

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



**“MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO PARA
GARANTIZAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE MEDIA
TENSIÓN DE LA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA
MINERAL, DEL DISTRITO DE SAN MATEO, 2023”**

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

AUTORES: ANDERSSON JOSUE SANDOVAL GUERRERO
BRAYAN BALBIN REYNOSO
HENRRY PABLO GUARDIA VILCARIMAC

ASESOR: Mg. Ing. JORGE ELIAS MOSCOSO SANCHEZ
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2023

PERÚ

Document Information

Analyzed document	TESIS FINAL - ANDERSSON_HENRY_BRAYAN.docx (D171839190)
Submitted	2023-07-07 03:44:00
Submitted by	
Submitter email	andersson.sg5@gmail.com
Similarity	5%
Analysis address	fiie.investigacion.unac@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional del Callao / TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx Document TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx (D141812142) Submitted by: cristianccoillo96@gmail.com Receiver: fiie.investigacion.unac@analysis.urkund.com	 15
SA	TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN.pdf Document TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN.pdf (D82218761)	 8
SA	40012-Buendía Quiliche, Miguel Angel.pdf Document 40012-Buendía Quiliche, Miguel Angel.pdf (D156088652)	 1

Entire Document

64%

MATCHING BLOCK 1/24

SA

TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx
(D141812142)

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA "MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO PARA GARANTIZAR LA CONFIABILIDAD DEL

SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN DE LA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA MINERAL, DEL DISTRITO DE SAN MATEO, 2023"

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

AUTORES: ANDERSSON JOSUE SANDOVAL GUERRERO BRAYAN BALBIN REYNOSO HENRRY PABLO GUARDIA VILCARIMAC

ASESOR: Mg. Ing. JORGE ELIAS MOSCOSO SANCHEZ

100%

MATCHING BLOCK 2/24

SA

TESIS _CASAVILCA_CCOILLO_INZUA_V1.docx
(D141812142)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Callao, 2023 PERÚ INFORMACIÓN BÁSICA • FACULTAD Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica • UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Unidad de Pregrado

• TÍTULO

"Mantenimiento eléctrico preventivo para garantizar la confiabilidad del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral, del Distrito de San Mateo, 2023"

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

A los 08 días del mes de setiembre del 2023 siendo las 12:00 horas se reunió el Jurado Examinador de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, aprobada mediante Resolución Decanal N°131-2023-DFIEE, conformado por los siguientes docentes ordinarios:

Mg. Ing. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA	Presidente
Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES	Secretario
Mg. Ing. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA	Vocal
Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA	Suplente

Asimismo el miembro Suplente **Mg. Lic. ANTENOR LEVA APAZA**, no asistió; con ello se dio inicio a la exposición de Tesis de los señores Bachilleres **BALBIN REYNOSO, Brayan; GUARDIA VILCARIMAC, Henry Pablo y SANDOVAL GUERRERO, Andersson Josue**; quienes habiendo cumplido con los requisitos para obtener el Título Profesional de Ingeniería Eléctrica tal como lo señalan los Arts. N° 12 al 15 del Reglamento de Grados y Títulos, sustentarán la Tesis Titulada **“MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO PARA GARANTIZAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN DE LA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA MINERAL, DEL DISTRITO DE SAN MATEO, 2023”**, con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, considerando lo establecido en los Art. N° 84 del Reglamento de Grados y Títulos dado por Resolución N° 099-21-CU, en el Sub Capítulo II, corresponde al otorgamiento del Título Profesional con Tesis, efectuadas las deliberaciones pertinentes se acordó:

Dar por APROBADO Calificativo Bueno nota: 14 a los expositores **BALBIN REYNOSO, Brayan; GUARDIA VILCARIMAC, Henry Pablo y SANDOVAL GUERRERO, Andersson Josue**, con lo cual se dio por concluida la sesión, siendo las 13:03 horas del día del mes y año en curso.

Es copia fiel del folio N° 230 del Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – UNAC.


.....
Mg. Ing. CARLOS ALBERTO HUAYLLASCO MONTALVA
PRESIDENTE


.....
Mg. Ing. ERNESTO RAMOS TORRES
SECRETARIO


.....
Mg. Ing. PEDRO ANTONIO SÁNCHEZ HUAPAYA
VOCAL

.....
SUPLENTE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

PRESIDENTE : Mg. Ing. Carlos Alberto Huayllasco Montalva

SECRETARIO : Mg. Ing. Ernesto Ramos Torres

VOCAL : Mg. Ing. Pedro Antonio Sánchez Huapaya

ASESOR : Mg. Ing. Jorge Elías Moscoso Sánchez

DEDICATORIA

A Dios, a nuestros seres queridos, profesores y mentores, dedicamos esta tesis como resultado de nuestro trabajo en equipo, perseverancia y apoyo mutuo.

Este logro es el fruto de nuestra sinergia y agradecemos a todos por su paciencia, comprensión y contribuciones. Con gratitud infinita, esperamos que este sea solo el inicio de una exitosa carrera compartida.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron a la realización de esta tesis.

A nuestros profesores, familias y amigos, les estamos eternamente agradecidos por su orientación y apoyo incondicional.

Sin ustedes, este logro no habría sido posible. Este éxito es en agradecimiento a todos aquellos que dejaron huellas en nuestro camino. ¡Gracias de corazón!

ÍNDICE

ÍNDICE DE GRÁFICOS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Descripción de la realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos	13
1.4. Justificación	13
1.5. Delimitantes de la investigación.....	14
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes	16
2.1.1. Antecedentes internacionales	16
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Mantenimiento eléctrico preventivo	22
2.2.2. Confiabilidad del sistema eléctrico	26
2.3. Marco conceptual.....	30
2.4. Definición de términos básicos	32
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	34
3.1. Hipótesis	34
3.1.1. Operacionalización de variable	35
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	36
4.1. Diseño metodológico.....	36
4.2. Método de investigación	36
4.3. Población y muestra.....	36
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	37
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	37
4.6. Análisis y procesamiento de datos.....	37
4.7. Aspectos éticos en investigación	38

V. RESULTADOS.....	40
5.1. Información general	40
5.2. Desarrollo de las actividades	40
5.3. Realización de pruebas.....	42
5.3.1. Pruebas de disparo de los relés de protección.....	42
5.3.2. Prueba de relación de transformación de los transformadores de distribución.....	45
5.3.3. Prueba de resistencia de aislamiento.....	47
5.3.4. Resistencia de puesta a tierra	49
5.4. Resumen de resultados de las pruebas.....	50
5.4.1. Subestación N°1	50
5.4.2. Subestación N°2.....	52
5.4.3. Subestación N°3.....	54
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	61
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	63
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	65
VII. CONCLUSIONES.....	67
VIII. RECOMENDACIONES	68
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS	72
ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	73
ANEXO N.º 02: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 1..	74
ANEXO N.º 03: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 2..	77
ANEXO N.º 04: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 3..	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Planta embotelladora - Distrito San Mateo.....	12
Figura 2. Funcionamiento del Relé de protección de sobrecorriente	42
Figura 3. Conexionado para las pruebas en el Relé	44
Figura 4. Normativa IEC 60076-1 para las pruebas de transformadores	46
Figura 5. Cables del DTR.....	46
Figura 6. Ejemplo de conexionado para la prueba.....	47
Figura 7. Conexionado para la medición de aislamiento.....	48
Figura 8. Método de medida de resistencia de puesta a tierra	50
Figura 9. Configuración final relé celda de llegada función 50/51- p1	55
Figura 10. Configuración final relé celda de llegada función 50/51- p2.....	56
Figura 11. Funciones activadas en relé de protección de la celda de llegada .	56
Figura 12. Configuración final relé celda de salida función 50/51- p1	57
Figura 13. Configuración final relé celda de salida función 50/51- p2	57
Figura 14. Funciones activadas en relé de protección de la celda de salida ...	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	35
Tabla 2. Zonas donde se realizaron los trabajos.....	40
Tabla 3. Constante de acuerdo al tipo de curva.....	44
Tabla 4. Mínima resistencia de aislamiento para instalaciones.....	48
Tabla 5. Medida de resistencia en el transformador de transformador de 800 kVA- Sub 1.....	51
Tabla 6. Medida de la relación de transformación del transformador de 800 kVA – Sub 1.....	51
Tabla 7. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión del transformador de 800 kVA – Sub 1	51
Tabla 8. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión del transformador de 800 kVA – Sub 1	52
Tabla 9. Medida de resistencia de aislamiento en el transformador de 800 kVA - Sub 2.....	53
Tabla 10. Medida de la relación de transformador elevador del transformador de 125 kVA – Sub 2	53
Tabla 11. Medida de la relación de transformación en el transformador de 125 kVA – Sub 2	53
Tabla 12. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión del transformador de 800 kVA– Sub 2	53
Tabla 13. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión del transformador de 800 kVA – Sub 2.....	54
Tabla 14. Medida de relación de transformación del transformador de 800 kVA – Sub 2.....	54
Tabla 15. Medida de resistencia de aislamiento en el transformador de 2500 kVA – Sub 3.....	58
Tabla 16. Medida de la relación de transformación del transformador de 2500 kVA – Sub 3	59
Tabla 17. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión en transformador de 2500 kVA – Sub 3	59

Tabla 18. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión en transformador de 2500 kVA – Sub 3	59
Tabla 19. Resultados de las pruebas de disparo – Celda de llegada – Sub 3 .	59
Tabla 20. Medida de la resistencia de contactos – Interruptor celda de llegada – Sub 3.....	60
Tabla 21. Medida de la resistencia de aislamiento – Interruptor celda de llegada – Sub 3.....	60
Tabla 22. Resultados de la prueba de disparo –celda de salida – Sub 3.....	60
Tabla 23. Medida de la resistencia de contactos – Interruptor celda de salida – Sub 3.....	60
Tabla 24. Medida de la resistencia de aislamiento – Interruptor celda de salida – Sub 3.....	61

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

RCS: Repuestos Centrados en Confiabilidad

RCM: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

SPCC: Southern Peru Copper Corporation

FMEA: Análisis Modal de Fallos y Efectos

FMECA: Análisis de Modos de Fallos, Efectos y su Criticidad

PMO: Project/Program/Portfolio Management Office (manejar la cartera, los programas y los proyectos)

CA: Corriente alterna

CC: Corriente continua

W.h: Watts por hora

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio de reparación

SAIDI: Tiempo de duración de una interrupción

SAIFI: Frecuencia con la que se da una interrupción

CNE: Código Nacional de Electricidad

RESUMEN

Objetivo: Determinar de qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Metodología: Se llevó a cabo una investigación aplicada y tecnológica utilizando un diseño experimental y un enfoque cuantitativo. El enfoque de la investigación se centró en el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral, que constituyó la población de estudio.

Resultados: Los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de aislamiento del transformador resultaron satisfactorios, ver anexos. Para llevar a cabo dicha prueba se cortocircuitó las bobinas primarias y secundarias, luego se inyectó tensión continua de 5 kV y 1 kV. Respecto al transformador este se encuentra operando bajo el diagrama de conexión Dy5 a una tensión de 10000 volt en el lado de media tensión correspondiente al TAP N°3, los valores obtenidos durante las pruebas de medición de la relación de transformación son correctos teniendo en cuenta el porcentaje de error de 0,5%, este dato lo tomamos de la norma internacional IEC 60076-1. El transformador seco elevador de 125 kVA cuenta con un relé de temperatura el cual no está mostrando los valores de temperatura de cada fase del transformador. La prueba de Resistencia de devanados los valores obtenidos son satisfactorios de acuerdo a la norma IEEE C57.152 (2013). La cual indica que la comparación entre las lecturas de las fases no debe ser mayor al 5%. La prueba de relación de transformación ayuda a identificar problemas tales como espiras abiertas, espiras cortocircuitadas, conexiones incorrectas, problemas internos del núcleo magnético o del cambiador de tomas, etc. La polaridad de los bobinados del transformador de acuerdo a los resultados obtenidos también son los correctos.

Conclusiones: El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Palabras clave: mantenimiento, confiabilidad, preventivo.

ABSTRACT

Objective: To determine how preventive electrical maintenance guarantees the reliability of the operation of the medium voltage system of the mineral water bottling plant of the San Mateo district-2023.

Methodology: An applied and technological research was carried out using an experimental design and a quantitative approach. The focus of the research was on the medium voltage system of the mineral water bottling plant, which constituted the study population.

Results: The results obtained in the transformer insulation resistance test were satisfactory, see annexes. To carry out this test, the primary and secondary coils were short-circuited, then a direct voltage of 5 kV and 1 kV was injected. Regarding the transformer, it is operating under the Dy5 connection diagram at a voltage of 10000 volts on the medium voltage side corresponding to TAP N°3, the values obtained during the transformation ratio measurement tests are correct taking into account the error percentage of 0,5%, this data was taken from the international standard IEC 60076-1. The 125 kVA dry step-up transformer has a temperature relay which is not showing the temperature values of each phase of the transformer. The winding resistance test values obtained are satisfactory according to IEEE C57.152 (2013). Which indicates that the comparison between phase readings should not be greater than 5%. The transformer ratio test helps to identify problems such as open windings, shorted windings, incorrect connections, internal problems of the magnetic core or tap changer, etc. The polarity of the transformer windings according to the results obtained are also correct.

Conclusions: Preventive electrical maintenance guarantees the reliability of operation of the medium voltage system of the mineral water bottling plant in the district of San Mateo-2023.

Key words: maintenance, reliability, preventive.

INTRODUCCIÓN

La confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico de una planta embotelladora son aspectos fundamentales para asegurar un funcionamiento continuo y productivo. En este contexto, el mantenimiento eléctrico preventivo desempeña un papel crucial al evitar fallos y averías graves en el sistema de media tensión, contribuyendo así a minimizar las pérdidas económicas y asegurar un óptimo rendimiento operativo.

El presente estudio se centra en la implementación de un plan de mantenimiento eléctrico preventivo en la planta embotelladora de agua mineral, con el objetivo de garantizar la confiabilidad del sistema de media tensión. El mantenimiento preventivo se enfoca en la detección temprana de posibles fallas y en la realización de acciones correctivas antes de que se conviertan en problemas significativos.

El estudio aborda diversas dimensiones relacionadas con el mantenimiento eléctrico preventivo, tales como la planificación escalonada y sectorizada de las actividades de mantenimiento, la utilización de técnicas y herramientas especializadas, la definición de protocolos y procedimientos específicos, y la gestión eficiente de los recursos disponibles.

A través de una metodología rigurosa, se busca investigar los efectos y beneficios del mantenimiento eléctrico preventivo en la planta embotelladora, tanto en términos de confiabilidad del sistema como de optimización de recursos y reducción de costos operativos. Asimismo, se considerarán aspectos éticos y se establecerán recomendaciones para su implementación adecuada y sostenible en el contexto específico de la planta embotelladora de agua mineral.

El resultado de esta investigación contribuirá al conocimiento y la comprensión de la importancia del mantenimiento eléctrico preventivo en el sector industrial, específicamente en el ámbito de las plantas embotelladoras de agua mineral. Además, se espera que los hallazgos y recomendaciones obtenidos sean de

utilidad para otras organizaciones que busquen mejorar la confiabilidad y eficiencia de sus sistemas eléctricos de media tensión a través de la implementación de estrategias preventivas.

Se planteó como objetivo determinar de qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel global, el mantenimiento eléctrico preventivo representa una necesidad crítica para las plantas industriales, ya que cualquier fallo en los equipos eléctricos puede ocasionar daños en otros componentes, generando pérdidas económicas considerables. Además, el mantenimiento preventivo ofrece la oportunidad de prolongar la vida útil de los equipos eléctricos. Entre 2010 y 2022, se llevaron a cabo talleres en varias partes de Europa, dirigidos por expertos, con el propósito de resaltar la importancia del mantenimiento seguro y preventivo, enfatizando sus implicaciones tanto para la economía de las organizaciones como para la salud de los trabajadores.

En el pasado, en Perú, se solía considerar el reemplazo completo de maquinaria para asegurar la confiabilidad del sistema eléctrico. Otra solución comúnmente adoptada era mantener un diseño y construcción robustos, capaces de resistir demandas incluso por encima de lo establecido. Sin embargo, en la actualidad, lo más común es solicitar un mantenimiento posterior a la falla de una maquinaria, con el objetivo de restaurar su operatividad y garantizar su capacidad productiva. A este tipo de mantenimiento se le conoce como correctivo. Asimismo, se ha avanzado hacia el mantenimiento preventivo, el cual se realiza de manera periódica para prevenir fallos. A través de este enfoque, se pueden evitar problemas o fallos más graves que podrían surgir con el tiempo y que incluso podrían dejar inoperativa a la maquinaria.

