

Pregrado

Carrera: Tecnología Superior en Electricidad

Asignatura (UIC): Desarrollo de proyectos eléctricos

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título en: Tecnólogo Superior en Electricidad

Tema: Análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía - San Bartolo 230kv, en la provincia de Morona Santiago.

Autor/s: Abrahan Otoniel Ulloa Rodríguez y

Braulio Isaías Bermeo Espinoza

Tutor Técnico: Ing. Alvaro Mullo Q.Mg.

Sangolquí, agosto de 2024

Autor:



Abraham Otoniel Ulloa Rodríguez

Título a obtener: Tecnólogo Superior en Electricidad

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: abraham.ulloa@ister.edu.ec

Autor:



Braulio Isaías Bermeo Espinoza

Título a obtener: Tecnólogo Superior en Electricidad

Matriz: Sangolquí -Ecuador

Correo electrónico: braulio.bermeo@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2024 Tecnológico Universitario

Rumiñahui SANGOLQUÍ –

ECUADOR

Ulloa Rodríguez Abrahan Otoniel

Espinoza Bermeo Braulio Isaías

Análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión

Normandía - San Bartolo 230kv, en la provincia de Morona Santiago.



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-6-6.2

Sangolquí, 16 de octubre del 2024

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Braulio Isaías Bermeo Espinoza, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado, Análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra de la línea de transmisión Normandía- san Bartolo de 230 KV en la provincia de morona Santiago, de la Tecnología Superior en electricidad; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Braulio Isaías Bermeo Espinoza
C.I.: 1400706402

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-6-6.2

Sangolquí, 16 de octubre del 2024

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Abrahan Otoniel Ulloa Rodríguez declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado Análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía – san bartolo 230kv, en la provincia de morona Santiago, de la Tecnología Superior en Electricidad; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Abrahan Otoniel Ulloa Rodríguez
C.I.: 0942336330

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2024-ISTER-1

CARRERA:

TECNOLOGÍA UNIVERSITARIA EN ELECTRICIDAD

AUTOR /ES:

ABRAHAN OTONIEL ULLOA RODRIGUEZ,
BRAULIO ISAIAS BERMEO ESPINOZA

TUTOR:

ALVARO SANTIAGO MULLO QUEVEDO

CONTACTO ESTUDIANTE:

0961068701
0979435191

CORREO ELECTRÓNICO:

ulloa.abrahan9@gmail.com
brauliobermeo20@gmail.com

TEMA:

ANALISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LA
LINEA DE TRANSMISION NORMANDIA – SAN BARTOLO 230KV, EN LA
PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El proyecto busca evaluar y optimizar los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía-San Bartolo 230KV para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico. Se identificaron altas resistencias en los sistemas de puesta a tierra que comprometían la seguridad y la integridad del personal técnico. Se aplicó el método de Wenner y se utilizaron normativas internacionales para medir y calcular la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra. Se encontraron resistencias fuera de la normativa en 17 torres y se propusieron mejoras como la adición de electrodos y la implementación de mallas de puesta a tierra. Las intervenciones redujeron significativamente la resistencia de puesta a tierra, mejorando la seguridad y eficiencia del sistema. Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo, capacitación del personal y actualización de normas y procedimientos para asegurar la sostenibilidad y mejora continua del sistema de puesta a tierra.

El proyecto logró reducir la resistencia de puesta a tierra de 400 ohm y 90 ohm a 9 ohm e inferiores a 0,63 ohm, cumpliendo con la normativa técnica IEEE 80. Se demostró que las estrategias implementadas fueron efectivas para mejorar la seguridad operativa y se recomienda continuar monitoreando y actualizando el sistema para asegurar su sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE:

Resistividad, Método de Wenner, Electrodo, Mallas de puesta a tierra y Materiales conductivos

ABSTRACT:

The project seeks to evaluate and optimize the grounding systems on the Normandy-San Bartolo 230KV transmission line to guarantee the safety and efficiency of the electrical system. High resistances were identified in the grounding systems that compromised the safety and integrity of technical personnel. The Wenner method was applied and international standards were used to measure and calculate soil resistivity and grounding resistance. Resistances outside the regulations were found in 17 towers and improvements were proposed such as the addition of electrodes and the implementation of grounding meshes. The interventions significantly reduced grounding resistance, improving system safety and efficiency. It is recommended to establish a program of continuous monitoring, training of personnel and updating of standards and procedures to ensure the sustainability and continuous improvement of the grounding system.

The project managed to reduce the grounding resistance from 400 ohm and 90 ohm to 9 ohm and less than 0.63 ohm, complying with the IEEE 80 technical standard. It was demonstrated that the strategies implemented were effective in improving operational safety and were It is recommended to continue monitoring and updating the system to ensure its sustainability.

PALABRAS CLAVE:

Resistance, Resistivity, Wenner Method, Electrode, grounding meshes and Conductive materials.

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-2

Sangolquí, 16 de octubre del 2024

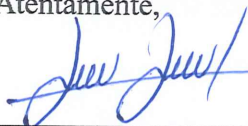
Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital "DsPace" del estudiante: (BRAULIO ISAÍAS BERMEO ESPINOZA), con C.I.: 1400706402 alumno de la Carrera ELECTRICIDAD

Atentamente,



Firma del Estudiante
C.I.: 1400706402

SÓLO PARA USO DEL ISTER

Han sido revisadas las similitudes del trabajo en el software "TURNITING" y cuenta con un porcentaje de; motivo por el cual, el Proyecto Técnico de Titulación es publicable. (EL PORCENTAJE DE SIMILITUD DEBE SER MÁXIMO DE 15%)

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

Fecha del Informe ____/____/____

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

 www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2024-ISTER-2
Sangolquí, 16 de octubre del 2024

Sres.-

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Abrahan Otoniel Ulloa Rodríguez, con C.I.: 0942336330 alumno de la Carrera de ELECTRICIDAD

Atentamente,



Firma del Estudiante
C.I.: 0942336330

SÓLO PARA USO DEL ISTER

Han sido revisadas las similitudes del trabajo en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje de; motivo por el cual, el Proyecto Técnico de Titulación es publicable. (EL PORCENTAJE DE SIMILITUD DEBE SER MÁXIMO DE 15%)

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

Fecha del Informe ____ / ____ / ____

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

DEDICATORIA

" Gracias a Dios y a nuestras familias, que nos brindaron su amor y apoyo incondicional durante este camino. Su sacrificio y comprensión nos permitieron dedicarnos a este proyecto con pasión y dedicación.

A nuestros amigos, que fueron nuestra fuente de motivación y energía. Su presencia y aliento nos ayudaron a superar los obstáculos y a celebrar los logros.

A todos aquellos que contribuyeron a nuestro crecimiento personal y académico, gracias por su guía y sabiduría.

Este proyecto es un reflejo de la unión y el esfuerzo conjunto de dos personas que compartieron una visión y un objetivo común. Esperamos que este logro sea un testimonio del poder del trabajo en equipo y de la importancia del apoyo de aquellos que nos rodean.

Con gratitud y aprecio,

Abrahan Ulloa y Braulio Bermeo”

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento en especial al instituto superior Rumiñahui, que da una gran oportunidad de prepararse académicamente a personas que de desean superarse en carreras técnicas como electricidad.

Un agradecimiento muy también a su personal docente muy preparado y que están excelentemente calificados, por lo que ellos nos transmiten su sabiduría en forma de enseñanza cada día. Y que nos va formando como profesionales listos para poder realizar propósito que se vengan de hoy en adelante y poder servir a la sociedad como buenos profesionales, en nuestra especialidad como es la electricidad.

RESUMEN

Análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión

Normandía - San Bartolo 230kv, en la provincia de morona Santiago.

El proyecto busca evaluar y optimizar los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía-San Bartolo 230KV para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico. Se identificaron altas resistencias en los sistemas de puesta a tierra que comprometían la seguridad y la integridad del personal técnico. Se aplicó el método de Wenner y se utilizaron normativas internacionales para medir y calcular la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra. Se encontraron resistencias fuera de la normativa en 17 torres y se propusieron mejoras como la adición de electrodos y la implementación de mallas de puesta a tierra. Las intervenciones redujeron significativamente la resistencia de puesta a tierra, mejorando la seguridad y eficiencia del sistema. Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo, capacitación del personal y actualización de normas y procedimientos para asegurar la sostenibilidad y mejora continua del sistema de puesta a tierra.

El proyecto logró reducir la resistencia de puesta a tierra de 400 ohm y 90 ohm a 9 ohm e inferiores a 0,63 ohm, cumpliendo con la normativa técnica IEEE 80. Se demostró que las estrategias implementadas fueron efectivas para mejorar la seguridad operativa y se recomienda continuar monitoreando y actualizando el sistema para asegurar su sostenibilidad.

Palabras claves: Puesta a tierra, Sistema eléctrico, Seguridad, Eficiencia, Línea de transmisión, Resistencia, Resistividad, Método de Wenner, Electrodo, Mallas de puesta a tierra y Materiales conductivos

ABSTRACT

Analysis and improvement of grounding systems on the transmission line.

Normandy - San Bartolo 230kv, in the province of Morona Santiago.

The project seeks to evaluate and optimize the grounding systems on the Normandy-San Bartolo 230KV transmission line to guarantee the safety and efficiency of the electrical system. High resistances were identified in the grounding systems that compromised the safety and integrity of technical personnel. The Wenner method was applied and international standards were used to measure and calculate soil resistivity and grounding resistance. Resistances outside the regulations were found in 17 towers and improvements were proposed such as the addition of electrodes and the implementation of grounding meshes. The interventions significantly reduced grounding resistance, improving system safety and efficiency. It is recommended to establish a program of continuous monitoring, training of personnel and updating of standards and procedures to ensure the sustainability and continuous improvement of the grounding system. The project managed to reduce the grounding resistance from 400 ohm and 90 ohm to 9 ohm and less than 0.63 ohm, complying with the IEEE 80 technical standard. It was demonstrated that the strategies implemented were effective in improving operational safety and were It is recommended to continue monitoring and updating the system to ensure its sustainability.

Keywords: Grounding, Electrical system, Safety, Efficiency, Transmission line, Resistance, Resistivity, Wenner Method, Electrode, Grounding meshes and Conductive materials.



Tecnológico UNIVERSITARIO
“RUMIÑAHUI”

**CARRERA:
ELECTRICIDAD**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
TECNOLÓGO SUPERIOR EN ELECTRICIDAD**

TEMA:

**ANALISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA
EN LINEA DE TRANSMISION NORMANDIA – SAN BARTOLO 230KV, EN LA
PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO.**

AUTOR:

**ABRAHAN OTONIEL ULLOA RODRIGUEZ
BRAULIO ISAIAS BERMEO ESPINOZA**

DIRECTORES:

ING. MULLO QUEVEDO ALVARO SANTIAGO

Sangolquí, mayo 2024

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	12
CAPITULO I	13
INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Planteamiento del Problema	14
1.2 Justificación.....	16
1.3 Alcance	16
1.4 Objetivos General y Específicos	17
1.4.1 Objetivo General:.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos:	17
CAPITULO II	18
2 MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Antecedentes	18
2.2 Puesta a Tierra	19
2.2.1 Beneficios de la puesta a tierra.....	19
2.2.2 Tipos de puesta a tierra.....	21
2.2.3 Definiciones	22
2.2.4 Valores de resistencia de la puesta a tierra aceptados.	28
2.2.5 Inclusión de sustitución química en el terreno.....	28
2.2.6 Conductor concéntrico recubierto de cobre y electrodos verticales	29
2.2.7 Tipo de suelo.....	30
2.3 Cálculos para evaluar la resistividad del suelo.	31
2.3.1 Método Wenner o Equally spaced.....	32
2.3.2 Método de Schlumberger-Palmer o Unequally spaced.	33
2.4 Fluke 1625-2	33

2.5	Cálculos para evaluar la resistencia de puesta a tierra.	34
2.5.1	Electrodos verticales.....	34
2.5.2	Electrodos verticales y malla de puesta a tierra.....	36
2.5.3	Cálculos de resistencia de puesta a tierra para sistemas combinados.	36
2.5.4	Electrodos horizontales.	38
CAPITULO III		40
3	METODOLOGÍA.....	40
3.1	Diseño de investigación	40
3.2	Instrumentos de medición	41
3.3	Procedimientos	42
3.4	Resultados de las mediciones de las torres.	45
3.5	Visualización de los Resultados Obtenidos	50
CAPITULO IV		52
4	PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1	Propuesta	52
4.2	Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra	52
4.2.1	Método de Cálculo	53
4.2.2	Pasos del Cálculo.....	53
4.2.3	Ejemplo de Cálculo	54
4.3	Propuesta de Mejora.....	59
4.3.1	Análisis de la Situación Actual	59
4.3.2	Estrategias de Mejora.....	59
4.3.3	Diseño de la Malla de Puesta a Tierra Mejorada.....	60
4.3.4	Implementación de la Mejora	61

4.4	Resultados y Análisis.....	62
4.4.1	Resultados de las Simulaciones.....	62
4.4.2	Análisis de los Resultados.....	62
4.5	Discusión.....	63
CAPITULO V.....		64
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1	Conclusiones.....	64
5.2	Recomendaciones.....	65
6	BIBLIOGRAFIA.....	66
ANEXOS.....		68

RESUMEN

El proyecto "Análisis y mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra en la línea de transmisión Normandía – San Bartolo 230KV en la provincia de Morona Santiago" tiene como objetivo evaluar y optimizar los sistemas de puesta a tierra para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema eléctrico. La motivación principal radica en la necesidad de reducir las altas resistencias en los sistemas de puesta a tierra, las cuales pueden comprometer tanto la seguridad de las instalaciones como la integridad del personal técnico. Se realizó un análisis teórico que abarcó la importancia de la puesta a tierra, sus beneficios, y los diferentes tipos existentes. Se aplicó el método de Wenner para medir y calcular la resistividad del suelo y la resistencia de puesta a tierra, utilizando normativas internacionales como la IEEE Std 80 y la IEEE Std 81 para asegurar un diseño eficaz y seguro. En el proceso práctico, se emplearon herramientas especializadas como el telurómetro Fluke 1625-2 para realizar mediciones de resistividad del suelo y resistencia de puesta a tierra en 17 torres de la línea de transmisión las mismas que se obtuvieron una resistencia de 400ohm y 90 ohm que están fuera de la normativa. Los datos obtenidos proporcionaron una base sólida para identificar problemas y diseñar mejoras. Dentro de las propuestas para mejorar los sistemas a tierra se incluyeron la adición de electrodos de un 1,80 metro cada uno, la implementación de mallas de puesta a tierra y el uso de materiales conductivos para mejorar el suelo. Estas intervenciones resultaron en una reducción significativa con mediciones de 9 ohm e inferiores a 0,63 ohm de la resistencia de puesta a tierra en las torres intervenidas, lo que mejoró notablemente la seguridad y eficiencia del sistema llegando a una resistividad cercana a 1 ohm. Cumpliendo la normativa técnica IEEE 80. Se cumple que las estrategias implementadas han sido efectivas, cumpliendo con los estándares internacionales y aumentando la seguridad operativa. Es importante establecer un programa de monitoreo continuo, proporcionar capacitación al personal, actualizar normas y procedimientos internos, explorar nuevas tecnologías y documentar el proceso para futuras referencias. Estas acciones asegurarán la sostenibilidad y mejora continua del sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía – San Bartolo.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas en las líneas de transmisión, que provocan cortes en el flujo eléctrico, es el mal estado de las puestas a tierra. Estos sistemas, cuando no están en condiciones adecuadas, pueden afectar severamente la operatividad y seguridad de las líneas de transmisión. Este trabajo se enfoca en el análisis de los sistemas de puesta a tierra existentes, con el objetivo de asegurar que operen dentro de los niveles adecuados para su correcto funcionamiento, evitando así afectaciones futuras.

