



Elaboración de guías de mantenimiento eléctrico para equipos de generación de eléctrica.

Juan Diego Betancur Osorio

Práctica académica en modalidad de semestre de industria, presentado para optar al título de
Ingeniero Electricista

Asesor

Jaime Alejandro Valencia Velásquez, Doctor (PhD) en ingeniera eléctrica.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Eléctrica
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	Betancur Osorio [1]
Referencia	[1] J. D. Betancur Osorio, "Elaboración de guías de mantenimiento eléctrico para equipos de generación de eléctrica", Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Facultad de Ingeniería. CENDOI.

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Julio César Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Alejandro Mesa Quintero.

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

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mi madre y hermanas, quienes estuvieron siempre apoyándome durante este proceso.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a mi madre, quien, con su amor incondicional y apoyo inquebrantable desde la infancia, han sido el pilar en mi formación personal y profesional, gracias por ser parte de mi vida. Agradezco a mis amigos, familiares, docente y compañeros de trabajo que siempre estuvieron a disposición de enseñarles. Al equipo de trabajo plantas menores de ISAGEN por recibir y dar un espacio tan agradable para hacer mis prácticas profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS	13
A. Objetivo general	13
B. Objetivos específicos	13
III. MARCO TEÓRICO	13
IV. METODOLOGÍA	17
V. RESULTADOS	19
A. El generador	19
B. Interruptor de potencia.	30
C. Celdas de media tensión.....	35
D. Transformador de potencia.....	38
E. Planeación de mantenimiento.....	41
F. Creación de material y repuesto para el mantenimiento	41
VII. CONCLUSIONES	42
REFERENCIAS	43

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE LA ACTIVIDAD DE BLOQUEO.....	20
TABLA 2. VALORES TOMAS DURANTE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.....	24
TABLA 3. VALORES DE LA PRUEBA DE INDICE DE POLARIDAD.	24
TABLA 4. ÍNDICE DE POLARIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN	25
TABLA 5. CONEXIONES PARA LA PRUEBA EN EL TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA.	27
TABLA 6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA	27
TABLA 7. VALORES OBTENIDOS CON EL SF6-MULTI-ANALYSER.....	34
TABLA 8. NORMAS PARA EL ACEITE DIELECTRICO	40

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Generador de CH San Miguel.....	19
Fig. 2. Actividad de energía cero en celda de media tensión.....	20
Fig. 3. Prueba de aislamiento al generador	21
Fig. 4. Prueba de aislamiento al rotor.....	22
Fig. 5. Esquema de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento.....	23
Fig. 6. Grafica de los valores de la prueba de índice de polaridad.....	25
Fig. 7. Prueba de descargas parciales.....	26
Fig. 8. Prueba de continuidad de diodos.....	26
Fig. 9. Transformador de puesta a tierra 1.....	27
Fig. 10. Prueba en el transformador de puesta a tierra 2.....	28
Fig. 11. Prueba de relación de transformación.....	28
Fig. 12. Comparativa visual de la limpieza del bobinado del generador.....	29
Fig. 13. Cambio de rodamiento en motores.....	29

Fig. 14. Pruebas resistencia de aislamiento en motores.	30
Fig. 15. Interruptor de potencia.	31
Fig. 16. Equipo de medida TM1800	32
Fig. 17. Conexión y resultado de la prueba en el interruptor.	33
Fig. 18. Resultados de la prueba de tiempo de cierre y apertura.....	33
Fig. 19. Presión del gas SF6 del interruptor.....	34
Fig. 20. Calidad del gas SF6.	34
Fig. 21. Conexión para la prueba de resistencia de contactos.....	35
Fig. 22. Etiqueta de riesgo arco eléctrico.....	36
Fig. 23. Interruptor de media tensión.....	36
Fig. 24. Celda de media tensión.....	37
Fig. 25. Corrección de borneras dentro de la celda.....	37
Fig. 26. Conexión para la prueba de resistencia de aislamiento en interruptor.....	38
Fig. 27. Prueba tiempos de cierre y apertura en el interruptor de media tensión.....	38
Fig. 28. Transformador de potencia.....	39
Fig. 29. Fisura en aislador de baja del transformador y fuga de aceite por la empaquetadura de la base del pasatapas de A.T.	40
Fig. 30. Orden de mantenimiento en SAP.....	41
Fig. 31. Creación de material en SAP.....	41

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ANSI	American National Standards Institute
SAP	Systems, Applications and Products in Data Processing
PCH	Pequeña central hidroeléctrica
NTC	Norma Técnica Colombiana
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
NFPA	La National Fire Protection Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
SF6	Hexafluoruro de azufre
A.T.	Alta tensión
B.T.	Baja tensión
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

En estas prácticas, el objetivo es crear guías de mantenimiento para centrales hidroeléctricas, donde se trabaja con los elementos más importantes, como el generador, el transformador de potencia, celdas de media tensión e interruptor de potencia. Para lograr estas guías, se contó con el apoyo de personas capaces y equipos para esta labor, como los puentes grúas propios de las centrales, el personal capacitado como tecnólogos de mecánica, electromecánica, eléctricos e instrumentación [1]. Para lograr una buena coordinación, se debe tener un cronograma bien estructurado para evitar retrasos en el mantenimiento. Esto también aplica para las herramientas y equipos que se deben trasladar al punto de trabajo, como los equipos de medición eléctrica. Para toda esta coordinación, se utiliza un software llamado SAP.

SAP es un sistema integrado de gestión empresarial que facilita la administración de procesos comerciales, recursos y datos en organizaciones de diversos sectores. En los planes de mantenimiento, ayuda a programar los materiales, personas y equipos especiales que se van a utilizar y a tener una idea de cómo empezar a trabajar.

Palabras clave — Guías, pequeñas centrales, PCH, Mantenimiento, SAP

ABSTRACT

In these practices, the goal is to create maintenance guides for hydroelectric power plants, focusing on the most important components such as the generator, power transformer, medium voltage cells, and power switch. To achieve these guides, support was provided by skilled individuals and equipment for this task, such as the overhead cranes specific to the plants, and trained personnel including mechanical, electromechanical, electrical, and instrumentation technologists. For good coordination, a well-structured schedule is necessary to avoid delays in maintenance. This also applies to the tools and equipment that need to be transported to the work site, such as electrical measurement equipment. For all this coordination, a software called SAP is used.

SAP (Systems, Applications, and Products) is an integrated enterprise management system that facilitates the administration of business processes, resources, and data in organizations across various sectors. In maintenance plans, it helps schedule the materials, personnel, and special equipment to be used and provides an idea of how to start working.