En la planta embotelladora de agua mineral, ubicada en el distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí, en el departamento de Lima, Perú, se lleva a cabo un mantenimiento preventivo anual siguiendo un conjunto de pautas establecidas. Este mantenimiento implica una limpieza integral de los activos eléctricos de las subestaciones y salas eléctricas, una inspección visual de las instalaciones eléctricas, pruebas eléctricas en transformadores, sistemas de puesta a tierra, interruptores y relés de protección. Además, se realiza la limpieza y mantenimiento de las puestas a tierra. Finalmente, se realiza un diagnóstico de

los resultados obtenidos en las pruebas, y se brindan conclusiones y recomendaciones para mantener la confiabilidad del sistema eléctrico.



Figura 1. Planta embotelladora - Distrito San Mateo

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?

Problemas específicos

¿De qué manera la limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?

¿De qué manera las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?

¿De qué manera la limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar de qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Objetivos específicos

Determinar de qué manera la limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Determinar de qué manera las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Determinar de qué manera la limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

1.4. Justificación

Justificación teórica

Se justifica teóricamente debido a su impacto en la confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. A través de la implementación de acciones de mantenimiento periódicas y planificadas, se busca prevenir fallos y averías en los equipos eléctricos, evitando así interrupciones en la producción, pérdidas económicas y posibles daños a la maquinaria. Además, el mantenimiento preventivo contribuye a alargar la vida útil de los activos eléctricos, optimizando su rendimiento y minimizando los costos asociados a reparaciones o reemplazos. Esta estrategia se respalda en la literatura especializada, que destaca los beneficios de adoptar enfoques preventivos para el mantenimiento eléctrico en plantas industriales, promoviendo la confiabilidad operativa y el cumplimiento de los estándares de calidad.

Justificación practica

La justificación práctica del mantenimiento eléctrico preventivo en el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral radica en los beneficios tangibles que brinda a la operatividad y rentabilidad de la planta. Al realizar inspecciones periódicas, limpieza y pruebas eléctricas, se pueden detectar y solucionar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallos graves. Esto reduce los tiempos de inactividad, evita interrupciones en la producción y minimiza las pérdidas económicas asociadas. Asimismo, al mantener los equipos eléctricos en óptimas condiciones, se garantiza un rendimiento eficiente, se prolonga su vida útil y se evitan gastos innecesarios en reparaciones o reemplazos. En resumen, el mantenimiento eléctrico preventivo se justifica prácticamente al asegurar la confiabilidad del sistema de media tensión, la continuidad operativa y el impacto positivo en los resultados económicos de la planta embotelladora de agua mineral.

1.5. Delimitantes de la investigación

Delimitante teórica

La delimitante teórica de este estudio se centra específicamente en el mantenimiento eléctrico preventivo del sistema de media tensión en la planta embotelladora de agua mineral. Se enfoca en las acciones y estrategias de mantenimiento que se implementan para prevenir fallos y averías en los equipos eléctricos, con el objetivo de garantizar la confiabilidad del sistema y minimizar las pérdidas económicas. El alcance se limita al ámbito eléctrico y no abarca otros aspectos relacionados con la planta embotelladora o el mantenimiento de otros sistemas.

Delimitante temporal

La delimitante temporal de esta investigación se sitúa en un periodo de 6 meses, teniendo su finalización en el mes de junio. Durante ese lapso, se llevó a cabo el estudio del mantenimiento eléctrico preventivo en el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral, con el objetivo de garantizar la confiabilidad del sistema. Los resultados y conclusiones obtenidos corresponden

a ese periodo de investigación, proporcionando información relevante sobre las acciones de mantenimiento implementadas y sus efectos en la confiabilidad del sistema eléctrico.

Delimitante espacial

La delimitante espacial de esta investigación se enfocó en la refinería de Cajamarquilla, ubicada en el distrito de Lurigancho/Chosica en Lima, Perú. Durante el desarrollo de la investigación, se analizó y evaluó el mantenimiento eléctrico preventivo en el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral de dicha refinería. Los resultados y conclusiones obtenidos se aplican específicamente a este contexto geográfico, brindando información relevante sobre las estrategias de mantenimiento implementadas y su impacto en la confiabilidad del sistema eléctrico de la planta embotelladora en esa ubicación específica.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación realizada por Díaz (2020), la cual titula “Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica de la central hidroeléctrica Alazán, basado en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad” y planteó como objetivo aplicar la metodología de mantenimiento RCM; además, se pretende mejorar la gestión de repuestos de equipos críticos con la aplicación de la metodología de Repuestos Centrados en Confiabilidad RCS. La metodología de estudio se enfoca en el levantamiento de información en sitio, historiales de operación y mantenimiento de los años 2016 al 2019, y parámetros técnicos de los equipos instalados. El presente trabajo parte de la recopilación de los datos disponibles y la tabulación de los registros operativos y de mantenimiento de los años 2016, 2017, 2018 y 2019. Los resultados del análisis de Criticidad revelan que hay 7 sistemas eléctricos clasificados como "CRÍTICOS", a los cuales se les aplicó la metodología RCM. Por otro lado, los sistemas clasificados como "IMPORTANTE" y "NORMAL" se someterán a técnicas de mantenimiento tradicionales. Las hojas de información y decisiones generadas a través del enfoque RCM reflejan un análisis de las capacidades del sistema en las condiciones operativas de la central eléctrica Alazan, lo que permite identificar el tipo e impacto de las fallas y definir las tareas de mantenimiento correspondientes. La implementación de RCM en los sistemas eléctricos críticos sienta las bases para aplicar una gestión centrada en repuestos (RCS) y determinar la lista óptima de repuestos que aseguren la confiabilidad de cada sistema crítico. En conclusión, la matriz de criticidad estableció de manera sistemática y efectiva la jerarquía de los sistemas eléctricos críticos conectados a la línea de producción de la central hidroeléctrica Alazan. Este trabajo se ajusta completamente a la realidad de la planta, considerando el historial de fallas de los últimos años, donde los equipos clasificados como críticos tuvieron un mayor impacto en la disponibilidad de la planta.

En la investigación realizada por Ramos (2019) la cual titula “Mantenimiento preventivo y correctivo de los esquemas de control y fuerza del sistema eléctrico de potencia del ingenio PUJILTIC” y planteó como objetivo tener mejor funcionamiento de los sistemas de control y sistemas eléctricos de potencia, realizando los mantenimientos adecuados en el tiempo establecido en el programa. El tipo de investigación fue descriptivo y analítico. Los resultados revelaron que el aislamiento externo que conecta las puntas de alimentación al motor mostraba desgaste, daños y algo de acumulación de suciedad. Por lo tanto, se realizó el reemplazo del aislamiento. Además, se determinó que para reemplazar los rodamientos era necesario desmontar el motor desde la base. Se procedió a realizar una prueba manual para verificar si los rodamientos estaban dañados. En caso de que estuvieran en buen estado, se llevaron a cabo tareas de limpieza y lubricación. En caso contrario, se reemplazaron los rodamientos dañados. En conclusión, se estableció que los sistemas de mantenimiento preventivo son aplicables a cualquier organización y surgen para prevenir fallos que podrían generar costos adicionales debido a paradas de máquinas, retrasos en la entrega y daños graves en los componentes. El mantenimiento adecuado de equipos, infraestructuras, herramientas y maquinaria representa una inversión que beneficia tanto al empresario a largo plazo como a la mejora de la producción.

En la investigación realizada por Vélez (2022) la cual titula “Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato” y planteó como objetivo implementar un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato planta de Bello. La metodología fue que aplica y con un diseño experimental. Los resultados indicaron que uno de los principales problemas que afecta el indicador de mantenimiento es la programación de las intervenciones basada en fechas exactas, sin considerar la disponibilidad de mano de obra y tiempo para llevar a cabo los mantenimientos. Esto genera problemas en los salones de producción, ya que no pueden entregar las máquinas para el mantenimiento, falta de personal técnico disponible para

realizar las intervenciones preventivas y falta de piezas de repuesto necesarias. Estos inconvenientes retrasan las intervenciones y aumentan los costos de mantenimiento, reduciendo la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas y aumentando la necesidad de intervenciones correctivas. Como conclusión, se determinó que un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de las máquinas tiene un impacto positivo en Fabricato. Este enfoque está alineado con las estrategias de mejora continua de la organización, reduce los costos de mantenimiento y garantiza la disponibilidad de máquinas para un procesamiento de materias primas de calidad.

En la investigación realizada por Masabanda (2023) la cual titula “Diseño de un plan de mantenimiento programado para equipos primarios de las subestaciones eléctricas pertenecientes a la Concesión de EMELNORTE S.A.” y planteó como objetivo diseñar un plan de mantenimiento programado para los equipos primarios de las subestaciones pertenecientes al área de concesión de EMELNORTE S.A., que ayude a controlar su correcta operación, mediante la planificación de sus diferentes tipos de mantenimientos. El tipo de investigación fue descriptivo y no experimental. Los resultados revelaron que se llevó a cabo una investigación sobre las subestaciones eléctricas, identificando los equipos primarios, sus tipos, clasificaciones y usos. Se realizó un relevamiento de los equipos primarios en el área de concesión de la "Empresa Eléctrica Regional Norte S.A., EMELNORTE S.A.", lo que permitió recopilar información ordenada en una base de datos. Esto facilitó el diseño de un plan de mantenimiento que brinda apoyo técnico adicional a los responsables de la Jefatura de Subestaciones, agilizando las acciones preventivas mediante la programación de actividades de control rutinarias para asegurar el correcto funcionamiento de estos dispositivos de potencia. Como conclusión, se determinó que el plan de mantenimiento es eficiente al enfocarse en la ruta crítica.

En la investigación realizada por Heredia (2022) la cual titula “Implementación de un plan de mantenimiento de equipos y maquinaria para la empresa Adroses” y planteó como objetivo gestión de recursos para la preservación de equipos y maquinaria, Ambiente laboral seguro, Administración. La metodología de la investigación fue un diagnóstico inicial, identificación de procesos, determinación

de procesos críticos y establecer indicadores iniciales de mantenimiento. Los resultados indicaron que los avances en la gestión del mantenimiento basada en indicadores tienen un impacto positivo en la confiabilidad de los equipos y máquinas, mejorando su rendimiento de un 74% a un 99,39%, lo cual se traduce en una mejora de la productividad y la seguridad operativa. Se determinó que los fallos no planificados en la cámara de refrigeración generan pérdidas anuales de \$11 786,00, mientras que con una planificación adecuada del mantenimiento preventivo se logra un ahorro de capital de \$6 768,00 al año. Se establecieron indicadores de mantenimiento, como el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad, y los cálculos correspondientes permiten orientar las actividades de mantenimiento de la empresa, centralizando la información para evitar futuros fallos en los equipos y máquinas, pérdidas de producción y capital. Como conclusión, se implementó con éxito un plan de mantenimiento preventivo en los equipos y maquinaria utilizados en la postcosecha de la empresa "ADROSES", con el objetivo de prolongar su vida útil y mantenerlos disponibles para la ejecución de subprocesos de producción por parte de los operarios.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación realizada por Santana (2022) la cual titula "Plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión, caso: Southern Peru Copper Corporation-SPCC" y planteó como objetivo proponer un plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión para la empresa SPCC. El tipo de investigación es descriptiva, exploratorio y un diseño no experimental. Después de analizar el costo anual de mantenimiento de las líneas de transmisión en SPCC, se confirmó que el mayor gasto se debe a la limpieza a alta temperatura utilizando vehículos de limpieza, con un costo de alquiler por hora de aproximadamente \$120. El lavado en caliente representa el 36% del costo total de mantenimiento de las líneas de transmisión en SPCC. Basado en la alta confiabilidad de las líneas de transmisión, se realizaron análisis de criticidad, FMEA, FMECA, análisis de costo-riesgo-beneficio y RCM. Se sugirió reducir a la mitad la frecuencia de

lavado en caliente, lo que ahorraría \$69 550 anualmente y un 20,8% en los costos de mantenimiento de las líneas de transmisión, optimizando así el programa de mantenimiento actual de SPCC. En conclusión, se determinó que la metodología RCM es una herramienta efectiva para resolver diversos problemas en plantas industriales, habiendo tenido éxito en varios campos industriales.

En la investigación realizada por Rojas (2020) la cual titula “Optimización de mantenimiento preventivo en equipos eléctricos de planta concentradora de minerales número 2 de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.” la cual planteó como objetivo asegurar que los equipos y máquinas eléctricas asignados de la planta C2 tengan planes de mantenimiento preventivo optimizado aplicando la táctica PMO. El tipo de investigación fue descriptiva y analítica. Los resultados mostraron que se aplicaron tácticas de optimización del mantenimiento preventivo para garantizar programas de mantenimiento óptimos en los equipos eléctricos asignados a la planta C2. Se pudo identificar maquinaria y equipos eléctricos instalados en áreas húmedas de la planta C2 con la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo optimizado. Durante esta etapa, se detectaron equipos eléctricos sin códigos de dispositivo y otros con códigos similares. Se verificó la ejecución de los planes de mantenimiento optimizados al recopilar información de las órdenes de mantenimiento realizadas por el personal técnico. Como conclusión, se logró implementar con éxito tácticas de optimización del mantenimiento preventivo para gestionar el mantenimiento eléctrico de máquinas y equipos en la Planta Concentradora de SMCV.

En la investigación realizada por Santos (2023) la cual titula “Propuesta de gestión del mantenimiento preventivo para garantizar la confiabilidad operativa de la pequeña central hidroeléctrica de HERCCA” la cual planteó como objetivo diseñar una propuesta de gestión de mantenimiento preventivo para garantizar la confiabilidad operativa de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca. El tipo de investigación es tecnológica con un enfoque mixto y un nivel de investigación descriptivo y propositiva. En los resultados obtenidos, se encontró que la evaluación actual de la PCH de Hercca se centra principalmente en el recurso hídrico y en los diversos componentes del sistema, como las obras de toma, el

canal, el desarenador, la cámara de carga, la tubería de presión, la turbina, el generador, el sistema de control y regulación, y los equipos auxiliares. Además, se identificó que los procesos de mantenimiento, principalmente realizados por la empresa INMEL, incluyen tanto mantenimiento correctivo como en algunos casos mantenimiento preventivo. La empresa INMEL también es responsable de la operación de la PCH de Hercca y presenta informes mensuales sobre variables como potencia generada, demanda máxima, energía generada y horas de trabajo de los grupos de generación I, II y III. En conclusión, se determinó que la evaluación actual de la PCH de Hercca se enfoca principalmente en aspectos relacionados con el recurso hídrico y los componentes del sistema, y se detallan los procesos de mantenimiento realizados por INMEL.

En la investigación realizada por Orozco (2019) la cual titula “Aplicación de la metodología del mantenimiento autónomo para mejorar el plan de mantenimiento correctivo y preventivo de los sistemas eléctricos de distribución de la unidad de negocios bellavista – Electro Oriente S.A. – San Martin” y planteó como objetivo introducir mejoras al plan de mantenimiento correctivo y preventivo de los sistemas eléctricos de distribución de la Unidad de Negocios Bellavista (UNB) Electro Oriente S.A, aplicando la metodología del mantenimiento autónomo. El tipo de investigación fue descriptivo y con un diseño pre experimental. Según los resultados de la investigación, se observó que, en el mejor escenario, la implementación del mantenimiento autónomo podría reducir los indicadores SAIFI y SAIDI en un 37,9748% y un 12,3293% respectivamente, en comparación con los valores actuales. Además, al aplicar el mantenimiento autónomo, se podría disminuir la tolerancia acumulada del indicador SAIFI de distribución de 3,81 fallas/usuario-año a 2,5 fallas/usuario-año, así como el indicador SAIDI de distribución de 8,30 horas/usuario-año a 6,96 horas/usuario-año hasta el mes de agosto. En conclusión, se determinó que al utilizar los principios de inspección, ajuste y limpieza en la implementación del mantenimiento autónomo, se logra mejorar tanto los mantenimientos correctivos como los preventivos en la Unidad de Negocios Bellavista (UNB).