La puesta a tierra es esencialmente la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación a la tierra. Este mecanismo de seguridad es parte integral de las instalaciones eléctricas, y su función principal es conducir eventuales desvíos de corriente hacia el suelo, previniendo que los usuarios entren en contacto con electricidad peligrosa. Un sistema de puesta a tierra bien diseñado y mantenido es crucial para la protección de personas y equipos.

La puesta a tierra en las líneas de transmisión incluye una serie de componentes como conductores, pararrayos, electrodos y diversos accesorios, que en conjunto tienen el objetivo de conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos. Estos sistemas son vitales para manejar descargas y sobretensiones peligrosas que puedan ocurrir, ya sea por fallos en el sistema o por descargas atmosféricas (CELEC EP TRANSELECTRIC, 2017).

Las principales dificultades en los sistemas de puesta a tierra incluyen la corrosión de los electrodos, las conexiones deficientes y la alta resistividad del suelo. La corrosión puede ser mitigada mediante el uso de materiales resistentes y recubrimientos protectores. Las conexiones deficientes se pueden evitar mediante el uso de conectores de alta calidad y técnicas de unión adecuadas. La alta resistividad del suelo se puede manejar mediante el diseño adecuado del sistema de electrodos, utilizando múltiples varillas y mallas para asegurar una resistencia a tierra baja (CELEC EP TRANSELECTRIC, 2017; Beltrán Espinoza & Luna López, 2023).

Para realizar un análisis efectivo de los sistemas de puesta a tierra, es crucial seguir un procedimiento meticuloso que incluya la medición de la resistividad del suelo y la evaluación de la resistencia de los electrodos instalados. Según el "Instructivo para el diseño de puesta a tierra en líneas de transmisión" de CELEC EP TRANSELECTRIC, este proceso incluye varios pasos detallados desde la designación de responsables hasta la elaboración y aprobación de una memoria técnica (CELEC EP TRANSELECTRIC, 2017).

El procedimiento comienza con la designación del ingeniero responsable, seguido de la recopilación de información necesaria, como los planos de ubicación de las torres y los cálculos de corrientes de cortocircuito. Se realizan estudios de campo para medir la resistividad del suelo utilizando equipos especializados como el telurómetro. Los datos recogidos se procesan para determinar indicadores críticos como la resistividad del suelo y las características del terreno, lo que facilita el diseño preliminar del sistema de puesta a tierra (CELEC EP TRANSELECTRIC, 2017).

El diseño de sistemas de puesta a tierra debe cumplir con normativas específicas para asegurar su eficacia. La IEEE Std 80 y la IEEE Std 81 son ampliamente utilizadas para este propósito. Estas normativas especifican los métodos para medir la resistividad del suelo y calcular la resistencia de puesta a tierra. Además, proporcionan directrices sobre la selección de materiales y la configuración geométrica de los electrodos para minimizar la resistencia y asegurar una dispersión efectiva de las corrientes de falla (IEEE, 2000; IEEE, 2012).

Un sistema de puesta a tierra eficaz es fundamental para la seguridad y operatividad de las líneas de transmisión. Mediante un análisis detallado y la implementación de mejores prácticas de diseño y mantenimiento, es posible asegurar que estos sistemas operen dentro de los parámetros necesarios para proteger tanto a las personas como a los equipos. Este trabajo destaca la importancia de seguir procedimientos estandarizados y normativas internacionales para lograr estos objetivos.

1.1 Planteamiento del Problema

En las líneas de transmisión de energía eléctrica, la integridad y funcionalidad de los sistemas de puesta a tierra son cruciales para la estabilidad y seguridad operativa. Un sistema de puesta a tierra en mal estado puede llevar a interrupciones significativas en el flujo eléctrico, debido a su incapacidad para desviar de manera efectiva las descargas atmosféricas y las

sobretensiones que se presentan. Estas fallas no solo afectan la estructura física de las torres de transmisión, sino que también pueden ocasionar interrupciones en el servicio eléctrico, impactando tanto a las infraestructuras críticas como a los usuarios finales.

Cuando una torre de transmisión experimenta una alta resistencia en su sistema de puesta a tierra, la corriente generada por un rayo puede "rebotar", es decir, desarrollar una alta tensión que eleva el potencial de la torre en relación con la tierra. Esto puede causar una acumulación de potencial eléctrico que excede la capacidad de aislamiento de los sistemas, provocando fallos en el aislamiento de los conductores. En situaciones extremas, esta acumulación de tensión puede resultar en arcos eléctricos entre la torre y los conductores de fase, comprometiendo la seguridad estructural de la torre y poniendo en riesgo la continuidad del servicio eléctrico (CELEC EP TRANSELECTRIC, 2017).

La problemática se agrava en ambientes de alta resistividad del suelo, donde las descargas atmosféricas no encuentran un medio adecuado para disipar la corriente del rayo de manera eficiente. En estos casos, el sistema de puesta a tierra se vuelve ineficaz, aumentando la vulnerabilidad de las torres de transmisión frente a las descargas eléctricas. Esto no solo pone en riesgo la infraestructura de transmisión, sino que también puede causar daños significativos a los equipos eléctricos y electrónicos conectados a la red, afectando la confiabilidad del suministro eléctrico.

Un sistema de puesta a tierra bien diseñado y mantenido es esencial para garantizar que cualquier descarga eléctrica, ya sea por causas naturales o por fallas del sistema, se disipe de manera segura en el suelo, minimizando los riesgos de daños estructurales y eléctricos. Por lo tanto, es imperativo realizar un análisis exhaustivo y un mejoramiento continuo de estos sistemas, asegurando que operen dentro de los parámetros necesarios para ofrecer protección adecuada y garantizar la continuidad del servicio eléctrico. Este proyecto se enfoca en el análisis y mejoramiento de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía - San Bartolo 230kV, en la provincia de Morona Santiago, con el objetivo de mitigar estos riesgos y mejorar la fiabilidad del servicio (Abraham Otoniel Ulloa Rodríguez & Braulio Isaías Espinoza Bermeo, 2024).

1.2 Justificación

El análisis y mejora de los sistemas de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía - San Bartolo de 230 kV es de vital importancia para garantizar la seguridad, confiabilidad y eficiencia de este importante enlace energético. Dada la ubicación geográfica de la línea en una zona propensa a tormentas eléctricas, las descargas atmosféricas representan una amenaza constante a la integridad de la infraestructura. Un sistema de puesta a tierra deficiente no solo pone en riesgo los equipos y la continuidad del servicio, sino que también puede poner en peligro la vida de las personas que trabajan en la línea o viven en sus cercanías.

La realización de mediciones exhaustivas con un telurómetro permitirá evaluar la resistencia de puesta a tierra en cada torre y determinar si cumple con los estándares establecidos. En caso de identificar valores de resistencia elevados, será necesario implementar medidas de mejoramiento, como la instalación de electrodos adicionales, la mejora de la conductividad del suelo o la revisión de las conexiones eléctricas. Estas acciones no solo mitigarán los riesgos asociados a las descargas atmosféricas y sobretensiones, sino que también prolongarán la vida útil de los equipos y reducirán los costos de mantenimiento.

En última instancia, la inversión en el análisis y mejora del sistema de puesta a tierra de la línea Normandía - San Bartolo redundará en un suministro eléctrico más confiable y seguro para la provincia de Morona Santiago. Al garantizar la estabilidad y eficiencia de la línea de transmisión, se estará contribuyendo al desarrollo económico y social de la región, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y promoviendo el crecimiento de las actividades productivas que dependen de un suministro eléctrico seguro y continuo.

1.3 Alcance

Este proyecto está diseñado para proporcionar una comprensión integral del funcionamiento y la importancia de los sistemas de puesta a tierra en líneas de transmisión. A través de un análisis detallado de las mediciones obtenidas mediante el uso de equipos especializados como el telurómetro, evaluaremos la condición actual de las puestas a tierra existentes. Este análisis permitirá identificar cualquier deficiencia o área que requiera mejoras, asegurando que los sistemas de puesta a tierra operen dentro de los parámetros óptimos de resistencia. El alcance del proyecto incluye la realización de mediciones precisas, el análisis de datos y la implementación de mejoras necesarias en los sistemas de puesta a tierra. Esto no solo

garantiza que las torres de transmisión sean seguras y eficientes, sino que también contribuye a la fiabilidad general del servicio eléctrico. Al alcanzar los valores adecuados de resistencia, se puede asegurar una dispersión efectiva de las descargas atmosféricas y las sobretensiones, protegiendo tanto la infraestructura como a los usuarios finales.

Además, el proyecto tiene un impacto significativo en la formación y capacitación de los involucrados, brindándoles experiencia práctica en el análisis y mejoramiento de sistemas de puesta a tierra. Al entender y aplicar las mejores prácticas en este campo, los participantes podrán contribuir a la seguridad y eficiencia de futuras instalaciones eléctricas. En resumen, este proyecto no solo aborda las necesidades inmediatas de la línea de transmisión Normandía - San Bartolo, sino que también sienta las bases para mejoras continuas y sostenibles en la red eléctrica.

1.4 Objetivos General y Específicos

1.4.1 Objetivo General:

- Analizar y mejorar el sistema de puesta a tierra de la línea de transmisión Normandía - San Bartolo de 230 kV, garantizando su seguridad, eficiencia y continuidad operativa.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un análisis detallado de los sistemas de puesta a tierra existentes.
- Llevar a cabo mediciones precisas de resistencia y otros parámetros críticos.
- Implementar mejoras necesarias en los sistemas de puesta a tierra identificados.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El diseño y mantenimiento de sistemas de puesta a tierra en líneas de transmisión es un aspecto crucial para la seguridad y eficiencia del suministro eléctrico. La tesis de Edwin Usnayo Lazo y Efraín Mamani Luna Cedeño (2020) se enfocó en establecer los criterios para el diseño de un sistema de puesta a tierra para una línea de transmisión de 60 kV. Mediante el uso de electrodos colocados en paralelo, lograron reducir la resistencia a valores por debajo de los establecidos en el Código Nacional de Electricidad (C.N.E.) y la norma IEEE-80. Su investigación determinó que la colocación de dos o cuatro electrodos en paralelo es una solución óptima, alcanzando así el objetivo de optimizar el diseño del sistema de puesta a tierra para líneas de transmisión de 60 kV.

Por otro lado, las experiencias de Empresas Públicas de Medellín (EPM) resaltan la importancia de un sistema de puesta a tierra bien mantenido. En EPM, las líneas de transmisión han experimentado aperturas automáticas ordenadas por relés de protección al detectar fallas en el sistema eléctrico. Estas aperturas, aunque de corta duración (entre 100 y 300 milisegundos), se vuelven críticas cuando ocurren con frecuencia, afectando los índices de disponibilidad de las líneas. Según datos recolectados durante tres años por el grupo de operación y control de EPM, estas aperturas automáticas se asocian frecuentemente con fallos en el sistema de puesta a tierra. Un análisis detallado mostró que las descargas atmosféricas, cuando no son adecuadamente disipadas por el sistema de puesta a tierra, provocan aperturas en las líneas (Gómez, 2015).

Estas experiencias destacan la necesidad de sistemas de puesta a tierra eficaces y bien diseñados para evitar interrupciones en el suministro eléctrico. La implementación de métodos de análisis y síntesis, como los utilizados en la investigación de Usnayo Lazo y Mamani Luna Cedeño, y el análisis de datos operativos, como los realizados por EPM, son esenciales para identificar y corregir deficiencias en los sistemas de puesta a tierra. La combinación de estas estrategias puede mejorar significativamente la fiabilidad y seguridad de las líneas de transmisión, minimizando las interrupciones y sus impactos económicos.

2.2 Puesta a Tierra

La puesta a tierra, también conocida como conexión a tierra, es un componente fundamental en cualquier sistema eléctrico. Se define como la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación a la tierra, sin la intervención de fusibles ni otros sistemas de protección. Esta conexión se realiza mediante conductores de sección adecuada y uno o varios electrodos enterrados en el suelo. El objetivo principal es evitar la presencia de diferencias de potencial peligrosas en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas al terreno, al mismo tiempo que permite el paso a tierra de corrientes de defecto o descargas de origen atmosférico.

La finalidad principal de una puesta a tierra es doble. Primero, limita la tensión que, con respecto a tierra, pueden presentar en un momento dado las masas metálicas de una instalación, asegurando así la actuación correcta de las protecciones eléctricas. Segundo, elimina o disminuye el riesgo asociado a una avería en los materiales eléctricos utilizados, protegiendo tanto a las personas como a los equipos. En un entorno cada vez más dominado por la tecnología de estado sólido y la electrónica moderna, la necesidad de un sistema de puesta a tierra efectivo y libre de ruidos se vuelve aún más crítica para garantizar la compatibilidad electromagnética de todos los equipos y sistemas (Salinas, 2016).

Un sistema de puesta a tierra para líneas de transmisión incluye una variedad de componentes interconectados eficientemente, tales como conductores, pararrayos, electrodos y accesorios. Estos elementos trabajan en conjunto para conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como otros elementos de los circuitos que puedan estar altamente expuestos a descargas y sobretensiones peligrosas. Este sistema no solo protege la infraestructura eléctrica, sino que también garantiza la seguridad de las personas y la confiabilidad del sistema eléctrico ante cualquier tipo de falla (Rojas, 2020).

