



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE
PAT CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y FALLAS A
TIERRA EN EL ALIMENTADOR 0251 SERVICIO ELÉCTRICO
CUTIMBO - JUNCAL**

TESIS

PRESENTADA POR:

FRANCO CHANEL CONDORI YUCRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE PAT CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS Y FALLAS A TIERRA EN EL ALIMENTADOR 0251 SERVICIO ELÉCTRICO CUTIMBO - JUNCAL

AUTOR

FRANCO CHANEL CONDORI YUCRA

RECuento DE PALABRAS

18433 Words

RECuento DE CARACTERES

101451 Characters

RECuento DE PÁGINAS

117 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 30, 2024 8:24 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 30, 2024 8:26 AM GMT-5

● **19% de similitud general**

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

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)


Marcos Jose Villanueva Corrajo
INGENIERO MECANICO/ELECTRICISTA
C.I.P. 98153


M.Sc. Felipe Condori Chambilla
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
EPIME

Resumen



DEDICATORIA

A Dios él todo poderoso por haberme hecho nacer en esta tierra tan maravillosa de puno y puesto en una familia humilde y luchadora que me enseñaron a valorar y aprender de que todo se puede, a mi padre Hilario por estar siempre a mi lado en las buenas y más en las malas y nunca rendirse conmigo, mi madre Dionisia que me enseñó la humildad y perseverancia y confiar siempre en mí, muchas gracias, mi hermana Jenny Danitza una inseparable hermana quien siempre me aconsejara y escuchara como amiga y jamás dudaron de las metas trazadas que siempre estuvieron alentándome con todas su fuerza para conseguir mis sueños y mis objetivos muchas gracias, y familiares más cercanos Tía Dominga, Tío Metodio, Tío Eliseo, José Carlos Y Verito.

A todas las familias de las personas que fallecieron en los enfrentamientos de fecha 09 de enero del 2023 en Juliaca y Puno.

Franco Chanel Condori Yucra



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano y a la facultad de ingeniería mecánica eléctrica, electrónica y sistemas (F.I.M.E.E.S.) y la Escuela Profesional de Ingeniería de Mecánica eléctrica, por haberme formado con ética, moral y haber compartido las enseñanzas necesarias para mi formación personal y profesional.

A los todos los docentes de la Facultad y escuela de ingeniería mecánica eléctrica, electrónica y sistemas (F.I.M.E.E.S.) por su valiosa contribución ética, moral, personal y académica. A mi persona, así como también a mis compañeros, brindándonos conocimiento y también consejos.

A mi asesor M.Sc. Marcos José Villanueva Cornejo, por su gran apoyo, consejos y orientación durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A mis amigos que estuvieron en mi formación profesional Ing. Juan Renzo Illacutipa Mamani (Q.E.P.D.), al Ing. Leonardo paye, Ing. Omar Luis Neira, ing. Marcos Villanueva, Sergio Ticona, Heber Valdivia, Vladimir Gómez, Richar Amachi, Junior Humpiri, Vladimir Huaynacho, Vladimir Puma, Liz Daily, Mercy Dery, Katherine Margot y Luciana Eleonor, Héctor Ari, Eddy Gonzales, Edwin Tisnado, Roberto Apaza, Manuel Llanos, Richar Hito, Pedro Quispe, Mauro Apaza, Nicanor Humpiri, Jorge Garabito, Ing. Ronald Condori, Ing. Javier Vargas, Electro Puno S.A.A., Área De Operaciones Y Mantenimiento, centro de control, Ing. Rulo, Ing. Cristhian Marco Quispe Cutipa y a todas las personas que por diferentes motivos no están en esta lista muchas gracias por haberme apoyado y haberme, permitido llegar hasta este objetivo gracias totales.

Franco Chanel Condori Yucra



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1. Pregunta General	20
1.2.2. Preguntas Específicas	20
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1. Hipótesis General	21
1.3.2. Hipótesis Específicas	21
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	21
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Objetivo General	22
1.5.2. Objetivos Específicos	22



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	24
2.1.1.	Antecedentes internacionales	24
2.1.2.	Antecedentes nacionales	26
2.2.	MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.	Sistemas de protección	32
2.2.2.	Sistema eléctrico de potencia	33
2.2.3.	Teoría de fallas	33
2.2.4.	Consecuencia de las fallas.....	34
2.2.5.	Componente simétrica.....	35
2.2.6.	El operador de frecuencia.....	35
2.2.7.	Matriz de componente simétrica	36
2.2.8.	Falla trifásica	37
2.2.9.	Falla Monofásica	37
2.2.10.	Falla bifásica	38
2.2.11.	Impedancia característica (Z_0).....	39
2.2.12.	Impedancia de secuencia en línea de transmisión.....	39
2.2.13.	Impedancia y redes de secuencia	39
2.2.14.	Energía eléctrica.....	40
2.2.15.	Costo social de la electricidad.....	40
2.2.16.	Materiales utilizados en las líneas de transmisión y distribución	40
2.2.17.	Descargas atmosféricas	41
2.2.18.	Teoría de Schonland.....	42



2.2.19. Particularidades de descargas atmosféricas y su incidencia en líneas aéreas de media tensión.....	45
2.2.20. Magnitud de la descarga.....	46
2.2.21. Angulo de incidencia.....	47
2.2.22. Tipos de impacto en descarga atmosférica Impacto a tierra	47
2.2.22.1. Impacto a conductor de fase.....	47
2.2.22.2. Sobre tensiones por rayo	47
2.2.23. Métodos para limitar sobre tensiones de origen atmosférico.....	47
2.2.24. Cables de guarda	48
2.2.25. Diseño del cable de guarda	48
2.2.26. Angulo de apantallamiento	48
2.2.27. Método para conseguir un apantallamiento efectivo	48
2.2.28. Modelo electro geométrico	49
2.2.29. Descargadores de oxido metálico.....	52
2.2.30. Sistemas de puesta a tierra en las estructuras.....	52
2.2.31. Electrodo de tierra	53
2.2.31.1. Barras	53
2.2.31.2. Placas.....	53
2.2.31.3. Electrodo horizontales	54
2.2.32. Característica de la puesta a tierra.....	54
2.2.33. Objetivos de un sistema de puesta a tierra	54
2.2.34. Resistividad del terreno	54
2.2.35. Método de Wenner en la medición de resistividad eléctrica del suelo ...	55
2.2.36. Resistencia de puesta a tierra	56
2.2.37. Tipo PAT 1C	56



2.2.38. Tipo PAT-1	57
2.2.39. Tipo PAT-2	58
2.2.40. Tipo PAT-3	58
2.2.41. Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica	60
2.2.42. Tratamiento del suelo para puesta a tierra.....	60
2.2.43. Bentonita	60
2.2.44. Cemento Conductivo.....	60
2.2.45. Thor- gel.....	60
2.2.46. Con carbón mineral o vegetal	61
2.2.47. Propiedades del suelo que influyen en LA PUESTA a tierra	61
2.2.47.1. Presión y Compactación del suelo:	61
2.2.47.2. Experiencia de pruebas de corrosión en el terreno.....	62
2.2.48. Valores máximos permitidos de resistencia de puesta tierra	63
2.2.49. Aisladores.....	63
2.2.50. Por conductividad del material:	63
2.2.51. Por conductividad superficial.....	63
2.2.52. Por perforación de la masa del aislador	64
2.2.53. Numero de aisladores utilizados según el nivel de tensión.....	64
2.2.54. Tipos de aisladores	64
2.2.55. Aisladores en cadena.....	65
2.2.56. Coordinación de protección	65
2.2.57. Dispositivos de protección	66
2.2.58. Fusibles	66
2.2.59. Recloser.....	66
2.2.60. Operación	67



2.2.61. Secuencia de operación de un Recloser	67
2.2.61.1. Tiempo de reconexión.....	67
2.2.61.2. Tiempo de reposición.....	67
2.2.61.3. Corriente mínima de operación	68
2.2.62. Relés	68
2.2.63. Interruptor	68
2.2.64. Criterios básicos de protección	69
2.2.65. Zona de protección	69
2.2.66. Protección principal	71
2.2.67. Protección de respaldo	71
2.2.68. Tipos de coordinación	71
2.2.69. Coordinación Recloser – fusible	72
2.2.70. Coordinación relé – fusible	72
2.2.71. Coordinación relé – recloser	72
2.2.72. Coordinación relé - relé.....	73

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	74
3.1.1. Ubicación	74
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	74
3.2.1. Población.....	74
3.2.2. Muestra	75
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	75
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	75
3.4.1. Análisis de la resistividad del terreno	75



3.4.1.1. Modelado del terreno	77
3.4.2. Determinación de la resistencia del sistema de puesta a tierra	78
3.4.2.1. Mejoramiento de la resistencia de puesta a tierra	79

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTIMACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO	81
4.1.1. Modelado del Suelo.....	88
4.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	97
4.3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	98
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RECOMENDACIONES.....	102
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXOS.....	107

Área : Eléctrica

Tema : Puesta a Tierra

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 02 de agosto de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Materiales utilizados en líneas de transmisión y distribución	41
Tabla 2 Prueba de corrosión de metales ante características del suelo	62
Tabla 3 Resistividad aparente del terreno Perfil N°1	82
Tabla 4 Resistividad aparente del terreno Perfil N°2.....	84
Tabla 5 Resistividad aparente del terreno Perfil N°3.....	86
Tabla 6 Resistividad aparente del terreno Perfil N°4.....	88
Tabla 7 Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°1	90
Tabla 8 Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°2	92
Tabla 9 Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°3	94
Tabla 10 Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°4	96
Tabla 11 Resistencia con tratamiento	100



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ángulos de desface de la red	35
Figura 2 Esquema de falla trifásica a tierra	37
Figura 3 Falla de tipo monofásico	37
Figura 4 Falla tipo bifásica	38
Figura 5 Espacio de descargas atmosféricas	42
Figura 6 Proceso de formación de la descarga atmosférica (nube tierra)	43
Figura 7 Descarga Nube – Tierra (rayo)	44
Figura 8 Descarga Nube - Nube (relámpago)	45
Figura 9 Mapa de niveles isoceraunicos	46
Figura 10 Guía para el diseño del cable de guarda	49
Figura 11 Protección contra descargas directas	50
Figura 12 Modelo Electromagnético	51
Figura 13 Esquema del sistema de puesta a tierra	52
Figura 14 Placa de cobre para sistema de puesta a tierra.....	53
Figura 15 Esquema de conexión del telurómetro – método de Wenner	56
Figura 16 Variación de la resistencia del electrodo en función de la profundidad.....	58
Figura 17 Configuración de SPAT tipo PAT -1, PAT-2 y PAT -3.....	59
Figura 18 Aisladores fijos	64
Figura 19 Aislador en cadena	65
Figura 20 Recloser	67
Figura 21 Secuencia de operación del Recloser	68
Figura 22 Zona de protección definida por una línea partida	69
Figura 23 Zonas de protección.....	70



Figura 24	Figura diagrama de ubicación de relés principales y de respaldo	70
Figura 25	Coordinación fusible - fusible	71
Figura 26	Coordinación de recloser – fusible	72
Figura 27	Coordinación relé – recloser.....	73
Figura 28	Ubicación geográfica de Juncal.....	74
Figura 29	Telurómetro digital “MTD20KWe”	76
Figura 30	Esquema de instalación Telurómetro digital “MTD20KWe”	76
Figura 31	Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°1	83
Figura 32	Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°2	84
Figura 33	Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°3	86
Figura 34	Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°4	88



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Certificado de calibración.....	107
ANEXO 2 Panel fotográfico.....	108
ANEXO 3 Cuadro de interrupciones de L0251 RC 66 Cutimbo Juncal.....	110
ANEXO 4 Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	116
ANEXO 5 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	117



ACRÓNIMOS

ANSI	American National Standards Institute
ATP	Alternative Transients Program
CFO	Critical Flashover
CIGRE	Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos
CNE	Código Nacional de Electricidad
COES	Comité de Operación Económica
COV	Tensión a Operación Continua
ELSE	Electro Sur Este S.A.A
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INDISL	Indisponibilidad de Línea de Transmisión
STI	Sobretensión Impulsional
TFL	Tasa de zFallas de Línea de Transmisión
TOV	Sobretensión Temporal
UNE-EN	Norma Española - Norma Europea
UR	Tensión Nominal



RESUMEN

Los conductores de media tensión tienen una gran importancia porque trasladan la electricidad desde una subestación reductora hasta puntos muy lejanos a la zona donde se requiere el suministro, en la presente investigación se evalúa el sistema de PAT con el objetivo de mejorar la calidad de energía eléctrica que se suministra, y que esta línea se encuentra entre los 3800 m.s.n.m. y los 5000 m.s.n.m. Esta investigación contribuye con la empresa concesionaria con garantizar la confiabilidad de su calidad de servicio, se sabe que estos están expuestos a disturbios originados por fenómenos naturales, el presente estudio tiene por finalidad exclusiva el análisis y desarrollo de las condiciones isoceraunicas y climatológicas del terreno para la instalación de un sistema de puesta a tierra, destinando la metodología fundada en la seguridad y el análisis de fallas de los elementos y dispositivos del sistema eléctrico, este proyecto se ejecutan diseños de puesta a tierra haciendo mediciones de resistividad en terrenos, con la resistividad de terreno se ejecutan diseños de puesta a tierra calculando su resistencia, se implementa cada diseño, así como la instalación de una varilla en un terreno de elevada resistividad. En la época existen fórmulas que admiten diseñar las configuraciones de PAT calculando ya valor de la resistencia a ser esperada. La metodología de investigación planteada. El procedimiento científico que se maneja es cuantitativo, se hará uso de la acumulación de los datos para probar una hipótesis, con un análisis estadístico descriptivo, De los resultados podemos concluir que La evaluación de la puesta a tierra reveló que el valor de resistencia mínimo es de 7.092 ohmios, el máximo es de 9.633 ohmios y el promedio de la puesta a tierra tratada es de 8.59 ohmios, lo cual se considera un valor óptimo para mejorar la operatividad y confiabilidad del sistema eléctrico.

Palabras Clave: Confiabilidad, Falla, Resistividad, Puesta a tierra, Varilla.



ABSTRACT

The medium voltage conductors have a great importance because they transfer electricity from a reducing substation to points far away from the area where the supply is required, in this research the PAT system is evaluated with the objective of improving the quality of electric energy supplied, and that this line is between 3800 m.a.s.l. and 5000 m.a.s.l. This research contributes with the concessionaire company to guarantee the reliability of its quality of service, it is known that these are exposed to disturbances originated by natural phenomena, the present study has as exclusive purpose the analysis and development of the isoceraunic and climatological conditions of the land for the installation of a grounding system, This project is based on a methodology based on safety and failure analysis of the elements and devices of the electrical system. Grounding designs are carried out by making resistivity measurements in the ground, with the ground resistivity, grounding designs are carried out by calculating its resistance, each design is implemented, as well as the installation of a rod in a ground of high resistivity. At present, there are formulas that allow designing PAT configurations by calculating already the value of the resistance to be expected. The research methodology proposed. From the results we can conclude that the evaluation of the grounding revealed that the minimum resistance value is 7.092 ohms, the maximum is 9.633 ohms and the average of the treated grounding is 8.59 ohms, which is considered an optimal value to improve the operability and reliability of the electrical system.

Keywords: Reliability, Fault, Resistivity, Grounding, Rod.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El proyecto se justifica por los siguientes motivos: El presente estudio tiene por finalidad exclusiva el análisis y desarrollo de las condiciones isoceraunicas y climatológicas del terreno para la instalación de un sistema de puesta a tierra (SPAT). El objetivo principal de este estudio es examinar, mejorar y valorar la protección del Alimentador 0251 de la concesionaria del servicio de Cutimbo Juncal para optimar la calidad del servicio eléctrico a las frecuentes interrupciones por origen atmosférico y fallas a tierra. Las fallas de descargas atmosféricas afectan gravemente a la paramenta electromecánico, porque cuando no descarga a tierra retorna hacia el equipamiento de las redes eléctricas.

La generación, transmisión y distribución de la electricidad debe de transportar a cabo de forma, segura y al menor coste posible, lo cual involucra ejecutar un eficiente mantenimiento y poder garantizar de forma permanente la energía eléctrica con la menor cantidad de interrupciones posibles. ¿Cómo podemos mejorar los sistemas de protección de la línea eléctrica del Servicio Eléctrico de Cutimbo Juncal 0251 contra descargas atmosféricas y fallas a tierra para garantizar un servicio eléctrico continuo y confiable?

Uno de los principales fines de este proyecto es brindar al usuario la calidad de energía que se merece, como a su vez seguridad personal y protección de dispositivos ya que proporciona una vía de baja resistencia para disipar la sobre energía de las descargas atmosféricas, evitando así sobretensiones y posibles fallas del sistema. Conociendo la importancia de los sistemas de puesta a tierra en los sistemas eléctricos, se realizó este estudio para observar los fenómenos más importantes a los que está sujeto, como son las descargas atmosféricas, con la esperanza de mejorar la eficacia de la energía.



Para dar respuesta a la pregunta se realizó un reconocimiento situacional de los sistemas de protección de las estructuras existentes, lo que permitió recolectar datos técnicos sobre el alimentador 0251. Donde los datos fueron interpretados y evaluados en Excel, el programa CAD y para la Las simulaciones de corriente eléctrica, cortocircuito y cálculos de coordinación de protección utilizaron el software Dig silent Power Factory versión 15.1.7, donde puede encontrar, p. Corriente de carga, demanda máxima, corriente de cortocircuito, caídas de voltaje y condiciones del suelo y condiciones estructurales. Acciones que nos facilitan interpretar y sugerir alternativas¹ de mejora el rendimiento de los alimentadores 0251 y por lo tanto también fortalece las hipótesis de este estudio. La estructura del siguiente documento es la siguiente:

El primer capítulo se describe brevemente el contexto del problema, los antecedentes, la enunciación del problema, la justificación del problema y la formulación del objetivo general y específico, porque que ven la tesis. El capítulo II: En este capítulo se presenta una revisión de la literatura enfocada en la coordinación de los sistemas de defensa, cuyos conceptos fueron utilizados a lo largo del desarrollo de este trabajo, los cuales son de interés para comprender los principios del sistema. Línea 22,9 Kv. Para el capítulo III: Este capítulo analiza el prototipo y el diseño del estudio, la representación del área de investigación, los métodos y herramientas de recopilación de datos, los procedimientos de recopilación de datos, el procesamiento y análisis de datos. Continuando con el capítulo IV:

Este capítulo proporciona un estudio detallado, interpretación y discusión de los resultados desde un punto de vista técnico, análisis de demanda máxima, evaluación del status quo de la dirección principal de investigación y servicios propuestos para mejorar la calidad del suministro eléctrico. Origen y Flujo Atmosférico de Fallas a Tierra, Modelado y Simulación de Software, Cálculos de Pruebas, Hojas de Estructura y



Presupuesto Final de Referencia del Proyecto. Como sigue en el capítulo V; comprende, las conclusiones en relación con los objetivos propuestos. Para finalmente en el capítulo VI; comprende, las recomendaciones relacionadas con el tema en estudio.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la línea principal de Bellavista a la comuna de Juncal denominada salida 0202, de 22.9 KV, se encuentra en una estructura en las coordenadas (8378312n, 441998e) que origina cualquier línea principal LP salida 0202 o LP Cutimbo-Juncal provocó un apagón de dos líneas y afectó a todos los usuarios, aumentando la falta de calidad del producto y métricas de entrega del sistema.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta General

- ¿Cómo mejoramos el sistema de descarga de fuente atmosférica y protección contra falla a tierra en el alimentador 0202 y el alimentador 0251 Cutimbo Juncal de Puno Servicio Eléctrico de la SET - Bellavista para garantizar un servicio eléctrico continuo y con seguridad?

1.2.2. Preguntas Específicas

- ¿Cómo logramos valorar el estado presente de la línea principal 22.9 KV del alimentador Cutimbo Juncal 0251 y ayudar a mejorar la calidad del servicio eléctrico debido a los continuos cortes por descarga atmosférica y puesta a tierra?
- ¿Se lograría optimizar la Línea Primaria 22.9 KV y el tipo de coordinación de protección a causa de las fallas extensas en el



alimentador 0251 Cutimbo-Juncal del Servicio Eléctrico de puno y puestas a tierra?

- ¿Se puede desarrollar una propuesta viable para mejorar la calidad de servicio eléctrico del alimentador 0251 Cutimbo Juncal?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- Se puede mejorar los métodos de protección ante descargas de las inclemencias de origen atmosférico y fallas a tierra en el alimentador 0202 del Servicio Eléctrico puno de la SET - bellavista, en el alimentador 0251 Cutimbo Juncal para así tener un servicio de energía continua y confiable.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- Se podrá evaluar el estado actual de la línea principal 22.9Kv del alimentador Cutimbo Juncal 0251 y ayudar a mejorar la calidad del servicio eléctrico.
- Se podrá mejorar la Línea Primaria 22.9Kv y el prototipo de puesta a tierra para mitigar las causas de las constantes fallas largas en el alimentador 0251 Cutimbo-Juncal.
- Se desarrollará una propuesta viable para optimizar la eficacia de servicio eléctrico del alimentador 0251 Cutimbo-Juncal

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio planteado, se justifica: La generación, transmisión y distribución de energía debe realizarse a manera continua y segura con los menores costos posibles, lo



que significa una coordinación, mantenimiento y control efectivos de los equipos relacionados con los procesos antes mencionados para garantizar una calidad constante y confiable de la energía eléctrica, debido a la falta de un sistema de protección un óptimo equipo de protección provoca el menor número de cortes o errores. Esto, a su vez, creó la necesidad de reducir el número de fallas en la alimentación de 0251 Cutimbo Juncal. En general, los métodos de protección contra sobretensiones y cortocircuitos tienen como objetivo maximizar la seguridad del sistema con costos razonables, por lo que el tema de la eficacia de la energía es el más importante y cambia el método de diseño en la dirección de la descarga atmosférica y la coordinación de puesta a tierra. Electro Puno S.A.A. su cometido es prestar servicios de energía eléctrica a los usuarios existentes y potenciales en su territorio de concesión, avalando la eficiencia de la distribución y comercialización de acuerdo con criterios como la calidad, accesibilidad, y la viabilidad financiera, la calidad del servicio y la confiabilidad. Necesidades actuales y futuras de los clientes y política de precios competitivos.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

- El objetivo principal de estudio es optimizar el método de puesta a tierra del Alimentador 0251 en el conductor hacia Cutimbo Juncal para optimizar la calidad del servicio debido a las frecuentes interrupciones por origen atmosférico y fallas a tierra.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar un análisis de la resistividad del terreno, qué requisitos básicos de la protección puestas a tierra se encuentran desfavorablemente afectados en el alimentador 0251 de Cutimbo Juncal.