En la investigación realizada por Cerna y Jara (2022) la cual titula “Plan de Mantenimiento Preventivo RCM en la Red de Media Tensión 22,9 kV en la

Provincia de Cajabamba para la Mejora de la Confiabilidad en el Consorcio SESGA-REYSER S.R.L” y planteó como objetivo diseñar el plan de mantenimiento preventivo basado en (RCM) en la red de 22,9 kV de la provincia de Cajabamba correspondiente al alimentador CJB005, desde el recloser I371709 hasta el seccionador I371679. El tipo de investigación fue aplicada con un diseño pre experimental, la población del presente trabajo de investigación es la red de distribución correspondiente al alimentador CJB005 de la provincia de Cajabamba. Los resultados mostraron que se llevó a cabo la evaluación de los indicadores de mantenimiento RCM, donde se analizó el tiempo de estudio de cada subestación. La CB 5150 presentó el mayor tiempo de estudio proporcional y el mayor número de fallas, lo que resultó en una menor confiabilidad (84% en 2020). Por otro lado, la CB 5216 mostró la menor disponibilidad con un valor del 66.16%. Además, se evaluaron los indicadores de mantenimiento utilizando el enfoque RCM, encontrando que la CB 5214 tuvo el mayor MTBF (tiempo promedio entre fallas) y una tasa de fallas (λ) de 0,0003852 durante 2020. Por otro lado, la CB 5216 tuvo el mayor MTTR (tiempo promedio de reparación) y una tasa de fallas (μ) de 0,0048819 durante 2020. En conclusión, se elaboró un plan de mantenimiento RCM para las subestaciones de distribución, con una inversión anual de s/ 16 900,00 para la planificación e implementación, que se espera recuperar en 2,5 años. Esto permitió reducir las interrupciones del servicio en la red del CJB 005, enfocándose principalmente en los conductores y transformadores.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mantenimiento eléctrico preventivo

Como menciona Ingaroca (2019), el mantenimiento preventivo se basa en la idea de establecer una serie de puntos de control que se revisan periódicamente para reducir la probabilidad de fallas en los equipos eléctricos. Esto no elimina por completo la posibilidad de falla, pero reduce en gran medida la ocurrencia de fallas, teniendo en cuenta que estas precauciones ayudan a prolongar la vida útil de los equipos eléctricos. Las pruebas que consisten en verificar los relés o los

interruptores automáticos, cargar las baterías o verificar CA o CC son algunas de las tareas típicas de mantenimiento preventivo. (p. 8)

Según Rosenthal (2020), el mantenimiento eléctrico permite detectar averías que ya son inminentes y que pueden provocar paradas de planta o accidentes que afecten a personas e instalaciones a corto o medio plazo. De esta manera, contribuir a la planificación de la reparación y el mantenimiento puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad al minimizar la posibilidad de interrupciones del servicio planificadas y no planificadas. Los beneficios de ahorro de costos incluyen ahorro de energía, protección de equipos, velocidad de inspección y diagnóstico, y verificación rápida y fácil de reparaciones. (p. 11)

El mantenimiento eléctrico preventivo es un enfoque sistemático que se utiliza para evitar o minimizar los fallos y problemas en los sistemas eléctricos antes de que ocurran. Consiste en llevar a cabo una serie de actividades planificadas y periódicas, tales como inspecciones, pruebas, limpieza y ajustes, con el objetivo de mantener los equipos y sistemas eléctricos en óptimas condiciones de funcionamiento.

El principal propósito del mantenimiento eléctrico preventivo es prevenir las interrupciones no planificadas, los tiempos de inactividad y los costos asociados con las reparaciones de emergencia. Al mantener los componentes eléctricos y los sistemas en buen estado, se reduce la probabilidad de fallos inesperados y se maximiza la disponibilidad y confiabilidad del sistema.

El mantenimiento eléctrico preventivo se basa en el concepto de que la mayoría de las fallas en los sistemas eléctricos no ocurren de manera repentina, sino que son resultado de un deterioro gradual. Mediante la realización de inspecciones regulares, se pueden identificar signos tempranos de desgaste, deterioro, sobrecargas o condiciones anormales, permitiendo tomar medidas preventivas para corregir los problemas antes de que se conviertan en fallas mayores.

Existen diferentes actividades que se llevan a cabo dentro del mantenimiento eléctrico preventivo, como la limpieza y lubricación de componentes, la

verificación de conexiones eléctricas, la calibración de instrumentos, el reemplazo de componentes desgastados y la realización de pruebas eléctricas para evaluar el estado de los equipos.

Los beneficios del mantenimiento eléctrico preventivo son numerosos. Además de evitar las interrupciones no planificadas y reducir los tiempos de inactividad, también contribuye a prolongar la vida útil de los equipos, mejorar la seguridad en el lugar de trabajo, aumentar la eficiencia energética, reducir los costos de reparación y optimizar el rendimiento general de los sistemas eléctricos.

El mantenimiento eléctrico preventivo ofrece una serie de beneficios significativos para los sistemas eléctricos y las organizaciones que los implementan. Estos beneficios se derivan de la capacidad de detectar y abordar problemas antes de que se conviertan en fallas mayores. A continuación, se exponen algunos de los principales beneficios del mantenimiento eléctrico preventivo:

- Reducción de tiempos de inactividad: Al realizar inspecciones y mantenimiento periódico, se pueden identificar y corregir problemas potenciales antes de que causen interrupciones no planificadas. Esto ayuda a minimizar los tiempos de inactividad de los sistemas eléctricos, lo que a su vez mejora la productividad y evita pérdidas económicas.
- Prolongación de la vida útil de los equipos: Al mantener los componentes y sistemas eléctricos en condiciones óptimas, se evita un desgaste excesivo y se prolonga la vida útil de los equipos. Esto permite a las organizaciones maximizar su inversión en activos eléctricos y reducir los costos asociados con su reemplazo prematuro.
- Mejora de la seguridad: El mantenimiento eléctrico preventivo contribuye a mejorar la seguridad en el lugar de trabajo al identificar y corregir condiciones peligrosas o situaciones de riesgo. La inspección regular de conexiones eléctricas, sistemas de puesta a tierra y dispositivos de protección ayuda a prevenir accidentes eléctricos y garantiza un entorno de trabajo más seguro para los empleados.

- Optimización del rendimiento: El mantenimiento preventivo permite mantener los sistemas eléctricos en condiciones óptimas de funcionamiento. Al realizar ajustes, limpieza y lubricación de componentes, se asegura un rendimiento eficiente y confiable de los equipos. Esto se traduce en una mejora en la eficiencia energética, lo que puede resultar en ahorros significativos en los costos de energía.
- Reducción de costos de reparación: Al abordar los problemas en etapas tempranas, antes de que se conviertan en fallas mayores, se evitan costos elevados de reparación y reemplazo. El mantenimiento eléctrico preventivo permite realizar reparaciones y reemplazos programados, lo que generalmente resulta en costos más bajos y menos impacto en la producción.
- Cumplimiento normativo: Muchas industrias y sectores están sujetos a regulaciones y normativas específicas en cuanto al mantenimiento y seguridad de los sistemas eléctricos. El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza el cumplimiento de estas normativas y ayuda a evitar posibles sanciones legales o daños a la reputación de la organización.

La falta de un mantenimiento eléctrico preventivo adecuado puede dar lugar a diversos tipos de fallas en los sistemas eléctricos. Estas fallas pueden tener consecuencias significativas en términos de tiempos de inactividad, pérdida de productividad, costos de reparación y, en algunos casos, incluso representar riesgos para la seguridad de las personas. A continuación, se exponen algunos de los tipos de fallas más comunes que pueden ocurrir debido a la falta de mantenimiento eléctrico preventivo:

- Fallas en componentes eléctricos: Los componentes eléctricos, como interruptores, fusibles, contactores y relés, están expuestos a desgaste y envejecimiento con el tiempo. La falta de mantenimiento preventivo puede resultar en la pérdida de su funcionalidad o en un mal funcionamiento, lo que puede llevar a cortocircuitos, sobrecargas o interrupciones en el suministro eléctrico.

- Fallas en conexiones eléctricas: Las conexiones eléctricas suelen ser puntos críticos en los sistemas eléctricos. Si no se mantienen adecuadamente, pueden aflojarse, corroerse o deteriorarse, lo que aumenta la resistencia eléctrica y genera calentamiento. Esto puede provocar un mal contacto, arcos eléctricos, sobrecalentamiento e incluso incendios eléctricos.
- Fallas en sistemas de puesta a tierra: Los sistemas de puesta a tierra son fundamentales para garantizar la seguridad y protección contra descargas eléctricas. Si no se mantienen correctamente, pueden presentar resistencias altas, lo que dificulta la disipación de corrientes de falla y aumenta el riesgo de electrocución o daño a equipos sensibles.
- Fallas en aislamientos: Los aislamientos eléctricos, como cables, conductores y envolturas, pueden deteriorarse con el tiempo debido a factores como la humedad, la temperatura, la vibración o la contaminación. La falta de mantenimiento preventivo puede dar lugar a fallas en el aislamiento, como cortocircuitos, fugas de corriente o arcos eléctricos, lo que compromete la integridad y seguridad del sistema.
- Sobrecargas y desequilibrios de carga: Si no se realiza un mantenimiento adecuado, los sistemas eléctricos pueden verse sometidos a sobrecargas y desequilibrios de carga. Esto puede llevar a una distribución desigual de la corriente eléctrica, lo que causa un estrés excesivo en algunos componentes y genera un mayor riesgo de fallas y averías.
- Degradación de equipos: La falta de mantenimiento preventivo puede acelerar el proceso de degradación de los equipos eléctricos. Los componentes expuestos a condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas, humedad o polvo, pueden deteriorarse más rápidamente, lo que reduce su vida útil y aumenta la probabilidad de fallas prematuras.

2.2.2. Confiabilidad del sistema eléctrico

Como menciona Contreras (2021), el concepto de "confiabilidad" en el sector eléctrico ha sido asociado casi exclusivamente por el público en general con la capacidad de generar suficiente energía para satisfacer la demanda de electricidad de los consumidores. Recuerde que los sistemas de producción, y

los sistemas en general, se quiebran o fallan en su elemento más débil. Y esta debilidad puede expresarse por la falta de un elemento o servicio, o la dificultad para evolucionar elementos necesarios para el crecimiento del sistema. (p. 15)

Según Voglio (2022), las redes de distribución eléctrica se preocupan por la confiabilidad operativa para mejorar el servicio al cliente y evitar multas, y planificar la seguridad para diseñar redes eléctricas con baja probabilidad de falla. La confiabilidad de la distribución de energía es definida por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) como la capacidad de un sistema para realizar su función durante un período de tiempo específico sin fallar. (p.10)

La confiabilidad del sistema eléctrico se refiere a la capacidad y garantía de que dicho sistema funcionará de manera continua y confiable, cumpliendo con los requisitos y expectativas establecidos. Se trata de la capacidad del sistema para operar de manera segura, eficiente y sin interrupciones durante el tiempo requerido, incluso en condiciones adversas.

La confiabilidad se basa en la capacidad de los componentes del sistema eléctrico, como generadores, transformadores, interruptores, cables y dispositivos de protección, para funcionar de manera correcta y coherente. Implica que estos componentes están diseñados, instalados y mantenidos de manera adecuada para garantizar un rendimiento confiable a lo largo del tiempo.

La confiabilidad del sistema eléctrico se evalúa en función de varios indicadores, como el tiempo medio entre fallos (MTBF, por sus siglas en inglés), que es el tiempo promedio que transcurre entre cada falla, y el tiempo medio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés), que es el tiempo promedio que se requiere para reparar una falla.

Un sistema eléctrico confiable ofrece una serie de beneficios significativos. En primer lugar, minimiza los tiempos de inactividad y las interrupciones en la operación, lo que a su vez reduce las pérdidas económicas asociadas con la falta de producción y los costos de reparación. Además, garantiza la continuidad de servicios críticos, como suministro de energía a hospitales, sistemas de

comunicación, industrias y hogares, evitando situaciones peligrosas o de emergencia.

Para lograr y mantener la confiabilidad del sistema eléctrico, es fundamental implementar prácticas adecuadas de diseño, instalación, operación y mantenimiento. Esto implica realizar inspecciones periódicas, llevar a cabo el mantenimiento preventivo de los componentes, asegurar una correcta coordinación de protecciones y contar con planes de contingencia y respaldo en caso de fallas.

La importancia de la confiabilidad del sistema eléctrico radica en su papel fundamental en el suministro de energía eléctrica a diversos sectores de la sociedad. Un sistema eléctrico confiable garantiza el funcionamiento continuo y seguro de equipos, maquinarias, infraestructuras y servicios que dependen de la energía eléctrica.

A continuación, se exponen algunos aspectos relevantes que destacan la importancia de la confiabilidad del sistema eléctrico:

- **Continuidad del suministro:** La confiabilidad del sistema eléctrico asegura la continuidad del suministro de energía eléctrica a usuarios residenciales, comerciales e industriales. Un suministro ininterrumpido es esencial para el funcionamiento de sistemas críticos, como hospitales, centros de datos, industrias manufactureras, instituciones financieras, entre otros.
- **Productividad y eficiencia:** Un sistema eléctrico confiable permite un funcionamiento óptimo de las operaciones comerciales e industriales. La falta de energía eléctrica o interrupciones frecuentes pueden provocar paradas en la producción, pérdida de datos, deterioro de productos perecederos y retrasos en la prestación de servicios, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas.
- **Seguridad personal y laboral:** La confiabilidad del sistema eléctrico es vital para garantizar la seguridad de las personas. Un sistema eléctrico inestable o propenso a fallas puede ocasionar accidentes eléctricos, incendios y otros riesgos para la seguridad personal y laboral.

- **Protección de equipos e infraestructuras:** Un sistema eléctrico confiable contribuye a la protección de equipos, maquinarias e infraestructuras. Las fluctuaciones de tensión, las sobrecargas y las fallas eléctricas pueden dañar componentes electrónicos sensibles, equipos costosos y sistemas críticos, lo que implica altos costos de reparación o reemplazo.
- **Satisfacción del cliente:** Un suministro eléctrico confiable mejora la satisfacción del cliente. Los usuarios esperan un servicio eléctrico continuo y de calidad, y cualquier interrupción o irregularidad puede generar insatisfacción y afectar la reputación de las empresas y proveedores de energía eléctrica.
- **Sostenibilidad y medio ambiente:** La confiabilidad del sistema eléctrico también está relacionada con la eficiencia energética y la sostenibilidad. Un sistema eléctrico confiable y eficiente reduce las pérdidas de energía y minimiza la necesidad de utilizar fuentes de generación adicional, lo que contribuye a la conservación de recursos naturales y la reducción de emisiones contaminantes.

Los indicadores SAIDI (System Average Interruption Duration Index) y SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) son dos métricas ampliamente utilizadas para evaluar la confiabilidad del sistema eléctrico. Estos indicadores proporcionan información cuantitativa sobre la duración y la frecuencia de las interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

El SAIDI se refiere al promedio de tiempo que un cliente experimenta una interrupción de energía durante un período determinado. Es un indicador que mide la duración de las interrupciones y se expresa en minutos por cliente. Un SAIDI bajo indica que las interrupciones son de corta duración, lo que refleja una mayor confiabilidad en el suministro eléctrico.

Por otro lado, el SAIFI se refiere al promedio de número de interrupciones que un cliente experimenta durante un período determinado. Es un indicador que mide la frecuencia de las interrupciones y se expresa en interrupciones por cliente. Un SAIFI bajo indica que hay menos interrupciones en el suministro eléctrico, lo que también indica una mayor confiabilidad en el sistema.

Estos indicadores son ampliamente utilizados por las empresas de servicios públicos y los organismos reguladores para monitorear y evaluar la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico. Proporcionan una visión general de la confiabilidad del sistema, permitiendo identificar áreas problemáticas, establecer metas de mejora y realizar comparaciones con otros sistemas eléctricos.

Es importante destacar que los valores óptimos de SAIDI y SAIFI pueden variar según el tipo de usuario, la ubicación geográfica y las características del sistema eléctrico. Sin embargo, en general, se busca minimizar tanto la duración como la frecuencia de las interrupciones para garantizar un suministro eléctrico confiable y satisfactorio para los usuarios.

2.3. Marco conceptual

Mantenimiento eléctrico preventivo: El mantenimiento eléctrico preventivo es un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que se llevan a cabo en un sistema eléctrico con el objetivo de garantizar su funcionamiento eficiente y seguro.

- **Limpieza integral de activos eléctricos:** La limpieza integral de activos eléctricos se refiere al proceso de limpieza y mantenimiento de los componentes eléctricos para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil. Esta actividad puede incluir la limpieza de motores eléctricos, transformadores, interruptores, paneles de control y otros equipos eléctricos.
- **Pruebas eléctricas:** Las pruebas eléctricas son un conjunto de ensayos y evaluaciones realizados en sistemas eléctricos y sus componentes para verificar su correcto funcionamiento y seguridad. Estas pruebas permiten detectar problemas o fallos eléctricos que puedan afectar el rendimiento de los equipos y la seguridad de las personas que los utilizan. Algunas de las pruebas eléctricas más comunes incluyen:
 - **Pruebas de continuidad:** se utilizan para verificar si un circuito eléctrico está completo y sin interrupciones.
 - **Pruebas de resistencia:** se realizan para medir la resistencia eléctrica de un componente o circuito.