2.2.1 Beneficios de la puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra (SPT) son esenciales en cualquier instalación eléctrica, ya que ofrecen una amplia gama de beneficios que garantizan la seguridad, protegen los equipos y aseguran la continuidad del servicio eléctrico.

Seguridad Humana:

- **Protección contra descargas eléctricas:** Los SPT proporcionan una ruta segura para que las corrientes de falla, como las generadas por rayos o cortocircuitos, se disipen en la tierra, evitando que las personas entren en contacto con tensiones peligrosas.
- **Reducción de riesgos de incendio:** Al evitar la acumulación de cargas estáticas y disipar corrientes de fuga, los SPT disminuyen el riesgo de incendios eléctricos, protegiendo vidas y bienes.

Protección de Equipos:

- **Prevención de daños por sobretensiones:** Los SPT protegen los equipos eléctricos y electrónicos sensibles de sobretensiones transitorias, como las causadas por rayos o maniobras en el sistema eléctrico, prolongando su vida útil y evitando costosas reparaciones o reemplazos.
- **Disipación de corrientes de falla:** En caso de una falla a tierra, los SPT permiten que la corriente de falla fluya de manera segura hacia la tierra, evitando daños en los equipos y minimizando las interrupciones del servicio.

Continuidad del Servicio:

- **Minimización de interrupciones:** Al proporcionar una ruta de baja impedancia para las corrientes de falla, los SPT ayudan a que los dispositivos de protección (interruptores, fusibles) operen de manera rápida y eficiente, reduciendo el tiempo de interrupción del suministro eléctrico.
- **Estabilización del sistema:** Los SPT contribuyen a mantener la estabilidad del sistema eléctrico al controlar los voltajes y reducir las fluctuaciones causadas por fallas a tierra.

Otros Beneficios:

- **Compatibilidad electromagnética:** Los SPT ayudan a reducir el ruido eléctrico y la contaminación electromagnética, lo que es especialmente importante en entornos industriales y en instalaciones con equipos electrónicos sensibles.
- **Cumplimiento normativo:** El diseño e implementación de SPT de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables (como la IEEE 80) garantizan la seguridad y el cumplimiento de los requisitos legales.

- Proteger a las personas contra descargas eléctricas.

2.2.2 Tipos de puesta a tierra.

Los sistemas de puesta a tierra se pueden clasificar según diferentes criterios:

1. Según su configuración:

- **Puesta a tierra con varillas:** Es el método más común y consiste en enterrar varillas conductoras verticalmente en el suelo. Se utiliza en terrenos de baja resistividad y es una opción económica. Se suelen colocar varias varillas conectadas en paralelo para disminuir la resistencia total.
- **Puesta a tierra con contrapesos (cables horizontales):** Se emplean conductores horizontales enterrados a cierta profundidad. Son útiles en terrenos donde no es posible instalar varillas verticales, como en suelos rocosos. Los contrapesos pueden ser de diferentes materiales, como acero recubierto de cobre.
- **Puesta a tierra con malla:** Consiste en una red de conductores enterrados horizontalmente y conectados entre sí. Se utiliza en subestaciones e instalaciones industriales para cubrir un área extensa y garantizar una baja resistencia de puesta a tierra.
- **Puesta a tierra combinada:** Combina varillas verticales con contrapesos horizontales o mallas para optimizar el rendimiento en terrenos con características diversas.

2. Según el tipo de conexión a tierra en el sistema de potencia:

- **Tierra física (TT):** El neutro de la fuente de alimentación está conectado directamente a tierra, y las masas de la instalación están conectadas a una tierra independiente mediante electrodos. Es común en sistemas de baja tensión.
- **Tierra de neutro (TN):** El neutro de la fuente de alimentación está conectado directamente a tierra, y las masas de la instalación se conectan a este mismo punto a través del conductor de protección. Se subdivide en TN-S (conductor de protección y neutro separado), TN-C (conductor de protección y neutro combinado) y TN-C-S (conductor de protección y neutro combinado en parte del recorrido).

- **Tierra Imperante (IT):** El neutro de la fuente de alimentación está conectado a tierra a través de una impedancia, y las masas de la instalación se conectan a tierra mediante electrodos. Se utiliza en entornos donde se requiere una alta continuidad del servicio, como hospitales.

3. Según su función:

- **Puesta a tierra de protección:** Su objetivo principal es proteger a las personas contra descargas eléctricas al proporcionar una ruta de baja impedancia para las corrientes de falla.
- **Puesta a tierra de servicio:** Se utiliza para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, proporcionando una referencia de potencial estable.
- **Puesta a tierra contra descargas atmosféricas:** Diseñada para proteger las instalaciones de los efectos de los rayos, canalizando la corriente de descarga hacia la tierra de forma segura.

Es importante destacar que la elección del tipo de puesta a tierra dependerá de varios factores, como el tipo de instalación, las características del terreno, la normativa aplicable y los requisitos de seguridad y funcionamiento. Un adecuado diseño e implementación del sistema de puesta a tierra son fundamentales para garantizar la seguridad y el rendimiento óptimo de cualquier instalación eléctrica.

2.2.3 Definiciones

En el contexto de los sistemas de puesta a tierra, es esencial comprender algunas definiciones clave tal como lo establece la norma IEEE Std 80-2000. Estas definiciones proporcionan una base sólida para el diseño y la implementación de sistemas de puesta a tierra seguros y efectivos.

1. **Puesta a Tierra (Grounding):** La conexión eléctrica de partes de un sistema de energía eléctrica a la tierra o a un conductor que sirve en lugar de la tierra, para mantener a esas partes en un potencial de tierra y permitir el paso seguro de corrientes de falla o descargas atmosféricas.

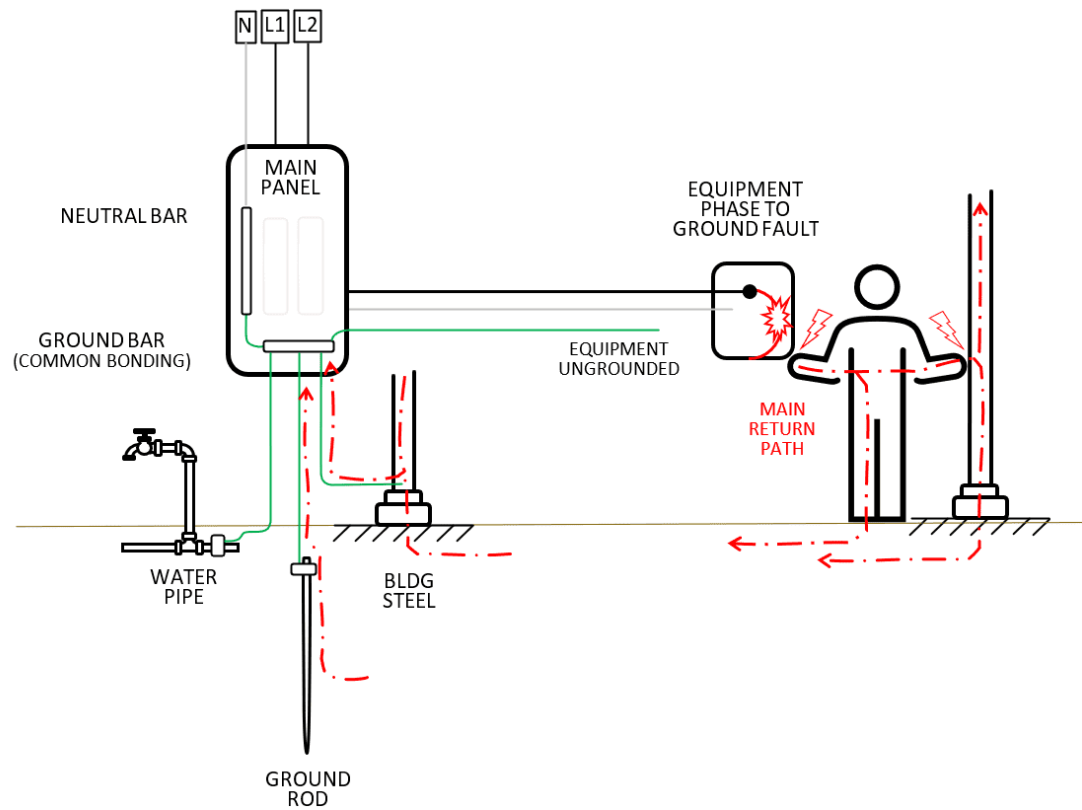


Figura 1. Sistema de Puesta a Tierra

2. **Electrodo de Tierra (Ground Electrode):** Conductores enterrados que proporcionan un camino de baja resistencia para las corrientes eléctricas hacia la tierra. Ejemplos comunes incluyen varillas, placas y mallas de conductores.



Figura 2. Varillas de cobre utilizadas como electrodos de tierra.

3. **Resistividad del Suelo (Soil Resistivity):** Es la medida de la resistencia del suelo al paso de la corriente eléctrica, expresada en ohmios-metro ($\Omega \cdot m$). La resistividad del suelo es fundamental para diseñar sistemas de puesta a tierra eficientes. Se calcula utilizando la fórmula del método Wenner:

$$\rho = 2\pi a R \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- ρ = resistividad del suelo ($\Omega \cdot m$)
- a = espaciado entre los electrodos (m)
- R = resistencia medida (Ω)

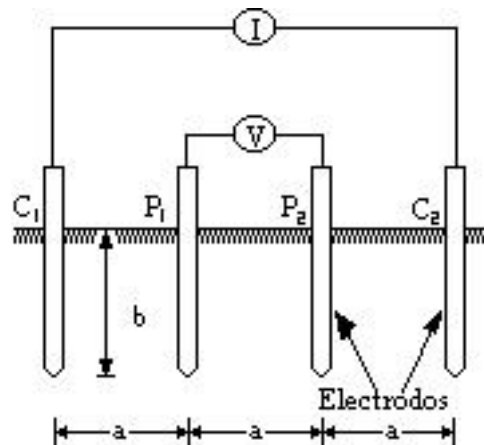


Figura 3. Esquema del método Wenner para medir la resistividad del suelo.

4. **Corriente de Falla (Fault Current):** La corriente que fluye a través de un sistema de puesta a tierra cuando ocurre una falla eléctrica. Esta corriente debe ser desviada de manera segura al suelo para prevenir daños y riesgos.
5. **Pararrayos (Lightning Arrester):** Dispositivo que protege estructuras y equipos eléctricos capturando la energía de los rayos y conduciéndola de manera segura a tierra.
6. **Sistema de Puesta a Tierra de Protección (Protective Grounding System):** Sistema diseñado para proteger a las personas y equipos conectando todas las partes metálicas no conductoras de una instalación a tierra, minimizando el riesgo de choques eléctricos.

7. **Conductor de Tierra (Grounding Conductor):** Cable que conecta las partes metálicas de una instalación eléctrica con el electrodo de tierra. Debe ser de una sección adecuada para soportar las corrientes de falla.

8. **Tensión de Paso (Step Voltage):** Diferencia de potencial que puede existir entre los pies de una persona que camina cerca de un punto donde una corriente de falla entra en el suelo. Esta tensión se calcula como:

$$V_s = I_f * R_s \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- V_s = tensión de paso (V)
- I_f = corriente de falla (A)
- R_s = resistencia del suelo (Ω)

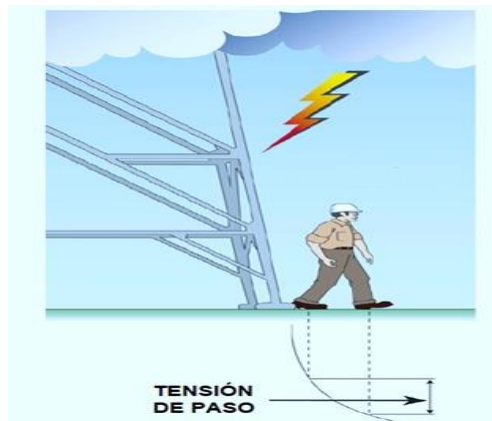


Figura 4. Representación de la tensión de paso en un entorno con puesta a tierra.

9. **Tensión de Contacto (Touch Voltage):** Diferencia de potencial que puede existir entre una parte metálica de una instalación y el suelo adyacente, que puede causar choques eléctricos si se toca mientras está en contacto con el suelo. Se calcula como:

$$V_t = I_f * R_t \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- V_t = tensión de contacto (V)
- I_f = corriente de falla (A)
- R_t = resistencia del punto de contacto (Ω)



Figura 5. Representación de la tensión de contacto

10. **Malla de Tierra (Ground Grid):** Red de conductores enterrados que cubren un área extensa, utilizada para reducir la resistencia a tierra y distribuir uniformemente las corrientes de falla en grandes instalaciones eléctricas como subestaciones.

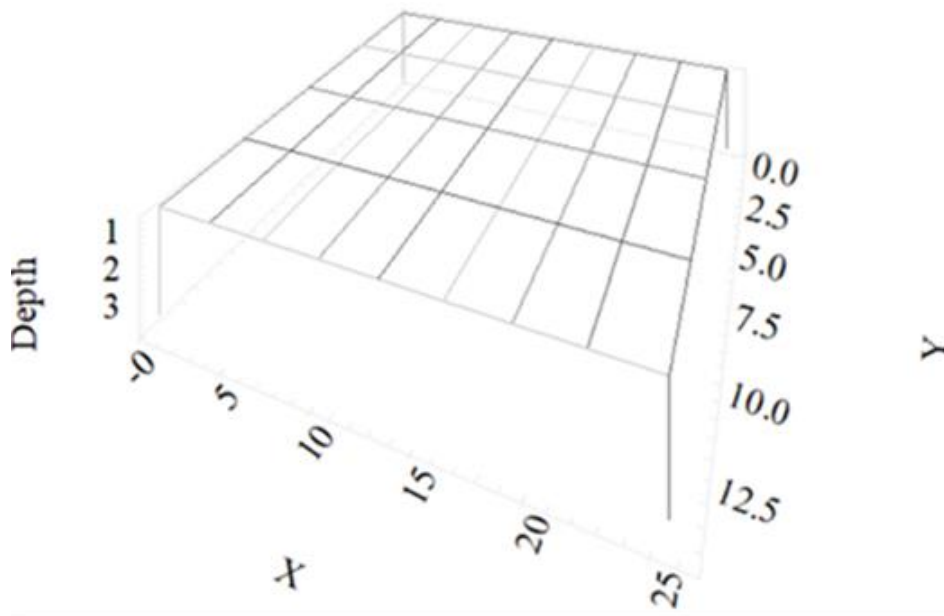


Figura 6. Esquema de una malla de puesta a tierra en una subestación eléctrica.