***Keywords* — Guides, small power plants, SHP (Small Hydro Power), Maintenance, SAP.**

I. INTRODUCCIÓN

Un indicador del desarrollo en un país se observa en su consumo de electricidad en comparación con otros de similar demografía y recursos para la generación. Este indicador se observa principalmente en el sector industrial y su impacto en la productividad y sostenibilidad.

En Colombia se presente esta realidad y cuenta con una de las mejores estructuras energéticas, con una capacidad de instalación alrededor de 19000 MW. Sin embargo, al ser principalmente un país residencial y no industrial, enfrenta desafíos específicos, como alcanzar niveles óptimos de eficiencia energética.[4]

Con este documento se proporciona la descripción paso a paso de cómo se realiza el mantenimiento a los equipos principales eléctricos para pequeñas centrales cuya generación es menor a 20MW. Se centra en los generadores, transformadores de potencia, celdas de media tensión e interruptores.

Dado que las guías se elaboran específicamente para cada central, se debe tener en cuenta la referencia y disposición de los equipos, como en el caso de los generadores, donde es relevante si la turbina es una Pelton, si cuenta con una estructura en forma de caracol para el movimiento de la turbina o si esta en disposición horizontal, lo mismo ocurre para el transformador de potencia, considerando la potencia en MVA para la cual está diseñado. Para la elaboración de las guías, se traslada personalmente a la central para observar detalladamente el procedimiento de mantenimiento, realizando un levantamiento de información que incluirá las herramientas utilizadas, así como el equipo de apoyo, como escaleras y puentes grúa para acceder a los equipos, capacitaciones que debe tener el personal para realizar la actividad de forma segura.

Se llevará a cabo la creación de materiales en el aplicativo SAP, el cual es un sistema de planificación empresarial donde se cargará toda la información del dispositivo a crear que forma parte de la cadena de generación o las piezas necesarias para el correcto funcionamiento del equipo (marca, referencia, rango de operación, función, y lugar donde será utilizado).

Con el software SAP también se programarán los mantenimientos, especificando las actividades, herramientas e insumos necesarios, el personal requerido y el tiempo estimado para cada actividad que se utilizará en las actividades de mantenimiento. Una vez finalizadas las actividades, se deberá elaborar un informe detallado que indique las anomalías presentadas, en caso de existir, y proporcionar observaciones pertinentes.

II. OBJETIVOS

A. *Objetivo general*

Elaborar guías de mantenimiento para los principales equipos que intervienen de forma directa en la generación de energía eléctrica.

B. *Objetivos específicos*

Analizar y apoyar las etapas de planeación y ejecución de actividades de mantenimiento eléctrico del plan de paradas.

Establecer un paso a paso del mantenimiento del equipo identificando los riesgos y medidas de seguridad.

Identificar y crear el código SAP de cada uno de los elementos relacionados en las guías de mantenimiento.

III. MARCO TEÓRICO

El mantenimiento de los equipos de una central implica la planificación y toma de acciones técnicas para mantener o restaurar el estado de los equipos. Estas intervenciones buscan mejorar la confiabilidad y optimizar los recursos, garantizando la eficiencia, calidad y rendimiento en la prestación de servicios, mientras se asegura la confiabilidad y seguridad en el servicio.

El RETIE “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas”: Es una normativa técnica colombiana que establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas en el país. Su objetivo es garantizar la seguridad de las personas, proteger los bienes y preservar el medio ambiente en relación con el uso, diseño, construcción, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas. [1]

La norma NFPA 70B “prácticas recomendadas para el mantenimiento de equipos de eléctricos”: Se usa como forma regular para la gestión del mantenimiento de una central hidroeléctrica, especialmente en lo que respecta a maquinaria rotativa, como generadores, así como en la supervisión de interruptores y transformadores de potencia. Siguiendo los lineamientos

establecidos en esta norma, las organizaciones pueden gestionar un mantenimiento óptimo de sus sistemas eléctricos. Esto incluye inspecciones regulares, pruebas y ajustes preventivos en generadores para asegurar su funcionamiento eficiente y confiable. Los fabricantes generalmente proporcionan información sobre las necesidades de mantenimiento de los tipos específicos de equipos, y ese tipo de orientación estaba disponible en diversas fuentes. Por lo tanto, se determinó que reunir dicha información en un solo documento a modo de directrices generales, bajo el procedimiento de la NFPA, sería ventajoso reduciendo el riesgo de interrupciones no planificadas y aumenta la seguridad tanto para el personal como para las instalaciones y sus equipos. [3]

NFPA 70E” Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo”: Es una norma de seguridad eléctrica desarrollada por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos. Esta norma establece prácticas y procedimientos para proteger a los trabajadores contra los peligros eléctricos mientras realizan tareas relacionadas con la electricidad. La NFPA 70E proporciona directrices para evaluar los riesgos eléctricos, seleccionar y usar equipo de protección personal (EPP) adecuado, y establecer procedimientos de trabajo seguros en entornos donde existen peligros eléctricos. Su objetivo principal es reducir los accidentes y lesiones causados por la electricidad en el lugar de trabajo, promoviendo así un entorno laboral más seguro y protegiendo la salud y la seguridad de los trabajadores. NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace, 2018 edition, Chapter 1, Sections 110.1, 130.3, 130.7, Chapter 2, Sections 200.1, 200.4, 200.5, 200.6

Mantenimientos eléctricos preventivo: Un programa de inspección, pruebas, análisis y servicios de sistemas y equipos eléctricos con el propósito de mantener la operación y la producción seguras, mediante la reducción, o la eliminación, de las interrupciones del sistema y la avería de los equipos. [4]

Mantenimiento correctivo: Se refiere a las acciones necesarias para restaurar el funcionamiento apropiado de un elemento que ha fallado. Esto se logra mediante el retiro de la unidad defectuosa y su reemplazo por un elemento nuevo, o bien reparando el elemento.

Mantenimiento predictivo: es una estrategia que utiliza datos y análisis para predecir cuándo es probable que ocurra una falla en un equipo o sistema. Se basa en la monitorización continua de parámetros específicos, como vibraciones, temperatura o niveles de lubricante, para identificar

signos tempranos de deterioro o desgaste, permitiendo la intervención antes de que ocurra una falla costosa o inesperada.

Un generador eléctrico: Un generador eléctrico de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) es un equipo que convierte energía mecánica en energía eléctrica mediante el uso del flujo de agua. En una PCH, el generador está conectado a una turbina hidráulica que es impulsada por el flujo de agua. Cuando la turbina gira, mueve el eje del generador, que está rodeado por bobinas de alambre de cobre dentro de un campo magnético. Este movimiento relativo entre las bobinas y el campo magnético induce corriente eléctrica en las bobinas, generando así electricidad. La energía eléctrica producida por el generador se utiliza para alimentar la red eléctrica o para satisfacer las demandas locales de electricidad en áreas donde se encuentra la PCH.