- Valorar cuál es la opción y/o condiciones más beneficiosas del tratamiento de puesta a tierra para optimizar la calidad de los servicios de energía eléctrica en el alimentador 0251 Cutimbo Juncal.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Para Bastante (2019), los sistemas de puesta a tierra son esenciales para garantizar la seguridad de la vida humana y proteger los equipos eléctricos y electrónicos. El propósito de un sistema de puesta a tierra es desviar las corrientes eléctricas de fallas eléctricas o eventos meteorológicos como rayos a tierra. Con mediciones de resistividad como las de Wenner, las propiedades del suelo sobre el que se va a construir el suelo son esenciales en el diseño. Este trabajo desarrolla un procedimiento basado en el estándar de diseño a tierra IEEE Std 80-2013, teniendo en cuenta el tipo de suelo a tratar, si es homogéneo o si hay dos capas de suelo. Además, permite elegir el tipo de electrodo a utilizar. Concluye En el transcurso de este artículo, se pueden combinar varios métodos de diseño para crear un sistema de puesta a tierra que cumpla con IEEE 80-2013. Esto permitirá crear sistemas de puesta a tierra duraderos que cuiden la integridad física del personal y del equipo técnico. Si no hay convergencia con la solución de diseño, el modelo puede requerir que el usuario cambie las condiciones de diseño originales, proporcionando al usuario un sistema de puesta a tierra seguro y rentable. El modelo se valida contra los casos base especificados en los criterios mencionados en las secciones anteriores. Además, es capaz de brindar soluciones para diversas opciones de diseño, tales como: i) sistemas de 1 y 2 barras y ii) soluciones de rejilla para diversas condiciones de superficies lisas e irregulares. Finalmente, el modelo puede responder de manera flexible a diferentes escenarios



que puedan surgir en el sitio y brindar soluciones que cumplan con los estándares internacionales.

Para Ambrosi (2019), la calidad del sistema de puesta a tierra en una subestación es muy importante para el correcto funcionamiento continuado de S/E. En caso de falla, el sistema de puesta a tierra debe aguantar la corriente de falla a tierra y garantizar la seguridad del personal y del equipo. El voltaje de contacto y el voltaje de paso no deben exceder el voltaje permitido para una persona que pesa 70 kg. S/E 03 Los sistemas de puesta a tierra de Monay se evalúan utilizando los estándares IEEE Std 80. - Año 2013. Los sistemas de puesta a tierra actualmente operan equipos que están sujetos a la degradación del material y al aumento de las corrientes de cortocircuito. Este trabajo lo investigó y dimensionó para hacer que el sistema de tierra actual sea seguro y funcional nuevamente en caso de falla. Finalmente, la Compañía Eléctrica Regional Centro Sur podrá revisar un diseño futuro de S/E o S/E que opere a través de un programa implementado para diseñar adecuadamente los sistemas de puesta a tierra para S/E AC utilizando los estándares IEEE. Norma 80 - 2013. Para que la S/E 03 Monay cumpliera con los parámetros de seguridad, fue necesario redimensionar la S/E y cambiar su orografía. La norma IEEE Std 80 - 2013 define los criterios de seguridad que deben cumplir los sistemas de puesta a tierra ante posibles fallas. Si el S/E 03 está defectuoso, el sistema de puesta a tierra no logrará sus objetivos. El análisis de dimensionamiento de la red de tierra cumple con el objetivo de garantizar la operación segura de la S/E 03. Si la rejilla de tierra hubiera estado intacta, el interior del S/E 03 podría haber sufrido daños y perdido gran parte de su equipo. Cambiar el calibre del controlador no reducirá los niveles de voltaje de paso o derivación, valores que están directamente relacionados con la geometría



de la red y la resistencia del suelo. El valor de la corriente de falla es bastante alto y es necesario verificar si es posible reducir esta corriente para que la red de tierra pueda funcionar. Los cambios en la rejilla y el patio de la S/E 03 deben realizarse mientras está cerrado. Al medir en el sitio de la subestación, se puede medir una corriente parásita de 2 amperios que circula a lo largo del conductor puesto a tierra.

Para Soto y Trelles (2006), concluyeron que las estructuras existentes detalladas con un ángulo de apantallamiento de 9 a 10 grados tenían un apantallamiento seguro, es decir, no estaban sujetas a volcamientos por falla del apantallamiento, mientras que el armado con un ángulo de apantallamiento de 25 grados ya no era efectivo blindaje y generalmente está sujeto a la velocidad del escape atmosférico que penetra en el escudo, es indicar, que la descarga que van directamente a los conductores de fase.

Para Sosa (2012), concluyó, que la instalación de descargadores puede ser un complemento aplicable en áreas críticas donde no se puede lograr un rendimiento adecuado utilizando métodos convencionales, como la reducción de la resistencia del suelo debido a factores tales como: valores altos de resistencia del suelo, características geográficas lineales, índice de monocera alto o una combinación de estos factores, el monitoreo y registro del desempeño del blindaje es esencial para estudiar eventos en LT e identificar áreas críticas durante la liberación atmosférica.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Para Valdivieso y Augusto (2017), en su proyecto, demostraron en que al diseñar e implementar un sistema de puesta a tierra en la EBT se reduce el riesgo de que se presenten variaciones de potencial entre tierra y tierra, asegurando la



protección de los equipos de comunicación y mejorando la disponibilidad de los enlaces de comunicación., evite que estos dispositivos se apaguen inesperadamente y elimine cualquier posibilidad de multas o sanciones por parte del regulador de telecomunicaciones.

Para Turko (2015) obtuvo como resultado 10 puntos importantes, los cuales concluye que:

1. A medida que acrecienta el nivel de Ceraunico, también lo hace el número de descargas por kilómetro cuadrado por año. Esto se debe a que cuanto mayor sea la concentración de cerámica en un área, mayor será la probabilidad de que se produzcan descargas atmosféricas a tierra y, por lo tanto, mayor será la probabilidad de que estas descargas provoquen sobretensiones inducidas en los cables, la tasa de salida hay algunos parámetros que afectan directamente la magnitud del voltaje inducido. Estas cuantificaciones son: amplitud de corriente (I_p), tiempo de borde de ataque (T_f), punto de frecuencia de descarga (Y_o) y altura de línea (h_l), que a su vez afectan claramente el valor de la velocidad de salida, de los resultados logrados se puede observar que las variables estudiadas tienen una influencia significativa (Turko, 2015).

- Mejorar el nivel de aislamiento.
- Reducir la altura efectiva sobre el suelo.

La salida de la línea aérea de media tensión está ubicada en un área de alto riesgo plana y escasamente poblada, y la sobretensión inducida es alta, la salida causada por la inducción afecta el conductor de fase más que la descarga atmosférica directa; esto se debe principalmente al área cubierta por la línea.



Cualquier descarga promedio aquí puede resultar en valores de voltaje superiores a 100 KV, se analiza el papel del conductor de protección en el cálculo de la velocidad de salida para observar su efecto sobre el mismo; los resultados muestran que la velocidad de salida de la línea se reduce significativamente debido al efecto amortiguador del conductor de protección, esta reducción es inversamente proporcional a la distancia entre los dos conductores dado que el efecto de atenuación del conductor de protección sobre el voltaje está relacionado con la resistencia de puesta a tierra, se puede ver que para la misma relación entre la altura del conductor de protección y la altura de la línea (h_g/h_l), el cambio de velocidad de salida se vuelve significativo. cuando el valor de la resistencia está cerca de la fase del sistema, la resistencia de la conexión de protección (valor superior a 100 ohmios). Estos valores en realidad no se aplican aunque el conductor de protección proporciona una buena protección de los cables de fase contra descargas atmosféricas (descarga directa), debido a la alta resistencia a tierra, la conmutación inversa puede provocar un apagón. Para superar estas dificultades, surgen dos opciones: aumentar el nivel de aislamiento de los cables o reducir la resistencia de puesta a tierra. Sin embargo, el mejor material de aislamiento debe seleccionarse comparando dos factores: daños en el blindaje y proyección inversa. Lo que conducirá a la correcta colocación de los cables de protección y a la correcta elección de la puesta a tierra de la estructura para dar una idea de los valores de tierra, podemos decir: valores de 20 ohmios o menos son muy buenos, valores por encima de 50 o 60 ohmios ya son alarmantes; Se pueden encontrar valores superiores a 350 ohmios para suelo rocoso, en configuraciones de líneas de transmisión de múltiples conductores, cuanto mayor sea la altura,



mayor será la inducción de tensión en el conductor, por lo que es más eficiente utilizar un cable de protección que uno neutro la forma más habitual de mejorar la puesta a tierra en nuestro entorno, es mejor utilizar varios cables ponderados más cortos que reducir el número de cables ponderados muy largos. Según la derivación teórica de este trabajo, los primeros 60 m del cable de contrapeso son los más efectivos para, Huaira (2021), el tema de investigación propuesto tiene como objetivo demostrar que la aplicación del modelo electro geométrico es más conveniente que los modelos tradicionales o de Franklin como método de blindaje ante la presencia de emisiones atmosféricas en la mayoría de las edificaciones y ubicaciones geográficas, ya que aumenta el nivel. confiabilidad y efectividad de los sistemas de protección contra sobretensiones eléctricas causadas por descargas atmosféricas en centros mineros. Mediante análisis matemático se evaluó el desempeño del sistema de protección externa de la Sociedad Minera Cerro Verde frente a sobretensiones provocadas por emisiones atmosféricas en dos casos concretos: utilizando métodos de apantallamiento clásicos o de Franklin y utilizando métodos electro geométricos. Para ello se recopila información sobre: el grado de interceptación del rayo, la intensidad de la corriente de puesta a tierra del bypass del rayo y el grado de propagación del rayo en el sistema de puesta a tierra en cada caso. La comparación de estos dos métodos permite que este estudio brinde mayor información técnica para la selección de uno de ellos como sistema de protección externa para el aumento de descargas atmosféricas en centros mineros del Perú. En sus conclusiones indica Existe un análisis de riesgo, que es un método que permite determinar el nivel de riesgo aceptado cuando el centro minero está expuesto a posibles daños por emisiones atmosféricas, y así



facilita la toma de decisiones sobre la elección de un método de blindaje específico. Asimismo, el Código Eléctrico Nacional (CNE) y estándares internacionales como NFPA 780 o IEC 61024 pueden encontrar nuestro lugar y también ayudar a elegir el método de blindaje adecuado. El estudio examina los parámetros técnicos de cada método con el fin de seleccionarlos adecuadamente como Sociedad Minera Cerro Verde S.A.C. sistema de protección exterior. Choques de descarga atmosférica, lo que lleva a la conclusión de que ambos métodos tienen características específicas de la aplicación. Realice ajustes en diferentes áreas del centro de minería. Por ejemplo, el enfoque electro geométrico brinda mayor confiabilidad y eficiencia en la protección contra sobretensiones eléctricas en edificios o estructuras con estructuras arquitectónicas complejas. Sin embargo, esto sólo se aplica a las emisiones de tipo reductor negativo a la atmósfera. Aunque este tipo de descarga ocurre el 90% del tiempo en todo el mundo, es útil conocer esta limitación. También se observó en la investigación realizada que, utilizando el método electro geométrico, el área de protección obtenida ante la presencia de un rayo es mayor y, por lo tanto, más confiable y eficaz como sistema de protección externa para centros mineros. Con este método de blindaje. Pero este método solo es adecuado para edificios cuya altura es inferior a 55 metros.

Para, Lozano (2020), la investigación realizada cubre una amplia gama de áreas de aplicación y resuelve nuevos problemas en este campo, el objetivo del estudio es mejorar el diseño del sistema de puesta a tierra utilizando elementos finitos en la constitución del SET, el estudio de las redes de tierra nos obliga a analizar diferentes sistemas, lo que nos llevará mucho tiempo y esfuerzo, en cuyo caso utilizaremos un software de ingeniería. El trabajo analiza la influencia del



valor de puesta a tierra de los diferentes partes de una subestación, para lo cual se construirá el modelado y simulación de la red de puesta a tierra. Se verifican las medidas puestas a tierra, protegiendo la integridad de las personas y el adecuado funcionamiento de los equipos eléctricos. Los resultados de la simulación se calculan según el estándar IEEE-80 ($R=0,192417$) y el método de elementos finitos ($R=0,19$). En sus conclusiones al realizar los cálculos, la resistencia de rejilla del suelo investigado a una hondura de 0,70 m dentro de la primera capa se considera de 7,33 $\Omega.m$, y la resistencia infinita de la segunda capa es de 11,13 $\Omega.m$, que proviene del suelo mismo. La altura de la capa superior (grava) es de 0,15 m para ayudar a reducir el contacto y el estrés del paso. De acuerdo con los resultados, el voltaje de pulso calculado y el voltaje de paso están dentro del rango permitido. Se instalaron ocho barras de soldadura de cobre alrededor del perímetro de las obras hidráulicas para aliviar la tensión de contacto.

Para, Flores (2017), en su estudio de este trabajo tenía como objetivo primordial valorar el comportamiento de PAT tratadas con cemento conductor en redes de datos de instituciones educativas de las cercanías de Puno, con el fin de comprender los aspectos de efectividad y seguridad de este tratamiento; Diagnóstico del comportamiento del suelo en pozos tratados con cemento conductor en redes de datos de instituciones educativas. Analizar la eficiencia de pozos de tierra tratados con cemento conductor y comprobar si el PAT a tierra tratado con cemento conductor se desempeña con la seguridad de protección de técnicos y equipos electrónicos y cumple con la normativa vigente. El propósito de investigación se organiza de la siguiente manera: En primer lugar, se realiza una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con los PAT. Se midió la resistencia del suelo de pozos tratados con cemento conductor de electricidad por



el método de caída de potencial para lograr los objetivos anteriores, los resultados obtenidos se analizaron y compararon estadísticamente. El Equipo de Red de Datos de Instituciones Educativas está ubicado en la provincia de San Antonio de Putina en las provincias de Azángaro, Huancané, Melgar, Sandía y Puno y son las instituciones educativas que implementan la red de datos en el estado ubicado en el cuadrante L19 UTM. Coordenadas

Arévalo y Ruíz (2019), propusieron sistemas de puesta a tierra de tensión de contacto y escalonada para las estaciones de telecomunicaciones Antares - Tarapoto 2019. Los datos de campo se obtuvieron a partir de mediciones realizadas en la misma zona de estudio, utilizando primero una doble capa para obtener un modelo de resistividad aparente del suelo. Este trabajo de investigación presenta tres alternativas de diseño y construcción utilizando las siguientes configuraciones: bentonita, cemento conductor y Thor Gel. Primero, mide la resistencia.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sistemas de protección

Los sistemas de monitoreo de cantidad de electricidad permiten la detección de fallas en la instalación del equipo y/o del sistema, mal funcionamiento del sistema y condiciones inadecuadas del equipo para una acción correctiva inmediata (COES-SINAC, 2008). Por lo tanto, las líneas de transmisión eléctrica requieren de un sistema de protección para aislar los equipos dañados lo más rápido posible y restablecer el servicio en los siguientes casos:

- a) Sobre corriente de cortocircuito de estado sólido trifásico



- b) Un cortocircuito bifásico provoca una sobre corriente, la tercera fase permanece intacta. En este caso, la fase en falla puede o no estar puesta a tierra.
- c) Sobre corriente por una fase y corto a tierra, las otras dos fases permanecen intactas
- d) Detectar condiciones inadecuadas en el cable para que se puedan tomar medidas para evitar fallas en el sistema, como abrir el conductor sin tocar tierra.
- e) Detectar fallas en el sistema y tomar acciones preventivas para minimizar su impacto.

2.2.2. Sistema eléctrico de potencia

El sistema eléctrico (SEP) tiene como propósito asegurar un suministro normal de energía eléctrica en la zona de su concesión, se debe garantizar el suministro con los costos más bajos y el mejor beneficio de los recursos energéticos y cumplir con el nivel de calidad especificado en las normas técnicas pertinentes. Los SEP también pueden verse afectados por demandas que no responden en forma de transitorios que causan perturbaciones significativas, sobretensiones y/o sobre corrientes que provocan oscilaciones en la máquina que deben amortiguarse; de lo contrario, es peligroso para su funcionamiento, afectando su funcionamiento. estabilidad, hace que se detengan, por lo que no pueden satisfacer la demanda (COES-SINAC, 2008).

2.2.3. Teoría de fallas

El sistema eléctrico (SEP) tiene por objeto asegurar un normal suministro de energía eléctrica en la zona de su aplicación, lo que debe asegurar el suministro con los menores costos y el mayor aprovechamiento de los recursos de energía al mismo tiempo debe desempeñar el nivel de calidad establecido por las normas



técnicas correspondientes. Los SEP también pueden verse afectados por demandas que no responden en forma de transitorios que causan perturbaciones significativas, sobretensiones y/o sobre corrientes que provocan oscilaciones en los equipos que deben amortiguarse; de lo contrario son peligrosos para su funcionamiento, afectan su funcionamiento. La estabilidad los obliga a detenerse, por lo que no pueden satisfacer la demanda (COES-SINAC, 2008).

2.2.4. Consecuencia de las fallas

Según el lugar de falla, la disposición de un arco puede provocar:

- a) Aislamiento reducido
- (b) Conductor fundido
- c) provocar un incendio o poner en peligro a las personas

Dependiendo del circuito afectado, puede experimentar:

- a) Sobretensión electrodinámica con:
- b) Deformación de un grupo de varillas
- c) El cable está roto o suelto
- d) Sobre calentamiento por el aumento de pérdidas del efecto Joule y la exposición de avería del aislamiento.

Para circuitos de redes cercanas:

- (a) Caída de voltaje durante la depuración, que varía desde unos pocos milisegundos hasta cientos de milisegundos.
- b) Desconectar partes más o menos importantes de la instalación en función del circuito y de su selectividad de protección.
- c) desequilibrio dinámico (transitorio) y pérdida de sincronización de la máquina.

d) alteraciones en los circuitos de mando y control.

2.2.5. Componente simétrica

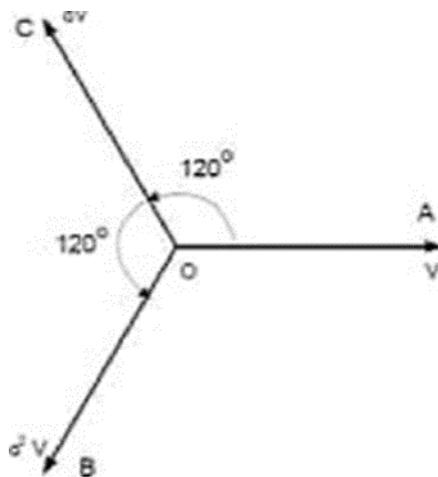
Es un instrumento matemático para resolver problemas de sistemas multifásicos en no equilibrio. En un sistema multifásico equilibrado, la resistencia de cada fase es la misma, la corriente de fase y el voltaje de fase son los mismos y la diferencia de ángulo es la misma. Por lo tanto, un sistema multifásico en equilibrio se puede analizar en una fase y luego se dan los resultados para todas las fases. La teoría de mecanismos simétricos reconoce que cualquier sistema de fase multifásico desequilibrado se puede descomponer en un sistema de fase equilibrado con el mismo número de fases. Estos sistemas de fase equilibrada se denominan componentes simétricos del sistema desequilibrado original.

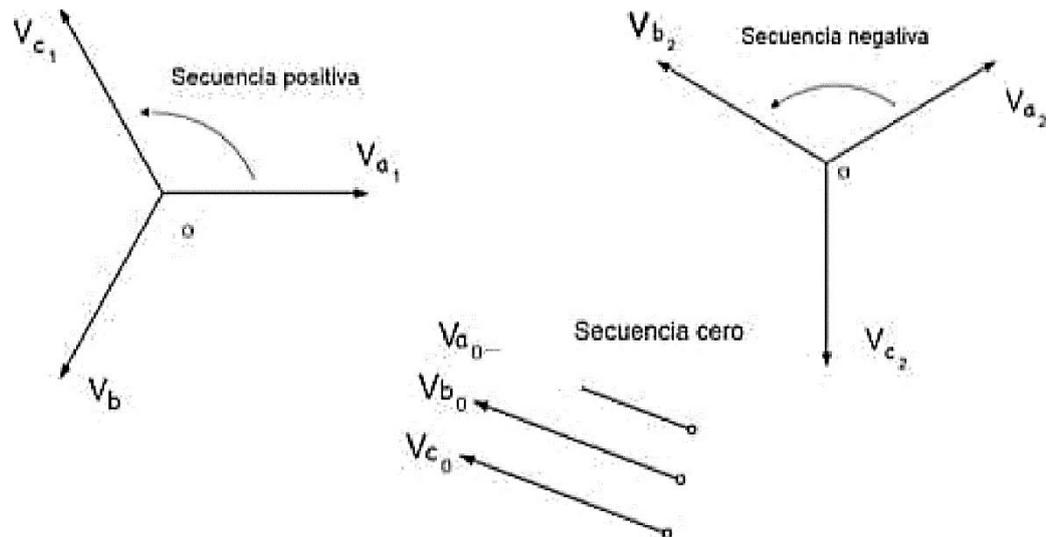
2.2.6. El operador de frecuencia

El operador Y , que gira el fasor 90° , es muy utilizado en ingeniería eléctrica. Un operador similar que gira el fasor 120° es valioso, especialmente para problemas de sistemas trifásicos. Este es el operador "a".