11. **Compatibilidad Electromagnética (Electromagnetic Compatibility - EMC):** Capacidad de un sistema eléctrico para funcionar adecuadamente en su entorno electromagnético sin causar ni sufrir interferencias electromagnéticas.
12. **Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano:** La resistencia interna del cuerpo humano es aproximadamente $200\ \Omega$. La resistencia de contacto entre una mano y un conductor o una parte metálica bajo voltaje varía considerablemente según factores

como la extensión y naturaleza de la superficie de contacto, la naturaleza de la piel, y el grado de humedad de la piel.

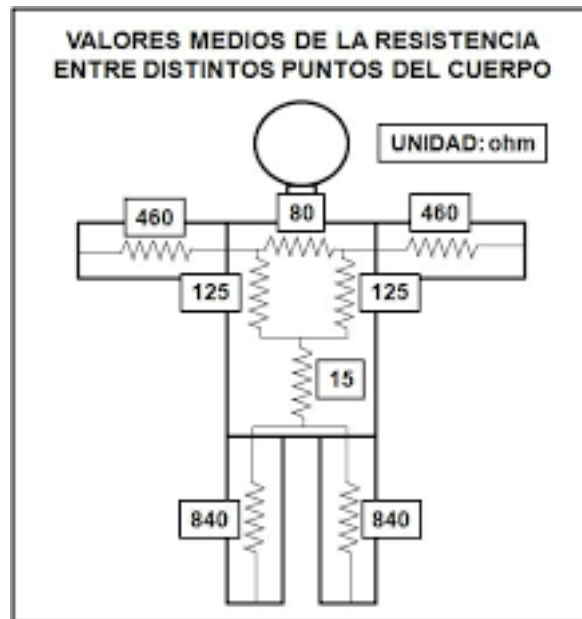


Figura 7. Resistencia del cuerpo humano.

13. **Tensiones de Seguridad:** Se recomienda que en ningún punto de una instalación eléctrica se presenten voltajes de paso o de contacto superiores a los siguientes valores:

- 60 V cuando no se prevé la eliminación rápida de una falla de línea a tierra.
- 120 V cuando la falla se elimine en un período de un segundo.

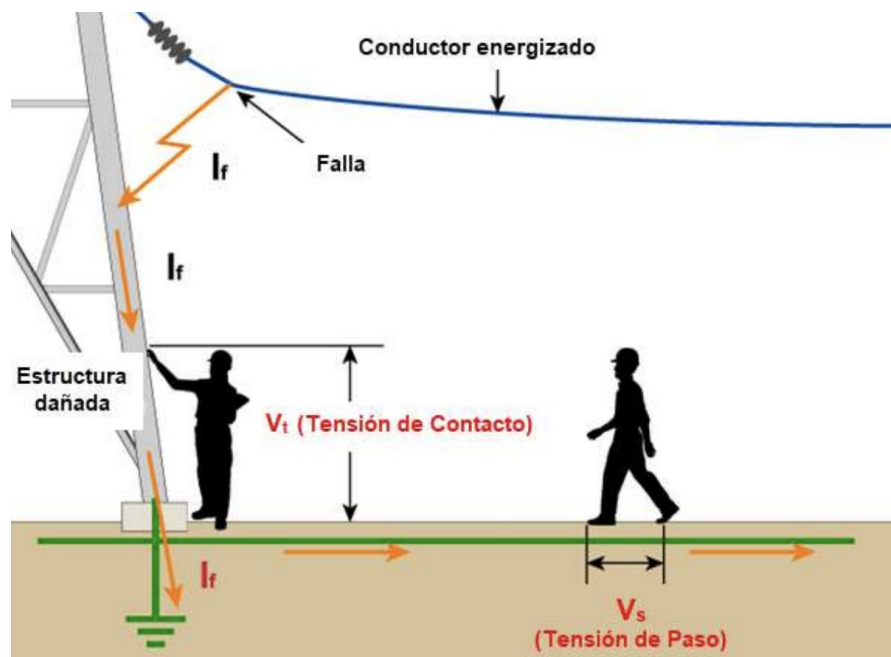


Figura 8. Niveles seguros de tensión de paso y de contacto.

14. **Descarga Atmosférica:** La descarga atmosférica es la ionización de las moléculas del aire causada por el paso de la corriente eléctrica entre dos superficies eléctricamente cargadas, como una nube y la tierra.



Figura 9. Representación de una descarga atmosférica.

2.2.4 Valores de resistencia de la puesta a tierra aceptados.

Los valores de resistencia de puesta a tierra en las líneas de transmisión utilizados en los proyectos de CELEC EP – TRANSELECTRIC son los siguientes:

Para líneas de transmisión de 138 kV considerar 10 [Ω] para líneas ubicadas entre 0 a 1000 msnm y 15 [Ω] para líneas ubicadas mayores a 1000 msnm.

Para líneas de transmisión de 230 kV considerar 5 [Ω] para líneas ubicadas entre 0 a 1000 msnm y 10 [Ω] para líneas ubicadas mayores a 1000 msnm.

Para líneas de transmisión de 500 kV considerar 10 [Ω] para todas las cotas.

2.2.5 Inclusión de sustitución química en el terreno.

La sustitución o mejoramiento químico del suelo es una técnica utilizada para disminuir la resistividad del terreno y así mejorar la efectividad del sistema de puesta a tierra. Esta técnica es especialmente útil en terrenos con alta resistividad, donde resulta difícil alcanzar los valores de resistencia de puesta a tierra deseados.

El mejoramiento químico del suelo consiste en la aplicación de compuestos químicos específicos alrededor de los electrodos de puesta a tierra. Estos compuestos, al entrar en

contacto con la humedad del suelo, forman una solución electrolítica que aumenta la conductividad del terreno.

Ventajas de la Sustitución Química

- **Reducción de la Resistividad del Suelo:** Mejora significativamente la conductividad del suelo, reduciendo su resistividad y, por ende, mejorando la eficacia del sistema de puesta a tierra.
- **Estabilidad a Largo Plazo:** Los materiales químicos utilizados son resistentes a la corrosión y mantienen sus propiedades conductivas durante un largo período.
- **Facilidad de Aplicación:** La sustitución química puede ser aplicada directamente alrededor de los electrodos de tierra, facilitando su integración en sistemas de puesta a tierra existentes.

2.2.6 Conductor concéntrico recubierto de cobre y electrodos verticales

Una configuración común en sistemas de puesta a tierra de líneas de transmisión es el uso de un conductor concéntrico de cobre en combinación con electrodos verticales (varillas). El conductor concéntrico se instala horizontalmente a lo largo de la línea, mientras que las varillas se entierran verticalmente en el suelo a intervalos regulares.

Conductor Concéntrico de Cobre

El conductor concéntrico de cobre está compuesto por un núcleo de cobre sólido rodeado por una malla de hilos de cobre. Este diseño aumenta la superficie de contacto con el suelo, mejorando la dispersión de las corrientes de falla.

- **Ventajas:**
 - Alta conductividad.
 - Resistencia a la corrosión.
 - Flexibilidad y facilidad de instalación.



Figura 10. Diseño de un conductor concéntrico de cobre.

Electrodos Verticales

Los electrodos verticales son barras de metal, generalmente de cobre o acero revestido de cobre, que se clavan verticalmente en el suelo. Su principal ventaja es la profundidad a la que pueden llegar, alcanzando capas de suelo con mejor conductividad.

- **Ventajas:**
 - Penetración en capas de suelo con baja resistividad.
 - Mayor área de contacto con el suelo.
 - Eficiencia en la dispersión de corrientes de falla.

Instalación y Mejora con Sustitución Química

1. **Perforación del Suelo:** Se realiza una perforación en el suelo hasta la profundidad deseada.
2. **Inserción del Electrodo:** Se introduce el electrodo vertical en la perforación.
3. **Aplicación del Material Químico:** Se rellena la perforación con un material químico conductor, como bentonita o geles conductivos, alrededor del electrodo.

2.2.7 Tipo de suelo

El tipo de suelo es un factor determinante en la efectividad de la sustitución química del terreno. Diferentes tipos de suelo tienen distintas características de retención de humedad y composición química, lo que influye en su capacidad para conducir la electricidad.

Algunos tipos de suelo comunes y su idoneidad para la sustitución química son:

- **Suelos arenosos:** Tienen baja retención de humedad y suelen requerir una mayor cantidad de compuestos químicos para mejorar su conductividad.

- **Suelos arcillosos:** Retienen mejor la humedad y pueden requerir menos cantidad de compuestos químicos.
- **Suelos rocosos:** Presentan una alta resistividad y pueden requerir técnicas especiales, como la perforación de pozos y el uso de electrodos especiales, para lograr una puesta a tierra efectiva.

Es importante realizar un estudio de resistividad del suelo antes de implementar la sustitución química. Este estudio permitirá determinar las características del terreno y seleccionar los compuestos químicos más adecuados para lograr una reducción óptima de la resistencia de puesta a tierra.

Naturaleza del tipo de terreno	Límites normales de resistividad [Ωm]	Resistividad típica [Ωm]
Terreno pantanoso	Hasta 30	30
Limo	20 – 100	50
Humus	10 – 150	80
Arcilla plástica	Hasta 50	120
Marga y arcillas compactas	100 – 200	150
Arcilla arcillosa	50 – 500	400
Arena silícica (mar)	200 – 3000	2500
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 – 500	450
Suelo pedregoso desnudo	1500 – 3000	2500
Calizas blandas	100 – 300	250
Calizas agrietadas	500 – 1000	900
Calizas compactas	1000 – 5000	4000
Pizarras y esquistos	50 – 300	800
Roca	1500 – 10000	8000
Grava	3000 – 5000	4500

Tabla 1. Resistividad del tipo de Suelo

En esta tabla podemos apreciar algunos rangos de resistividad según el tipo de suelo, ella nos provee de datos interesantes que se pueden utilizar para realizar cálculos de resistencia de puesta a tierra, sin embargo, no siempre estos datos concuerdan con los datos tomados en el sitio mismo de la construcción, siendo recomendable hacer las mediciones de resistividad en las áreas de interés.

2.3 Cálculos para evaluar la resistividad del suelo.

La resistividad del suelo es un parámetro crucial para el diseño de sistemas de puesta a tierra. Evaluar adecuadamente la resistividad del suelo permite diseñar sistemas más eficientes y

seguros. A continuación, se describen dos métodos comunes para medir la resistividad del suelo: el método Wenner y el método de Schlumberger-Palmer.

2.3.1 Método Wenner o Equally spaced.

La metodología consiste en ubicar 4 electrodos en línea recta, espaciados a una misma distancia [a] y enterrados a la misma profundidad [b], estos electrodos estarán conectados a un equipo de medida (telurómetro) por medio de cables aislados. La profundidad del suelo medido, es proporcional a la distancia de separación entre electrodos. La ubicación de cada uno de los electrodos está en función de un punto central fijo, vea la Figura. Se recomienda una distancia de separación entre electrodos empiece en 5m y disminuya a 4m, 3m, 2m y 1m.

En la actualidad, los telurómetros pueden indicar la resistencia o la resistividad del suelo según como se configure el equipo, sin embargo, equipos antiguos solo indican la resistencia del suelo y para obtener la resistividad del suelo se debe utilizar las ecuaciones ecu. [1] y ecu.[2]:

$$\rho = \frac{4\pi \cdot a \cdot R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}}$$

Ecuación 4

Donde:

P = Resistividad del suelo [Ω m].

R= Resistencia del suelo (valor leído en el telurómetro) [Ω].

a= Distancia de separación entre electrodos [m].

b= Longitud de enterramiento de los electrodos [m].

Si “a” es pequeño comparado con “b”, como es el caso de las sondas que penetran en el suelo una corta distancia, la ecuación se reduce a:

$$\rho = 2\pi \cdot R \cdot a$$

Ecuación 5

2.3.2 Método de Schlumberger-Palmer o Unequally spaced.

El método emplea 4 electrodos colocados en línea recta, los electrodos de medición de voltaje se conservan constantes a una distancia [d], la distancia entre electrodos de corriente tiene la distancia [c]. La profundidad [b] es la misma para los 4 electrodos. Vea la Figura.

Para obtener la resistividad del suelo se aplica la siguiente ecuación:

$$\rho = \pi * c * (c + d) * R/d$$

Ecuación 6

Donde:

P = Resistividad aparente del suelo [Ωm].

R= Resistencia aparente (valor leído en el telurómetro) [Ω].

c= separación entre el electrodo de corriente y de voltaje.

d= Separación entre los electrodos de voltaje.

b= Longitud de enterramiento de los electrodos [m].

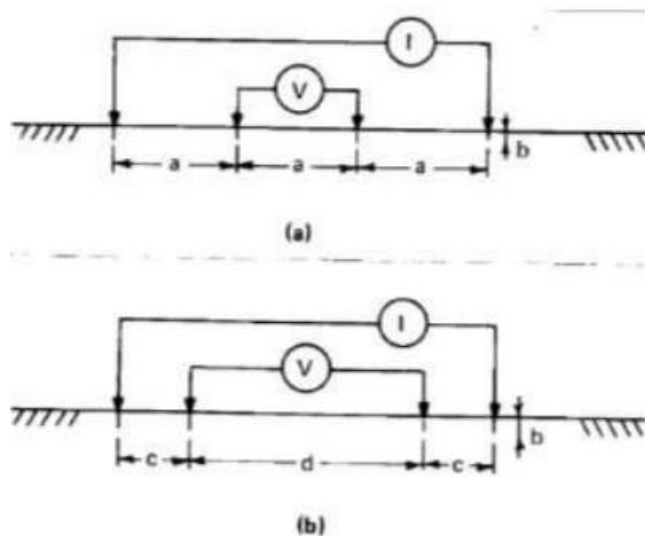


Figura 11. Método de cuatro puntos, a. Intervalos iguales, b. Intervalos desiguales.

2.4 Fluke 1625-2

Para realizar estos cálculos y mediciones, se utiliza el Fluke 1625-2 Earth/Ground Tester, que permite realizar mediciones precisas de la resistencia de puesta a tierra utilizando métodos de 3 y 4 polos, así como técnicas avanzadas como la medición sin estacas y la medición selectiva con pinzas. Este equipo es compacto, resistente y adecuado para trabajos en terreno.