Transformador tridevanado: Es un tipo especial de transformador de potencia que consta de tres bobinados: una bobina de alta y dos bobinas baja. En el caso específico de centrales se conectan dos generadores con una tensión nominal de 13.8 kV cada uno al lado de baja del transformador, y con una tensión nominal de 110 kV en el lado de alta para conectarse al sistema de transmisión. Este diseño permite la conexión eficiente de múltiples generadores a una red eléctrica de alta tensión, facilitando la transmisión de energía eléctrica de manera versátil y adaptada a las necesidades específicas del sistema.

Servicios auxiliares: Lo conforma todos los dispositivos y equipos necesarios para la alimentación de las diferentes cargas que se utilizan en la operación de la subestación. Entre estos elementos se encuentran: banco de baterías, cargadores de baterías, grupo electrógeno, transformador de servicios auxiliares, etc.

Interruptor de potencia en gas SF₆: Es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos de alta tensión para interrumpir o cortar el flujo de corriente eléctrica en condiciones normales y de falla. Este tipo de interruptor emplea gas hexafluoruro de azufre (SF₆) como medio aislante y de extinción de arco. Cuando se produce una sobrecarga o un cortocircuito en el sistema eléctrico, el interruptor se activa para abrir el circuito y detener el flujo de corriente, evitando daños en el equipo y garantizando la seguridad del sistema. Este gas es altamente efectivo para extinguir el arco eléctrico generado durante la apertura del interruptor, lo que permite una interrupción rápida y confiable de la corriente en condiciones de alto voltaje.

En una central hidroeléctrica, la gestión del mantenimiento se toma como base y primera medida la observación e inspección del estado de los equipos. A esto le sigue la medición en los diferentes

componentes y equipos eléctricos para identificar posibles problemas que podrían afectar la eficiencia energética y la vida útil de los equipos. Estas actividades deben ser documentadas de manera detallada, ya sea en registros físicos, hojas de datos o sistemas electrónicos en línea, para que tanto el personal técnico como el administrativo estén al tanto de las necesidades de planificación, programación, seguimiento y control del mantenimiento. Esto garantiza la preservación y optimización del tiempo de vida útil de los activos, minimizando los costos de inversión. [5].

IV. METODOLOGÍA

Etapa 1: Realizar visitas a planta para observar del mantenimiento.

En esta etapa, se observará y detallará cómo son las actividades del mantenimiento en el equipo para la generación. Se tomará nota del paso a paso, se discutirán los riesgos asociados a cada uno de los pasos y las barreras que utilizaremos para prevenirlos, pueden ser barreras de soporte, control y protección.

Etapa 2: Documentar los procedimientos del área eléctrica con el equipo.

Durante esta fase se buscará tener más información conversando con los técnicos, tecnólogos e ingenieros acerca del proceso de la actividad de mantenimiento y las pruebas que se realizan para garantizar que la guía quede lo más completa posible, con las normas, pruebas y equipos que se utilizaron para el mantenimiento (RETIE).

Etapa 3: Identificación y prevención de riesgos en las actividades de mantenimiento.

Durante las visitas a planta se discutirá con el personal de seguridad laboral, se abordarán específicamente los riesgos asociados con cada actividad de mantenimiento. Se considerarán factores como la manipulación de maquinaria pesada (puente grúa, carro extractor), la exposición a sustancias peligrosas, los posibles accidentes eléctricos o mecánicos y cualquier otro riesgo identificado en el lugar de trabajo. Se analizará cada tarea de mantenimiento, evaluando tanto los riesgos inmediatos como aquellos de naturaleza más latente, como los relacionados con la fatiga del personal o en el entorno operativo (deshidratación o golpe de calor). A partir de esta evaluación detallada, se propondrán medidas preventivas concretas, como el uso de equipos de protección personal adecuados, la implementación de procedimientos de trabajo seguro y la capacitación regular del personal en prácticas de seguridad laboral.

Etapa 4: Verificación del procedimiento y protocolos técnico y de seguridad

Junto con el tutor y compañeros que estuvieron realizando el mantenimiento, se convocara una reunión para evaluar y hacer las correcciones necesarias de las guías elaboradas en campo para garantizar que la guía de mantenimiento para el equipo en cuestión; esté acorde al paso a paso que se realiza en la planta. Con la persona de la seguridad en el trabajo que nos acompañó en el mantenimiento, se realizará el mismo procedimiento al que se hizo para evaluar el paso a paso técnico, pero esta persona solo evaluara los riesgos que se presentaron durante las actividades y valorando las barreras para prevenirlos.

Etapas 5: Presentación del informe final.

Se realizará la entrega a los entes competentes de la universidad y la compañía del proyecto propuesto, basado en todas las normativas y exigencias vigentes.

V. RESULTADOS

En el desarrollo del proyecto de prácticas académicas, se realizó el mantenimiento eléctrico correspondiente a varias instalaciones y equipos principales para la generación, los resultados de las actividades realizadas se muestran a continuación.

A. *El generador*



Fig. 1. Generador de CH San Miguel.

Dentro de ISAGEN se tiene la buena práctica de llenar un formato de planificación de trabajo seguro para las actividades que se van a realizar, dentro de este se identifican los riesgos asociados a cada actividad donde los riesgos eléctricos siempre se categorizan como altos, se muestran una actividad que tiene un grado alto de riesgo y las forma de mitigarlos.

TABLA 1.
MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE LA ACTIVIDAD DE BLOQUEO.

Actividad	Riesgos	Medidas de seguridad
Actividad de bloqueo y etiquetado de los interruptores de los generadores, aplicando las 5 reglas de oro para trabajos eléctricos que se encuentran en el RETIE. Para realizar esta actividad se debe revisar el estudio de arco o etiquetas de la celda a intervenir.	Contacto directo con media tensión.	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes dieléctrico clase 2, uso de botas dieléctricas, tapete dieléctrico. • Capacitación en riesgo eléctrico. • Utilizar extractores de la celda. • Personal competente y certificada • Kit de rescate eléctrico.
	Arco eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> • traje ignifugo clase 12 cal/cm2, guantes clase 2, casco, botas dieléctricas, careta para arco, balaclava, protección, escafandra. • Personal competente, habilitado y capacitado. • Kit de rescate eléctrico. • Frente muerto de la celda
	Contacto indirecto.	<ul style="list-style-type: none"> • Puesta a tierra de la celda. • Personal capacitación y certificado • Capacitación de riesgo eléctrico



Fig. 2. Actividad de energía cero en celda de media tensión.

Se destaca dentro de las buenas prácticas de ISAGEN la cultura e implementación de capacitar al personal que hacen parte del mantenimiento frente al riesgo eléctrico y demás peligros que se presentan en otras actividades que se desarrollan de forma complementaria.