Figura 1

Ángulos de desfase de la red





Elaboración propia.

Operador “a”

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = 1 \angle 120^\circ * 1 \angle 120^\circ = 1 \angle 240^\circ$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ$$

Relaciones entre fasores

Secuencia positiva

$$V_{b1} = a^2 V_{a1}$$

$$V_{c1} = a V_{a1}$$

Secuencia negativa:

$$V_{b2} = a V_{a2}$$

$$V_{c2} = a^2 V_{a2}$$

2.2.7. Matriz de componente simétrica

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

Donde V_{a1} , V_{a2} y V_{a0} son los fasores de referencia para los componentes de secuencia positiva, negativa y cero.

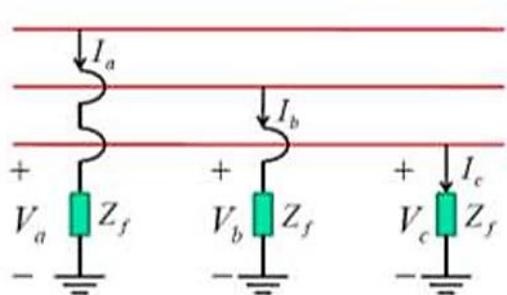
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{b1} \\ V_{c2} \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{b1} \\ I_{c2} \end{bmatrix}$$

2.2.8. Falla trifásica

Su esquema es la siguiente

Figura 2

Esquema de falla trifásica a tierra



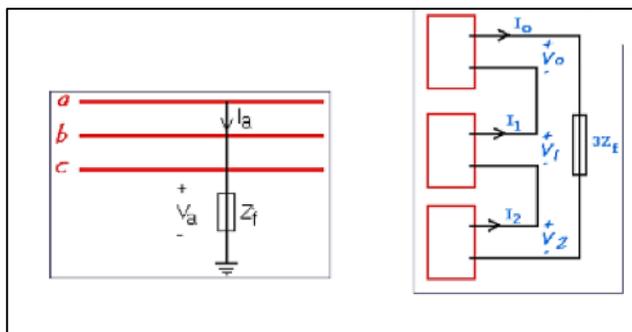
Elaboración propia. [fuente](#)

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & a & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}; \begin{matrix} V_a = Z_f I_a \\ V_b = Z_f I_b \\ V_c = Z_f I_c \end{matrix}$$

2.2.9. Falla Monofásica

Figura 3

Falla de tipo monofásico



Elaboración propia.

$$V_a = Z_f I_a$$

$$I_b = 0 ; I_c = 0$$

$$I_b = I_c \rightarrow I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$(a^2 - a) I_1 = (a^2 - a) I_2$$

$$I_1 = I_2$$

$$I_b = 0 \rightarrow I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 0$$

$$I_0 = -(a^2 - a) I_1$$

$$I_0 = I_1$$

$$V_a = Z_f I_a$$

$$V_0 + V_1 + V_2 = Z_f (I_0 + I_1 + I_2)$$

$$V_0 + V_1 + V_2 = 3Z_f I_0$$

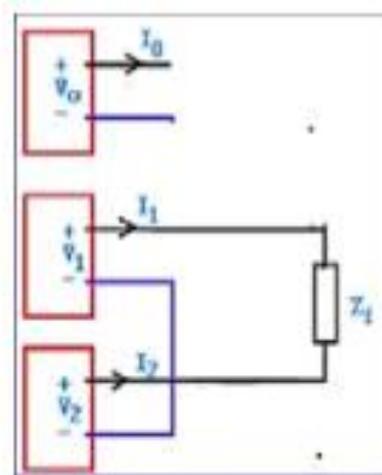
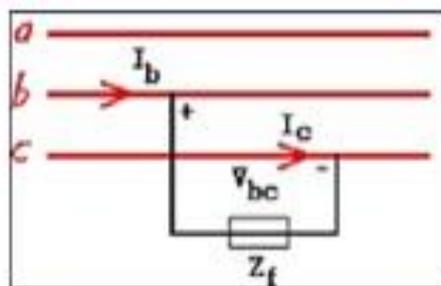
2.2.10. Falla bifásica

$$I_a = 0; I_b = I_c \quad bcf I_b$$

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = 0 \rightarrow I_0 = -(I_1 + I_2)$$

Figura 4

Falla tipo bifásica



Elaboración propia.

2.2.11. Impedancia característica (Z_0)

$$I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = -(I_0 + a I_1 + a^2 I_2)$$

La impedancia particular (Z_0) de una línea se precisa como un número complejo expresado en ohmios, que imaginativamente es no dependiente de la distancia de la línea y no se puede medir. Acumula energía en su inductancia y capacitancia distribuidas. Opera como una resistencia que disipa la potencia. Conjuntamente, se dan como parámetros secundarios de la línea junto con la constante de propagación y son autónomos de la longitud de la línea. La impedancia particular de un cable depende de la permeabilidad magnética, la permeabilidad magnética, la frecuencia y la geometría del cable.

2.2.12. Impedancia de secuencia en línea de transmisión

Las resistencias de secuencia positiva y negativa son las mismas porque la secuencia de fase no se especificó al desarrollar las ecuaciones de inductancia y capacitancia. Al calcular la resistencia de secuencia cero, se deben tener en cuenta la resistencia y la inductancia del conductor del bucle el campo magnético y de corriente creado por la secuencia cero.

2.2.13. Impedancia y redes de secuencia

La caída de voltaje causada por una cierta secuencia de corrientes en cualquier parte de un circuito depende completamente de la resistencia de esa parte del circuito y del flujo de esas corrientes. Por lo tanto, para calcular los efectos de falla por el método de componente simétrico, primero se debe determinar la impedancia de secuencia y luego se combinan en la red de secuencia.



2.2.14. Energía eléctrica

La electricidad es un modo de energía que se crea cuando existe una diferencia de potencial entre dos terminales, creando un flujo de electrones entre ellos (cuando entran en contacto a través de un conductor eléctrico) y realizando un trabajo. Cada vez que se acciona el mando, el circuito se cierra y los electrones se mueven a través del cable. Las cargas en movimiento son parte de los átomos del alambre, que suele ser metálico porque los metales (porque son buenos conductores más que otros materiales).

2.2.15. Costo social de la electricidad

Calcular el precio de los apagones para mejorar la calidad de la energía para los usuarios finales, también conocido como el costo social de los apagones, es una de las tareas más importantes para las empresas de distribución. Sin embargo, los factores que afectan los costos de falla dificultan la estimación. Algunas de las dificultades son causadas por la severidad de la falla, la duración, el tipo de usuarios afectados, el nivel de estrés de las personas afectadas y el nivel de vida alcanzado.

2.2.16. Materiales utilizados en las líneas de transmisión y distribución

Las líneas de transmisión utilizan varios materiales dependiendo de las necesidades de la línea. El cobre duro, por ejemplo, se usa en líneas aéreas que requieren propiedades mecánicas de mayor resistencia porque si se usara cobre blando, el cable se doblaría por la gravedad y su propio peso. El cobre blando se usa en el cableado subterráneo porque si usamos cobre duro, le quita la flexibilidad necesaria para la instalación y el manejo (Jimenez y otros, 2006).

La elección de un material conductor específico es esencialmente una cuestión económica, donde no solo se tienen en cuenta las propiedades eléctricas del conductor, se considera también otros factores, tales como: características mecánicas, maniobras de conexión, sostenimiento, número de apoyos necesarios, espacio. limitaciones, resistencia a la corrosión de los materiales, etc. Los metales se utilizan con mayor frecuencia como conductores eléctricos.:

Tabla 1

Materiales utilizados en líneas de transmisión y distribución

Material	Densidad gr/Cm ³	Temp. De Fusión °C	Coef. De Dilatación x10 ⁻⁴ °C	Temperatura Ideal R=0	Resistividad Eléctrica 20°C Ωmm ² km	Coef Térmico De Resistividad °C 20	Conductiv Electrica de cobre s
acero	7.9	1400	13	208.5	575-115	0.0016- 0.0032	
aluminio	2.7	660	24	228	28.264	0.00403	
cobre duro	8.89	1083	17	241	17.922	0.00383	
cobre suave	8.89	1083	17	234.5	17.922	0.00383	
plomo	11.38	327	29		221	0.004	
zinc	7.14	420	29		61.1	0.004	
estaño	7.28	231.9	0.227	269.42	120	0.0046	

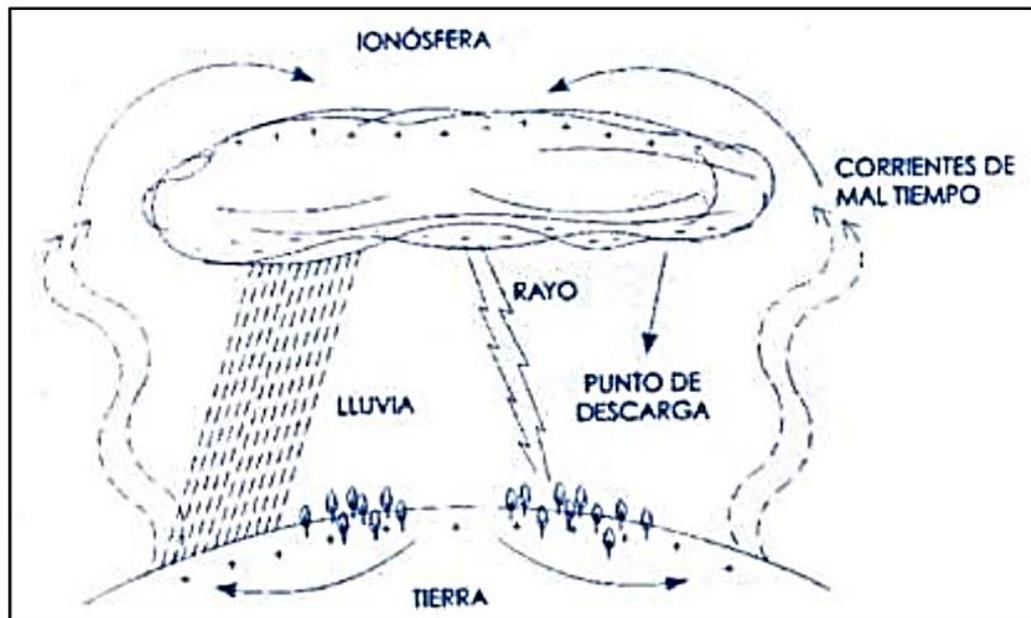
Nota: Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. Ciudad Universitaria San Nicolas de los Garza Nuevo León (Jimenez y otros, 2006).

2.2.17. Descargas atmosféricas

La descarga atmosférica o rayo es una corriente eléctrica que circula en la Tierra de una capa de nubes a otra y toma el camino de menor resistencia, como torres, líneas eléctricas, edificios altos y algunos otros objetos altos brindan estos puntos de caída de resistencia a los golpes.

Figura 5

Espacio de descargas atmosféricas



Nota: Tito Fuentes, F. (2017). Protección Integral contra Descargas Atmosféricas. Conferencia Magistral de Para-Rayos. Colegio de Ingenieros del Perú CD Puno.

Benjamín Franklin es el científico líder de la actualidad que no solo estudia el origen de las nubes y la carga eléctrica, sino que también explora alternativas para protegerse contra este fenómeno. Existen muchas teorías sobre la formación de emisiones atmosféricas, entre ellas:

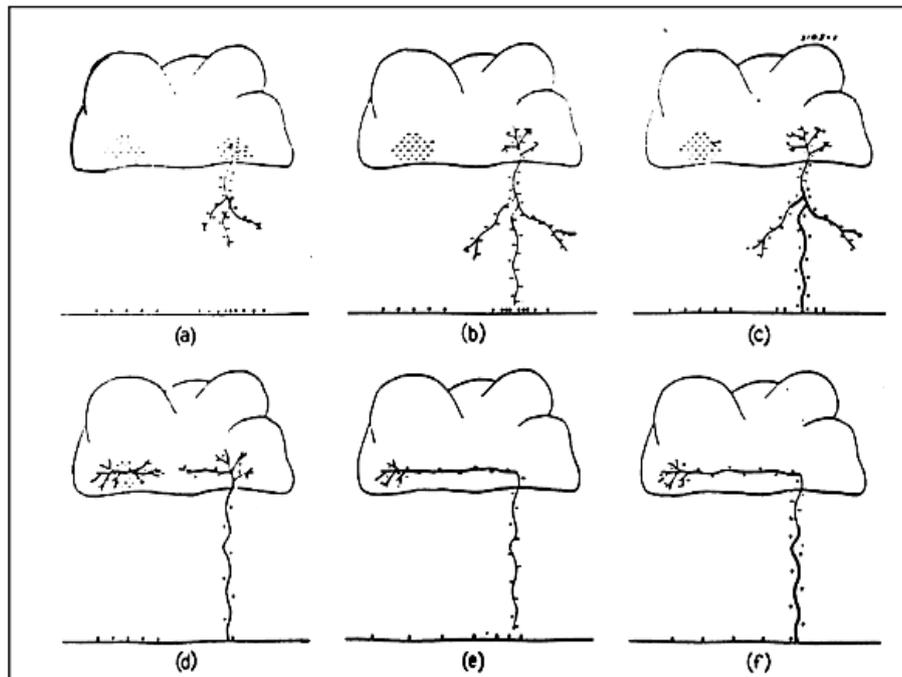
- Simpson
- Elster y Geitel
- Wilson
- Schonland

2.2.18. Teoría de Schonland

Es de las propuestas mayormente aceptadas para explicar la descarga nube-tierra es la teoría de “Shonland”, según la cual el período de las nubes de tormenta (nubes cúmulos) y las descargas posteriores, denominadas rayos, se puede resumir en las siguientes fases:

Figura 6

Proceso de formación de la descarga atmosférica (nube tierra)



Nota: Turco Aliaga, I. (s.f.). Incidencia de las Descargas Atmosféricas en Líneas Aéreas de Media Tensión sobre los 3800 Msnm. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional del Centro del Perú.

- La carga en la nube se distribuye de manera desigual, por lo que la concentración de carga en la nube no es uniforme. Aproximadamente del 90% de las descargas son negativas.
- Cuando el gradiente eléctrico supera un punto crítico, se producen mínimas descargas en la nube. Debido a la ionización por el choque del aire, degeneran en una avalancha llamada descarga piloto, con una rapidez de 150 km/s.
- Las ramas delanteras de la descarga logran imponerse en crecimiento hacia la Tierra, acompañadas de diminutos puntos de luz de la llamada "descarga desplazada".
- Luego, el canal receptor emerge para encontrarse con la descarga del conductor, lo que crea una gran carga negativa (o carga positiva, según sea el caso), creando un canal de plasma.
- Para neutralizar la carga en la nube, una masa opuesta de carga deja el plano de la Tierra a través del mismo canal de ionización anterior.

- f) Todas las descargas sucesivas pasarán por este canal de plasma, la primera de las cuales es la descarga de retorno, denominada "descarga de retorno" o "golpe de retorno".
- g) El efecto de carga de la descarga de retorno en la nube es tan fuerte que con frecuencia de casos crea otra descarga dirigida hacia la Tierra, llamada "descarga secundaria".
- h) No existe un modelo metódico para la causa del rayo, los fenómenos (atmosféricos, electrostáticos) son muy dispersos y el estudio se basa en registros paramétricos e imágenes fotografiadas de la fase de choque a tierra.
- i) En regiones templadas como Perú, son entre 80% al 90% de las descargas de rayos son de polaridad negativa (95% en el Ecuador).
- j) Los rayos hacia abajo provienen de las nubes y en su mayoría son negativos (-), mientras que los rayos hacia arriba provienen del suelo y son esporádicos y en su mayoría positivos
- k) En áreas planas, la mayoría de los rayos de luz caen hacia abajo, y cuando suben, son creados por puntos salientes u objetos muy altos.

Figura 7

Descarga Nube – Tierra (rayo)



Nota: Tito Fuentes, F. (2017). Protección Integral contra Descargas Atmosféricas. Conferencia Magistral de Para rayos, (pág. 41). Colegio de Ingenieros del Perú CD Puno

Figura 8

Descarga Nube - Nube (relámpago)



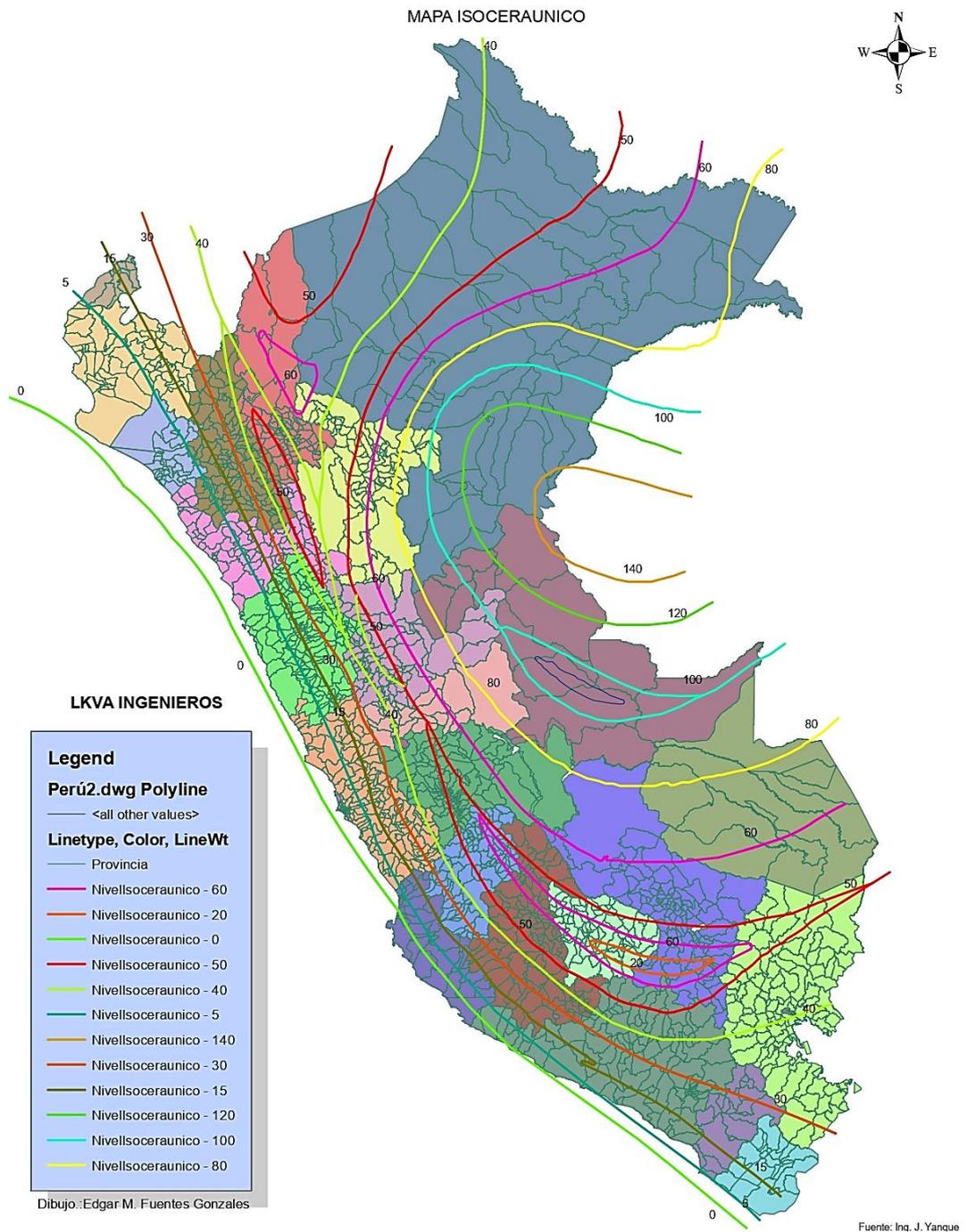
Nota: Tito Fuentes, F. (2017). Protección Integral contra Descargas Atmosféricas. Conferencia Magistral de Para rayos, (pág. 41). Colegio de Ingenieros del Perú CD Puno.

2.2.19. Particularidades de descargas atmosféricas y su incidencia en líneas aéreas de media tensión

Hay datos que nos pueden dar indagación sobre el potencial de emisiones atmosféricas en una zona; estos datos se proporcionan debido a las características de la cerámica que caracterizan una zona determinada. El nivel cerámico es el número medio de días al año que emite la atmósfera en un lugar determinado. La forma de representación de estos niveles es mediante líneas, que son parte integrante de los llamados mapas isoceraúnicos, que revelan gráficamente los diferentes niveles cerámicos presentes en un área en estudio.

Figura 9

Mapa de niveles isoceraunicos



Nota: Turco Aliaga, I. (s.f.).

2.2.20. Magnitud de la descarga

La relevancia del tamaño de descarga reside en el valor de sobre tensión inducida en la línea eléctrica es proporcional directamente a ella, por lo que es una



de las propiedades más importantes a tener en cuenta cuando se habla de relámpagos y su tasa de ocurrencia. en líneas eléctricas.