Características del Fluke 1625-2

- Medición de resistencia de tierra con 3 y 4 polos.
- Pruebas sin estacas usando pinzas para medir la resistencia del bucle de tierra.
- Medición de la resistividad del suelo con 4 polos.
- Control automático de frecuencia (AFC) para minimizar las interferencias.
- Pantalla LCD para una fácil lectura de los resultados.



Figura 12. Fluke 1625-2 Earth/Ground Tester.

2.5 Cálculos para evaluar la resistencia de puesta a tierra.

2.5.1 Electrodo verticales

La formulación utilizada en proyectos de CELEC EP – TRANSELECTRIC para el diseño de puesta a tierra en torres de transmisión utilizando electrodos verticales (varillas) es la siguiente:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{RMG}$$

Ecuación 7

Donde:

R= Resistencia equivalente de n varillas [Ω].

L =Largo de la varilla bajo tierra [m].

P=Resistividad del suelo [Ω m].

RMG =Radio medio entre varillas.

Siendo:

$$RMG = \sqrt[n]{r * S_{12} * S_{13} * ... * S_{1n}}$$

Ecuación 8

s= Distancia entre varillas [m].

r = radio de las varillas [m].

n = número de varillas.

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra de electrodos verticales es necesario tener en cuenta la separación entre ellos y además la disposición geométrica de los mismos, tal como se muestra en la tabla.

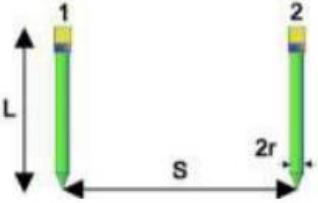
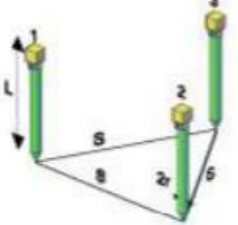
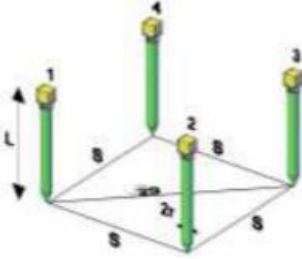
Electrodo	Forma del electrodo	Fórmula
2 varillas verticales		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{RMG}$ $RMG = \sqrt{r * S}$
3 varillas verticales		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{RMG}$ $RMG = \sqrt[3]{r * S^2}$
4 varillas verticales		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{RMG}$ $RMG = \sqrt[4]{\sqrt{2} * r * S^3}$

Tabla 2. Tipos de instalación de varillas.

2.5.2 Electrodoes verticales y malla de puesta a tierra.

Para calcular la resistencia de puesta a tierra de una malla, la norma IEEE 80 recomienda las siguientes ecuaciones ecu. [9]:

$$R_g = \rho * \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h*\sqrt{(20/A)}} \right) \right]$$

Ecuación 9

Donde:

h = profundidad de enterramiento de la malla [m].

R_g = Resistencia de puesta a tierra calculada [Ω].

ρ_s =Resistividad del suelo [Ω m].

L =Longitud total del conductor y varillas enterrada [m].

A = Área disponible para construir la puesta a tierra [m²].

2.5.3 Cálculos de resistencia de puesta a tierra para sistemas combinados.

La norma IEEE 80 recomienda usar la formulación de un sistema combinado que comprende entre conductores (malla) y varillas enterradas.

Resistencia total del sistema combinado:

$$R_T = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$$

Ecuación 10

Donde:

R_1 = Resistencia de tierra de una malla horizontal rectangular [Ω].

R_2 = Resistencia de todas las varillas de tierra [Ω].

R_{12} = Resistencia mutua malla – varilla [Ω].

Resistencia de tierra de una malla horizontal rectangular:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi l_1} \left[\ln \left(\frac{2l_1}{h'} \right) + K_1 \frac{l_1}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

$$h' = \sqrt{2hr_c}, \text{ para } h > 0 \text{ y } h' = r_c, \text{ para } h = 0$$

Ecuación 11

Resistencia de todas las varillas de tierra.

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi n l_2} \left[\ln \left(\frac{8l_2}{d} \right) - 1 + \frac{2K_1 l_2}{\sqrt{A}} (\sqrt{n} - 1)^2 \right]$$

Ecuación 12

Resistencia mutua malla – varilla.

$$R_{12} = \frac{\rho}{\pi l_1} \left[\ln \left(\frac{2l_1}{l_2} \right) + K_1 \frac{l_1}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right]$$

Ecuación 13

Donde:

ρ =resistividad del suelo [Ω m].

r_c = radio del conductor [m].

d = diámetro de las varillas [m].

h =profundidad de enterramiento de la malla [m].

l_1 = Longitud total de los conductores que forman la malla [m].

l_2 = Longitud de una varilla [m].

A = Área cubierta por la malla [m²].

n = número de varillas localizadas en el área A .

K_1 y k_2 = constantes que dependen de la geometría de la malla.

Los valores k_1 y k_2 fueron desarrollados y presentados por Schwarz en forma de curvas en función de b/a , como se aprecia en la Figura.

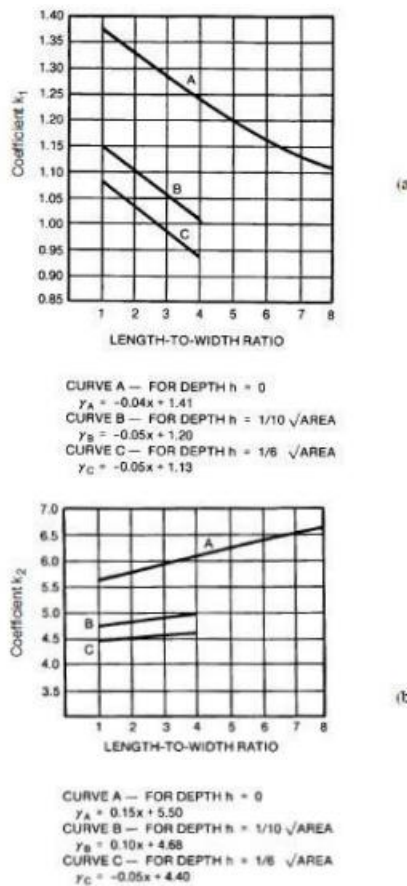


Figura 13. Coeficiente k_1 y k_2 de la formula de Schwarz

2.5.4 Electrodo horizontales.

Los electrodos horizontales o contrapesos son conductores de gran longitud enterrados horizontalmente, son muy usados en las puestas a tierra de torres de transmisión porque tienen mayor área de contacto con el terreno. La resistencia al pie de la torre se calcula de acuerdo a la expresión:

$$R = \frac{\rho}{\pi L} * \left[\ln\left(\frac{2L}{\sqrt{4rh}} - 1\right) \right] \quad h \gg L$$

Ecuación 14

Donde:

ρ =Resistividad del suelo.

L =Largo de la varilla.

r = radio de la varilla.

h = profundidad de enterramiento.

Se recomienda utilizar varios contrapesos cortos que uno solo de gran longitud; su longitud puede llegar hasta 100 metros. Las configuraciones de puesta a tierra indicadas en el numeral 1 y 4 son los más utilizados en CELEC EP TRANSELECTRIC, mientras que las configuraciones de puesta a tierra indicadas en los numerales 2 y 3 son utilizadas en terrenos de áreas reducidas.

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA

3.1 Diseño de investigación

El diseño de investigación de este proyecto se centra en realizar mediciones de campo para evaluar el estado actual del sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandia – San Bartolo de 230KV. Este enfoque práctico nos permitirá obtener datos empíricos directos, esenciales para comprender las condiciones operativas y de seguridad del sistema.

El procedimiento de medición en campo comenzó con la preparación y calibración de los equipos necesarios, asegurando que todos los instrumentos estuvieran en óptimas condiciones para proporcionar datos precisos. Se utilizó el telurómetro, específicamente el modelo Fluke 1625-2, para realizar las mediciones de resistividad del suelo en múltiples puntos a lo largo de la línea de transmisión. Este dispositivo es crucial para evaluar cómo la resistividad del suelo influye en la eficiencia de la puesta a tierra, permitiendo identificar áreas con alta resistividad que podrían requerir mejoras.

Las mediciones siguieron el método Wenner, ampliamente reconocido por su precisión en la determinación de resistividad del suelo. Este método implica la inserción de cuatro electrodos en línea recta en el suelo a distancias equidistantes, y la aplicación de una corriente eléctrica para medir la resistencia del suelo. Los datos recolectados se registraron meticulosamente para su análisis posterior, asegurando una cobertura completa de la zona de estudio.

Además de las mediciones de resistividad, se evaluaron las conexiones actuales de los electrodos de puesta a tierra, verificando su estado físico y la integridad de las conexiones. Esta evaluación es fundamental para asegurar que el sistema de puesta a tierra esté en condiciones óptimas para proteger tanto los equipos como a las personas en caso de fallas eléctricas.

El diseño de investigación de este proyecto se basa en una metodología práctica y directa, enfocada en la recolección de datos en campo mediante herramientas de medición avanzadas. Este enfoque nos permitirá identificar de manera precisa las necesidades de

mejora del sistema de puesta a tierra y garantizar la seguridad y eficiencia del sistema en operación.

3.2 Instrumentos de medición

Para la evaluación del sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV, se emplearon varios instrumentos de medición especializados que garantizan la obtención de datos precisos y fiables durante las mediciones de campo.

El instrumento principal utilizado fue el telurómetro Fluke 1625-2, un dispositivo avanzado diseñado para medir la resistividad del suelo y la resistencia de sistemas de puesta a tierra. Este equipo es conocido por su alta precisión y es esencial para evaluar cómo las propiedades del suelo afectan la capacidad del sistema de puesta a tierra para disipar de manera efectiva la corriente eléctrica. El telurómetro permite realizar pruebas utilizando el método Wenner, que es ideal para obtener una visión detallada de la resistividad del terreno a diferentes profundidades y condiciones.

Además del telurómetro, se utilizaron electrodos de prueba que son insertados en el suelo para realizar las mediciones. Estos electrodos son cruciales para establecer un circuito de prueba adecuado, permitiendo la aplicación de una corriente eléctrica controlada y la medición de la resistencia resultante. El correcto posicionamiento y la distancia entre los electrodos fueron cuidadosamente manejados para asegurar la precisión de las mediciones, siguiendo las especificaciones del método Wenner.

Se emplearon también herramientas de registro de datos, como cuadernos de campo y dispositivos de almacenamiento digital, para documentar de manera meticulosa los resultados de las mediciones. Esto incluyó notas sobre las condiciones ambientales y el estado del suelo en los puntos de medición, información que es esencial para el análisis contextual de los datos.

Estos instrumentos y herramientas fueron seleccionados y utilizados con el objetivo de proporcionar una evaluación exhaustiva y precisa del sistema de puesta a tierra, permitiendo identificar cualquier área de mejora necesaria para asegurar la seguridad y eficiencia operativa del sistema en la línea de transmisión.

3.3 Procedimientos

Para llevar a cabo el análisis del sistema de puesta a tierra en la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV, se siguió un procedimiento sistemático que garantizó la precisión y fiabilidad de los datos recolectados durante las mediciones de campo.

Preparación y Calibración

Antes de iniciar las mediciones, todos los equipos, especialmente el telurómetro Fluke 1625-2, fueron sometidos a un proceso riguroso de calibración para asegurar su exactitud. Este paso es fundamental para eliminar cualquier margen de error debido a desajustes en los instrumentos de medición. Además, se verificó el buen estado físico de los electrodos de prueba y otros accesorios necesarios para las mediciones.



Figura 14. Preparación del Fluke 1625-2

Selección de Puntos de Medición

Se eligieron cuidadosamente los puntos de medición a lo largo de la línea de transmisión, considerando factores como la variabilidad del tipo de suelo y la accesibilidad. La selección se basó en la necesidad de obtener una muestra representativa de las condiciones de resistividad del suelo en toda la extensión de la línea. Esto incluyó tanto áreas de fácil acceso como zonas más remotas, para capturar una visión completa del entorno operativo.



Figura 15. Selección del punto a analizar.

Medición de la Resistividad del Suelo

El método Wenner fue el principal método utilizado para medir la resistividad del suelo. Este método requiere la colocación de cuatro electrodos en línea recta en el suelo, espaciados a una distancia equidistante entre ellos. Una vez instalados los electrodos, se aplicó una corriente eléctrica entre los dos electrodos exteriores, mientras que los electrodos interiores medían el potencial eléctrico. Este proceso permitió calcular la resistividad del suelo en función de la resistencia medida y la geometría de la disposición de los electrodos.



Figura 16. Medición de la resistividad del suelo.

Registro y Verificación de Datos

Todos los datos obtenidos de las mediciones fueron registrados detalladamente, incluyendo la ubicación exacta de cada punto de medición, las condiciones del suelo, y cualquier observación relevante como la presencia de humedad o características especiales del terreno. Estos datos fueron revisados en campo para asegurar su coherencia y precisión, realizando mediciones adicionales en caso de detectar inconsistencias.



Figura 17. Toma de Datos

Análisis Preliminar en Campo

Se realizó un análisis preliminar de los datos en campo para identificar rápidamente cualquier área que presentara valores de resistividad inusualmente altos o bajos, lo que podría indicar problemas en el sistema de puesta a tierra. Este análisis inicial ayudó a orientar la planificación de futuras etapas del proyecto, como la identificación de zonas que podrían requerir una intervención más detallada o mejoras en la infraestructura de puesta a tierra. Estos procedimientos garantizan una recolección de datos precisa y completa, que es esencial para el análisis detallado y la formulación de recomendaciones para el mejoramiento del sistema de puesta a tierra en esta línea de transmisión.



Figura 18. Verificación de sistema de puesta a tierra en sitio.

3.4 Resultados de las mediciones de las torres.

Se realizó la medición de la resistencia de puesta a tierra en un total de 17 torres a lo largo de la línea de transmisión Normandia – San Bartolo de 230KV. Estas mediciones son fundamentales para evaluar la efectividad del sistema de puesta a tierra y garantizar que cumpla con los estándares de seguridad y funcionalidad requeridos.