Dentro del plan de mantenimiento del generador se realizan actividades de rutina como lo es la limpieza del bobinado del generador, revisión de puntos calientes con cámara termográfica, revisión y ajuste de la tornillería evitando los puntos calientes en lugares donde las conexiones son flojas, un mantenimiento que consisten en el remplazo de elementos donde se presenta un desgaste excesivo, como son los motores de los servicios auxiliares propios de cada unidad de generación. Una parte importante del mantenimiento es la realización de pruebas para garantizar que en el generador no se esté presentado un desgaste excesivo o degradación de sus propiedades eléctricas en el material.

Dentro de estas pruebas a los generadores encontramos una prueba que no importante si es mantenimiento mayor o mantenimiento general siempre vamos a encontrar, la prueba de resistencia de aislamiento es un procedimiento utilizado para analizar la capacidad de un material aislante, como el caucho, plástico o papel, para resistir la penetración de corriente eléctrica a través de él. Esta prueba se realiza aplicando un voltaje específico al material y midiendo la corriente que fluye a través de él. Es fundamental en la industria eléctrica para garantizar la seguridad de los equipos y sistemas eléctricos, ya que ayuda a detectar posibles fallos en el aislamiento que podrían provocar cortocircuitos o descargas eléctricas.



Fig. 3. Prueba de aislamiento al generador



Fig. 4. Prueba de aislamiento al rotor.

En las imágenes mostradas se muestra la ejecución de la prueba de resistencia de aislamiento en este caso se realizó con el equipo MEGGER S1-1052/2 con base a norma ANSI/NETA ATS – 2009 que nos indica las consideraciones para realizar esta prueba y los valores esperados que se espera de una resistencia de aislamiento en buen estado.

Consideraciones importantes al momento de realizar la prueba y hacer el análisis de los resultados obtenidos.

- Verificación la fecha y el certificado de calibración del equipo de medida (MEGGER S1-1052/2)
- Valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ 000\ M\Omega$, de acuerdo con la norma ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1. [6]
- Para un mejor análisis de los aislamientos, las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas corregidas a una misma base y en lo posible, efectuar las pruebas bajo las mismas condiciones ambientales. Las medidas obtenidas serán referidas a 20°C de acuerdo con ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.14 [6]

$$R = R_{med} * K \quad (1)$$

R_{med} : resistencia medida a la temperatura ambiente [Ω] ohm

R: resistencia a la temperatura de 20 °C [Ω] ohm

K: factor de corrección a 20 °C

- En la evaluación de las condiciones de los aislamientos, deben calcularse los índices de absorción y polarización, ya que tienen relación con la curva de absorción. El índice de absorción se obtiene de la división del valor de la resistencia a 1 minuto entre el valor de 0.5 minuto y el índice de polarización se obtiene dividiendo el valor de la resistencia a 10

minutos entre el valor de 1 minuto. Los valores mínimos de los índices deben ser de 1.2 para el índice de absorción y 1.5 para el índice de polarización.

Ecuación para calcular el índice de polaridad:

$$IP = \frac{R_{10m}}{R_{1m}} > 1.5 \quad (2)$$

R_{10m} : Valor de la resistencia a los 10 minutos.

R_{1m} : Valor de la resistencia al 1 minuto.

Ecuación el cálculo del índice de absorción:

$$IA = \frac{R_{1m}}{R_{0.5m}} > 1.5 \quad (3)$$

R_{10m} : Valor de la resistencia a los 10 minutos.

R_{1m} : Valor de la resistencia al 1 minuto.

- El envejecimiento de los aislamientos o el requerimiento de mantenimiento, provocan un aumento en la corriente de absorción que toma el aislamiento y se detecta con un decremento gradual de la resistencia de aislamiento.

Se realiza para una fase el análisis de resultados para la prueba se utiliza un voltaje de 5kV de acuerdo con la norma a 1 minuto, la conexión para prueba se muestra a continuación.

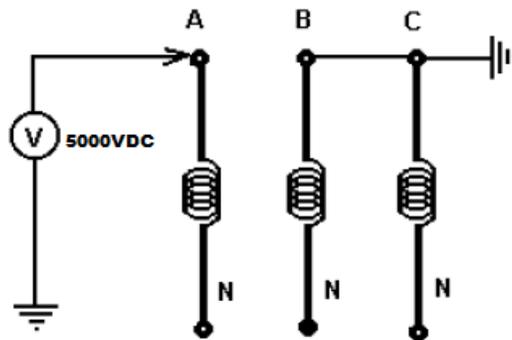


Fig. 5. Esquema de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento.

Al momento de realizar la prueba se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas a continuación:

TABLA 2.
VALORES TOMAS DURANTE LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

Conexión	Tensión Aplicada/ 1 min	Resistencia Medida [GΩ]	Resistencia Referida a 20 °C [GΩ]	¿Cumple?
Fase vs. Tierra	5KV	9,56	23,9	Si

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza a una temperatura ambiente de 32°C y una temperatura en los devanados de 42°C, se utiliza un factor de corrección de 2.5 referente a la temperatura de los devanados.

En la prueba de índice de polaridad e índice de absorción debemos hacer la toma de datos como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 3.
VALORES DE LA PRUEBA DE INDICE DE POLARIDAD.

Tiempo de la prueba (min)	Resistencia Medida [GΩ]	Resistencia referida a 20°C [GΩ]
0.5	3,17	5,5
1	5,98	10,4
2	10,93	19,0
3	18,07	31,4
4	23,3	40,5
5	27,9	48,5
6	31,9	55,4
7	35,5	61,7
8	38,8	67,4
9	41,8	72,6
10	45,1	78,3

Se grafica los resultados para observar el comportamiento durante la prueba.



Fig. 6. Grafica de los valores de la prueba de índice de polaridad.

A continuación, se presentan los resultados de la prueba de índice de absorción e índice de polaridad.

TABLA 4.
ÍNDICE DE POLARIDAD E ÍNDICE DE ABSORCIÓN

	Fase vs. Tierra	¿Cumple?
Índice de Polarización (10/1)	4,35	Si
Índice de Absorción (1/0.5)	1.9	Si

Para el generador se realizan las pruebas de descargas parciales cada tres años. Esta prueba determina el nivel de descargas parciales presentes en cada fase de forma global, determina la naturaleza de las descargas parciales obteniendo un patrón que servirán como referencia para futuras pruebas. Se considera para el análisis la ubicación de las descargas parciales en las bobinas del estator con esto se puede determinar la caracterización del fenómeno presente.

Se procede a realizar la prueba subiendo la tensión de la fuente gradualmente en pasos de 2 kV hasta llegar a la tensión de fase de la máquina, se inicia la toma de datos de descargas parciales, este procedimiento se realiza de forma independiente para cada una de las fases, la toma de datos se realiza por un tiempo de 30 segundos.