2.2.21. Angulo de incidencia

Es bien sabido que las emisiones atmosféricas generalmente afectan el ángulo. Este ángulo de incidencia afecta directamente el valor del voltaje inducido, sin embargo, en este trabajo se supone que la descarga incide en el suelo en un ángulo de 90 grados (Alaga, Turquía, pág. 6).

2.2.22. Tipos de impacto en descarga atmosférica Impacto a tierra

Descargas que pueden caer cerca de la línea sin tocar conductores de protección o conductores de fase, es decir, que caen directamente a tierra.

2.2.22.1. Impacto a conductor de fase

Hay una situación en la que el conductor no está blindado, lo que significa que no está bajo el blindaje del conductor de protección, hay aproximado un 100 % de posibilidades de que esto provoque la salida de la red del problema.

2.2.22.2. Sobre tensiones por rayo

Las sobretensiones por rayos o descargas atmosféricas son sin duda de tipo natural, ya que su origen no está directamente relacionado con los sistemas eléctricos. Aparecen en forma de ondas provocadas por la diferencia de potencial entre la nube y el suelo, y provocan rompimiento dieléctrico cuando se supera la energía del campo electromagnético, y se ven afectadas por elementos como el trayecto entre la nube y el suelo.

2.2.23. Métodos para limitar sobre tensiones de origen atmosférico

Son:



- Conductor de guarda
- Pararrayos de Oxido Metálico.
- Mejoría de puestas a tierra.
- Aislamiento

2.2.24. Cables de guarda

La función del cable de protección es actuar como pantalla, atrapar el rayo y derivar su corriente a tierra para que el rayo no afecte directamente al conductor.

2.2.25. Diseño del cable de guarda

La protección con cables, teniendo en cuenta las cantidades requeridas y su colocación en relación con los hilos de fase, se basa en el modelo electro geométrico de la descarga, que permite determinar el punto de impacto del rayo de descarga, dependiendo de la descarga. Los cables de protección en líneas aéreas pueden estar hechos de acero galvanizado, cobre revestido de acero o aluminio revestido de acero.

2.2.26. Angulo de apantallamiento

La práctica con varias redes muestra que 20 grados de ángulo es satisfactorio, mientras que 45 grados es ángulo de menos eficaz para proteger las líneas contra los rayos. Las pruebas de laboratorio mostraron un buen promedio de 30 grados, pero se encontró que, si la torre está recta en la pendiente, este ángulo debería disminuir con la pendiente de la pendiente (Gómez-González, 2009).

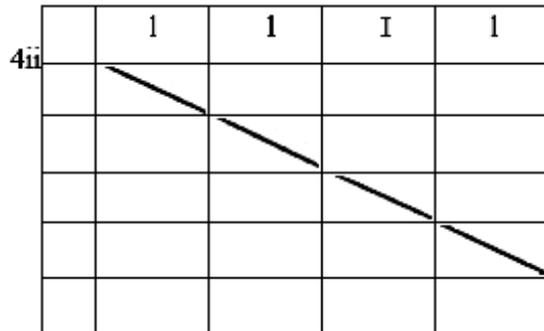
2.2.27. Método para conseguir un apantallamiento efectivo

Hay formas sencillas de encontrar ubicaciones válidas. La más sencilla es según el diagrama de la figura no. 2.6, según el "Libro de referencia de líneas de

transmisión de 345 Kv y superiores" es una combinación de altura de cable y ángulo de pantalla que proporciona una buena línea de voltaje de trabajo EHV. Un enfoque complejo son los modelos electro geométricos (Gómez González, 2009).

Figura 10

Guía para el diseño del cable de guarda



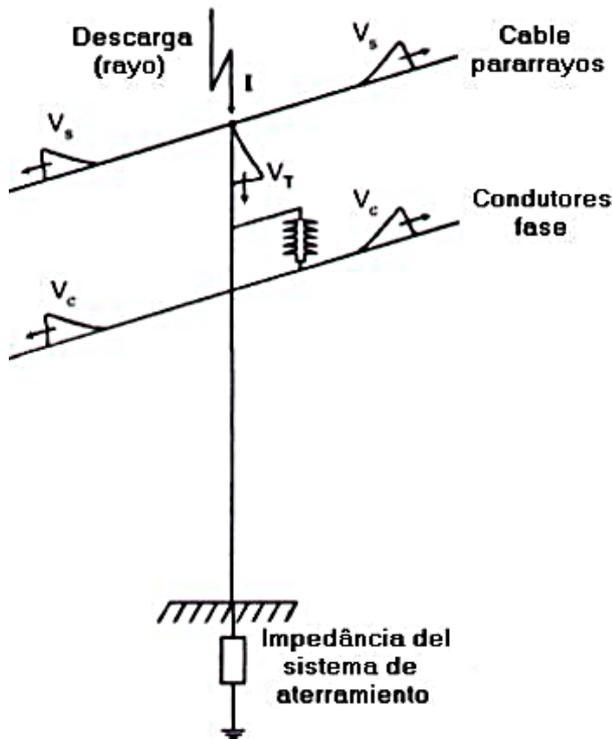
Nota: Gómez Gonzáles, Z. J. (2009). Estudio de los Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas y Puesta a tierra de la línea San Gerónimo "A"-Santa Teresa N '2 a 400KV. Venezuela.

2.2.28. Modelo electro geométrico

Según este modelo, a cualquier objeto se le puede asociar un atractivo radio de descarga atmosférica, cuyo valor ubica del valor máximo de la corriente de descarga. Se estima que existe un recorrido crítico entre el cable de fase y el cable de protección para que el rayo que finalmente salga más cerca de esta distancia incida en el conductor.

Figura 11

Protección contra descargas directas



Nota: Contreras, M. (2017). Pararrayos para aplicación en líneas de transmisión. Curso de Capacitación EFECTO DE DESCARGAS SOBRE LT's (pág. 13). Puno: División Energía TE Connectivity.

Las descargas atmosféricas pueden caer directamente al suelo cerca de la línea de transmisión o afectar directamente a la línea de transmisión. Esta distancia r , llamada distancia del arco, es función de la magnitud de la carga y , por tanto, de la corriente de descarga (Gómez González, 2009).

Para determinar la distancia de arco en función de i

$$R = 10 * I^{0.65}$$

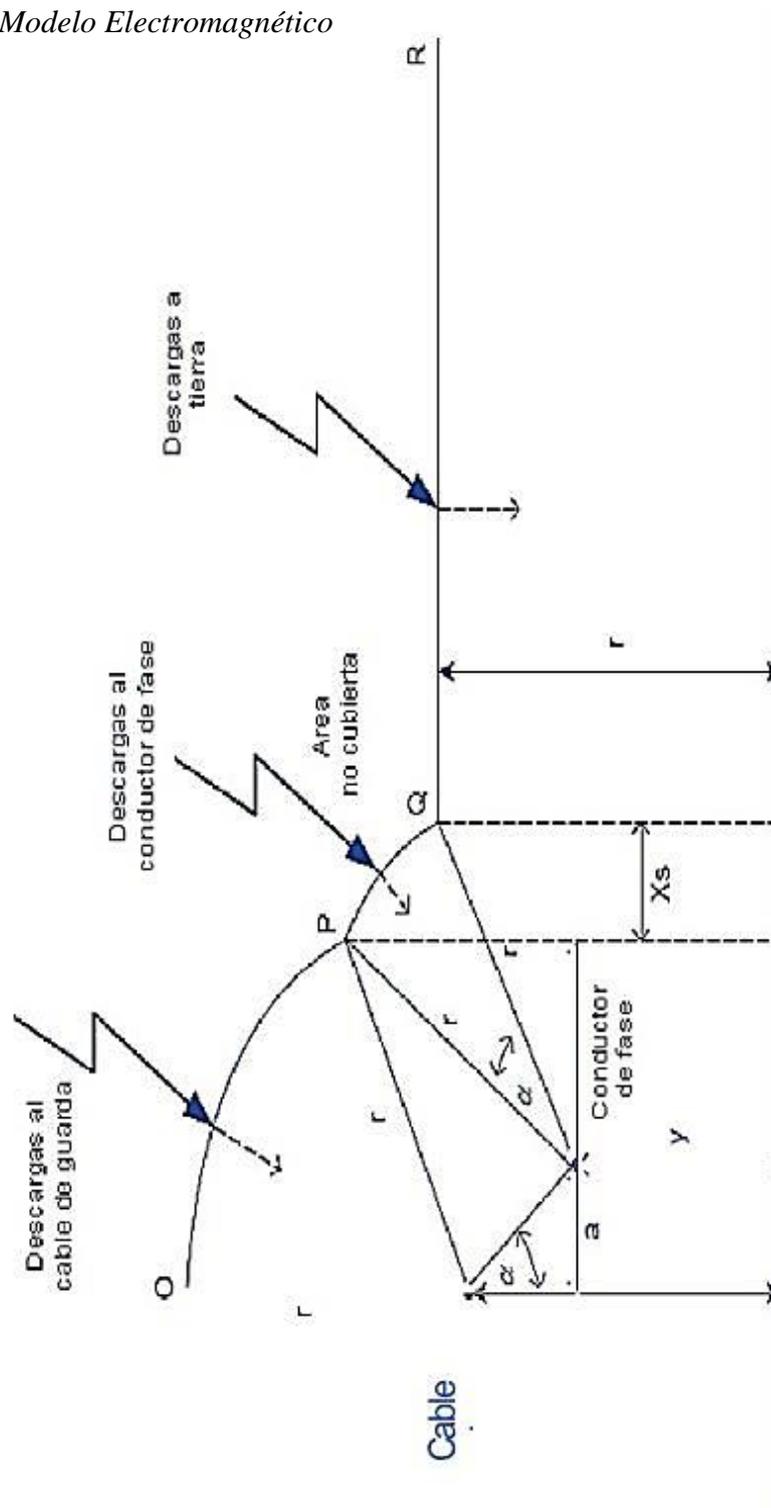
Donde:

r = longitud de arco o de atracción al rayo (m)

I = Corriente de descarga en kA

Figura 12

Modelo Electromagnético



Nota: Gómez Gonzáles, Z. J. (2009). Estudio de los Sistemas de Protección contra descargas atmosféricas y Puesta a tierra de la línea San Gerónimo "A"-Santa Teresa N°2 a 400KV. Venezuela

2.2.29. Descargadores de oxido metálico

Los pararrayos deben cumplir los siguientes requisitos básicos:

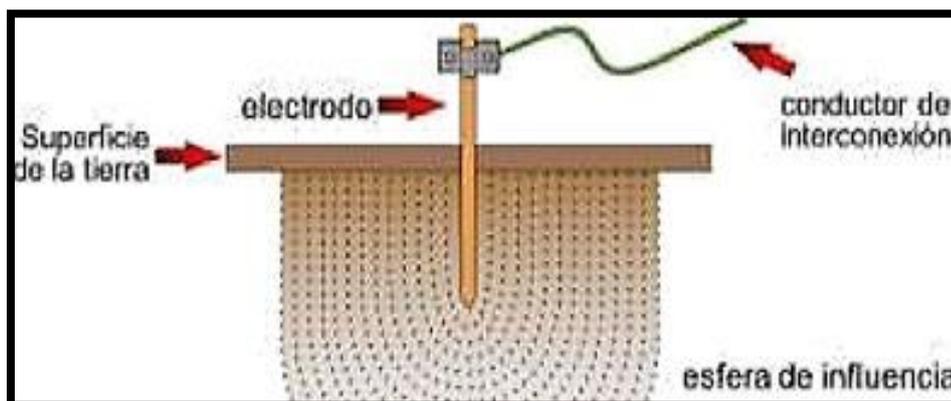
- Proteger contra las emisiones si se ve afectado directamente por las emisiones atmosféricas.
- Deben ser fáciles de instalar en los armados existentes. La manutención debe ser simple.
- Deben ser capaces de soportar las situaciones ambientales y de instalación.

2.2.30. Sistemas de puesta a tierra en las estructuras

Es una asociación de instalaciones que se utilizan como referencia para instalar a tierra el neutro, limitando las tensiones de derivación y de paso a valores seguros.

Figura 13

Esquema del sistema de puesta a tierra



Nota: Tito Fuentes, F. (2017). Sistemas de Puesta a Tierra. Conferencia Magistral de Para-Rayos Ingeniería en Protección Eléctrica. CIP Puno.

2.2.31. Electrodo de tierra

Un electrodo y/o varilla de puesta a tierra es una parte integral del PAT está en relación directa con el suelo y, por lo tanto, brinda la oportunidad de reducir o recoger la corriente de evasión a tierra (PROCOBRE, pág. 16).

Los electrodos pueden adoptar diferentes formas: tiras verticales, placas y conductores horizontales. Las formas más comunes se describen a continuación.

2.2.31.1. Barras

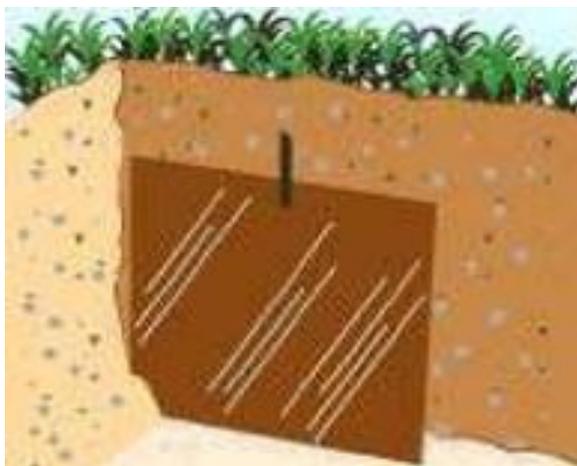
Este es el tipo de electrodo más común porque su instalación es relativamente económica y se puede usar en suelos profundos de menor resistividad con pozo y relleno limitados. Están utilizables en varios tamaños, longitudes, diámetros y materiales.

2.2.31.2. Placas

Se utilizan varios modelos de placas para el sistema a tierra, pero el único tipo universalmente considerado como electrodo debe ser macizo y de dimensión considerable.

Figura 14

Placa de cobre para sistema de puesta a tierra



Nota: PROCOBRE. (s.f.). Sistemas de puesta a tierra.



2.2.31.3. Electrodo horizontales

Tienen una composición de cinta de cobre de conductividad alta o conductores trenzados (alambres). La cinta es más conveniente porque tiene más área de superficie por unidad de material y se dice que tiene un superior rendimiento de aceptación de frecuencia debido a su capacitancia a tierra ligeramente más alta, no es de fácil manipulación como una barra vertical, por lo que puede significar una instalación un poco más costosa.

2.2.32. Característica de la puesta a tierra

Conducir y disipar todo tipo de corrientes que puedan surgir en el terreno debido a fallas, descargas atmosféricas o maniobras sin crear gradientes potenciales peligrosos entre la superficie del terreno o los puntos del terreno y los objetos conductores adyacentes, que debe proporcionar suficiente resistencia para asegurar una buena conductividad. - Debe ser resistente a la corrosión del suelo. - Los costos deben ser lo más bajos posible, teniendo en cuenta los requisitos de los reglamentos.

2.2.33. Objetivos de un sistema de puesta a tierra

- Proporcionar seguridad al personal en las instalaciones.
- Protección de las instalaciones eléctricas.
- Continuidad del servicio.
- Proteger contra electricidad estática.

2.2.34. Resistividad del terreno

La resistencia generalmente se da en unidades de ohm-m ($\Omega\cdot m$). La resistividad del suelo particular combinada con la configuración de los electrodos produce la resistencia experimentada por el electrodo particular. En la práctica,



primero se realizan mediciones de resistencia para determinar una buena ubicación de puesta a tierra y realizar cálculos teóricos para su diseño óptimo.

2.2.35. Método de Wenner en la medición de resistividad eléctrica del suelo

Esta es una versión especial del método de 4 electrodos, solo que aquí se colocan en línea recta y de la misma longitud "a", simétricos al lugar donde se va a medir la resistencia de tierra, no es necesario para el auxiliar electrodos que superen los 30 cm. El dispositivo de medición es un medidor de telurio clásico de cuatro terminales, los dos electrodos externos miden la inyección de corriente (C1 y C2) y los dos electrodos centrales son electrodos de medición potenciométricos (P1 y P2). (Gómez González, 2009, 90.-92. 1 p.).

Para obtener la resistividad, se aplica la siguiente ecuación:

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

Dónde:

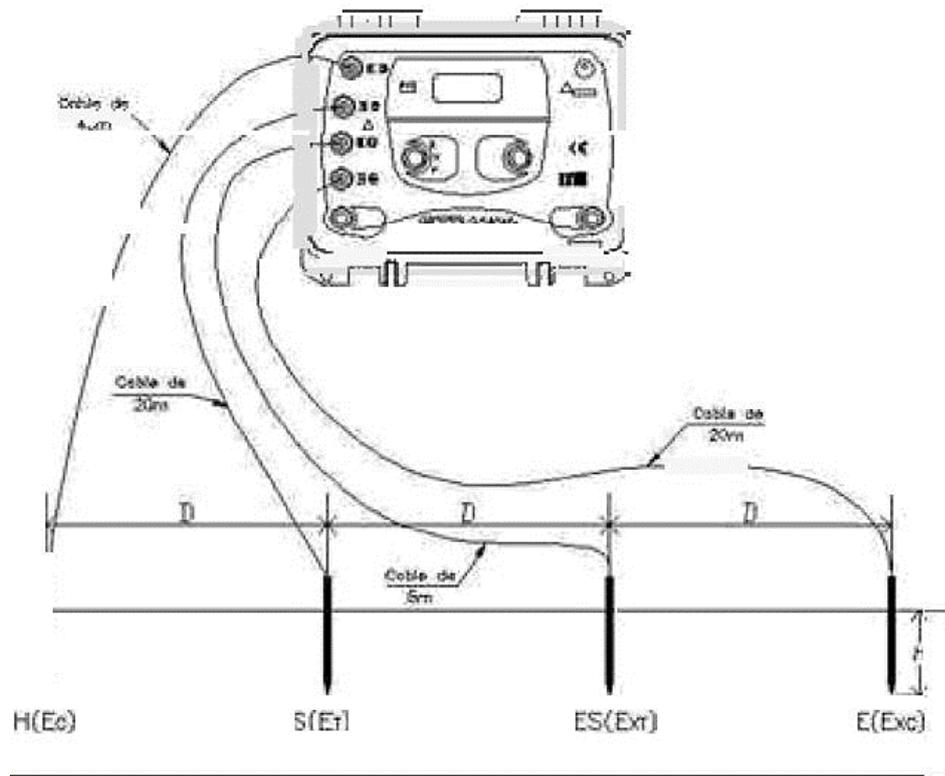
ρ = Resistividad aparente del terreno en (El-m)

R = Resistencia medida por el telurómetro en (D)

a = Distancia entre los electrodos en (m).

Figura 15

Esquema de conexión del telurómetro – método de Wenner



Nota: Catalogo del telurómetro digital.

2.2.36. Resistencia de puesta a tierra

Cada estructura tipo PAT-1C se instalará con puesta a tierra. También se debe considerar la seguridad del personal y la utilidad del sistema; las fórmulas de cálculo para varias disposiciones de sistema de puesta a tierra se describen a continuación.

2.2.37. Tipo PAT 1C

Básicamente, consiste en una argolla alrededor del poste inferior hecho del mismo conductor de bajada. Se colocará seguridad en todas las estructuras, excepto en aquellas con tabiques y subestaciones, que estarán conectadas al hardware del edificio. El cable de tierra PAT-1C debe instalarse a una profundidad de 0,8 m del anillo ya un radio de 1,2m.



$$R_{anillo} = \frac{\rho}{\pi^2 * r} * Ln \left(\frac{4 * r^2}{d * h} \right)$$

Donde:

R_{Anillo} = Resistencia de puesta a tierra del sistema

h= Profundidad de enterrado el anillo

r= Radio del anillo

ρ_a = Resistividad eléctrica aparente del terreno (ohm-m)

d= Diámetro del conductor

2.2.38. Tipo PAT-1

Radica en trasladar el conductor, conectado desde el electrodo, por el interior de la estructura de concreto. La resistencia de puesta a tierra del sistema PAT-1 resulta de aplicar la siguiente ecuación

$$R_{PAT} = \frac{\rho}{\pi^2 * r}$$

Donde:

R_{PAT} = Resistencia de electrodo (ohm)

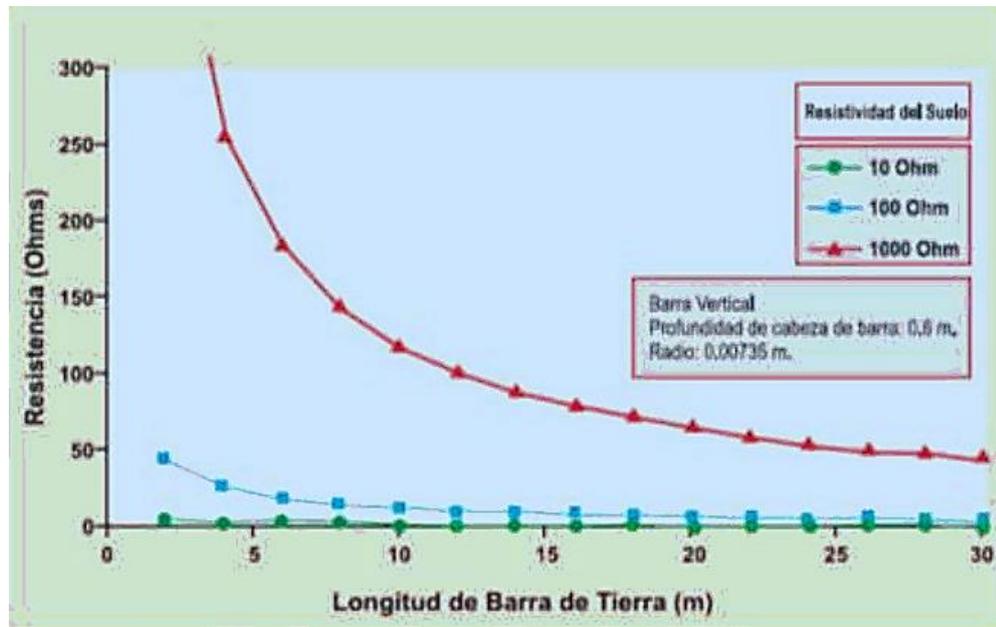
P = Resistividad del terreno (ohm - metro)

N = Radio del electrodo (m)

h = Profundidad de enterramiento (m)

Figura 16

Variación de la resistencia del electrodo en función de la profundidad



Nota: PROCOBRE. (s.f.). Sistemas de puesta a tierra.