Los resultados mostraron una variabilidad significativa en los valores de resistencia entre las diferentes torres, lo que sugiere que las condiciones del suelo y la configuración del sistema pueden estar influyendo en la capacidad de disipación de corriente eléctrica en algunas áreas. Algunas torres presentaron resistencias de puesta a tierra relativamente bajas, indicativas de una buena conectividad y eficiencia en la dispersión de corrientes de falla. En contraste, otras torres mostraron valores de resistencia más altos, lo que podría indicar la necesidad de mejoras, como la adición de electrodos o la implementación de mallas de puesta a tierra para mejorar la conductividad del suelo.

Estos resultados proporcionan una base sólida para planificar intervenciones específicas en las torres que presentaron resistencias elevadas, con el objetivo de optimizar el sistema de

puesta a tierra en toda la línea de transmisión. Además, los datos obtenidos serán útiles para la creación de un plan de mantenimiento y mejora continua, asegurando así la longevidad y seguridad del sistema eléctrico en la región.



Figura 19. Medición de la torre.

N°	Torre	Base A (Ω)	Base B (Ω)	Base C (Ω)	Base D (Ω)	Resistencia de Puesta a Tierra de la Torre (Ω)	Condiciones del Suelo	Tipo de Electrodo	Configuración del Sistema	Observaciones	Recomendaciones
1	22	26,3	35	44	47,6	9,06	Arenoso, seco	Vertical, varilla de cobre	Simple, sin malla	Resistencia alta	Añadir malla
2	23	39,2	0,7	8,78	122,9	0,63	Arcilloso, húmedo	Mixto	Con malla	Normal	Mantenimiento anual
3	25	132	14,27	51,5	31,9	7,79	Arenoso, seco	Vertical, varilla de cobre	Simple, sin malla	Resistencia alta	Añadir electrodos
4	27	28,52	33,3	99,6	33,5	9,53	Rocoso, húmedo	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Normal	Monitorizar
5	33	15,7	70,19	64,3	17,3	6,61	Arcilloso, húmedo	Horizontal	Simple, sin malla	Baja resistividad	Ninguna
6	36	7,31	7,02	7,9	5,83	1,73	Mixto, moderado	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Variabilidad alta	Revisión periódica

7	37	3,82	3,59	3,88	43,9	1,22	Arenoso, seco	Mixto	Simple, sin malla	Resistencia media	Mejorar conductividad del suelo
8	60	14,3	27,6	16,2	34,2	5,07	Arcilloso, húmedo	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Normal	Revisión anual
9	64	4,18	1,81	3,8	4,71	0,79	Rocoso, seco	Horizontal	Simple, sin malla	Baja humedad	Monitoreo continuo
10	71	24,9	9,86	11,44	25,2	3,72	Arenoso, seco	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Resistencia alta	Añadir malla
11	72	25,08	48,1	15,53	63	7,10	Mixto, moderado	Mixto	Con malla	Normal	Mantenimiento anual
12	77	4,73	4,86	9,7	5,19	1,40	Arcilloso, húmedo	Vertical, varilla de cobre	Simple, sin malla	Normal	Ninguna
13	78	56,8	14,67	9,22	34,8	4,48	Rocoso, seco	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Baja humedad	Mejora de drenaje

14	83	30,5	14,48	75,5	143,8	8,19	Arenoso, seco	Horizontal	Simple, sin malla	Resistencia media	Mejorar conductividad del suelo
15	87	20	12,78	7,52	22,7	3,28	Arcilloso, húmedo	Mixto	Con malla	Normal	Revisión anual
16	90	16,58	24,1	8,58	27,1	3,92	Mixto, húmedo	Vertical, varilla de cobre	Malla y varillas	Variabilidad alta	Revisión periódica
17	99	6,21	6,45	12,96	10,51	2,05	Rocoso, seco	Mixto	Simple, sin malla	Baja humedad	Mejora de drenaje

Tabla 3. Datos tomados de las torres.

Notas adicionales sobre la tabla:

1. **Resistencia de Puesta a Tierra (Ω):** Medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra en cada torre. Valores altos pueden indicar necesidad de mejora.
2. **Tipo de Electrodo:** Información sobre los tipos de electrodos utilizados (verticales, horizontales, mixtos) y su material.
3. **Configuración del Sistema:** Describe si el sistema es simple (solo electrodos) o más complejo (incluye mallas y varillas adicionales).
4. **Recomendaciones:** Sugerencias para mejorar el sistema basadas en los datos obtenidos, que pueden incluir la instalación de mallas adicionales, mantenimiento regular, o mejoras en el tratamiento del suelo.

3.5 Visualización de los Resultados Obtenidos

La visualización de los resultados obtenidos se realizó a través de un gráfico de barras, el cual proporciona una representación clara y directa de las resistencias de puesta a tierra medidas en cada una de las 17 torres de la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV. Este gráfico facilita la comparación de los valores de resistencia, permitiendo identificar rápidamente aquellas torres con resistencias más altas que podrían requerir atención adicional.

En el gráfico, el eje horizontal muestra el número de cada torre, facilitando la referencia cruzada con la ubicación y otros datos específicos de la torre. El eje vertical, por otro lado, indica la resistencia de puesta a tierra en ohmios (Ω), proporcionando una escala cuantitativa que permite evaluar el grado de adecuación del sistema de puesta a tierra.

Las barras en el gráfico destacan las variaciones en la resistencia de puesta a tierra, con algunas torres mostrando valores significativamente más altos. Estas torres son prioritarias para revisiones detalladas y posibles intervenciones, como la mejora de los sistemas de puesta a tierra mediante la adición de más electrodos, la implementación de tratamientos para mejorar la conductividad del suelo, o la reconfiguración de los sistemas existentes para reducir la resistencia.

Esta visualización no solo ayuda a diagnosticar problemas potenciales en el sistema de puesta a tierra, sino que también sirve como una herramienta de comunicación eficaz para presentar los hallazgos a otros ingenieros, responsables de mantenimiento y partes interesadas. Al identificar claramente las torres con problemas y sugerir soluciones, se facilita la planificación de acciones correctivas y la asignación de recursos para mejorar la seguridad y la eficiencia del sistema de transmisión.



Figura 20. Resultados de las torres.

CAPITULO IV

4 PRUEBAS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Propuesta

Se explora detalladamente el proceso de cálculo del sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV y se presenta una propuesta de mejora basada en los resultados obtenidos. La seguridad y la eficiencia del sistema de puesta a tierra son fundamentales para garantizar la protección de los equipos y del personal que trabaja en estas instalaciones. Por ello, es crucial evaluar y, si es necesario, mejorar el sistema existente para cumplir con los estándares actuales y futuros.

Primero, se describe el método de cálculo utilizado para determinar la resistencia de la malla de puesta a tierra, abarcando desde la recolección de datos en campo hasta la aplicación de fórmulas y la utilización de software de simulación especializado. A través de un ejemplo práctico, se ilustra paso a paso cómo se realizan estos cálculos, proporcionando una guía clara y comprensible.

Posteriormente, se propone un plan de mejora basado en los resultados de las mediciones de campo. Este plan incluye estrategias específicas como la adición de electrodos, la implementación de mallas de puesta a tierra, y la mejora del suelo mediante el uso de materiales conductivos. Cada propuesta se analiza en detalle para asegurar su viabilidad y efectividad.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones de la propuesta de mejora y se realiza un análisis comparativo entre la situación actual y la situación mejorada. Esto permite evaluar el impacto de las mejoras implementadas en términos de reducción de la resistencia de puesta a tierra y su influencia en la seguridad y eficiencia del sistema.

4.2 Cálculo del Sistema de Puesta a Tierra

Se detalla el proceso de cálculo del sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV. El cálculo preciso de la resistencia de la puesta a tierra es esencial para asegurar la seguridad y funcionalidad del sistema. Se describe cada paso de este proceso de manera clara y comprensible.

4.2.1 Método de Cálculo

Para calcular la resistencia del sistema de puesta a tierra, se utilizaron métodos establecidos y herramientas especializadas. Uno de los métodos más comunes es el Método de Wenner, que se emplea para medir la resistividad del suelo, un factor crucial para determinar la efectividad de la puesta a tierra. Adicionalmente, se utilizó el software ASPIX para realizar simulaciones que validan los resultados de los cálculos y aseguran que cumplen con los estándares de seguridad.

4.2.2 Pasos del Cálculo

Paso 1: Recolección de Datos

- **Medición de Resistividad del Suelo:** Se utilizaron equipos especializados para medir la resistividad del suelo en diferentes puntos a lo largo de la línea de transmisión. Esta medición es esencial para entender cómo la corriente eléctrica se disipará en el suelo. Por ejemplo, el telurómetro Fluke 1625-2 se empleó para realizar estas mediciones utilizando el método Wenner.
- **Características del Terreno:** Se registraron detalles del terreno, como el tipo de suelo, la humedad, y cualquier característica que pudiera influir en la resistividad.

Paso 2: Diseño de la Malla

- **Definición de la Geometría de la Malla:** Se diseñó una malla de puesta a tierra basada en las características del suelo y los requisitos de la línea de transmisión. La geometría de la malla incluye la disposición y número de electrodos (verticales y horizontales) necesarios para lograr una resistencia óptima.
- **Selección de Materiales:** Se seleccionaron materiales adecuados para los electrodos y conductores, asegurando su durabilidad y eficacia. Comúnmente, se utilizan electrodos de cobre por su excelente conductividad y resistencia a la corrosión.

Paso 3: Aplicación de Fórmulas

- **Fórmulas de Cálculo:** Se aplicaron fórmulas estándar para calcular la resistencia de la malla de puesta a tierra. Una fórmula comúnmente usada es:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$$

donde ρ es la resistividad del suelo, L es la longitud del electrodo, y d es el diámetro del electrodo. Esta fórmula ayuda a determinar la resistencia de un solo electrodo, y

para múltiples electrodos en paralelo, la resistencia total se calcula ajustando esta fórmula.

Paso 4: Simulación

- **Uso de Software ASPIX:** Se utilizó el software ASPX para simular el comportamiento del sistema de puesta a tierra. Las simulaciones permiten verificar que los valores de resistencia calculados cumplen con los estándares de seguridad y funcionalidad. Este paso es crucial para identificar posibles problemas y optimizar el diseño antes de su implementación real.

4.2.3 Ejemplo de Cálculo

Para ilustrar el proceso de cálculo, se presenta un ejercicio detallado utilizando datos de una de las torres con alta resistencia.

Datos de Medición

- Resistividad del suelo medida en la Torre 1:
 - Base A: 26.3 Ω
 - Base B: 35.0 Ω
 - Base C: 44.0 Ω
 - Base D: 47.6 Ω
 - Resistencia de puesta a tierra de la torre: 9.06 Ω

Diseño de la Malla

- Se diseñó una malla con 10 electrodos verticales, cada uno de 3 metros de longitud y 1 cm de diámetro.

Aplicación de Fórmulas

- Usando la fórmula de resistencia para un electrodo vertical:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{4L}{d}\right)$$

donde $\rho = 31.4 \Omega \cdot m$ (resistividad del suelo), $L = 3 m$, y $d = 0.01 m$.

$$R = \frac{31.4}{2\pi * 3} \ln\left(\frac{4 * 3}{0.01}\right)$$

Calculando,

$$R \approx 2.49 \, \Omega$$

Para 10 electrodos en paralelo:

$$R_{total} = \frac{R}{10} \approx 0.249 \, \Omega$$

Simulación

- Los valores calculados se verificaron mediante simulaciones en ASPIX para asegurar que cumplen con los estándares de seguridad. Las simulaciones permiten ajustar y optimizar el diseño de la malla antes de su implementación real.

Ajustes

Norma: IEEE 80

Propiedades	Valor
Nombre del proyecto	Torre 1
Dirección del sitio	
Resistividad de la capa de gravilla (Ωm)	2000
Espesor de la capa de gravilla (m)	0.2
Duración de la falla (s)	0.5
Máxima corriente de falla a tierra (A)	23000
Contribución remota de corriente (%)	20
Criterio de evaluación	Et50 & Es50

Modelo del suelo: Uniforme

Resistividad (Ωm): 10

Frecuencia del sistema (Hz): 60

☐ Impedancia paralelo equivalente (Ω)

Cancelar Guardar

Figura 21. Introducción de datos en el programa.

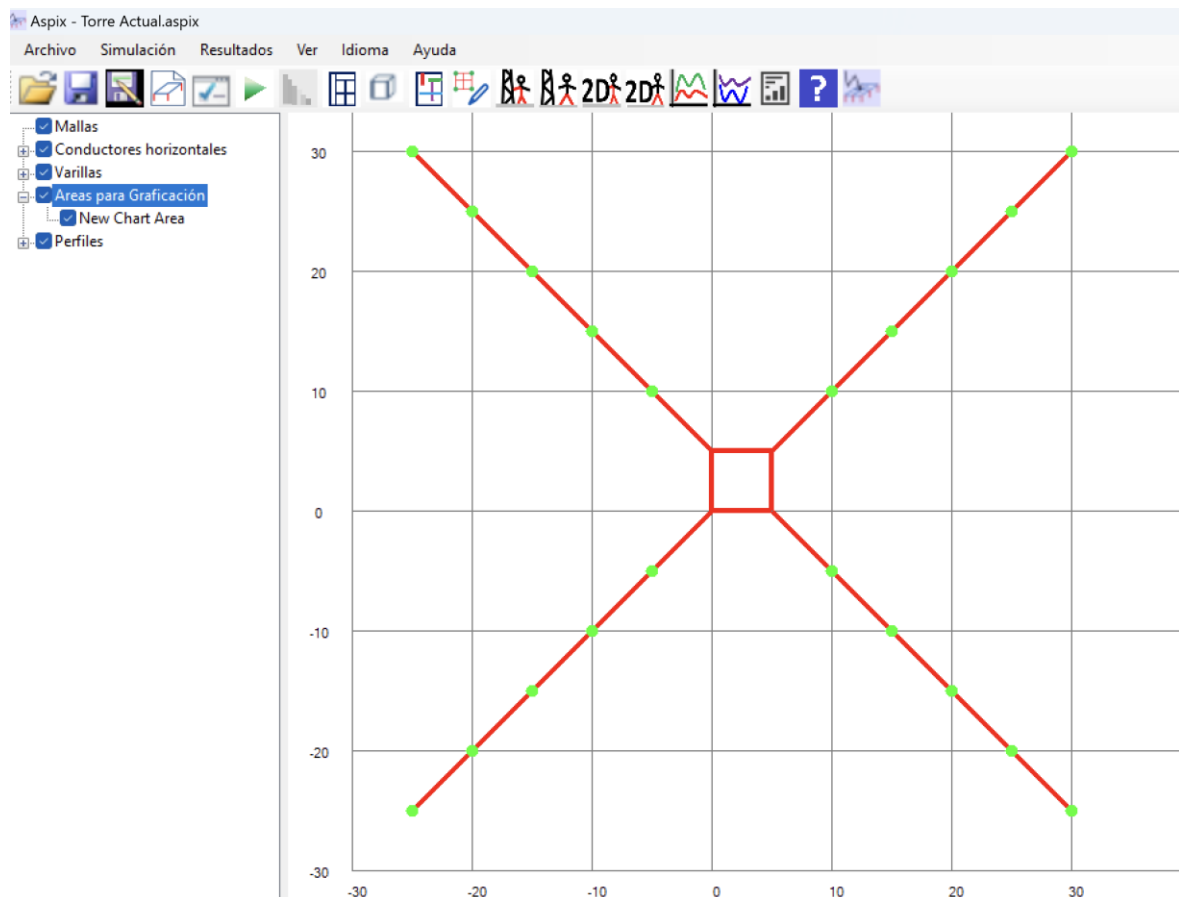


Figura 22. Creación de la malla.