Se aplica la norma IEEE Std 1434, con el equipo Deltamaxx y un voltaje de prueba 8 kV. Esta prueba fue realizada por parte un tercero, Donde nos entregó el respectivo informe y sus conclusiones para proceder a la toma de decisiones de acuerdo con los resultados.

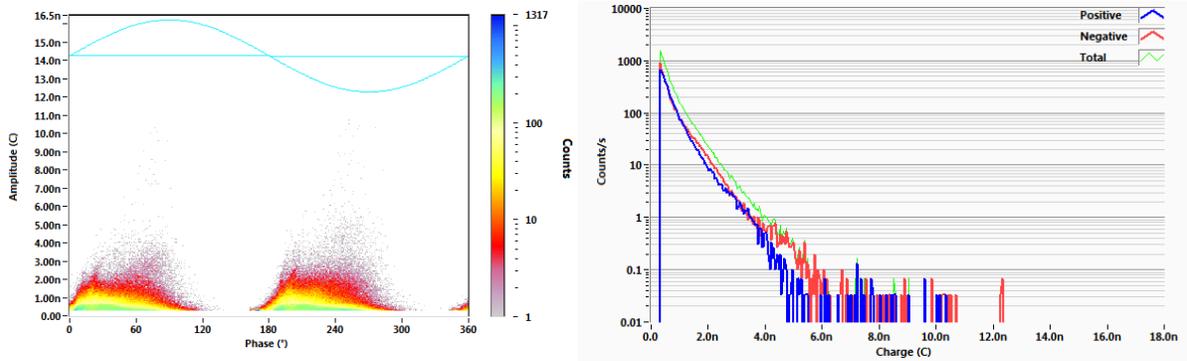


Fig. 7. Prueba de descargas parciales.

Estas son las ventajas de realizar esta prueba en el generador:

- Las descargas parciales pueden ser indicativas de problemas incipientes en el aislamiento del generador. Detectar estas descargas en una etapa temprana puede ayudar a prevenir fallos catastróficos y costosos en el futuro.
- Proporcionar información sobre la calidad del aislamiento en el generador.
- Al evaluar el nivel de descargas parciales y su evolución a lo largo del tiempo, es posible hacer una estimación de la vida útil restante del generador.

Una de la prueba más que se realiza en el generador es la prueba de continuidad en los diodos donde dependiendo del material del diodo se debe obtener un valor de tensión en DC, la prueba se realiza con un multímetro con la posición de prueba de diodos.



Fig. 8. Prueba de continuidad de diodos.

En un sistema de generación, el transformador de puesta a tierra se utiliza para conectar el neutro del generador a tierra. Esto ayuda a estabilizar el voltaje y proporciona un camino seguro para que las corrientes de falla fluyan hacia la tierra, lo que evita daños en el equipo y reduce el riesgo de descargas eléctricas. A este equipo también se realiza su respectivo mantenimiento que

consta de realizar una prueba de relación de transformación y una prueba de resistencia de aislamiento que tiene una conexión específica.



Fig. 9. Transformador de puesta a tierra 1.

Para la prueba de resistencia de aislamiento en transformador de puesta a tierra se utiliza el equipo MEGGER S1-1052/2 y se realizan las siguientes conexiones y pruebas para el análisis de esta prueba se debe hacer la corrección por temperatura que se especifica en la norma ANSI/NETA ATS del 2009 utilizando la tablas 100.1 y 100.14.[6]

TABLA 5.
CONEXIONES PARA LA PRUEBA EN EL TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA.

Conexión	Voltaje de prueba (Vdc)
Alta VS Baja + Tierra	5000
Baja VS Alta + Tierra	250
Baja VS Alta	250

Resultados de la prueba en el transformador de puesta a tierra.

TABLA 6.
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA

Conexión	Tensión Aplicada/ 1 min	Resistencia Medida [GΩ]	Resistencia Referida a 20 °C [GΩ]	Resultado (Cumple/No cumple)
Alta tensión vs. Tierra	5000	605	955,9	Cumple
Baja tensión vs Tierra.	250	>500	---	Cumple
Alta tensión vs Baja tensión	250	>500	---	Cumple

En campo al momento de realizar la prueba se toma la temperatura del devanado y se procede con la prueba.



Fig. 10. Prueba en el transformador de puesta a tierra 2.

Para la prueba de relación de transformación se busca en la documentación entregada por el fabricante el valor de la relación de transformación del equipo y se realiza la prueba con un equipo certificado para dicha prueba, en caso de esta prueba se utiliza en OMICRON CPC 100, al equipo tendremos que ingresarle algunos parámetros para realizar la medición, este nos entregara el valor de la relación de transformación y la desviación que tiene del valor real.



Fig. 11. Prueba de relación de transformación.

Por último, en el generador se debe realizar una limpieza general de sus partes y sistemas como lo son las borneras, puntos de conexión, bobinado, se muestra el caso donde se encontró el estado del generador con partículas de polvo y suciedad por la zona en que se encuentra. Esto es un caso sin novedades de la limpieza de un generador.



Fig. 12. Comparativa visual de la limpieza del bobinado del generador.

Dentro del mantenimiento a un generador también tenemos los servicios propios de cada unidad donde se encuentran motores que cumplen funciones de lubricación, de refrigeración cerrado y abierto, de fuerza hidrostática y control de la presión del sistema, en cada uno de estos se realizan inspección, pruebas y remplazo de piezas que presenten un desgaste y limpieza general. La prueba que se realiza a estos motores es la resistencia de aislamiento como se especifica en la norma ANSI/NETA ATS -2009. [6]



Fig. 13. Cambio de rodamiento en motores.



Fig. 14. Pruebas resistencia de aislamiento en motores.

B. Interruptor de potencia.

Un interruptor es utilizado en sistemas de distribución y transmisión, proteger el flujo de corriente eléctrica. Su función principal es interrumpir o conectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales de operación o en situaciones de emergencia, como cortocircuitos o sobrecargas. Estos interruptores son capaces de manejar altas corrientes y voltajes, los interruptores de potencia que utilizan hexafluoruro de azufre (SF₆) como medio de extinción son comunes en sistemas de alta tensión, como subestaciones de distribución y transmisión de energía eléctrica. El SF₆ es un gas inerte y no inflamable que tiene excelentes propiedades dieléctricas, lo que lo hace ideal para su uso en interruptores de potencia. Cuando se produce un arco eléctrico dentro del interruptor, el SF₆ se ioniza, creando un camino de baja resistencia para la corriente eléctrica y extinguiendo el arco. Esto permite que el interruptor interrumpa la corriente eléctrica de manera segura y efectiva.



Fig. 15. Interruptor de potencia.