2.2.39. Tipo PAT-2

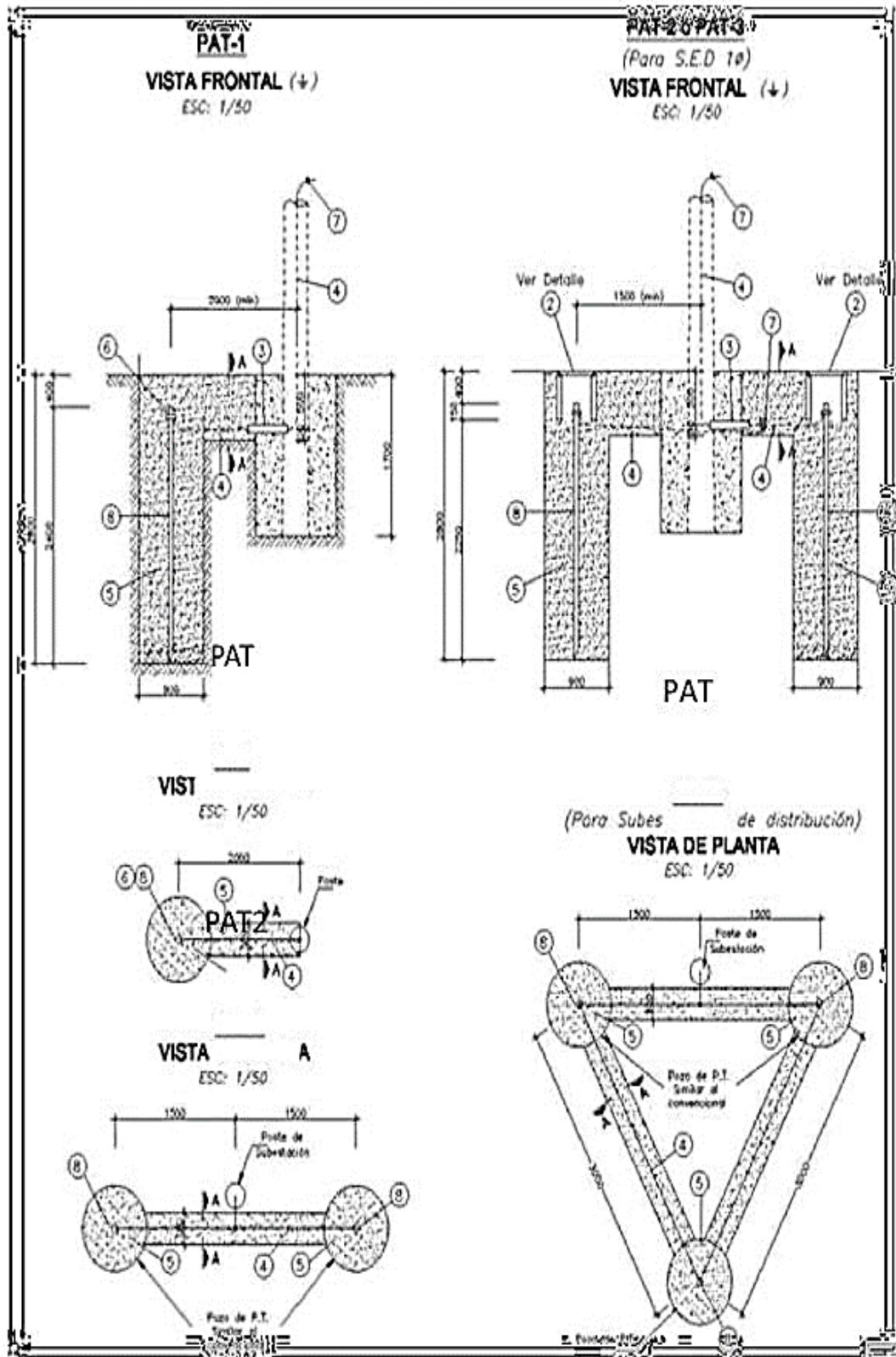
Establecido por 2 sistemas PAT-1, apartados a un trayecto horizontal entre varillas y fusionadas entre sí mediante el conductor de cobre.

2.2.40. Tipo PAT-3

Formado por tres sistemas PAT-1 situados en forma de triángulo, separados a un recorrido horizontal entre varillas, y fusionadas entre sí mediante conductor de cobre de cobre.

Figura 17

Configuración de SPAT tipo PAT -1, PAT-2 y PAT -3



Nota: MEM. Armados de estructuras. Sección 1: líneas primarias



2.2.41. Métodos para la reducción de la resistencia eléctrica

Hay varias formas de lograr una menor resistencia, aunque todas proporcionan un punto de saturación que es fácil de conocer para evitar desperdiciar el diseño.

2.2.42. Tratamiento del suelo para puesta a tierra

El tratamiento artificial del suelo es una forma de optimizar y reducir la resistencia de la puesta a tierra sin utilizar un gran conjunto de electrodos. Estos incluyen: bentonita, cemento conductor, Tor gel, tierra negra y compost.

2.2.43. Bentonita

En el terreno, absorbe la humedad del suelo circundante, razón principal de su uso, ya que esta propiedad ayuda a estabilizar la resistencia del electrodo durante todo el año. Tiene una baja resistencia de unos 5 ohmios y no es corrosivo. En condiciones extremadamente secas, la mezcla se descompone y hay poco contacto con los electrodos. La bentonita es tixotrópica y, por lo tanto, similar a un gel en su estado inerte. La bentonita se utiliza principalmente como material de relleno para barras de acero enterradas a gran profundidad. Se comprime fácilmente y se pega de forma segura (PROCOBRE, 59. 1 p.).

2.2.44. Cemento Conductivo

Es un material a base de cemento y carbono que minimiza significativamente la resistencia y mejora la confiabilidad, la seguridad y la durabilidad de su sistema de puesta.

2.2.45. Thor- gel

Tiene una fuerte atracción por el agua, lo que le permite permanecer en equilibrio con el agua superficial circundante mientras la atrapa, convirtiéndola



en una especie de depósito acuífero. Llena el hueco en el pozo y proporciona una buena conexión eléctrica entre la tierra y los electrodos, asegurando una conductividad eléctrica constante.

2.2.46. Con carbón mineral o vegetal

No permite bajar esencialmente la resistencia de sistema a tierra sobre todo por el tamaño de la partícula. Un carbón de partículas muy finas tiene una resistividad de $1.8 \Omega\text{-m}$. (Gómez Gonzáles, 2009).

2.2.47. Propiedades del suelo que influyen en LA PUESTA a tierra

2.2.47.1. Presión y Compactación del suelo:

Un terreno más denso tiene mayor continuación física, lo que en principio permite a una mejor continuidad si se alcanzan las capas de menor resistividad.

Composición del terreno: No es posible especificar el valor de resistencia en una ubicación específica hasta que se complete la medición. Incluso sucede que la resistencia puede variar significativamente para un mismo tipo de terreno ubicado en diferentes regiones.

Estratificación del suelo: La estructura del suelo es universalmente estratificada en varias capas (consecuentemente de resistividades diferentes).

Concentración de sales: La resistividad del suelo es dependiente de la cantidad de agua que es retenida en éste, y se conoce que la resistividad del agua está asociada por las sales contenidas en ésta.

Humedad del suelo: Disminuye la resistividad con el aumento de la humedad del suelo. Nivel de agua subterránea (nivel de agua en el país): El nivel de agua subterránea determinado del sitio debe determinarse con adelanto. Resistividad del suelo (p): Es el parámetro de diseño de suelo.

2.2.47.2. Experiencia de pruebas de corrosión en el terreno

Las pruebas aceleradas realizadas en el laboratorio tienen aplicaciones limitadas. Las pruebas de campo en condiciones de funcionamiento estrictamente controladas han demostrado una mayor fiabilidad (PROCOBRE, 49 pp.).

Tabla 2

Prueba de corrosión de metales ante características del suelo

Efecto de características del suelo y del clima en la corrosión											
Prueba	Suelo	Tasa de corrosión promedio, pulgadas x 10 ⁻³ /y					Características de suelo y clima				
		Cobre	Latón	Plomo	Acero	Hierro Fundido	Temp.°F Media	Precipitación Anual (Pulgadas)	Humedad %	pH	Resistividad Ω-cm
67	Ceniza	1.58	3.51	3.32	9.67	>20	46	30	11	8,0	455
43	Pantano de marea	0.81	0.04	0.02	2.13	2.51	52	43	55	3,1	60
63	Pantano de marea	0.62	0.011	0.004	1,44	1,09	66	45	47	2,9	84
60	Turba	0.91	0.64	0.07	2,77	3,82	49	37	43	2,6	218
33	Turba	0.17	0.25	-	1,81	2,47	46	30	73	6,8	800
58	Materia descompues	0.29	0.49	0,64	2,61	3,59	69	57	58	4,0	712
29	Materia descompues	0.16	0.39	0,36	2,27	3,90	69	57	34	4,2	1270
45	Suelo alcalino	0.04	0.02	0.02	1,23	2,00	47	15	15	7,4	263
64	Arcilla	0.60	0.30	0.05	>20	>20	58	16	41	8,3	62
56	Arcilla	0.11	0.14	0.12	4,67	>20	69	49	29	7,1	406
61	Arcilla	0.05	0.18	1,58	0,93	1,26	69	57	31	5,9	943
27	Arcilla	0.016	0.06	0.05	0,82	0,68	67	56	43	6,6	570
28	Adobe de arcilla	0.11	0.11	0.07	2,59	3,84	61	10	25	6,8	408
5	Adobe de arcilla	0.04	0.08	0.45	0,70	1,06	56	23	29	7,0	1346
3	Marga de arcilla	0.04	0.10	0.06	0,60	0,57	61	48	29	5,2	30000
8	Marga de arcilla	0.03	0.03	0.06	0,97	3,06	49	21	37	7,6	360
25	Marga de arcilla	0.016	0.07	0.03	2,4	0,51	46	30	26	7,2	2980
36	Marga arenosa	0.26	0.07	0.03	0,30	0,16	64	53	14	4,5	11200
10	Marga arenosa	0.12	0.33	0.09	0,60	0,79	50	41	13	6,6	7460
12	Marga fina arenosa	0.40	0.31	0.12	0,49	0,36	62	15	12	7,1	3190
16	Marga fina arenosa	0.08	0.24	-	0,97	1,36	67	61	22	4,4	8290
37	Arena fina	0.23	0.21	-	1,00	2,14	69	47	7	3,8	11200
31	Arena fina	0.012	0.03	0.019	0,35	0,26	69	47	3	4,7	20500
66	Marga de grava fina	0.08	0.18	0.025	3,08	0,73	70	8	16	8,7	23,2
6	Marga de arena fina	0.014	0.02	0.018	0,16	0,08	51	34	12	5,9	45100
4	Marga	0.03	0.20	0.19	0,84	1,48	54	40	22	5,6	6670
35	Marga	0.02	0.03	0.02	0,16	0,26	62	15	18	7,3	2060
23	Marga de sediento	0.18	1.06	-	2,54	4,76	65	6	25	9,4	278
1	Marga de sediento	0.08	0.14	0.18	1,22	1,89	49	34	29	7,0	1215
20	Marga de sediento	0.05	0.06	0.28	0,80	1,10	49	34	22	7,5	2870
19	Marga de sediento	0.05	0.17	0.04	0,46	0,60	50	32	28	4,6	1970
18	Marga de sedientol	0.010	0.03	0.016	0,35	0,47	51	28	28	7,3	1410

Nota: PROCOBRE



2.2.48. Valores máximos permitidos de resistencia de puesta tierra

El valor máximo permitido corresponde al valor especificado en la norma. La resistencia del cable de tierra unipolar a tierra no debe exceder los 25 Ω . Si la resistencia de un electrodo excede los 25 Ω , se deben usar dos electrodos paralelos. Si es necesario reducir la resistencia del suelo, se pueden utilizar otros métodos, como tratamiento químico o suelo artificial, que deben ser aceptables y certificados por un organismo profesional calificado y objetivo, que asegure que dicho tratamiento no es peligroso. el entorno (MINAM, 2011).

2.2.49. Aisladores

Su fin es aislar eléctricamente el hilo conductor del soporte que lo soporta. Cuando se utilizan cables conductores, el aislador debe tener buenas propiedades dieléctricas, ya que su función básica es evitar el flujo de corriente del conductor a tierra.

2.2.50. Por conductividad del material:

Que es de la masa del aislante. Para impedir esto se utilizan materiales con corriente de fuga muy bajas (polímeros, vidrio, porcelana).

2.2.51. Por conductividad superficial

Esto ocurre cuando se produce una corriente de fuga fuera del aislador debido al aumento de la conductividad provocado por una capa de polvo o humedad depositada en la superficie del aislador. Esta conductividad, llamada efecto corona, generalmente se reduce proporcionando un perfil adecuado para la superficie del aislador.

2.2.52. Por perforación de la masa del aislador

Dado que es difícil mantener la homogeneidad dieléctrica del material en toda su longitud, existe el riesgo de perforar el aislamiento, especialmente en el caso de grandes espesores. Por esta razón, los aisladores suelen estar hechos de varias placas unidas con una pasta especial.

2.2.53. Numero de aisladores utilizados según el nivel de tensión

La cantidad de unidades que componen la cadena de aisladores es aproximadamente proporcional al voltaje, aumentando ligeramente a medida que aumenta el voltaje, y cada unidad tiene un margen de longitud.

2.2.54. Tipos de aisladores

pegados al poste por un herraje fijo y no pueden, cambiar normalmente de posición después de su instalación.

Figura 18

Aisladores fijos



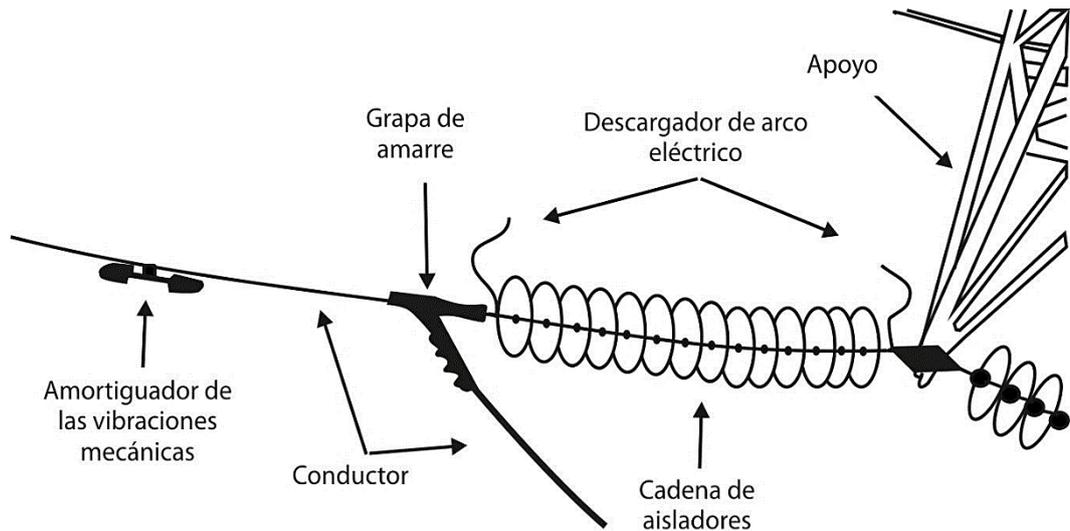
Nota: Portal de electricidad (SectorElectricidad, 2021)

2.2.55. Aisladores en cadena

Formados por un número de discos según la tensión de operación; constituyendo una cadena junto de su punto de unión al soporte.

Figura 19

Aislador en cadena



Nota: Portal de electricidad (SectorElectricidad, 2021).

2.2.56. Coordinación de protección

Los principios generales de coincidencia para cualquier dispositivo de protección contra sobrecarga se basan en las reglas generales que se detallan a continuación (Alce Lázaro, 2010).

El equipo de protección no debe continuar usando la corriente de carga máxima actual o anticiparse completamente a la corriente de carga futura más la sobrecarga, la protección primaria debe evitar una falla permanente o temporal (por ejemplo, un elemento fusible) y operar hasta la desconexión final. Si se cumple este criterio, la protección de respaldo anulará a la protección primaria en caso de falla operativa de la misma, y el tiempo de persistencia de falla acumulada debe ser menor que el tiempo de recocido de la curva térmica del conductor y del



equipo. El dispositivo debe ser capaz de soportar, encender y apagar la máxima corriente de falla del sistema al que está conectado (Alce Lázaro, 2010).

2.2.57. Dispositivos de protección

Un grupo de componentes interconectados y sus circuitos de control asociados cuya función es proteger una máquina o grupo de máquinas.

2.2.58. Fusibles

Realizan diferentes funciones como: (Alce Lázaro, 2010)

- a) Sentir cualquier subida de corriente en el sistema protegido.
- b) Interrumpir sobre corrientes
- c) Soportar voltajes transitorios de recuperación para no permitir reignición (extinción controlada del arco) (Alce Lázaro, 2010).

Si fluye una sobre corriente a través del fusible, el intervalo de tiempo desde la detección del inicio de la fusión se denomina "tiempo mínimo de fusión"; el intervalo de tiempo hasta que se funde todo el fusible se denomina "tiempo máximo de fusión", la principal limitación de un fusible es que cuando consume una corriente mayor que la corriente mínima del fusible, se derrite y la parte del sistema fuera de él se vuelve inútil, esta interrupción dura hasta que llega un técnico y analiza el problema. error y reemplaza el fusible (Alce Lázaro, 2010).

2.2.59. Recloser

Un reconectador es un dispositivo eléctrico que es lo suficientemente inteligente como para detectar una condición de cortocircuito o sobrecarga, abrir el circuito, volver a cerrar y, si la falla es permanente, interrumpir el circuito hasta que el interruptor se cierre manualmente (Alce Lázaro, 2010).

Figura 20

Recloser



Nota: Portal de electricidad (SectorElectricidad, 2021).

2.2.60. Operación

El interruptor se puede programar hasta para cuatro aperturas y tres recierres el tiempo de disparo se puede determinar a partir de la curva característica de tiempo-corriente especificada.

2.2.61. Secuencia de operación de un Recloser

2.2.61.1. Tiempo de reconexión

Son intervalos de tiempo en que los contactos del recloser permanecen abiertos entre una apertura y una orden de cierre o de reconexión (Alce Lázaro, 2010).

2.2.61.2. Tiempo de reposición

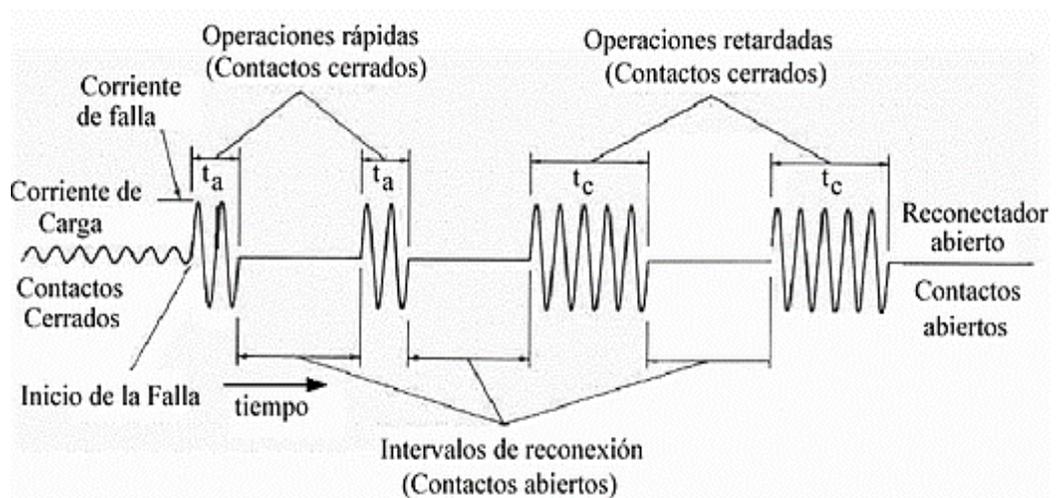
Es cuando un reconectador reinicia su programa cuando su secuencia de operaciones está parcialmente completada porque la falla fue temporal o fue eliminada por otro elemento de protección.

2.2.61.3. Corriente mínima de operación

Es el valor mínimo de corriente en el que el reconector inicia su sucesión programada de operaciones, una sucesión típica de operaciones para reabrir un reconector (Ravindranath, 1980).

Figura 21

Secuencia de operación del Recloser



Nota: Rabindranath, M. C. (1980). Power System Protection and Switchgear (1 ed.). Mexico.

2.2.62. Relés

Los relés de protección reciben información, la procesan, toman decisiones y ordenan acciones en una u otra dirección.

