

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Influencia del sistema de protección tipo bayoneta  
en la red primaria del alimentador A4007 de  
Ayacucho - Julcamarca**

Emerson Alanya Calixto

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# **ASESOR**

Ing. César Quispe López

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a la gerencia de la empresa Electrocentro por brindar acceso y facilidad para la obtención de datos del respectivo árbol eléctrico en general, así como la evaluación de estos.

Además, manifestar mi más profundo agradecimiento a mi alma mater Universidad Continental, que fue la residencia donde se me impartieron los conocimientos para desempeñarme profesionalmente, de igual manera, mi agradecimiento va para todos los catedráticos y compañeros de estudios comprometidos con el desarrollo del país.

Mi agradecimiento al Ing. César Quispe López, por sus oportunas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Eléctrica en su cargo de asesor, que mediante su destreza y habilidades nos conduce por el camino exitoso de la investigación.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado a Dios, quien es mi norte para toda trayectoria de mi vida, bendiciéndome y brindándome fuerzas para concluir todas mis metas trazadas. A mis padres, que me brindan su apoyo incondicional, amor y confianza; ingredientes que me permiten lograr culminar todas mis metas.

## RESUMEN

La investigación titulada ***“Influencia del sistema de protección tipo bayoneta en la red primaria del alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca”*** responde a la siguiente interrogante ¿Cómo influye el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Julcamarca - Ayacucho?, como objetivo principal pretende determinar la influencia del sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca. Ahora, la muestra investigada es unitaria y será el alimentador A4007 que está en Julcamarca – Ayacucho. El diseño fue experimental, en la muestra de un caso específico en el lugar de Julcamarca – Ayacucho, donde se aplicó la técnica de análisis documental que permitió obtener datos próximos a cómo está funcionando el diseño de la investigación, y también, se emplearon fichas de registro de datos. Concluyendo que, considerando un nivel de confiabilidad 95%, siendo la significancia 5% (0.05), y un valor de p (sigma) menor de 0.05 ( $p < 0.05$ ). Se obtuvo el valor de  $p = 0.000 < 0.05$ , por lo cual se rechazó la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, para lo cual se determinó el nivel de relación entre las variables teniendo un valor de Rho de Spearman de 0.745; existiendo una relación alta y directa entre las variables de protección en optimización y confiabilidad con un nivel de relación de 74% y 35.5% respectivamente, por lo que el sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca.

**Palabras claves:** alimentador A4007, sistema de protección tipo bayoneta.

## ABSTRACT

The investigation entitled "Influence of the bayonet type protection system in the primary network of the A4007 feeder in Ayacucho - Julcamarca" answers the following question: How does the bayonet type protection system influence in the A4007 feeder in Julcamarca - Ayacucho ?, as the main objective aims to determine the influence of the bayonet type protection system in the A4007 feeder in Ayacucho - Julcamarca. Now, the investigated sample is unitary and will be the A4007 feeder that is in Julcamarca - Ayacucho. The design was experimental, in the sample of a specific case in the place of Julcamarca - Ayacucho, where the documentary analysis technique was applied that allowed obtaining data close to how the research design is working, and data sheets were used. data register. Concluding that, considering a 95% level of reliability, the significance being 5% (0.05), and a value of  $p$  (sigma) less than 0.05 ( $p < 0.05$ ). The value of  $p = 0.000 < 0.05$  was obtained, for which the null hypothesis was rejected and the alternative hypothesis is accepted, for which the level of relationship between the variables was determined, having a Spearman Rho value of 0.745; There is a high and direct relationship between the protection variables in optimization and reliability with a relationship level of 74% and 35.5% respectively, so the bayonet type protection system positively influences the A4007 Ayacucho - Julcamarca feeder.

**Keywords:** A4007 feeder, bayonet type protection system.

# ÍNDICE

Asesor .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Dedicatoria .....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de figuras .....	x
Índice de tablas .....	xi
Introducción.....	xiii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.1.2. Formulación del problema .....	16
1.1.2.1. Problema general .....	16
1.1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia .....	17
1.3.1. Justificación científica.....	17
1.3.2. Justificación teórica .....	17
1.3.3. Justificación tecnológica.....	17
1.3.4. Justificación metodológica.....	18
1.3.5. Justificación técnica.....	18
1.3.6. Justificación económica.....	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	18
1.4.1. Hipótesis.....	18
1.4.2. Descripción de variables .....	19
1.4.2.1. Variable independiente (x) .....	19
1.4.2.2. Variable dependiente (y).....	19
1.4.2.3. Operacionalización de las variables .....	19



<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>20</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	20
2.2. Bases teóricas .....	23
2.2.1. Sistema de protección .....	23
2.2.1.1. Fusibles .....	24
2.2.1.2. Seccionadores .....	24
2.2.1.3. Reconectores .....	25
2.2.1.4. Relés de corriente .....	27
2.2.2. Sistema de protección tipo bayoneta .....	27
2.2.2.1. Fusible sensor de corriente .....	27
2.2.2.2. Fusible dual .....	28
2.2.3. Variable dependiente: .....	29
2.2.3.1. Alimentadores .....	30
2.2.3.2. Alimentadores en marcha .....	30
2.2.3.3. Operatividad general del alimentador A4007 .....	30
2.2.3.4. Área de servicio .....	31
2.2.3.5. Información de la subestación .....	31
2.2.3.6. Información de transformadores de distribución .....	32
2.2.3.7. Información de estructuras .....	33
2.2.3.8. Datos de luminarias .....	33
2.2.3.9. Julcamarca – Ayacucho .....	34
2.3. Definición de términos básicos .....	38
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>40</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>40</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	40
3.2. Diseño de la investigación .....	40
3.3. Población y muestra .....	41
3.3.1. Población .....	41
3.3.2. Muestra .....	41
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	41
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>43</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>43</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	43

4.1.1. Datos de la red de distribución .....	43
4.1.2. Identificador UP-UC: ESV-PS3 .....	44
4.1.3. Comportamiento de las líneas de distribución a las descargas eléctricas .....	47
4.1.4. Protección por árboles y estructuras cercanas.....	47
4.1.5. Voltaje de flameo de impulso crítico (CFO) en la estructura UC-PS3 50	
4.1.6. MCOV de las bayonetas.....	54
4.1.7. Valores de puesta a tierra .....	55
4.2. Análisis de resultados .....	63
4.5. Prueba de hipótesis .....	68
4.5.1. Hipótesis general.....	68
4.5.2. Hipótesis específicas.....	71
Conclusión.....	73
Referencias .....	76
Anexos .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fusible.....	24
Figura 2. Seccionador .....	25
Figura 3. Reconectador .....	26
Figura 4. Partes de fusible dual.....	28
Figura 5. Diagrama unifilar de la subestación .....	32
Figura 6. Estructuras más comunes utilizadas en el alimentador.....	33
Figura 7. Impacto paisajístico causado por alimentador en distribución aérea	34
Figura 8. Impacto paisajístico causado por alimentador en distribución aérea	35
Figura 9. Estadística de carga diaria .....	37
Figura 10. Descarga atmosférica en el alimentador .....	43
Figura 11. Tramo de tendido eléctrico en análisis Ayacucho - Julcamarca .....	44
Figura 12. Estructura PS3 para redes de distribución .....	45
Figura 13. Ubicación y distancias de elementos en estructura de distribución UC- PS3.....	52
Figura 14. Incremento y ubicación de aislador ANSI 56-1 en estructura PS3..	53
Figura 15. Curvas de TOV en los pararrayos .....	55
Figura 16. Potencial de sobretensión del sistema .....	55
Figura 17. Frente de onda para estructura con CFO=150 kV y resistencia de puesta a tierra de 25 $\Omega$ .....	61
Figura 18. Frente de onda para estructura con CFO=150 kV y resistencia de puesta a tierra de 10 $\Omega$ .....	62
Figura 19. Frente de onda para estructura con CFO=300 kV y resistencia de puesta a tierra de 25 $\Omega$ .....	62
Figura 20. Frente de onda para estructura con CFO=300 kV y resistencia de puesta a tierra de 10 $\Omega$ .....	63
Figura 21. Probabilidad flameo estructuras. CFO=150 kU Rg= 25 $\Omega$ y 10 $\Omega$ ...	64
Figura 22. Modelo electrogeométrico de una red de distribución .....	64
Figura 23. Estructura con mejoramiento de CFO y bayonetas.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de cargas .....	16
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 3. Sistemas eléctricos por unidad de negocio .....	29
Tabla 4. Características del alimentador BC124, A4007 y HG405.....	31
Tabla 5. Características de la subestación.....	31
Tabla 6. Detalle de transformadores en el alimentador.....	32
Tabla 7. Detalle de luminarias en el alimentador.....	33
Tabla 8. Demanda media en la alimentación .....	36
Tabla 9. Elementos que conforman estructura trifásica para distribución PS3	45
Tabla 10. Resumen de análisis de descarga .....	50
Tabla 11. Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución .....	51
Tabla 12. Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución .....	52
Tabla 13. Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución con incremento de aislador ANSI 56-1.....	53
Tabla 14. Parámetros para determinación de espaciamiento entre pararrayos	57
Tabla 15. Calculo de factores iniciales en el primer vano .....	57
Tabla 16. Distancias y probabilidad de flameo en primer vano CFO=150 kV ..	57
Tabla 17. Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el segundo vano CFO=150 kV .....	58
Tabla 18. Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el tercer vano CFO=150 kV .....	58
Tabla 19. Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el cuarto vano CFO=150 kV .....	58
Tabla 20. Cálculo de factores iniciales en el primer vano con CFO=300 kV ....	59
Tabla 21. Distancias y probabilidad de flameo en primer vano CFO=300 kV ..	59
Tabla 22. Distancias y probabilidad de flameo segundo vano CFO=300 kV...	60
Tabla 23. Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el tercer vano CFO=300 kV .....	60
Tabla 24. Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el cuarto vano CFO=300 kV .....	60
Tabla 25. Valores correspondientes al modelo electrogeométrico de la red de distribución en estudio.....	65