En el mantenimiento los interruptores de potencia con SF6 es importante hacer un análisis detallado de los riesgos que podemos encontrar, dado que este equipo se encuentra dentro una subestación de patio donde se encuentran otros equipos que podrían estar energizados, para esto se debe delimitar la zona y la persona que puede entrar a la subestación, se contempla el riesgo biológico por animales que se pueden encontrar en la subestación como las serpientes o abejas, también hay riesgos que no podemos mitigar por completo como es la exposición prolongada al sol que producirá un golpe de calor, una forma de contrarrestar este riesgo es la hidratación y descansos a la sombra cada cierto tiempo.

Observaciones importantes al momento de realizar el mantenimiento del interruptor en la subestación:

- Las actividades dentro de la subestación se deben parar o posponer por condiciones climáticas adversas (la lluvia y descargas atmosféricas).
- Las unidades de generación deben estar detenidas.
- Realizar consignación ante la autoridad competente para realizar el mantenimiento, para que esta entidad tome medidas de contingencias en las líneas y dejar por fuera de servicio la línea donde está conectado el interruptor.
- Si el equipo está ubicado en una subestación de la cual no se es propietario, realizar el respectivo trámite para solicitar el ingreso.

- Solo debe entrar el personal necesario para realizar la actividad de mantenimiento.
- Dentro de la subestación hacer el cierre de la cuchilla de puesta a tierra.

Las actividades de mantenimiento en un interruptor de potencia son enfocadas al buen funcionamiento del mecanismo de apertura y cierre, el estado del interruptor y medición de las propiedades dieléctricas del gas SF6.

En los interruptores de potencia, se encuentran dos bobinas de apertura y una bobina de cierre. La segunda acción de apertura se activa cuando la bobina principal falla. Este segundo mecanismo de apertura siempre actúa más rápidamente, evitando así que la falla persista durante un período prolongado.

En la caja de control del interruptor se conecta el equipo MT1800 donde se deben identificar las siguientes borneras para realizar la prueba tiempos de cierre y apertura, se busca la información en los manuales de fábrica del equipo.

- Positivo fijo (125V)
- Negativo fijo (125V)
- Cierre
- Disparo 1
- Disparo 2



Fig. 16. Equipo de medida TM1800

En la figura se muestra la conexión y resultados de la prueba en el equipo.

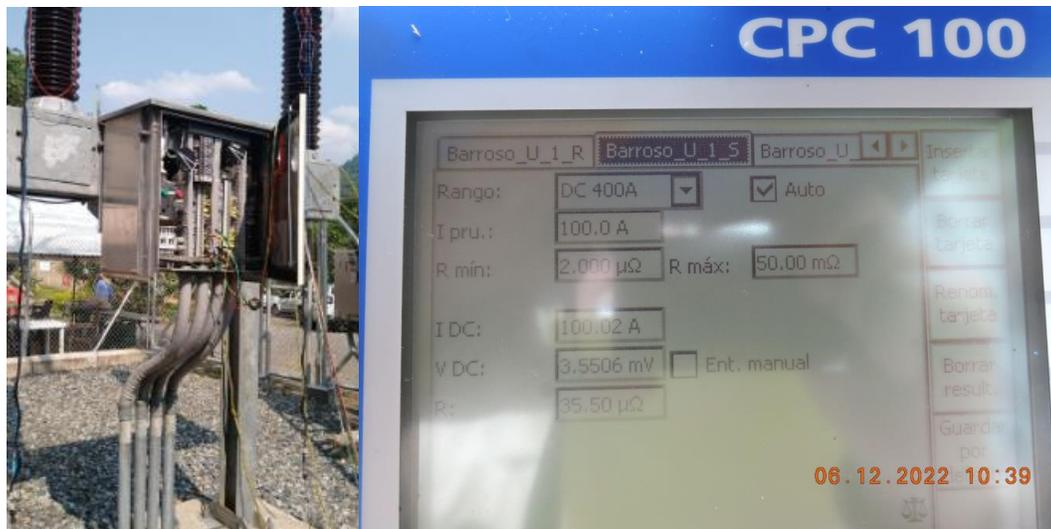


Fig. 17. Conexión y resultado de la prueba en el interruptor.

Al realizar la prueba en el mismo equipo validamos el comportamiento y los tiempos de las pruebas de cierre y apertura, con la información del fabricante e informe de prueba anteriores se valida que los valores tomados en cada fase no tengan una gran diferencia, se espera que la desviación no sea mayor a 3 milisegundos.

Parámetros	Valor	Unidad
Open time A OIM	29.5	ms
Open time B OIM	29.3	ms
Open time C OIM	30.8	ms
Opn time a AUXa1	23.7	ms
Diff M-a AUXa1	-7.1	ms
Cls time b AUXb1	38.8	ms
Diff M-b AUXb1	8.0	ms
Open time A	29.5	ms
Open time B	29.3	ms
Open time C	30.8	ms
Open time	30.8	ms
Pr current TCIP1	3.2	A
O contr. V TCMD1	128.6	V
Opn Cbil R TCIP1	42.1	ghm
Temp.		
Temp.		

Fig. 18. Resultados de la prueba de tiempo de cierre y apertura.

En la imagen se comprueba que los tiempos de apertura en cada fase no difieren las de 3 milisegundos, lo que da la validez que decir que el equipo en esta prueba opera de forma satisfactoria.

En el contenedor del gas SF6 se verifica la presión que debe estar de acuerdo con valores del fabricante.



Fig. 19. Presión del gas SF6 del interruptor.

En el gas SF6 se debe tener certeza del estado en que se encuentra, para esto debemos utilizar un equipo especialidad para medir la pureza del gas, con el equipo SF6-MULTI-ANALYSER.



Fig. 20. Calidad del gas SF6.

TABLA 7.
VALORES OBTENIDOS CON EL SF6-MULTI-ANALYSER.

Calidad del SF6			
Pureza	Punto de rocío	Concentración de subproductos	Presión del recinto
98.7%	47.3 °C	65	7.79 bar (abs)

Una prueba que se realiza a los interruptores en general es la prueba de resistencia de contactos. Este tipo de prueba es fundamental para garantizar que los interruptores operen correctamente y que la resistencia a través de los contactos sea mínima, asegurando así una eficiente conducción eléctrica y reduciendo la posibilidad de fallos por sobrecalentamiento o pérdida de energía. Para llevar a cabo esta prueba, se ajustan las conexiones del CPC100 al interruptor como se muestra en la figura.