2.2.63. Interruptor

Un dispositivo utilizado para conectar y desconectar circuitos lo más rápido posible en condiciones normales de carga, sin carga y de falla para minimizar posibles daños al equipo.

2.2.64. Criterios básicos de protección

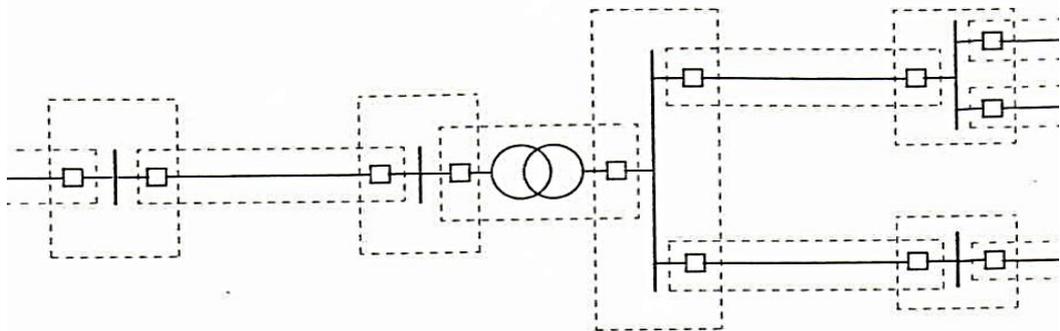
El objetivo primordial del sistema de protección es aislar rápidamente el área dañada del sistema de esta manera y así mantener la mayor parte del resto del sistema eléctrico.

2.2.65. Zona de protección

El sistema de potencia está dividido en un vinculado de zonas, cada una de las cuales está protegida por equipos adecuados. De esa forma, cuando ocurre una falla, la partición se aísla para mantener la red lo más libre posible de fallas (Álvarez, 2007).

Figura 22

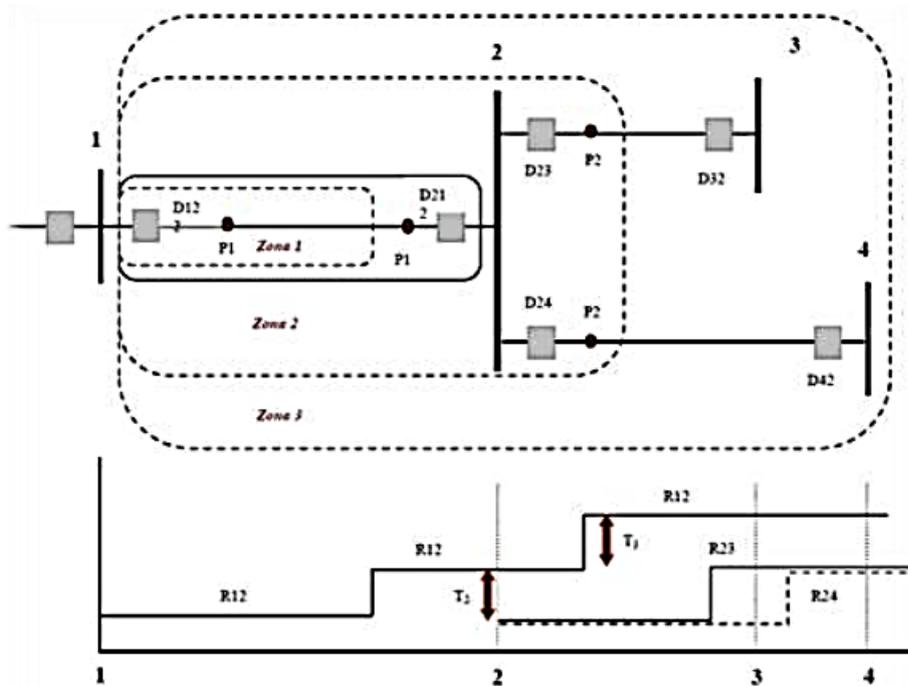
Zona de protección definida por una línea partida



Nota: Ramírez Alanís, Margil S. (2005). Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.
Universidad Autónoma de Nuevo León

Figura 23

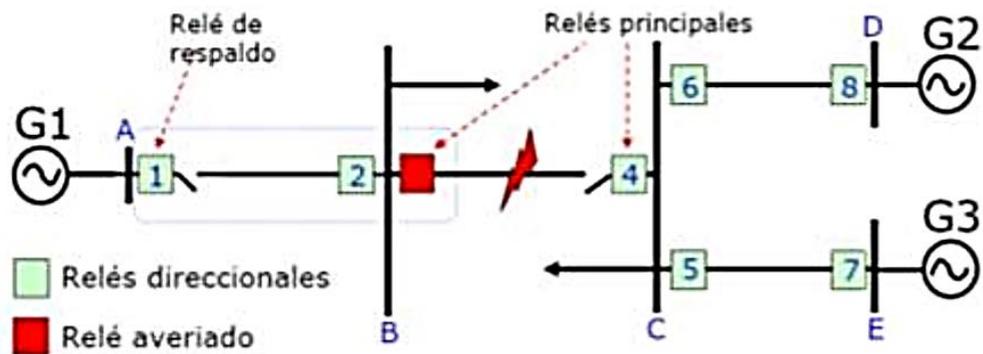
Zonas de protección



Nota: Álvarez V., E. (2007). Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia. Generalidades - Protección de SEP, (pág. 111). Puno.

Figura 24

Figura diagrama de ubicación de relés principales y de respaldo



Nota: Hernández Zevallos, L. (s.f.). Sistema de Protección en Sistemas Eléctricos. Sistemas de Protección, (págs. 65). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

2.2.66. Protección principal

La protección primaria es la principal responsable de eliminar los errores. Se definen como el número mínimo de elementos necesarios para terminar el error.

2.2.67. Protección de respaldo

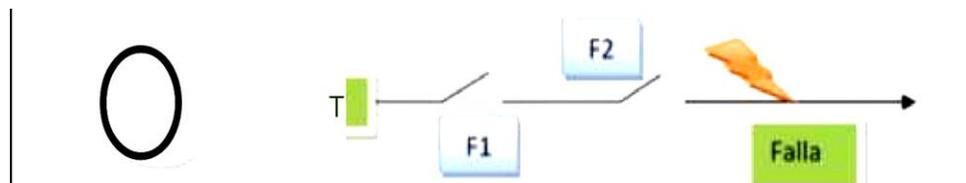
Los defensores de respaldo son guardias responsables de prevenir errores en la segunda ronda, es decir. solo deberían funcionar si falla el turno primario respectivo.

2.2.68. Tipos de coordinación

- Coordinación de sobre corriente
- Coordinación fusible – fusible

Figura 25

Coordinación fusible - fusible



Nota: Arce Laza, E. S. (febrero de 2010).

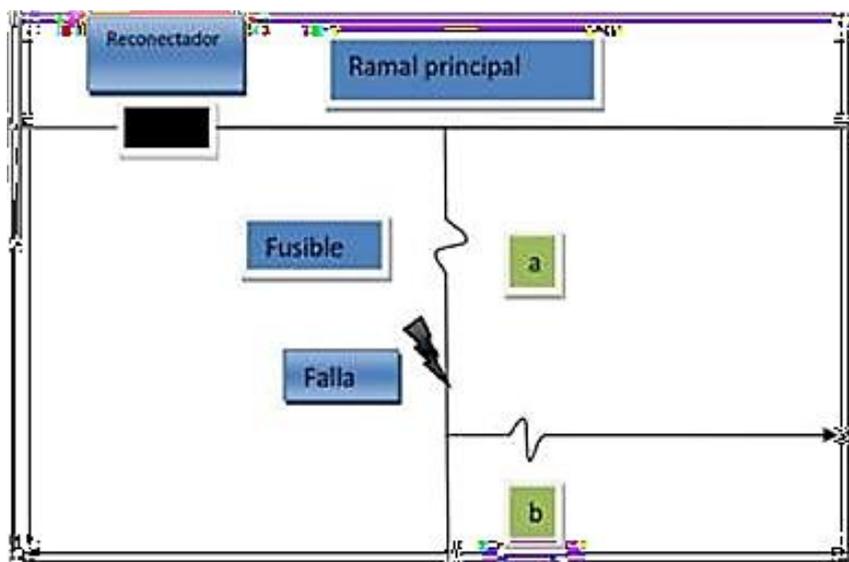
Para fusibles: la coordinación de los fusibles se logra eligiendo el tipo y la clasificación correctos de los fusibles para que el fusible defectuoso más cercano se funda antes que el fusible de respaldo, aislando así el área problemática (Arce Laza, 2010).

2.2.69. Coordinación Recloser – fusible

En cuanto a la continuidad de funcionamiento, cabe señalar que, en caso de daño en el extremo de alimentación, la primera acción del enchufe debe ser un fusible, como respaldo. (ante la no actuación del fusible) debe operar el Recloser.

Figura 26

Coordinación de recloser – fusible



Nota: Arce Laza, E. S. (febrero de 2010).

2.2.70. Coordinación relé – fusible

Para esa combinación entre el relé de la subestación y el fusible ubicado en el alimentador, esto ocurre cuando el fusible dispara y despeja la falla antes del relé, lo que ocurre entre las curvas de separación máxima del fusible dentro de 0.2-0.3 segundos. Se debe mantener el rango y la curva de tiempo inverso del relé para garantizar un disparo excesivo del relé, falla de la señal del transformador de corriente, etc. (Alce raza, 2010).

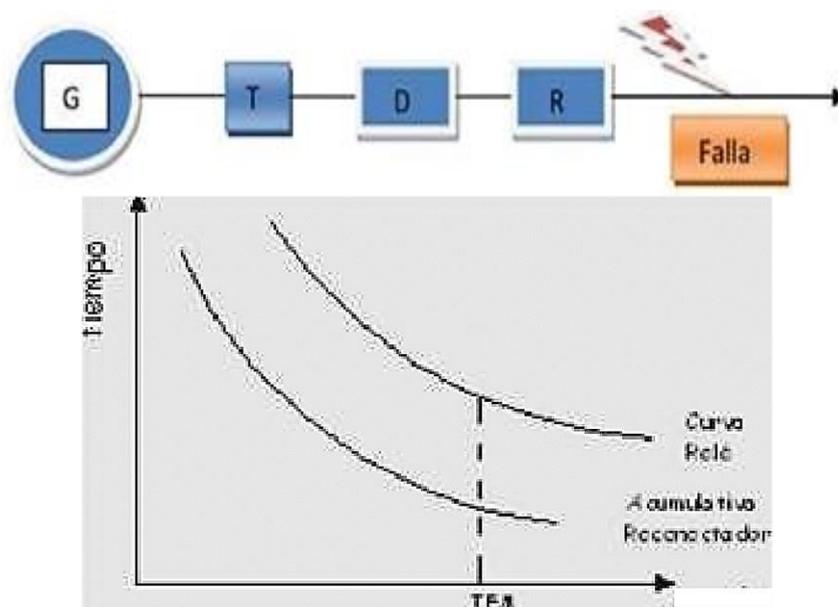
2.2.71. Coordinación relé – recloser

Si la salida en el patio de maniobras es un interruptor automático operado por relé y el alimentador tiene un reconectador, existe coordinación entre el relé

que controla el interruptor automático y el reconectador. El repetidor debe operar tantas veces como sea necesario, pero el relé no debe ultimar su ciclo de trabajo. La secuencia acumulativa de operaciones de reconexión debe ser menor que la característica de tiempo-corriente del relé. Este rango de coordinación está limitado por relés de curva inversa extrema (Alce Laza, 2010).

Figura 27

Coordinación relé – recloser



Nota: Arce Laza, E. S. (febrero de 2010).

2.2.72. Coordinación relé - relé

En conjunto con un relé de sobre corriente, esto se logra configurando la corriente mínima de disparo y el tiempo de retardo para que sea sensible para detectar los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir en la línea de distribución, y la selectividad pueda distinguir entre primario y secundario (repuesto) defecto en la tira protectora. Para el funcionamiento general del relé selectivo, es mejor utilizar curvas de tiempo invertido con el mismo grado de inversión (invertido, muy invertido, extremo, etc.). (Alce Laza, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

La zona está ubicada en el distrito de San Antonio, provincia de Puno.

- Coordenadas WGS84
- Latitud -16.141131° Longitud -70.343996°

Figura 28

Ubicación geográfica de Juncal



Nota: Google Earth.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. Población

La población para la presente investigación está compuesta por el sistema eléctrico alimentador 0251 servicio eléctrico Cutimbo-Juncal en la región de Puno.



3.2.2. Muestra

Está compuesta por 4 sondajes eléctricos verticales para el estudio de la resistividad y el diseño de la puesta a tierra.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De tipo aplicativo siendo un estudio experimental.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional (Sampieri et al., 2010); por lo que, para el cumplimiento de cada objetivo específico planteado en la presente investigación es la siguiente:

3.4.1. Análisis de la resistividad del terreno

De acuerdo a lo recomendado por la norma IEEE Std 81-1983, para estimar la resistividad del terreno utilizamos el método de los cuatro puntos y la disposición de espacios equidistantes también conocidos como el método de Wenner (ANSI/IEEE-Std-81-1983, 1984).

El material necesario para determinar las resistividades del suelo es el siguiente:

Telurómetro digital “MTD20KWe”

- Medición de resistencia/continuidad de puesta a tierra (3 bornes)
- Medición de resistividad específica del suelo (4 bornes)
- Manejo de apagado automático
- Empaque robusto a prueba de polvo y humedad. Clasificación IP54 en su posición cerrada.
- Escalas de medición Resistencias: 0-20; 0-200; 0-2.000 e 0-20k.
- Alimentación, Batería recargable interna

Figura 29

Telurómetro digital “MTD20KWe”

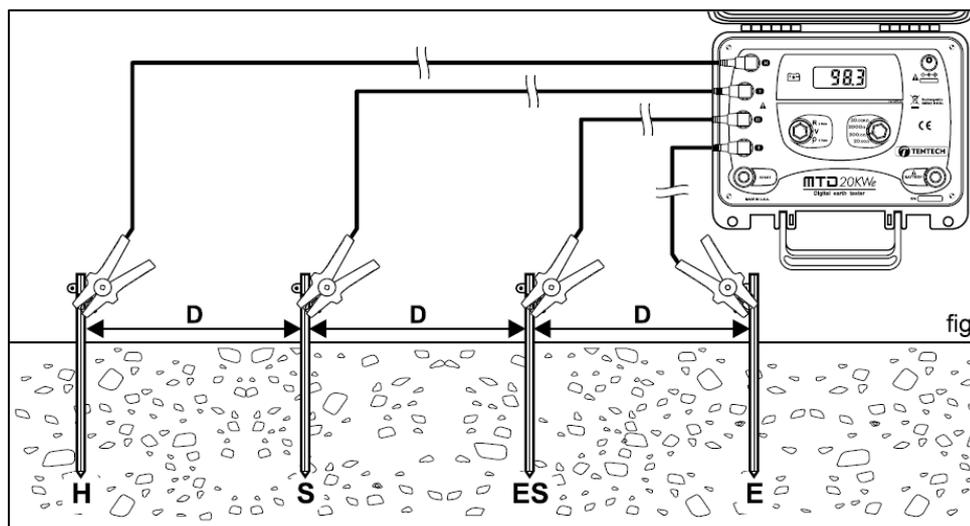


Elaboración propia.

Se procede de acuerdo a las instrucciones del manual de operación del equipo para la medición de la resistividad empezando con clavar en el terreno cuatro varillas alineadas y con separación constante, como se describe en la figura 30. En esta medición la distancia entre varillas es importante, ya que interviene en el cálculo de resistividad.

Figura 30

Esquema de instalación Telurómetro digital “MTD20KWe”



Nota: Manual MEGABRAS MTD-20KWe.



Entonces, ρ en términos de las unidades de longitud en las que se miden a y b es:

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

Donde:

ρ = Resistividad específica del terreno

D = Distancia entre jabalinas (separación)

p = Profundidad de penetración de las jabalinas auxiliares

R = Valor indicado en el display

3.4.1.1. Modelado del terreno

Con las medidas obtenidas en campo, se obtiene un modelo de resistividad uniforme del terreno y se utiliza el método estadístico BOX-COX, con el siguiente procedimiento en que el valor de la resistividad del modelo se calcula con el valor promedio de las resistividades medidas, el cual puede obtenerse mediante el promedio aritmético de las mediciones mediante la siguiente ecuación (Galvan & Pretelln, 2010):

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega.m)$$

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : Número de mediciones.

Se calculan los logaritmos naturales de las resistividades aparentes (Galvan & Pretelln, 2010).

$$X_i = \ln(\rho_i)$$



ρ_i : resistividad aparente del terreno.

El promedio x a partir de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

X_i : Logaritmo natural de las medidas de resistividad.

La desviación estándar mediante la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$

x : media del grupo de datos X_i .

La resistividad con 70% de probabilidad de ser la real aplicamos la ecuación siguiente:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$

El valor de Z para una probabilidad del 70%, de la distribución normal.

$$Z = 0.524411$$

Tenemos que la resistividad es:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m)$$

3.4.2. Determinación de la resistencia del sistema de puesta a tierra

Nos basamos en el método descrito en la norma IEEE Std 81-2012, para determinar la resistencia de puesta a tierra de una varilla simplemente enterrada en un suelo uniforme que viene dada por la relación matemática (Galvan & Pretelln, 2010).



$$R = \frac{\rho_2}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$$

En donde:

- R: Resistencia en Ω
- ρ : Resistividad en $\Omega \cdot m$
- r : Radio de la varilla
- l : Longitud del electrodo m

3.4.2.1. Mejoramiento de la resistencia de puesta a tierra

Para el cálculo de los electrodos instalados en compuestos que mejoran el suelo, de acuerdo a la IEEE Std 80-2000, tenemos lo siguiente (IEEE-Std-80TM-2000, 2000):

La resistencia del electrodo encajonada en concreto es:

$$R_{CE-rod} = \frac{1}{2\pi L_r} \left(\rho_c \left[\ln \left(\frac{D_c}{d} \right) \right] + \rho \left[\ln \left(\frac{8L_r}{D_c} \right) - 1 \right] \right)$$

La fórmula de uso general para una varilla de tierra de longitud L_r y diámetro d , de la siguiente manera

$$R = \frac{\rho}{2\pi L_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d} \right) - 1 \right]$$

Entonces la ecuación puede resolverse así:

$$R_{CE-rod} = \frac{1}{2\pi L_r} \left\{ \rho \left[\ln \left(\frac{8L_r}{D_c} \right) - 1 \right] + \rho_c \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d} \right) - 1 \right] - \rho_c \left[\ln \left(\frac{8L_r}{D_c} \right) - 1 \right] \right\}$$

En donde:

R_{CE-rod} : resistencia del compuesto mejorador.



- ρ_c : resistividad del compuesto mejorador $\Omega \cdot m$.
- ρ : resistividad del suelo $\Omega \cdot m$.
- D_c : diámetro del compuesto en m.
- d : diámetro de la varilla en m.
- L_r : longitud de la varilla en m.

(IEEE-Std-80-2000, 2000).

La ecuación siguiente representa la combinación de dos resistencias, una resistencia de un volumen de suelo de radio r_1 , directamente enterrado en un suelo de resistividad ρ_2 , y una resistencia de un segmento interno de radio r_2 que contiene un núcleo metálico de radio r_1 (Galvan & Pretelln, 2010).

$$R_2 = \frac{\rho_1}{2\pi L} (\ln r_2 - \ln r_1) + \frac{\rho_2}{2\pi L} (\ln 4L - 1 - \ln r_2)$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tenemos los resultados siguientes de acuerdo a los objetivos y metodología planteada:

4.1. ESTIMACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La presente investigación se ha realizado con el fin de determinar la existencia de valores de resistividad con el método de Sondaje Eléctrico Vertical (Wenner). En la toma de datos se utilizó el método de Wenner, realizándose cuatro Sondajes Eléctricos Verticales (SEV 's), en el que se consideraron las siguientes medidas (1.0, 2.0, 3.0 y 4.0m). El enterramiento de electrodos fue de 25 cm.

- No se obtuvo ninguna medida superior a los 1000 Ω m.
- Se realizó los 4 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV) teniendo como referencia central las calicatas, obteniendo una forma poligonal entre ellas.
- Los valores de resistividad son constantes y no varían.

De acuerdo al método establecido tenemos.

Perfil N° 1

Para el punto 1, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

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

R : 10.09 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 10.09}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 69.72 \Omega.m$$

Para el punto 2, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 6.58 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 6.58}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 84.89 \Omega \cdot m$$

Para el punto 3, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 5.32 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 5.32}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 101.49 \Omega \cdot m$$

Para el punto 4, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 4.77 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 4.77}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 120.70 \Omega \cdot m$$

Los resultados se muestran en la tabla:

Tabla 3

Resistividad aparente del terreno Perfil N°1

Perfil	R (Ω)	a (m)	b (m)	ρ
1	10.09	1	0.25	69.72

6.58	2	0.25	84.89
5.32	3	0.25	101.49
4.77	4	0.25	120.70

Elaboración propia.

Figura 31

Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°1



Elaboración propia.

Perfil N° 2

Para el punto 1, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 11.37 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 11.37}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 78.56 \Omega \cdot m$$

Para el punto 2, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 7.87 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 7.87}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 101.54 \Omega \cdot m$$

Para el punto 3, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 6.29 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 5.32}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 119.99 \Omega . m$$

Para el punto 4, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 5.45 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 4.77}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 137.90 \Omega . m$$

Los resultados se muestran en la tabla:

Tabla 4

Resistividad aparente del terreno Perfil N°2

Perfil	R (Ω)	a (m)	b (m)	ρ
2	11.37	1	0.25	78.56
	7.87	2	0.25	101.54
	6.29	3	0.25	119.99
	5.45	4	0.25	137.90

Elaboración propia.