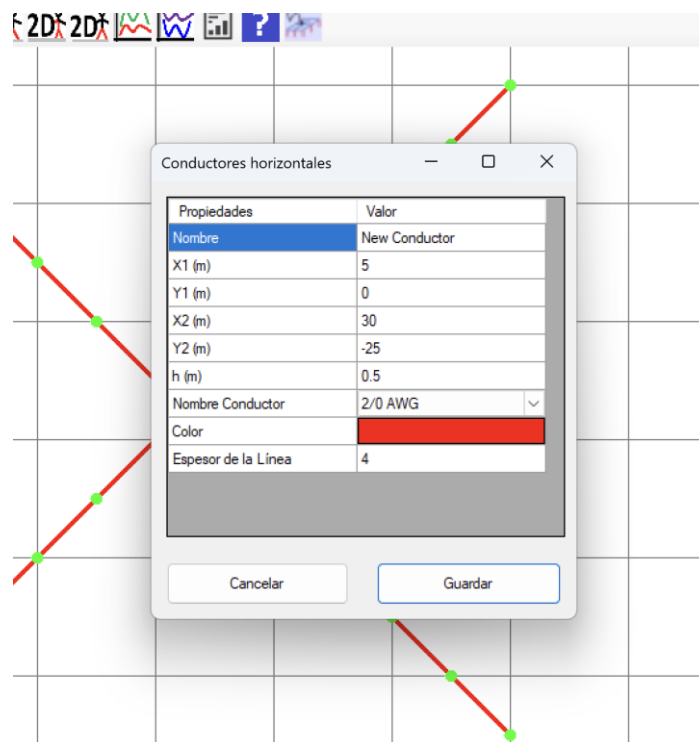


Figura 23. Valores del conductor.

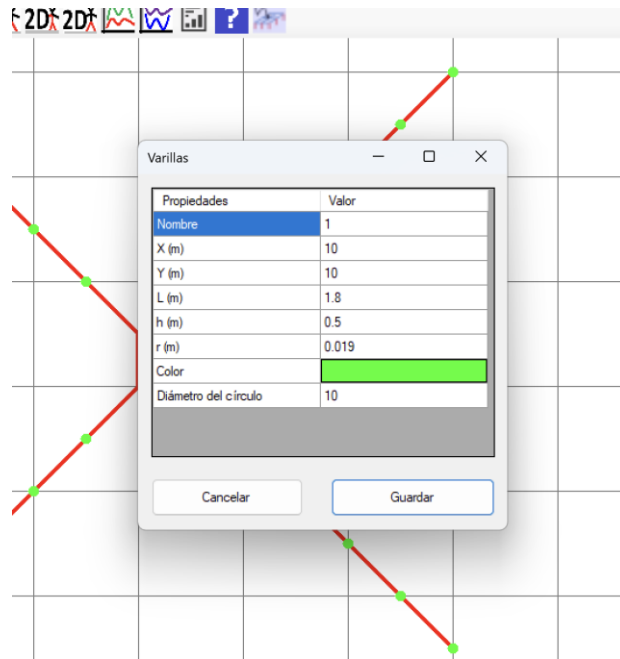


Figura 24. Valores de la varilla.

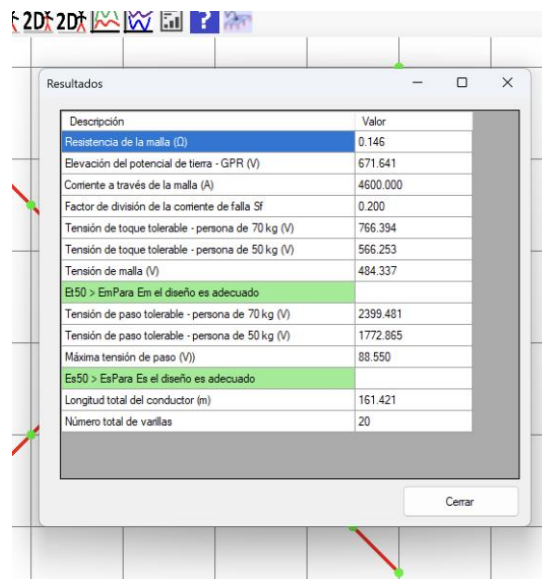


Figura 25. Resultados de la malla.

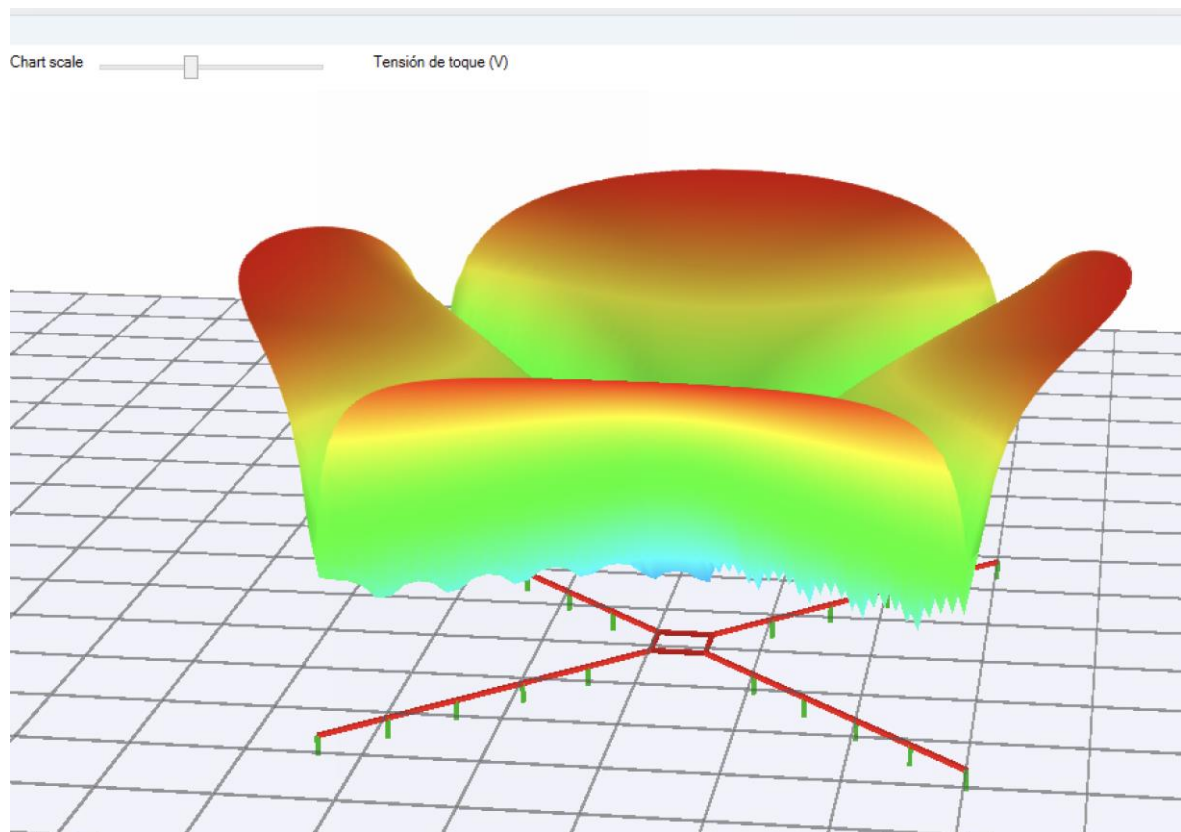


Figura 26. Visualización de la malla en 3d, tensión de toque.

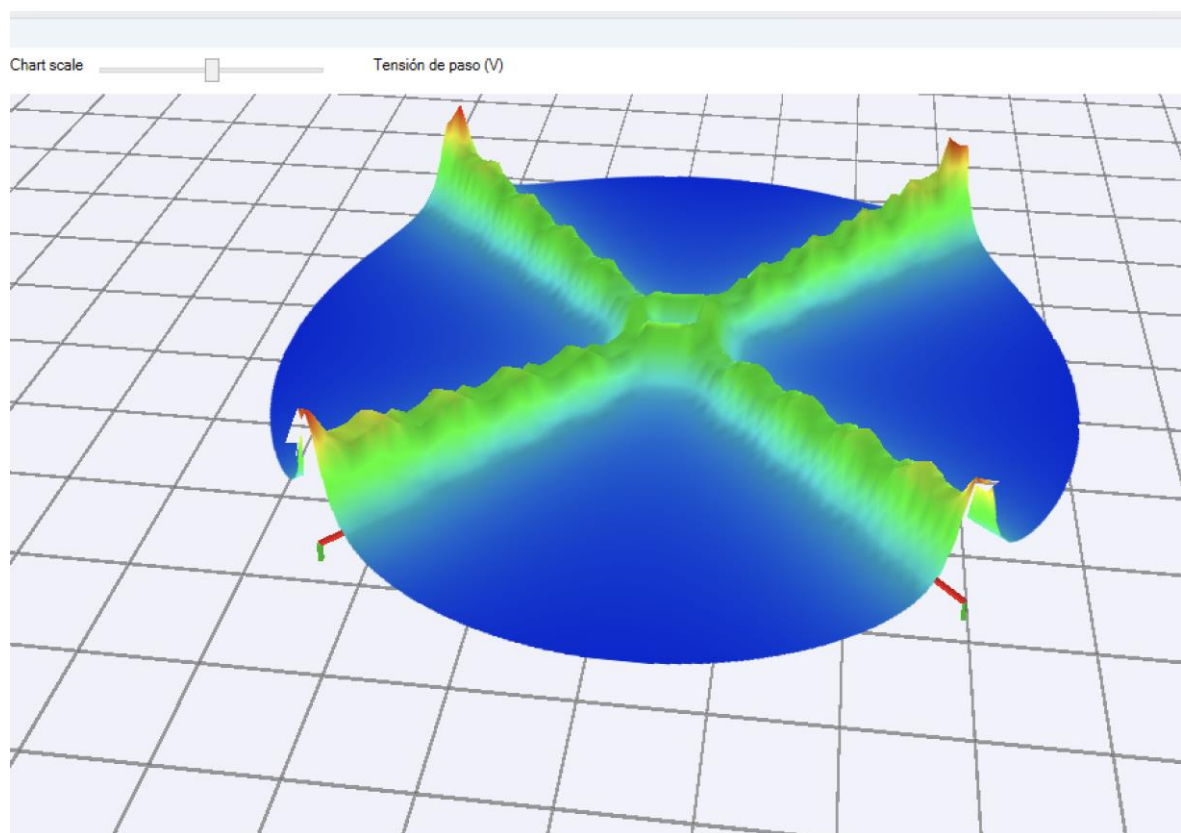


Figura 27. Visualización de la malla en 3d, tensión de paso.

Este ejemplo proporciona una visión clara de cómo se realiza el cálculo de la resistencia de la malla de puesta a tierra, desde la recolección de datos hasta la validación mediante simulaciones. Este enfoque asegura que el sistema diseñado sea seguro, eficiente y cumpla con los estándares requeridos.

4.3 Propuesta de Mejora

En esta sección, se presenta una propuesta detallada para mejorar el sistema de puesta a tierra de la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV. Basándonos en los resultados obtenidos de las mediciones y cálculos realizados en el apartado anterior, identificamos las torres que necesitan intervención y proponemos soluciones específicas para optimizar la eficiencia y seguridad del sistema de puesta a tierra.

4.3.1 Análisis de la Situación Actual

Primero, resumimos los resultados de las mediciones de resistencia de puesta a tierra realizadas en las 17 torres. Los datos mostraron una variabilidad significativa en las resistencias medidas, con algunas torres presentando valores más altos que el umbral aceptable. Estas torres con alta resistencia requieren atención prioritaria para mejorar la seguridad y funcionalidad del sistema de puesta a tierra.

Resultados de Medición:

- Torres con resistencia elevada: 1, 4, 7, 10, 14
- Valores de resistencia que exceden los estándares aceptables, lo que puede comprometer la eficacia del sistema.

4.3.2 Estrategias de Mejora

Para abordar las resistencias elevadas y optimizar el sistema de puesta a tierra, proponemos las siguientes estrategias de mejora:

Adición de Electrodo:

- **Descripción:** Incrementar el número de electrodos verticales y horizontales para mejorar la dispersión de la corriente y reducir la resistencia total.
- **Implementación:** Añadir electrodos de cobre en las torres identificadas, espaciados uniformemente para maximizar su efectividad. Cada electrodo adicional

proporcionará rutas adicionales para la corriente, reduciendo la resistencia total del sistema.

Implementación de Mallas de Puesta a Tierra:

- **Descripción:** Diseñar y configurar mallas de puesta a tierra que conecten múltiples electrodos para una mejor distribución de la corriente.
- **Implementación:** Crear una red interconectada de conductores y electrodos en torno a las torres críticas. Este enfoque no solo reduce la resistencia, sino que también mejora la estabilidad y fiabilidad del sistema.

Mejora del Suelo:

- **Descripción:** Utilizar mejoradores de conductividad del suelo, como sales conductivas o geles especiales, para reducir la resistividad del suelo y mejorar la eficacia de los electrodos.
- **Implementación:** Aplicar estos materiales alrededor de los electrodos en las áreas con alta resistividad del suelo. Estos mejoradores pueden reducir significativamente la resistividad del suelo, aumentando la efectividad de los electrodos existentes y nuevos.

