Destructivos (END) aplicados en las centrales hidroeléctricas de Enel Colombia S.A.S.. Este documento tiene como objetivo proporcionar a los técnicos una mejor comprensión sobre la aplicación de estas técnicas, facilitando su uso en la evaluación de la integridad y condición de equipos críticos, el cual consistió de más de 60 diapositivas donde se ilustraba y explicaba la forma correcta de aplicar este tipo de ensayos, además que contenía una sección destinada a la parte de materiales donde se explicaban sus características, propiedades mecánicas y su aplicación en diferentes tipos de turbinas hidráulicas.

El instructivo incluye información sobre métodos como Inspección Visual (VT), Líquidos Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (MT), Ultrasonido (UT), Radiografía Industrial (RT) y Termografía (IR), detallando sus principios, aplicaciones y ventajas en la detección de defectos sin comprometer la estructura de los componentes. Su aplicación abarca equipos clave como rodets Francis y Pelton, válvulas, inyectores y otros elementos mecánicos.



Fig. 7 Capacitación de ensayos no destructivos [3].

La disponibilidad de este material permite a los técnicos mejorar su conocimiento en la ejecución de los END, asegurando una mayor confiabilidad en las inspecciones, reduciendo el riesgo de fallas inesperadas y optimizando los recursos destinados al mantenimiento. Además, su implementación contribuye a fortalecer la seguridad operativa y la eficiencia en la gestión de los activos de la compañía.

## VIII. CONCLUSIONES

El seguimiento y actualización de los indicadores clave de desempeño (KPI's) permitieron mejorar la planificación y ejecución de los mantenimientos en las centrales hidroeléctricas. La integración de herramientas como SAP y Power BI facilitó el procesamiento de datos, la visualización interactiva de información y la optimización de recursos, asegurando una toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

La interacción con los jefes de mantenimiento de Colombia y Centroamérica mediante reuniones periódicas permitió coordinar estrategias de intervención, gestionar recursos de manera eficiente y garantizar la alineación con los cronogramas de mantenimiento. Este enfoque colaborativo contribuyó a mejorar la disponibilidad de los activos y reducir tiempos de inactividad.

La supervisión de las inspecciones y reparaciones en los equipos críticos, con la aplicación de Ensayos No Destructivos (END), permitió identificar y mitigar fallas antes de que generaran consecuencias operativas. La documentación y capacitación en estas técnicas fortalecieron el conocimiento del personal técnico, asegurando una mayor confiabilidad en las evaluaciones y la toma de decisiones correctivas.

El control riguroso del inventario de herramientas del área de Soporte Técnico Mecánico (STM) garantizó la disponibilidad de equipos esenciales, reduciendo pérdidas y optimizando el uso de los recursos. La implementación de un sistema de categorización mejoró la eficiencia en la localización de herramientas, facilitando las intervenciones en campo sin generar retrasos en las actividades de mantenimiento.

La creación de un instructivo sobre Ensayos No Destructivos consolidó la información técnica necesaria para su correcta aplicación en las hidroeléctricas de Enel Colombia S.A.S. Este documento facilitó la comprensión de los métodos utilizados, promoviendo una ejecución uniforme y precisa en la inspección de equipos críticos. Su implementación no solo mejoró la confiabilidad de los activos, sino que también optimizó los procesos de mantenimiento y redujo costos asociados a fallas inesperadas.

## REFERENCIAS

- [1] R. Mobley, An Introduction to Predictive Maintenance, 2nd ed. Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, 2002.
- [2] J. Moubray, Reliability-Centered Maintenance, 2nd ed. New York, NY: Industrial Press Inc., 1997.
- [3] A. K. S. Jardine and A. Tsang, Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2013.
- [4] L. E. White and J. J. Andrews, Maintenance Engineering Handbook, 7th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2008.
- [5] SAP SE, SAP Plant Maintenance (PM) Module Overview, 2020. [Online]. Available: [https://help.sap.com/viewer/p/SAP\\_PLANT\\_MAINTENANCE](https://help.sap.com/viewer/p/SAP_PLANT_MAINTENANCE)
- [6] Microsoft, Power BI Documentation, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/>
- [7] ENEL Colombia, Informe de Sostenibilidad 2022. Disponible en: <https://www.enel.com.co>
- [8] ENEL S.A., "Optimización de procesos en mantenimiento y soporte técnico mecánico," ENEL, 2024.
- [9] Enel Group, "Nuestra historia", [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/quienes-somos/nuestra-historia>.
- [10] Enel Group, "Visión y propósito corporativos", [En línea]. Disponible: <https://www.enel.com/es/nuestra-compania/quienes-somos/vision>.