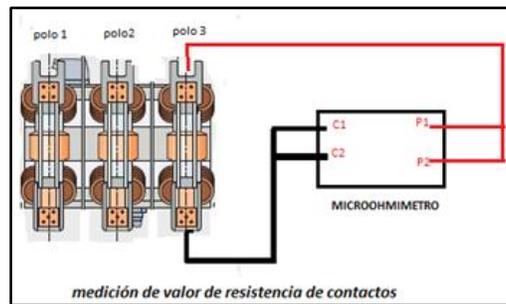


Fig. 21. Conexión para la prueba de resistencia de contactos.

C. Celdas de media tensión.

En las celdas encontramos el circuito de control del interruptor, el barraje de las fases, borneras. Normalmente estas celdas se encuentran en los cuartos de servicios auxiliares, con celdas de distribución, celdas de equipos propios de los generadores y celdas de transformación.

Para el mantenimiento en las celdas media tensión, lo primero es garantizar al personal que ejecutara las actividades de mantenimiento es la desconexión del suministro de energía (energía cero), para este mantenimiento las medidas de seguridad son para garantizar un trabajo seguro al personal.

En cada celda se encuentran estas etiquetas donde nos dan información del estudio de arco eléctrico que se realizaron, dentro de estas resaltamos los valores de energía incidente que, de acuerdo con este, se escoge el traje ignífugo, guantes dieléctricos y careta que este por encima para proteger al personal, la distancia de trabajo y distancia para el personal que no es electricista.



Fig. 22. Etiqueta de riesgo arco eléctrico.

En la siguiente imagen se muestran las borneras, los puntos de conexión del barraje mecanismo de extracción del interruptor, el mecanismo de accionamiento del interruptor circuito de control del interruptor. El mantenimiento suele hacerse encima del mecanismo de extracción por facilidad.



Fig. 23. Interruptor de media tensión.

En las celdas se hace especial énfasis en la limpieza y validación del buen estado de las bornera, estructura de la celda, puesta a tierra. En conductores de la celda se busca presencia de envejecimiento o maltrato al aislamiento, señales de calentamiento excesivo o arco. En conexiones

en las borneras se busca conexiones flojas, deterioradas o corroídas, se reemplaza la pieza defectuosa o se ajusta la conexión.



Fig. 24. Celda de media tensión.

Un evento que se llega a encontrar en las celdas es el cambio de las borneras de conexión de la acometida principal de la calefacción del generador se encontraron con señales de calentamiento al parecer por conexiones flojas.

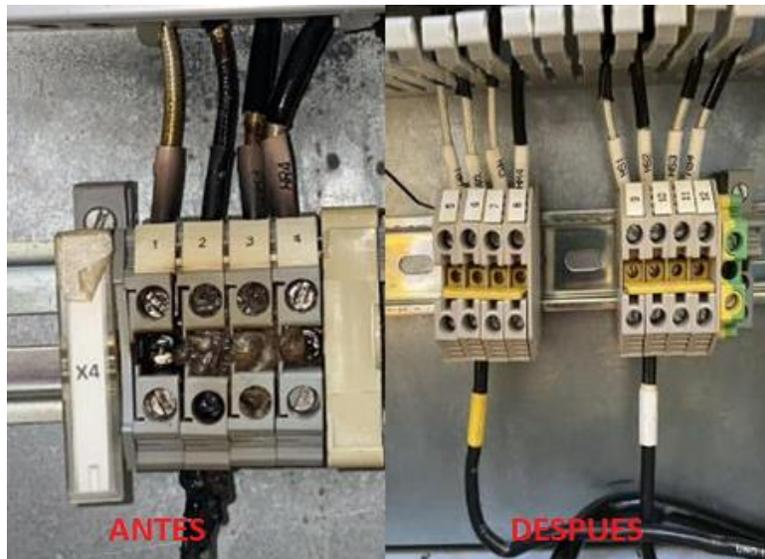


Fig. 25. Corrección de borneras dentro de la celda.

En el interruptor se buscan fracturas o deformaciones en sus partes aislantes, carcasa. Se realiza la prueba de resistencia de aislamiento de contactos del interruptor. La medida se debe realizar tanto en los polos de entrada como en los de salida.

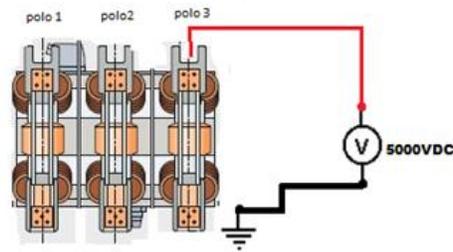


Fig. 26. Conexión para la prueba de resistencia de aislamiento en interruptor.

La prueba de resistencia de contactos es fundamental para garantizar que los interruptores operen correctamente y que la resistencia en los contactos debe ser mínima.

En los interruptores se encuentran dos bobinas de apertura y una bobina de cierre. La segunda acción de apertura se activa cuando la bobina principal falla. Este segundo mecanismo de apertura siempre actúa más rápidamente, evitando así que la falla persista durante un período prolongado. Para la prueba de tiempo de apertura y cierre se usa el equipo MT1800.



Fig. 27. Prueba tiempos de cierre y apertura en el interruptor de media tensión.

D. Transformador de potencia

En las centrales a cargo de plantas menores se tienen transformadores de diferentes fabricantes, se tiene uno que es tridevanado con dos lados de baja que se conectan a 13.8kV y un lado de alta que se conecta al sistema de transmisión en 110kV, se dispone de transformadores con un lado de baja y un lado de alta.



Fig. 28. Transformador de potencia.

Las pruebas realizadas al transformador de potencia no las realiza ISAGEN, estas actividades las realiza un tercero que entrega su informe y novedades que se encuentran en el mantenimiento. Las pruebas que se le realizan son:

- Prueba de respuesta en frecuencia (SFRA): con el equipo FRANCO 800.
- Prueba de factor de potencia a los devanados del transformador: Con el equipo OMICRON CPC100+TD1.
- Prueba de factor de potencia y medida de capacitancia a los devanados del transformador con el equipo CPC 100+TD1.
- Prueba de collar energizado a los pasatapas de A.T con el equipo CPC 100.
- Prueba de corriente de excitación con el equipo CPC 100+TD1.
- Prueba de respuesta dieléctrica en frecuencia: Con el equipo DIRANA.
- Prueba de resistencia de devanados con el equipo OMICRON CPC100.
- Relación de transformación con el equipo OMICRON CPC100.
- Medición de pérdidas y resistencia de aislamiento de los para rayos de A.T. y B.T. con el equipo MEGGER u otro que permita realizar esta prueba.
- Prueba de resistencia de aislamiento entre devanados y devanados contra tierra. Con el equipo MEEGER.
- Toma de muestra del aceite dieléctrico para enviarlo a laboratorio para hacerle las pruebas.