- Pruebas de aislamiento: se utilizan para evaluar la resistencia de un material a la corriente eléctrica y para detectar fugas eléctricas.
- Pruebas de corriente y tensión: se utilizan para medir la corriente y la tensión en un circuito eléctrico.
- Pruebas de funcionamiento: se realizan para verificar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos, como los interruptores, los relés y los transformadores.
- Limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra: La limpieza y el mantenimiento de las puestas a tierra son esenciales para garantizar la seguridad de los sistemas eléctricos y prevenir posibles riesgos eléctricos. Las puestas a tierra son dispositivos eléctricos que se utilizan para proporcionar un camino seguro y de baja resistencia para la corriente eléctrica hacia la tierra.

Confiabilidad del sistema eléctrico: La confiabilidad del sistema eléctrico se refiere a su capacidad para suministrar energía eléctrica de manera continua y segura a los consumidores finales. Es un indicador clave del rendimiento del sistema eléctrico y está influenciado por diversos factores, como la calidad de la infraestructura, la capacidad de generación, la disponibilidad de combustible, la capacidad de transmisión y distribución, el mantenimiento y las operaciones del sistema.

La confiabilidad del sistema eléctrico es importante porque afecta la calidad de vida de las personas y la economía en general. Una interrupción en el suministro eléctrico puede tener consecuencias graves, como pérdidas económicas, interrupciones en los servicios públicos y riesgos para la seguridad.

- SAIDI: Evalúa el tiempo a la duración de la interrupción, está relacionado con la ubicación e intensidad de la falla; así mismo con los recursos disponibles para la reposición.
- SAIFI: Evalúa la frecuencia con la que ocurren las interrupciones en el sistema eléctrico, dado por falla en componentes, maniobras o indisponibilidades que afectan a los sistemas eléctricos, estas pueden ser propias.

2.4. Definición de términos básicos

- Resistencia: Es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica.
- Corriente eléctrica: Se denomina de este modo al desplazamiento de electrones sobre un cuerpo conductor. Todos los cuerpos tienden a quedar en estado eléctricamente neutro; así, si se ponen en contacto dos cuerpos, uno cargado con exceso de electrones y otro con defecto, se establecerá entre ellos un intercambio de electrones hasta que se igualen eléctricamente.
- Ley de Ohm: la relación que existe entre estas tres magnitudes eléctricas: corriente, tensión y resistencia, en un circuito eléctrico, la intensidad de corriente que lo recorre, es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia que presenta este.
- Circuito eléctrico: el camino cerrado que recorre la corriente eléctrica entre un productor de electricidad y uno o varios dispositivos consumidores (como bombilla, aparatos eléctricos, etc), siendo este camino construido por materiales conductores.
- Resistencia eléctrica: Es la dificultad que encuentran los electrones al atravesar un elemento del circuito eléctrico.
- Consumo eléctrico: Se define como la energía consumida verdaderamente por un determinado dispositivo en una cierta cantidad de tiempo. Se mide normalmente en W.h.
- Confiabilidad: Capacidad de un sistema eléctrico para funcionar de manera continua y sin interrupciones, cumpliendo con los requisitos de operación establecidos y minimizando la probabilidad de fallos.
- Sistema de media tensión: Conjunto de equipos y componentes eléctricos que operan a un nivel de tensión intermedio entre baja y alta tensión, generalmente utilizado para la distribución y control de energía en instalaciones industriales.

- Inspección: Actividad de revisión visual y detección de posibles anomalías, daños o desgastes en los equipos eléctricos, con el fin de identificar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallos.
- Pruebas eléctricas: Evaluaciones y mediciones realizadas en los equipos eléctricos para verificar su funcionamiento, integridad y cumplimiento de las especificaciones técnicas, utilizando instrumentos y procedimientos adecuados.
- Lubricación: Aplicación de lubricantes a los componentes eléctricos que requieren un adecuado nivel de fricción y protección contra el desgaste, con el objetivo de minimizar la fricción y prolongar la vida útil de los equipos.
- Ajustes: Acciones realizadas para corregir y optimizar parámetros y configuraciones de los equipos eléctricos, con el fin de asegurar un rendimiento adecuado y una operación eficiente.
- Planificación: Proceso de establecer y organizar de manera anticipada las actividades de mantenimiento eléctrico preventivo, definiendo los recursos, tiempos y secuencia de ejecución, con el fin de optimizar la eficacia y eficiencia del proceso.
- Vida útil: Tiempo estimado o número de ciclos de funcionamiento en los que se espera que un equipo eléctrico pueda operar satisfactoriamente, considerando un mantenimiento adecuado y las condiciones de uso previstas.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis General

El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Hipótesis Especifica

La limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

La limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

3.1.1. Operacionalización de variable

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Mantenimiento eléctrico preventivo	El mantenimiento preventivo se basa en la idea de establecer una serie de puntos de control, que serán revisados periódicamente para reducir las probabilidades de que los equipos eléctricos presenten averías	Limpieza integral de activos eléctricos	Correcto mantenimiento
		Pruebas eléctricas	
		Limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra	
Confiabilidad del sistema de media tensión	Se define como el número de interrupciones que sufre un sistema eléctrico, en el suministro de energía eléctrica, en un período de tiempo determinado.	SAIFI	Indisponibilidad promedio del servicio
		SAIDI	

Fuente: Elaboración propia del autor

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

En la investigación realizada, se empleó un enfoque de tipo aplicado, lo cual implicó la ejecución del mantenimiento eléctrico preventivo en el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral para evaluar su confiabilidad. El diseño de investigación adoptado fue experimental, lo que permitió llevar a cabo la intervención controlada del mantenimiento y analizar los niveles de confiabilidad del sistema de media tensión. Esta aproximación experimental posibilitó el control de variables, la obtención de datos cuantitativos y el establecimiento de relaciones causales, lo que fue esencial para evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo en dicho contexto específico.

4.2. Método de investigación

En el presente estudio, se empleó un enfoque de investigación de tipo cuantitativo. Este método se utilizó para recopilar y analizar todos los datos relacionados con el analizador de dióxido de azufre y las diversas instalaciones previas necesarias. El objetivo principal fue evaluar el impacto que estas variables tienen en la variable dependiente. Para ello, se recopilaron mediciones y registros precisos, utilizando instrumentos y técnicas específicas, con el fin de obtener datos numéricos que permitieran un análisis cuantitativo. De esta manera, se pudo examinar de manera rigurosa y objetiva cómo las diferentes instalaciones y el analizador de dióxido de azufre influyeron en la variable dependiente, brindando una comprensión más profunda de su relación e impacto.

4.3. Población y muestra

Población

La población estuvo conformada por el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral.

Muestra

La muestra fue el mismo sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral.

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

La investigación se llevará a cabo en la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo, provincia de Huarochirí departamento de Lima, Perú. La investigación tuvo una duración de meses terminando en junio del 2023.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Durante la investigación, se llevó a cabo la recolección de datos mientras se realizaba el mantenimiento eléctrico. Este proceso se inició con un corte de energía planificado, el cual se ejecutó de forma escalonada y sectorizada, comenzando desde el sistema de distribución eléctrica y continuando con los accionamientos de media tensión. Una vez realizado el corte de energía, se procedió a la apertura del reconectador y, posteriormente, se llevó a cabo el bloqueo correspondiente en el tablero controlador del reconectador. Luego, se procedió al revelado de tensión de la red aérea y se realizó el aterramiento correspondiente.

Todos estos pasos fueron seguidos meticulosamente durante el mantenimiento, y los datos obtenidos a través de estas acciones nos permitieron evaluar la confiabilidad del sistema de media tensión. Estos datos incluyeron mediciones, registros y observaciones detalladas de cada etapa del proceso de mantenimiento. El análisis de estos datos nos proporcionó información valiosa para determinar la fiabilidad del sistema y comprender cómo las diferentes actividades realizadas durante el mantenimiento afectan directamente a la confiabilidad del sistema de media tensión.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

En el análisis de datos, se procedió a revisar detalladamente la información recopilada de las subestaciones y salas eléctricas, así como de los transformadores, sistemas de puesta a tierra, interruptores y relés de protección.

Estos datos fueron recolectados durante el proceso de mantenimiento, y su revisión exhaustiva fue fundamental para evaluar el estado de los equipos. El objetivo principal fue determinar la confiabilidad del sistema de media tensión en base a la información obtenida.

Durante la revisión de los datos, se examinaron diferentes aspectos de los equipos, como su funcionamiento, desgaste, posibles fallos o irregularidades. Se realizaron mediciones, pruebas y observaciones detalladas para obtener una imagen completa del estado de cada componente del sistema eléctrico. A través de este análisis, fue posible determinar la confiabilidad del sistema de media tensión, identificar posibles áreas de mejora y tomar decisiones informadas sobre acciones correctivas o preventivas adicionales.

El análisis de datos desempeñó un papel crucial en el estudio, ya que proporcionó una base sólida para evaluar la confiabilidad del sistema eléctrico. Al examinar minuciosamente los datos de múltiples aspectos de los equipos, se obtuvo una comprensión detallada de su estado y se pudo determinar si cumplían con los estándares de confiabilidad establecidos. Esta evaluación permitió tomar medidas adecuadas para mantener y mejorar la confiabilidad del sistema de media tensión, garantizando un funcionamiento eficiente y seguro de la planta embotelladora de agua mineral.

4.7. Aspectos éticos en investigación

En el presente estudio, se abordó el aspecto ético de la autonomía, lo cual implicó que todos los participantes involucrados brindaron su consentimiento para formar parte de la investigación. El respeto por la autonomía de los individuos fue fundamental, asegurando que cada participante tuviera la capacidad de tomar decisiones informadas y voluntarias sobre su participación en el estudio.

Además, se consideró el principio de justicia, garantizando que todos los participantes recibieran los mismos beneficios y que no se produjera ninguna forma de discriminación o explotación en el proceso de investigación. Se tomó especial cuidado en garantizar que las actividades realizadas durante el estudio

fueran inofensivas y no causaran ningún daño físico, emocional o psicológico a los participantes.

El estudio se llevó a cabo de manera transparente y ética, siguiendo todas las pautas y regulaciones pertinentes. Se respetó la privacidad y confidencialidad de los participantes, asegurando que sus identidades, nominaciones y referencias se incluyeran de manera adecuada en el estudio, manteniendo la confidencialidad de la información personal.

V. RESULTADOS

5.1. Información general

Los trabajos se realizaron con un corte total de energía, desde el PMI 839. Se realizó el corte de energía de manera escalonada y sectorizada, empezando desde el sistema de distribución eléctrica de baja tensión y luego los accionamientos de media tensión. Se apertura el reconectador y posteriormente se realizó el bloqueo respectivo en el tablero controlador del reconectador. Se procedió con el revelado de tensión de la red aérea para luego realizar el aterramiento respectivo.

Tabla 2. Zonas donde se realizaron los trabajos

UBICACIÓN	TAG	DESCRIPCIÓN
PMI 839	Recloser	Se tiene un relé de protección ABB RER 620, aperturado y Bloqueado.
SE N° 1	Celda de Llegada	Seccionador Fusible 100A.
SE N° 2	Celda de Llegada	Seccionador Fusible 100A.
SE N° 3	Switchgear	Celdas Schneider Electric SM6 36 kV

Fuente: Elaboración propia del autor

5.2. Desarrollo de las actividades

Relés de protección

- Inspección de las celdas y equipos a intervenir.
- Inspección de áreas en donde se tenga presencia de tensión.
- Inspección de circuitos primarios de conexión.
- Verificación del sistema de control del relé de protección.
- Verificación de los circuitos de disparo y entrada de corrientes.
- Verificación de los ajustes iniciales en las unidades de protección.
- Prueba Inicial de inyección de corriente secundaria a los circuitos de corriente.

- Pruebas de disparos de las funciones de protección.

Transformadores de Distribución

- Inspección de las celdas de salida que alimenta al transformador.
- Inspección de circuitos primarios de conexión.
- Verificación de los datos de placa del transformador de potencia.
- Verificación del diagrama de conexión del transformador.
- Conexión del equipo de pruebas hacia el transformador.
- Realización de las mediciones de relación de transformación.
- Realización de las mediciones de resistencia de aislamiento.
- Realización de las mediciones de resistencia de devanados.
- Extracción de aceite para análisis físico químico y cromatográfico.

Equipos de Maniobra (Interruptor, Seccionador, Reconectador)

- Identificación del suministro eléctrico del concesionario.
- Inspección de circuitos primarios de conexión.
- Verificación de los datos de placa de los equipos de maniobra.
- Verificación del circuito alimentador de las celdas de llegada de las subestaciones.

Sistemas de puesta a tierra.

- Identificación de la ubicación de las puestas a tierra.
- Inspección del estado de cada puesta a tierra.
- Medición de la resistencia de cada puesta a tierra antes del mantenimiento.
- Mantenimiento respectivo de cada puesta a tierra realizando la adherencia de aditivos.
- Realización de la medición de la resistencia de cada puesta a tierra luego del mantenimiento.
- Realización del pintado de cada sistema de puesta a tierra.

5.3. Realización de pruebas

5.3.1. Pruebas de disparo de los relés de protección

Los sistemas de protección desempeñan un papel fundamental en la fiabilidad y seguridad del funcionamiento de los sistemas eléctricos actuales. Un adecuado funcionamiento de los dispositivos de protección ayuda a mantener la seguridad del sistema y a proteger los activos contra daños. Con objeto de garantizar un funcionamiento fiable, los relés de protección deben probarse durante todo su ciclo de vida útil, desde su desarrollo inicial, pasando por la producción y puesta en servicio hasta el mantenimiento periódico durante su funcionamiento.

En la prueba se busca contrastar los valores de configuración del relé respaldados por un estudio de coordinación de protecciones. Un relé de protección puede esperar años a que se produzca una falla, pero cuando se produzcan deben operar de una manera rápida y confiable.

Esquema del Sistema de Protección

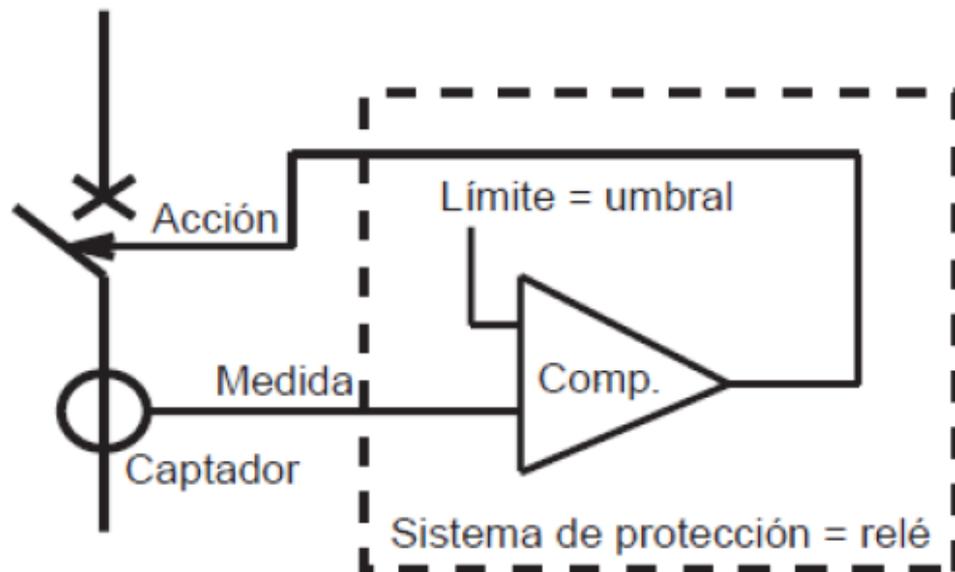


Figura 2. Funcionamiento del Relé de protección de sobrecorriente

Los dispositivos de protección controlan permanentemente el estado eléctrico de los elementos que componen un circuito (red) MT-BT, y provocan la excitación de un dispositivo de apertura (p.ej. bobina de disparo de un disyuntor), cuando detectan una perturbación (cortocircuito, defecto de aislamiento, etc.).

Protección de Sobrecorriente

El fenómeno más común durante las anomalías en un sistema eléctrico de potencia y en especial en los cortocircuitos, es el aumento de la corriente por sobre los valores normales de operación.

Este aumento es utilizado para discriminar la ocurrencia de fallas, ya sea como protección principal o de respaldo y el relé se denomina de sobrecorriente.

El principio de funcionamiento del relé de sobrecorriente depende de dos variables:

- Nivel de corriente mínima de operación (Pick - up).
- Característica del tiempo de operación.

La característica del tiempo de operación depende del tipo de curva del relé de protección, pueden ser curvas del tipo inversas (IEC: son las más utilizadas) o del tipo directa.