Figura 32

Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°2



Elaboración propia.

Perfil N° 3

Para el punto 1, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 9.95 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 9.95}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 68.75 \Omega.m$$

Para el punto 2, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 7.26 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 7.26}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 93.67 \Omega.m$$

Para el punto 3, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 6.88 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 6.88}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 131.24 \Omega.m$$

Para el punto 4, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 6.25 (lectura del instrumento)

a : 1.00 (m)

b : 0,25 (m)

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 6.25}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 158.15 \Omega \cdot m$$

Los resultados se muestran en la tabla:

Tabla 5

Resistividad aparente del terreno Perfil N°3

Perfil	R (Ω)	a (m)	b (m)	ρ
3	9.95	1	0.25	68.75
	7.26	2	0.25	93.67
	6.88	3	0.25	131.24
	6.25	4	0.25	158.15

Elaboración propia.

Figura 33

Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°3



Elaboración propia.

Perfil N° 4

Para el punto 1, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

R : 9.45 (lectura del instrumento)



$$a: 1.00 \text{ (m)}$$

$$b: 0,25 \text{ (m)}$$

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 9.45}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 65.29 \Omega . m$$

Para el punto 2, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

$$R: 8.31 \text{ (lectura del instrumento)}$$

$$a: 1.00 \text{ (m)}$$

$$b: 0,25 \text{ (m)}$$

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 8.31}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 107.21 \Omega . m$$

Para el punto 3, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

$$R: 6.52 \text{ (lectura del instrumento)}$$

$$a: 1.00 \text{ (m)}$$

$$b: 0,25 \text{ (m)}$$

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 6.88}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 124.38 \Omega . m$$

Para el punto 4, calculamos la resistividad, con los datos siguientes:

$$R: 6.74 \text{ (lectura del instrumento)}$$

$$a: 1.00 \text{ (m)}$$

$$b: 0,25 \text{ (m)}$$

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times 1 \times 6.74}{1 + \frac{2 \times 1}{\sqrt{1^2 + 4 * 0.25^2}} - \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0.25^2}}} = 170.55 \Omega . m$$

Los resultados se muestran en la tabla:

Tabla 6

Resistividad aparente del terreno Perfil N°4

Perfil	R (Ω)	a (m)	b (m)	ρ
4	9.45	1	0.25	65.29
	8.31	2	0.25	107.21
	6.52	3	0.25	124.38
	6.74	4	0.25	170.55

Elaboración propia.

Figura 34

Esquema de instalación de jabalinas Perfil N°4



Elaboración propia.

4.1.1. Modelado del Suelo

Para el modelamiento del suelo, aplicamos el método estadístico BOX-COX se obtiene un modelo de resistividad uniforme del suelo.

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$



Para el perfil N°1

El valor promedio de las resistividades medidas, es el siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega.m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 4 mediciones.

$$\rho_a = \frac{69.72 + 84.89 + 101.49 + 120.70}{4} (\Omega.m)$$

$$\rho_a = 94.20 (\Omega.m)$$

Calculamos los logaritmos de la resistividad.

$$X_i = \ln(\rho_i)$$

ρ_i : 69.72

$$X_i = \ln(69.72)$$

$$X_i = 4.24$$

ρ_i : 84.89

$$X_i = \ln(84.89)$$

$$X_i = 4.44$$

ρ_i : 101.49

$$X_i = \ln(101.49)$$

$$X_i = 4.62$$

ρ_i : 120.70

$$X_i = \ln(120.70)$$

$$X_i = 4.79$$

El resumen se muestra en la tabla 3:

Tabla 7*Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°1*

Resistividad [Ω-m]	X_i
69.72	4.24
84.89	4.44
101.49	4.62
120.70	4.79

Elaboración propia.

Calculamos el promedio x :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

 X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{4.24 + 4.44 + 4.62 + 4.79}{4}$$

$$x = 4.52$$

La desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.07858 + 0.00695 + 0.00905 + 0.07211}{4}}$$

$$S = 0.3353$$

Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$

De la distribución normal se toma el valor de Z con probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:



$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(0.3353*0.524411)+4.52} (\Omega. m)$$

$$\rho = 110.03 (\Omega. m)$$

Para el perfil N°2

El valor promedio de las resistividades medidas, es el siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega. m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 4 mediciones.

$$\rho_a = \frac{78.56 + 101.54 + 119.99 + 137.90}{4} (\Omega. m)$$

$$\rho_a = 109.50 (\Omega. m)$$

Calculamos los logaritmos de la resistividad.

$$X_i = \ln(\rho_i)$$

ρ_1 : 78.56

$$X_i = \ln(78.56)$$

$$X_i = 4.36$$

ρ_2 : 101.54

$$X_i = \ln(101.54)$$

$$X_i = 4.62$$

ρ_3 : 119.99

$$X_i = \ln(119.99)$$

$$X_i = 4.79$$

ρ_4 : 120.70

$$X_i = \ln(120.70)$$

$$X_i = 4.93$$

El resumen se muestra en la tabla 4:

Tabla 8

Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°2

Resistividad [Ω -m]	X_i
78.56	4.36
101.54	4.62
119.99	4.79
137.90	4.93

Elaboración propia.

Calculamos el promedio x :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{4.36 + 4.62 + 4.79 + 4.93}{4}$$

$$x = 4.67$$

La desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.09653 + 0.00293 + 0.01273 + 0.06350}{4}}$$

$$S = 0.3579$$

Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$



De la distribución normal se toma el valor de Z con probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(0.3579*0.524411)+4.67} (\Omega. m)$$

$$\rho = 129.31 (\Omega. m)$$

Para el perfil N°3

El valor promedio de las resistividades medidas, es el siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega. m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 4 mediciones.

$$\rho_a = \frac{68.75 + 93.67 + 131.24 + 158.15}{4} (\Omega. m)$$

$$\rho_a = 112.95 (\Omega. m)$$

Calculamos los logaritmos de la resistividad.

$$X_i = \ln(\rho_i)$$

ρ_1 : 68.75

$$X_i = \ln(68.75)$$

$$X_i = 4.23$$

ρ_2 : 93.67

$$X_i = \ln(93.67)$$

$$X_i = 4.54$$

ρ_3 : 131.24



$$X_i = \ln(131.24)$$

$$X_i = 4.88$$

$$\rho_4 : 158.15$$

$$X_i = \ln(158.15)$$

$$X_i = 5.06$$

El resumen se muestra en la tabla 9:

Tabla 9

Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°3

Resistividad [Ω-m]	
65.29	4.18
107.21	4.67
124.38	4.82
170.55	5.14

Elaboración propia.

Calculamos el promedio x :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{4.23 + 4.54 + 4.88 + 5.06}{4}$$

$$x = 4.68$$

La desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.20002 + 0.1903 + 0.03974 + 0.14886}{4}}$$

$$S = 0.5441$$



Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x}(\Omega. m)$$

De la distribución normal se toma el valor de Z con probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x}(\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(0.5441*0.524411)+4.68}(\Omega. m)$$

$$\rho = 145.02 (\Omega. m)$$

Para el perfil N°4

El valor promedio de las resistividades medidas, es el siguiente:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}}{n} (\Omega. m)$$

En donde:

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \rho_{a3} + \dots + \rho_{an}$: Mediciones de resistividad aparente.

n : 4 mediciones.

$$\rho_a = \frac{65.29 + 107.21 + 124.38 + 170.55}{4} (\Omega. m)$$

$$\rho_a = 116.86 (\Omega. m)$$

Calculamos los logaritmos de la resistividad.

$$X_i = \ln(\rho_i)$$

ρ_1 : 65.29

$$X_i = \ln(65.29)$$

$$X_i = 4.18$$

ρ_2 : 107.21

$$X_i = \ln(107.21)$$



$$X_i = 4.67$$

$$\rho_3 : 124.38$$

$$X_i = \ln(124.38)$$

$$X_i = 4.82$$

$$\rho_4 : 170.55$$

$$X_i = \ln(170.55)$$

$$X_i = 5.14$$

El resumen se muestra en la tabla 6:

Tabla 10

Logaritmos naturales de las resistividades aparentes perfil N°4

Resistividad [Ω-m]	
65.29	4.18
107.21	4.67
124.38	4.82
170.55	5.14

Elaboración propia.

Calculamos el promedio x :

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

X_i : Logaritmo natural.

Se tiene:

$$x = \frac{4.18 + 4.67 + 4.82 + 5.14}{4}$$

$$x = 4.70$$

La desviación estándar es:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$



$$S = \sqrt{\frac{0.27573 + 0.00085 + 0.01423 + 0.18922}{4}}$$

$$S = 0.5815$$

Entonces la resistividad con un 70% de probabilidad de ser la real:

$$\rho = e^{(S*Z)+x} (\Omega. m)$$

De la distribución normal se toma el valor de Z con probabilidad del 70%

$$Z = 0.524411$$

Finalmente tenemos que:

$$\rho = e^{(S*0.524411)+x} (\Omega. m)$$

$$\rho = e^{(0.5815*0.524411)+4.70} (\Omega. m)$$

$$\rho = 149.75 (\Omega. m)$$

4.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

La resistencia a tierra para un solo electrodo se calcula utilizando la fórmula:

$$R = \frac{\rho_a}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r_1} - 1 \right)$$

Para el perfil N°1: con los datos siguientes tenemos:

$$\rho: 110.03 \Omega\text{-m}$$

$$r : 0.01905 \text{ m } (\frac{3}{4} \text{ de pulgada})$$

$$l : 2.4 \text{ m}$$

$$R = \frac{111.03}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.01905} - 1 \right) = 39.38 \Omega$$

Para el perfil N°2: con los datos siguientes tenemos:

$$\rho: 129.31 \Omega\text{-m}$$

$$r : 0.01905 \text{ m } (\frac{3}{4} \text{ de pulgada})$$

$$l : 2.4 \text{ m}$$



$$R = \frac{129.31}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.01905} - 1 \right) = 46.28 \Omega$$

Para el perfil N°3: con los datos siguientes tenemos:

$$\begin{aligned} \rho &: 145.02 \Omega\text{-m} \\ r &: 0.01905 \text{ m } (\frac{3}{4} \text{ de pulgada}) \\ l &: 2.4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R = \frac{145.02}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.01905} - 1 \right) = 51.90 \Omega$$

Para el perfil N°4: con los datos siguientes tenemos:

$$\begin{aligned} \rho &: 149.75 \Omega\text{-m} \\ r &: 0.01905 \text{ m } (\frac{3}{4} \text{ de pulgada}) \\ l &: 2.4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$R = \frac{145.02}{2\pi * 2.4} \left(\ln \frac{4 * 2.4}{0.01905} - 1 \right) = 53.59 \Omega$$

De los cálculos realizados para los cuatro perfiles; tenemos que, la resistencia más elevada es que 53.59Ω , siendo esta la situación más desfavorable y la mínima resistencia es de 39.38Ω que corresponde al perfil 1, ninguna de las situaciones resulta favorable para el sistema de protección por lo que se debe realizar el tratamiento correspondiente con el fin de garantizar la operatividad de la red de distribución.

4.3. MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Para este caso se utiliza el cemento conductivo cuyas características son las que especifica el fabricante.

Para el cálculo se utiliza la formula siguiente:

$$R_2 = \frac{\rho_1}{2\pi L} (\ln r_2 - \ln r_1) + \frac{\rho_2}{2\pi L} (\ln 4L - 1 - \ln r_2)$$

Para el perfil N°1, tenemos los datos siguientes:

$$r_2 \quad : 0.0508 \text{ m.}$$



$$\begin{aligned}\rho_c & : 0.18 \Omega\text{-m.} \\ \rho & : 110.03 \Omega\text{-m.} \\ r_1 & : 0.01905 \text{ m.} \\ L_r & : 2.4 \text{ m.}\end{aligned}$$

Reemplazando valores obtenemos el siguiente resultado

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{110.03}{2 * \pi * 2.4} (\ln 0.05 - \ln 0.01905) + \frac{0.18}{2 * \pi * 2.4} (\ln 4 * 2.4 - 1 - \ln 0.0508) \\ &= 7.091 \Omega\end{aligned}$$

Para el perfil N°2, tenemos los datos siguientes:

$$\begin{aligned}r_2 & : 0.0508 \text{ m.} \\ \rho_c & : 0.18 \Omega\text{-m.} \\ \rho & : 129.31 \Omega\text{-m.} \\ r_1 & : 0.01905 \text{ m.} \\ L_r & : 2.4 \text{ m.}\end{aligned}$$

Reemplazando valores obtenemos el siguiente resultado

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{129.31}{2 * \pi * 2.4} (\ln 0.05 - \ln 0.01905) + \frac{0.18}{2 * \pi * 2.4} (\ln 4 * 2.4 - 1 - \ln 0.0508) \\ &= 8.325 \Omega\end{aligned}$$

Para el perfil N°3, tenemos los datos siguientes:

$$\begin{aligned}r_2 & : 0.0508 \text{ m.} \\ \rho_c & : 0.18 \Omega\text{-m.} \\ \rho & : 145.02 \Omega\text{-m.} \\ r_1 & : 0.01905 \text{ m.} \\ L_r & : 2.4 \text{ m.}\end{aligned}$$

Reemplazando valores obtenemos el siguiente resultado

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{145.02}{2 * \pi * 2.4} (\ln 0.05 - \ln 0.01905) + \frac{0.18}{2 * \pi * 2.4} (\ln 4 * 2.4 - 1 - \ln 0.0508) \\ &= 9.330 \Omega\end{aligned}$$

Para el perfil N°4, tenemos los datos siguientes:

$$r_2 : 0.0508 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}\rho_c & : 0.18 \Omega\text{-m.} \\ \rho & : 149.75 \Omega\text{-m.} \\ r_1 & : 0.01905 \text{ m.} \\ L_r & : 2.4 \text{ m.}\end{aligned}$$

Reemplazando valores obtenemos el siguiente resultado

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{149.75}{2 * \pi * 2.4} (\ln 0.05 - \ln 0.01905) + \frac{0.18}{2 * \pi * 2.4} (\ln 4 * 2.4 - 1 - \ln 0.0508) \\ &= 9.633 \Omega\end{aligned}$$

Tabla 11

Resistencia con tratamiento

Lr (m)	ρ_2 ($\Omega \cdot \text{m}$)	r_1 (m)	ρ_1 ($\Omega \cdot \text{m}$)	r_2 (m)	R_2 (Ω)
2.4	0.18	0.01905	110.03	0.05	7.092
2.4	0.18	0.01905	129.31	0.05	8.325
2.4	0.18	0.01905	145.02	0.05	9.331
2.4	0.18	0.01905	149.75	0.05	9.633

Elaboración propia.

El valor de la resistencia de la puesta a tierra con el mejoramiento tiene un valor mínimo de 7.092 Ohmios y un valor máximo de 9.633 Ohmios con un promedio de la puesta a tierra tratada de 8.59 ohmios, que será un valor óptimo del sistema de puesta a tierra para mejorar la operatividad y confiabilidad de sistema.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: Del análisis y de los cálculos realizados del modelamiento eléctrico del terreno para los cuatro perfiles; tenemos que, la resistencia correspondiente a estas resistividades la más elevada es que 53.59Ω , siendo esta la situación más desfavorable y la mínima resistencia es de 39.38Ω que corresponde al perfil 1, ninguna de las situaciones resulta favorable para el sistema de protección por lo que se debe realizar el tratamiento correspondiente con el fin de garantizar la operatividad de la red de distribución.

SEGUNDA: La evaluación permite obtener el valor de la resistencia de la puesta a tierra con el mejoramiento tiene un valor mínimo de 7.092 Ohmios y un valor máximo de 9.633 Ohmios con un promedio de la puesta a tierra tratada de 8.59 ohmios, que será un valor óptimo del sistema de puesta a tierra para mejorar la operatividad y confiabilidad de sistema.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a la empresa de servicios eléctricos instalar descargadores de sobretensión conforme y mejorar el sistema de puesta a tierra que tenga un valor máximo de 25Ω en estructuras donde no se tiene propuesto la instalación de descargadores de sobretensión para disminuir las interrupciones por flameo inverso, y de esta forma cumplir lo especificado en el procedimiento 091 del OSINERGMIN.

SEGUNDA: Se recomienda la implementación de PAT de tipo placa de sobretensión conforme a un dimensionamiento de las características actuales de la línea y nuevos descargadores de sobretensión existentes en el mercado. Así también, para el mejoramiento del sistema de puesta a tierra, se sugiere tener en cuenta, los estudios de resistividad para los diferentes puntos, realizar un estudio para obtener la longitud efectiva de los contrapesos o método que se implante de acuerdo a una nueva medición de resistividad de terreno.

TERCERA: A los egresados se encomienda realizar un estudio de apantallamiento de la línea, para ver su viabilidad y factibilidad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaro Sanchez, O. J., & Ortíz Rivera, H. M. (2011). Metodología para la optimización en la aplicación de apartarrayos en líneas de 400 Kv. México: Instituto Politecnico Nacional.
- Ambrosi. (2019). Análisis y Diagnóstico del Sistema de Puesta a Tierra de la S/E 03 Monay. Cuenca - Ecuador.
- ANSI/IEEE-Std-81-1983. (1984). An American National Standard IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Ground System (I. P. E. Society (ed.); 1°). The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- ANSI/IEEE-Std-81-1983. (1984). An American National Standard IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity , Ground Impedance , and Earth Surface Potentials of a Ground System (I. P. E. Society (ed.); 1°). The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Arévalo Paredes, E. M., & Ruíz Vásquez, S. A. (2019). Sistema de puesta tierra y las tensiones de toque y paso en la estación de telecomunicaciones Antares - Tarapoto 2019. Repositorio Cesar Vallejo, 100.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39482>
- Arturo Galvan D., Gilberto Pretelln G, E. G. E. (2010). Practical Evaluation of Ground Enhancing Compounds for. 30th International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010, m, 3–6.
- Arturo Galvan D., Gilberto Pretelln G, E. G. E. (2010). Practical Evaluation of Ground Enhancing Compounds for. 30th International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010, m, 3–6.
- Bastante. (2019). Análisis de Sistemas de Puesta a Tierra para Diferentes Electrodoes Quito Ecuador. Quito - Ecuador.
- Blanco, M. C., & Vasquez, C. L. (2005). Efectos de las descargas atmosféricas. Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.
- Central Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation. (1964). Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Fourth edition. United States of America.
- Cesti Diaz, Stephanie (2020) 611 Propuesta de implementación de equipo RPA para mejorar la productividad de inspección de una 612 línea de transmisión eléctrica en alta tensión. Tesis para optar el título de ingeniero industrial, 613 universidad Ricardo palma, Lima – Perú 614
- Corrella Rocha, J. A., & Montes Cruz, I. (4 de junio de 2008). Desempeño de líneas de transmisión de 400 Kv ante transitorios debido a descargas atmosféricas



- utilizando ATP. México: Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
- Electro Sur Este S.A.A. (2009). Expediente Técnico Línea de Transmisión en 145 Kv San Gabán - Mazuko - Puerto Maldonado y Subestaciones. Cusco, Perú.
- Esteba Vargas Jaynor Vladimir, Condori Ticona Wilson Uliser (2018) 626 “Análisis, optimización y evaluación de la coordinación de protección contra descargas de origen 627 atmosférico y fallas a tierra en el alimentador 3003 del servicio eléctrico Ananea”. Tesis para 628 obtener el título profesional de ingeniero electricista, universidad nacional del altiplano – Puno. 629
- Flores, K. (2017). Evaluación del comportamiento de puestas a tierra tratadas con cemento conductor para la red de datos en varias instituciones educativas de la región puno.
- Grainger, J. J., & Stevenson Jr., W. D. (1996). Análisis de Sistemas de Potencia.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010).
- Huaira. (2021). El Método Electro geométrico en la Protección contra Sobretensiones por Descargas Atmosféricas en la Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. Huancayo - Perú.
- IEEE-Std-80-2000. (2000). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding (I. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (ed.); 1°, Vol. 2000). IEEE Power Engineering Society.
- IEEE-Std-80-2000. (2000). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding (I. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (ed.); 1°, Vol. 2000). IEEE Power Engineering Society.
- IEEE-Std-80TM-2000. (2000). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Standard (80-2000). The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 56(February).
- IEEE-Std-80TM-2000. (2000). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Standard (80-2000). The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 56(February).
- Jimenez Meza, O. R., Cantu Gutierrez, V., & Conde Enriquez, A. (2006). Líneas de Transmisión y Distribución de energía eléctrica. Publicaciones Universidad San Nicolas de Garza.
- Jorge Ollancaya Yana (2019) “trabajo de suficiencia profesional: propuesta de solución a los valores altos de resistencia puesta 607 a tierra en la línea AN04 de 22.9 Kv Apurímac empresa eléctrica de distribución”. Trabajo de 608 suficiencia para optar el título de ingeniero eléctrico, universidad nacional de san Agustín- Arequipa
- León Chaupin Richard Ernesto (2021) 591 “Mejoramiento de la puesta a tierra en estructuras arriostradas tipo VSL de la línea de transmisión 592 500Kv L-5032