TABLA 8.
NORMAS PARA EL ACEITE DIELECTRICO

NORMA REFERENCIA	TÍTULO NORMA
ASTM D3612-02(2017)	Standard Test Method for Analysis of Gases Dissolved in Electrical Insulating Oil by Gas Chromatography
ASTM D1500-12 (2017)	Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)
ASTM D974-21	Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration
ASTM D971-20 (se excluye numeral 7.4)	Standard Test Method for Interfacial Tension of Oil Against Water by the Ring Method
ASTM D1533-20	Standard Test Methods for Water in Insulating Liquids by Coulometric Karl Fischer Titration

Además de las pruebas al transformador se inspeccionan las partes del transformador como aisladores, cuba de almacenamiento del aceite, el estado de la silica, todas las tapas y partes metálicas en busca de lugares donde se presenten indicios de corrosión y deterioro. Luego de esto se le realiza una limpieza a todo el transformador.

Se presenta imagen de dos novedades encontrada en transformadores de potencia

- Aislador de resina epoxica utilizado para soportar y fijar el barraje de baja tensión del transformador
- Fuga de aceite encontrada durante el mantenimiento en los pasatapas de A.T.



Fig. 29. Fisura en aislador de baja del transformador y fuga de aceite por la empaquetadura de la base del pasatapas de A.T.

E. Planeación de mantenimiento

Para la programación de los mantenimientos se debe tener claridad sobre los trabajos que se deben hacer de forma periódica para la prevención de los equipos de generación y trabajos de forma secundaria que se realizaran de forma simultánea en los demás equipos de la planta.

En sistema SAP se realizó la programación de los mantenimientos y creación de equipos y herramientas. ISAGEN se tiene la estructura de que siempre que se van a ejecutar actividades en las plantas de generación debe existir su orden de mantenimiento para proceder con la ejecución de la actividad. En la orden de mantenimiento se da la información del personal necesario, las herramientas y respuestas, la fecha de la actividad, el grupo al que pertenece la actividad sea mecánico, civil, eléctrico u otra dependencia.

Denomin.	TE	Ctd.neces.	UM	T...	S
FORMADOR DE JUNTAS 515		4,000	UN	L	
GRASA MULTIPROPOSITO NSF H1-CRC		2,000	UN	L	
LAMINA EMPAQUE NO ASBESTO S9100 ESP 1/16		1,000	UN	L	
LIMPIADOR SF 7200		3,000	UN	L	
LUBRICANTE PENETRANTE 5-56 CRC		8,000	UN	L	
PAÑO ABRASIVO 7447 10x15 cm		4,000	UN	L	
PAÑO DE LIMPIEZA WYPALL REF X-70 MEDIO		4,000	UN	L	
PASTA MONTAJE ANTI SEIZE NIQUEL		1,000	UN	L	
TELA TEJIDO DE PUNTO A GRANEL		2,00	KG	L	

Datos cab. Oper. Componentes Costes Objetos Datos adic. Emplaz.

Responsable
 Gpo.plan. 001 / CSMG MECANICO
 Rs.pto.tr. / CSMG MANTENIMIENTO..

Fechas
 Inic.extr. 26.02.2024
 Fin.extr. 09.04.2024
 Prioridad ALTO

Fig. 30. Orden de mantenimiento en SAP.

F. Creación de material y repuesto para el mantenimiento

La creación de del sistema dentro de la gestión de SAP. Este proceso es esencial para las empresas que manejan inventarios, ya que permite la administración y control de los productos. Para la creación de material se debe disponer de la ficha técnica de la herramienta o el repuesto, saber cómo es la venta (unidad, docena, por su peso), si el material es estandarizado y la entrega del material.

Datos Generales Notas Gestión

Número de Solicitud [Redacted]
 Estado Solicitud Rechazado
 Tipo material HERA Rango [Redacted]
 Creado por [Redacted] Proceso Crear Material
 Rechazado por [Redacted]

Proveedores Clasificación Pdo.Compras

Nombre: Hitachi Energy (www.hitachienergy.com)
 País / Ciudad: Bogotá, Colombia
 Contacto: Lina María Redondo
 E-mail: lina-maria.l.redondo@hitachienergy.com
 Teléfono: +57 313 7072969
 Dirección: Avenida Cra. 45 No. 108-27 Torre 1, Piso 13
 Centro Empresarial Paralelo 108

FECHA 12 de abril de 2024
 No. OFERTA:OPP-24-7031262 Rev 1

A. D.	Posición	Centro	Texto breve de material	UM base	Grupo art.	Gr compras	Sto
1	CCRQ		POLO PARA INTERRUPTOR EDF SK 1-1 CCRQ	UN	2M_ELTRC	152	

Fig. 31. Creación de material en SAP.

VII. CONCLUSIONES

En un buen mantenimiento donde no se presenten inconvenientes ni retrasos en su programación es importante tomarse el tiempo planificar todas las actividades, revisar las novedades que se presentado en la planta, los elementos faltantes y repuesto que se debe disponer para el mantenimiento.

La vida de las personas es el primer elemento a proteger dentro un mantenimiento, para asegurar la seguridad e integridad de las personas es importante que todo el personal tenga presente las actividades que se están realizando, para esto dentro de ISAGEN se implementa un formato de actividades donde los que asisten al mantenimiento deben llenarlo y tenerlo cerca durante sus actividades.

Una buena programación de un mantenimiento evita el desgaste prematuro o falla de los activos ocasionando perdidas y costos en repuestos, con la periodicidad de los mantenimientos se extiende la vida útil del activo y ahorra dinero a largo plazo.

Dentro del periodo de mis prácticas en ISAGEN siempre existió una constante que fue la adaptabilidad y el trabajo en equipo en los nuevos problemas o retrasos que se pueden encontrar en la ejecución del mantenimiento. Por parte del grupo me enseñaron tomar decisiones con las limitaciones que se presentan y resaltar la importancia de trabajar en conjunto con los distintos grupos que se encuentran en el mantenimiento.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Minas y Energía, *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas*. 2013, p. 211. [En línea]. Disponible en: https://www.minenergia.gov.co/documents/3809/Anexo_General_del_RETIE_vigente_actualizado_a_2015-1.pdf.
- [2] NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance, 2016 edition, Section 11, Annex K, Annex L
- [3] NFPA 70E, Standard for Electrical Safety in the Workplace, 2018 edition, Chapter 1, Sections 110.1, 130.3, 130.7, Chapter 2, Sections 200.1, 200.4, 200.5, 200.6.
- [4] ACOGEN, “Capacidad instalada en Colombia”. [En línea]. Disponible en: <https://acolgen.org.co/>
- [5] Mercado, V., & Peña, J. B. (2016). Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica. *Saber*, 28(1), 99-105.
- [6] ANSI/NETA ATS, *InterNational Electrical Testing Association*. 050 Old Center Ave., Suite 102 Portage, MI 49024: Amer. Nat. Standard, 2009.