Tabla 26. Valores correspondientes al modelo electrogeométrico de la red de distribución en estudio con mejoramiento de CFO .....	65
Tabla 27. Valores modelo electrogeométrico. CFO=150 kU – Altura 20 m .....	66
Tabla 28. Valores modelo electrogeométrico. CFO=300 kU – Altura 20 m .....	67
Tabla 29. Comparaciones de protecciones .....	68
Tabla 30. Correlaciones Rho de Spearman .....	70
Tabla 31. Cuadro de comparación de costos de mantenimiento del sistema de protección .....	71
Tabla 32. Tiempo de respuesta del sistema de protección .....	72

# INTRODUCCIÓN

La investigación en ejecución sobre *“Influencia del sistema de protección tipo bayoneta para el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho”*, enfoca el problema del diseño de un sistema de utilización que se proyecta en base a un incremento de carga, ante esto se propone un análisis documentado, este debe ser bien elaborado, ya que esto servirá para determinar de manera óptima la localización, capacidad y tecnología al ser instalada un sistema de protecciones como la instalación de bayonetas con su respectiva puesta a tierra, ya que de estos factores dependerá el monto de la inversión que deberá montarse.

El objetivo general de la investigación fue determinar la influencia del sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca. El actual trabajo se justifica de manera principal en el aspecto técnico, donde se da prioridad a la contribución para las empresas concesionarias que buscan mejorar sus servicios en corte y reconexión minimizando el tiempo de operación. Ahora, en cuanto a equipos, como forma de funcionamiento, es importante utilizar energías adecuadas al sistema que ayuden a mantener la vida útil y así evitar efectos por variaciones de tensión eléctricas de diversos orígenes, que generan falsas lecturas, mal funcionamiento y deterioro inmediato. Por ende, el trabajo que se presenta tiene como estructura lo siguiente:

Capítulo I, se presenta el planteamiento y formulación del problema; también, el problema general y específicos; objetivo general y específicos; hipótesis general y específicas; justificación e importancia de la investigación, y los alcances de la investigación.

Capítulo II, trata de los antecedentes del problema, antecedentes nacionales e internacionales, el marco y bases teóricas de la investigación que comprenden temas relacionados a las variables del sistema de protección tipo bayoneta en la red primaria del alimentador, aspectos generales del área de estudio, y definición de términos básicos.

Capítulo III, se describe la metodología, tipo, nivel, método y diseño de la investigación; población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos: técnicas, instrumentos y técnica de procesamiento y análisis de datos.

Capítulo IV, se dan a conocer los resultados y discusión, resultados del tratamiento y análisis de la información, contrastación de la hipótesis general y la prueba de hipótesis específicas y finalmente la discusión e interpretación de resultados de la red primaria del alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca. Finalmente, se presentan las conclusiones llegadas sobre las hipótesis, en relación al problema y objetivos de investigación, recomendaciones, referencias y anexos que sirvieron para complementar el objetivo del trabajo de investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Los sistemas eléctricos en las clínicas y hospitales tienen necesidades diferentes a los que se requieren en una instalación de un suministro industrial o convencional, dado que tienen equipos especializados, muchos de ellos de un consumo alto y trabajan con la salud de las personas. En donde, temas como el nivel de tensión adecuado y la continuidad del suministro eléctrico son muy prioritarios para un adecuado funcionamiento de esta clínica, a fin de garantizar la protección y bienestar tanto de pacientes como del personal que trabaja en esta entidad.

El suministro eléctrico que actualmente tiene la clínica médico-quirúrgica Huancayo E. I. R. L. es una tarifa BT5 B con una potencia contratada de 14 kW. Suministrado por parte de la concesionaria Electrocentro S. A., actualmente ya cuenta con las instalaciones eléctricas interiores ejecutadas en los diferentes niveles de la clínica teniendo una potencia instalada de 12 kW.



**Tabla 1.**  
**Cuadro de cargas**

<b>Descripción</b>	<b>Pot. instalada</b>
<b>Oficinas</b>	2.3 kW
<b>Consultorios</b>	3.8 kW
<b>Farmacia</b>	2.3 kW
<b>Iluminación</b>	3.8 kW
<b>Total</b>	12.0 kW

Para el siguiente año, la clínica médico-quirúrgica Huancayo E. I. R. L. está proyectando implementar un tomógrafo y rayos X, llegando ambos a una potencia de 80 kW, por lo que requerirá de más consumo de energía. Es por este motivo el diseño de este sistema de utilización que se proyecta en base a este incremento de carga.

Teniendo como propósito abastecer el servicio de energía eléctrica que demanda, se diseñará un sistema de utilización en media tensión 10 kV, desde el punto de entrega hasta el tablero general de distribución. Sin embargo, teniendo en cuenta la ubicación y encontrarse tipificada como sector tipo 5 (rural) la clínica se encuentra en una zona donde se producen descargas atmosféricas con mayor frecuencia y esta a su vez produce sobretensiones en la red primaria, las mismas que ocasionarían las interrupciones del sistema eléctrico y deterioro de los equipos o artefactos eléctricos, por ende, resulta de vital importancia determinar de manera óptima la localización, capacidad y tecnología al ser instalada un sistema de protecciones como la instalación de bayonetas con su respectiva puesta a tierra, ya que de estos factores dependerá el monto de la inversión que deberá montarse.

En ese sentido, se requiere necesariamente de un sistema de utilización propia para dicha entidad.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo influye el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo es el sistema de protección en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca?

¿Cómo es el funcionamiento del sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Identificar el sistema de protección en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca.

Evaluar el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca.

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación científica**

Para desarrollar y analizar la protección de alimentadores, garantizado la eficiencia del servicio eléctrico.

### **1.3.2. Justificación teórica**

La investigación consideró teorías asociadas a la protección del sistema eléctrico de distribución, así como a la calidad del servicio eléctrico, dado que una correcta protección permite asegurar una calidad adecuada. Por tanto, esta investigación con los datos acopiados permite verificar la relación causal establecida por la teoría de manera que se contraste con la práctica.

### **1.3.3. Justificación tecnológica**

Se obtendrá mayor eficiencia y seguridad de operación respecto a la apertura y cierre del alimentador.

#### **1.3.4. Justificación metodológica**

Metodológicamente se ha empleado un diseño no experimental para evaluar el cumplimiento de las políticas nacionales y mundiales sobre las normas de electricidad, de manera que se alcance un sistema confiable y se reduzcan las interrupciones para otorgar una mejor calidad de suministro y producción de energía eléctrica.

#### **1.3.5. Justificación técnica**

La investigación de tesis tiene como fin contribuir a las empresas concesionarias que buscan mejorar sus servicios en minimizar las interrupciones. En cuanto a equipos, como forma de funcionamiento es importante utilizar energías adecuadas al sistema, que ayuden a mantener la vida útil de estos y evitar efectos por variaciones de tensión eléctricas de diversos orígenes, que ocasionan falsas lecturas, mal funcionamiento, deterioro inmediato, y para la sustitución de algún equipo eléctrico deteriorado o defectuoso, ocasionado por diferentes errores en el voltaje o potencial.

#### **1.3.6. Justificación económica**

La justificación económica es justificada, ya que no se requiere de un gran presupuesto, sino que se apoya en la experiencia de trabajo en la actividad de la ingeniería eléctrica.

### **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

#### **1.4.1. Hipótesis**

##### **1.4.1.1. Hipótesis general**

El sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca.

##### **1.4.1.2. Hipótesis específicas**

El sistema de protección en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca es deficiente

El sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho - Julcamarca es eficiente

## 1.4.2. Descripción de variables

### 1.4.2.1. Variable independiente (x)

Sistema de protección tipo bayoneta

### 1.4.2.2. Variable dependiente (y)

Alimentador A4007

### 1.4.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla 2.

*Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Valor final</b>	<b>Tipo de variable</b>
<b>Sistema de protección tipo bayoneta</b>	Zonas de protección para las descargas atmosféricas	kV	Numérico
	Sistema de protección interna y externa	A	Numérico
	Medidas de protección	kV	Numérico
	Receptor solar bayoneta	A	Numérico
	Tubo bayoneta	L	Numérico
	Formación del rayo		Numérico
	Descargas atmosféricas	kV	Numérico
<b>Alimentador A4007</b>	Tipos de subestación	V	Numérico
	Transformador de distribución	VA	Numérico
	Características del alimentador	kV	Numérico
	Relés de corriente	A	Numérico
	Generación distribuida	MW	Numérico

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

Se revisaron diferentes artículos como también tesis de páginas web como Proquest, Ebsco, Scielo entre otros, se hizo una revisión acerca del tema, para así obtener mayor información y ver los diferentes puntos de vista de distintas personas, a nivel nacional e internacional.

“Es un sistema para diagnóstico de fallas en transformadores a través de mediciones cromatográficas de los gases disueltos en el aceite y su procesamiento utilizando la lógica difusa, herramienta eficaz de la inteligencia artificial, como método para el diagnóstico” (1). A esto, Sebastián y col. opinan que:

En este documento se presenta el desarrollo de un prototipo para el monitoreo remoto de la temperatura presente en transformadores de distribución. El sistema opera con dos señales de entrada, una proveniente de la temperatura existente en la parte interna del transformador, y otra correspondiente a la medición del valor ambiente. Posteriormente, las señales pasan a una etapa de acondicionamiento por medio de amplificadores operacionales, para finalmente ser transmitidas mediante módulos de radiofrecuencia (2).

Se define al sistema de protección como “una combinación de equipos de protección destinados a la obtención bajo condiciones predeterminadas, por lo general anormales, de la desconexión de un elemento de un sistema de energía, o para dar una señal de alarma, o ambos” (3).

La función de un sistema de protección se puede definir como: “la detección y pronto aislamiento de la porción afectada del sistema, ya sea que ocurra un corto circuito, o bien, en otra condición anormal que pueda producir daño a la parte afectada o a la carga que alimenta” (4).

Este trabajo de graduación se enfoca en “el diseño del alimentador en media tensión 10 – 22.9 kV y subestación compacta de 160 kVA para mejorar la confiabilidad de las instalaciones eléctricas, con el adecuado suministro de energía eléctrica y brindar cobertura al incremento de carga eléctrica” (5), suministrada a la empresa Servicio de Administración Tributaria de Trujillo – SATT. Reinoso menciona también:

Se define que los transformadores son máquinas que desempeñan un papel muy importante en un sistema eléctrico, ya que la falla de estos equipos afecta significativamente el desempeño de muchas actividades comerciales e industriales que producirían grandes pérdidas económicas. En algunas situaciones los transformadores suelen ser sobrecargados, y estas condiciones de carga pueden ser soportadas o no, por lo que explica las condiciones más comunes de sobrecarga del transformador y como puede llegar a afectar al transformador. Los aislamientos sólidos constituyen la parte más sensible que determinan la vida útil del transformador, también se presentan los conceptos a tomar en cuenta para determinar la pérdida de vida de los transformadores en función de los aislamientos de acuerdo a la norma IEEE C57.91.1995, y los pasos para calcular las características térmicas del equipo con el ensayo de calentamiento. Una vez conocidas las capacidades térmicas de la unidad, el capítulo 4 da las opciones más comunes de protección ante sobrecargas y sobrecorrientes de falla para transformadores de distribución, cuidando la adecuada coordinación entre ellas. Finalmente,

en el capítulo 5 se ha desarrollado un ejemplo de aplicación de los conceptos de pérdida de vida útil del transformador, la selección y coordinación de protecciones para dos tipos de transformadores de similares características eléctricas que han sido ensayados para determinar las características térmicas respectivas (6).

En este artículo se presenta una metodología para “la estimación de parámetros en transformadores de distribución considerando medidas de tensión y corriente mediante un modelo matemático de programación no lineal (PNL)” (7). Este modelo de programación es desarrollado a través de “la aplicación de las leyes de Kirchhoff al modelo del circuito equivalente del transformador” (7). Cerón y col. mencionan:

En este artículo se presenta un desarrollo metodológico novedoso para la estimación de la temperatura de punto caliente en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral, utilizando regresión con vectores de soporte (RVS). El algoritmo RVS se fundamenta en la teoría de aprendizaje estadístico y hace parte de las herramientas de aprendizaje automático, fue utilizado mediante la implementación de seis etapas, donde se obtiene un modelo de RVS capaz de estimar la variable bajo estudio (8). Simeón menciona:

Los seccionadores fusibles mejoran los indicadores de confiabilidad, puesto que permiten aislar el área donde se encuentra el elemento fallado, logrando reponer el servicio eléctrico en áreas donde no exista la falla, mientras se realiza la reparación del elemento fallado. Un equipo de protección ubicado adecuadamente en un alimentador permite interrumpir una falla en su zona de actuación, de esta manera permite la continuidad del servicio eléctrico aguas arriba del equipo instalado, logrando que exista una menor cantidad de usuarios afectados por las interrupciones (9). Breffe *et al.* mencionan que:

Las producciones de régimen continuo, como las empresas de níquel, requieren del trabajo estable de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)

frente a las averías, por lo que la instalación de protecciones que actúen u operen solo cuando estas ocurran, desconectando rápidamente la zona o equipo averiado, se hace necesaria para evitar la propagación del daño por todo el SEP. El funcionamiento inadecuado de las protecciones incrementa los costos de producción en una industria; para garantizar el buen funcionamiento de estas se requieren herramientas como los simuladores digitales de protección. Este artículo trata de la modelación y simulación de las protecciones eléctricas que utilizan los transformadores de potencia en dos industrias niqueleras cubanas. Mediante el empleo de una Biblioteca Virtual de Protecciones Eléctricas creada en *Matlab/Simulink*, se analiza el comportamiento de los sistemas de protecciones instalados en ambas industrias, se detectan deficiencias y se ofrecen las soluciones adecuadas para evitar tanto el aumento de los costos de mantenimiento como las desconexiones inoportunas u operaciones incorrectas (10).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Sistema de protección**

El sistema de protección para el alimentador se define como la protección del alimentador desde la falla para que la red eléctrica continúe suministrando la energía. El alimentador inyecta la energía eléctrica desde la subestación hasta el final de la carga. Por lo tanto, es esencial proteger el alimentador de los distintos tipos de fallas. El principal requisito de la protección del alimentador es (11):

- Durante el cortocircuito, el interruptor más cercano a la falla debería abrirse y todos los demás interruptores permanecerán en una posición cerrada (11).
- Si el interruptor más cercano al fallo no se abre, la protección de respaldo debe ser proporcionada por el interruptor adyacente (11).
- El tiempo de funcionamiento del relé debe ser pequeño para mantener la estabilidad del sistema sin tener que disparar un circuito (11).

Una lista de los dispositivos disponibles para la protección de líneas eléctricas se muestra a continuación (12):



### **2.2.1.1. Fusibles**

Un fusible es un dispositivo de protección de sobrecorriente, que posee un elemento que se calienta directamente por el paso de la corriente y se destruye cuando la corriente supera un valor predeterminado. Por lo tanto, un fusible seleccionado adecuadamente debería abrir el circuito mediante la destrucción del elemento fusible, así eliminar el arco establecido durante la destrucción del elemento y luego mantener las condiciones del circuito abiertas con voltaje nominal aplicado a sus terminales (es decir, sin arcos a través del elemento fusible) (12).



*Figura 1. Fusible*

La mayoría de los fusibles utilizados en los sistemas de distribución funcionan según el principio de expulsión, es decir, tienen un tubo para confinar el arco, con el interior cubierto con fibra desionizante y un elemento fusible. Al existir una falla, la fibra interior se calienta cuando el elemento fusible se funde y produce gases desionizantes que se acumulan en el tubo. Este proceso hace que el arco se comprima y se expulse del tubo. De esta manera, el arco se extingue cuando se alcanza el cero actual. La presencia de estos gases desionizantes y la turbulencia dentro del tubo aseguran que la corriente de falla no se restablezca después de que la corriente pase por el punto cero.

### **2.2.1.2. Seccionadores**

Un seccionador es un dispositivo que aísla automáticamente las secciones con fallas de un circuito de distribución una vez que un interruptor ascendente o el reconectador en sentido ascendente interrumpieron la corriente de falla y, por lo general, se instala aguas abajo de un reconectador. Dado que los seccionadores no tienen capacidad para interrumpir la corriente de falla,

deben usarse con un dispositivo de respaldo que tenga capacidad de interrupción de la corriente de falla. Asimismo, los seccionadores cuentan el número de operaciones del reanclador en condiciones de falla. Después de un número preseleccionado de aberturas de reanclador, y mientras el reanclador está abierto, el seccionador abre y aísla la sección defectuosa de la línea. Esto permite que el reanclador cierre y reestablezca los suministros en aquellas áreas libres de fallas. Si el fallo es temporal, se restablece el mecanismo de funcionamiento del seccionador (12).



*Figura 2. Seccionador*

### **2.2.1.3. Reconectores**

Un reconector es un dispositivo con la capacidad de detectar condiciones de sobrecorriente de fase y de fase a tierra, y puede interrumpir el circuito si la sobrecorriente persiste después de un tiempo predeterminado, y luego volver a cerrarse automáticamente para volver a energizar la línea. Si la falla que originó la operación aún existe, entonces el reconector permanecerá abierto después de un número predeterminado de operaciones, aislando así la sección con falla del resto del sistema (12).



**Figura 3. Reconectador**

El reconectador debe funcionar cuando la corriente residual excede el valor de configuración, como ocurriría durante fallas a tierra. Asimismo, los reconectadores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- ✓ **Monofásico:** los reconectadores monofásicos se utilizan cuando la carga es predominantemente monofásica.
- ✓ **Trifásico:** los reconectadores trifásicos se utilizan cuando es necesario desconectar las tres fases para evitar una carga desequilibrada en el sistema.
- ✓ **Mecanismos con funcionamiento hidráulico:** cuando la corriente excede el valor de configuración, la bobina atrae un pistón que abre los contactos principales del reconectado e interrumpe el circuito. La característica de tiempo y la secuencia de operación del reconectado dependen del flujo de aceite en diferentes cámaras.
- ✓ **Mecanismo de control electrónico:** usualmente se ubica fuera del reconectado y recibe las señales actuales de un buje de tipo CT. Cuando la corriente supera el ajuste predeterminado, se inicia un disparo retardado que finalmente da como resultado que se transmita una señal de disparo al mecanismo de control del reconectado. El circuito de control determina la posterior apertura y cierre del mecanismo, dependiendo de su configuración. Además, este tipo de reconectadores utiliza un mecanismo de bobina o motor para cerrar los contactos.

#### **2.2.1.4. Relés de corriente**

Los relés de retardo de tiempo pueden tener una característica de tiempo inverso o una característica de tiempo definido. El relé de tiempo inverso tendrá una característica de tiempo-corriente que es similar en forma, no necesariamente en magnitud. Hay dos configuraciones para los relés de corriente dependientes del tiempo, la corriente de activación y el retardo de tiempo (12).

La corriente de activación debe configurarse de modo que la activación (la corriente más baja donde opera el relé) se encuentre entre la corriente de funcionamiento normal y la corriente de falla mínima, con algunos márgenes en ambas direcciones.

El tiempo de retardo es el parámetro que determina si es un relé de tiempo inverso o un relé de tiempo definido. La característica de temporización se logra de diferentes maneras para diferentes tipos de relés. Los retrasos se utilizan para garantizar la coordinación entre los dispositivos de protección en la red.

#### **2.2.2. Sistema de protección tipo bayoneta**

Este tipo de protección son para aquellas tensiones nominales 11.4 kV y 13.2 kV hasta tensiones máxima de servicio 12.5 kV y 14.5 kV para sistema trifásico trifilar (13).

Donde los fusibles serán instalados en transformadores de pedestal tipo radial o en anillo (entrada - salida). Donde el material debe ser utilizado dentro de un portafusible y debe ser coordinado con el fusible limitador de corriente interno al transformador de pedestal.

Existen dos tipos de fusibles tipo bayoneta:

##### **2.2.2.1. Fusible sensor de corriente**

El fusible sensor de corriente del tipo bayoneta protege el transformador de pedestal en la eventualidad de una sobrecarga. Este tipo de fusible es ideal para el uso en un esquema de protecciones de dos fusibles, con un fusible limitador de corriente de respaldo. En este ajuste las fallas secundarias

y corrientes de sobrecarga son despejadas por el fusible tipo bayoneta, y las corrientes de falla son despejadas por el fusible limitador de corriente.

### 2.2.2.2. Fusible dual

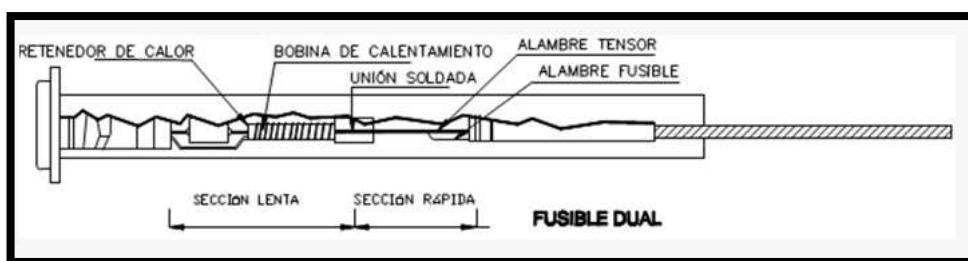
El fusible dual del tipo bayoneta no solo censa fallas en el secundario, corrientes de sobrecarga y adicionalmente la temperatura en el aceite del transformador. Este tipo de fusible también es ideal para el uso en un esquema de protecciones de dos fusibles, con un fusible limitador de corriente de respaldo. En este ajuste las fallas secundarias y corrientes de sobrecarga son despejadas por el fusible tipo bayoneta, y las corrientes de falla son despejadas por el fusible limitador de corriente.

Ya sea para los dos tipos de fusibles bayoneta, el fusible tipo bayoneta como el fusible limitador de corriente de respaldo van conectados en serie y están coordinados entre sí para que el fusible limitador de corriente opere solamente en caso de un daño interno del transformador.

Este tipo de fusible está compuesto por los siguientes componentes:

- Cabeza
- Terminales de arco
- Retenedor de calor cerámico
- Bobina de calentamiento
- Alambre tensor
- Alambre fusible
- Cola de cable extraflexible.
- Tubo autoextinguidle en fibra vulcanizada

Para un mejor entendimiento, ver la figura 4:



**Figura 4. Partes de fusible dual**

### 2.2.3. Variable dependiente:

Como variable dependiente, Electrocentro S. A. posee un espacio de ejercicio concreto, para una mejor ocupación de sus sistematizaciones y se encuentra fraccionada en módulos de negocio que abarcan los departamentos de Huancavelica, Junín, Ayacucho, Huánuco, Pasco y parte de Cuzco (Kimbiri y Pichari), tabla 3.

**Tabla 3.**  
**Sistemas eléctricos por unidad de negocio**

Empresa	Unidad de Negocio	Departamento	Servicio eléctrico
Electrocentro S. A.	Ayacucho	Ayacucho	Ayacucho, Cangallo, Tambo San Miguel, Churcampa, San Francisco, Huanta
	Huancavelica	Huancavelica	Huancavelica, Lircay, Acobamba, Pampas, Colcabamba-Restitución, Tablachaca, Huancavelica Norte
	Huancayo	Junín	Huancayo
	Valle del Mantaro	Junín	Jauja, Concepción, Chupaca, Comas Andamarca, Alto Cunas
	Tarma	Junín	Tarma, Yauli Oroya, Junín, Carhuamayo
	Selva Central	Junín	Chanchamayo, Pozuzo, Villa Rica, Oxapampa, Pichanaki, Satipo
	Pasco	Pasco	Pasco, Vicco-Shelby, Goyllarisquizga, Huariaca, Paucartambo
	Huánuco	Huánuco	Huánuco, La Unión
	Tingo María	Huánuco	Tingo María, Aucayacu

Electrocentro S. A. posee un espacio geográfico de 133,255 km<sup>2</sup> y una franja de licencia de 6,303 km<sup>2</sup>, estando como las empresas de repartición con mayor ramificación a nivel nacional.

Para la fuente de indagación real y actual acerca de las variables de investigación se ha acudido al Instituto Nacional de Estadística (INEI), a la Base Estadística del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), al Área Comercial de Electrocentro S. A. y a las publicaciones estadísticas de Osinergmin.

### **2.2.3.1. Alimentadores**

Los alimentadores constituyen la parte de un sistema de distribución que transporta energía desde una subestación receptora o punto de alimentación del sistema donde la tensión baja a niveles de distribución hasta los primarios de los transformadores de distribución. Conformados por ramales principales o troncales con calibres grandes de conductor y las derivaciones laterales que se derivan de las troncales con conductores de menor calibre.

### **2.2.3.2. Alimentadores en marcha**

En el 2009, ha sido implementado con la nueva línea de transmisión Huayucachi – Huancayo, este en 60 kV de 11.56 km, juntamente con la subestación de potencia ubicada en el distrito de Palián denominada SET Huancayo Este de 60/22.9/10 kV-10/5/10 MVA. Así mismo, Electrocentro ha realizado la implementación de la línea Chala Nueva – Machu de 31.23 km en 33 kV, junto con la subestación Machu de 33/22.9/13.2 kV 2.5/1/1.5 MVA, con la finalidad de poder abastecer nuevas cargas de clientes importantes y el crecimiento de la demanda de las localidades de Chongos (A4331), Moya (A4332) y Pampahuasi (A4333).

Del análisis correspondiente se recomienda la implementación de las siguientes instalaciones complementarias:

### **2.2.3.3. Operatividad general del alimentador A4007**

- **Características técnicas**

Los voltajes nominativos de los alimentadores BC124, A4007, HG405 es de 22 GNY/12.7 kV con una distribución trifásica a cuatro conductores, tres fases más el neutro corrido y puesto a tierra desde la subestación, con una potencia de 5,292.5 kVA, correspondientes a 39 transformadores monofásicos y 57 transformadores trifásicos, abarcando una longitud de red de aproximadamente 15 km, y su topología de red es de tipo radial.

Las guías son del tipo ACSR, con dimensiones 3/0 AWG y 1/0 AWG para las fases, 1/0 AWG y 2 AWG para el neutro. Las distribuciones de soporte son céntricas y sobrevoladas, con crucetas galvanizadas y los directores para la red

secundaria varían para cada transformador, dentro de este alimentador en ocupación de las longitudes y densidades de demandas; sin embargo, se puede considerar de manera general conductores 2/0 para las fases y 1/0 para el neutro.

Las acometidas en la red secundaria para los medidores de energía se efectúan mediante guía de cobre concéntrico 2x8 AWG tipos TW, THHN o XLPE.

**Tabla 4.**  
**Características del alimentador BC124, A4007 y HG405**

Alimentador	Nivel de voltaje	Ubicación	Potencia instalada	Longitud km	Topología	#transformadores	
						Trifásico	Monofásico
124	22GndY/12.8	Centro urbano	5292.5	15	Radial	57	39

#### 2.2.3.4. Área de servicio

El área servida todavía por el alimentador, abarca el centro urbano de la ciudad de Julcamarca que es uno de los 12 distritos de la provincia de Angaraes, ubicada en el departamento de Huancavelica, que comprende unos 0.514 km<sup>2</sup> (51,4 ha) limitado: al norte por la Av. Juan Bautista Cordero; al sur por la Av. Aurelio Jaramillo; al este por las calles Oriente, 4 de noviembre, Atahualpa y José Joaquín Olmedo; y al oeste por la Av. 24 de mayo.

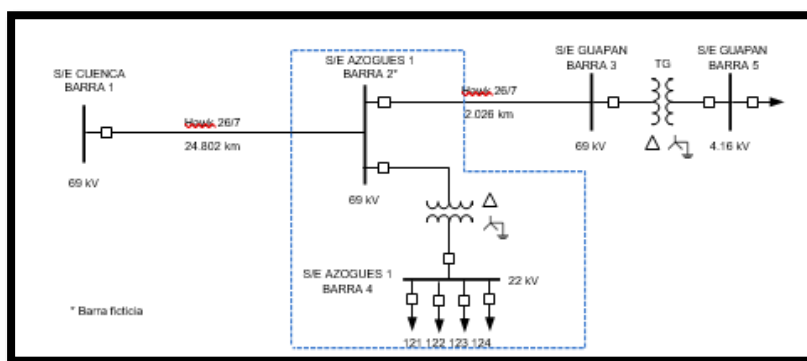
**Tabla 5.**  
**Características de la subestación**

Nombre Subestación	Ubicación			Voltaje (kV)		Aceite y aire (MV A)	Aire forzado (MVA)	Aceite y aire forzado (MVA)
	Provincia	Departamento	Distrito	Voltaje 1	Voltaje 2			
Julcamarca	Angaraes	Huancavelica	Julcamarca	22	69	10	10	12.5
Total general						10.00	10.00	12.50

#### 2.2.3.5. Información de la subestación

En el caso de estudio se efectúa un breve cuadro de la subestación donde se deriva el alimentador. La subestación se encuentra ubicada en el sector de Julcamarca, provincia de Angaraes, perteneciente al departamento de Huancavelica, entró en funcionamiento en el 2004. El transformador de dicha subestación es de 10-12.5 MVA ONAN-ONAF.





**Figura 5. Diagrama unifilar de la subestación**

### 2.2.3.6. Información de transformadores de distribución

Los ejes de transformación en el alimentador están formados casi en su integridad por estaciones trifásicas y monofásicas aéreas y algunos transformadores particulares en su mayoría, las cuales cubren toda el área urbana en el centro histórico de la ciudad.

La malla secundaria mayormente es trifásica con una topología 3F4C, con un nivel de voltaje de 220 GNDY/127 V, las guías son del tipo ACSR, con dimensiones 2/0 (1/0) AWG para las fases y 1/0 (2) AWG para el neutro. En los transformadores monofásicos el ras de voltaje secundario es 240-120 V.

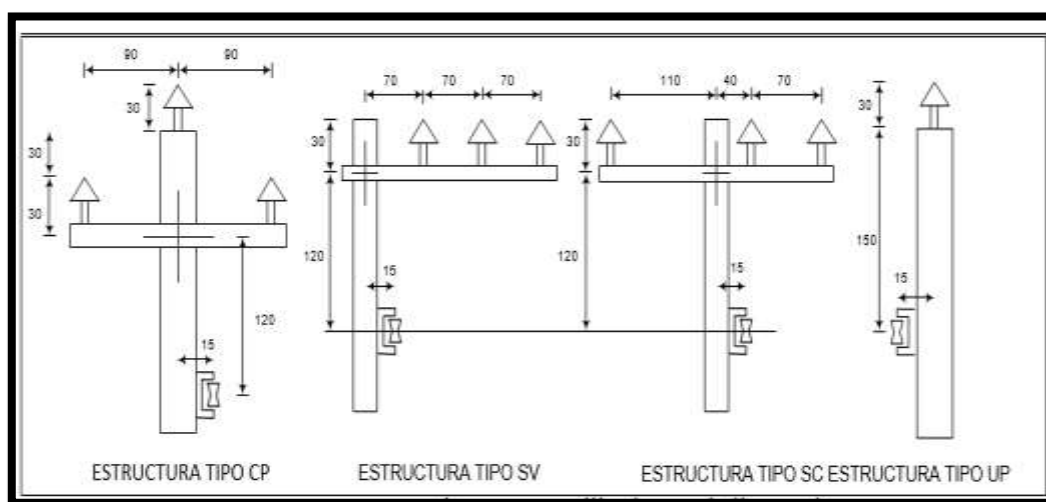
La gabela total cimentada en el alimentador es de 5.292,5 KVA. Proporcionado a 96 transformadores, la cual encarna el 21% del general de carga colocada en el sistema de repartición. El detalle de los transformadores del alimentador se presenta en la tabla 6.

**Tabla 6.**  
**Detalle de transformadores en el alimentador**

Detalle de transformadores en el alimentador		
Transformadores	Cantidad	Carga instalada (KVA)
Monofásico	39	1147
Trifásico	57	4145.5
Total	96	5292.5

### 2.2.3.7. Información de estructuras

Existen varias colocaciones presentes en el sistema de repartición en media tensión de la E.E.A.C.A., sin embargo, se han estimado únicamente las estructuras principales, que permiten modelar los aparatos a través de la distancia media geométrica, para la elaboración de las impedancias de secuencia positiva y cero. Las distribuciones están compuestas por perfiles galvanizados o crucetas de madera tratada, montadas en postes de hormigón armado de 11, 12 y 13 m; y autosoportantes de 14 m. Para la forma, se han apreciado las estructuras más características en todo el alimentador y siendo la predominante la estructura de tipo SC.



**Figura 6. Estructuras más comunes utilizadas en el alimentador**

### 2.2.3.8. Datos de luminarias

El alumbrado público se ejecuta con luminarias de sodio de 150 W y 250 W con atribución propia, como se indica en la tabla 7, y 366 luminarias de 250 W del tipo doble potencia que marchan a gran valor de 18:30 h a 22:30 h y de 22:30 h a 6:00 h, baja el 30%.

**Tabla 7. Detalle de luminarias en el alimentador**

Tipo luminaria	Potencia (w)	Cantidad	Potencia total
Sodio	150	3142	471.30
	250	1780	445.00
Total		4922	916.30

### **2.2.3.9. Julcamarca – Ayacucho**

La situación actual del alimentador se caracteriza por:

- Una red eléctrica aérea con muchos años de explotación (35 años aproximadamente).
- Imagen urbana muy deteriorada debido al cruzamiento de las redes eléctricas aéreas primarias y secundarias, redes aéreas telefónicas y de TV cable.
- Cercanía extrema de las redes a las edificaciones.
- Alto riesgo de electrocución, debido a la cercanía del alimentador primario y redes secundarias con las edificaciones, que atenta contra la salud e integridad de las personas y crea un fuerte impacto ambiental.
- Incremento progresivo de la demanda, debido, principalmente al crecimiento comercial en el área.



***Figura 7. Impacto paisajístico causado por el alimentador en distribución aérea (14)***



*Figura 8. Impacto paisajístico causado por el alimentador en distribución aérea (5)*

**a. Población servida**

En la actualidad el alimentador sirve en su mayor parte al centro urbano de la ciudad, concentrado en edificaciones, locales comerciales, administrativos y residenciales.

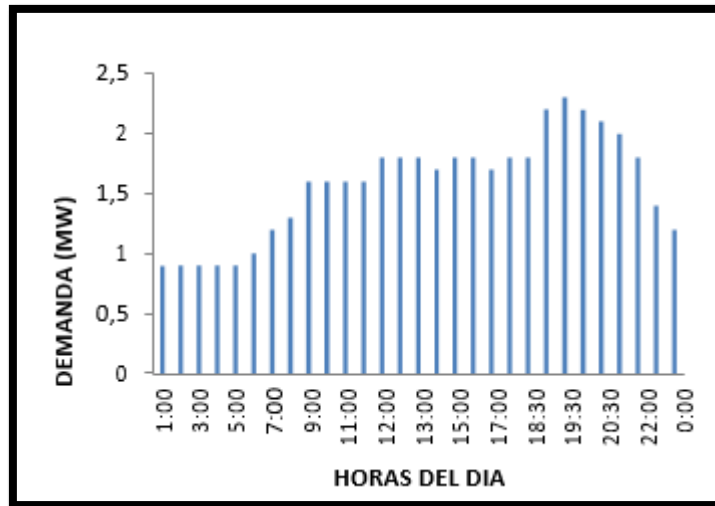
**b. Demanda**

Los cálculos realizados en la subestación en el mes de diciembre del año 2009 permiten obtener los valores de demandas del alimentador, así como factores característicos de la carga. Aquí se resumen los valores recabados de la medición.

**Tabla 8.**  
***Demanda media en la alimentación***

Demanda media en la alimentación 124 azogues						
Hora	Corrientes			Potencias		F.P.
	A	B	C	MW	MVAR	
01:00	18	18	25	0.9	0.4	0.91
02:00	20	18	25	0.9	0.4	0.91
03:00	18	18	25	0.9	0.4	0.91
04:00	18	18	25	0.9	0.4	0.91
05:00	18	18	25	0.9	0.3	0.95
06:00	20	20	25	1	0.3	0.96
07:00	25	25	40	1.2	0.3	0.97
08:00	40	40	50	1.3	0.4	0.96
09:00	50	50	56	1.6	0.5	0.95
10:00	50	50	56	1.6	0.5	0.95
11:00	50	50	56	1.6	0.5	0.95
11:30	50	50	56	1.6	0.5	0.95
12:00	56	56	62	1.8	0.5	0.96
12:30	56	56	62	1.8	0.5	0.96
13:00	56	56	62	1.8	0.5	0.96
14:00	53	53	57	1.7	0.5	0.96
15:00	53	54	60	1.8	0.5	0.96
16:00	56	56	62	1.8	0.5	0.96
17:00	56	53	57	1.7	0.5	0.96
18:00	56	55	60	1.8	0.5	0.96
18:30	55	52	60	1.8	0.5	0.96
19:00	62	62	72	2.3	0.5	0.98
19:30	64	64	72	2.3	0.5	0.98
20:00	62	62	70	2.2	0.5	0.98
20:30	60	60	68	2.1	0.5	0.97
21:00	59	59	66	2	0.5	0.97
22:00	50	50	60	1.8	0.5	0.96
23:00	40	40	50	1.4	0.5	0.94
00:00	28	28	30	1.2	0.5	0.92
Promedio				1.572	0.4621	0.95
Fecha: jueves 17 dic. 2009						

El cuadro siguiente representa la demanda cotidiana de la tabla 8, para la fecha indicada con lo cual se puede establecer el factor de carga.



*Figura 9. Estadística de carga diaria tomada al 17 de dic. 2009*

### c. Calidad

Los valores mínimos de calidad y procedimientos técnicos de medición y evaluación a los que deben someterse las empresas distribuidoras del servicio eléctrico.

En base a este, entre otros párrafos se resuelve expedir una regulación sobre la calidad del servicio eléctrico de distribución.

Dentro de esta regulación, en las disposiciones generales, se determina que estos serán medidos considerando los siguientes aspectos:

- **Calidad del producto:**
  - a. Nivel de voltaje
  - b. Perturbaciones de voltaje
  - c. Factor de potencia
  
- **Calidad del servicio técnico:**
  - a. Frecuencia de interrupciones
  - b. Duración de interrupciones
  
- **Calidad del servicio comercial:**
  - a. Atención de solicitudes

- b. Atención de reclamos
- c. Errores en medición y facturación

La empresa Electrocentro S. A. opera de la mejor manera viable estos índices de calidad, prometiendo garantía y seguridad a todos sus clientes para mantenerse dentro de las normativas que se establecen.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Corriente de malla:** es una técnica de análisis de mallas, funciona asignando arbitrariamente la corriente de una malla en una esencial. Una malla esencial es un lazo que no contiene a otro lazo.
- **Caída de tensión:** es la diferencia de potencial eléctrico presente entre los extremos de cualquier conductor, semiconductor o aislante.
- **Monofásico:** sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica que se genera por una corriente alterna o fase, para luego obtener un voltaje que varíe del mismo modo.
- **Trifásico:** sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica que se genera por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente valor eficaz), que presentan un desfase entre ellas de  $120^\circ$ , y están dadas en un orden determinado.
- **Válvula de sobrepresión:** alivia la presión interna del tanque cuando esta rebasa los límites seguros de operaciones.
- **Fusible *bayonet current sensing*:** protege el equipo de corrientes dañinas del sistema de distribución interno en el conjunto bayoneta.
- **Fusible de expulsión:** respalda la operación del interruptor, actuando como una protección de sobrecorriente aislando el transformador fallando de la red.
- **Fusible *bayonet dual sensing*:** censa la corriente y adicionalmente monitorea la temperatura del punto caliente del equipo y limita el calentamiento de este por sobrecargar prolongadas o condiciones ambientales interno en el conjunto bayoneta.
- **Fusible imitador de corriente:** operan en caso de una falla interna del transformador o altas corrientes en el primario para proteger al sistema de distribución o de alimentación.

- **Válvula de drenaje:** para obtener muestra de aceite para poder realizar la prueba correspondiente.
- **Interruptor *Magnex*:** interruptor que protege al transformador de distribución de sobrecargas y fallas secundarias.
- **DSP (pararrayo) tipo codo:** protege el transformador contra el aumento repentino de la tensión provocada por descargas atmosféricas o *switcheos*.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

El método que se aplicó en la investigación fue el analítico, debido a que se recopilaron datos del alimentador, respecto del sistema de protección y de la calidad del producto de energía, los cuales serán analizados según sus componentes e indicadores.

Asimismo, la investigación fue de alcance descriptivo-explicativo, tal como lo indicó Alonso (14). Fue descriptivo, ya que evaluó la situación actual del funcionamiento del alimentador en estudio y del sistema de protección que se viene empleando. Y fue explicativo, debido a que determinó la influencia que ha tenido el sistema de protección de distribución en la calidad de la energía suministrada.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación fue no experimental transversal explicativo, tal como lo sugiere Behar (15), toda vez que se realizó y recopiló la información del sistema de protección y de los fallos e interrupciones generados, los cuales son indicios de la calidad del servicio de energía eléctrica.



**Donde:**

M es la muestra de alimentadores del sistema de distribución;  $O_x$  es la observación de la variable independiente (esto es la protección del sistema); y  $O_y$  es la observación de la variable dependiente (esto referido a la calidad del producto de servicio de energía). La flecha muestra la dirección de relación causal.

Asimismo, la investigación tuvo un diseño longitudinal, dado que se evaluaron por los doce meses del año 2020.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

La unidad de análisis fue el alimentador de la subestación de distribución, es así como la población fue el total de alimentadores dentro del sistema eléctrico de Ayacucho.

#### **3.3.2. Muestra**

Teniendo en cuenta que los datos se toman a lo largo de los años, se estima una muestra que corresponde a un alimentador, el cual es el alimentador A4007 de la unidad de Ayacucho – Julcamarca.

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, toda vez que se tomó la información de los datos de todos, correspondientes al año 2020 del alimentador en estudio. Asimismo, se ha considerado solo un alimentador de la unidad, toda vez que el acceso a la información respecto a los planos y diseños, así como fallas de la unidad de Ayacucho es restringida por Electrocentro S. A.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

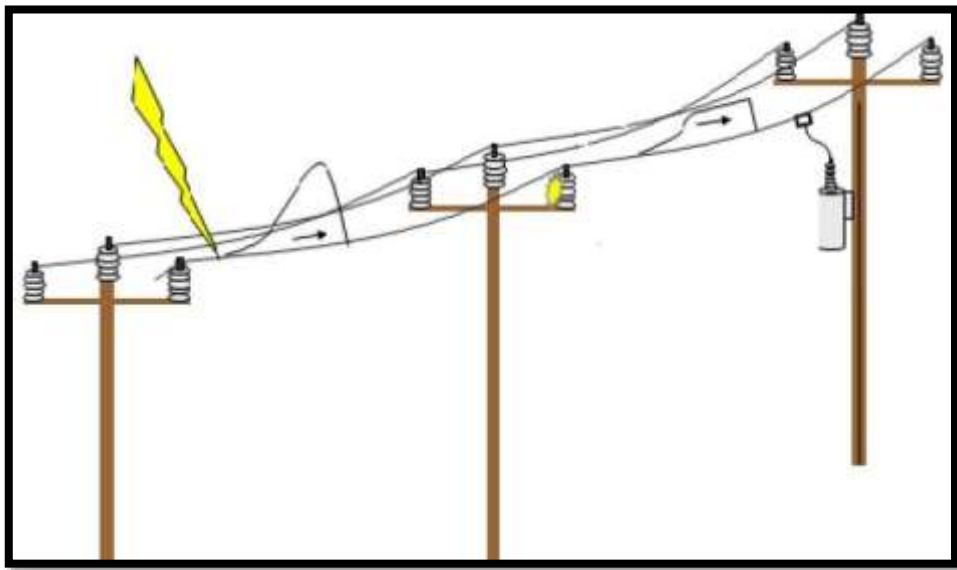
La técnica aplicada en la investigación viene a ser la observación y la revisión documental. Los datos se obtuvieron con el uso de medidores eléctricos y aparatos para establecer los indicadores de fallas y de calidad de energía

eléctrica. Es decir, para la variable dependiente e independiente, se utilizaron registros, fichas de observación, control y toma de lectura de los medidores del alimentador en estudio. Asimismo, los instrumentos usados son el analizador de redes (análisis y estudio del sistema) y se aplicaron *softwares* como el SPSS v.25.0 y el programa ETAP 12.6 para establecer la curva de coordinación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

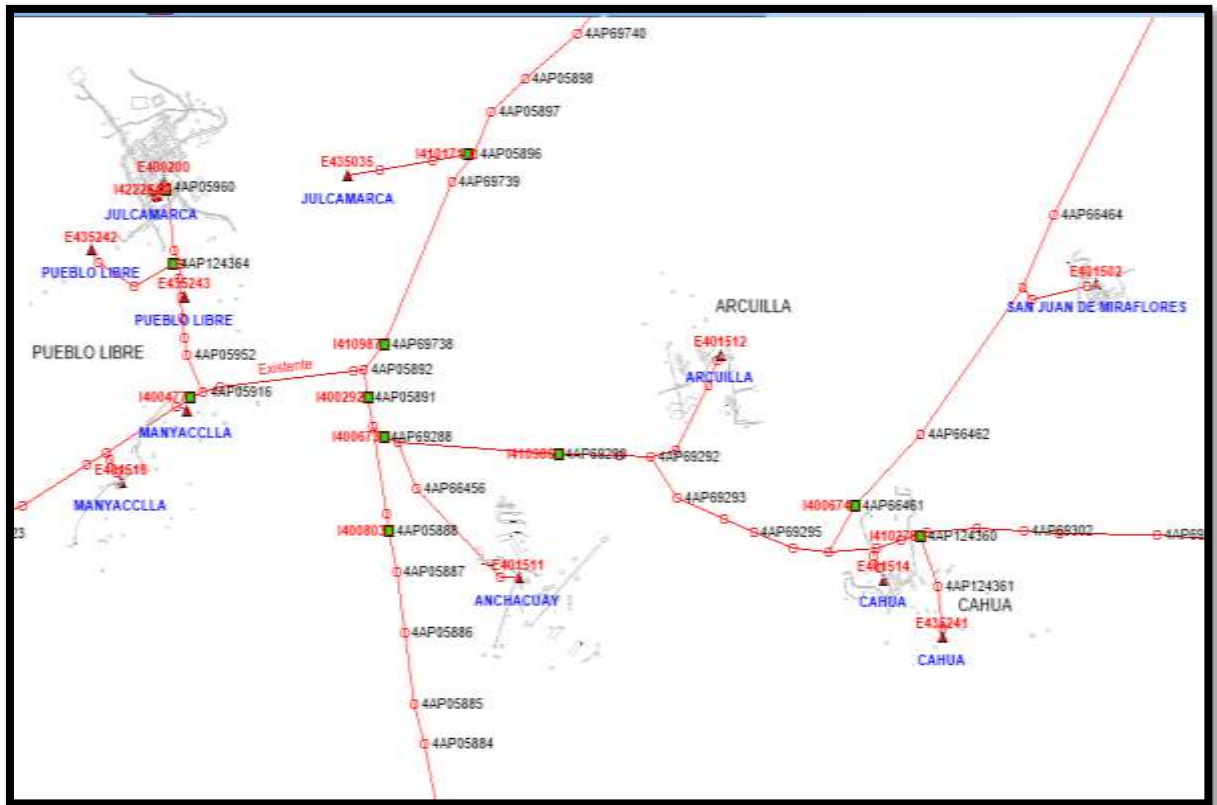


*Figura 10. Descarga atmosférica en el alimentador*

##### 4.1.1. Datos de la red de distribución

- **Longitud:** el tramo de tendido eléctrico que fue motivo de análisis inicia desde el sector Ayacucho (pórtico del alimentador A4007), hasta la localidad de Julcamarca como cola del alimentador A4007 y tiene una longitud de 27.3 km.

En la figura 11 se presenta el trazado de la red.



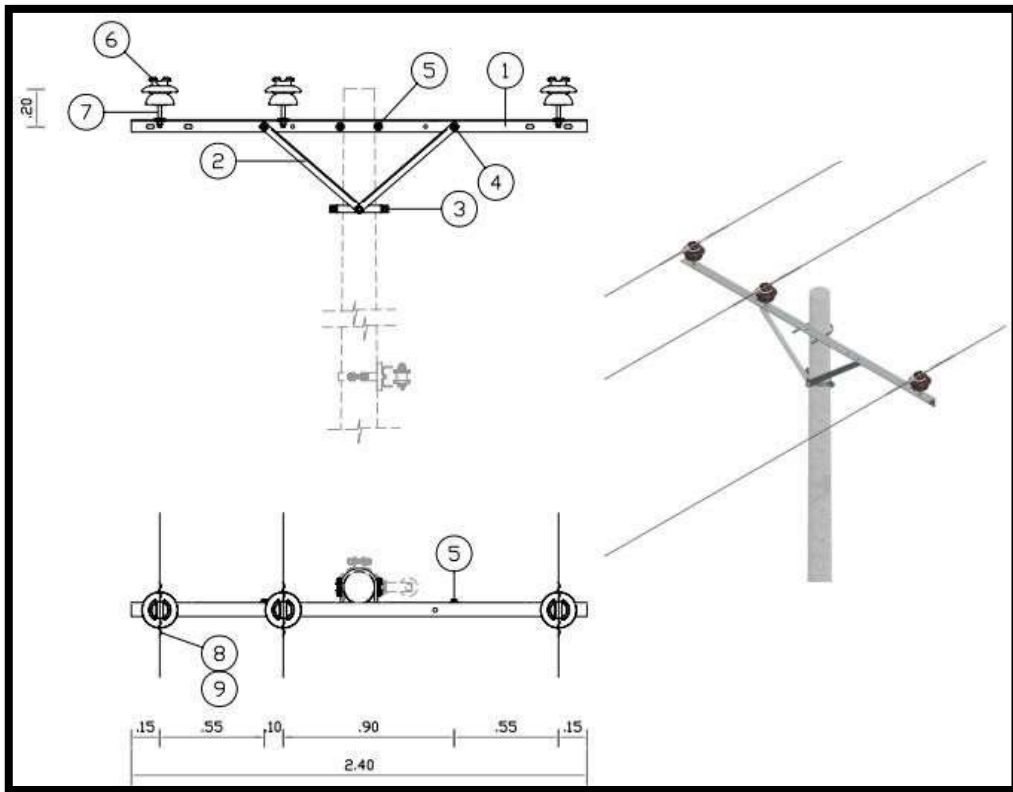
**Figura 11. Tramo de tendido eléctrico en análisis Ayacucho - Julcamarca**

- **Nivel de voltaje de la red:** trifásica 22.9 kV voltaje línea - Línea / 13.2 kV voltaje línea – neutro. Sistema multiaterrado 4 hilos.
- **Tipo de estructura:** trifásica – semicentrada – pasante o tangencial.