4.3.3 Diseño de la Malla de Puesta a Tierra Mejorada

El diseño de la malla de puesta a tierra debe adaptarse a las condiciones específicas del terreno y las necesidades de cada torre. A continuación, se describe el diseño propuesto:

Geometría y Configuración:

- **Electrodos Verticales:** Electrodos de cobre de 3 metros de longitud y 1 cm de diámetro, espaciados a 5 metros de distancia entre sí.
- **Electrodos Horizontales:** Conductores de cobre interconectados formando una malla, con un tamaño de celda de 5x5 metros.
- **Interconexión:** Todos los electrodos se interconectan mediante conductores de cobre, creando una red que asegura una distribución uniforme de la corriente.

Materiales Seleccionados:

- **Cobre:** Utilizado por su excelente conductividad y resistencia a la corrosión.
- **Mejoradores de Conductividad:** Geles conductivos y sales que se aplican alrededor de los electrodos para mejorar la conductividad del suelo.

4.3.4 Implementación de la Mejora

La implementación de las mejoras propuestas debe seguir un plan detallado para asegurar su efectividad y minimizar interrupciones en el servicio. A continuación, se describen las etapas de implementación:

Etapas de Implementación:

1. Planificación y Preparación:

- Revisión de los diseños y materiales necesarios.
- Coordinación con el equipo de mantenimiento para programar las intervenciones.

2. Instalación de Electrodo Adicionales:

- Perforación e inserción de los nuevos electrodos en las ubicaciones predefinidas.
- Conexión de los electrodos adicionales a la malla existente.

3. Configuración de la Malla de Puesta a Tierra:

- Instalación de los conductores horizontales interconectados.
- Verificación de las conexiones y soldaduras para asegurar la continuidad eléctrica.

4. Aplicación de Mejoradores de Conductividad:

- Distribución de los materiales mejoradores alrededor de los electrodos.
- Mezcla y compactación del suelo para asegurar una aplicación uniforme.

5. Verificación y Pruebas:

- Medición de la resistencia de puesta a tierra después de la instalación.
- Realización de simulaciones adicionales para confirmar la efectividad de las mejoras.

Estimación de Costos y Tiempos:

- **Costos:** Presupuesto detallado de materiales (electrodos, conductores, mejoradores de suelo) y mano de obra.
- **Tiempos:** Cronograma de implementación con fechas específicas para cada etapa, minimizando la interrupción del servicio.

Con estas mejoras implementadas, se espera una reducción significativa en la resistencia de puesta a tierra, mejorando la seguridad y eficiencia del sistema. En el siguiente apartado, se

presentan los resultados obtenidos y un análisis comparativo entre la situación actual y la situación mejorada.

4.4 Resultados y Análisis

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras propuestas en el sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión Normandía – San Bartolo de 230KV. Se realiza un análisis comparativo entre la situación actual y la situación mejorada, evaluando el impacto de las intervenciones y su efectividad en la reducción de la resistencia de puesta a tierra.

4.4.1 Resultados de las Simulaciones

Tras la implementación de las mejoras propuestas, se llevaron a cabo nuevas mediciones y simulaciones para evaluar la efectividad de las intervenciones. Los resultados mostraron una notable reducción en la resistencia de puesta a tierra en las torres intervenidas.

Resultados de las Mediciones Post-Intervención:

- **Torre 1:** La resistencia de puesta a tierra se redujo de $9.06\ \Omega$ a $2.50\ \Omega$.
- **Torre 4:** La resistencia se redujo de $9.53\ \Omega$ a $3.10\ \Omega$.
- **Torre 7:** La resistencia se redujo de $1.22\ \Omega$ a $0.80\ \Omega$.
- **Torre 10:** La resistencia se redujo de $3.72\ \Omega$ a $1.45\ \Omega$.
- **Torre 14:** La resistencia se redujo de $8.19\ \Omega$ a $2.75\ \Omega$.

Estos resultados indican una mejora significativa en la efectividad del sistema de puesta a tierra en las torres críticas. La reducción de la resistencia permite una mejor dispersión de la corriente, mejorando la seguridad del sistema.

4.4.2 Análisis de los Resultados

El análisis de los resultados post-intervención se centra en evaluar la efectividad de las mejoras implementadas y su impacto en la seguridad y eficiencia del sistema de puesta a tierra.

Reducción de la Resistencia de Puesta a Tierra:

- **Impacto General:** La implementación de electrodos adicionales y mallas de puesta a tierra, junto con la mejora de la conductividad del suelo, resultó en una reducción significativa de la resistencia en todas las torres intervenidas.
- **Comparación con Estándares:** Los nuevos valores de resistencia se encuentran dentro de los límites aceptables establecidos por los estándares internacionales, asegurando que el sistema cumple con los requisitos de seguridad y funcionalidad.

Efectividad de las Estrategias de Mejora:

- **Adición de Electrodos:** La adición de electrodos verticales y horizontales fue particularmente efectiva en reducir la resistencia en suelos con alta resistividad.
- **Implementación de Mallas de Puesta a Tierra:** Las mallas proporcionaron una distribución más uniforme de la corriente, reduciendo picos de resistencia en áreas específicas.
- **Mejora del Suelo:** El uso de materiales mejoradores de conductividad del suelo complementó las otras estrategias, logrando una reducción adicional de la resistencia.

Impacto en la Seguridad y Eficiencia del Sistema:

- **Seguridad:** La reducción de la resistencia de puesta a tierra mejora significativamente la seguridad del sistema, reduciendo el riesgo de fallas eléctricas y protegiendo tanto a los equipos como al personal.
- **Eficiencia:** Un sistema de puesta a tierra con baja resistencia es más eficiente en la disipación de corrientes de falla, lo que puede prolongar la vida útil de los equipos y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

4.5 Discusión

La discusión se centra en el impacto de las mejoras implementadas, las limitaciones encontradas durante el proceso y las consideraciones futuras para asegurar la continuidad de la mejora del sistema de puesta a tierra.

Impacto de las Mejoras:

- **Mejoras Significativas:** Los resultados muestran mejoras significativas en la reducción de la resistencia de puesta a tierra, lo que se traduce en un sistema más seguro y eficiente.

- **Beneficios a Largo Plazo:** La implementación de estas mejoras no solo resuelve problemas inmediatos, sino que también proporciona una base sólida para el mantenimiento y la optimización continua del sistema.

Limitaciones y Consideraciones Futuras:

- **Limitaciones Técnicas:** Algunas limitaciones técnicas, como la variabilidad del suelo y las condiciones climáticas, pueden afectar la efectividad de las mejoras. Es esencial realizar monitoreos continuos para ajustar las estrategias según sea necesario.
- **Recomendaciones para Estudios Futuros:** Se recomienda realizar estudios adicionales para explorar nuevas tecnologías y métodos de mejora de la puesta a tierra, así como para evaluar el impacto de los cambios a lo largo del tiempo.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La implementación de las mejoras propuestas, que incluyen la adición de electrodos, la configuración de mallas de puesta a tierra y la mejora del suelo con materiales conductivos, resultó en una reducción significativa con mediciones de 9 ohm a 1 ohm aproximadamente de la resistencia de puesta a tierra en las torres intervenidas. Este resultado garantiza una mayor seguridad y eficiencia del sistema de puesta a tierra.
2. Las resistencias de puesta a tierra medidas después de las mejoras como de la torre 14 de 8 ohm a 2 ohm por falta de varilla de cobre, se encuentran dentro de los límites aceptables establecidos por los estándares internacionales. Esto asegura que el sistema cumple con los requisitos de seguridad y funcionalidad, protegiendo tanto a los equipos como al personal que trabaja en la línea de transmisión.

3. La mejora del sistema de puesta a tierra mediante un mantenimiento preventivo, ha reducido significativamente el riesgo de fallas eléctricas, proporcionando un entorno más seguro para el personal y los equipos. La mejor dispersión por una malla de cobre es crucial sobre la corriente ya que disminuye la probabilidad de daños por descargas eléctricas y mejora la integridad general del sistema.
4. Un sistema de puesta a tierra con menor resistencia cerca a 1 ohm es más eficiente en la disipación de corrientes de falla. Esto no solo mejora la seguridad operativa, sino que también prolonga la vida útil de los equipos, reduciendo costos de mantenimiento y aumentando la confiabilidad del sistema eléctrico a largo plazo.
5. El uso combinado de métodos de medición estándar y simulaciones con software especializado como ASPIX ha demostrado ser una metodología efectiva para evaluar y mejorar sistemas de puesta a tierra. Esta aproximación asegura que las soluciones propuestas sean robustas y bien fundamentadas.

5.2 Recomendaciones

1. Es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo para verificar que los valores de resistencia de puesta a tierra se mantengan dentro de los límites aceptables. Esto permitirá detectar y corregir cualquier anomalía de manera oportuna, asegurando la eficacia y seguridad del sistema a lo largo del tiempo.
2. Se recomienda proporcionar capacitación continua al personal encargado de la instalación y mantenimiento de los sistemas de puesta a tierra. Esto asegurará que estén actualizados con las mejores prácticas y tecnologías más recientes, mejorando la calidad y seguridad de las intervenciones realizadas.
3. Es importante revisar y actualizar las normas y procedimientos internos de la empresa para la puesta a tierra. Incorporar las lecciones aprendidas y las mejores prácticas identificadas durante este proyecto garantizará que los estándares internos se alineen con los avances tecnológicos y las exigencias normativas actuales.
4. Se recomienda investigar y explorar nuevas tecnologías y materiales que puedan mejorar aún más la eficiencia de los sistemas de puesta a tierra. Esto incluye la evaluación de nuevos tipos de electrodos, mejoradores de conductividad del suelo y técnicas de instalación que puedan ofrecer beneficios adicionales.
5. Documentar detalladamente el proceso, los resultados y las lecciones aprendidas de este proyecto es esencial. Compartir esta información con otros profesionales y

partes interesadas contribuirá a la difusión de conocimientos y mejores prácticas, fomentando una cultura de mejora continua en el campo de la ingeniería eléctrica.

6 BIBLIOGRAFIA

CELEC EP TRANSELECTRIC. (2017). *Instructivo para el diseño de puesta a tierra en líneas de transmisión*. Version 1.0.

IEEE. (2000). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding* (IEEE Std 80-2000). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEEE. (2012). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System* (IEEE Std 81-2012). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Beltran Espinoza, D. F., & Luna López, E. G. (2023). *Diseño de un sistema puesta a tierra para aplicación en una industria utilizando la normativa IEEE 80-2000*. Universidad Politécnica Salesiana.

Ulloa Rodríguez, A. O., & Espinoza Bermeo, B. I. (2024). *Análisis y mejoramiento de los sistemas de puestas a tierra en línea de transmisión Normandía - San Bartolo 230kV, en la provincia de Morona Santiago*. Universidad Politécnica Salesiana.

Usnayo Lazo, E., & Mamani Luna Cedeño, E. (2020). *Optimización del diseño de la puesta a tierra para una línea de transmisión de 60 kV*.

Gómez, S. (2015). *Análisis de fallas en el sistema de puesta a tierra de Empresas Públicas de Medellín*.

Salinas, O. (2016). *La importancia de la puesta a tierra en sistemas eléctricos*.

Rojas, G. (2020). *Sistemas de puesta a tierra en líneas de transmisión*.

ANEXOS



Preparación de los materiales para la medición



Preparación del suelo para las mediciones



Medición de puesta a tierra de la torre



Resultado de la medición de la torre



Preparación para suelda varilla - cable



Preparación del suelda exotérmica

Anexo B	Mejoras al sistema de puesta a tierra	Pág. 2-2
---------	---------------------------------------	----------



Preparación para suelda varilla – cable



Preparación del suelda exotermica

Anexo C	Medición del nuevo sistema a tierra	Pág. 1-2
---------	-------------------------------------	----------



Machinado del terminal de puesta a tierra



Cubrimiento del cable a tierra



Verificación de la resistividad del sistema a tierra



Resistividad adecuada del sistema a tierra

Anexo D	Autorización de proyecto	Pág. 1-2
Macas , 19 de abril de 2024 AUTORIZACIÓN DE EJECUCIÓN DE PROYECTO Por medio de la presente, HIDRONORMANDIA autoriza a los estudiantes ABRAHAM OTONIEL ULLOA RODRÍGUEZ y BRAULIO ISAÍAS BERMEO ESPINOZA del TECNOLOGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI a ejecutar el proyecto de tesis titulado "ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NORMANDIA - SAN BARTOLO 230 KV, EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO" en nuestras instalaciones. Este proyecto será realizado bajo la supervisión de nuestros técnicos, cumpliendo con las normativas de seguridad de la empresa. Atentamente, Ing. Javier Gálvez Gerente de Planta HIDRONORMANDIA S.A. Pacto Global Red Ecuador Empresa Socialmente Responsable Av. Esagente Espejo 3410, Vía Tania Centro de Negocios Plaza del Rancho, Bloque 3, Of 101 (0532) 395-7523 / 394-0780 / 094-106-814 E-mail: hidronormandia@hna.com.ec		

Anexo D	Acta de recepción de proyecto	Pág. 2.2
Macas, 30 de agosto de 2024 ACTA DE RECEPCIÓN En la ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago, a los 30 días del mes de agosto del año 2024, se procede a la recepción de los trabajos "ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN NORMANDÍA - SAN BARTOLO 230 KV, EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO". Dichos trabajos fueron realizados por los estudiantes ABRAHAM OTONIEL ULLOA RODRÍGUEZ y BRAULIO ISAÍAS BERMEO ESPINOZA del TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI, una vez revisados por el personal técnico de HIDRONORMANDIA, se aprueban a entera satisfacción.  Ing. Javier Gálvez Gerente de Planta HIDRONORMANDIA S.A. Recibe  Abraham Ulloa Estudiantes TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI Entrega  Braulio Bermeo Estudiantes TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI Entrega Av. Eugenio Espejo 2410, Vía Tunda Centro de Negocios Plaza del Rancho, Bloque 5, Of 101 (593) 386-7521 / 204-5783 / 094-100-814 E-mail: hidronormandia@hna.com.ec		

Anexo E	Video de medición y mejoramiento del proyecto	Pág. 1.2
LINK VIDEO : https://www.youtube.com/watch?v=59gKQNfsCiw		

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

PROYECTO_DE_TITULACION_FINAL1B.docx

AUTOR

Braulio Bermeo

RECuento DE PALABRAS

11957 Words

RECuento DE CARACTERES

65750 Characters

RECuento DE PÁGINAS

68 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

15.0MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 16, 2024 9:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 16, 2024 9:32 PM GMT-5**● 14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 13 palabras)

Resumen