- Chilca – Poroma” Trabajo para optar título profesional de ingeniero electricista, 593 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad del Perú. Decana de América. Lima – 594 Perú. 595
- Lozano. (2020). Optimización del Diseño de Puestas a Tierra, Utilizando Elementos Finitos En La Set Constitución – 2020.
- Mamani Tipola Cesar (2020) 600 “Mejoramiento del diseño eléctrico de la línea de transmisión en 138Kv Socabaya parque industrial” 601 Tesis para optar el título de ingeniero electricista, universidad nacional de San Agustín -Arequipa 602
- Maque Tinta, R. S. (2017) 630 “análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de calidad de servicio a causa de fallas imprevistas 631 en el suministro eléctrico en el distrito de Macusani – Carabaya. Puno: Tesis”
- Martínez Velasco, Juan A; (2008). Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión (Primera Edición ed.). España: McGraw- Hill/Interamericana de España S.A.U.
- MEGABRAS. (2013). Manual de uso Telurómetro digital de alta frecuencia TM- 25R.
- Mejía Villegas S.A. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión. 2da edición. Colombia.
- Metodología de la investigación. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill. México: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). Código Nacional de Electricidad - Suministro. Lima, Perú.
- OSINERGMIN N.º 035-2013-OS/CD. (14 de marzo de 2013). Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN. Procedimiento Técnico del Comité de Operación Económica del SEIN. Lima, Perú.
- OSINERGMIN N.º 035-2013-OS/CD. (s.f.). Anexo 1.1.1. Criterios de Diseño de Sistemas de Transmision. Procedimiento de Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN. Lima, Perú.
- OSINERGMIN N.º 091-2006-OS/CD. (6 de marzo de 2006). Procedimiento para Supervisión y Fiscalización del Performance de los Sistemas de Transmisión. Lima, Perú.
- OSINERGMIN N.º 175-2012-OS/CD. (16 de agosto de 2012). Modificación al "Procedimiento para Supervisión y Fiscalización del Performance de los Sistemas de Transmisión", Aprobado por Resolución de Consejo Directivo OSINERGMIN N.º 091-2006-OS/CD. Lima, Perú.
- Pablo André Ambrosi Bustamante (2019) 623 “Análisis y diagnóstico del sistema de puesta a tierra de la S/E 03 Monay”. Trabajo de titulación 624 previo a la obtención del título de ingeniero eléctrico” de la universidad de cuenca – Ecuador. 625



- Rangel Contreras, R. d. (2003). Cálculo de la evaluación de la tasa de salidas forzadas de una línea de transmisión. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Revelo Soto Jose Victor (2020) 596 “Análisis del comportamiento de los electrodos de puesta a tierra ante altas frecuencias, ¡aplicación 597 a descargas eléctricas!” tesis para la obtención del título de ingeniero eléctrico, escuela politécnica 598 nacional. Quito - ecuador 599
- Richard Deyvit Lozano Campos (2020) 603 “Optimización del diseño de puestas a tierra, utilizando elementos finitos en la SET constitución”. 604. Tesis para obtener el título de electricista, de la Universidad Nacional del Centro Del Perú. 605
- SectorElectricidad. (2021). Tipos y material de los aisladores en líneas eléctricas. <https://www.sectorelectricidad.com/34724/tipos-y-material-de-los-aisladores-en-lineas-electricas/>
- Sosa Almirón, Luis Antonio. (20 de Setiembre de 2012). Técnica no convencional utilizando descargadores de ZnO, aplicables en la mejoría de desempeño de las líneas de transmisión del SIN, ante sobretensiones de frente rapido. Paraguay: ANDE, Administración Nacional de Electricidad - X Seminario del sector Eléctrico Paraguay - CIGRE.
- Soto Lima, M. I., & Trelles Ordóñez, W. V. (noviembre de 2006). Programa digital para el estudio y simulación del cálculo de fallas por apantallamiento y flameo inverso en líneas de transmisión. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional - Escuela de Ingeniería.
- Turko. (2015). Diseño de un sistema de puesta a tierra como alternativa en la protección de equipos de la estación base transmisora de comunicaciones-alkoste, ubicado en la provincia de Chepen-La Libertad. Chepen - libertad.
- Tyco Electronics. (s.f.). Bowthorpe EMP Transmission Surge Arrester TLA4C- 144.
- Usnayo Lazo Edwin Andrés (2020) 615 “diseño de un sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión de 60Kv desde la SE María 616 Jiray hasta la unidad minera Contonga. Tesis para optar el título de ingeniero electricista, 617 Universidad Continental, Arequipa – Perú 618
- Valdivieso, J., & Augusto Villalobos, C. (2017). Diseño de un sistema de puesta a tierra, como alternativa en la protección de equipos de la estación base transmisora de comunicaciones-alkosta, ubicado en la provincia de Chepen-la libertad. la libertad, Chepen, Perú: universidad nacional tecnológica de Lima sur.
- Viviana Guillermina Basante Gualpa (2019) 619 “Análisis de modelos de sistemas de puesta a tierra para diferentes electrodos y condiciones de 620 suelos”. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero eléctrico, de la 621 Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito – Ecuador. 622
- Yanque M, J. (2004). Alta Tensión y Técnicas de Pruebas de Laboratorio. UNI - FIEE Notas del Curso.

ANEXOS

ANEXO 1. Certificado de calibración

INMETRO Instrumentación y Gestión en Metrología		ISO/IEC 17025	
Área de Metrología <i>Laboratorio de Electricidad</i>		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NÚMERO LEI-01796-2018 Expediente: N° 02235-IM-2018 Página 1 de 2	
Fecha de recepción:	19 de diciembre de 2018	<i>Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</i>	
Objeto de Calibración:	TELURÓMETRO DIGITAL		
Marca / Fabricante:	MEGABRAS	<i>Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</i>	
Modelo:	mTD20KWe		
N° de Serie / Código:	17L1830 / No indica	<i>El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.</i>	
Procedencia:	U.S.A.		
Rangos:	20,00Ω; 200,0Ω; 2000Ω; 20,00kΩ	<i>INMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</i>	
División de Rango:	0,01Ω; 0,1Ω; 1Ω; 10Ω		
Parámetros	Tensión AC, Resistencias	<i>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.</i>	
Solicitante:	ARICAGEOS SOILS & CONCRETE S.A.C.		
Dirección:	AV. SAN FELIPE MZA. B LOTE. 29 A.V. LAS MAGNOLIAS (COSTADO DEL COLEGIO CIENTIFICO DEL NORTE) LIMA - LIMA - COMAS.	<i>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</i>	
Fecha de calibración:	20 de diciembre de 2018		
Lugar de calibración:	Laboratorio de Electricidad - Área de Metrología Jr. Antisuyo 280, Urb. Zarate, San Juan de Lurigancho, Lima.		
Método de calibración:	La calibración se realizó por medición directa y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad nacional e internacional trazable al DM-INACAL, NIST-USA.		
Condiciones ambientales:			
Temperatura inicial:	23,1 °C	Humedad relativa inicial:	77,3 %
Temperatura final:	24,7 °C	Humedad relativa final:	65,1 %
Observaciones			
Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".			
Sello	Fecha de emisión	Firma/s autorizada/s	
	21 de diciembre de 2018		
ESTE DOCUMENTO SOLO PUEDE UTILIZARSE COMPLETAMENTE Y SIN MODIFICACIONES. LOS EXTRACTOS O MODIFICACIONES REQUIEREN LA AUTORIZACIÓN DE INMETRO.			
Jr. ANTISUYO Nro. 280 - ZARATE - S.J.L. - Lima 36, Teléfono: (511) - 4596856 / Nextel: 2*1068 / RPM: #969997005 / Celular: 995363358 Web: www.inmetrosac.com / e-mail: calibraciones@inmetrosac.com / ventas@inmetrosac.com / inmetro.sao@gmail.com			

ANEXO 2. Panel fotográfico

Medición de la resistividad

Perfil 1



Perfil 2



Perfil 3



Perfil 4



ANEXO 3. Cuadro de interrupciones de L0251 RC 66 Cutimbo Juncal

FECHA		RECLOSER	HORA INICI	HORA FIN	DURACI	SEVALIZACION	MOTIVO DE INTERRUPCION	EMAELI
ME	AN							
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:28:12	18:32:22	00:04	FALLA FASE R Y S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:59:00	16:20:00	00:21	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:58:00	17:00:00	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	13:45:00	13:50:00	00:05	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:47:00	19:06:00	2:19:00	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:39:00	21:48:00	6:09:00	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	12:04:00	15:38:00	3:34:00	CORTE EMERGENCIA	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANOBRAS	PUNO
4	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	8:06:53	08:26:08	00:19:15	FALLA TRIP G	CAUSA NO DETERMINADA RC-66 SIN SEÑAL DE COMUNICACIÓN, SE COM. ING. RONALD CONDORI (PARA COMUNICAR AL TURNO)	PUNO
5	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:06:45	14:07:02	00:00:17	FALLA B-G	VIENTOS POR LA ZONA	PUNO
5	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	13:11:05	13:13:12	00:02:07	Falla A-B-C	VIENTOS POR LA ZONA	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:30:51	16:36:11	00:05:20	FALLA TRIP A-B-C	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS, AFECTA A CANOAFRAN	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:48:53	17:08:02	00:19:09	FALLA TRIP A-B-C	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:15:30	16:00:00	00:44:30	FALLA TRIP A-B-C	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
10	2020	RC 66 JUNCAL CANOAFRAN	14:31:43	14:32:53	00:01:10	FALLA TRIP G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:31:44	14:34:38	00:02:54	FALLA TRIP B-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:45:09	15:46:43	00:01:34	FALLA TRIP A-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:00:17	16:02:37	00:02:20	FALLA TRIP C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:06:41	16:07:45	00:01:04	FALLA TRIP A-B-C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO

FECHA		RECLOSER	HORA INICI	HORA FIN	DURACION	SEÑALIZACION	MOTIVO DE INTERRUPCION	EMA ELI
ME	AN							
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:28:12	18:32:22	00:04	FALLA FASE R Y S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:59:00	16:20:00	00:21	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:58:00	17:00:00	00:02	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	13:45:00	13:50:00	00:05	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:47:00	19:06:00	2:19:00	FALLA FASE S A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:39:00	21:49:00	6:09:00	FALLA FASE T A TIERRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
2	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	12:04:00	15:38:00	3:34:00	CORTE EMERGENCIA	CORTE DE EMERGENCIA PARA REALIZAR MANOBRAS	PUNO
4	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	8:06:53	08:26:08	00:19:15	FALLA TRIP G	CAUSA NO DETERMINADA RC-66 SIN SEÑAL DE COMUNICACION, SE COM. ING. RONALD CONDORI (PARA COMUNICAR AL TURNO)	PUNO
5	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:06:45	14:07:02	00:00:17	FALLA B-G	VENTOS POR LA ZONA	PUNO
5	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	13:11:05	13:13:12	00:02:07	Falla A-B-C	VENTOS POR LA ZONA	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:30:51	16:36:11	00:05:20	FALLA TRIP A-B-C	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS, AFECTA A CANCHAPANI	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:48:53	17:08:02	00:19:09	FALLA TRIP A-B-C	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS	PUNO
9	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:15:30	16:00:00	00:44:30	FALLA TRIP A-B-C	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
10	2020	RC 66 JUNCAL CACHIBASCAMA	14:31:43	14:32:53	00:01:10	FALLA TRIP G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:31:44	14:34:38	00:02:54	FALLA TRIP B-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:45:09	15:46:43	00:01:34	FALLA TRIP A-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:00:17	16:02:37	00:02:20	FALLA TRIP C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO
10	2020	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:06:41	16:07:45	00:01:04	FALLA TRIP A-B-C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS Y VIENTOS	PUNO

5	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	02:27:11	02:32:37	00:05:26	FALLA TRIP A-G	DE INTERRUPCION SIN SEÑAL DE COMUNICACIÓN (A)	PUNO
5	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	04:24:52	04:35:12	00:10:20	FALLA TRIP A-G	DE INTERRUPCION SIN SEÑAL DE COMUNICACIÓN (A)	PUNO
5	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	10:44:12	10:51:26	00:07:14	FALLA TRIP G	CAUSA NO DETERMINADA	PUNO
5	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	22:58:15	23:06:24	00:08:09	FALLA TRIP A-G	IAS, VIENTO Y DESCARGAS ADMOSFERICAS POR LA	PUNO
5	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	21:43:56	22:34:15	00:50:19	FALLA TRIP A-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
8	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:17:25	16:21:16	00:03:51	FALLA TRIP A-B-C	DESCARGAS ADMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
8	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	05:51:06	06:01:31	00:10:25	FALLA TRIP A-G	DESCARGAS ADMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
8	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	20:56:04	20:59:31	00:03:27	FALLA TRIP B-C-G	DESCARGAS ADMOSFERICAS POR LA ZONA	PUNO
8	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	12:55:47	13:00:39	00:04:52	FALLA TRIP B-G	VIENTOS POR LA ZONA	PUNO
8	2021	C 69 JUNCAL CACHIPASCA	12:55:50	13:16:52	00:21:02	FALLA TRIP 51 FASES A-B-C	VIENTOS POR LA ZONA	PUNO
9	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	03:13:26	05:17:36	02:04:10	FALLA TRIP A-G	DESCARGAS SIN COMUNICACION Y RECHAZA	PUNO
9	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:44:29	14:50:38	00:06:09	FALLA TRIP C-G	CAUSA NO DETERMINADA	PUNO
9	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	03:30:32	04:01:19	00:30:47	FALLA TRIP A-G	SIN SEÑAL DE COMUNICACIÓN AVARILLO	PUNO
9	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	19:44:06	20:53:49	01:09:43	FALLA TRIP A-B-C, A-G	DES, AFECTÓ FUERTES DESCARGAS ATMOSFÉRICA	PUNO
9	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	21:58:01	22:23:26	00:25:25	FALLA TRIP A-G	RECIBES Y RECHAZA POR DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
10	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	01:16:24	01:16:27	00:00:03	FALLA TRIP C-G	LLUVIA Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
10	2021	RC 69 JUNCAL CAI	00:49:37	12:05:06	11:15:31	FALLA TRIP 51	MIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
10	2021	RC 66 CUTIMBO JU	00:58:35	07:52:30	06:53:55	FALLA TRIP B-G	MIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
10	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	17:52:23	17:55:51	00:03:28	FALLA TRIP C-G		PUNO
10	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	19:32:23	19:35:20	00:02:57	F	AFECTÓ VIENTOS POR LA ZONA	PUNO
11	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	12:39:01	12:42:00	00:02:59	FAL		PUNO
11	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	17:08:33	17:10:32	00:01:59	F	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LA ZONA	PUNO
11	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	17:58:16	18:01:03	00:02:47	FALLA TRIP B-G	MIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
11	2021	C 69 JUNCAL CACHIPASCA	17:58:28	18:46:43	00:48:15	TRIP DISPARO GENERAL	SUTIMBO JUNCALVIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFER	PUNO

11	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	07:52:39	07:58:42	00:06:03	FALLA TRIP A-G	RECHAZO EN EL PRIMER INTENTO DE CIERRE, SE E	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:49	16:01:00	00:02:11	FALLA TRIP B-G	CAUSA NO DETERMINADA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	23:48:25	23:54:00	00:05:35	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, AFECTA LA F	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	20:13:55	9/12/2021 06:27	10:13:17	FALLA TRIP A-G, A-G, A-G	RECHAZA POR DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	18:25:13	19:01:27	00:36:14	FALLA TRIP A-G	A POR VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	18:14:27	18:22:48	00:08:21	FALLA TRIP A-G	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	D-69 JUNCAL CACHIPASCA	18:26:33	18:57:49	00:31:16	FALLA TRIP A-G	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	18:24:11	18:39:14	00:15:03	FALLA TRIP A-G	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	02:18:48	02:23:57	00:05:09	FALLA TRIP A-G	VENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC66 CUTIMBO JUNCAL	18:50:09	20:50:46	02:00:37	FALLA TRIP A-G	RECHAZA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	15:18:20	16:41:10	01:22:50	CORTE DE MANOBRA	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	00:03:02	17:48:00	17:44:58	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, COORDINACIÓN	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	15:46:07	15:59:53	00:13:46	CORTE DE MANOBRA	TEC. JORGE GARAVITO PARA DESCARTE DE FALLA	PUNO
1	2022	D-69 JUNCAL CACHIPASCA	15:46:05	17:19:14	01:33:09	CORTE DE MANOBRA	EC. JORGE GARAVITO PARA DESCARTE DE FALLA E	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	14:34:12	14:54:36	00:20:24	FALLA TRIP B-G	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	D-69 JUNCAL CACHIPASCA	14:34:12	15:12:51	00:38:39	CORTE DE MANOBRA	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	16:51:02	17:53:33	01:02:31	CORTE DE EMERGENCIA	TRA CABLE CON AISLADOR CAIDO. SOLICITA ING CAF	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	16:44:51	16:48:04	00:03:13	FALLA TRIP A-B-C	RECHAZA, DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	17:01:18	17:04:05	00:02:47	FALLA TRIP B-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:40	16:01:50	00:03:10	FALLA TRIP A-C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	08:01:15	08:01:49	00:00:34	FALLA TRIP B-C	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC66 CUTIMBO JUNCAL	18:32:11	19:13:39	00:41:28	FALLA TRIP G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO

11	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	07:52:39	07:58:42	00:06:03	FALLA TRIP A-G	RECHAZO EN EL PRIMER INTENTO DE CIERRE, SE E	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:49	16:01:00	00:02:11	FALLA TRIP B-G	CAUSA NO DETERMINADA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	23:48:25	23:54:00	00:05:35	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, AFECTA A LA F	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	20:13:55	9/12/2021 06:27	10:13:17	FALLA TRIP A-G, A-G, A-G, A-G	RECHAZO POR DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZON	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:25:13	19:01:27	00:36:14	FALLA TRIP A-G	A POR VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN L	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:14:27	18:22:48	00:08:21	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	18:26:33	18:57:49	00:31:16	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:24:11	18:39:14	00:15:03	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	02:18:48	02:23:57	00:05:09	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:50:09	20:50:45	02:00:37	FALLA TRIP A-G	RECHAZA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:18:20	16:41:10	01:22:50	CORTE DE MANOBRAS	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	00:03:02	17:48:00	17:44:58	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, COORDINACION	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:46:07	15:59:53	00:13:46	CORTE DE MANOBRAS	TEC. JORGE GARAYITO PARA DESCARTE DE FALLA	PUNO
1	2022	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	15:46:05	17:19:14	01:33:09	CORTE DE MANOBRAS	EC. JORGE GARAYITO PARA DESCARTE DE FALLA E	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:34:12	14:54:36	00:20:24	FALLA TRIP B-G	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	14:34:12	15:12:51	00:38:39	CORTE DE MANOBRAS	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:51:02	17:53:33	01:02:31	CORTE DE EMERGENCIA	TRA CABLE CON AISLADOR CAIDO. SOLICITA ING CAF	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:44:51	16:48:04	00:03:13	FALLA TRIP A-B-C	RECHAZA, DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	17:01:18	17:04:05	00:02:47	FALLA TRIP B-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:40	16:01:50	00:03:10	FALLA TRIP A-C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	08:01:15	08:01:49	00:00:34	FALLA TRIP B-C	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:32:11	19:13:39	00:41:28	FALLA TRIP G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO

11	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	07:52:39	07:58:42	00:06:03	FALLA TRIP A-G	RECHAZO EN EL PRIMER INTENTO DE CIERRE, SE E	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:49	16:01:00	00:02:11	FALLA TRIP B-G	CAUSA NO DETERMINADA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	23:48:25	23:54:00	00:05:35	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, AFECTA A LA F	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	20:13:55	9/12/2021 06:27	10:13:17	FALLA TRIP A-G, A-G, A-G, A-G	RECHAZO POR DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZON	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:25:13	19:01:27	00:36:14	FALLA TRIP A-G	A POR VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN L	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:14:27	18:22:48	00:08:21	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	18:26:33	18:57:49	00:31:16	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:24:11	18:39:14	00:15:03	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	02:18:48	02:23:57	00:05:09	FALLA TRIP A-G	VIENTOS Y DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
12	2021	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:50:09	20:50:45	02:00:37	FALLA TRIP A-G	RECHAZA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:18:20	16:41:10	01:22:50	CORTE DE MANOBRAS	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	00:03:02	17:48:00	17:44:58	FALLA TRIP A-G	ARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA, COORDINACION	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:46:07	15:59:53	00:13:46	CORTE DE MANOBRAS	TEC. JORGE GARAYITO PARA DESCARTE DE FALLA	PUNO
1	2022	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	15:46:05	17:19:14	01:33:09	CORTE DE MANOBRAS	EC. JORGE GARAYITO PARA DESCARTE DE FALLA E	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	14:34:12	14:54:36	00:20:24	FALLA TRIP B-G	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	D 66 JUNCAL CACHIPASCAN	14:34:12	15:12:51	00:38:39	CORTE DE MANOBRAS	OR MANOBRAS EN REPARACION DE LINEA JUNCAL-	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:51:02	17:53:33	01:02:31	CORTE DE EMERGENCIA	TRA CABLE CON AISLADOR CAIDO. SOLICITA ING CAF	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	16:44:51	16:48:04	00:03:13	FALLA TRIP A-B-C	RECHAZA, DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	17:01:18	17:04:05	00:02:47	FALLA TRIP B-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	15:58:40	16:01:50	00:03:10	FALLA TRIP A-C-G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	08:01:15	08:01:49	00:00:34	FALLA TRIP B-C	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO
1	2022	RC 66 CUTIMBO JUNCAL	18:32:11	19:13:39	00:41:28	FALLA TRIP G	DESCARGAS ATMOSFERICAS EN LA ZONA	PUNO



ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FRANCO CHANEL CONDORI YUCRA
identificado con DNI 43404653 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE PAT
CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FALLAS A TIERRA
EN EL ALIMENTADOR 0251 SERVICIO ELÉCTRICO CUTIMBO - JUNCAL"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 22 de JULIO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 5. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo FRANCO CHANEL CONDORI YUCRA
identificado con DNI 43404653 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE PAT
CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS Y FALLAS A TIERRA
EN EL ALIMENTADOR 0251 SERVICIO ELÉCTRICO CUTIMBO-JUNCAL "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de JULIO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella