

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica
Eléctrica y Mecatrónica



**“MEJORA EN EL AISLAMIENTO Y SOBRETENSIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO
INTERCONECTADO DE ORCOPAMPA – COTAHUASI”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Becerra Candela, Fabricio Rafael

Para optar el Título Profesional
de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

**Mag. Chani Ollachica,
Deidamia Giovanna**

Arequipa – Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 10 de Enero del 2022

Dictamen: 005363-C-EPIMMEM-2022

Visto el borrador del expediente 005363, presentado por:

2014242111 - BECERRA CANDELA FABRICIO RAFAEL

Titulado:

**MEJORA EN EL AISLAMIENTO Y SOBRETENSIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO
INTERCONECTADO DE ORCOPAMPA ? COTAHUASI**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1470 - CASTILLO CACERES CESAR PIO
DICTAMINADOR**



**2398 - RIVERA ACOSTA VICTOR GONZALO
DICTAMINADOR**



**3244 - SILES NATES FERNANDO DAVID
DICTAMINADOR**



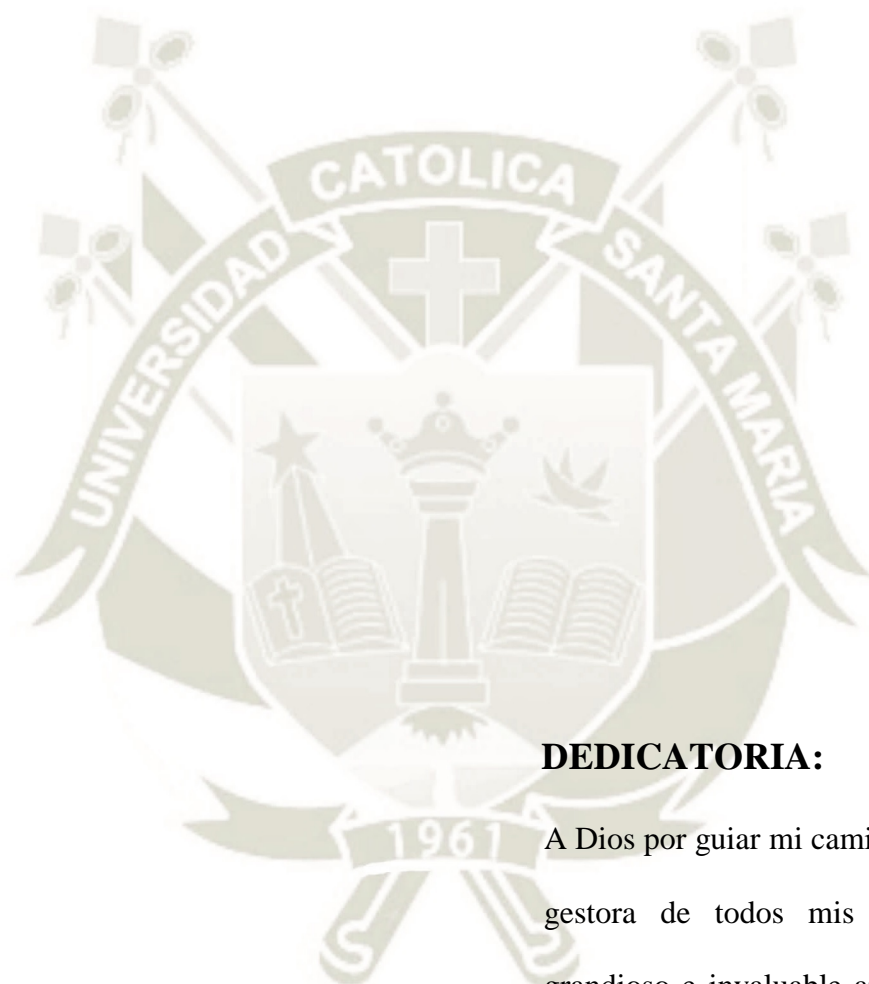
PRESENTACIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación tiene por finalidad aplicar los conocimientos adquiridos en los estudios de pregrado, del Programa de estudios de Ingeniería Mecánica Eléctrica, en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica de la Universidad Católica de Santa María.

Con el trabajo de tesis titulado “MEJORA EN EL AISLAMIENTO Y SOBRETENSIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO DE ORCOPAMPA – COTAHUASI”, se pretende mejorar las condiciones del nivel de aislamiento y optimización de la coordinación de las protecciones eléctricas en la zona de estudio, donde actualmente se presentan condiciones atmosféricas adversas las mismas que ocasionan fallas (interrupciones en el suministro de energía eléctrica).

En el desarrollo se dan a conocer en primer lugar los fundamentos de la investigación y posteriormente el uso de técnicas y métodos que permiten proponer una alternativa de solución al problema en estudio.

Todo esto validará plenamente la obtención del título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.



DEDICATORIA:

A Dios por guiar mi camino y a mi Madre gestora de todos mis logros, por su grandioso e invaluable apoyo durante mi desarrollo profesional.

Fabricio Rafael Becerra Candela

RESUMEN

De manera general, en referencia a los casos de interrupciones del suministro eléctrico, que presenta la Región Arequipa por eventos climatológicos afectando las Redes de distribución eléctrica de la provincia de Castilla y la Unión, Osinergmin ente fiscalizador menciona el incumplimiento del literal b) del Artículo 31° de la Ley de Concesiones Eléctricas, asociado al Alimentador en MT Orcopampa 8701 del sistema eléctrico Cotahuasi Orcopampa; el 16 febrero de 2017 Osinergmin comunica a la Concesionaria SEAL que, 13 de 15 sistemas eléctricos a su cargo, superaron las tolerancias del indicadores SAIFI de media tensión del periodo 2016, dentro de los cuales se encuentra el Sistema eléctrico Orcopampa. En ese mismo sentido, el sistema eléctrico Cotahuasi Orcopampa, se ha mantenido superando las tolerancias del indicador SAIFI, indicador que sirve de métrica en la evaluación del cumplimiento del literal b) del Artículo 31° de la LCE, en los periodos 2017, 2018, 2019 y de enero a mayo de 2020; calificándolo permanentemente como un sistema eléctrico crítico. (OSINERGMIN, SISTEMA ELÉCTRICO CRITICO ALIMENTADOR ORCOPAMPA 8701, 2019).

El aislamiento y la coordinación de las protecciones contra sobretensiones son un gran problema que mantiene este sistema interconectado como crítico, también el mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra, que permite verificar los valores de la resistencia de puesta a tierra, medidos en las estructuras dentro de valores permisibles, por otro lado ver la existencia y el buen estado operativo del pararrayo que debe cumplir la función de protección a sobretensiones de maniobra o descarga atmosférica, la inexistencia de aislador de retenida y con conexión efectiva a tierra. Siendo la causa al gran problema de las interrupciones y el incremento del SAIDI y SAIFI.

Palabras Clave: Coordinación de protecciones, Protecciones contra sobretensiones, Sistemas eléctricos de 22.9 KV, Sistema de Puesta a Tierra, SAIDI, SAIFI.

ABSTRACT

In general, in reference to the cases of power supply interruptions in the Arequipa Region due to weather events affecting the electricity distribution networks of the province of Castilla y la Unión, Osinergmin, the supervisory body, mentions the breach of literal b) of Article 31 of the Electricity Concessions Law, associated with the Orcopampa 8701 MV Feeder of the Cotahuasi Orcopampa electrical system; On February 16, 2017, Osinergmin communicates to the SEAL Concessionaire that, 13 of 15 electrical systems under its responsibility, exceeded the tolerances of the SAIFI medium voltage indicators for the period 2016, within which is the Orcopampa electrical system. In this same sense, the Cotahuasi Orcopampa electrical system has continued to exceed the tolerances of the SAIFI indicator, an indicator that serves as a metric in the evaluation of compliance with literal b) of Article 31 of the LCE, in the periods 2017, 2018, 2019 and from January to May 2020; permanently qualifying it as a critical electrical system. (OSINERGMIN, ORCOPAMPA 8701 FEEDER CRITICAL ELECTRICAL SYSTEM, 2019).

The isolation and coordination of the overvoltage protections are a big problem that keeps this interconnected system as critical, also the maintenance of the Grounding System, which allows to verify the values of the grounding resistance, measured in the structures inside of permissible values, on the other hand, see the existence and the good operating state of the lightning rod that must fulfill the function of protection against operating overvoltages or atmospheric discharge, the existence of a withholding isolator and with an effective connection to earth. Being the cause of the great problem of interruptions and the increase in SAIDI and SAIFI.

Key Words: Protection coordination, Overvoltage protection, 22.9 KV electrical systems, Grounding System, SAIDI, SAIFI.

INTRODUCCIÓN

En el mes del 26 noviembre del 2019, se suscitó un evento de interrupción del servicio de electricidad por descargas atmosféricas, lo que ocasionó la salida del alimentador de Media Tensión 22.9 Kv “Orcopampa” (AMT 8701), reponiéndose el servicio al día siguiente, luego de 20 horas, como consecuencia de esta interrupción de servicio fue afectado también el Alimentador de “Cotahuasi” (AMT 7001), donde se presentaron zonas afectadas a los eventos ocurridos, comprendiendo a 06 localidades del distrito de Alca, 03 localidades del distrito de Charcana, 19 localidades del distrito de Cotahuasi, 13 localidades del distrito de Huaynacotas, 09 localidades del distrito de Pampamarca, 14 localidades del distrito de Puica, 06 localidades del distrito de Quechualla, 04 localidades del distrito de Tomepampa, 04 localidades del distrito de Cayarani, 02 localidades del distrito de Chilcaymarca y 22 localidades del distrito de Orcopampa. Sufriendo la desconexión del Alimentador Orcopampa, desde la C.H. Huancarama.

Restableciendo en forma progresiva el servicio en conexión al SET Huancarama, en su totalidad. Desconexión del Alimentador Cotahuasi, por apertura de su protección del Alimentador Orcopampa, el restablecimiento progresivo del servicio en conexión de grupos termoeléctricos ubicados en Cotahuasi y Chococo, de manera parcial (racionamiento), sin satisfacer la totalidad de la carga. El motivo o causa de la interrupción fue debido al impacto directo de un rayo al Recloser de llegada desde la SET Huancarama a la Subestación de maniobras. (OSINERGMIN, 2019)

Estos problemas son ocasionados por descargas atmosféricas y falta de aislamiento o un mal diseño en las redes eléctricas de Distribución de Media Tensión del Alimentador en MT “Orcopampa” 8701, asociado al S.E. Orcopampa, bajo responsabilidad de Sociedad Eléctrica

del Sur Oeste S.A. (en adelante SEAL), teniendo como el cumplimiento del literal b) del numeral 31° de la Ley de Concesiones Eléctricas (constatar la conservación y mantenimiento de las instalaciones, para su operación eficiente), por las frecuentes interrupciones del servicio público de electricidad, determinadas en el referido alimentador en Media Tensión (MT).



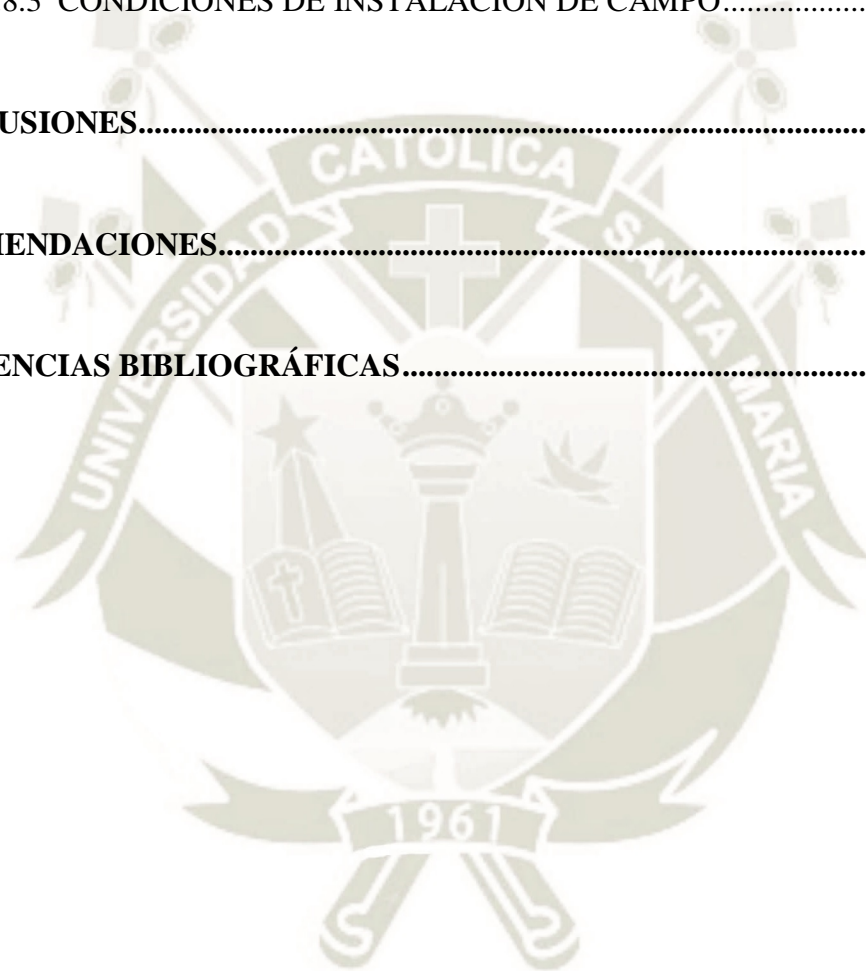
ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	II
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN.....	VI
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	XVI
CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	1
1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO.....	1
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 HIPÓTESIS.....	2

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	2
1.4.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA	2
1.5 JUSTIFICACIÓN	3
1.5.1 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	3
1.5.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	4
1.6 ALCANCES	4
1.7 VARIABLES	5
1.7.1 VARIABLES INDEPENDIENTES	5
1.7.2 VARIABLES DEPENDIENTES.....	5
CAPITULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS	7
2.1.1 CLASIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO	7
2.2 SOBRETENSIONES EN SISTEMA ELÉCTRICOS	8
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE SOBRETENSIONES SEGÚN IEC 60071-1.....	11
2.2.2 SOBRETENSIONES A FRECUENCIA INDUSTRIAL.....	12
2.2.3 SOBRETENSIONES TEMPORALES.....	13
2.2.4 SOBRETENSIONES DE MANIOBRA.....	14
2.2.5 SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	17
2.2.6 DESCARGAS EN REDES ELÉCTRICAS.....	20
2.3 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO	26
2.3.1 PROCEDIMIENTO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO	26
2.3.2 PASOS DE PROCEDIMIENTO DE COORDINACIÓN.....	31
2.4 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS PARARRAYOS DE OXIDO METÁLICO	35

2.4.1	DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN (APARTARRAYOS).....	40
CAPITULO III.....		41
3.	FALLAS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN EL ALIMENTADOR	41
3.1	DESCRIPCIÓN DE ALIMENTADOR DE MT 8701	41
3.2	COMPORTAMIENTO DE UN AISLADOR ANTE DESCARGAS	43
3.2.1	EFFECTO DE LA TOPOGRAFÍA	49
3.2.2	ESTRUCTURAS DE MEDIA TENSIÓN DEL SISTEMA.....	51
3.2.3	SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE PARARRAYOS DE DISTRIBUCIÓN.....	53
3.2.4	SOLUCIONES PARA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS.....	55
3.3	CAPACIDAD DE GENERACIÓN, COSTOS FIJOS Y VARIABLES	57
3.3.1	CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y CONDICIONES DE GENERACIÓN..	69
3.3.2	VALORIZACIÓN DE CONSUMO ANUAL	72
CAPITULO IV		74
4.	METODOLOGÍA Y RESULTADOS	74
4.1	ENTORNO POWER FACTORY	74
4.2	SIMULACIÓN DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	75
4.3	TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS CON DIGSILENT POWER	76
4.3.1	TRANSITORIOS RÁPIDOS ORIGEN EXTERNO Y ORIGEN INTERNO ..	76
4.3.2	TRANSITORIOS DE DURACIÓN MEDIA (ELECTROMECAÓNICOS).....	76
4.3.3	TRANSITORIOS DE LARGA DURACIÓN (FENÓMENOS DINÁMICOS)	77
4.4	SIMULACIONES DE RMS vs EMT.....	77
4.4.1	SIMULACIÓN RMS (ESTABILIDAD).....	77
4.4.2	SIMULACIÓN EMT (TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS)	77
4.5	MANEJO DE SIMULACIONES	78

4.6	MODELOS PARA SIMULACIONES EMT	78
4.7	SIMULACIÓN DE SOBRETENSIONES	79
4.8	PREPARACIÓN DE LA RED PARA EL ESTUDIO	80
4.8.1	CONDICIONES INICIALES	80
4.8.2	CONDICIONES FINALES	83
4.8.3	CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE CAMPO.....	87
CONCLUSIONES.....		88
RECOMENDACIONES.....		90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		91

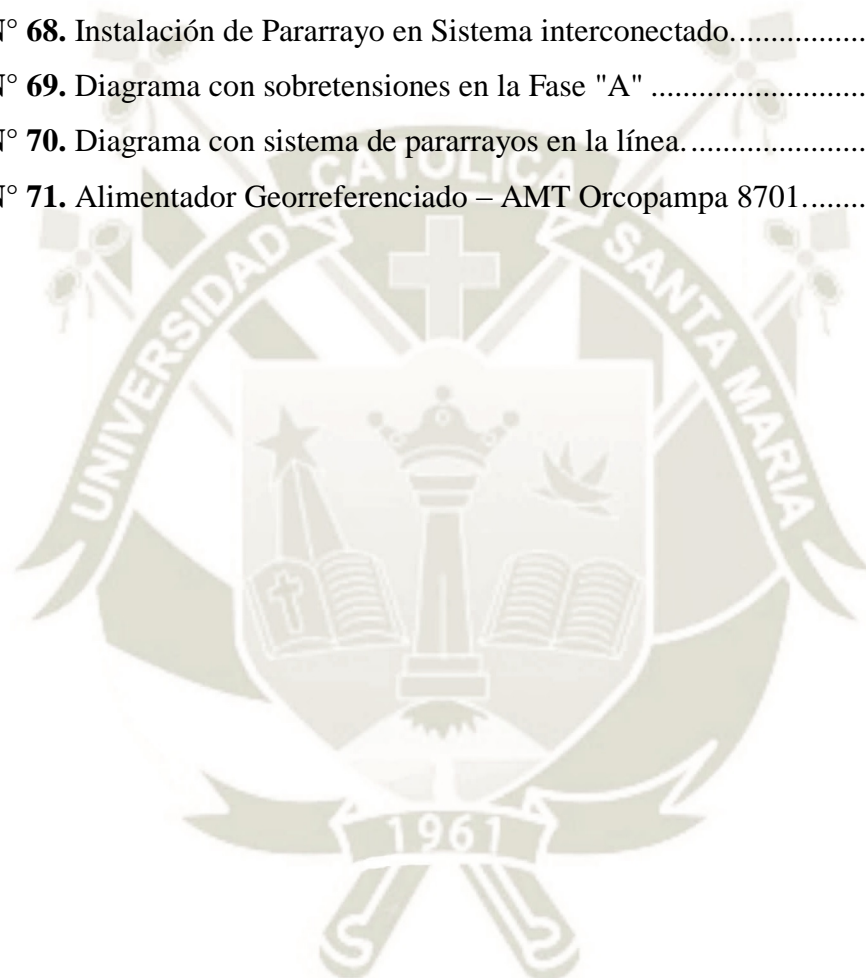


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Aislamiento Externo de transformador.....	7
Figura N° 2. Aislamiento Interno en equipos eléctricos.....	8
Figura N° 3. Mapa Ceraunico del Perú 2013-2018 (<i>km2/año</i>).....	10
Figura N° 4. Tipos de Fatiga del aislamiento.	11
Figura N° 5. Circuito y diagrama de tensiones para el efecto Ferranti.....	13
Figura N° 6. Desbalance de voltajes en condiciones de falla por sobretensión.....	13
Figura N° 7. Comportamiento de sistema de Puesta a tierra en voltajes afectado por sobretensiones en 01 fase.....	14
Figura N° 8. Interrupción de corriente de falla.....	15
Figura N° 9. Interrupción de corriente de falla. - forma de onda	16
Figura N° 10. Resistencias de disparo y cierre.	16
Figura N° 11. Energización- Maniobras en línea de Transmisión sin carga.	17
Figura N° 12. Circulación de Corrientes atmosféricas.	18
Figura N° 13. Desarrollo de una descarga atmosférica.	19
Figura N° 14. Valores pico de Corriente.	19
Figura N° 15. Descargas Atmosférica Descendente (Izquierda) y ascendente.....	20
Figura N° 16. Configuración de una descarga directa.....	20
Figura N° 17. Tensión inducida debido a descargas atmosféricas cercanas.....	23
Figura N° 18. Configuración del circuito eléctrico en una torre de transmisión	23
Figura N° 19. Contorneo Inverso.....	24
Figura N° 20. Contorneo inverso de una torre debido a descarga con cable de guarda.	25
Figura N° 21. Fotografías reales de descargas eléctricas.....	25
Figura N° 22. Curvas de coordinación de aislamiento en una instalación eléctrica.....	26
Figura N° 23. Coordinación de aislamiento entre sistema y equipo eléctrico.....	27
Figura N° 24. Coordinación entre Equipo de Sistema y laboratorio.	29
Figura N° 25. Tipos de aislamiento en redes eléctricas.....	30
Figura N° 26. Diferencias básicas en los rangos de aislamiento en 245 KV	31
Figura N° 27. Diferencias de método determinístico y estadístico.	32
Figura N° 28. Margen de protección de pararrayos- ANSI C6222	35

Figura N° 29. Característica U-I de un pararrayo de OM típico con neutro sólidamente aterrado - sistema 420 Kv.	36
Figura N° 30. Grafica de tensiones y corriente de un pararrayo $U_s = 420 \text{ KV}$	36
Figura N° 31. Grafica de tensiones y corriente de un pararrayo $U_s = 336 \text{ KV}$	37
Figura N° 32. Arreglo simplificado para ilustrar la zona de protección de un pararrayo.....	37
Figura N° 33. Arreglo típico de un pararrayo en una subestación 420-kV.	38
Figura N° 34. Curvas de estabilidad térmica en pararrayos de MT.....	38
Figura N° 35. Partes del Dispositivos de Protección antes Sobre corrientes.....	39
Figura N° 38. Alimentador de 22.9 KV - ORCOPAMPA AMT 8701.....	42
Figura N° 39. Línea delimitada del Alimentador AMT 8701.	44
Figura N° 40. Alturas establecidas en el trayecto del Sistemas Interconectado.	44
Figura N° 41. Mapa ceraunico del Perú.....	45
Figura N° 42. Patio de Maniobras de Reclosers pertenecientes al Alimentador Orcopampa AMT 8701.....	46
Figura N° 43. Patio de Maniobras de Recloser´s en 22.9 KV (imagen real).....	46
Figura N° 44. Patio de Maniobras de transformadores de Elevación del Alimentador AMT 8701, estando conectado de forma paralela con la Central Eléctrica Chococo).....	47
Figura N° 45. Imagen de Transformadores Elevadores de Tensión 22.9 KV para el distrito de Cotahuasi (imagen real).	47
Figura N° 46. Provincia de la Unión, Departamento de Arequipa	48
Figura N° 47. Gradiente superficial de Campo Eléctrico.	49
Figura N° 48. Grafica de Factores de Apantallamiento.....	50
Figura N° 49. Mapa niveles isoceraunicos del Perú.	50
Figura N° 50. Poste de pino tratado de 13 metros usados en el sistema interconectado.	52
Figura N° 51. Diagrama de Flujo, Ubicación de pararrayos.	55
Figura N° 52. Seccionadores Cortafuegos.....	56
Figura N° 53. Datos de Grupo Electrógeno CATERPILLAR.....	58
Figura N° 54. Instalaciones de Grupo Electrógeno CATERPILLAR.	59
Figura N° 55. Instalación de Grupos electrógenos AREM.....	60
Figura N° 56. Placa de Grupos electrogénéos AREM.....	60
Figura N° 57. Transformador Elevador	61
Figura N° 58. Grafica de Pareto Horas en Generación Aislada.....	68
Figura N° 59. Tanque de reserva para grupos electrógenos.	69
Figura N° 60. Precios Promedio de Combustible mayo 2021.	72

Figura N° 61. Logotipo Digsilent Power factory.....	74
Figura N° 62. Voltaje en (p.u) vs Duración.....	79
Figura N° 63. Diagrama unifilar de Sistema Interconectado e impacto de rayo.	81
Figura N° 64. Diagrama de Impacto de Rayo de 9.4 kA.	81
Figura N° 65. Onda viajera en por impacto de rayo en línea de 22.9 kV.....	82
Figura N° 66. Contorneo de aisladores afectando su aislamiento en 1900 kV.....	82
Figura N° 67. Redes de distribución con Pararrayos de Línea.....	84
Figura N° 68. Instalación de Pararrayo en Sistema interconectado.....	84
Figura N° 69. Diagrama con sobretensiones en la Fase "A".....	85
Figura N° 70. Diagrama con sistema de pararrayos en la línea.....	86
Figura N° 71. Alimentador Georreferenciado – AMT Orcopampa 8701.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Magnitudes y duraciones típicas de sobretensiones.....	12
Tabla 2. Cuadro de Porcentajes en Frecuencia.	42
Tabla 3. Características I-U del Pararrayos.	53
Tabla 4. Datos Grupo Electrónico CATERPILLAR.....	58
Tabla 5. Datos de Grupo Electrónico AREM.	59
Tabla 6. Datos Técnicos de Transformador Elevador de 1250 KVA	61
Tabla 7. Eventos reportados por sobrecargas eléctricas en el periodo de diciembre 2020 ALIMENTADOR ORCOPAMPA – INTERCONECTADO.....	63
Tabla 8. Cuadro de Generación Aislada en el Año 2020.....	68
Tabla 9. Datos Técnicos de Volumen de combustible de Grupos electrónicos.	69
Tabla 10. Datos de consumo específico - Grupos electrónicos.	71
Tabla 11. Datos Volumétricos en Metros Cúbicos de grupos electrónicos.	72
Tabla 12. Cuadro de Costos de Combustible - Año 2020.....	73
Tabla 13. Parámetros I-U de pararrayos de línea para análisis en Digsilent.	83

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- AMT: Alimentador de Media tensión
- SET: Sistema Eléctrico de Transformación
- S.E.: Sistema Eléctrico
- C.H.: Central Hidroeléctrica
- CFO: Para asegurar un voltaje sostenido en el servicio, se denomina voltaje de flameo crítico obtenido para condiciones estándar a nivel del mar se debe aumentar de acuerdo con los factores correspondientes a las condiciones de servicio.
- SEAL: Concesionaria eléctrica – Sociedad Eléctrica Sur Oeste – Arequipa
- SAIDI: Indicador de Duración de interrupciones
- SAIFI: Indicador de Frecuencia de interrupciones
- LCE: Ley de Concesiones Eléctricas
- OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
- POWER FACTORY (DIGSILENT): Programa de análisis en sistema de potencia

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

La identificación del tema a investigar atiende al problema de interrupción del fluido eléctrico en la propuesta para la “MEJORA EN EL AISLAMIENTO Y SOBRETENSIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO DE ORCOPAMPA – COTAHUASI”

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La información técnica del Alimentador en MT “Orcopampa” - 8701, presenta problemas en el aislamiento y la falta de protecciones contra las sobretensiones originadas por los fuertes rayos en la zona.

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo mejorar el estado crítico del Sistema Eléctrico “Orcopampa”, que priorice sus programas de mantenimiento e inversión en los alimentadores de media tensión asociados, con la finalidad de que los indicadores SAIFI y SAIDI, no superen las tolerancias de Media Tensión establecidas en el Procedimiento?

1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Qué planes de acción se deberá tomar para el mejoramiento de los sistemas eléctricos en el 2022, dentro del sistema eléctrico Orcopampa – Cotahuasi?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Atender la necesidad de dictar una medida técnica para que se ejecute la subsanación de deficiencias e indicadores SAIDI y SAIFI por falta de mantenimiento preventivo/correctivo, que generan interrupciones en el alimentador “Orcopampa” 8701 del sistema eléctrico Orcopampa Cotahuasi; bajo la responsabilidad de la concesionaria.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Optimizar recursos en la generación diésel ocasionada por las interrupciones del S.E. interconectado
- Informar los resultados de la evaluación al cumplimiento de la coordinación de aislamiento y protecciones en sobretensión

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

- Una respuesta de solución es la implementación de nuevos equipos de protección ante el comportamiento climatológico y su instalación ante descargas atmosféricas, manifestando un mejor mantenimiento, en base a un estudio de coordinación de Aislamiento.

1.4.2 HIPÓTESIS ESPECIFICA

- Restablecer mejoras en el consumo de generación Diesel por las interrupciones ocasionados en el S.E. Orcopampa Cotahuasi, estos

recursos pueden ser llevados a la compra de nuevas tecnologías para la mejora de las redes primarias en 22.9 KV.

- Los estudios y simulaciones en software profesionales como POWER FACTORY fundamentan estos recursos para la mejora de la mitigación de los indicadores SAIDI y SAIFI.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Cotahuasi es Provincia de La Unión, se encuentra a una altura de 2.680 msnm y a 379 km de la ciudad de Arequipa, la cual sufre constantes interrupciones de fluido eléctrico en temporadas de granizada y descargas atmosféricas, conllevando a accionar la central térmica de Cotahuasi ya que la Línea 22.9 kV Orcopampa – Cotahuasi que permite la interconexión del Sistema Eléctrico Cotahuasi al Sistema Eléctrico Interconectado presenta fallas de aislamiento y sobretensiones, el trayecto de la línea es de 51 km de longitud, en los meses de noviembre, diciembre, y enero son donde se presentan más interrupciones por lo que los pobladores reclaman por la deficiente atención por parte de la concesionaria eléctrica, de tal forma se toma como argumento las diferentes compensaciones en la pérdida del fluido eléctrico.

Donde a continuación, se muestra el resumen de la evolución del indicador SAIFI (Frecuencia de Fallas) del sistema eléctrico Orcopampa, el cual; a partir del periodo 2019 adoptó la denominación de sistema eléctrico “Cotahuasi Orcopampa”.

De la normatividad vigente respecto a la subsanación de deficiencias por falta de mantenimiento preventivo/correctivo, que generan interrupciones en el alimentador “Orcopampa” 8701 del sistema eléctrico Cotahuasi Orcopampa, bajo la responsabilidad de la concesionaria perjudicando a los usuarios de Cotahuasi que son alrededor de 4 mil habitantes.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

- Determinar el consumo monetizado en la generación aislada de Cotahuasi
- Desarrollo de mejoras en la inversión de recursos de ingeniería ayudando a mantener la confiabilidad de los sistemas eléctricos adyacentes a estos.

1.6 ALCANCES

Los estudios realizados en el marco de Sistemas Eléctricos, son muy mencionados en cuanto a la coordinación de protecciones y aislamiento, muy aparte de la acumulación de deficiencias por falta de mantenimiento, siendo uno de los problemas que causa interrupciones, ya que este sistema interconectado de 22.9 KV fue íntegramente desarrollado por el Ministerio de energía y minas, el cual ha ido presentando problemas tanto en su operación y funcionamiento por descargas eléctricas, presentando un sistemas critico en su aislamiento, teniendo la necesidad de hacer investigación acorde a sobretensiones y su aislamiento propiamente dicho, minimizando el consumo de DIESEL en la generación aislada que realiza, al no tener fluido eléctrico.

1.7 VARIABLES

1.7.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Tenemos como variables independientes

- Sobretensiones en el Sistema Eléctrico: las sobretensiones son las fatigas que ocurren en un sistema eléctrico y considerables. Estas incluyen tensiones anormales a frecuencia industrial y sobretensiones transitorias rápidas debido a maniobras y descargas atmosféricas, las cuales atraviesa el S.E. Orcopampa Cotahuasi

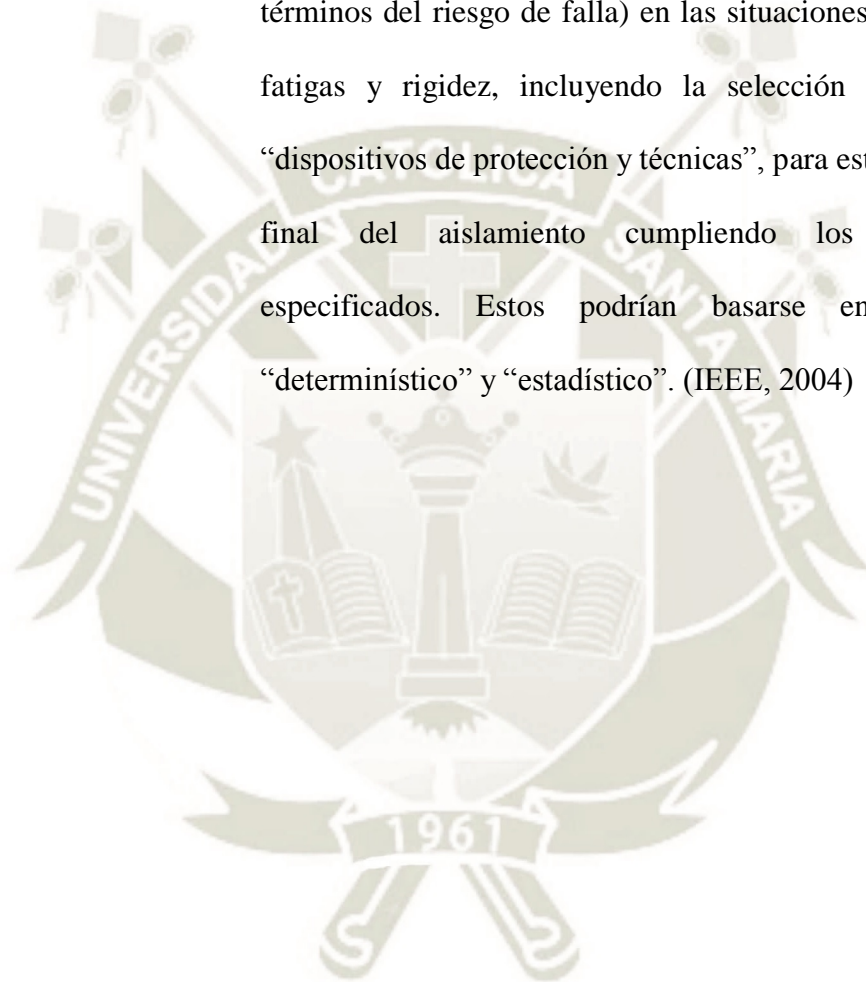
1.7.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Tenemos como variables dependientes:

- Coordinación de Aislamiento: Es la correlación del aislamiento de los equipos eléctricos con las características de los dispositivos protegidos de modo tal que el aislamiento sea protegido de sobretensiones excesivas, donde como procedimiento se tiene tres elementos involucrados en la disciplina de coordinación de aislamiento, estos son:
 - o El estudio de la “fatiga”, tanto eléctrica como ambiental, que actúa sobre el aislamiento del equipo. Esto se efectúa usualmente mediante cálculos o mediciones de campo.
 - o Estudio de la “rigidez” (características de sostenimiento dieléctrico) del aislamiento (tanto nuevo como envejecido) cuando está sometido a fatigas, tomando en cuenta y cuando sea aplicable, el efecto de las fatigas ambientales (contaminación, lluvia, nieve, hielo, condiciones atmosféricas a grandes altitudes), incluyendo el estudio de las “pruebas y técnicas de

medición" los cuales son empleadas para estimar tal rigidez. La rigidez es determinada por cálculos, basada en modelos de descarga adecuados, y/o por pruebas de laboratorio/fabrica, pruebas en sitio y mediciones en servicio (diagnósticos).

- Estimar el desempeño del aislamiento (usualmente expresado en términos del riesgo de falla) en las situaciones consideradas de fatigas y rigidez, incluyendo la selección y aplicación de “dispositivos de protección y técnicas”, para establecer el diseño final del aislamiento cumpliendo los requerimientos especificados. Estos podrían basarse en los métodos “determinístico” y “estadístico”. (IEEE, 2004)



CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 AISLAMIENTO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

2.1.1 CLASIFICACIÓN DEL AISLAMIENTO

Primera clasificación:

- Aislamiento autorregenerable: Recupera sus propiedades cuando desaparece el contorneo y las causas que lo han provocado.
- Aislamiento no autorregenerable (Interno): Puede quedar total o parcialmente averiado después de una descarga disruptiva.

Segunda clasificación:

- Aislamiento externo: Es la distancia a través del aire o de una superficie exterior en contacto con el aire sometido a sollicitaciones dieléctricas y ambientales (humedad y contaminación).

Aislamiento Externo - Bushing



Figura N° 1. *Aislamiento Externo de transformador.*

Fuente: (Chamorro, 2018)

- Aislamiento interno: es la parte interna del aislamiento de un equipo eléctrico que está protegido de las solicitaciones ambientales mediante una o varias envolturas. (Saavedra, 2012)



Figura N° 2. Aislamiento Interno en equipos eléctricos.

Fuente: (Chamorro, 2018)

En general, el aislamiento externo es autorregenerable y el aislamiento interno es no autorregenerable

2.2 SOBRETENSIONES EN SISTEMA ELÉCTRICOS

Los relámpagos ocurren durante tormentas de lluvia, tormentas de nieve y otros fenómenos naturales. Sin embargo, en la mayoría de las áreas, Las tormentas de lluvia son la principal fuente de relámpagos. Las tormentas producen intranube, nube a nube y nube a relámpago de tierra. Los relámpagos dentro de la nube son los más frecuentes, pero los relámpagos de nube a tierra afectan la sobrecarga en las líneas de distribución.

Durante una tormenta, los cortes de energía son causados por el viento y los rayos.

Las interrupciones causadas por el viento, los árboles y el equipo dañado a veces se supone que es causado por un rayo, lo que hará que el número de interrupciones causadas por rayos parezca artificialmente alto.

Se han implementado sistemas de localización de rayos y redes de contador de relámpagos en EE. UU. y otros partes del mundo. Con suficiente experiencia, estas redes pueden proporcionar mapas G.F.D. (densidad de relámpagos terrestres) detallados. Estos mapas proporcionar mucho más detalle y precisión de lo que ha estado disponible con los datos de trueno. Sistemas de localización también proporcionan cantidades medidas que son más útiles y detalladas que los datos ceramícos. Además de proporcionarnos la frecuencia de los rayos, las redes también pueden proporcionar la fecha, hora, ubicación, número de descargas, estimación de la corriente pico de carrera y polaridad.

En algunas áreas del mundo, estos sistemas tienen, o están cerca de tener, suficientes datos (siete años en un mínimo) para fines de diseño. Los mapas GFD se están utilizando actualmente para el diseño de líneas de distribución, estimando descargas eléctricas provocadas por rayos y para muchos otros tipos de análisis de rayos. Donde la confiabilidad de una línea de distribución depende de su exposición a los rayos. Para determinar la exposición, el diseñador de la línea de distribución necesita saber el número anual de flashes por unidad de área por unidad de tiempo. Este GFD puede estimarse de varias formas. Por otro lado, los componentes aislantes más comunes utilizados en la construcción de líneas aéreas de distribución son porcelana, aire, madera, polímero y fibra de vidrio. Cada elemento tiene su propia resistencia de aislamiento. Cuando los materiales aislantes se utilizan en serie, el nivel de aislamiento resultante no es la suma de los niveles asociados con los componentes individuales, pero es algo menor que ese valor.

Los factores que afectan los niveles de descargas eléctricas relámpago de las líneas de distribución y dificultan estimar el nivel de aislamiento total son:

- a) Condiciones atmosféricas, incluida la densidad del aire, la humedad, las precipitaciones y la contaminación atmosférica
- b) Polaridad y tasa de aumento de la tensión.
- c) Factores físicos, como la forma del aislador, la forma de los herrajes metálicos y la configuración del aislante (montado verticalmente, horizontalmente o en algún ángulo)

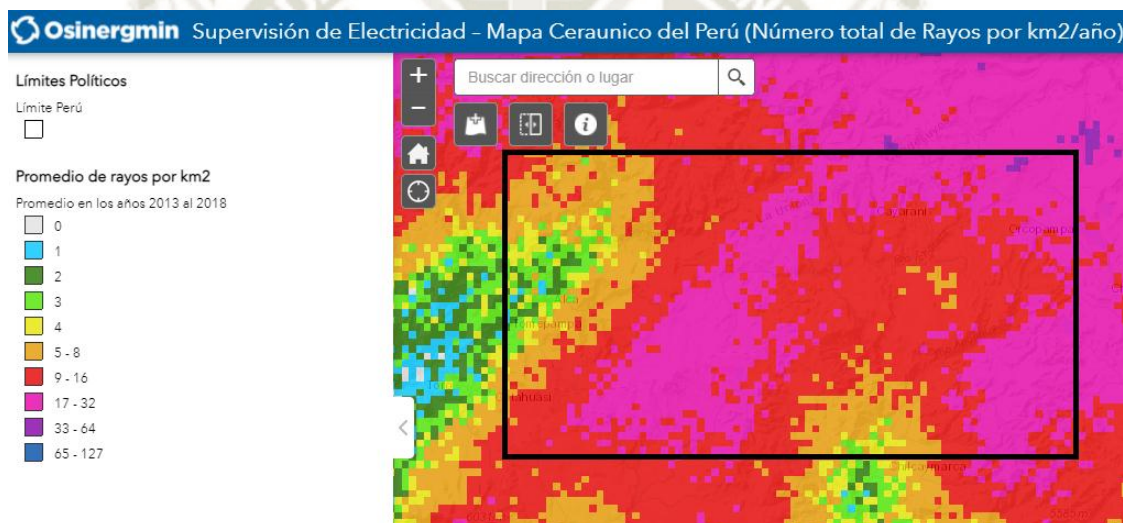


Figura N° 3. Mapa Ceraunico del Perú 2013-2018 ($km^2/año$)

Fuente: (OSINERGMIN O. , 2018)

Todo el sistema de aislamiento está expuesto a fatigas que ocurren en un sistema eléctrico y son considerables. Estas incluyen tensiones anormales a frecuencia industrial y sobretensiones transitorias rápidas debido a maniobras y descargas atmosféricas. (OSINERGMIN O. , 2018)

Pueden ser en:

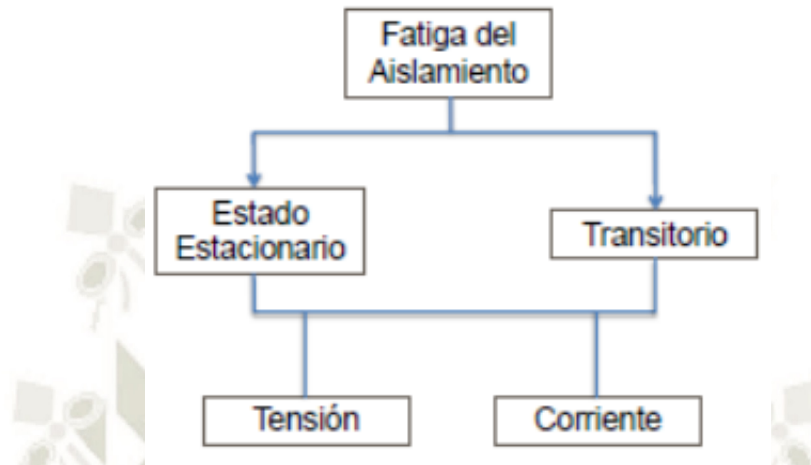


Figura N° 4. Tipos de Fatiga del aislamiento.

Fuente: (Chamorro, 2018)

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE SOBRETENSIONES SEGÚN IEC 60071-1

Se divide en:

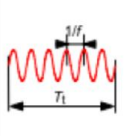
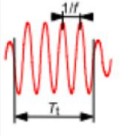
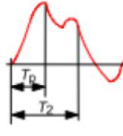
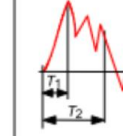
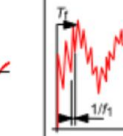
Baja Frecuencia

- Continuas
- Temporales

Transitorios.

- Frente lento
- Frente Rápido
- Frente Muy Rápido

Tabla 1. Magnitudes y duraciones típicas de sobretensiones.

Class	Low frequency		Transient		
	Continuous	Temporary	Slow-front	Fast-front	Very-fast-front
Voltage or over-voltage shapes					
Range of voltage or over-voltage shapes	$f = 50 \text{ Hz}$ or 60 Hz $T_1 \geq 3 \text{ 600s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $0,02 \text{ s} \leq T_1 \leq 3 \text{ 600 s}$	$20 \mu\text{s} < T_p \leq 5 \text{ 000 } \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$0,1 \mu\text{s} < T_1 \leq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$T_r \leq 100 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$

Sobretensiones	Magnitud (p.u.)	Duración
Temporales (60 Hz)	1.5	50 s
Sobretensiones de maniobra	4.0	10 ms
Sobretensiones por descargas atmosférica	6.5	100 μs

Fuente: (Std1410, 2004)

2.2.2 SOBRETENSIONES A FRECUENCIA INDUSTRIAL

Los equipos de un sistema de potencia deben tener la capacidad de hacer frente a sobretensiones temporales a frecuencia industrial. Estas pueden estar causadas por los eventos siguientes:

- Desconexión (rechazo de carga) de una carga grande que produce incremento de tensión en el sistema.
- La capacitancia de un cable sin carga, en combinación con una inductancia de transformador o generador podría incrementar la tensión en el final de la línea.
- Si la capacitancia y la inductancia serie se aproximan a la resonancia, la tensión de salida podría ser mucho mayor que la tensión de entrada.

Ejemplo:

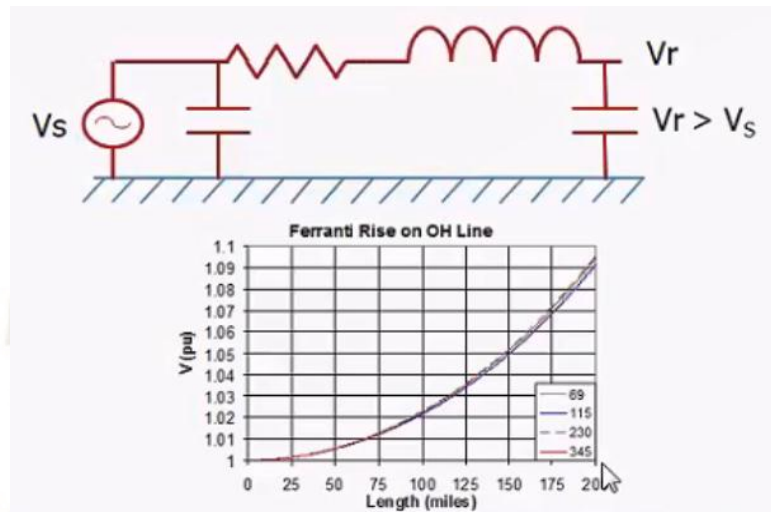


Figura N° 5. Circuito y diagrama de tensiones para el efecto Ferranti

Fuente: (Chamorro, 2018)

2.2.3 SOBRETENSIONES TEMPORALES

Si ocurre una falla a tierra en una red con neutro no aterrado, las fases saludables adoptarán una tensión $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de operación hasta que la falla sea despejada. Si el sistema se aterrera a través de una impedancia, la sobretensión dependerá de la impedancia aterrada del neutro del transformador.

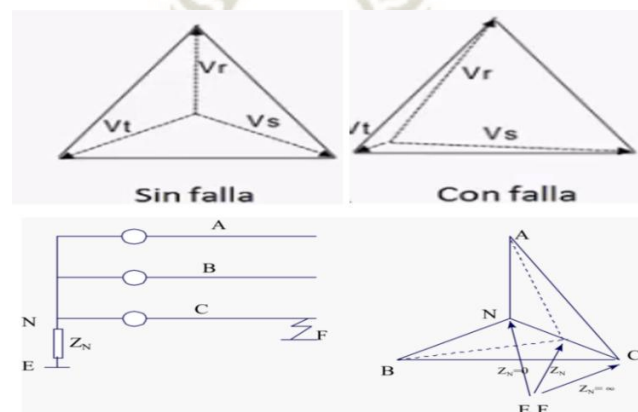


Figura N° 6. Desbalance de voltajes en condiciones de falla por sobretensión.

Fuente: (Std1410, 2004)

<p>Solidly Earthed System ($X_0/X_1 = 1$)</p> <p>EFF = 1,0 p.u.</p>	
<p>Effectively Earthed System ($X_0/X_1 \leq 3$)</p> <p>EFF = 1,25 p.u.</p> <p>$X_0/X_1 = 3,0$</p>	
<p>Non - Effectively Earthed System ($X_0/X_1 \leq 20$)</p> <p>EFF = 1,5 p.u.</p> <p>$X_0/X_1 = 4,5$</p>	
<p>Isolated Earthed System ($X_0/X_1 \gg 1$)</p> <p>EFF = 1,732 p.u.</p> <p>$X_0/X_1 = \infty$</p>	

Figura N° 7. Comportamiento de sistema de Puesta a tierra en voltajes afectado por sobretensiones en 01 fase.

Fuente: (Std1410, 2004)

2.2.4 SOBRETENSIONES DE MANIOBRA

Un sistema de potencia contiene un gran número de capacitancias (principalmente capacitancia shunt de línea y condensadores de compensación) e inductancias (ejem.: inductancias de fuga del transformador). Se manifiestan durante la ocurrencia de disturbios transitorios en la forma de oscilaciones amortiguadas. Los ejemplos típicos son:

- Despeje de falla
- Corriente magnetizante del transformador
- Maniobras de capacitores
- Energización de líneas de transmisión sin carga, ondas viajeras
- Corriente de falla. Un flujo de corriente sinusoidal, solo limitado por la reactancia L.

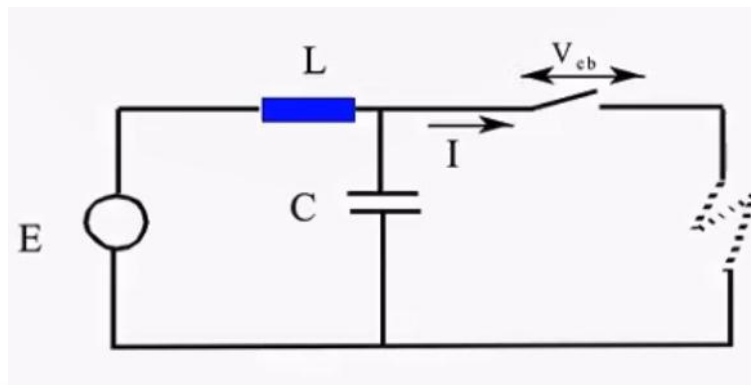


Figura N° 8. Interrupción de corriente de falla.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Cuando el interruptor interrumpe la corriente de falla en el punto de corriente cero, la tensión a través del interruptor deberá recobrase para continuar con la tensión de suministro. La tensión de restablecimiento de alta frecuencia a través de los contactos del interruptor abierto se adiciona a la tensión de frecuencia industrial e introduce fatigas adicionales al aislamiento de los componentes del sistema de potencia. Claramente, una tensión pico tan alta como $2(V_m)$ podría presentarse a través del interruptor y también en otros equipos conectados al sistema. Se podría estimar la magnitud de la sobretensión resultante (la corriente deberá ser “recortada” antes del cruce por cero) considerando que la energía oscila entre L y C durante un transitorio de alta frecuencia.

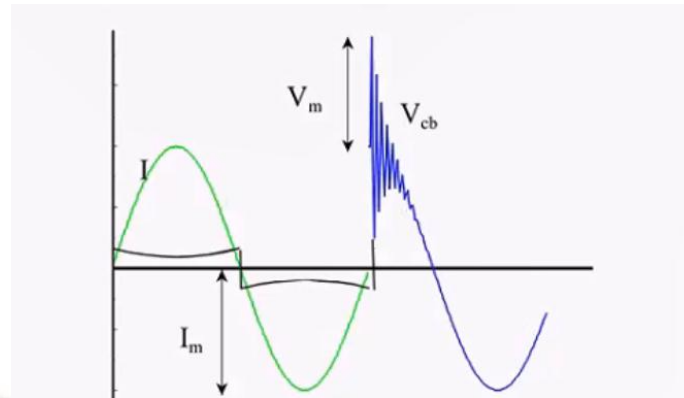


Figura N° 9. Interrupción de corriente de falla. - forma de onda

Fuente: (Chamorro, 2018)

La inserción por corto tiempo de resistencias de disparo y cierre en paralelo con el espacio separación de los contactos del interruptor principal, en el caso de un disparo, podría efectivamente reducir las sobretensiones de maniobra. Las resistencias de disparo drenan cargas atrapadas de la línea, mientras que, en el cierre, las resistencias producen oscilaciones amortiguadas en la energización de una línea.

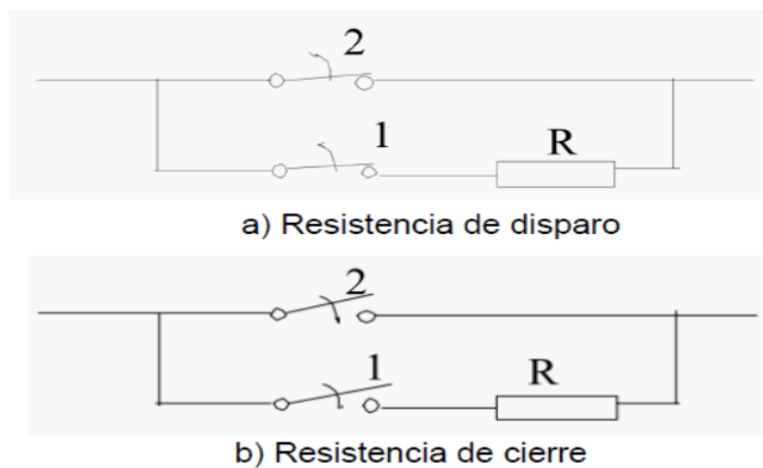


Figura N° 10. Resistencias de disparo y cierre.

Fuente: (Chamorro, 2018)

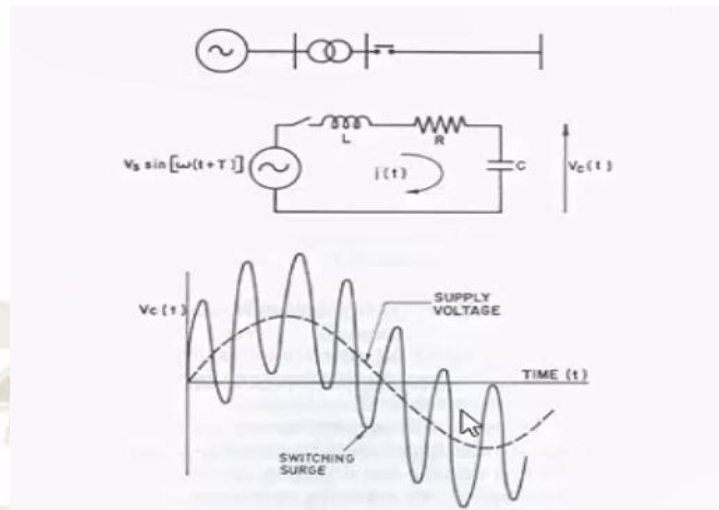


Figura N° 11. Energización- Maniobras en línea de Transmisión sin carga.

Fuente: (Chamorro, 2018)

2.2.5 SOBRETENSIONES POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Una gran parte del Perú experimenta fuertes descargas atmosféricas. Aparte del devastador efecto de las descargas, el principal efecto en lo que al sistema de potencia concierne, tiene que ver con las sobretensiones por dichas descargas atmosféricas. La naturaleza de las descargas atmosféricas en la mayoría de las tormentas es cargada negativamente con un alto potencial respecto a tierra, alcanzando valores de varios cientos de MV. El campo eléctrico promedio entre las nubes y tierra es bajo debido a la altura de las nubes. Las descargas dentro de las nubes inician un movimiento de iones negativos descendentes para luego eventualmente establecer un canal a tierra.

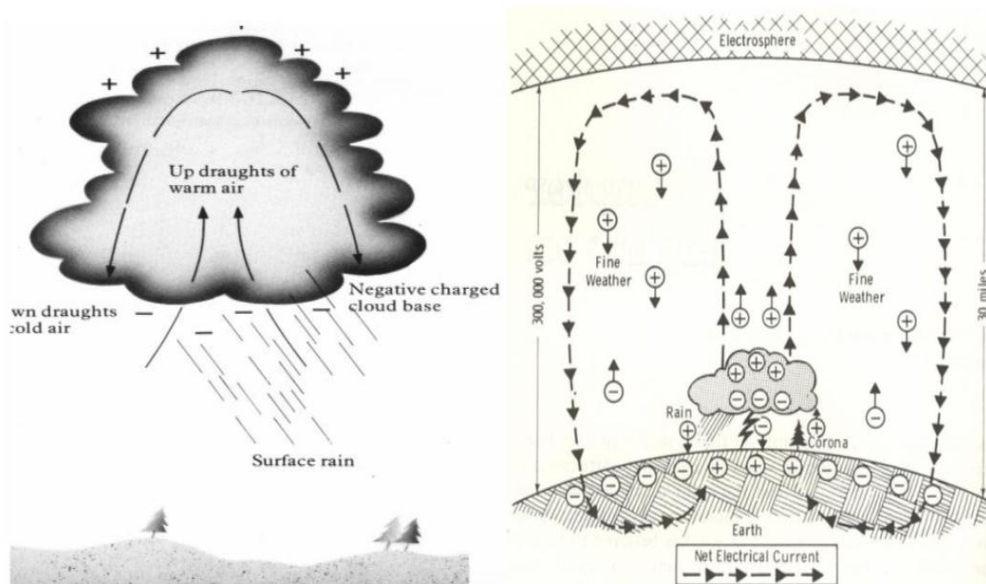


Figura N° 12. *Circulación de Corrientes atmosféricas.*

Fuente: (D. Amat González, 2014)

- El líder (descarga) avanza en pasos de alrededor de 30 m, siendo cada paso en una dirección diferente, en forma de zig-zag. El líder no es visible a simple vista, y su corriente es del orden de los 100 A. Este alcanza a tierra en aproximadamente 10 ms.
- Cuando el líder se aproxima a tierra, se induce carga positiva sobre tierra y un líder positivo viaja hacia arriba, usualmente desde objetos altos. Después de hacer contacto, una onda viajante se mueve hacia arriba, acompañada con una luz intensa. El tiempo para el destello es del orden de 50 us y la corriente es alrededor de 20 a 100 kA. Una vez que el canal se establece, son posibles varias descargas repetidas. La temperatura en el canal es tal alto como 20000 °C.

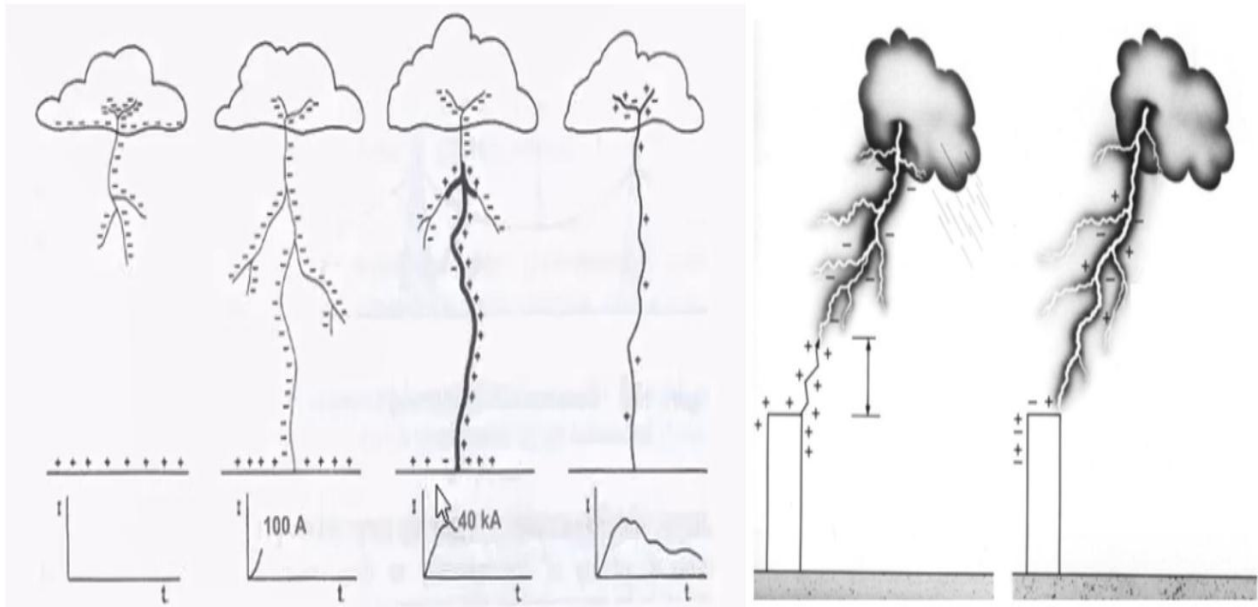


Figura N° 13. Desarrollo de una descarga atmosférica.

Fuente: (D. Amat González, 2014)

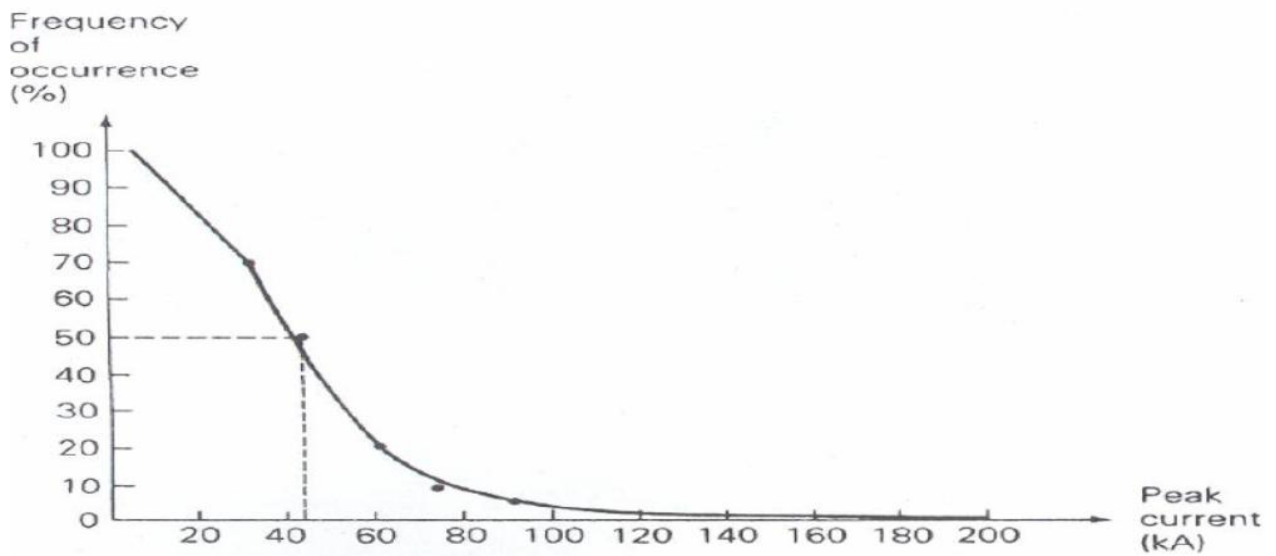


Figura N° 14. Valores pico de Corriente.

Fuente: (D. Amat González, 2014)



Figura N° 15. Descargas Atmosférica Descendente (Izquierda) y ascendente.

Fuente: (D. Amat González, 2014)

2.2.6 DESCARGAS EN REDES ELÉCTRICAS

Las descargas pueden ser:

2.2.6.1 DESCARGA DIRECTA

Una descarga atmosférica directa en la línea, como se muestra en la figura, es confrontada con la característica de impedancia Z , y la tensión resultante es $\frac{1}{2} * i * Z$. Con una corriente moderada de 20 kA y un Z alrededor de 300Ω , la sobretensión resulta en varios megavolts.

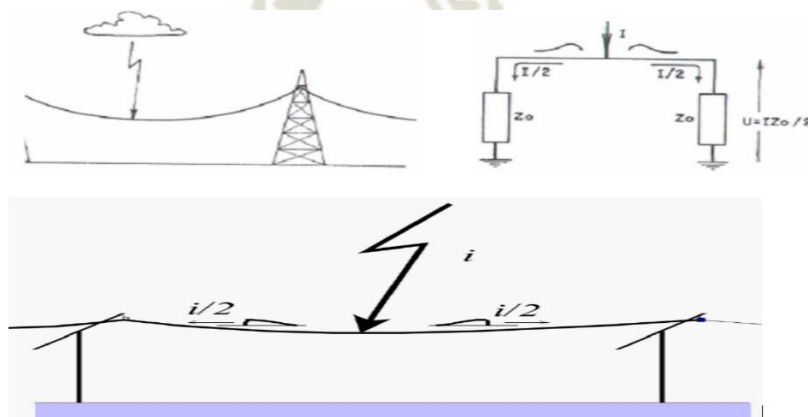


Figura N° 16. Configuración de una descarga directa.

Fuente: (D. Amat González, 2014)

Si una línea aérea de energía es impactada, la corriente de descarga atmosférica produce dos ondas de corriente viajante, fluyendo a lo largo de la línea en dos direcciones a la velocidad de la luz. Hay dos ondas de tensión asociadas con las ondas de corriente con valores pico:

$$v = i * Zc/2 \dots (Ec. 01)$$

- i : corriente pico (A)
 - v : tensión pico (V)
 - Zc : impedancia característica de línea
 - Típicamente $Zc = 350 \text{ Ohm}$ y $i = 10 \text{ kA}$
 - Por lo tanto $v = 1.75 \text{ MV}$
- Estas altas tensiones producen el colapso del aire (incremento de corona, seguida por un contorneo) sobre el aislamiento de la línea de energía.
 - En área con severas descargas atmosféricas, las empresas eléctricas protegen las líneas de energía por medio de cables de guarda sobre las líneas.
 - Las tensiones viajantes son propagadas a lo largo de las líneas y son ligeramente atenuadas por el incremento del efecto corona en los hilos (el empinamiento de la onda es reducido). El aislamiento del equipo directamente conectado a la línea, tales como transformadores, podrían ser dañados por estas ondas. Por esta razón, el aislamiento de los equipos de

protección y distribución son especificados y probados considerando las tensiones de impulso. Se proveen además de desviadores de ondas (pararrayos de descargas atmosféricas) en las subestaciones para limitar las sobretensiones. (Std1410, 2004)

2.2.6.2 DESCARGA INDIRECTA

Descarga atmosférica en la vecindad de una línea o una subestación. Las cargas inducidas en la línea por descargas atmosféricas se liberan súbitamente y producen ondas viajantes con un nivel alto de tensión. Este fenómeno causa un impulso de descarga atmosférica, el cual es de importancia particularmente para redes de media tensión.

Desde el punto de vista de la sobretensión, las descargas indirectas causan ondas viajeras en las líneas de energía. La carga negativa en la nube y el líder aproximándose induce cargas positivas en la línea. Cuando la nube descarga a otro objeto, la carga en la línea es liberada y viaja a lo largo de la línea. La onda de tensión asociada podría dañar el aislamiento del transformador. El campo magnético asociado con la corriente de descarga atmosférica podría también inducir tensiones en bucles en baja tensión o líneas de comunicación.

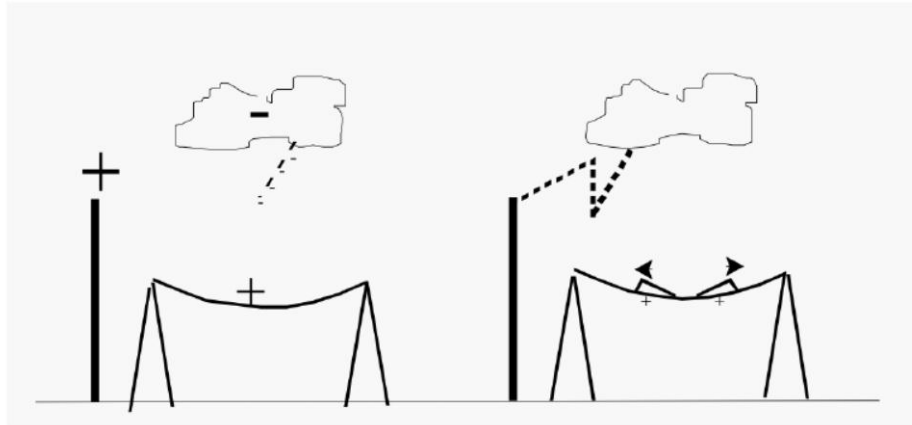


Figura N° 17. Tensión inducida debido a descargas atmosféricas cercanas.

Fuente: (D. Amat González, 2014)

2.2.6.3 DESCARGA ATMOSFÉRICA EN EL CABLE DE GUARDA

La corriente de descarga atmosférica atraviesa la impedancia $\omega L + R$ hacia tierra y causa una tensión elevada en la cima de la torre. Debido a este fenómeno podría ocurrir el contorneo en la cadena de aisladores.

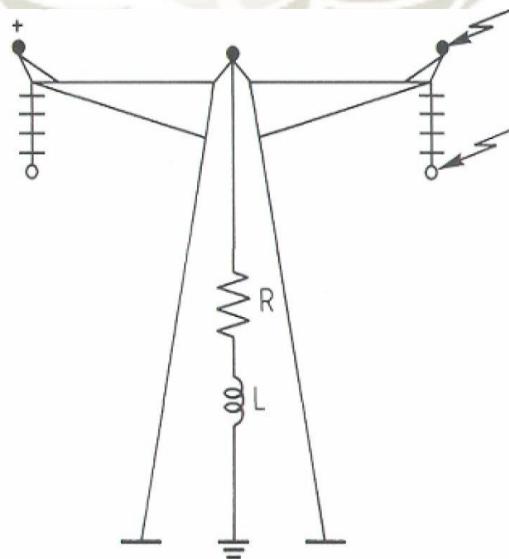


Figura N° 18. Configuración del circuito eléctrico en una torre de transmisión

Fuente: (D. Amat González, 2014)

2.2.6.4 CONTORNEO INVERSO

Una descarga atmosférica que golpea en la torre o en el cable de guarda podría causar una elevación de potencial de la torre, debido a la impedancia de la torre y la resistencia del pie de torre.

- Si la impedancia de torre es alta, la potencia de la torre excederá el nivel de aislamiento de líneas de media tensión, resultando en un contorneo de la torre a la línea.
- La frecuencia de ocurrencia y la magnitud de las sobretensiones de descarga atmosférica puede ser controladas por la apropiada protección y aterramiento con una resistencia de puesta a tierra baja.

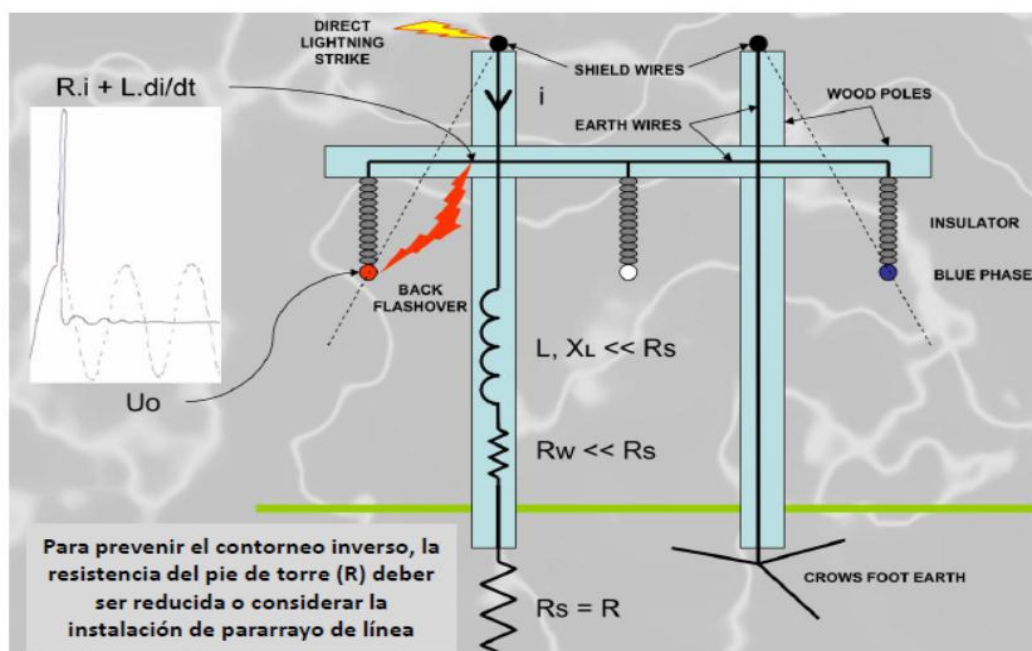


Figura N° 19. Contorneo Inverso.

Fuente: (Villa, 2010)

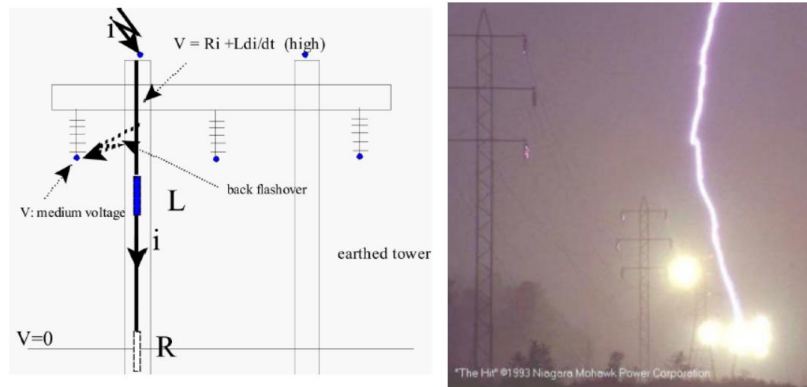


Figura N° 20. Contorneo inverso de una torre debido a descarga con cable de guarda.

Fuente: (Villa, 2010)

Según la fotografía, una descarga atmosférica cayó en el cable de guarda de una línea de 115 kV de doble terna. Las tres fases de cada terna se contornean, pero no todos los contorneos ocurrieron en la misma torre. Estas fallas requirieron que los interruptores de ambas ternas abrieran y despejaron las fallas. Estos circuitos mostraron pobre desempeño ante descargas atmosféricas debido a que la línea tenía un pobre aterramiento para una línea de este nivel de tensión (75 - 150 Ohm en cada torre) y un nivel de aislamiento bajo (BIL = 500 kV).



Figura N° 21. Fotografías reales de descargas eléctricas.

Fuente: (Villa, 2010)

2.3 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Coordinación de aislamiento es la correlación del aislamiento de los equipos eléctricos con las características de los dispositivos protegidos de modo tal que el aislamiento sea protegido de sobretensiones excesivas.

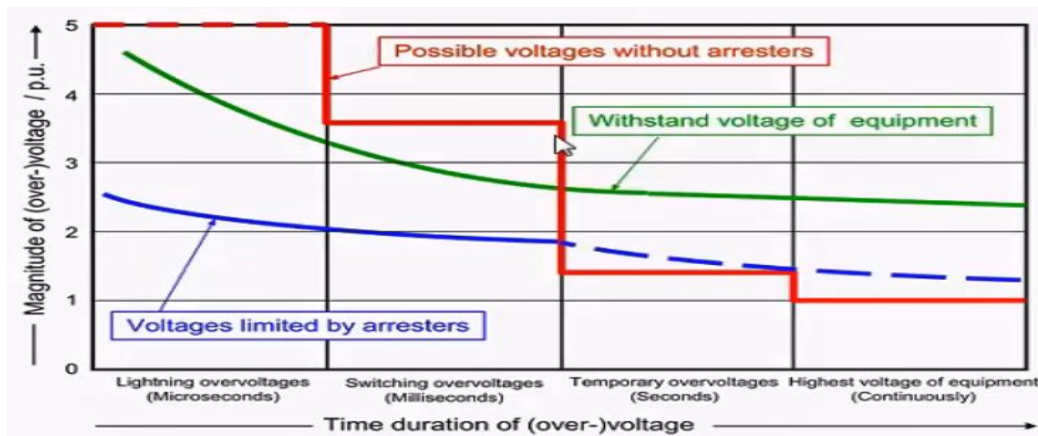


Figura N° 22. Curvas de coordinación de aislamiento en una instalación eléctrica.

Fuente: (Chamorro, 2018)

2.3.1 PROCEDIMIENTO DE COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO

Tres elementos están involucrados en la disciplina de coordinación de aislamiento, estos son:

- El estudio de la “fatiga”, tanto eléctrica como ambiental, que actúa sobre el aislamiento del equipo. Esto se efectúa usualmente mediante cálculos o mediciones de campo;
- El estudio de la “rigidez” (características de sostenimiento dieléctrico) del aislamiento (tanto nuevo como envejecido) cuando está sometido a fatigas, tomando en cuenta, cuando sea aplicable, el efecto de las fatigas ambientales (contaminación, lluvia, nieve, hielo, condiciones

atmosféricas a grandes altitudes), incluyendo el estudio de las “pruebas y técnicas de medición” los cuales son empleadas para estimar tal rigidez. La rigidez es determinada por cálculos, basada en modelos de descarga adecuados, y/o por pruebas de laboratorio/fabrica, pruebas en sitio y mediciones en servicio (diagnósticos);

- c) Estimar el desempeño del aislamiento (usualmente expresado en términos del riesgo de falla) en las situaciones consideradas de fatigas y rigidez, incluyendo la selección y aplicación de “dispositivos de protección y técnicas”, para establecer el diseño final del aislamiento cumpliendo los requerimientos especificados. Estos podrían basarse en los métodos “determinístico” y “estadístico”.

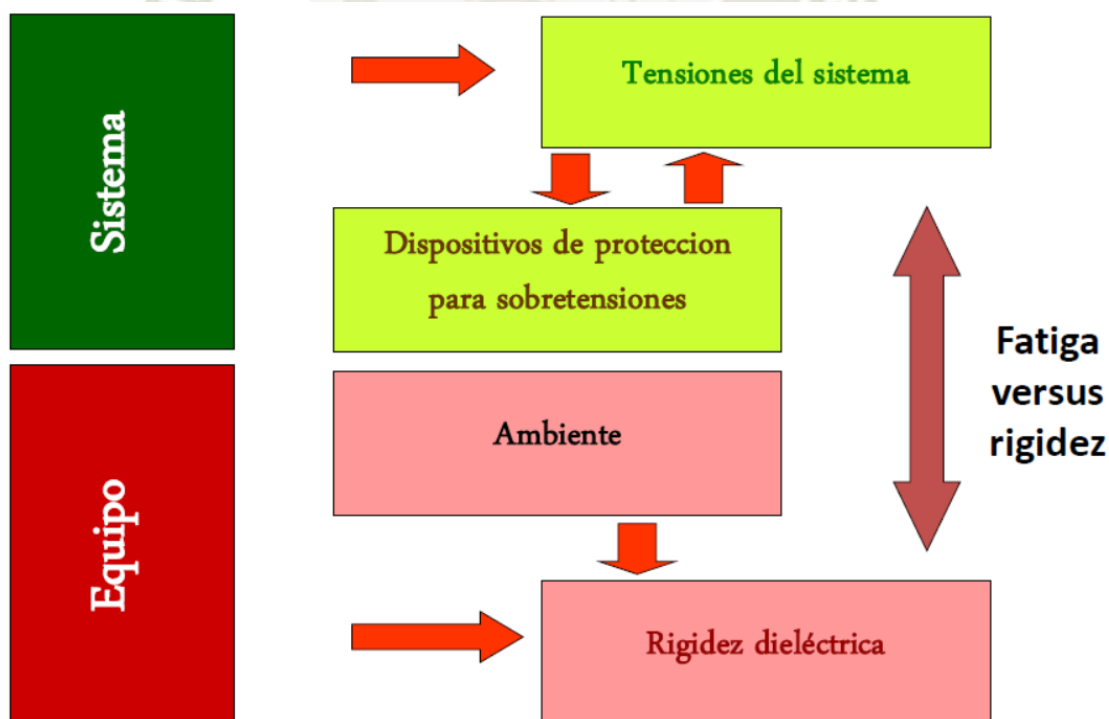


Figura N° 23. Coordinación de aislamiento entre sistema y equipo eléctrico.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Tensiones del sistema

- ❖ Tensión nominal U_N
 - Valor redondeado para la caracterización del sistema
 - 10 kV - 20 kV - 110 kV - 220 kV - 380 kV
- ❖ Tensión de sistema
 - Tensión en el cual el sistema está siendo operado
 - cercano al valor nominal, pero no constante
- ❖ Mayor tensión del sistema U_s
 - La mayor tensión de operación entre fases bajo condiciones normales
 - 12 kV - 24 kV - 123 kV - 245 kV - 420 kV (IEC 60038)
- ❖ Tensiones del equipo
 - Mayor tensión para el equipo U_m
 - mayores tensiones entre fases para el cual el aislamiento está diseñado
 - 12 kV - 24 kV - 123 kV - 245 kV - 420 kV (IEC 60071-1)
- ❖ Sobretensiones
 - Tensiones que exceden el valor pico de la mayor tensión del sistema
 - Diversas amplitudes y formas dependientes de
 - Configuración del sistema (tamaño de red, grado de enmallamiento, etc.).
 - Origen de la sobretensión (falla, maniobras, descargas atmosféricas, etc.)
- ❖ Rigidez dieléctrica del aislamiento

- Verificado por pruebas tipo en laboratorio con la ayuda de
 - tensiones de prueba estandarizadas (forma, amplitud)
 - Plan de pruebas especificadas
 - condiciones ambientales especificadas
- ❖ Coordinación de aislamiento
 - Determinación de interdependencia entre tensiones y sobretensiones del sistema y tensiones de prueba necesarias para el equipo en el laboratorio.

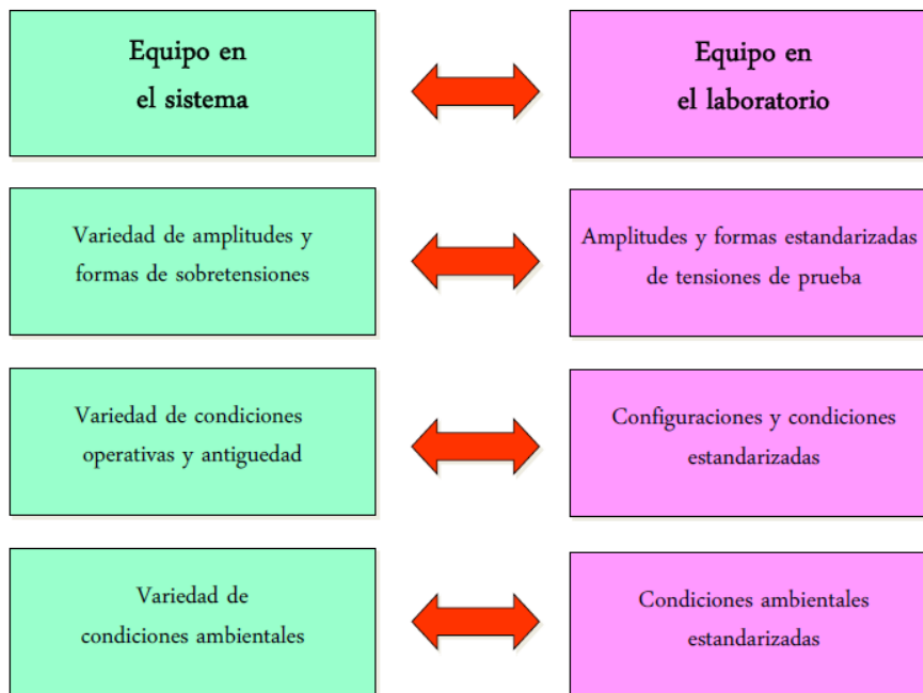


Figura N° 24. *Coordinación entre Equipo de Sistema y laboratorio.*

Fuente: (Chamorro, 2018)

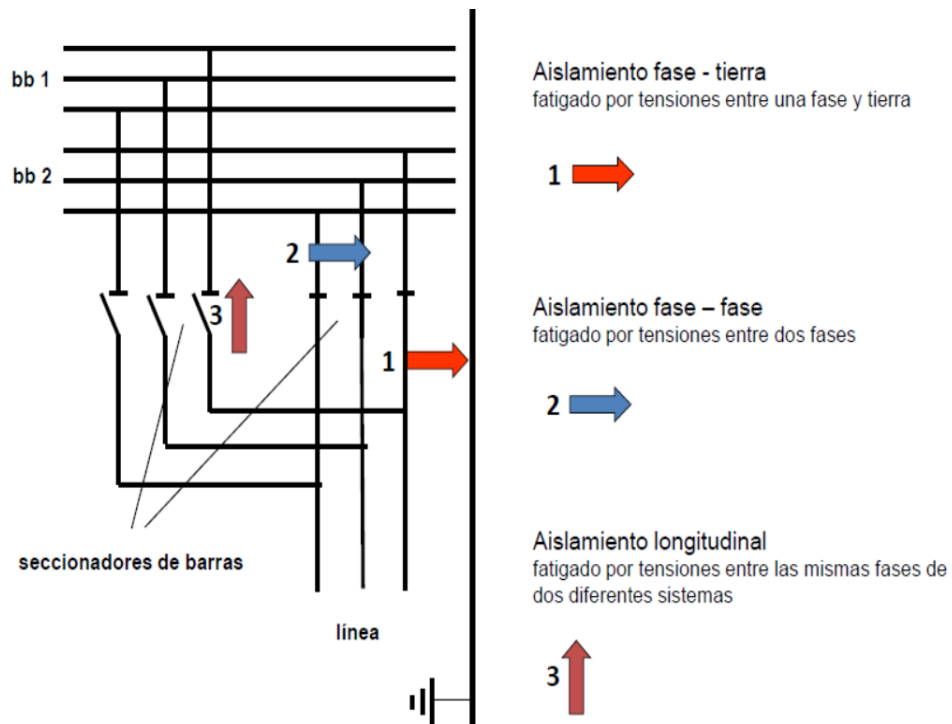


Figura N° 25. Tipos de aislamiento en redes eléctricas.

Fuente: (Chamorro, 2018)

El procedimiento de coordinación de aislamiento consiste en la selección de un set de tensiones de sostenimiento estándar el cual caracteriza el aislamiento del equipo.

Table 2 – Standard insulation levels for range I ($1\text{kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$)

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (r.m.s. value)	Standard rated lightning impulse withstand voltage kV (peak value)
3,6	10	20 40
7,2	20	40 80
12	28	60 75 95

Rango I

Table 3 – Standard insulation levels for range II ($U_m > 245 \text{ kV}$)

Highest voltage for equipment (U_m) kV (r.m.s. value)	Standard rated switching impulse withstand voltage			Standard rated lightning impulse withstand voltage ^b kV (peak value)
	Longitudinal insulation ^a kV (peak value)	Phase-to-earth kV (peak value)	Phase-to-phase (ratio to the phase-to-earth peak value)	
300 €	750	750	1,50	850 950 950
	750	850	1,50	1050
362	850	850	1,50	950 1050
	850	850	1,50	1050

Rango II

Diferencias básicas entre los rangos I y II

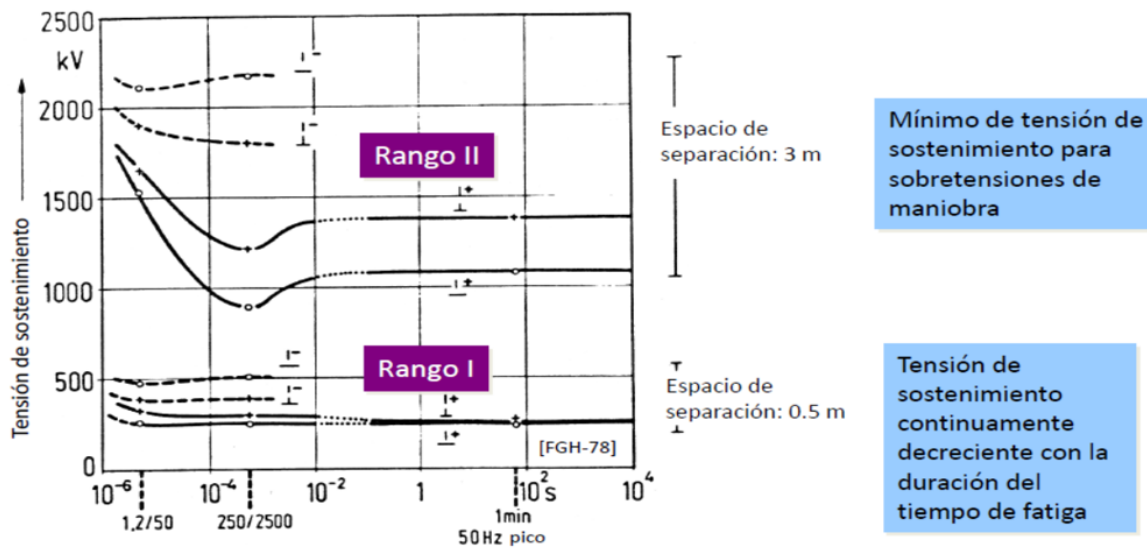


Figura N° 26. Diferencias básicas en los rangos de aislamiento en 245 KV

Fuente: (Chamorro, 2018)

2.3.2 PASOS DE PROCEDIMIENTO DE COORDINACIÓN

PASO 1: DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES REPRESENTATIVAS U_{RP}

- ❖ Las tensiones representativas son derivadas de las condiciones de servicio real, pero que tienen solo formas estandarizadas.

- ❖ Estas están determinadas en amplitud, forma y duración por análisis del sistema, tomando en cuenta los dispositivos limitadores de tensión.

PASO 2: DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE SOSTENIMIENTO DE COORDINACIÓN U_{cw}

- ❖ Las tensiones de sostenimiento de coordinación son los menores valores de tensiones de sostenimiento de cada clase de sobretensión, para los cuales la menor tasa de falla esperada del equipo no sea excedida en su completo tiempo de vida.
- ❖ Derivado de las tensiones representativas U_{rp} por el factor de coordinación K_c .

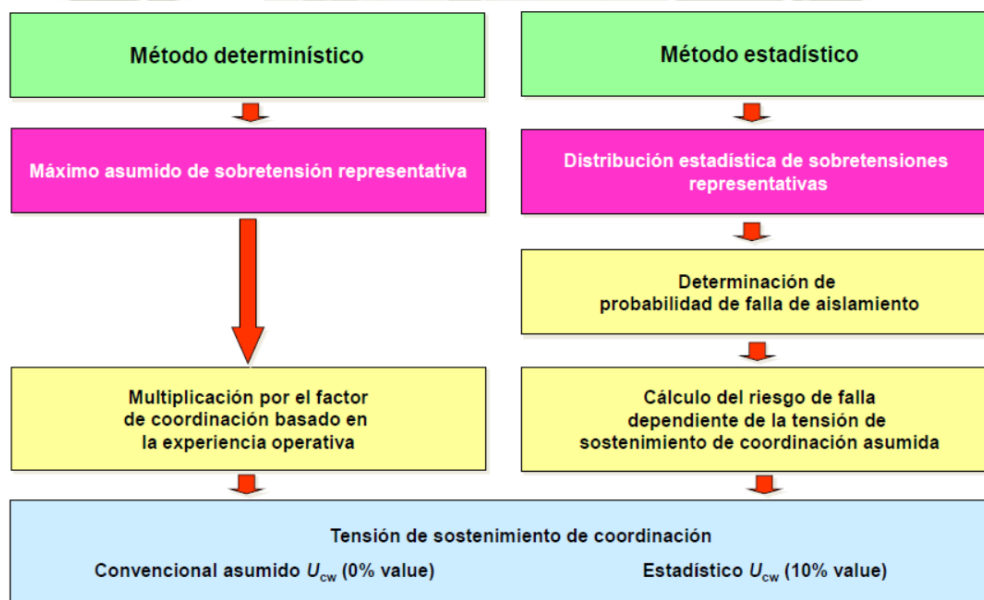


Figura N° 27. Diferencias de método determinístico y estadístico.

Fuente: (Chamorro, 2018)

PASO 3: DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES DE SOSTENIMIENTO DE COORDINACIÓN U_{cw}

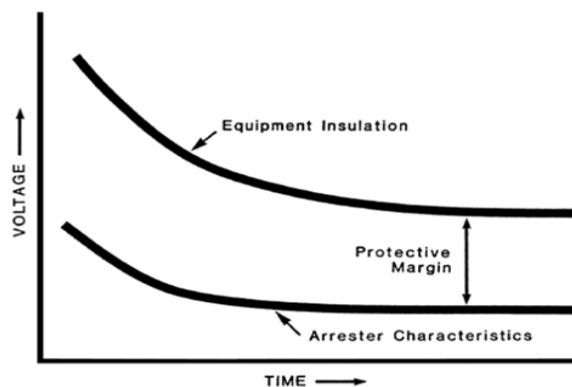
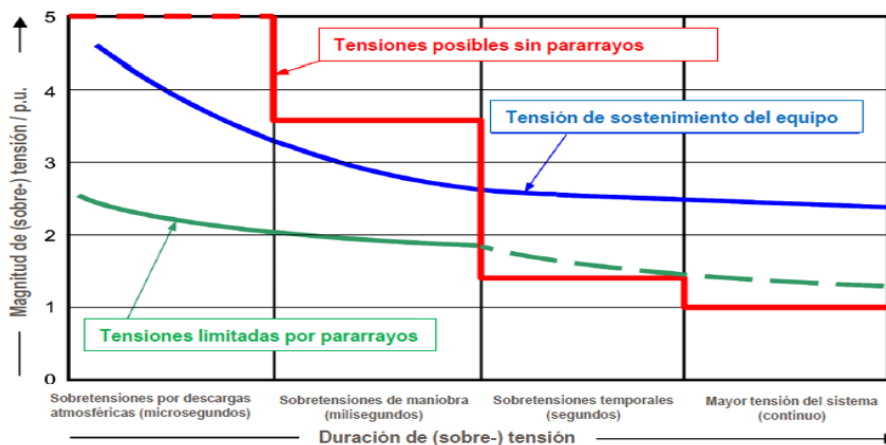
- ❖ Las tensiones de sostenimiento requeridas son determinadas por medio de convertir las tensiones de sostenimiento de coordinación a las condiciones de prueba estándar apropiadas.
- ❖ Usualmente son diferentes de las tensiones de sostenimiento de coordinación.
- ❖ Derivada de las tensiones de sostenimiento de coordinación U_{cw} por el factor de seguridad K_s y el factor de corrección atmosférico K_t o el factor de corrección por altitud K_a .
- ❖ Influencia cubierta por el factor de seguridad K_s
- ❖ Diferencias en el ensamble del equipo
- ❖ Dispersión en la calidad de producto
- ❖ Calidad de la instalación
- ❖ Envejecimiento de la instalación durante el tiempo de vida esperado
- ❖ Otras influencias desconocidas
- ❖ Las tensiones de sostenimiento requerida son determinadas mediante convertir las tensiones de sostenimiento de coordinación para condiciones de prueba estándar apropiada.
- ❖ Usualmente son diferentes de las tensiones de sostenimiento de coordinación.
- ❖ Determinación de las tensiones de sostenimiento de coordinación U_{cw} por el factor de seguridad K_s y/o el factor de corrección de altitud K_a .

PASO 4: SELECCIÓN DEL VALOR NOMINAL Y DEL NIVEL DE AISLAMIENTO ESTÁNDAR (SET DE TENSIONES DE SOSTENIMIENTO NOMINALES ESTÁNDAR (U_w))

- ❖ Los set's más económicos de tensiones de sostenimiento estándar U_w del aislamiento, probando que todas las tensiones de sostenimiento requeridas se cumplen.
- ❖ Para cada rango (I o II) una combinación de solo dos tensiones de sostenimiento definido como: Rango I: tensiones de sostenimiento de impulso de descarga atmosférica estándar tensiones de sostenimiento de frecuencia industrial de corta duración estándar Rango II: tensiones de sostenimiento de impulso de maniobra estándar tensiones de sostenimiento de impulso de descarga atmosférica estándar
- ❖ Para el rango I, solo se definen tensiones de sostenimiento estándar fase a tierra, los cuales tienen que cubrir fase a tierra, fase a fase y aislamiento longitudinal. (Std1410, 2004)

2.4 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS PARARRAYOS DE OXIDO METÁLICO

Representación esquemática de las magnitudes de tensiones y sobretensiones en un sistema eléctrico de potencia de alta tensión versus duración de los fenómenos ($1 p.u. = \sqrt{2} \times U_s / \sqrt{3}$), se debe tener un margen de un 20% o 30% según normativa ANSI y especificaciones técnicas por experiencia operativa



El margen de protección debe ser como mínimo 20% (ANSI C62.22)

Figura N° 28. Margen de protección de pararrayos- ANSI C6222

Fuente: (Chamorro, 2018)

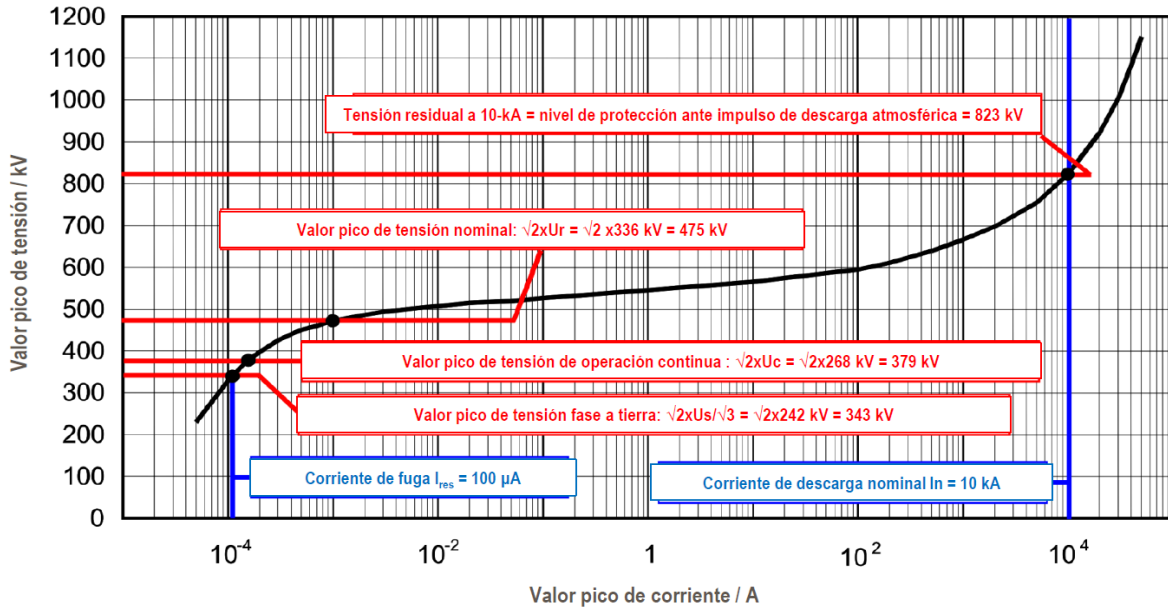


Figura N° 29. Característica $U-I$ de un pararrayo de OM típico con neutro sólidamente aterrado - sistema 420 Kv.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Tensión aplicada y corriente de fuga, del mismo pararrayo de la figura anterior, cuando opera a tensión fase a tierra ($U_s = 420 \text{ kV}$, $U_r = 336 \text{ kV}$).

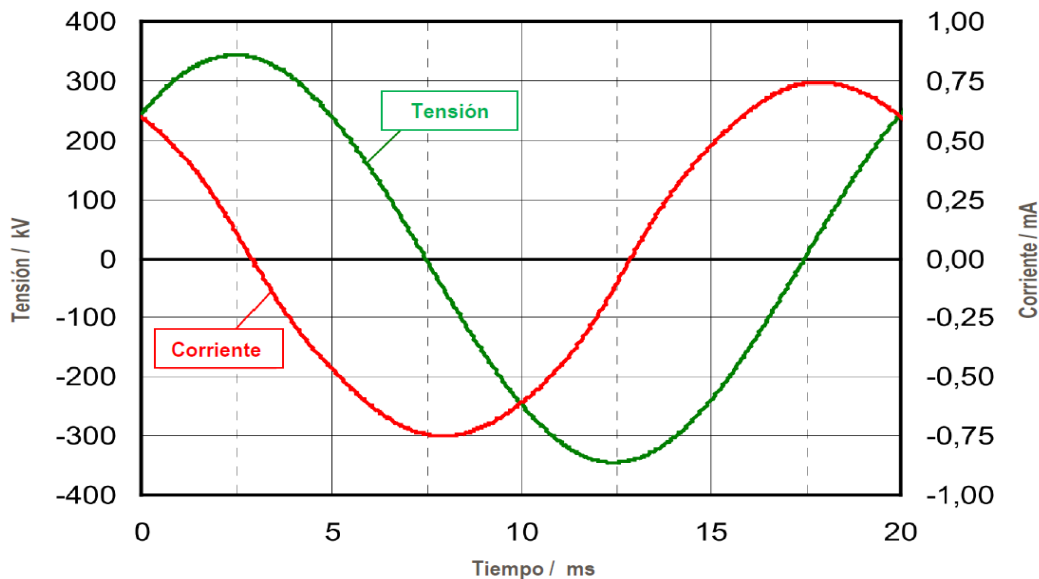


Figura N° 30. Grafica de tensiones y corriente de un pararrayo $U_s = 420 \text{ KV}$.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Tensión residual de pararrayo de muestra ($U_r = 336 \text{ kV}$) a corriente de descarga nominal ($I_n = 10 \text{ kA}$)

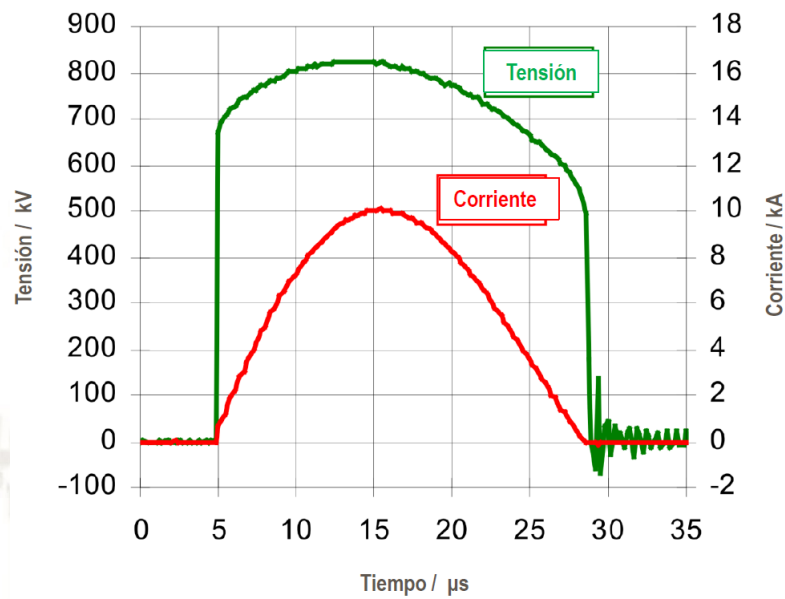


Figura N° 31. Gráfica de tensiones y corriente de un pararrayo $U_s = 336 \text{ KV}$.

Fuente: (Chamorro, 2018)

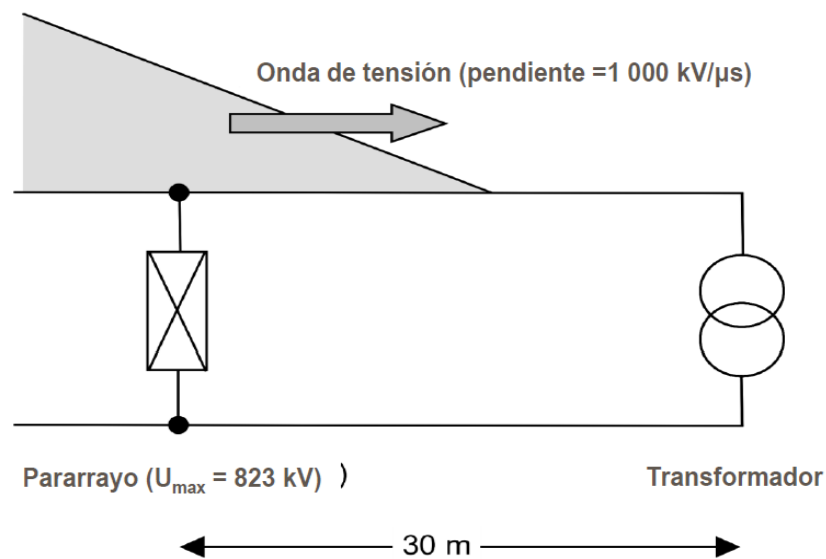


Figura N° 32. Arreglo simplificado para ilustrar la zona de protección de un pararrayo.

Fuente: (Chamorro, 2018)

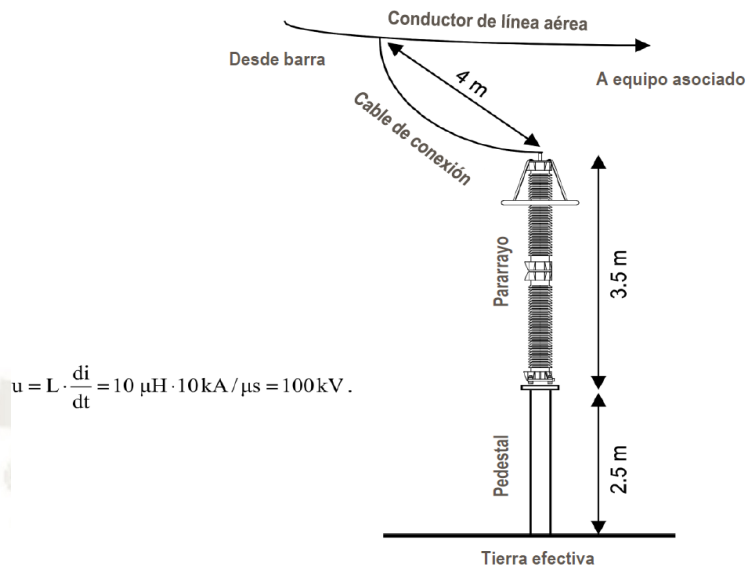


Figura N° 33. Arreglo típico de un pararrayo en una subestación 420-kV.

Fuente: (Villa, 2010)

Estabilidad térmica cuando un material aislante se calienta o se enfría, su estructura y su composición química pueden sufrir cambios tales como fusión, sublimación, solidificación, cristalización, descomposición, oxidación térmica o sinterización.

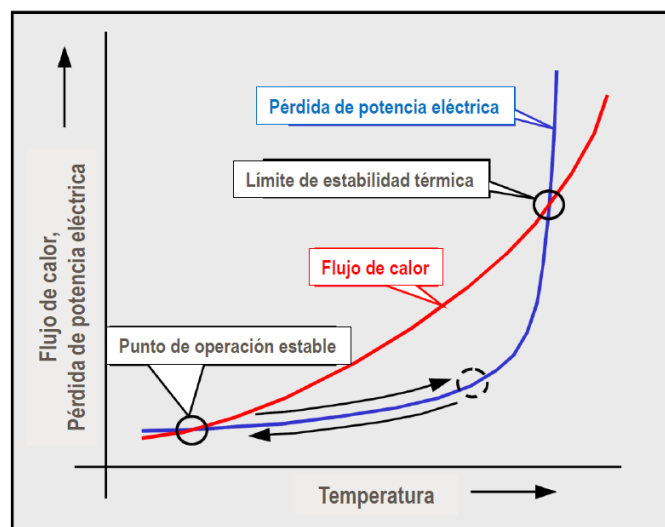


Figura N° 34. Curvas de estabilidad térmica en pararrayos de MT.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Las partes y la configuración de este tipo de pararrayos son por medio de resistencias de oxido metálico usadas en diferentes equipos eléctricos

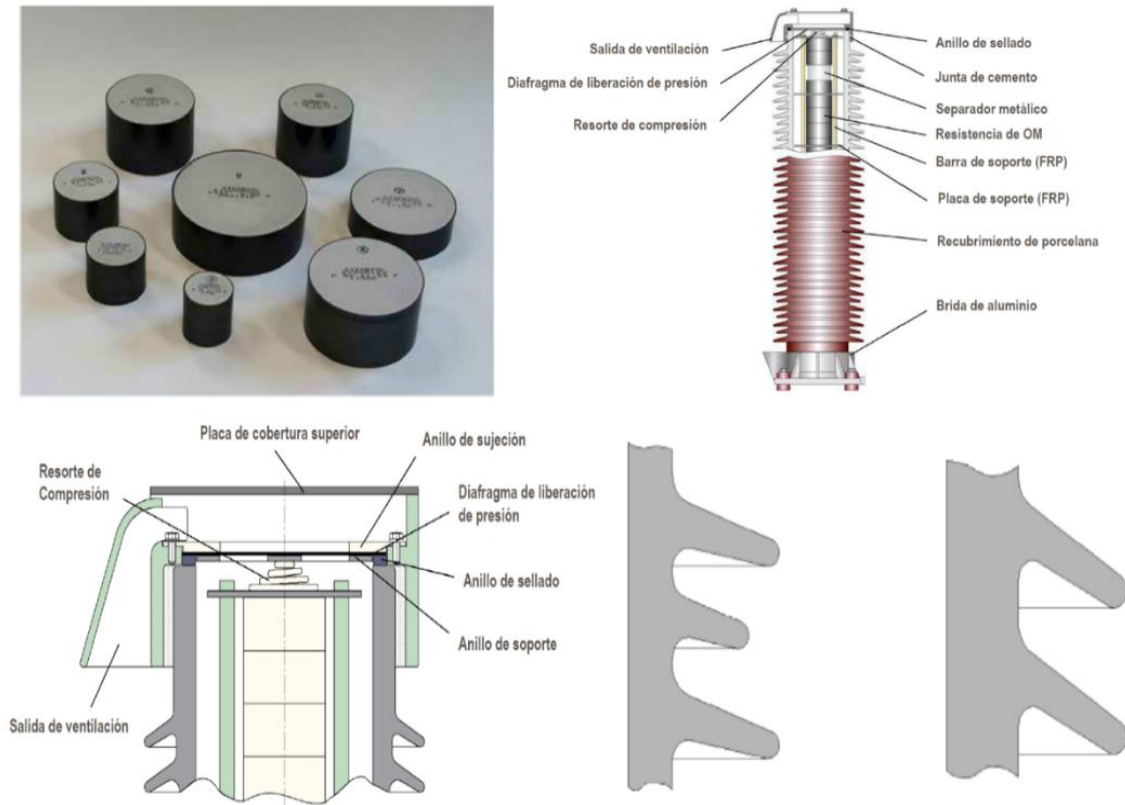


Figura N° 35. Partes del Dispositivos de Protección antes Sobre corrientes.

Fuente: (Chamorro, 2018)

Dentro de la subestaciones de potencia tenemos los pararrayos de con anillos de gradiente para dispersar las descargas atmosfericas y ser monitoreadas conforme a nuevo de eventos reportados.

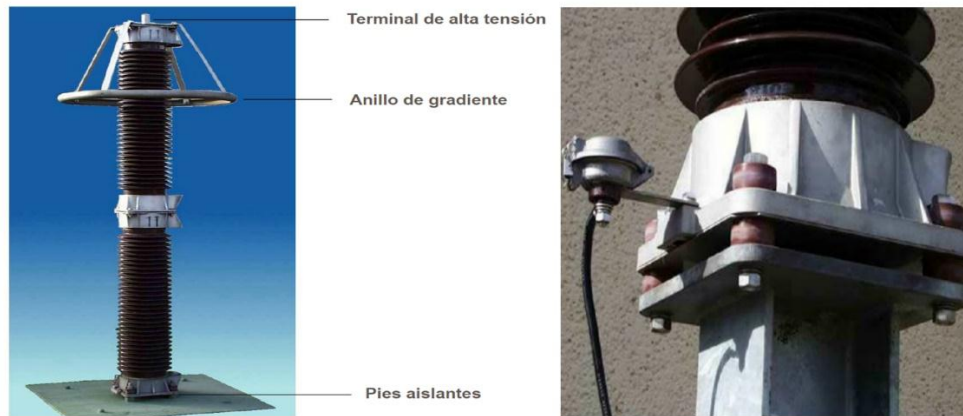


Figura N° 36. *Pararrayo en Subestaciones de Potencia*

Fuente: (Villa, 2010)

2.4.1 DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN (APARTARRAYOS)

Son dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), los descargadores de sobretensión tienen la finalidad de llevar las sobretensiones a tierra atenuando las sobretensiones temporales, permanentes, sobretensiones de frente lento, sobretensiones de frente rápido y sobretensiones de frente muy rápido.



Figura N° 37. *Partes del Apartarrayo*

Fuente: (Chamorro, 2018)

CAPITULO III

3. FALLAS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN EL ALIMENTADOR ORCOPAMPA DE 22.9 KV Y GENERACIÓN AISLADA

3.1 DESCRIPCIÓN DE ALIMENTADOR DE MT 8701

La información técnica del Alimentador en MT “Orcopampa” - 8701, se presenta a continuación:

Características Generales:

- Nivel de tensión: 22.9 KV
- Disposición de fases: Triangular y vertical
- Soportes: Postes CAC 12/300, 13/300 y Pino 12.
- Aislador: Tipo Clase ANSI 56-3
- Conductor: AAAC – 3 x 50 mm^2
- Longitud total del AMT: 85 Km
- Altura de operación: 3850 - 5113 msnm
- Cantidad de clientes: 4000
- Régimen de trabajo neutro: Aterrado.

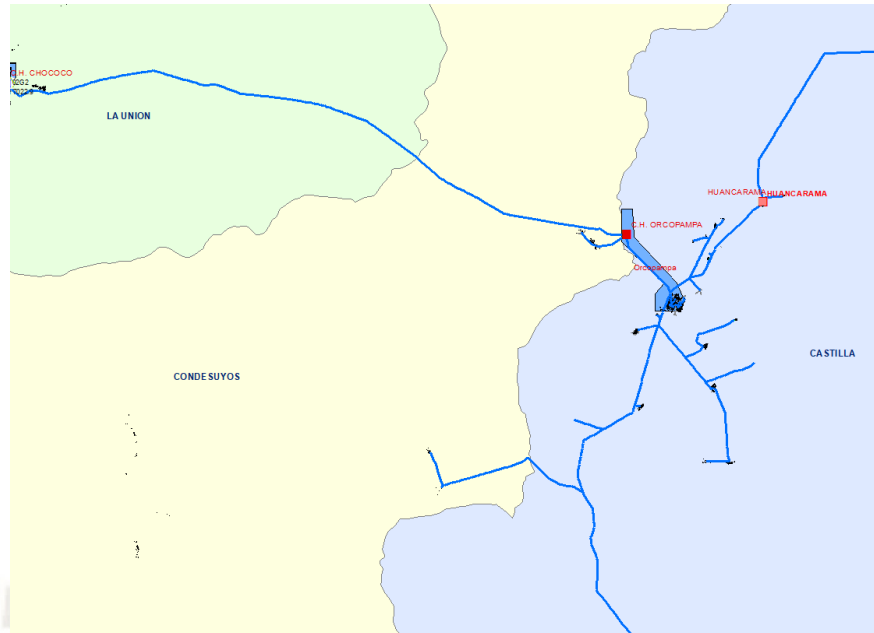


Figura N° 36. Alimentador de 22.9 KV - ORCOPAMPA AMT 8701.

Fuente: (SEAL, 2021)

Tabla 2. Cuadro de Porcentajes en Frecuencia.

Sistema Eléctrico	Periodo	SAIFIp (*)
Orcopampa	2016	36.45 (521%)
Orcopampa	2017	22.95 (328%)
Orcopampa	2018	28.36 (405%)
Cotahuasi Orcopampa	2019	43.64 (273%)
Cotahuasi Orcopampa	2020(**)	23.75 (148%)

Fuente: (Montaño, 2019)

(*) Valor porcentual del SAIFIp, respecto de su tolerancia.

(**) Periodo de enero a julio del 2020.

3.2 COMPORTAMIENTO DE UN AISLADOR ANTE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Las descargas atmosféricas directas que impactan a una línea de distribución, en la gran mayoría de casos producen contorneo del aislamiento. Por ejemplo, una descarga tan pequeña como 10 Ka. produciría una sobretensión de cerca de 2000 kV, superando ampliamente en nivel de aislamiento de una línea aérea de distribución, de hasta 69 kV. Sin embargo, la experiencia y las observaciones muestran que muchas de las interrupciones causadas por descargas atmosféricas en líneas aéreas de distribución son debido a descargas atmosféricas que impactan en la proximidad de la línea.

La mayoría de las tensiones inducidas en una línea de distribución por descargas que impactan cerca de una línea, tienen valores menores a 300 kV. (Std1410, 2004)

El sistema interconectado en análisis comprende desde el Recloser 870115 hasta el Recloser 700132 (Alca) Cotahuasi, este trayecto está comprendido por el alimentador Orcopampa con una longitud de línea de 51 Km donde presenta una cantidad de 320 estructuras de pino tratado para media tensión en 22.9 KV, donde se registra interrupciones por descargas atmosféricas.

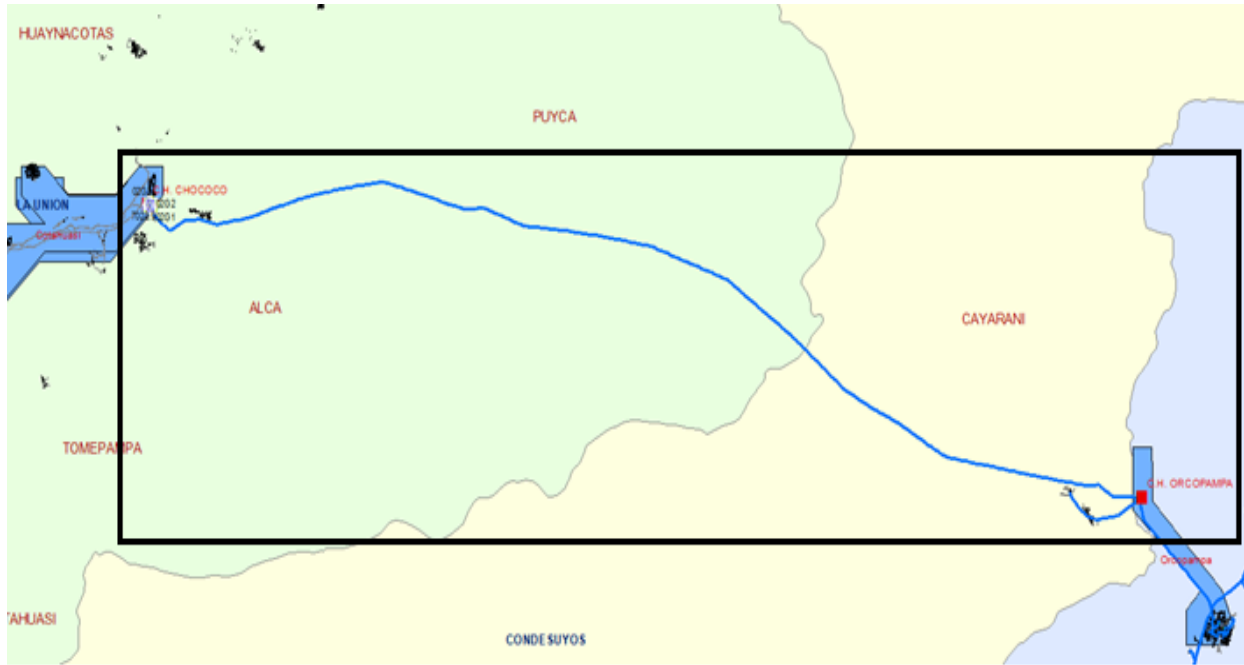


Figura N° 37. Línea delimitada del Alimentador AMT 8701.

Fuente: (SEAL, 2021)

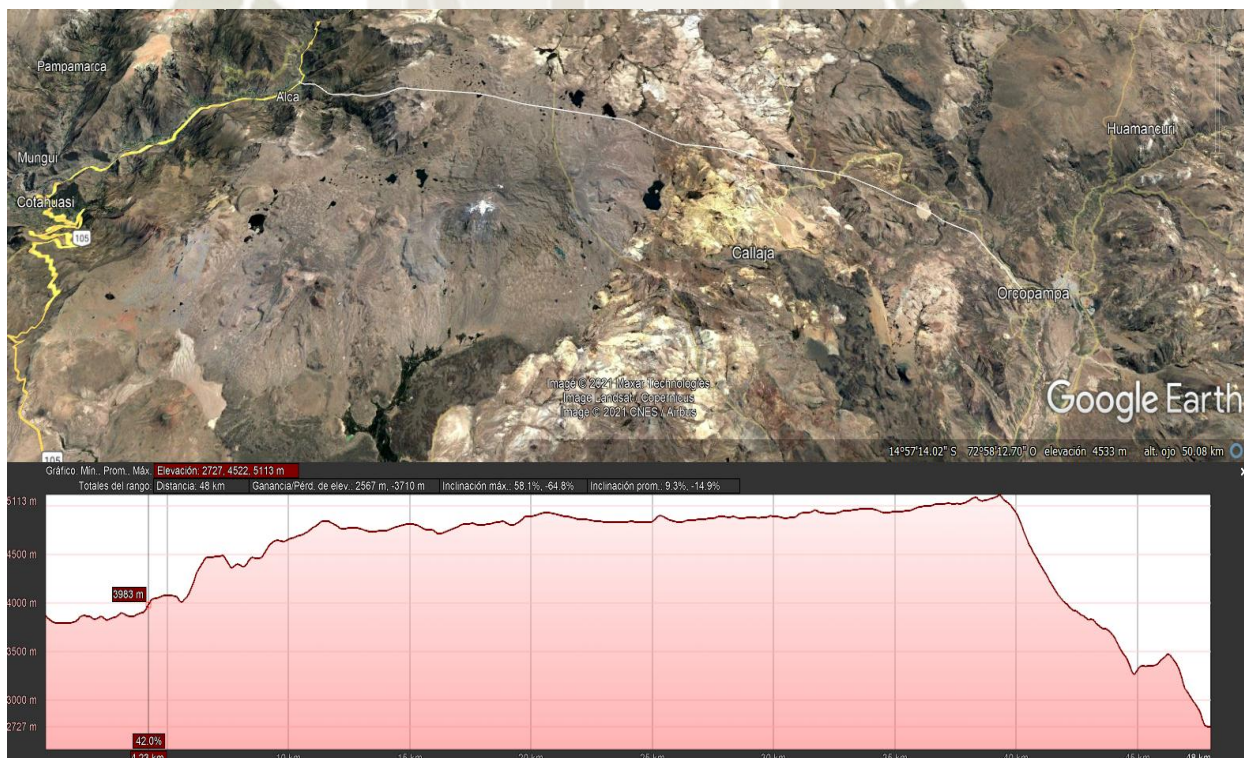


Figura N° 38. Alturas establecidas en el trayecto del Sistemas Interconectado.

Fuente: (Earth, 2021)

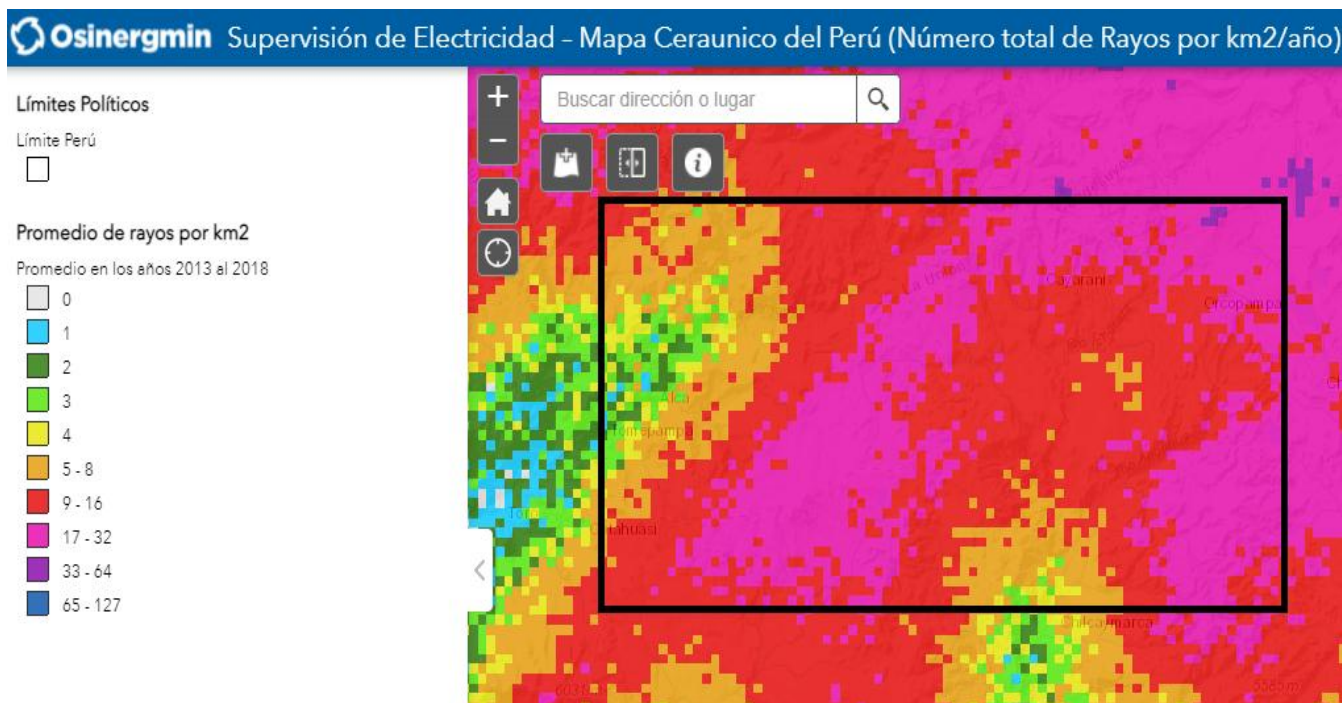


Figura N° 39. Mapa ceraunico del Perú.

Fuente: (OSINERGMIN O. , 2018)

En el Alimentador AMT 8701, existe un patio de Maniobras que está comprendida de 04 Recloser o reconectores para realizar maniobras de forma remota con el centro control de operaciones ante un evento de falla o mantenimiento eléctrico programado.

El recloser 870115 es el equipo que monitorea todo el sistema interconectado en estudio, el cual presenta elevadas fallas eléctricas por sobretensiones en la línea, a esto se debe los innumerables eventos por descargas atmosféricas.

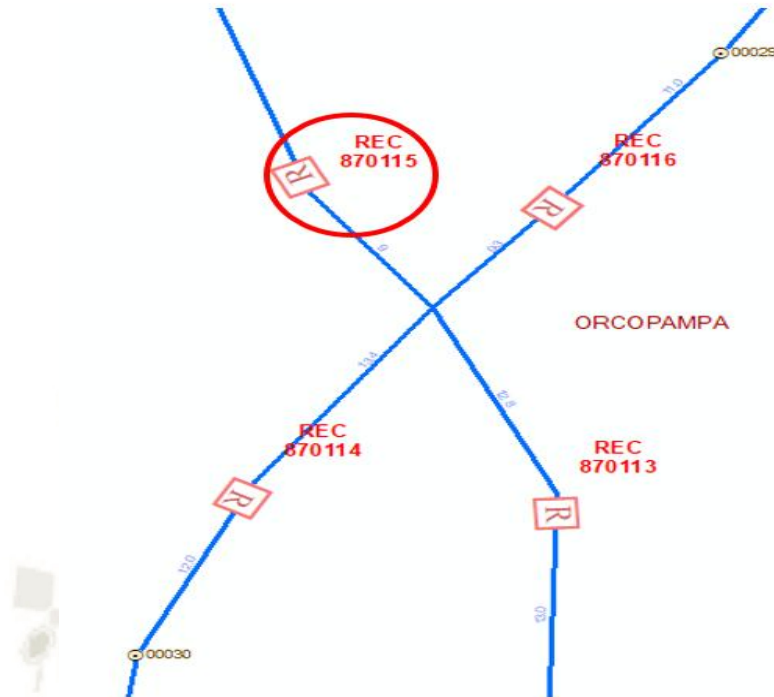


Figura N° 40. Patio de Maniobras de Reclosers pertenecientes al Alimentador Orcopampa AMT 8701.

Fuente: (SEAL, 2021)



Figura N° 41. Patio de Maniobras de Recloser's en 22.9 KV (imagen real)

Fuente: (OESTE, 2019)

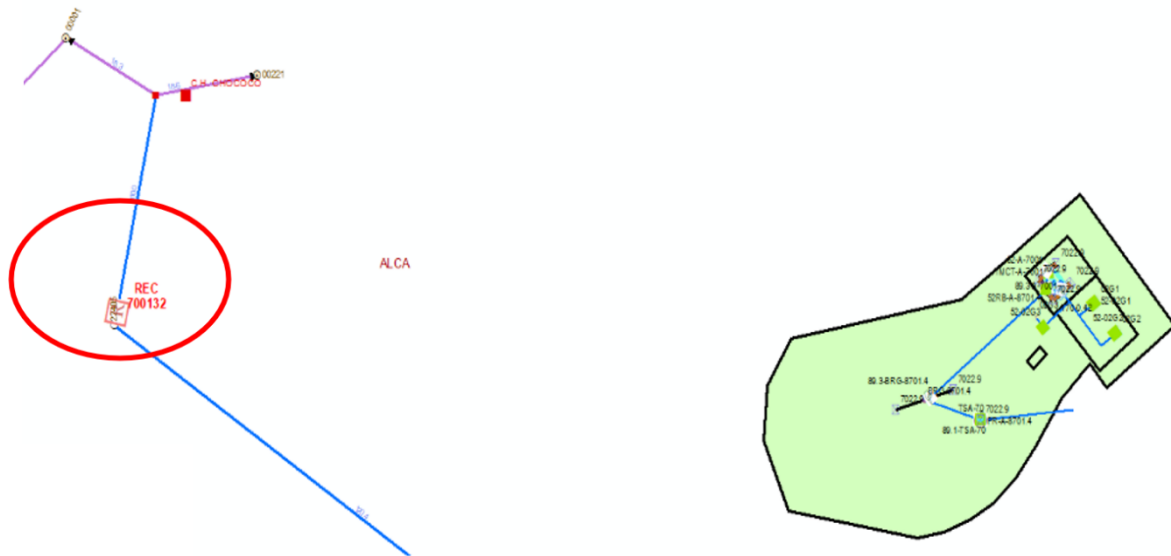


Figura N° 42. Patio de Maniobras de transformadores de Elevación del Alimentador AMT 8701, estando conectado de forma paralela con la Central Eléctrica Chococo).

Fuente: (SEAL, 2021)



Figura N° 43. Imagen de Transformadores Elevadores de Tensión 22.9 KV para el distrito de Cotahuasi (imagen real).

Fuente: (OESTE, 2019)

Este sistema interconectado alimenta a toda la población de Cotahuasi en un sistema radial por medio del AMT 8701 Orcopampa, del cual solo cuando existe interrupciones francas de más de 8 horas por caída de conductor o fallas atmosféricas graves, se genera en aislado por Combustión DIESEL, la cual la Central Chococo cubre el 50% de la demanda para los pueblos cercanos a Cotahuasi, con una potencia en demanda de 455 KW.

El otro 50% esta brindado por la Central de Cotahuasi con un total de potencia en demanda de 300 KW que también se genera en aislado al momento de presentar una falla en el alimentador mencionado AMT 8701.

En resumen, todo el Distrito de Cotahuasi, Toro, Sayla, Tauria, Quechualla, Charcana cubre la demanda la central de Cotahuasi y la Central del Chococo abarca los distritos de Pampamarca, Huaynacotas, Puyca, Alca y Tomepampa, llegando a cubrir alrededor de 1 MW a toda la provincia de la Unión.



Figura N° 44. Provincia de la Unión, Departamento de Arequipa

Fuente: (Carrillo, 2017)

3.2.1 EFECTO DE LA TOPOGRAFÍA

En presencia de nubes de tormenta (nimbus), el gradiente superficial local constante del suelo plano ya en un nivel ($E \approx 15 \text{ kV/cm}$), se incrementa en toda prominencia hasta un nuevo valor ($E_s = KE$), según el valor del factor de multiplicación (K) de la protuberancia.

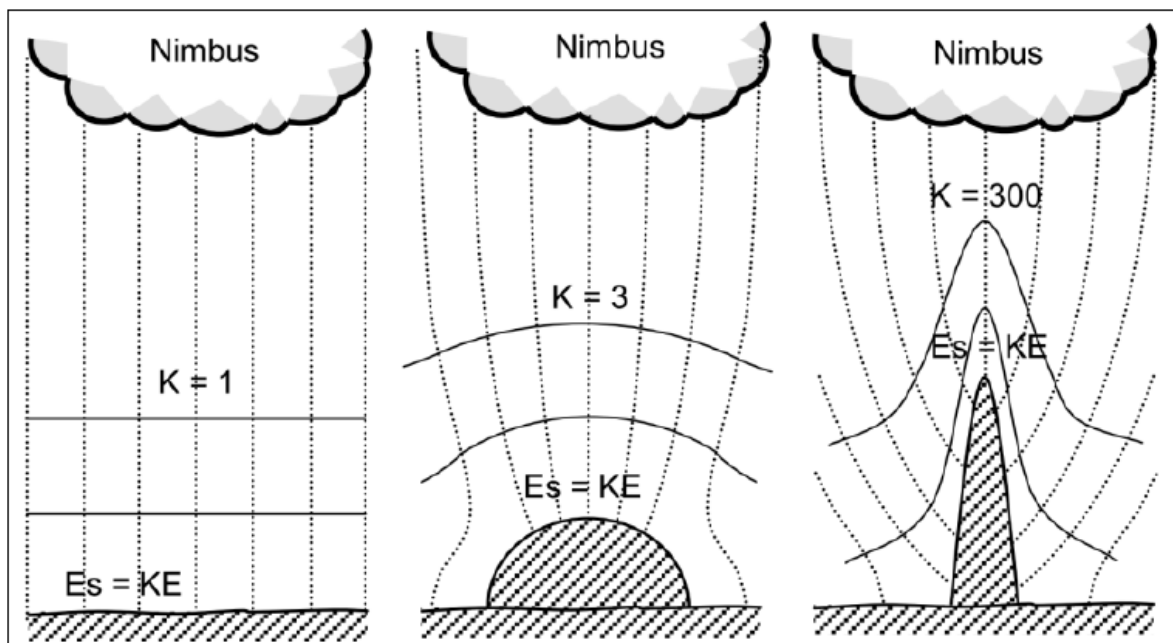


Figura N° 45. *Gradiente superficial de Campo Eléctrico.*

Fuente: (Chamorro, 2018)

Apantallamiento debido a estructuras cercanas en las líneas de distribución eléctrica, árboles, cerros, antenas de comunicación entre otros.

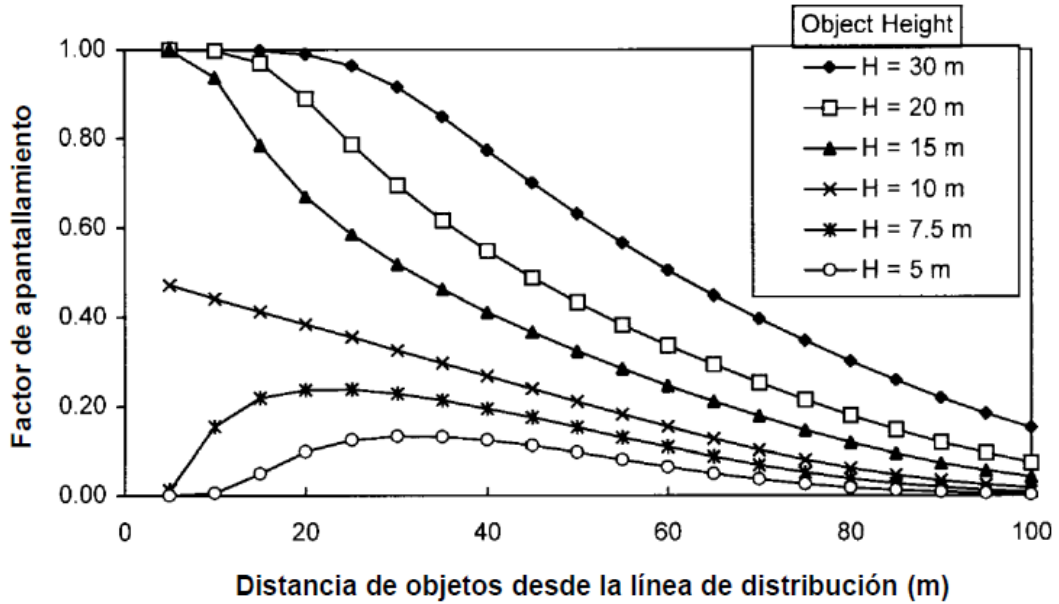


Figura N° 46. Grafica de Factores de Apantallamiento.

Fuente: (Chamorro, 2018)

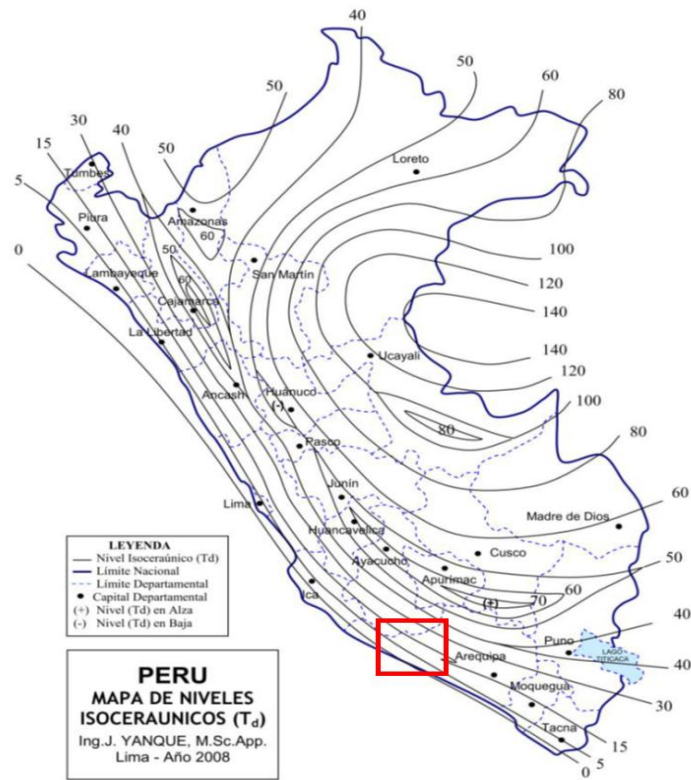


Figura N° 47. Mapa niveles isoceraunicos del Perú.

Fuente: (Yanque, 2008)

- La línea está ubicada en la zona a la que corresponde un nivel cerámico

$$Td = 40$$

- La densidad de descargas atmosféricas (N_g) a tierra es calculada considerando la siguiente ecuación:

$$N_g = 0.04 Td^{1.25} \dots \text{(Ec. 02)}$$

- Reemplazando el valor de $Td = 40$, se tiene:

$$N_g = 4.02 \frac{\text{flashes}}{\text{km}^2 \text{ año}}$$

3.2.2 ESTRUCTURAS DE MEDIA TENSIÓN DEL SISTEMA INTERCONECTADO

Algunas estructuras en el trayecto del sistema interconectado no cuentan con un sistema de protección externo contra rayos, que consta principalmente en:

- Sistema de puntas de captación (pararrayos tipo bayoneta)
- Sistemas de Descargadores de sobretensión (Pararrayos de Línea)
- Sistema de conductores bajantes
- Sistema de puesta a tierra

Este tipo de dispositivos son usados sobre el elemento a proteger y cumplen con el objetivo de captar, conducir y dispersar la energía de un rayo cuando la estructura a proteger sea impactada por una descarga eléctrica atmosférica. Los voltajes inducidos en general no se ven muy afectados por la posición relativa entre los rayos punto de impacto y los descargadores de

sobretensión en caso de distancias de separación de los descargadores inferiores a unos 300 m. (CIGRE, 2010)

Condiciones iniciales de redes primarias en el Sistema interconectado.



Figura N° 48. Poste de pino tratado de 13 metros usados en el sistema interconectado.

Fuente: (OESTE, 2019)

En todo el trayecto del sistema interconectado no se cuenta con un sistema de protección ante descargas atmosféricas, no cuentan con cable de guarda, ni sistema de captación que es el encargado de interceptar las descargas atmosféricas que vayan a impactar directamente a la estructura y enviar la corriente de la descarga a las bajantes de la estructura, afectando al alimentador, al aislamiento de los aisladores y daños térmicos al conductor.

3.2.3 SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE PARARRAYOS DE DISTRIBUCIÓN

Normativa: ANSI/IEEE C62.11-1999; IEC-994 (Zforce, 2020)

Para la selección, se debe determinar que el pararrayo requerido debe tener las siguientes características

Tensión Nominal

$$U_r = 30 \text{ KV}$$

Tensión Máxima de Operación continua, recordemos que el nivel de tensión es de 22.9 KV

$$U_c = 24 \text{ KV}$$

Tabla 3. Características I-U del Pararrayos.

Protective Characteristics										
Voltage Rating (U_r) (kVrms)	MCOV (U_c) ³ (kV rms)	Max. Equiv. FOW ⁵ (kV Crest)	Max. Switch Surge ⁶ (kV Crest)	Max. Discharge Voltage (kV Crest) Using an 8/20 μ s Current Impulse						
				1.5 kA	2.5 kA	3.0 kA	5.0 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	10.0	6.7	7.3	7.7	7.9	8.1	9.2	10.6	12.5
6	5.1	20.2	13.4	14.7	15.5	15.9	16.2	18.5	21.2	25.1
9	7.65	27.1	18.0	19.7	20.7	21.2	21.8	24.8	28.4	33.6
10	8.4	29.8	19.8	21.7	22.8	23.4	24.0	27.3	31.3	37.0
12	10.2	36.2	24.0	26.4	27.7	28.4	29.0	33.1	38.0	44.8
15	12.7	44.8	29.7	32.6	34.3	35.1	36.0	41.0	47.0	55.5
18	15.3	53.8	35.8	39.3	41.2	42.2	43.3	49.3	56.6	66.8
21	17.0	61.3	40.7	44.7	46.9	48.1	49.2	56.1	64.4	76.0
24	19.5	71.5	47.5	52.1	54.8	56.1	57.5	65.5	75.1	88.7
27	22.0	79.4	52.7	57.9	60.8	62.3	63.8	72.7	83.4	98.5
30	24.4	89.3	59.3	65.1	68.4	70.1	71.8	81.8	93.8	110.8
36	29.0	105.9	70.4	77.2	81.2	83.1	85.1	97.0	111.3	131.4

Fuente: (Zforce, 2020)

El detalle de metodología utilizada es como sigue:

1. Se parte de un caso base, que considera el Alimentador MT sin pararrayos de distribución.
2. Se ejecutan las simulaciones de descargas atmosféricas y se registra el número de contorneos que produce cada descarga atmosférica.
3. Se determina el punto de descarga en el cual se produce la mayor cantidad de contorneos.
4. Se ubica el pararrayos en el punto determinado en el paso anterior.
5. Se vuelve a ejecutar la simulación desde el paso 2, hasta alcanzar un valor deseado de reducción de contorneos o una cantidad de pararrayos a ser instalados.

Se debe seguir el diagrama de flujo conforme al modelamiento establecido

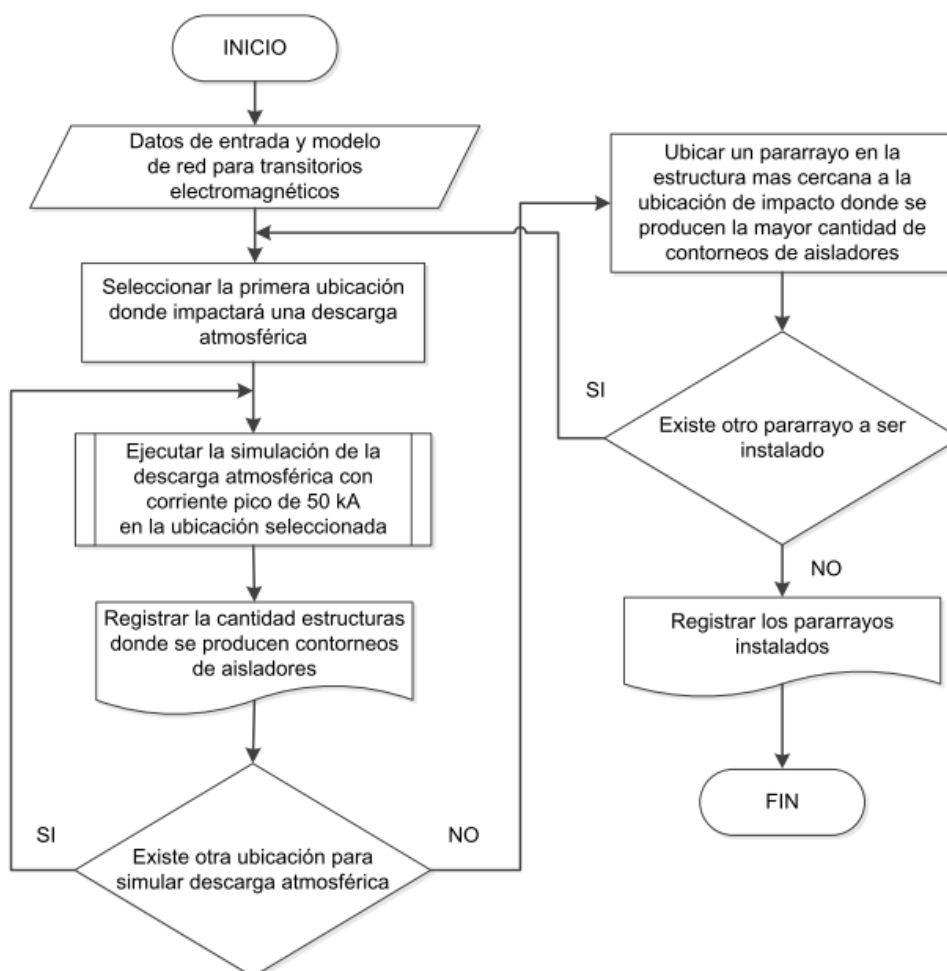


Figura N° 49. *Diagrama de Flujo, Ubicación de pararrayos.*

Fuente: (Chamorro, 2018)

3.2.4 SOLUCIONES PARA PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

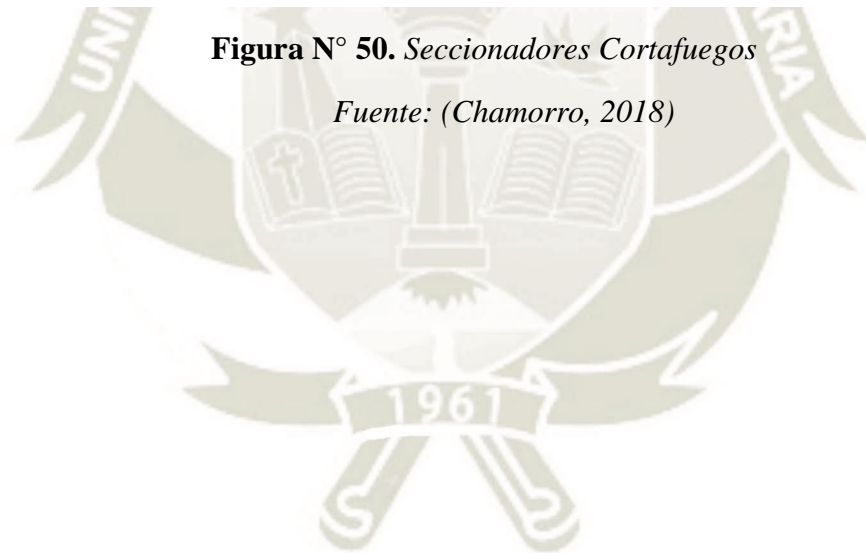
Debido a los altos índices de falla y los costos de mantenimiento en próximos análisis se deberá implementar tecnologías con seccionadores Cortafuegos, ya que estos permiten la sustitución de pararrayos con red energizada, sin desconectar la carga, el mantenimiento de los pararrayos

es ejecutado en aproximadamente 3 minutos (7.5% del tiempo de reemplazo de pararrayos en la forma convencional)



Figura N° 50. *Seccionadores Cortafuegos*

Fuente: (Chamorro, 2018)



3.3 CAPACIDAD DE GENERACIÓN, ENERGÍA, COSTOS FIJOS Y VARIABLES

Se analiza la generación eléctrica sostenida en el funcionamiento cuando ocurren fallas francas en el sistema interconectado, lo cual se considera tanto la capacidad de generación como la producción de electricidad debido, principalmente a que la electricidad no se puede almacenar a costos razonables. Ello hace que para poder cubrir los requerimientos de la demanda en todo momento se deba tener capacidad instalada que en algunos períodos no es plenamente utilizada. La capacidad de generación se mide normalmente como megavatios (MW) o kilovatios (kW) de potencia, y se emplea tanto para determinar las dimensiones de los generadores eléctricos como también de referencia para establecer la magnitud de los costos fijos (costo de inversión o costo de potencia y costos de mantenimiento fijos), los cuales se suelen expresar en US\$ por MW instalado o en US\$ por MW-año. La producción de electricidad se mide como un flujo producido o la suma de los requerimientos de capacidad a lo largo de un período de tiempo, y se expresa normalmente en megavatios-hora (MWh) o kilovatios-hora (kWh). Es decir, una generadora de 1 MW de capacidad produciendo al 90% de capacidad generará en una hora: $1 \text{ MW} \times 0.90 \times 1 \text{ hr} = 0.90 \text{ MWh}$. (Dammert , Garcia, & Molinelli, 2008)

Datos del primer Grupo electrógeno, alimenta el 50% de Cotahuasi en condiciones de plena carga, por medio de un transformador elevador se reparte en redes de distribución monofásicas con retorno por tierra (M.R.T.).

Tabla 4. Datos Grupo Electrónico CATERPILLAR.

Modelo	CATERPILLAR
Potencia Activa	455 KW
Potencia Aparente	569 KVA
Factor de Potencia	0.8
Frecuencia	60 Hertz
RPM	1800
Voltaje	0.24 KV
Corriente	1369

Fuente: (OESTE, 2019)



Figura N° 51. Datos de Grupo Electrónico CATERPILLAR

Fuente: (OESTE, 2019)



Figura N° 52. *Instalaciones de Grupo Electrónico CATERPILLAR.*

Fuente: (OESTE, 2019)

Datos de segundo Grupo electrógeno alimenta al otro 50% de Cotahuasi, están instalados en paralelo conforme a las maniobras realizadas.

Tabla 5. *Datos de Grupo Electrónico AREM.*

Modelo	AREM I	AREM II
Potencia Activa	200 KW	100 KW
Potencia Aparente	250 KVA	125 KVA
Factor de Potencia	0.8	0.8
Frecuencia	60 Hertz	60 Hertz
RPM	1800	1800
Voltaje	0.38/0.22 KV	0.38/0.22 KV
Corriente	1506	1105

Fuente: (OESTE, 2019)



Figura N° 53. *Instalación de Grupos electrógenos AREM*

Fuente: (OESTE, 2019)

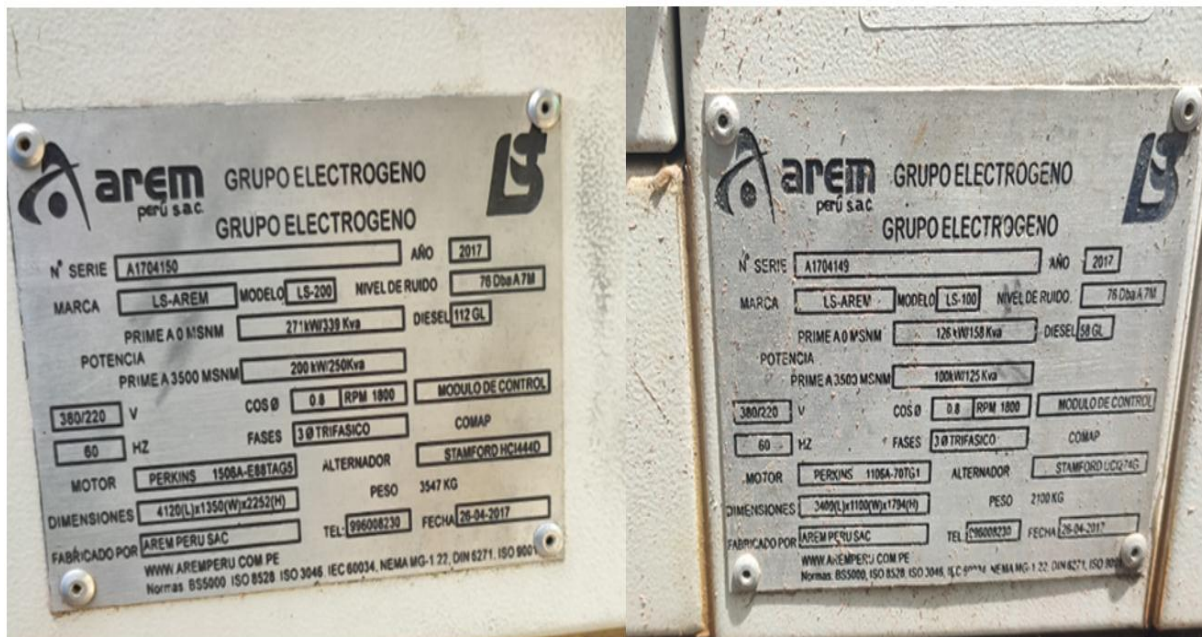


Figura N° 54. *Placa de Grupos electrogénéos AREM*

Fuente: (OESTE, 2019)

Datos Transformador elevador.

Tabla 6. Datos Técnicos de Transformador Elevador de 1250 KVA

Potencia Aparente	1250 KVA
Bobinado Primario	24 KV
Bobinado Secundario	0.44 KV
Corriente	1640.2

Fuente: (OESTE, 2019)



Figura N° 55. Transformador Elevador

Fuente: (OESTE, 2019)

Normalmente, el costo de generación de energía se divide en dos partes.

Los costos fijos de operación y mantenimiento necesarios para mantener el fluido de energía eléctrica disponible a raíz de las fallas, ya sea que se produzca o no, además de los costos asociados con la inversión. Los costos variables se refieren a los costos operativos y de mantenimiento que varían con el volumen de producción.

Para encontrar el costo total, ambos costos se expresarán en Soles / MWh. Las plantas con costos fijos más bajos tienden a tener costos variables más altos y viceversa, por lo que existe una relación inversa entre ambos costos cuando se comparan en tecnología. Esta será la solución más eficiente (la menos costosa posible) para parques de generadores, que consiste en una combinación de tecnologías de generación de energía, junto con la necesidad de mantener la capacidad instalada disponible para cubrir siempre la demanda

El análisis se realizó en el año 2020 debido a las afectaciones ocurridas, los datos se obtuvieron de la base de datos reportadas por las interrupciones debido al tiempo de fallas, esta base cuenta con solo en el mes de diciembre, instancias reportadas y 21 variables.

La siguiente tabla muestra el reporte de interrupciones sostenidos por diferentes fallas las cuales se categorizan como descargas atmosféricas.

Tabla 7. *Eventos reportados por sobrecargas eléctricas en el periodo de diciembre 2020*

ALIMENTADOR ORCOPAMPA – INTERCONECTADO.

Ítem	Evento	Salida	Cod Salida	Nombre afectado	Fecha Inicio	Fecha Termino	Duración	Sustento
1	205499	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	07/12/2020 14:13:02	07/12/2020 15:11:11	00:58:09	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser REC-870115 por su protección de sobre corriente a tierra en la fase T; se coordinó con el jefe Zonal el envío de la unidad de la zona para efectuar cierre local del recloser en S.E La Laguna. A través de proveedor del Bacsoft se restablece comunicación con el recloser REC-870115, y se efectúa cierre del recloser con normalidad. Operador Chococo informa que existen descargas atmosféricas en la zona."
2	205501	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	07/12/2020 15:12:02	07/12/2020 15:13:28	00:01:26	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser REC-870115 por su protección de sobre corriente a tierra en las fases R y T; se efectúa el cierre del recloser REC-870115 con normalidad"
3	205574	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	09/12/2020 11:22:36	09/12/2020 12:01:00	00:38:24	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser por operación a solicitud por cable desprendió en el seccionador 870115 fase R, se realiza la corrección y se energiza el circuito normalmente.
4	205599	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	10/12/2020 06:04:25	10/12/2020 06:06:50	00:02:25	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconecta de recloser por su protección de sobre corriente bifásica en las fases R y S, se realiza un intento de cierre con éxito, se envía unidad a revisar.

Ítem	Evento	Salida	Cod Salida	Nombre afectado	Fecha Inicio	Fecha Termino	Duración	Sustento
5	205655	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	12/12/2020 16:16:31	12/12/2020 16:17:51	00:01:20	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea, por falla bifásica en las fases R y S. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó intento de cierre vía remota con normalidad y se repuso el servicio en la zona."
6	205843	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	18/12/2020 12:50:31	18/12/2020 12:53:26	00:02:55	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea por su protección de sobre corriente monofásica a tierra fase S. Genera interrupción de servicio. Se procede al cierre con normalidad. "
7	205922	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	20/12/2020 13:56:42	20/12/2020 13:58:07	00:01:25	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea, señala sobre corriente a tierra en la fase T. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó intento de cierre vía remota con éxito y se repuso el servicio con normalidad."
8	205941	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	21/12/2020 05:54:34	21/12/2020 05:55:46	00:01:12	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser del alimentador, por falla monofásica a tierra en la fase R. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó reconexión con éxito."
9	205998	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	22/12/2020 17:20:36	22/12/2020 17:23:18	00:02:42	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del Recloser, por su protección de sobre corriente BIFÁSICA fase S y T, se realiza el cierre localmente.

Ítem	Evento	Salida	Cod Salida	Nombre afectado	Fecha Inicio	Fecha Termino	Duración	Sustento
10	205999	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	22/12/2020 17:26:00	22/12/2020 17:27:58	00:01:58	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del Recloser, por su protección de sobre corriente BIFÁSICA fase S y T, se realiza el cierre localmente.
11	206000	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	22/12/2020 17:28:10	22/12/2020 17:30:00	00:01:50	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del Recloser, por su protección de sobre corriente BIFÁSICA fase S y T, se realiza el cierre localmente.
12	206006	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	22/12/2020 18:16:52	22/12/2020 18:18:02	00:01:10	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del Recloser, por su protección de sobre corriente BIFÁSICA fase S y T, se realiza el cierre localmente.
13	206008	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	22/12/2020 18:19:00	22/12/2020 18:35:15	00:16:15	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del Recloser, por su protección de sobre corriente BIFÁSICA fase S y T, se apertura el REC 870115 y se realiza el cierre con éxito
14	206080	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	23/12/2020 12:49:00	24/12/2020 09:06:13	20:17:13	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del recloser 870115 por falla a tierra en la fase S. Se coordina r y visión de línea de MT. Se encontró desperfecto a la bajada de cable subterráneo. Se realiza los correctivos. Se restablece servicio en la zona.

Ítem	Evento	Salida	Cod Salida	Nombre afectado	Fecha Inicio	Fecha Termino	Duración	Sustento
15	206103	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	24/12/2020 06:42:00	24/12/2020 09:06:13	02:24:13	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del recloser 870115 por emergencia, a solicitud para cambio de cable subterráneo fase S en la EMT-158.
16	206108	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	24/12/2020 11:01:27	24/12/2020 11:23:15	00:21:48	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del recloser 870115 por emergencia, a solicitud para retiro de pararrayos en mal estado en SEP 7359, se retiran pararrayos y se efectúa el cierre del recloser 870114 con normalidad."
17	206120	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	24/12/2020 12:43:14	24/12/2020 12:44:39	00:01:25	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser del alimentador, por falla trifásica. La falla se produjo por sobre corriente transitoria. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó reconexión con éxito."
18	206159	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	25/12/2020 05:53:10	25/12/2020 05:55:05	00:01:55	Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión del recloser por su protección de sobre corriente bifásica fases R y S. Genera interrupción de servicio. Se procede al cierre con normalidad.
19	206173	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	25/12/2020 12:56:47	25/12/2020 12:58:07	00:01:20	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea por su protección de sobre corriente en la fase S, se produce interrupción de suministros, se procede al cierre con normalidad. Operador indica descargas atmosféricas"
20	206278	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	27/12/2020 13:07:35	27/12/2020 13:09:30	00:01:55	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea, señaliza

Ítem	Evento	Salida	Cod Salida	Nombre afectado	Fecha Inicio	Fecha Termino	Duración	Sustento
								sobre corriente a tierra en la fase S. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó intento de cierre vía remota con éxito y se repuso el servicio con normalidad."
21	206355	RECLOSER	870115	870115 [Sector Laguna Salida a	28/12/2020 13:22:06	28/12/2020 13:23:44	00:01:38	"Interrupción presentada durante el Estado de Emergencia Nacional declarado mediante el Decreto Supremo N° 044-2020-PCM con sus prórrogas y precisiones. Desconexión de recloser de línea, señala sobre corriente a tierra en la fase S. Se produjo interrupción de suministros. Se realizó intento de cierre vía remota con normalidad y se repuso el servicio en la zona."

Fuente: (Seal, 2020)

El total de horas en generación aislada durante el mes de diciembre es de 25 horas con 38 minutos como muestra de los eventos reportados por el centro de operaciones, teniendo durante todo el año 2020 como fallas considerables en los meses de enero, febrero, Marzo Noviembre y Diciembre, debido al incrementos de las lluvias y los eventos producidos por descargas atmosféricas en el sistema interconectado, parte del alimentador Orcopampa.

Tabla 8. Cuadro de Generación Aislada en el Año 2020

Mes	Horas en Generación Aislada
Enero	27.2
Febrero	26.8
Marzo	16.7
Abril	15.7
Mayo	1.2
Junio	1.4
Julio	1.5
Agosto	10.3
Septiembre	10.5
Octubre	19.5
Noviembre	20.4
Diciembre	25.3
Total	176.5

Fuente: Elaboración Propia

Diagrama de Pareto - Generacion Aislada

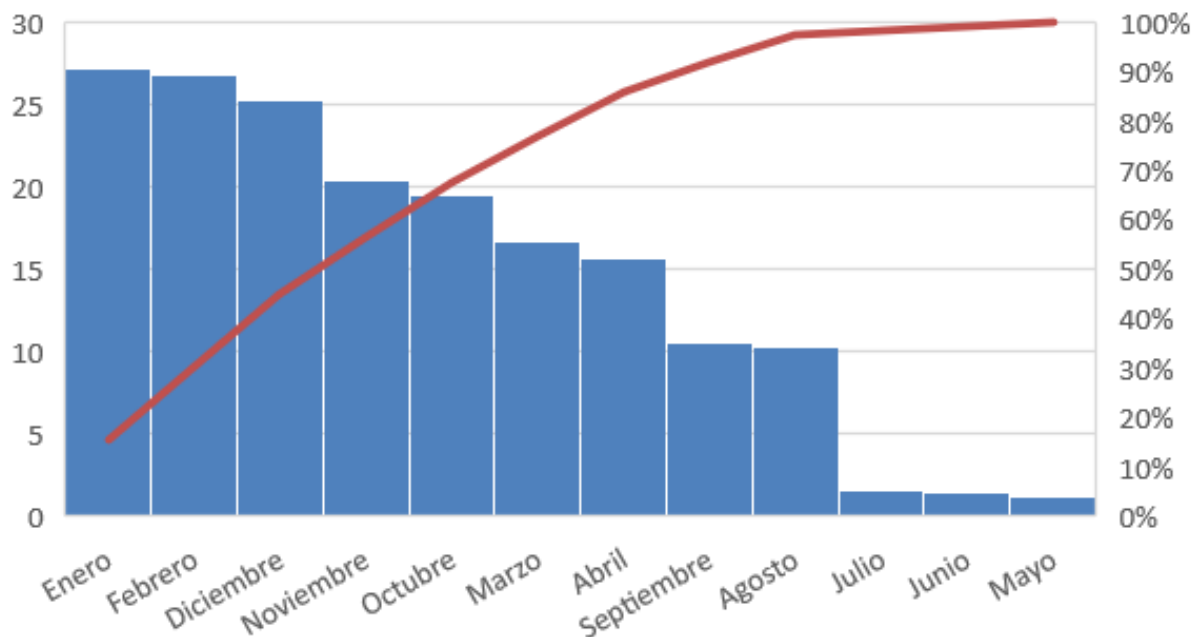


Figura N° 56. Grafica de Pareto Horas en Generación Aislada.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y CONDICIONES DE GENERACIÓN AISLADA.

Para calcularse el consumo de combustible para la potencia necesaria en los 02 centros de generación de 755 KW a plena carga y en condiciones de generación aislada el total de grupos electrógenos instalados, se dan tolerancias en el diagrama de consumo de combustible, se debe añadir a los resultados un margen de un 5%.

Tabla 9. Datos Técnicos de Volumen de combustible de Grupos electrógenos.

Tipo de Grupo	Datos de tanque
GRUPO CATERPILLAR	250 galones
AREM I	112 galones
AREM II	58 galones
Total	420 galones

Fuente: (OESTE, 2019)



Figura N° 57. Tanque de reserva para grupos electrógenos.

Fuente: (OESTE, 2019)

$$B = \frac{\text{Potencia} * b_e}{\rho_{\text{Combustible}}} \dots (\text{Ec. 03})$$

Donde:

b_e : Consumo específico de combustible en (kg/kWh)

B: Consumo de combustible, en (m^3/h)

P: Potencia Generada, en (kW)

ρ : combustible: Densidad del combustible, en (kg/m^3)

Entonces conociendo (Ec. 1)

$$B = \frac{755 * b_e}{\rho_{\text{Combustible}}}$$

Para calcular el consumo específico del combustible se saca de tablas relacionadas a la potencia-par-consumo de combustible según Fabricante.

Tabla 10. Datos de consumo específico - Grupos electrógenos.

Velocidad rpm	Potencia kw	Par Nm	Consumo específico g/kWh	Consumo combustible l/h
2100	470	2137	233,8	131,0
2000	470	2244	229,9	128,8
1900	470	2362	224,5	125,8
1800	470	2493	218,9	122,6
1700	465	2611	214,5	118,8
1600	455	2714	212,5	115,2
1500	441	2807	211,4	111,1
1400	422	2879	210,7	106,0
1300	387	2842	210,3	97,0
1200	309	2457	211,3	77,8
1100	258	2243	214,4	66,0

Fuente: (COMPANY, 2015)

Reemplazando y conociendo que el diésel, también denominado gasóleo tiene una densidad sobre 850 kg/m³ (0,850 g/cm³)

$$B = \frac{755 * 218.9 \frac{\text{gramos}}{\text{kWh}} * \frac{\text{kg}}{1000\text{gramos}}}{850}$$

$$B = 0.1944 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

3.3.2 VALORIZACIÓN DE CONSUMO ANUAL

Conociendo el volumen de los tanques y convirtiendo a metros cúbicos tenemos la siguiente Tabla.

Tabla 11. Datos Volumétricos en Metros Cúbicos de grupos electrógenos.

Tipo de Grupo	Datos de tanque	Metros Cúbicos
GRUPO CATERPILLAR	250 galones	9.46
AREM I	112 galones	4.24
AREM II	58 galones	2.20
Total	420 galones	15.90

Fuente: (OESTE, 2019)

Por otro lado revisamos el precio del hidrocarburo al mes de diciembre del 2021 considerando los calculos necesarios para evaluar el gasto anual ante estos efectos causados por las fallas atmosféricas.



Precios de Referencia de Combustibles Derivados del Petróleo
Resolución Directoral 244-2020-MINEM/DGH y RCD N° 174-2021-OS/CD

Cotizaciones : Desde el 29/11/21 hasta el 10/12/21

Fecha de Publicación : 13-Dic-21

TC (Sol/US\$)
4.08

PR1 : Precio de Referencia que refleja una operación eficiente de importación desde el Mercado Relevante

PR1	GLP 70/30	Gasolina 97	Gasolina 95	Gasolina 90	Gasolina 84	Turbo	Diesel B5 0 - 2500 ppm	Diesel B5 2500 - 5000 ppm	Petróleo Industrial 6 (3%S)	Petróleo Industrial 500 (3%S)
US\$/Bl	57.48	94.36	92.56	89.60	84.33	92.31	98.36	89.72	68.58	68.26
Soles/galón	5.58	9.16	8.98	8.69	8.18	8.96	9.54	8.71	6.65	6.62
Soles/Kg	2.81									

PR1 : Precios de Referencia del Gasohol y Alcohol Carburante

Precios de Referencia del Gasohol en US\$/Bl				Precios de Referencia del Gasohol en Soles/Galón				Precios de Referencia del Alcohol Carburante	
Gasohol 97	Gasohol 95	Gasohol 90	Gasohol 84	Gasohol 97	Gasohol 95	Gasohol 90	Gasohol 84	Alcohol Carburante US\$/Bl	Alcohol Carburante Sol/Gln
98.53	96.88	94.15	89.28	9.56	9.40	9.14	8.66	147.88	14.35

PR1 : Precios de Referencia del Diesel 2 y Biodiesel según contenido de azufre (ppm)

Precios de Referencia del Diesel 2 US\$/Bl		Precios de Referencia del Diesel 2 Soles/Galón		Precios de Referencia del Biodiesel B100	
0<=S<=2500	2500<S<=5000	0<=S<=2500	2500<S<=5000	Biodiesel B100 US\$/Bl	Biodiesel B100 Sol/Gln
91.18	82.08	8.85	7.96	234.81	22.79

Factor de Conversión

	GLP 70/30
kg / Gln	1.985
Blis / TM	11.994

Figura N° 58. Precios Promedio de Combustible mayo 2021.

Fuente: (OSINERGMIN O. , 2018)

Considerando el uso de combustible DIESEL B5 de 0 – 2500 ppm por consideraciones ambientales, siendo una empresa con homologación ambiental, rindiendo el costo de 9.54 soles / galón.

Se realiza los siguientes cálculos y conversiones llegando al gasto anual en combustible para el funcionamiento en aislado ante fallas atmosféricas.

Tabla 12. Cuadro de Costos de Combustible - Año 2020.

Mes	Horas en Generación Aislada(h)	Diesel en (m3)	Diesel en (Gls)	Costo Diesel (Soles/Galón)
Enero	27.2	5.28768	1396.8993	S/ 13,326.42
Febrero	26.8	5.20992	1376.35667	S/ 13,130.44
Marzo	16.7	3.24648	857.655086	S/ 8,182.03
Abril	15.7	3.05208	806.298494	S/ 7,692.09
Mayo	1.2	0.23328	61.6279104	S/ 587.93
Junio	1.4	0.27216	71.8992288	S/ 685.92
Julio	1.5	0.2916	77.034888	S/ 734.91
Agosto	10.3	2.00232	528.972898	S/ 5,046.40
Septiembre	10.5	2.0412	539.244216	S/ 5,144.39
Octubre	19.5	3.7908	1001.45354	S/ 9,553.87
Noviembre	20.4	3.96576	1047.67448	S/ 9,994.81
Diciembre	25.3	4.91832	1299.32178	S/ 12,395.53
Total	176.5			S/ 86,474.74

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

4.1 ENTORNO POWER FACTORY

Power Factory es una aplicación líder de software de análisis de sistemas de energía para su uso en el análisis de sistemas industriales, de generación, transmisión y distribución.



Figura N° 59. Logotipo Digsilent Power factory.

Fuente: (Iberica, 2021)

Cubre la gama completa de funcionalidades, desde características estándar hasta aplicaciones altamente sofisticadas y avanzadas, incluida la energía eólica, la generación distribuida, la simulación en tiempo real y la supervisión del rendimiento para la prueba y supervisión del sistema. Power Factory es fácil de usar, combina capacidades de modelado de sistemas confiables y flexibles con algoritmos de última generación y un concepto de base de datos único. Además, con su flexibilidad para la creación de secuencias de comandos y la interfaz, Power Factory se adapta perfectamente a soluciones altamente automatizadas e integradas en sus aplicaciones comerciales. (DIGSILENT, 2021)

Power Factory proporciona módulos de análisis junto con una amplia gama de modelos de equipos de potencia, herramientas integradas y funciones para aplicaciones fundamentales de Power Factory.

- Análisis de flujo de carga
- Análisis de cortocircuito
- Sensibilidades / Factores de distribución
- Análisis básico de redes MT / BT
- Modelos de equipos de potencia
- Representación de red
- Gestión de modelos de red
- Diagramas de red y funciones gráficas
- Resultados e informes
- Convertidores de datos. (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.2 SIMULACIÓN DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS EN UN SISTEMA ELÉCTRICO.

Para resolver problemas transitorios del sistema de energía como rayos, conmutación y sobretensiones temporales, corrientes de irrupción, efectos de ferromagnética o problemas de resonancia sub-síncrona. Power Factory presenta una biblioteca de modelos completa.

- El objetivo de este ejercicio es modelar el impacto de un rayo sobre la línea L-3-1 de 22.9 kV. Por el incremento de la tensión en la línea, el aislador de la fase A resulta contorneado (efecto de back-flashover). La corriente de descarga circulará ahora por el conductor de fase, provocando sobretensiones

que pueden poner en peligro el aislamiento no auto-recuperable al final de la línea. Se deberá determinar la amplitud de las sobretensiones al final de la línea y el efecto de limitación de los descargadores y así tomar mejores decisiones a implementar en el sistema interconectado del AMT 8701 – ORCOPAMPA.

4.3 TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS CON DIGSILENT POWER FACTORY

4.3.1 TRANSITORIOS RÁPIDOS ORIGEN EXTERNO Y ORIGEN INTERNO

- Rango de tiempo: 1 μ s.....500ms
- Descargas atmosféricas
- Sobretensiones de maniobra
- Corriente de inrush / ferro resonancia en transformadores
- Amortiguamiento de componente DC de corrientes de cortocircuito.

(Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.3.2 TRANSITORIOS DE DURACIÓN MEDIA (ELECTROMECAÑICOS)

- Rango de tiempo: 400 *ms*....10s
- Estabilidad transitoria
- Tiempo crítico de despeje de falla
- Resonancia subsincrónica
- Turbinas y controladores y gobernador.

- Arranque de motores
- Variaciones fuertes de carga (load shedding). (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.3.3 TRANSITORIOS DE LARGA DURACIÓN (FENÓMENOS DINÁMICOS)

- Rango de tiempo: 10 s....several min
- Estabilidad dinámica
- Turbinas y controladores
- Control de frecuencia
- Control secundario de tensión
- Comportamiento de centrales (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.4 SIMULACIONES DE RMS vs EMT.

4.4.1 SIMULACIÓN RMS (ESTABILIDAD)

- Resuelve la red eléctrica mediante ecuaciones fasoriales del tipo $[Y] * [U] = [I]$
- Se usan ecuaciones diferenciales solo para la parte mecánica de los generadores. (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.4.2 SIMULACIÓN EMT (TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS)

- Resuelve toda la red eléctrica usando únicamente ecuaciones diferenciales del tipo $[U] = [I] * [R] + [L] * d/dt([I])$.
- Representación multifásica completa.

- Resulta más lenta que la simulación RMS.
- En Power Factory: ajuste automático de paso para acelerar la simulación. (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.5 MANEJO DE SIMULACIONES

En el desarrollo del programa Power Factory se realiza con el dominio de los diferentes puntos realizados para adecuar un manejo óptimo de simulación.

- Flujo Cargas
- Condiciones Iniciales
 - Selecciones método (valores EMT)
 - Representación de la Red: balanceada/desbalanceada
- Definir Variables
- Definir Eventos
- Inicializar Simulación
- Definir/Cambiar Eventos
- Continuar Simulación
- Graficar Resultados (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

4.6 MODELOS PARA SIMULACIONES EMT

- Dependiendo del tipo de transitorio en consideración, se requieren diferentes grados de detalle en los modelos.
- El modelo debe ser adecuado al rango de tiempo del transitorio bajo análisis.
- Se debe considerar la dependencia del modelo con la frecuencia.

4.7 SIMULACIÓN DE SOBRETENSIONES

- Descarga Atmosférica (externas)
 - Impacto directo de rayo
 - Impacto sobre hilo de guarda
 - Descarga inversa (Back flashover)
 - Sobretensiones inducidas, etc.
- Sobretensiones de Maniobra (internas)
 - Energización y recierre de líneas
 - Interrupción de (pequeñas) corrientes inductivas y/o capacitivas
 - Interrupción de corrientes de falla
 - Incepción de fallas
- Sobretensiones Sostenidas (internas)
 - Rechazo de carga, efecto Ferranti (Francisco M. Gonzalez-Longatt, 2004)

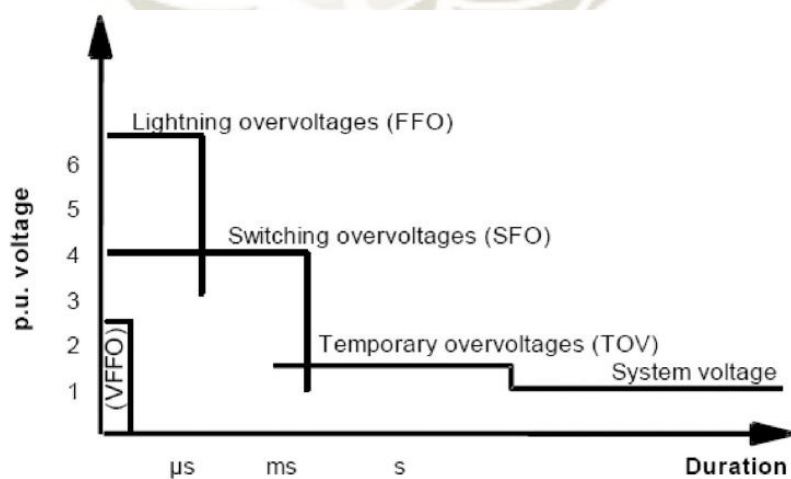


Figura N° 60. Voltaje en (p.u) vs Duración.

Fuente: (Chamorro, 2018)

4.8 PREPARACIÓN DE LA RED PARA EL ESTUDIO

4.8.1 CONDICIONES INICIALES

1. Crear una revisión del sistema de distribución de 22.9 kV con el que se está trabajando, El sistema será modificado como se indica en los puntos a continuación para prepararlo a las necesidades del estudio de descarga atmosférica.
2. Para la línea que la llamaremos L-3-1 se deberá modelar de manera explícita
3. A la mitad de la línea conectar el capacitor que representa el aislador que será posteriormente contorneado. Su valor es de 10 pF. Observar que las líneas representando los conductores de fase serán automáticamente separadas en tramos de línea.
4. Para el primer tramo de línea (A) se definirá el acoplamiento entre los conductores de fase utilizando para ello la geometría del poste utilizado con armado de alineamiento, provista en la librería del proyecto. Repetir la operación para el segundo tramo de línea.
5. Para los dos acoplamientos recientemente creados se deberá elegir ahora un modelo de parámetros distribuidos. En la hoja para EMT de la ventana de diálogo seleccionar una frecuencia de 60 Hz y calcular los parámetros.
6. Verificar la nueva topología de la red mediante una corrida de flujo de carga. Se está ahora en condiciones de definir la fuente impulsiva que modela el impacto del rayo y el contorneo en los aisladores.
7. Correr la simulación para unos 50 us aproximadamente y graficar las variables seleccionadas. (CHAJ, 2008)

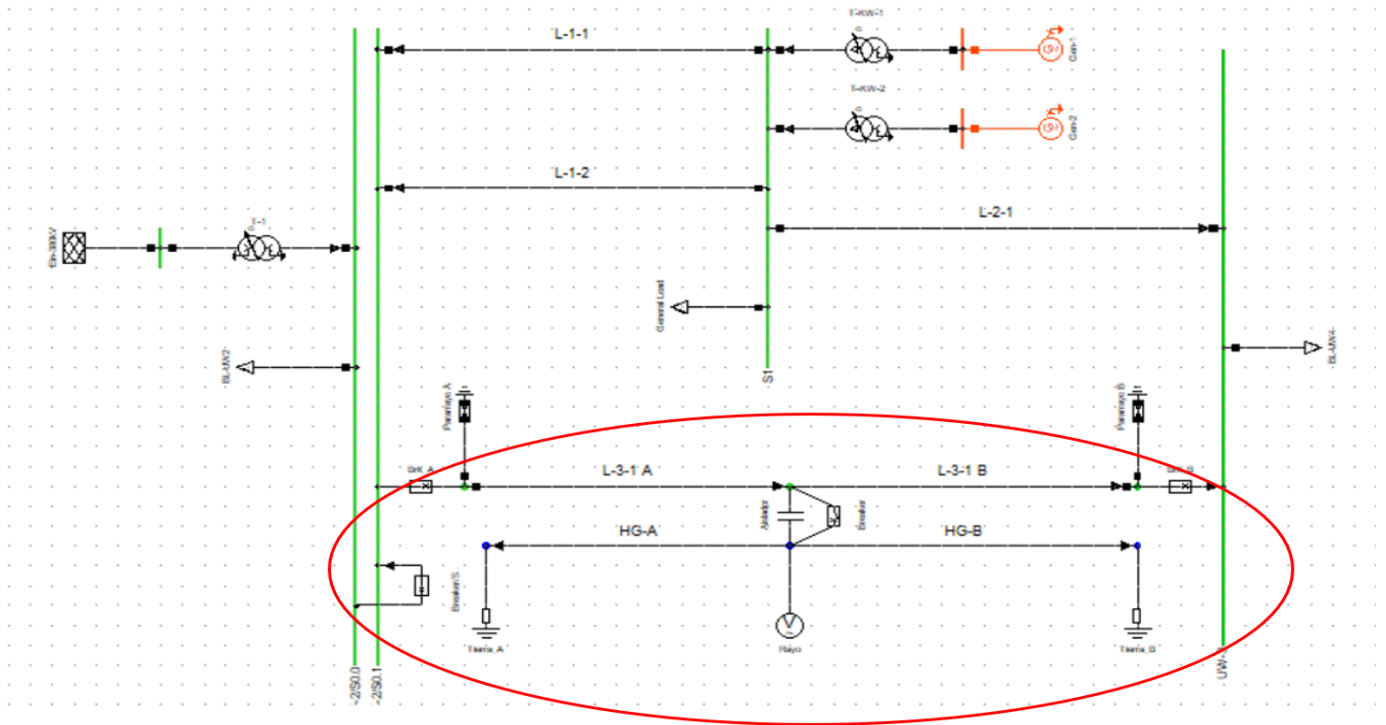


Figura N° 61. Diagrama unifilar de Sistema Interconectado e impacto de rayo.

Fuente: Elaboración Propia

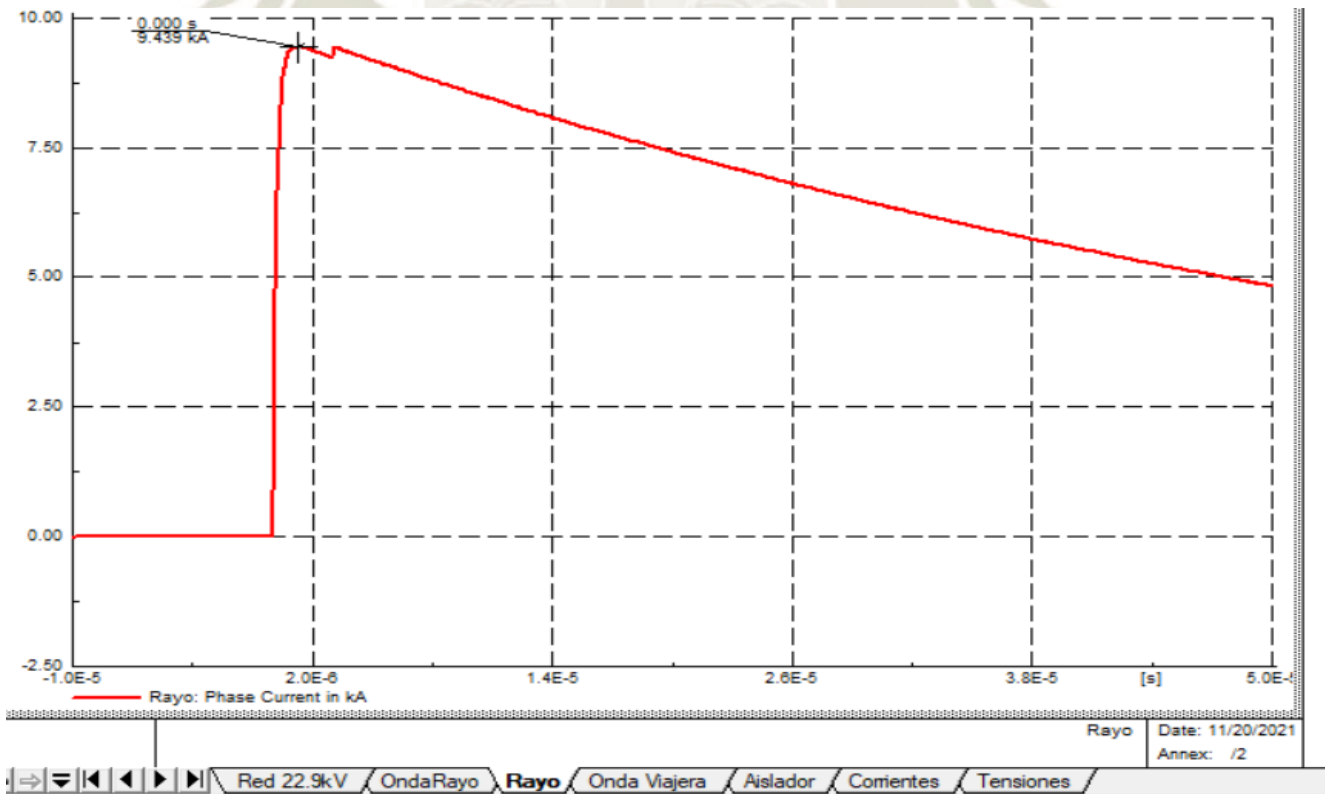


Figura N° 62. Diagrama de Impacto de Rayo de 9.4 kA.

Fuente: Elaboración Propia

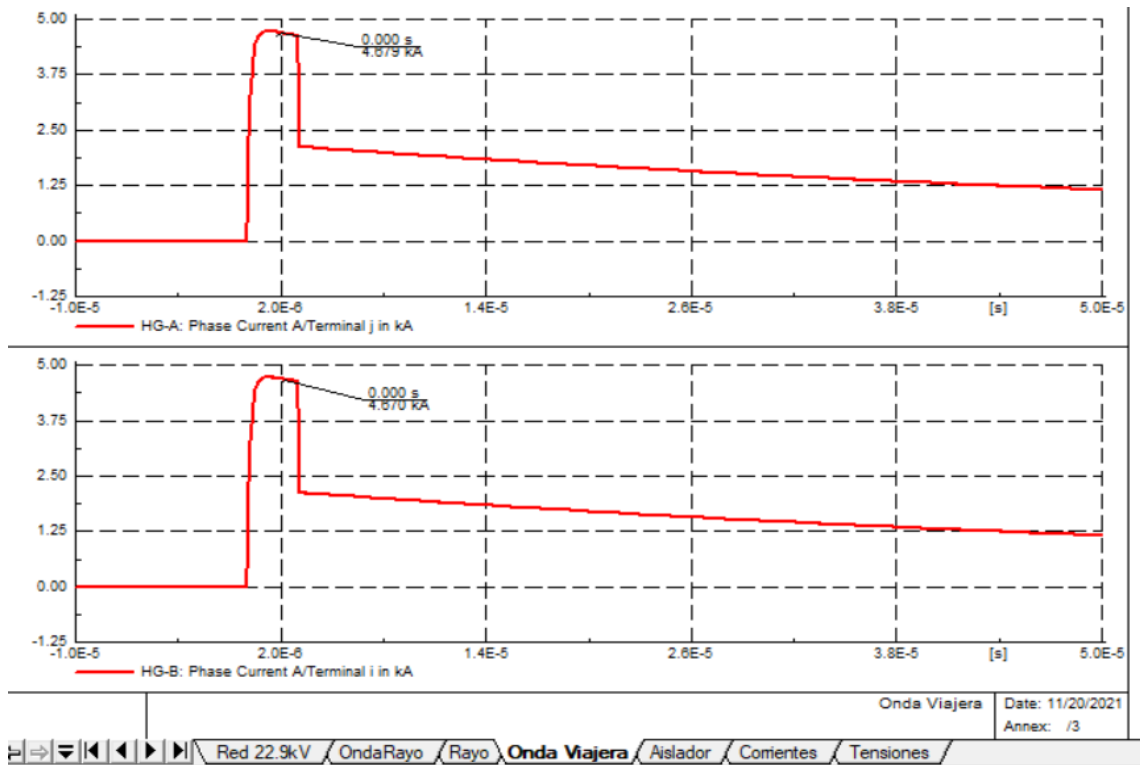


Figura N° 63. Onda viajera en por impacto de rayo en línea de 22.9 kV

Fuente: Elaboración Propia

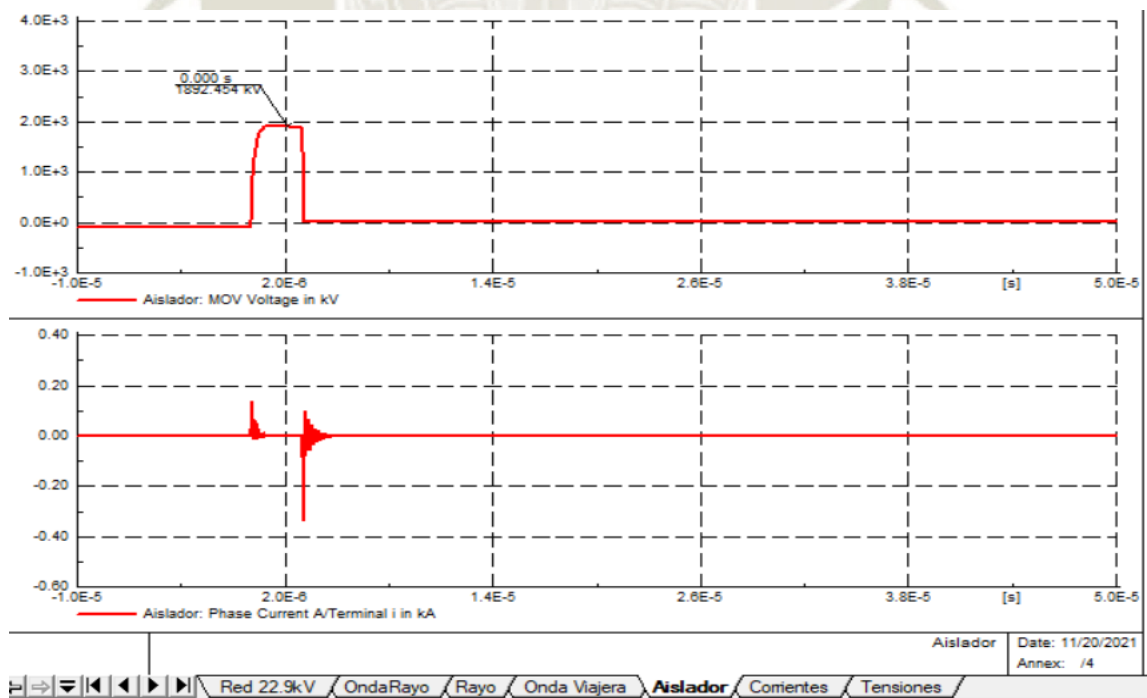


Figura N° 64. Contorneo de aisladores afectando su aislamiento en 1900 kV

Fuente: Elaboración Propia

4.8.2 CONDICIONES FINALES

Para reducir el nivel de aislamiento básico (BIL) requerido para la instalación de descargadores de óxido metálico, en ambos extremos de la línea y recomendaciones según la CIGRE Los voltajes inducidos generalmente no se ven muy afectados por la posición relativa entre los rayos punto de impacto y los descargadores de sobretensión en caso de distancias de separación de los descargadores inferiores a unos 300 m, entre estructuras instaladas. Estos dispositivos tienen la función de recortar la sobretensión drenando la corriente de la descarga a tierra. (CIGRE, 2010)

1. Agregar en ambos extremos de la línea descargadores con la siguiente característica de protección:

Tabla 13. *Parámetros I-U de pararrayos de línea para análisis en Digsilent.*

Protective Characteristics										
Voltage Rating (Ur) (kVrms)	MCOV (Uc) ³ (kV rms)	Max. Equiv. FOW ⁵ (kV Crest)	Max. Switch Surge ⁶ (kV Crest)	Max. Discharge Voltage (kV Crest) Using an 8/20 μs Current Impulse						
				1.5 kA	2.5 kA	3.0 kA	5.0 kA	10 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	10.0	6.7	7.3	7.7	7.9	8.1	9.2	10.6	12.5
6	5.1	20.2	13.4	14.7	15.5	15.9	16.2	18.5	21.2	25.1
9	7.65	27.1	18.0	19.7	20.7	21.2	21.8	24.8	28.4	33.6
10	8.4	29.8	19.8	21.7	22.8	23.4	24.0	27.3	31.3	37.0
12	10.2	36.2	24.0	26.4	27.7	28.4	29.0	33.1	38.0	44.8
15	12.7	44.8	29.7	32.6	34.3	35.1	36.0	41.0	47.0	55.5
18	15.3	53.8	35.8	39.3	41.2	42.2	43.3	49.3	56.6	66.8
21	17.0	61.3	40.7	44.7	46.9	48.1	49.2	56.1	64.4	76.0
24	19.5	71.5	47.5	52.1	54.8	56.1	57.5	65.5	75.1	88.7
27	22.0	79.4	52.7	57.9	60.8	62.3	63.8	72.7	83.4	98.5
30	24.4	89.3	59.3	65.1	68.4	70.1	71.8	81.8	93.8	110.8
36	29.0	105.9	70.4	77.2	81.2	83.1	85.1	97.0	111.3	131.4

Fuente: (Zforce, 2020)

Condiciones Finales, Instalación de descargadores de óxido metálico en redes primarias dentro del Sistema interconectado



Figura N° 65. Redes de distribución con Pararrayos de Línea

Fuente: (OSINERGMIN, 2019)

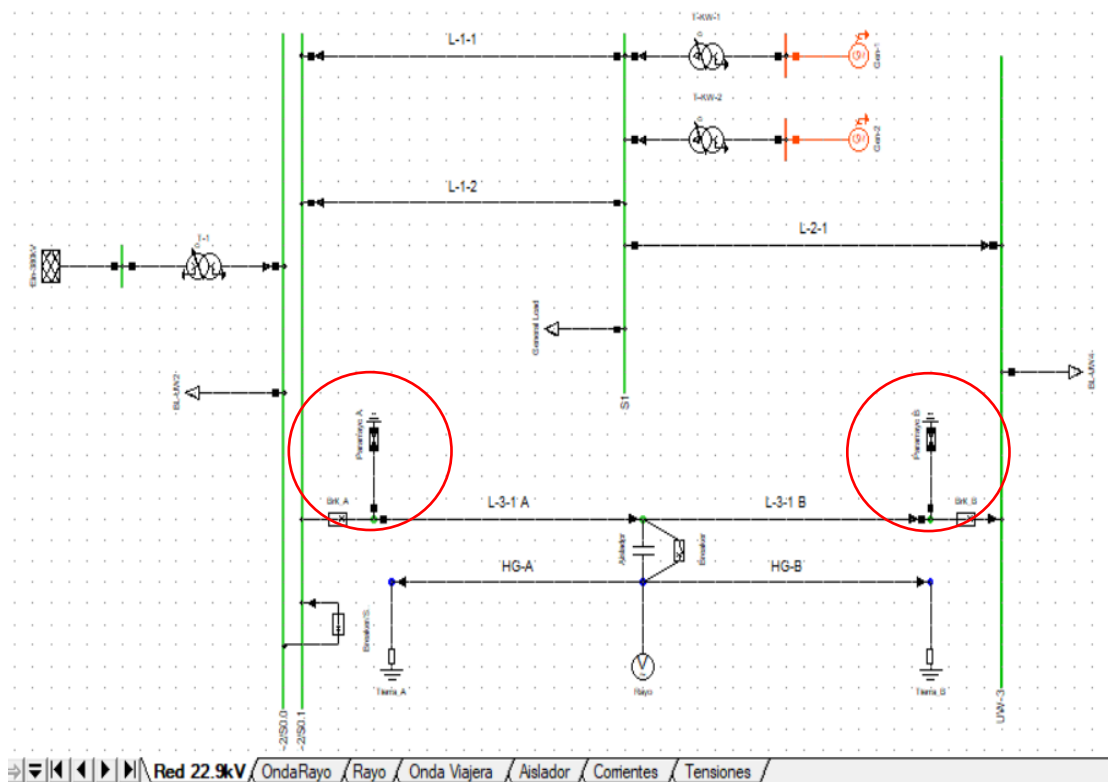


Figura N° 66. Instalación de Pararrayo en Sistema interconectado.

Fuente: Elaboración Propia

Se establece los parámetros I-U asociados a los descargadores de sobretensión a instalar en la línea de interconexión.

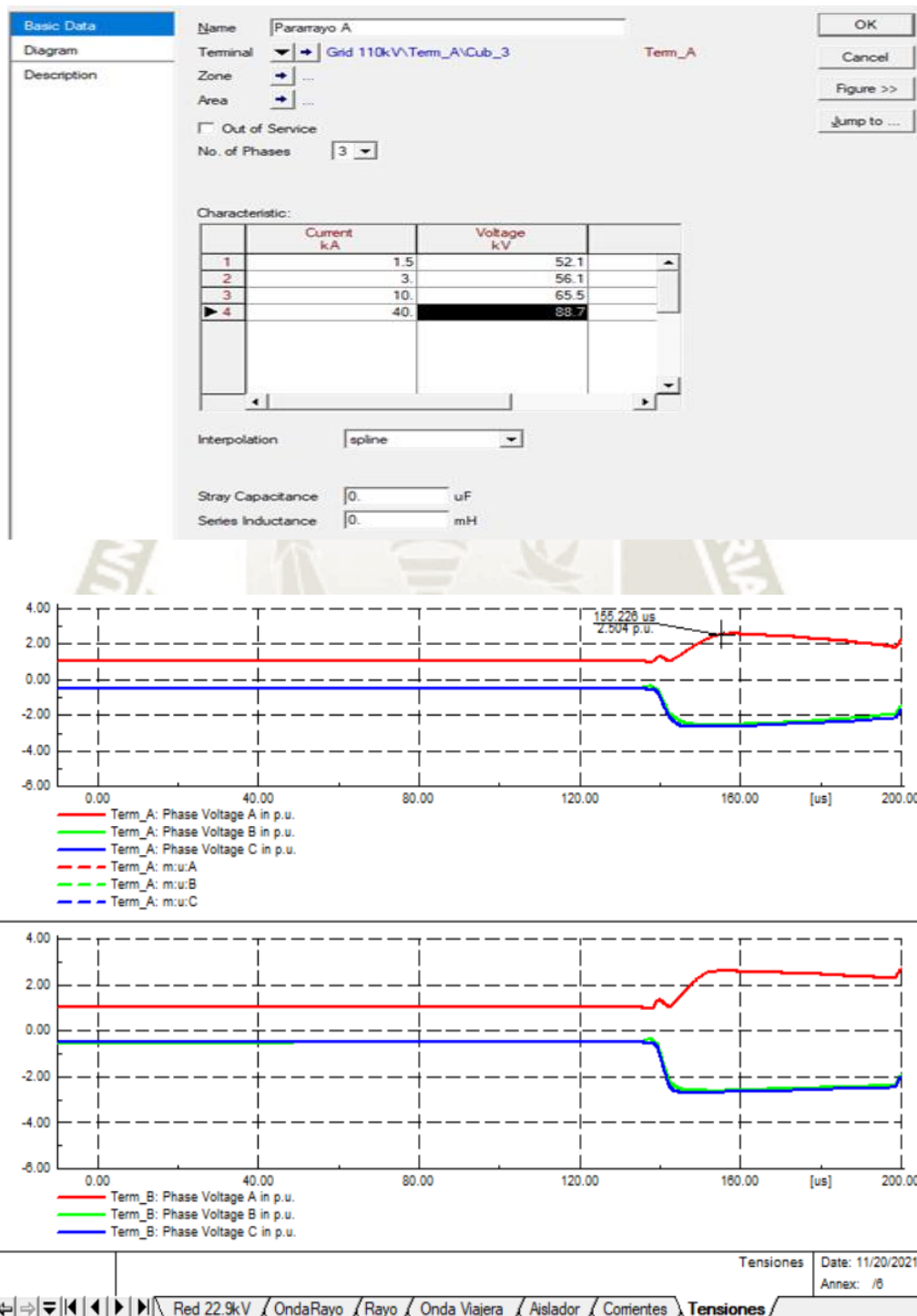


Figura N° 67. Diagrama con sobretensiones en la Fase "A"

Fuente: *Elaboración Propia*

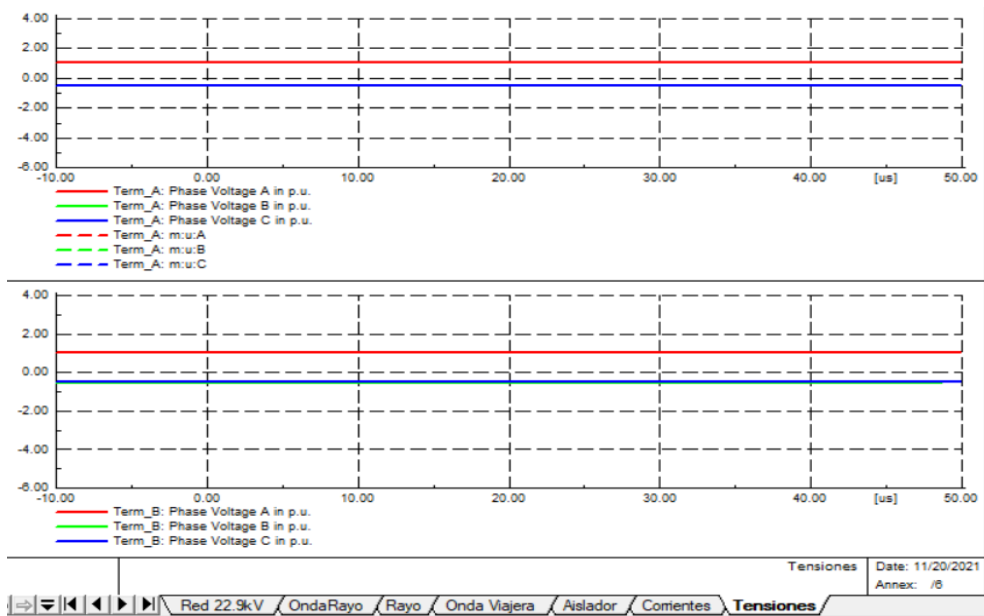
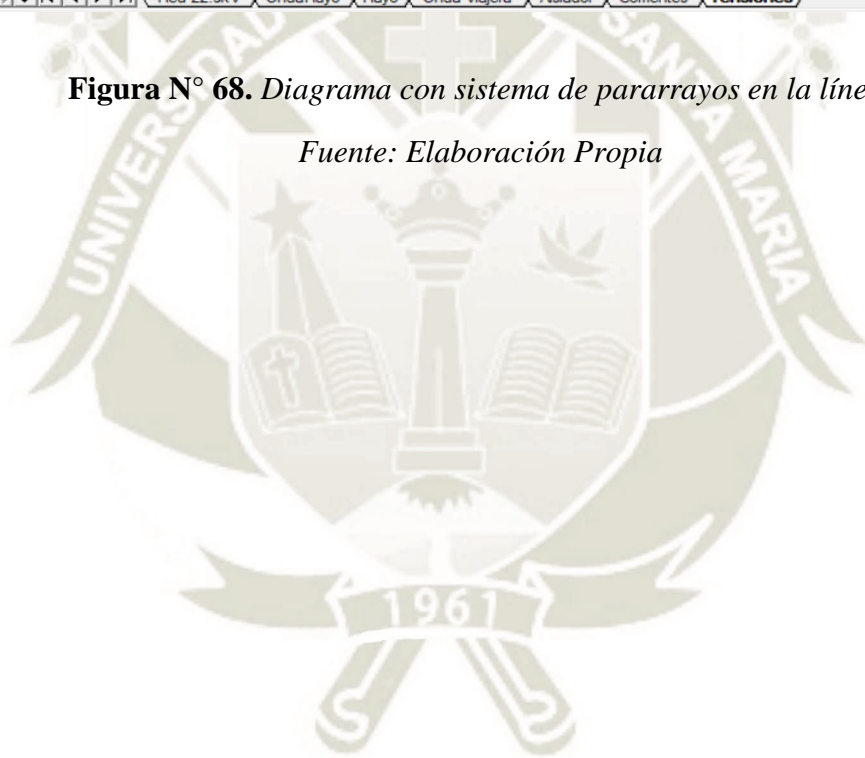


Figura N° 68. Diagrama con sistema de pararrayos en la línea.

Fuente: Elaboración Propia



4.8.3 CONDICIONES DE INSTALACIÓN DE CAMPO

Se instalarán un promedio de 170 Descargadores de Sobretensión (Pararrayos de línea) en todo el recorrido del alimentador Orcopampa correspondiente al sistema interconectado.

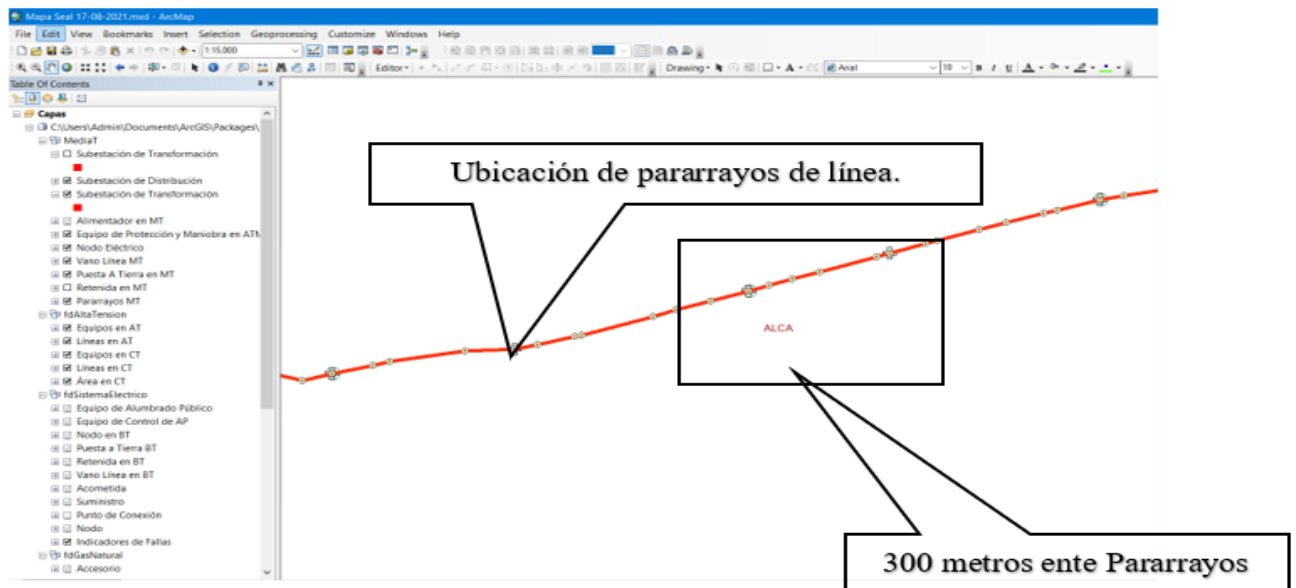
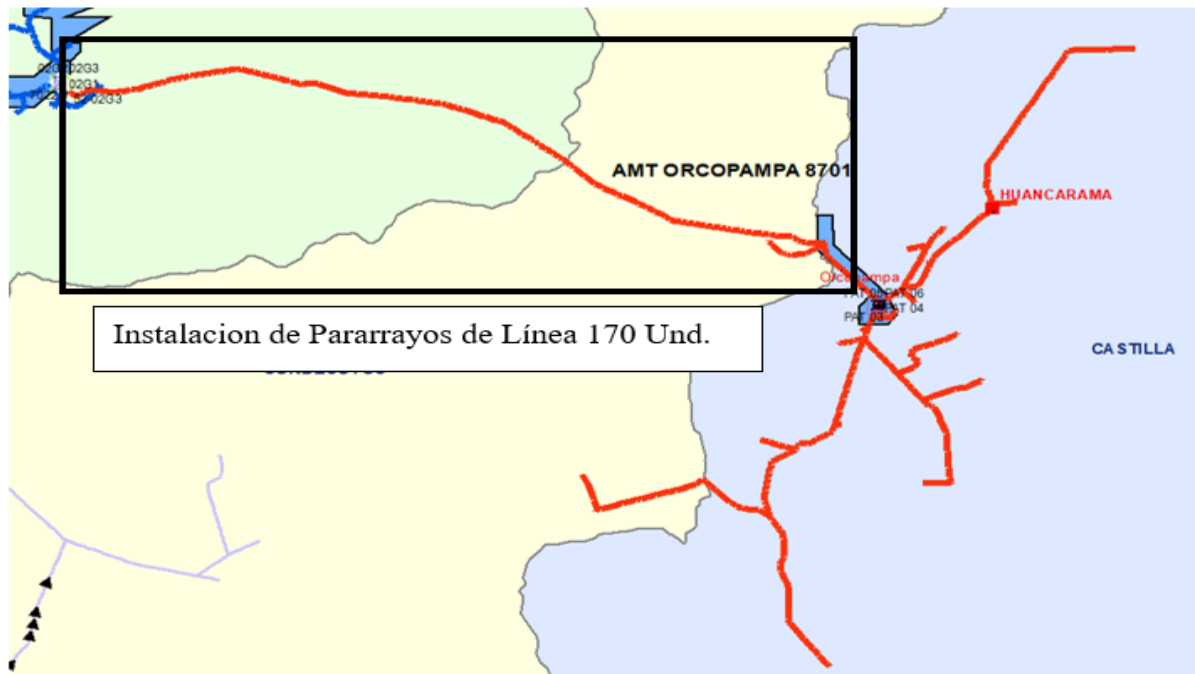


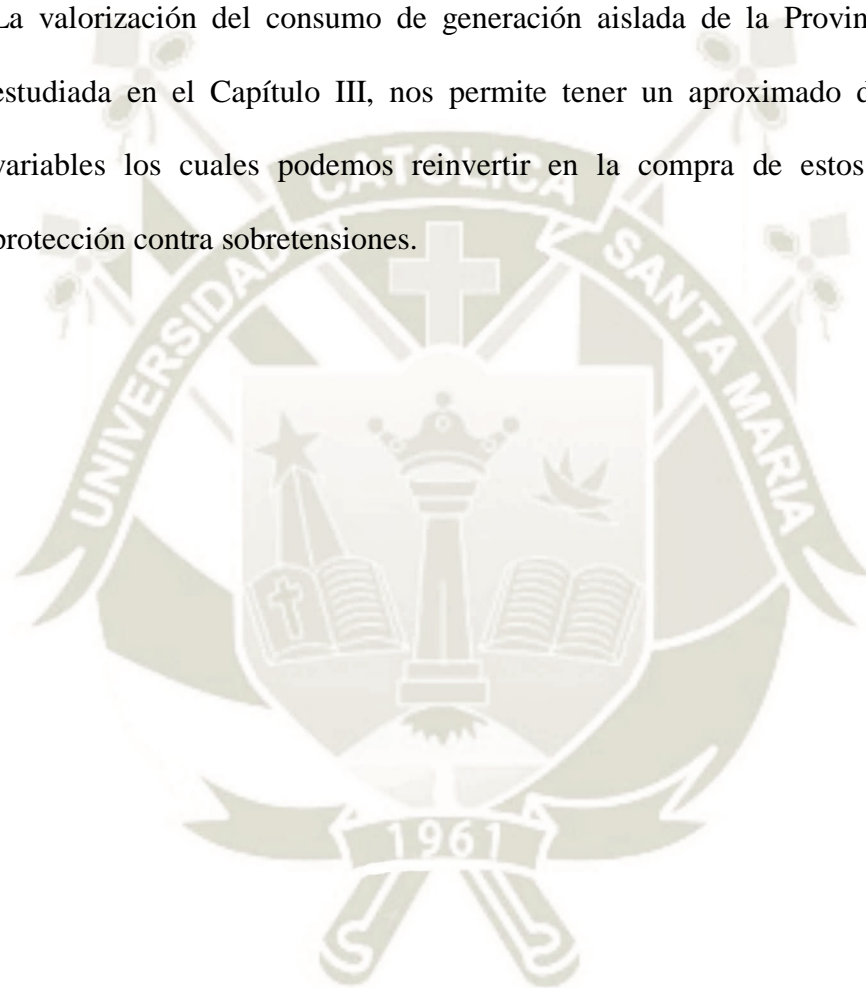
Figura N° 69. Alimentador Georreferenciado – AMT Orcopampa 8701.

Fuente: (SEAL, 2021)

CONCLUSIONES

- La configuración de descargadores debe de ser colocada en intervalos regulares (equidistantes) a lo largo de la línea. Además, para proporcionar un análisis de sensibilidad relevante a los efectos del número puntas captadoras (bayonetas) colocados a lo largo de la línea sobre los voltajes inducidos, se consideran según la CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Sistemas Eléctricos) la instalación de descargadores de sobretensión (pararrayos de línea) cada 300 m.
- La relación entre los intervalos de instalación de los pararrayos y los efectos de protección, podemos ver que en los sistemas de pararrayos situados cada 300 metros a lo largo de la distribución de línea de servicio, proporcionaran buen efecto de protección contra sobretensiones temporales y sobretensiones de frente lento y rápido como las descargas directas e indirectas de rayos.
- Los conductores de pararrayos que conectan la línea de distribución y los terminales de tierra de los pararrayos al equipo que protegen, contienen una pequeña cantidad de inductancia inherente, esta inducción provocada en la línea por el rayo hace que la tensión se reduzca por las instalaciones de sistemas de sobretensiones como los pararrayos de línea y bayonetas debidamente conectados a tierra.
- El sistema interconectado de 22.9 KV se mantiene estable en la coordinación de su aislamiento, por no comprometer transformadores a lo largo de su trayecto, la instalación de pararrayos de línea a lo largo de la línea atiende una adecuada protección del sistema cada 300 metros, siendo un promedio de 170 unidades teniendo una distancia de 51 Km, logrando minimizar las sobretensiones producidas por las descargas atmosféricas, reduciendo así el porcentaje de exceso de los indicadores SAIFI Y SAIDI.

- Se comprueba la efectividad de los pararrayos de línea de oxido metálico para la instalación conforme al sistema de puesta a tierra instalado, siendo menor a 25 ohm, de no alcanzar resultados se deberá instalar cortafuegos para un análisis de ubicación en próximos estudios en sistemas de distribución con alimentadores críticos como el AMT Orcopampa.
- La valorización del consumo de generación aislada de la Provincia de la Unión estudiada en el Capítulo III, nos permite tener un aproximado de costos fijos y variables los cuales podemos reinvertir en la compra de estos dispositivos de protección contra sobretensiones.



RECOMENDACIONES

- El nivel de CFO en la estructura distribuida juega un papel importante en el funcionamiento normal de la red. Por tanto, y teniendo en cuenta la clase CFO de estructuras existentes, es recomendable mejorar este indicador, especialmente en estructuras donde se instalen pararrayos.
- El valor de la resistencia a tierra para las estructuras de distribución de corriente debe estar entre 10Ω y 5Ω . Esto se debe a que en estos rangos la probabilidad de derivación disminuye y la energía inducida en la red tendrá una trayectoria de fluencia más eficiente a la resistencia de tierra.
- En algunas empresas distribuidoras recomiendan la instalación de pararrayos cada 200 metros sin tener en cuenta el soporte técnico y matemático completo al que se debe aplicar la norma IEEE 1410-2010, indicando un método de argumento de distancia preciso
- El procedimiento para determinar los factores involucrados en la aplicación de un pararrayos es de primordial importancia asegurar el rendimiento normal de la red y el dispositivo de protección limita el voltaje a un nivel tolerable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrillo, L. M. (2017). Provincia la Unión. *Producciones Cotahuasi*.
- CHAJ, E. E. (2008). *Análisis de Sobretensiones debido a transitorios por maniobras en SEP mayores a 300KV*. GUATEMALA.
- Chamorro, A. V. (2018). *Coordinación del aislamiento y protección contra sobretensiones*. JUNIN: CIP JUNIN.
- CIGRE. (2010). Protection of Medium Voltage and Low Voltage Networks against Lightning. *CIGRE*, 3.
- COMPANY, T. (2015). *Catálogo Grupos Electrónicas CATERPILLAR*. Obtenido de Finanzauto.es
- D. Amat González. (2014). *Estudio de Sobretensiones Debidas a Cortocircuitos fase-tierra en Redes de Media Tensión para distintos Regímenes de Neutro*". Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Dammert , A., Garcia, R., & Molinelli, F. (2008). Regulación y supervisión del Sector Eléctrico. *Regulación y supervisión del Sector Eléctrico*. Lima, Lima, Lima: Fondo Editorial.
- DIgSILENT, C. (2021). *Digsilent Power System Solutions*. Obtenido de Digsilent Power System Solutions: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>
- Earth, G. (2021). *Sistema de Ubicación Geográfica*.
- EPM, G. (2015). *Especificación Técnicas para Descargadores de Sobretensiones Dps en Media Tensión*. MEXICO: GRUPO EPM.
- Francisco M. Gonzalez-Longatt, I. M. (2004). *Manual de usuario de DIgSILENT PowerFactory 12.0 en Español*. University of South-Eastern Norway.
- Iberica, D. (2021). *Productos Digsilent*. Obtenido de digsilentiberica.es
- Manchado, M. Á. (2013). *Análisis del Comportamiento De líneas Aéreas de Distribucion Frente al Rayo*.

- Montaño, G. R. (2019). *Supervisión Especial - Supervisión del Alimentador de MT Orcopampa 8701 del Sistema Eléctrico Orcopampa (SE0152) por frecuentes interrupciones originadas en las instalaciones de Media Tensión*. Arequipa: SUP1700064-2019-11-GRCM-03.
- Muñoz, A. V. (2010). *Determinación de la Localización y la Selección Óptima de Pararrayos para un Sistema de Distribución Eléctrica de Media Tensión*. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica.
- OESTE, S. E. (2019). Inspeccion del sistema electrico orcopampa - sistema critico. 83.
- OSINERGMIN. (2019). *Supervisión Especial - Supervisión del Alimentador de MT Orcopampa 8701 del Sistema Eléctrico Orcopampa (SE0152) por frecuentes interrupciones originadas en las instalaciones de Media Tensión*. AREQUIPA: CONSORCIO POWER ENERGY.
- OSINERGMIN, O. (2018). <https://www.osinergmin.gob.p>.
- Peña, O. Q. (2019). *ADECUACIÓN DE LOS ALIMENTADORES EN 10 KV A4212 Y A4213*. Huancayo: UNCP.
- Saavedra, J. (2012). Coordinación de Aislamiento. *Universidad Nacional Experimental Politécnica*.
- SEAL. (2021). *Sistema Georeferenciado y activos de Seal*. Arequipa: GIS.
- Seal, O. (2020). *Reporte de fallas sistema eléctrico Orcopampa Cotahuasi*. Arequipa.
- Std1410, I. (2004). *IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines*. NEW YORK: IEEE.
- TENEMAZA., J. F. (2016). *Estudio para la Implementación de Pararrayos en Sistemas de Distribución de Media Tensión*. Quito - Ecuador: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Villa, V. R. (2010). *Protecciones Contra Descargas Atmosféricas en Líneas de Transmisión*. MEXICO: Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- Yanque, J. (2008). Mapa de niveles isoceraunicos. *Mapa de niveles isoceraunicos*.

Zforce, M. P. (2020). *Datos técnicos Pararrayos de Óxido Metálico para Distribución.*

Obtenido de Datos técnicos Pararrayos de Óxido Metálico para Distribución:

<https://www.maclepower.com>