Las curvas IEC se definen mediante la siguiente ecuación:

$$t_{(I)} = \frac{\beta}{(M)^\alpha - 1} \times TMS$$

Donde:

t = Tiempo de operación en segundos

β = Constante

$$M = \frac{I}{I_s}$$

I = Corriente de entrada en A

I_s = Corriente de pick - up en A

Parámetros de la curva de disparo según el tipo de curva:

Tabla 3. Constante de acuerdo al tipo de curva

Curva característica	β	α
IEC normalmente inverso SIT/A	0,14	0,02
IEC muy inversa VIT/B	13,5	1
IEC inverso muy prolongado LTI/B	120	1
IEC extremadamente inverso EIT/C	80	2

Fuente: Comisión Electrotécnica Internacional

CMC 356

Procedimiento de la Prueba

Durante las pruebas, se desconecta el relé del transformador de corriente y se conecta a un equipo de prueba. Para simular condiciones de carga y corrientes de falla de hasta unos miles de corriente, el equipo de prueba genera una corriente que representa la corriente secundaria del transformador. El temporizador del equipo de prueba registra el tiempo de disparo del relé. Dependiendo de la magnitud de la corriente de prueba, el relé disparará en un determinado plazo de tiempo.

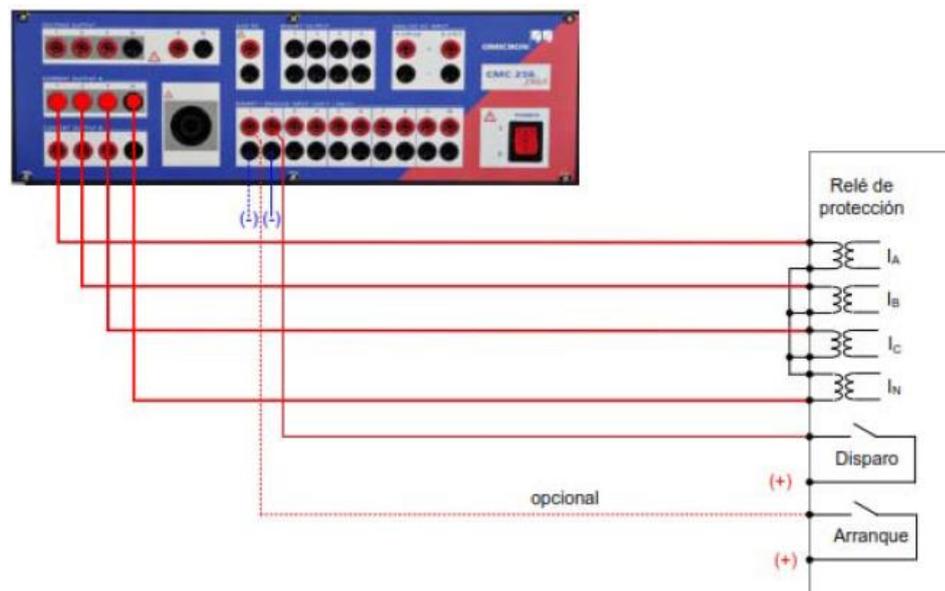


Figura 3. Conexión para las pruebas en el Relé

5.3.2. Prueba de relación de transformación de los transformadores de distribución

La condición del transformador depende mucho del rendimiento del bobinado para proporcionar la esperada relación de tensión, que está directamente relacionada con la relación de espiras (la relación de vueltas de cable en el devanado primario con el número de vueltas de cable en el devanado secundario); por lo tanto, la prueba de relación de transformación es una prueba esencial del mismo, y uno de los métodos más eficaces para la evaluación de su estado; los cambios en la relación de espiras, y las desviaciones correspondientes respecto a la relación de la placa de características, más allá de la tolerancia de error máxima, puede ser una indicación de daños o deterioro del bobinado; la prueba de relación de transformación ayuda a identificar problemas tales como espiras abiertas, espiras cortocircuitadas, conexiones incorrectas, problemas internos del núcleo magnético o del cambiador de tomas, etc.

Las normas internacionales exigen que la relación de tensión medida entre dos bobinados esté dentro del $\pm 0,5\%$ de la relación indicada en la placa de características; para comprobar este requerimiento, la prueba de relación de transformación mide la relación real de tensión, que se compara con la de la placa. La prueba de relación de transformación en transformadores de potencia se realiza por inyección de baja tensión en transformadores desenergizados y la correspondiente medición de la tensión inducida en otro devanado; la prueba de relación de transformación se hace para cada fase.

Los valores de la medición deben estar dentro del rango especificado por la norma IEC 60076-1.

Table 1 – Tolerances

Item	Tolerance
1. a) Total losses b) Component losses	See note 1 See note 1
2. Voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings	+10 % of the total losses +15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
Voltage ratio on other tapplings, same pair	The lower of the following values: a) ±0,5 % of declared ratio b) ±1/10 of the actual percentage impedance on the principal tapping
Voltage ratio for further pairs	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above

Figura 4. Normativa IEC 60076-1 para las pruebas de transformadores

La fórmula de cálculo para la determinación del error de las mediciones en la relación de transformación del transformador de potencia es el siguiente:

$$\pm 0,5 > \left(\frac{\text{Valor calculado} - \text{Valor medido}}{\text{Valor calculado}} \right) \times 100\%$$

Para nuestro caso tomaremos el valor absoluto del resultado de la fórmula

DTR8500

El equipo de prueba con el que realizaremos las mediciones se describe a continuación para tener un mejor entendimiento de como obtenemos los valores en las pruebas.

- Identificación de los cables del equipo de pruebas

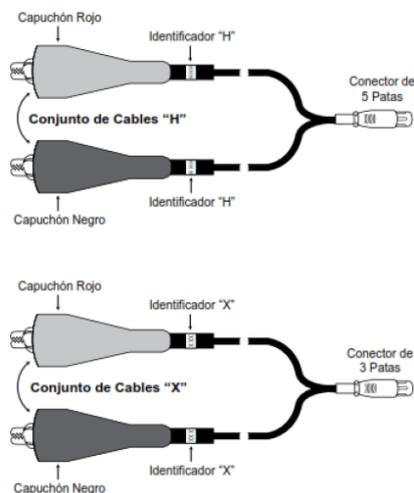


Figura 5. Cables del DTR

- Conexión de cada bobina del transformador

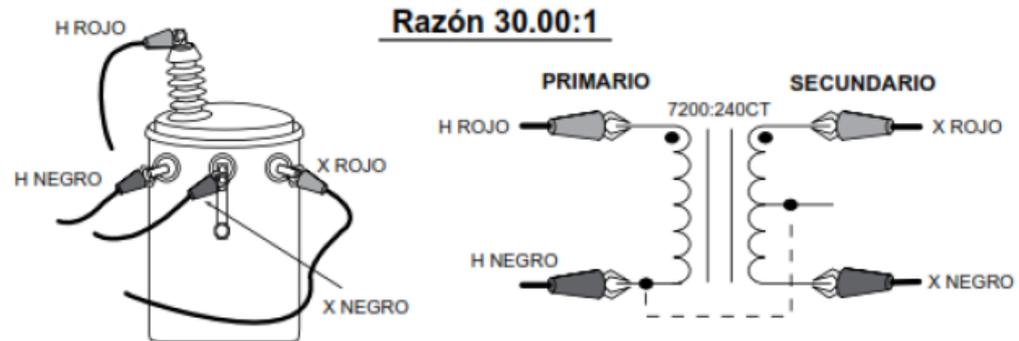


Figura 6. Ejemplo de conexión para la prueba

5.3.3. Prueba de resistencia de aislamiento

El aislamiento se diseñó para soportar cubrir distintas aplicaciones que puedan suscitarse durante su vida útil, pero debemos entender también que el aislamiento eléctrico se degrada con el tiempo y cubrir aplicaciones anormales pueden acelerar este proceso natural, acortando su vida útil. Es por esto que es importante realizar pruebas regularmente a los transformadores de potencia para detectar un envejecimiento acelerado, su causa y las acciones para corregir la situación.

La degradación del aislamiento es debida a 5 causas que interactúan entre sí: condiciones de servicio (por sobretensión o subtensión que llevan a agrietamiento o delaminación), mecánica (por golpes, paradas y arranques frecuentes, vibración...), ataque químico (por vapores corrosivos, suciedad o aceite), condiciones térmicas (condiciones excesivas de calor o frío) y contaminación ambiental (humedad, agujeros por roedores...). Para tensiones de 500 o 1000V se realizan pruebas puntuales para conocer simplemente si el aislamiento está en buen estado, pero a tensiones superiores a 1kV se emplea otra metodología, siempre usando una tensión estable en todo su rango de resistencia con sensibilidad mejorada.

Las pruebas de diagnóstico de aislamiento en el programa de mantenimiento preventivo son fundamentales para predecir y prevenir rupturas de equipos eléctricos.

La Tabla del Código Nacional de Electricidad (CNE) nos indica la resistencia de aislamiento mínima que debe tener al ejecutar la medición, tanto para instalaciones existentes superficiales y aéreas.

Tabla 4. Mínima resistencia de aislamiento para instalaciones

Tensión nominal de la instalación	Tensión de ensayo en corriente continua [V]	Resistencia de aislamiento [$M\Omega$]
Muy baja tensión de seguridad	250	$\geq 0,25$
Muy baja tensión de protección		
Inferior o igual a 500V, excepto los casos anteriores	500	$\geq 0,5$
Superior a 500V	1000	$\geq 1,0$

Fuente: Código Nacional de Electricidad

La medición del aislamiento, a través del Insulation Tester (Medidor de aislamiento), no está asociado con equipos envejecidos si no que se puede utilizar para localizar con precisión la posición del objeto de prueba en cualquier lugar a lo largo de su curva de envejecimiento.

Antes de realizar, propiamente, la medición del aislamiento primero se debe medir la resistencia de sonda para comprobar el correcto aislamiento de los cables del equipo, así como su continuidad. Recordar que solo se deberá efectuar las mediciones de resistencia en circuitos desenergizados.

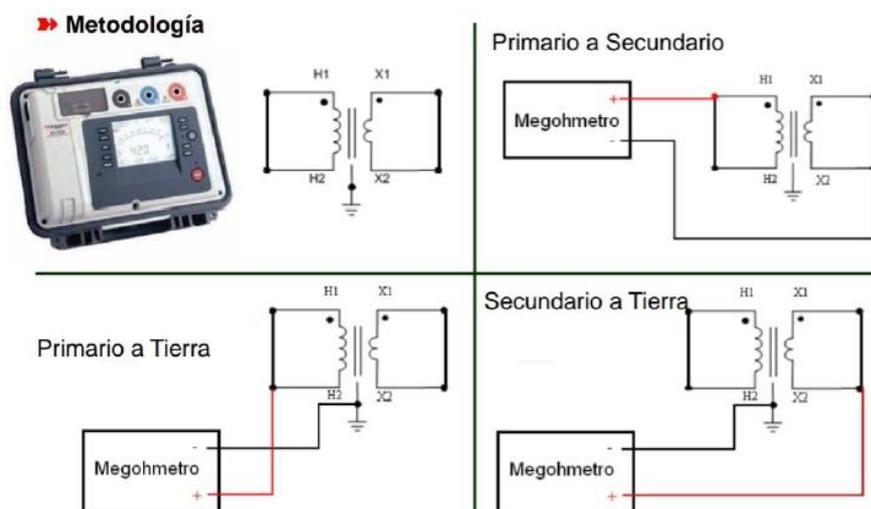


Figura 7. Conexión para la medición de aislamiento

5.3.4. Resistencia de puesta a tierra

¿Por qué comprobar los sistemas de puesta a tierra?

Con el correr del tiempo, los terrenos corrosivos con un alto contenido de humedad, un alto contenido de sal y altas temperaturas pueden degradar las varillas de puesta a tierra y sus conexiones. De modo que, aunque el sistema de puesta a tierra cuando fue instalado inicialmente tenía valores bajos de resistencia de puesta a tierra, la resistencia del sistema de puesta a tierra puede aumentar si se corroen las varillas de puesta a tierra.

Por esta razón se recomienda encarecidamente verificar todos los sistemas y dispositivos de puesta a tierra al menos una vez al año como parte de su plan normal de mantenimiento predictivo. Durante estas verificaciones periódicas, si se mide un aumento en la resistencia de más del 20 %, el técnico deberá investigar el origen del problema y hacer la corrección para disminuir la resistencia, al reemplazar o agregar varillas de puesta a tierra al sistema de puesta a tierra.

¿Qué es un buen valor de resistencia de puesta a tierra?

Existe bastante confusión con respecto a lo que constituye una buena puesta a tierra y cuál debe ser el valor de la resistencia de puesta a tierra. Idealmente, una puesta a tierra debe tener una resistencia de cero ohm. La NEC ha indicado lo siguiente: "Asegúrese de que la impedancia del sistema a la puesta a tierra sea de menos de 25 ohm, tal como se especifica en NEC 250.56. En instalaciones con equipo sensible, debe ser de 5,0 ohm o menos". El sector de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado 5,0 ohm o menos como su valor para puesta a tierra y unión. La meta en la resistencia de puesta a tierra es lograr el mínimo valor de resistencia de puesta a tierra posible que tenga sentido tanto económica como físicamente.

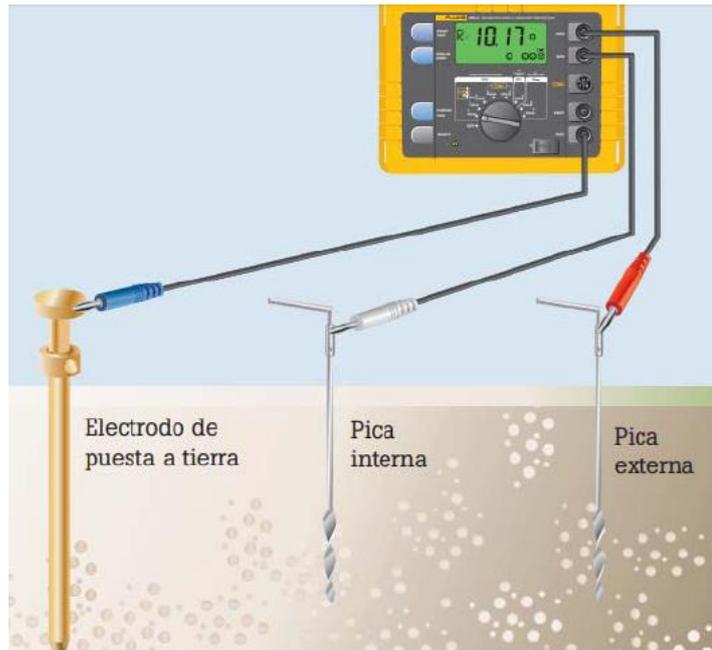


Figura 8. Método de medida de resistencia de puesta a tierra

5.4. Resumen de resultados de las pruebas

5.4.1. Subestación N°1

- Luego de las pruebas eléctricas realizadas, el transformador de 800 kVA de la subestación se encuentra en un estado correcto de funcionamiento.
- El nivel de aceite en el transformador se encuentra en un nivel ligeramente bajo.
- Los resultados del análisis de aceite respectivo se podrán observar en los anexos.
- Se encontró demasiada presencia de polución en los alrededores del transformador.
- Los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de aislamiento del transformador resultaron satisfactorios, ver anexos. Para llevar a cabo dicha prueba se cortocircuitó las bobinas primarias y secundarias, luego se inyectó tensión continua de 5 kV y 1 kV.
- Respecto al transformador este se encuentra operando bajo el diagrama de conexión Dy5 a una tensión de 10000 volt en el lado de media tensión correspondiente al TAP N°3, los valores obtenidos durante las pruebas de medición de la relación de transformación son correctos teniendo en

cuenta el porcentaje de error de 0,5%, este dato lo tomamos de la norma internacional IEC 60076-1.

- La polaridad de los bobinados del transformador acuerdo a los resultados obtenidos también son los correctos.
- El fusible de protección del transformador ubicado en la Subestación eléctrica de distribución N° 3 se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.
- Respecto a la prueba de Resistencia de devanados los valores obtenidos son satisfactorios de acuerdo a los recomendados según la cláusula 7.2.7 de la norma IEEE C57.152 (2013). La cual indica que la comparación entre las lecturas de las fases no debe ser mayor al 5%.

Tabla 5. Medida de resistencia en el transformador de transformador de 800 kVA-Sub 1

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
5 kV	Devanado Primario/Devanado Secundario	17,76 GΩ	CORRECTO
5 kV	Devanado Primario / Masa	54,70 GΩ	CORRECTO
1 kV	Devanado Secundario/ Masa	11,33 GΩ	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 6. Medida de la relación de transformación del transformador de 800 kVA – Sub 1

DEVANADO PRIMARIO	DEVANADO SECUNDARIO	MEDIDA	ERROR%	POLARIDAD
U-V	v+w/u	50,217:1	0,06%	CORRECTO
V-W	w+u/v	50,217:1	0,06%	CORRECTO
W-U	u+v/w	50,216:1	0,07%	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 7. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión del transformador de 800 kVA – Sub 1

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
1,0 A	1U – 1V	1,3582Ω	1,6512Ω	CORRECTO
1,0 A	1V – 1W	1,2017Ω	1,4609Ω	
1,0 A	1W – 1U	1,2393Ω	1,5065Ω	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 8. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión del transformador de 800 kVA – Sub 1

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
10,0 A	2u-2v	558,5μΩ	679,0μΩ	CORRECTO
10,0 A	2v-2w	556,8μΩ	676,9μΩ	
10,0 A	1w-1u	568,3μΩ	690,9μΩ	

Fuente: Elaboración propia del autor

5.4.2. Subestación N°2

- Luego de las pruebas eléctricas realizadas, el transformador de 800 kVA de la subestación se encuentra en un estado correcto de funcionamiento con algunas observaciones.
- El nivel de aceite en el transformador aún es el adecuado.
- Los resultados del análisis de aceite respectivo se podrán observar en los anexos.
- Se encontró demasiada presencia de polución en los alrededores del transformador
- El transformador seco elevador de 125 kVA cuenta con un relé de temperatura el cual no está mostrando los valores de temperatura de cada fase del transformador.
- Para la realización de la prueba de aislamiento en el transformador se cortocircuito las bobinas primarias y secundarias. Los resultados de resistencia de aislamiento nos emitieron valores adecuados de funcionamiento, cortocircuitando el primario del transformador y seguidamente el secundario, aplicando 5 kV y 0,25 kV.
- Respecto al transformador este se encuentra operando bajo el diagrama de conexión Dy5 a una tensión de 9750 volt en el lado de media tensión correspondiente al TAP N°4, los valores obtenidos durante las pruebas de medición de la relación de transformación son correctos teniendo en cuenta el porcentaje de error de 0,5%, este dato lo tomamos de la norma internacional IEC 60076-1.
- La polaridad de los bobinados del transformador acuerdo a los resultados obtenidos también son los correctos.

- El fusible de protección del transformador ubicado en la Subestación eléctrica de distribución N° 2 se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento.
- La prueba de Resistencia de devanados los valores obtenidos son satisfactorios de acuerdo a los recomendados según la cláusula 7.2.7 de la norma IEEE C57.152 (2013). La cual indica que la comparación entre las lecturas de las fases no debe ser mayor al 5%.

Tabla 9. Medida de resistencia de aislamiento en el transformador de 800 kVA - Sub 2

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
5 kV	Devanado Primario/Devanado Secundario	2,91 GΩ	CORRECTO
5 kV	Devanado Primario / Masa	2,05 GΩ	CORRECTO
0,25 kV	Devanado Secundario/ Masa	1,147 GΩ	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 10. Medida de la relación de transformador elevador del transformador de 125 kVA – Sub 2

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
0,5 kV	Devanado Primario/Devanado Secundario	409 GΩ	CORRECTO
0,5 kV	Devanado Primario / Masa	563 GΩ	CORRECTO
0,5 kV	Devanado Secundario/ Masa	474 GΩ	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 11. Medida de la relación de transformación en el transformador de 125 kVA – Sub 2

DEVANADO PRIMARIO	DEVANADO SECUNDARIO	MEDIDA	ERROR%	POLARIDAD
U-V	n/u	1,0260:1	1,81%	CUMPLE
V-W	n/v	1,0273:1	1,69%	CUMPLE
W-U	n/w	1,0372:1	0,74%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 12. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión del transformador de 800 kVA– Sub 2

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
1,0 A	1U – 1V	1,2519Ω	1,5219Ω	CORRECTO
1,0 A	1V – 1W	1,2585Ω	1,5299Ω	
1,0 A	1W – 1U	1,3308Ω	1,6178Ω	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 13. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión del transformador de 800 kVA – Sub 2

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
10,0 A	2u-2v	591,21μΩ	718,73μΩ	CORRECTO
10,0 A	2v-2w	596,29μΩ	724,90μΩ	
10,0 A	1w-1u	610,90μΩ	742,66μΩ	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 14. Medida de relación de transformación del transformador de 800 kVA – Sub 2

DEVANADO PRIMARIO	DEVANADO SECUNDARIO	MEDIDA	ERROR%	POLARIDAD
U-V	v+w/u	48,955:1	0,08%	CUMPLE
V-W	w+u/v	48,952:1	0,08%	CUMPLE
W-U	u+v/w	48,957:1	0,07%	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia del autor

5.4.3. Subestación N°3

- Luego de las pruebas eléctricas realizadas, el transformador de 2500 kVA de la subestación se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento. Sin embargo, el relé de temperatura se encuentra apagado en su totalidad lo cual es una condición insegura operación ya que no podemos monitorear la temperatura interna del transformador, así mismo se observó que el cargador de baterías se encontraba apagado sin uso, lo que representa un inconveniente para el correcto funcionamiento del sistema.
- Los resultados obtenidos en la prueba de aislamiento del transformador resultaron satisfactorios, ver anexos. Para llevar a cabo dicha prueba se cortocircuito las bobinas primarias y secundarias, luego se inyectó tensión continua de 10 kV y 0,5 kV.
- Respecto al transformador este se encuentra operando bajo el diagrama de conexión Dyn5 a una tensión de 10000 volt en el lado de primario correspondiente al TAP nominal, los valores obtenidos durante las pruebas de medición de la relación de transformación son correctos

teniendo en cuenta el porcentaje de error de 0,5%, este dato lo tomamos de la norma internacional IEC 60076-1.

- La prueba de relación de transformación ayuda a identificar problemas tales como espiras abiertas, espiras cortocircuitadas, conexiones incorrectas, problemas internos del núcleo magnético o del cambiador de tomas, etc. La polaridad de los bobinados del transformador de acuerdo a los resultados obtenidos también son los correctos.
- El relé de protección fue configurado de acuerdo al estudio de coordinación de protecciones correspondientes, y se realizaron sus pruebas de disparo para asegurar el correcto funcionamiento de estos.
- El relé de protección está operando bajo condiciones inadecuadas, debido a que no dispone de una fuente de respaldo de energía.
- El relé de protección de la celda de llegada tiene la siguiente configuración:

Máximo de intensidad de fase [1]

Actividad del ejemplo:

Inhibido

En servicio

Juego de ajustes A (Juego activo)

Curva de disparo: Tiempo independiente

Umbr. intensidad: 240 A

Temporización: 200 ms

Curva de retorno: Tiempo independiente

Tiempo de retorno: 0 ms

Retención del armónico 2: Si No

Intensidad Icc: 6.3 kA

Juego de ajustes B

Curva de disparo: Tiempo independiente

Umbr. intensidad: 1.26 kA

Temporización: 300 ms

Curva de retorno: Tiempo independiente

Tiempo de retorno: 0 ms

Retención del armónico 2: Si No

Intensidad Icc: 6.3 kA

Comportamiento en disparo

	ES	Enclavamiento	O1	O2	O3	O4	O11	O12	O13	O14	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	OPG	Mensaje	
50/51-1	X	X	X	X							X									X	X	

Edición de la etiqueta Sepam

Aplicar Cancelar

Figura 9. Configuración final relé celda de llegada función 50/51- p1

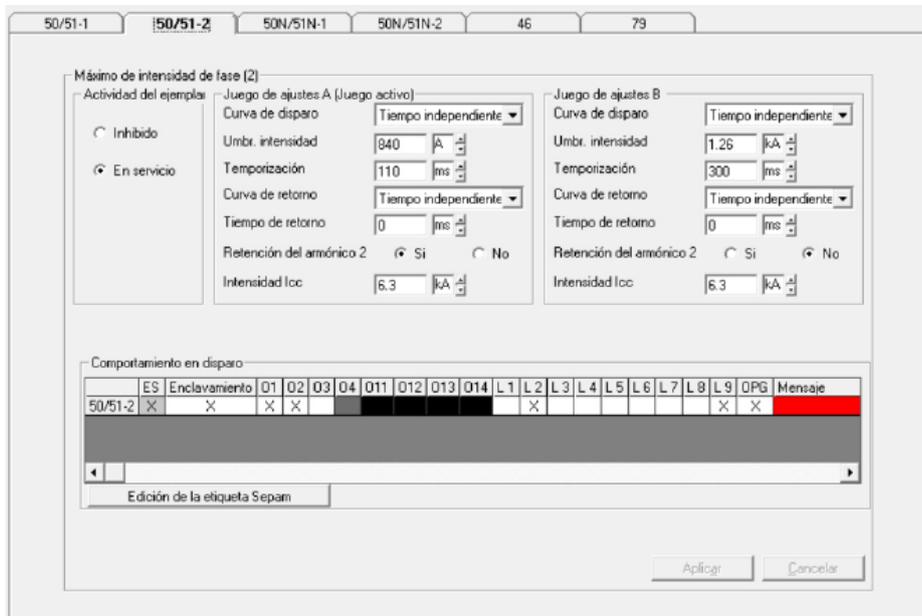


Figura 10. Configuración final relé celda de llegada función 50/51- p2

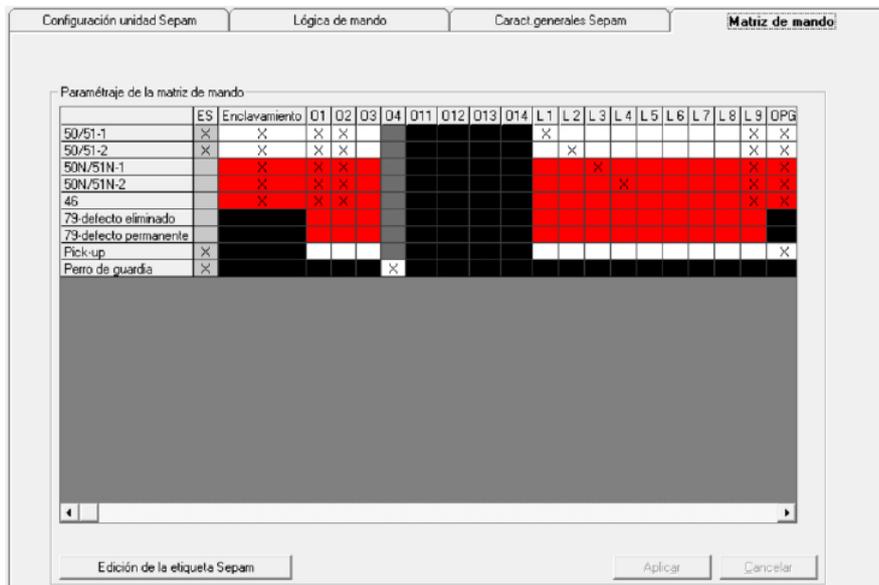


Figura 11. Funciones activadas en relé de protección de la celda de llegada

- El relé de protección de la celda de salida cuenta con sensores de corriente del tipo TLP y tiene la siguiente configuración:

Figura 12. Configuración final relé celda de salida función 50/51- p1

Figura 13. Configuración final relé celda de salida función 50/51- p2



Figura 14. Funciones activadas en relé de protección de la celda de salida

- Ante eventos de fallas eléctricas entre las fases de los conductores o ante una falla a tierra el relé de protección SEPAM modelo S20 no operará y por ende no podrá mitigar la falla debido a que las funciones de protección a tierra no se encuentran activadas.
- Los contactos de operación de los relés de protección si se encuentran operando adecuadamente para cualquier configuración que se pueda elegir.
- El cargador de baterías que funciona como sistema de respaldo de energía se encuentra fuera de servicios y esto trae como consecuencia que ante un corte de energía los relés de protección, el medidor de energía, los sistemas de control de la celda, etc se encuentren totalmente apagados.

Tabla 15. Medida de resistencia de aislamiento en el transformador de 2500 kVA – Sub 3

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
10 kV	Devanado Primario/Devanado Secundario	450 GΩ	CORRECTO
10 kV	Devanado Primario / Masa	492 GΩ	CORRECTO
0,5 kV	Devanado Secundario/ Masa	>1TΩ	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 16. Medida de la relación de transformación del transformador de 2500 kVA – Sub 3

DEVANADO PRIMARIO	DEVANADO SECUNDARIO	MEDIDA	ERROR%	POLARIDAD
U-V	n-u	43,416:1	0,26%	CORRECTO
V-W	n-v	43,296:1	0,00%	CORRECTO
W-V	n-w	43,334:1	0,07%	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 17. Medida de la resistencia de devanado en alta tensión en transformador de 2500 kVA – Sub 3

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
5,0 A	1U – 1V	186,3mΩ	226,5mΩ	CORRECTO
5,0 A	1V – 1W	186,6mΩ	226,9mΩ	
5,0 A	1W – 1U	186,8mΩ	227,1mΩ	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 18. Medida de la resistencia de devanado en baja tensión en transformador de 2500 kVA – Sub 3

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	MEDIDO ENTRE	MEDIDO A 20°C (Ω)	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
10,0 A	2u-2n	142,9μΩ	173,7μΩ	CORRECTO
10,0 A	2v-2n	140,8μΩ	171,2μΩ	
10,0 A	1w-1n	156,5μΩ	190,2μΩ	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 19. Resultados de las pruebas de disparo – Celda de llegada – Sub 3

DISPARO POR CORTOCIRCUITO							
FASE	I teórico	I disparo	E < 10%	FASE	t teórico	t disparo	E < 90 ms
R	5,110 A	5,110 A	✓	R	200 ms	206,2 ms	✓
S	5,110 A	5,110 A	✓	S	200 ms	206,2 ms	✓
T	5,110 A	5,110 A	✓	T	200 ms	206,2 ms	✓

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 20. Medida de la resistencia de contactos – Interruptor celda de llegada – Sub 3

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	CORRIENTE APLICADA (A)	MEDIDO EN	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
100 A	102 A	R	40,0 $\mu\Omega$	CORRECTO
100 A	102 A	S	39,3 $\mu\Omega$	
100 A	102 A	T	33,2 $\mu\Omega$	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 21. Medida de la resistencia de aislamiento – Interruptor celda de llegada – Sub 3

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
10 kV	Fase R	1,310 T Ω	CORRECTO
10 kV	Fase S	1,429 T Ω	CORRECTO
10 kV	Fase T	921 G Ω	CORRECTO
10 kV	Fase R - masa	896 G Ω	CORRECTO
10 kV	Fase S - masa	1,867 T Ω	CORRECTO
10 kV	Fase T - masa	1,438 T Ω	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 22. Resultados de la prueba de disparo – celda de salida – Sub 3

DISPARO POR CORTOCIRCUITO							
FASE	I teórico	I disparo	E < 10%	FASE	t teórico	t disparo	E < 90 ms
R	7,068 A	7,068 A	✓	R	100 ms	107,8 ms	✓
S	7,068 A	7,068 A	✓	S	100 ms	107,8 ms	✓
T	7,068 A	7,068 A	✓	T	100 ms	107,8 ms	✓

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 23. Medida de la resistencia de contactos – Interruptor celda de salida – Sub 3

CORRIENTE DE PRUEBA (A)	CORRIENTE APLICADA (A)	MEDIDO EN	REFERIDO A 75°C (Ω)	RESULTADO
100 A	102 A	R	30,2 $\mu\Omega$	CORRECTO
100 A	102 A	S	31,8 $\mu\Omega$	
100 A	102 A	T	29,1 $\mu\Omega$	

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 24. Medida de la resistencia de aislamiento – Interruptor celda de salida – Sub 3

TENSIÓN DE PRUEBA	ELEMENTOS ANALIZADOS	MEDIDA	RESULTADO
10 kV	Fase R	2,22 TΩ	CORRECTO
10 kV	Fase S	2,64 TΩ	CORRECTO
10 kV	Fase T	2,05 TΩ	CORRECTO
10 kV	Fase R - masa	1,578 TΩ	CORRECTO
10 kV	Fase S - masa	1,704 TΩ	CORRECTO
10 kV	Fase T - masa	2,25 TΩ	CORRECTO

Fuente: Elaboración propia del autor

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis General

La hipótesis general “El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023” se comprueba mediante los resultados obtenidos ya que se pudo ver que el mantenimiento eléctrico preventivo es fundamental para garantizar la confiabilidad de operación del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Mediante inspecciones regulares, pruebas y análisis de los componentes eléctricos, como transformadores, interruptores y cables, se pueden identificar y corregir posibles fallas o desgastes antes de que se conviertan en problemas graves. Esto permite evitar interrupciones no planificadas en la producción, minimizar el riesgo de daños en los equipos y asegurar un suministro eléctrico continuo y confiable, lo que es esencial para mantener la eficiencia operativa y la calidad del producto final.

Hipótesis Especifica 1

La primera hipótesis específica “La limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023” se comprueba

mediante los resultados encontrados donde se ve que la limpieza integral de activos eléctricos desempeña un papel crucial en garantizar la confiabilidad de operación del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Mediante la eliminación regular de suciedad, polvo, grasa u otros contaminantes que se acumulan en los componentes eléctricos, como interruptores, contactos y conductores, se evita la formación de arcos eléctricos, cortocircuitos y posibles fallas en el sistema. Esta limpieza ayuda a mantener la conductividad adecuada, la eficiencia energética y reduce los riesgos de incendio o daño en los equipos, lo que contribuye a una operación confiable y segura del sistema eléctrico en la planta.

Hipótesis Especifica 2

La segunda hipótesis específica “Las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023” se comprueba mediante los resultados obtenidos ya que se pudo ver las pruebas eléctricas desempeñan un papel fundamental en garantizar la confiabilidad de operación del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Estas pruebas consisten en evaluar el estado de los componentes eléctricos, como transformadores, interruptores, cables y protecciones, mediante mediciones precisas de resistencia, corriente, tensión y aislamiento. Al realizar estas pruebas de manera regular, se pueden detectar posibles fallos, desgastes o desviaciones en el rendimiento, lo que permite tomar acciones preventivas antes de que ocurran interrupciones o daños mayores. De esta manera, las pruebas eléctricas contribuyen a mantener la confiabilidad, la eficiencia y la seguridad del sistema eléctrico de la planta embotelladora.

Hipótesis Especifica 3

La tercera hipótesis específica “La limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023” se comprueba mediante los resultados obtenidos ya que obtuvimos que la limpieza y mantenimiento adecuados de las puestas a tierra desempeñan un papel

esencial en garantizar la confiabilidad de operación del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Al mantener las puestas a tierra limpias y en buen estado, se asegura una conexión efectiva entre los equipos eléctricos y el sistema de tierra, lo que ayuda a disipar corrientes de falla y proteger contra sobretensiones. Además, realizar inspecciones periódicas y pruebas de resistencia en las puestas a tierra permite detectar posibles problemas, como corrosión o malas conexiones, y corregirlos a tiempo, evitando así daños en los equipos, interrupciones en la producción y riesgos para la seguridad de la planta. En resumen, la limpieza y el mantenimiento de las puestas a tierra aseguran una operación confiable y segura del sistema de media tensión en la planta embotelladora de agua mineral.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En la investigación realizada por Díaz (2020), la cual planteó como objetivo aplicar la metodología de mantenimiento RCM; además, se pretende mejorar la gestión de repuestos de equipos críticos con la aplicación de la metodología de Repuestos Centrados en Confiabilidad RCS. Los resultados obtenidos en el análisis de Criticidad se destacan que existen 7 sistemas eléctricos categorizados como “CRÍTICOS”, a los cuales se aplicó RCM. Para los sistemas que se encuentran dentro de la categoría de “IMPORTANTE” y “NORMAL” se aplicarán las técnicas de mantenimiento tradicionales. Las hojas de información y decisiones de RCM reflejan un análisis de las capacidades del sistema en las condiciones de operación de la central eléctrica de Alazan. Esto le permite determinar el tipo y el impacto de las fallas y, como resultado, definir las tareas de mantenimiento a realizar. La aplicación de RCM a los sistemas eléctricos críticos allana el camino para la aplicación de la gestión centrada en repuestos de RCS para determinar la lista óptima de repuestos que se pueden usar para garantizar la confiabilidad de cada sistema crítico. Esto se ve reflejado en nuestra investigación ya que podemos ver que el análisis de criticidad durante las pruebas eléctricas en una planta embotelladora de agua mineral es crucial para garantizar la confiabilidad del sistema de media tensión. Permite identificar y priorizar los componentes críticos, enfocando los esfuerzos de mantenimiento y corrección en aquellos que tienen mayor impacto en la operación y seguridad.

Esto asegura una asignación eficiente de recursos y mantiene el funcionamiento óptimo del sistema, contribuyendo a la continuidad del suministro eléctrico y la seguridad de la planta.

En la investigación realizada por Ramos (2019) la cual planteó como objetivo tener mejor funcionamiento de los sistemas de control y sistemas eléctricos de potencia, realizando los mantenimientos adecuados en el tiempo establecido en el programa. Los resultados fueron que se encontró que el aislamiento externo que une las puntas de alimentación al motor estaba desgastadas, dañada y un poco enmeladas, por lo que procedimos a realizar el cambio de aislamiento; y reemplazar los rodamientos requiere desmontar el motor para exponerlo desde la base. Prueba manualmente para ver si está roto. Si los rodamientos están bien, acabas de limpiarlos y engrasarlos. De lo contrario, reemplacé los rodamientos si estaban dañados. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación ya que las pruebas eléctricas y la limpieza integral son clave para garantizar la confiabilidad del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Las pruebas identifican posibles fallas y desgastes, mientras que la limpieza previene cortocircuitos y asegura un suministro eléctrico confiable. Esto evita interrupciones, protege los equipos y asegura la calidad del agua mineral producida.

En la investigación realizada por Santana (2022) la cual planteó como objetivo proponer un plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión para la empresa SPCC. Como resultado del análisis de SPCC del costo anual de todas las líneas de transmisión, se confirmó que el mayor costo de mantenimiento se debió a la limpieza a alta temperatura de las líneas de transmisión utilizando vehículos de limpieza, el alquiler por hora cuesta aproximadamente \$120 y el costo del lavado en caliente equivale a un costo promedio total de mantenimiento de la línea de transmisión de SPCC de 36%. Basado en la alta confiabilidad de las líneas de transmisión SPCC, análisis de criticidad, análisis FMEA, análisis FMECA, análisis costo-riesgo-beneficio, análisis RCM. Se sugiere reducir a la mitad la frecuencia de lavado en caliente. Esto ahorrará \$69 550 anualmente y ahorrará un 20,8% anual en los costos de mantenimiento de la línea de transmisión,

optimizando así el programa de mantenimiento actual de SPCC. Esto se ve reflejado en nuestra investigación ya que el análisis de costo, riesgo y beneficio en el mantenimiento preventivo asegura la confiabilidad del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Al evaluar los costos y riesgos asociados, se implementan estrategias de mantenimiento adecuadas, como inspecciones, pruebas y reemplazos, para prevenir fallas y interrupciones costosas. Esto garantiza una operación confiable, minimiza los costos a largo plazo y asegura la producción continua de agua mineral de calidad.

En la investigación realizada por Rojas (2020) la cual titula planteó como objetivo asegurar que los equipos y máquinas eléctricas asignados de la planta C2 tengan planes de mantenimiento preventivo optimizado aplicando la táctica PMO. Los resultados fueron que se emplearon tácticas de optimización de mantenimiento preventivo optimizadas para garantizar que el equipo eléctrico y la maquinaria asignados a la planta C2 tuvieran programas de mantenimiento preventivo optimizados, se pueden identificar máquinas y equipos eléctricos instalados en las áreas húmedas de plantas C2 con PMO aplicado, y en esta etapa se pueden detectar equipos eléctricos sin códigos de dispositivo y otros equipos eléctricos con códigos similares. Se logra verificar la ejecución de los planes de mantenimiento optimizados al recabar la información de las órdenes de mantenimiento ejecutadas por personal técnico. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación ya que pudimos ver que las tácticas de optimización del mantenimiento preventivo son fundamentales para garantizar la confiabilidad del sistema de media tensión en una planta embotelladora de agua mineral. Estas tácticas se basan en análisis de datos, inspecciones y tecnologías de monitoreo para identificar patrones y necesidades de mantenimiento específicas. Esto permite establecer intervalos de mantenimiento adecuados, priorizar las acciones y optimizar los recursos, lo que se traduce en una reducción de costos y una mayor confiabilidad operativa del sistema.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

La responsabilidad ética en el contexto del "Mantenimiento Eléctrico Preventivo para Garantizar la Confiabilidad del Sistema de Media Tensión de la Planta

Embotelladora de Agua Mineral" es fundamental para asegurar el respeto hacia los valores y principios éticos durante el desarrollo de la investigación y las actividades de mantenimiento.

En primer lugar, se debe garantizar el consentimiento informado de todas las partes involucradas, asegurando que los trabajadores y los responsables de la planta comprendan plenamente los propósitos, los riesgos y los beneficios asociados al mantenimiento eléctrico preventivo. Esto implica proporcionar información clara y transparente sobre las acciones a realizar, los posibles impactos y la importancia de la confiabilidad del sistema de media tensión para la seguridad y el funcionamiento eficiente de la planta.

Asimismo, es crucial llevar a cabo el mantenimiento de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables en materia de seguridad eléctrica, respetando los estándares técnicos y garantizando la integridad de los equipos y las instalaciones. Se deben emplear procedimientos y protocolos adecuados para minimizar cualquier riesgo de accidentes o daños durante el mantenimiento, asegurando así la protección de los trabajadores y la preservación de los activos de la planta.

Además, se debe mantener la confidencialidad de la información recopilada durante el estudio, protegiendo la privacidad de los participantes y evitando cualquier divulgación no autorizada. Esto implica asegurar la adecuada gestión de los datos recopilados, su almacenamiento seguro y su uso exclusivamente con fines de investigación, respetando las leyes y regulaciones de protección de datos aplicables.

VII. CONCLUSIONES

El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

La limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

Las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

La limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.

VIII. RECOMENDACIONES

- Establecer un cronograma de inspecciones periódicas para evaluar el estado de los componentes eléctricos clave, como transformadores, interruptores y cables. Esto permite detectar y corregir posibles problemas antes de que se conviertan en fallas graves.
- Identifica los componentes eléctricos críticos que tienen un impacto significativo en la operación y seguridad del sistema. Prioriza las actividades de mantenimiento en estos componentes para asegurar su buen funcionamiento y minimizar los riesgos asociados.
- Utiliza tecnologías de monitoreo en línea, como sensores y sistemas de diagnóstico, para obtener datos en tiempo real sobre el rendimiento de los equipos eléctricos. Esto permite detectar anomalías y tomar acciones correctivas de manera oportuna.
- Proporcionar la protección contra falla a tierra de las subestaciones N° 1 y N°2
- Realizar un seguimiento de la tensión de salida en el transformador N°2 debido a que este se encuentra en el Tap N° 4 contando con una tensión menor a la nominal de la línea.
- Habilitar el cargador de baterías de la subestación N° 3.
- Habilitar la alimentación de los relés de temperatura de la SE N° 2 y SE N°3.
- Realizar pruebas eléctricas complementarias, como: tangente delta, capacitancia, corriente de excitación y análisis fisicoquímico de aceite al transformador.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DÍAZ Navas, Santiago. Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica de la central hidroeléctrica alazán, basado en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad. Tesis (Maestría en gestión de Mantenimiento). Ecuador: Universidad del Azuay, Departamento de Postgrados, 2020. 14 pp.

SANTANA Sánchez, Lino. Plan de mantenimiento basado en RCM para mejorar la confiabilidad de la red de transmisión eléctrica de alta tensión, caso: Southern Peru Copper Corporation-SPCC. Tesis (Maestría en Gestión de la Energía con mención en Electricidad). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, 2022. 83 pp.

ROJAS Saavedra, Julio. Optimización de mantenimiento preventivo en equipos eléctricos de planta concentradora de minerales número 2 de Sociedad Minera Cerro Verde S. A. A. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Industrial). Arequipa: Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, 2020. 601 pp.

RAMOS Cordova, Belmar. Mantenimiento preventivo y correctivo de los esquemas de control y fuerza del sistema eléctrico de potencia del ingenio PUJILTIC. Tesis (Licenciatura en ingeniería eléctrica). México: Tecnológico Nacional de México, 2019. 79 pp.

INGAROCA Ramírez, José. Análisis de la implementación del plan de mantenimiento preventivo en la mejora de los servicios eléctricos” un estudio de revisión sistemática. Tesis (Bachiller en Ingeniería Industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2019. 55 pp.

ROSENTHAL Delgado, Raúl. Análisis de planes de mantenimiento preventivo y su impacto en la confiabilidad de los equipos electrónicos en el periodo 2008-2019: Una revisión de la literatura científica. Tesis (Bachiller en Ingeniería Industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2020. 32 pp.

CONTRERAS Guzmán, Julio. Estudio de coordinación y confiabilidad del sistema eléctrico de distribución Machahuay en 22,9 kV. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Eléctrica). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica, 2021. 160 pp.

VOGLIO Nieto, Luciano. Expansión de la generación en sistemas eléctricos de potencia con consideración de métricas de confiabilidad. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Civil Eléctrica). Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2022. 77 pp.

SANTOS Cáceres, Raúl. Propuesta de gestión del mantenimiento preventivo para garantizar la confiabilidad operativa de la pequeña central hidroeléctrica de Hercca. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Eléctrica). Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica, 2023. 262 pp.

OROZCO Sangama, Mario. Aplicación de la metodología del mantenimiento autónomo para mejorar el plan de mantenimiento correctivo y preventivo de los sistemas eléctricos de distribución de la unidad de negocios bellavista – Electro Oriente S.A. – San Martín. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Mecánica eléctrica). Perú: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Facultad de Ingeniería y Gestión, 2019. 94 pp.

CERNA Jara, Jorge y JARA Mendoza, Leonardo. Plan de Mantenimiento Preventivo RCM en la Red de Media Tensión 22.9 kV en la Provincia de Cajabamba para la Mejora de la Confiabilidad en el Consorcio SESGA-REYSER S.R.L. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica). Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2022. 108 pp.

VÉLEZ Sánchez, Elkin. Implementación de un plan de mantenimiento preventivo centrado en la Confiabilidad (RCM) en máquinas en el proceso de hilandería open end en la empresa Fabricato. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Industrial). Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 2022. 26 pp.

MASABANDA Santana, Adrián. Diseño de un plan de mantenimiento programado para equipos primarios de las subestaciones eléctricas

pertenecientes a la concesión de EMELNORTE S.A. Tesis (Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico). Ecuador: Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, 2023. 116 pp.

HEREDIA Noroña, Wilmer. Implementación de un plan de mantenimiento de equipos y maquinaria para la empresa ADROSES. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Electromecánica). Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, 2022. 97 pp.

ANEXOS

ANEXO N.º 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA: MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PREVENTIVO PARA GARANTIZAR LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN DE LA PLANTA EMBOTELLADORA DE AGUA MINERAL DEL DISTRITO DE SAN MATEO-2023

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
General:	General:	Principal:	V.I. Mantenimiento Eléctrico Preventivo	Limpieza integral de activos eléctricos	Correcto mantenimiento	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativo POBLACIÓN: La población estará conformada por el sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral. MUESTRA: La muestra será el mismo sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral.
¿De qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?	Determinar de qué manera el mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.	El mantenimiento eléctrico preventivo garantiza la confiabilidad del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.		Pruebas eléctricas		
Específicos:	Específicos:	Secundarias		Limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra		
¿De qué manera la limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?	Determinar de qué manera la limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.	La limpieza integral de activos eléctricos garantiza la confiabilidad del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.	V.D. Confiabilidad del sistema de media tensión	SAIDI	Indisponibilidad promedio del servicio	
¿De qué manera las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?	Determinar de qué manera las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.	Las pruebas eléctricas garantizan la confiabilidad del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.				
¿De qué manera la limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023?	Determinar de qué manera la limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad de operación del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.	La limpieza y mantenimiento a las puestas a tierra garantizan la confiabilidad del sistema de media tensión de la planta embotelladora de agua mineral del distrito de san mateo-2023.				

ANEXO N.º 02: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 1

Resistencia de Aislamiento – 800 kVA

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	5 kV	5kV	1 kV
CORRIENTE DE FUGA	93,6 nA	288 nA	90,3 nA
MEDIDO ENTRE	AT - MASA	AT - BT	BT - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	54,7 GΩ	17,76 GΩ	11,33 GΩ

Normas de referencia

Transformer Coil Voltage Rating	Recommended Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Filled	Dry Type
0 - 600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
> 5000	5000	5000	25000

Reference: NETA ATS/MTS Table 100.5 Transformer Insulation Resistance Testing



AT - MASA



AT - BT



BT - MASA

Relación de transformación – 800 kVA

Medidas realizadas

Posición de TAP	U - V / (v+w) - u		V - W / (w+u) - v		W - U / (u+v) - w		RESULTADO
	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	
3	50,217 :1	0,06%	50,217 :1	0,06%	50,216 :1	0,07%	CUMPLE

Normas de referencia

60076-1 © IEC:1993+A1:1999 - 57 -

Table 1 – Tolerances

Item	Tolerance
1. a) Total losses See note 1	+10 % of the total losses
b) Component losses See note 1	+15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
2. Voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings	The lower of the following values: a) ±0.5 % of declared ratio b) ±1/10 of the actual percentage impedance on the principal tapping
Voltage ratio on other tapplings, same pair	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above
Voltage ratio for further pairs	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above



U - V / (v+w) - u



V - W / (w+u) - v



W - U / (u+v) - w

Resistencia de devanados – 800 kVA

Medidas realizadas

DEVANADO	U - V		V - W		W - U		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
ALTA	1,3582 Ω	1,6512 Ω	1,2017 Ω	1,4609 Ω	1,2393 Ω	1,5065 Ω	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.3583 V Desv.: 0.07 %

R med.: 1.3582 Ω t.: 69.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.6512 Ω

U - V

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.2017 V Desv.: 0.04 %

R med.: 1.2017 Ω t.: 32.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.4609 Ω

V - W

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.2393 V Desv.: 0.07 %

R med.: 1.2393 Ω t.: 32.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.5065 Ω

W - U

Medidas realizadas

DEVANADO	u - v		v - w		w - u		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
BAJA	558,5 μΩ	679,0 μΩ	556,8 μΩ	676,9 μΩ	568,3 μΩ	690,9 μΩ	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 5.585 mV Desv.: 0.08 %

R med.: 558.5 μΩ t.: 47.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 679.0 μΩ

u - v

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 5.568 mV Desv.: 0.08 %

R med.: 556.8 μΩ t.: 91.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 676.9 μΩ

v - w

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 5.683 mV Desv.: 0.07 %

R med.: 568.3 μΩ t.: 36.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 690.9 μΩ

w - u

ANEXO N.º 03: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 2

Resistencia de aislamiento – 800 kVA

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	5 kV	5kV	0.25 kV
CORRIENTE DE FUGA	2,50 nA	1,76 nA	225 nA
MEDIDO ENTRE	AT - MASA	AT - BT	BT - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	2,05 GΩ	2,91 GΩ	1,147 GΩ

Normas de referencia

Transformer Coil Voltage Rating	Recommended Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Filled	Dry Type
0 - 600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
> 5000	5000	5000	25000

Reference: NETA ATS/MTS Table 100.5 Transformer Insulation Resistance Testing



AT - MASA



AT - BT



BT - MASA

Resistencia de aislamiento – 125 kVA

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	0,5 kV	0,5 Kv	0,5 kV
CORRIENTE DE FUGA	1,26 nA	0,91 nA	1,09 nA
MEDIDO ENTRE	AT - MASA	AT - BT	BT - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	409 GΩ	563 GΩ	474 GΩ

Normas de referencia

Transformer Coil Voltage Rating	Recommended Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Filled	Dry Type
0 - 600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
> 5000	5000	5000	25000

Reference: NETA ATS/MTS Table 100.5 Transformer Insulation Resistance Testing



AT - MASA



AT - BT



BT - MASA

Relación de transformación – 125 kVA

Medidas realizadas

Posición de TAP	U - V / n - u		V - W / n - v		W - U / n - w		RESULTADO
	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	
1	1,0260 :1	1,81%	1,0273 :1	1,69%	1,0372 :1	0,74%	CUMPLE

Normas de referencia

60076-1 © IEC:1993+A1:1999 - 57 -

Table 1 – Tolerances

Item	Tolerance
1. a) Total losses b) Component losses	See note 1 See note 1
2. Voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings	The lower of the following values: a) ±0,5 % of declared ratio b) ±1/10 of the actual percentage impedance on the principal tapping
Voltage ratio on other tapplings, same pair	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above
Voltage ratio for further pairs	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above



U - V / n - u



V - W / n - v



W - U / n - w

Resistencia de devanados – 800 kVA

Medidas realizadas

DEVANADO	U - V		V - W		W - U		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
ALTA	1,2520 Ω	1,5220 Ω	1,2585 Ω	1,5300 Ω	1,3308 Ω	1,6179 Ω	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.2520 V Desv.: 0.02 %

R med.: 1.2520 Ω t.: 31.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.5220 Ω

U - V

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.2586 V Desv.: 0.02 %

R med.: 1.2585 Ω t.: 32.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.5300 Ω

V - W

Rango: DC 6A Auto

I pru.: 1.000 A R mín.: 200.0 μΩ

I DC: 1.0000 A R máx.: 10.000 Ω

V DC: 1.3309 V Desv.: 0.08 %

R med.: 1.3308 Ω t.: 34.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 1.6179 Ω

W - U

Medidas realizadas

DEVANADO	U - V		V - W		W - U		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
BAJA	591,2 μΩ	718,7 μΩ	596,3 μΩ	724,9 μΩ	610,9 μΩ	742,7 μΩ	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 5.912 mV Desv.: 0.05 %

R med.: 591.2 μΩ t.: 46.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 718.7 μΩ

U - V

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 5.963 mV Desv.: 0.03 %

R med.: 596.3 μΩ t.: 40.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 724.9 μΩ

V - W

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 10.0 A R mín.: 20.00 μΩ

I DC: 10.000 A R máx.: 500.0 mΩ

V DC: 6.109 mV Desv.: 0.08 %

R med.: 610.9 μΩ t.: 38.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 742.7 μΩ

W - U

Relación de transformación – 800 kVA

Medidas realizadas

Posición de TAP	U - V / (v+w) - u		V - W / (w+u) - v		W - U / (u+v) - w		RESULTADO
	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	
2	48,955 :1	0,08%	48,952 :1	0,08%	48,957 :1	0,07%	CUMPLE

Normas de referencia

60076-1 © IEC:1993+A1:1999 - 57 -

Table 1 – Tolerances

Item	Tolerance
1. a) Total losses b) Component losses	See note 1 See note 1
2. Voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings	+10 % of the total losses +15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
Voltage ratio on other tapplings, same pair	The lower of the following values: a) ±0.5 % of declared ratio b) ±1/10 of the actual percentage impedance on the principal tapping
Voltage ratio for further pairs	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above



U - V / (v+w) - u



V - W / (w+u) - v



W - U / (u+v) - w

ANEXO N.º 04: PROTOCOLOS DE PRUEBAS DE LA SUBESTACIÓN 3

Resistencia de aislamiento – 2500 kVA

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	10 kV	10 kV	500 V
CORRIENTE DE FUGA	285 nA	249 nA	180 nA
MEDIDO ENTRE	AT - MASA	AT - BT	BT - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	492 GΩ	450 GΩ	> 1 TΩ

Normas de referencia

Transformer Coil Voltage Rating	Recommended Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Filled	Dry Type
0 - 600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
> 5000	5000	5000	25000

Reference: NETA ATS/MTS Table 100.5 Transformer Insulation Resistance Testing



AT - MASA



AT - BT



BT - MASA

Relación de transformación – 2500 kVA

Medidas realizadas

Posición de TAP	U - V / n - u		V - W / n - v		W - U / n - w		RESULTADO
	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	Rel. Medida	ε	
3	43,416 : 1	0,26%	43,296 : 1	0%	43,334 : 1	0,07%	CUMPLE

Normas de referencia

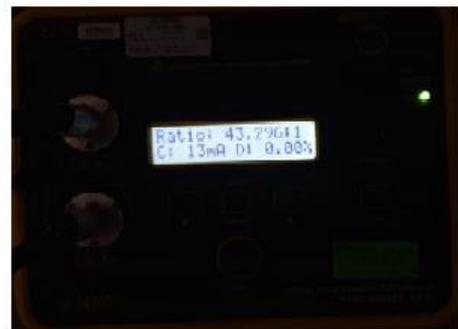
60076-1 © IEC:1993+A1:1999 - 57 -

Table 1 – Tolerances

Item	Tolerance
1. a) Total losses See note 1	+10 % of the total losses
b) Component losses See note 1	+15 % of each component loss, provided that the tolerance for total losses is not exceeded
2. Voltage ratio at no load on principal tapping for a specified first pair of windings	The lower of the following values: a) ±0,5 % of declared ratio b) ±1/10 of the actual percentage impedance on the principal tapping
Voltage ratio on other tappings, same pair	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above
Voltage ratio for further pairs	To be agreed, but not less than the lesser of the values in a) and b) above



U - V / n - u



V - W / n - v



W - U / n - w

Resistencia de devanados – 2500 kVA

Medidas realizadas

DEVANADO	U - V		V - W		W - U		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
ALTA	186,3 mΩ	226,5 mΩ	186,6 mΩ	226,9 mΩ	186,8 mΩ	227,1 mΩ	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 5.0 A R mín.: 40.00 μΩ

I DC: 5.0000 A R máx.: 1.0000 Ω

V DC: 931.6 mV Desv.: 0.02 %

R med.: 186.3 mΩ t.: 53.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 226.5 mΩ

U - V

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 5.0 A R mín.: 40.00 μΩ

I DC: 5.0000 A R máx.: 1.0000 Ω

V DC: 933.1 mV Desv.: 0.02 %

R med.: 186.6 mΩ t.: 46.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 226.9 mΩ

V - W

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 5.0 A R mín.: 40.00 μΩ

I DC: 5.0000 A R máx.: 1.0000 Ω

V DC: 934.2 mV Desv.: 0.05 %

R med.: 186.8 mΩ t.: 47.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 227.1 mΩ

W - U

Medidas realizadas

DEVANADO	u - n		v - n		w - n		RESULTADO
	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	R. Medida	R. Ref. 75°C	
BAJA	142,9 μΩ	173,7 μΩ	140,8 μΩ	171,2 μΩ	156,5 μΩ	190,2 μΩ	CUMPLE

Registro Fotográfico

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 15.0 A R mín.: 13.33 μΩ

I DC: 15.000 A R máx.: 333.3 mΩ

V DC: 2.143 mV Desv.: 0.09 %

R med.: 142.9 μΩ t.: 66.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 173.7 μΩ

u - n

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 15.0 A R mín.: 13.33 μΩ

I DC: 15.000 A R máx.: 333.3 mΩ

V DC: 2.112 mV Desv.: 0.08 %

R med.: 140.8 μΩ t.: 56.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 171.2 μΩ

v - n

Rango: DC 400A Auto

I pru.: 15.0 A R mín.: 13.33 μΩ

I DC: 15.000 A R máx.: 333.3 mΩ

V DC: 2.347 mV Desv.: 0.06 %

R med.: 156.5 μΩ t.: 38.000 s

Compensación de temperatura

T med.: 20.0 °C

T ref.: 75.0 °C R ref.: 190.2 μΩ

w - n

Relé de protección – celda de llegada

Pruebas 1 - Disparo por Cortocircuito

Nº	FASE	I teórico	I disparo	ε < 10%
1	R	5,110 A	5,110 A	✓
2	S	5,110 A	5,110 A	✓
3	T	5,110 A	5,110 A	✓

FASE	t teórico	t disparo	ε < 90 ms
R	200 ms	206,2 ms	✓
S	200 ms	206,2 ms	✓
T	200 ms	206,2 ms	✓

Pruebas 2 - Disparo por Falla Primer Nivel

Nº	Ajuste Corriente	Io teórico	Io disparo	ε < 10%
1	Io >	-	-	-

Ajuste tiempo	to teórico	to disparo	ε < 90 ms
to >	-	-	-

Pruebas 3 - Disparo por Falla Segundo Nivel

Nº	Ajuste Corriente	Io teórico	Io disparo	ε < 10%
1	Io >>	-	-	-

Ajuste tiempo	to teórico	to disparo	ε < 90 ms
to >>	-	-	-

Lógica de mando

	ES	Enclavamiento	O1	O2	O3	O4	O11	O12	O13	O14	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	OPG	
50/51-1	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
50/51-2	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X
50N/51N-1		X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	X
50N/51N-2		X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X
46		X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X
79-defecto eliminado					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
79-defecto permanente					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I11					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I12					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I13					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I14					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I21					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I22					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I23					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I24					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I25					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
I26					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Emisión EL					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TCS o Compl.					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fallo mando					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pick-up	X				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		X
Perro de guardia	X				X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Resistencia de contactos – ITM Celda de Llegada

Medidas realizadas

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS			
CORRIENTE DE PRUEBA	100 A	100 A	100 A
CORRIENTE APLICADA	102 A	102 A	102 A
MEDIDO EN	R	S	T
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE CONTACTO		
1'	40,0 $\mu\Omega$	39,3 $\mu\Omega$	33,2 $\mu\Omega$

Condiciones Ambientales:

HR (%):	80%
T° amb. (°C):	16 °C



R



S



T

Resistencia de aislamiento – ITM Celda de Llegada

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	10 kV	10 kV	10 kV
CORRIENTE DE FUGA	7,78 nA	7,15 nA	11,1 nA
MEDIDO ENTRE	R	S	T
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	1,310 TΩ	1,429 TΩ	921 GΩ

VOLTAJE APLICADO (DC)	10 kV	10 kV	10 kV
CORRIENTE DE FUGA	11.4 nA	5.46 nA	7.09 nA
MEDIDO ENTRE	R - MASA	S - MASA	T - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	896 GΩ	1,867 TΩ	1,438 TΩ

Norma de referencia

TABLE 100.1
Insulation Resistance Test Values
Electrical Apparatus and Systems Other Than Rotating Machinery

Nominal Rating of Equipment (Volts)	Minimum Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance (Megohms)
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,500
8,000	2,500	2,500
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	10,000
34,000	5,000	100,000
46,000 and above	5,000	100,000



R



S



T



R - MASA



S - MASA



T - MASA

Relé de protección – Celda de Salida 1

Pruebas 1 - Disparo por Cortocircuito

Nº	FASE	I teórico	I disparo	$\epsilon < 10\%$
1	R	7,068 A	7,068 A	✓
2	S	7,068 A	7,068 A	✓
3	T	7,068 A	7,068 A	✓

FASE	t teórico	t disparo	$\epsilon < 90 \text{ ms}$
R	100 ms	107,8 ms	✓
S	100 ms	107,8 ms	✓
T	100 ms	107,8 ms	✓

Pruebas 2 - Disparo por Falla Primer Nivel

Nº	Ajuste Corriente	lo teórico	lo disparo	$\epsilon < 10\%$
1	lo >	-	-	-

Ajuste tiempo	to teórico	to disparo	$\epsilon < 90 \text{ ms}$
to >	-	-	-

Pruebas 3 - Disparo por Falla Segundo Nivel

Nº	Ajuste Corriente	lo teórico	lo disparo	$\epsilon < 10\%$
1	lo >>	-	-	-

Ajuste tiempo	to teórico	to disparo	$\epsilon < 90 \text{ ms}$
to >>	-	-	-

Lógica de mando

	ES	Enclavamiento	O1	O2	O3	O4	O11	O12	O13	O14	L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	OPG	
50/51-1	X	X	X	X	X	-					X									X	X
50/51-2	X	X	X	X	X	-						X								X	X
50N/51N-1		X	X	X	-								X							X	X
50N/51N-2		X	X	X	-									X						X	X
46		X	X	X	-															X	X
79-defecto eliminado					-																
79-defecto permanente					-																
I11																					
I12																					
I13																					
I14																					
I21																					
I22																					
I23																					
I24																					
I25																					
I26																					
Emisión EL																					
TCS o Compl.																					
Fallo mando																					
Pick-up	X					-															X
Perro de guardia	X					X															

Resistencia de contactos – ITM Celda de Salida 1

Medidas realizadas

PRUEBA DE RESISTENCIA DE CONTACTOS			
CORRIENTE DE PRUEBA	100 A	100 A	100 A
CORRIENTE APLICADA	102 A	102 A	102 A
MEDIDO EN	R	S	T
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE CONTACTO		
1'	30,2 $\mu\Omega$	31,8 $\mu\Omega$	29,1 $\mu\Omega$

Condiciones Ambientales:

HR (%):	80%
T° amb. (°C):	16 °C



R



S



T

Resistencia de aislamiento – ITM Celda de Salida 1

Medidas realizadas

VOLTAJE APLICADO (DC)	10 kV	10 kV	10 kV
CORRIENTE DE FUGA	4,59 nA	3,86 nA	4,98 nA
MEDIDO ENTRE	R	S	T
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	2,22 TΩ	2,64 TΩ	2,05 TΩ

VOLTAJE APLICADO (DC)	10 kV	10 kV	10 kV
CORRIENTE DE FUGA	6,46 nA	5,98 nA	4,53 nA
MEDIDO ENTRE	R - MASA	S - MASA	T - MASA
TIEMPO DE PRUEBA	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO		
1'	1,578 TΩ	1,704 TΩ	2,25 TΩ

Norma de referencia

TABLE 100.1
Insulation Resistance Test Values
Electrical Apparatus and Systems Other Than Rotating Machinery

Nominal Rating of Equipment (Volts)	Minimum Test Voltage (DC)	Recommended Minimum Insulation Resistance (Megohms)
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,500
8,000	2,500	2,500
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	10,000
34,000	5,000	100,000
46,000 and above	5,000	100,000



R



S



T



R - MASA



S - MASA



T - MASA