#### 4.1.2. Identificador UP-UC: ESV-PS3

##### Identificador UC: PS3

En la figura 12 se presenta la estructura mencionada y de igual manera la tabla 9, muestra los elementos que la conforman.



**Figura 12. Estructura PS3 para redes de distribución, con elemento y dimensiones**

**Tabla 9.**

**Elementos que conforman la estructura trifásica para distribución PS3**

Referencia	Cantidad	Descripción
1	1	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil L
2	2	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38*38*6*700 mm
3	1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, 3 pernos
4	1	Perno máquina de acero galvanizado, tuerca, arandela plana y presión
5	1	Perno "U" de acero galvanizado, 2
6	3	Aislador espiga (pin), porcelana, con radio interferencia, 25 kV, ANSI 56-1
7	3	Perno pin de acero galvanizado, rosca plástica
8	6	Alambre de Al, desnudo
9	3	Varilla de armar preformada simple, para cable de Al

- **Línea de blindaje o guarda:** no dispone de línea de guarda.

#### **Análisis de los parámetros de descargas**

A continuación, se determinan los parámetros de descarga que presenta la zona donde se encuentra emplazado el tramo en el cual se implementará el sistema de protección mediante bayonetas, como se indicó, los parámetros de descarga varían en función de la ubicación geográfica, los parámetros en cuestión son:

- Nivel cerámico
- Densidad de descargas a tierra

**Nivel cerámico:** para determinar el nivel cerámico de la zona de cobertura del alimentador y por consiguiente del tramo de tendido eléctrico del ejemplo planteado, se procede a ubicar la zona en el mapa cerámico de Ayacucho-Julcamarca, presentando un valor de 20 días de tormenta por año.

**Td = 20 días de tormenta por año**

**Densidad de descarga a tierra:** se aplica en la ecuación 1.

Ecuación 1. Nivel cerámico

$$Ng = 0.04Td^{1.25}$$

$$Ng = 0.04(20)^{1.25} = 1.70(\text{relámpagos}/\text{km}^2/\text{aio})$$

#### 4.1.3. Comportamiento de las líneas de distribución a las descargas eléctricas

En este apartado se procede a determinar dos factores importantes con respecto al comportamiento de las estructuras y líneas de distribución ante descargas atmosféricas y estas son:

- Rango de colección de rayos
- Protección por árboles y estructuras cercanas

#### Rango de colección de rayos

El rango de colección de rayos está expresado por el término N y define el total de descargas atmosféricas cada 100 km por año (descargas/100 km/año), y está en función de la densidad de descarga  $N_g$ , como lo muestra la siguiente expresión:

Ecuación 2. Ecuación de colección de rayos

$$N = N_g * \left( \frac{28h^{0.6} + b}{10} \right)$$

**Donde:**

N= rango de colección de rayos (rayo/100 km/año)

h= altura del poste (m)

b=ancho de la estructura (m)

$N_g$ = densidad de descarga (rayos/ km<sup>2</sup>/año)

Aplicando el ejemplo planteado, y considerando que, la altura del poste es de 12 m del cual 1.80 m está bajo tierra, la variable h= 10.20 m y el ancho de la estructura b=240 m se obtiene que:

$$N = 170 * \left( \frac{28(10.20)^{0.6} + 240}{10} \right) = 20 \text{ rayos}/100 \text{ km/año}$$

#### 4.1.4. Protección por árboles y estructuras cercanas

La vegetación (árboles) y estructuras (edificaciones) ubicadas a los costados de los postes donde se encuentran instaladas las redes de distribución



desempeñan un papel importante en la captación e interceptación de descargas atmosféricas.

El factor de protección  $S_f$ , para el caso de estudio planteado, fue determinado considerando las condiciones geográficas y ambientales del lugar donde se encuentra levantada la red de distribución, el mencionado factor está en función de la siguiente expresión:

Ecuación 3. Factor de protección de arboles

$$S_f = S_{f_{derecho}} + S_{f_{izquierdo}}$$

**Donde:**

$S_{f_{derecho}}$  = factor de protección del lado derecho

$S_{f_{izquierdo}}$  = factor de protección de lado izquierdo

El factor de protección  $S_f$ , para la red de distribución, se determinó un valor equivalente a 0.5; para determinar el valor mencionado se procedió al análisis de la trayectoria del tramo en cuestión, es necesario indicar que el 80% de la topología de la red de distribución presenta valores entre 0.4 y 0.7 para ambos lados y el 20% restante muestra valores bajos de protección entre 0.1 y 0, este particular se debe a la ubicación del tramo, el mismo se encontraba en lugares carentes de vegetación y estructuras cercanas o comúnmente llamado a campo abierto.

Una vez dimensionado el valor de  $S_f$ , se puede determinar el número de descargas directas ( $N_s$ ), considerando que la línea se encuentra protegida y se aplica la siguiente expresión:

Ecuación 4. Número de descargas directas

$$N_s = N[1 - (S_{f_{derecho}} + S_{f_{izquierdo}})] (\text{descargas} / 100 \text{ km} / \text{aio})$$

De manera que para la red de distribución en estudio fue:

$$N_s = 20[1 - (0.23 + 0.27)] = 10 \text{ descargas} / 100 \text{ km} / \text{aio}$$

En el supuesto caso que el tramo en estudio se encontrase en una zona donde el factor de protección sea igual a 0 (a campo abierto), se puede determinar los flameos inducidos a campo abierto utilizando la siguiente expresión:

Ecuación 5. Flameos inducidos (campo abierto)

$$\text{Flameos inducidos (campo abierto)} = N_g * 2 \text{ (rayos/100 km / aio)}$$

Para el ejemplo en mención se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Flameos inducidos (campo abierto)} &= 170 * 2 \\ &= 340 \text{ (rayos/100 km / aio)} \end{aligned}$$

Como se indicó, el tramo se encuentra ubicado en una zona donde, en la mayoría del trazado, existe vegetación y estructuras que pueden desviar las descargas atmosféricas y presenta un factor de protección  $S_f = 0.5$ , por consiguiente, los flameos inducidos para este tipo de estructuras que presentan este particular en su ubicación, se considera que los flameos por tensiones inducidas son dos veces los flameos inducidos en campo abierto, como se expresa a continuación:

Ecuación 6. Flameos inducidos

$$\text{Flameos inducidos} = 2 * \text{flameos inducidos a campo abierto (rayos/100 km/aio)}$$

Aplicando la ecuación 6 al ejemplo planteado, se tiene que:

$$\text{Flameos inducidos} = 2 * 3.40 = 6.8 \text{ (rayos/100 km/aio)}$$

Considerando que las descargas directas e inducidas provocan fallas, estas se pueden sumar y, así, determinar el número de fallas provocadas, cada 100 km, cada año como lo indica la siguiente expresión:

Ecuación 7. Fallas totales.

$$\text{Fallas totales} = \text{directas (Ns)} + \text{inducidas (fallas/100 km/aio)}$$

Para el caso de estudio obtenemos que:

$$Fallas\ totales = 10 + 6.80 = 16.80 \text{ (fallas/100 km/año)}$$

En la tabla 10 se presenta el resumen de los índices antes mencionados.

**Tabla 10. Resumen de análisis de descarga**

<b>Cuadro resumen del análisis de descargas</b>		
Nivel cerámico	20	[días de tormentas por año]
Densidad de descargas a tierra (Ng)	1.69	[rayos/100 km/año]
Rango de colección de rayos	19.49	[rayos/100 km <sup>2</sup> /año]
Factor de protección	0.5	Adimensional
Numero de descargas directas (Ns)	9.74	[descargas/100 km/año]
Flameos inducidos a campo abierto	3.38	[Flameos/100 km/año]
Flameos inducidos	6.77	[Flameos/100 km/año]
Fallas totales	16.51	[fallas/100 km/año]

#### **4.1.5. Voltaje de flameo de impulso critico (CFO) en la estructura UC-PS3**

##### **Antecedentes**

Anteriormente, en Ecuador, las estructuras de distribución estaban constituidas por crucetas de madera, aisladores de porcelana y metal, en la actualidad, las estructuras han experimentado cambios en los materiales de fabricación de sus elementos, por ejemplo, las crucetas de madera han sido reemplazadas por crucetas de acero galvanizado.

El cambio de material de fabricación conlleva a la variación de múltiples factores en la estructura de distribución en especial los relacionados con nivel de aislamiento como es el CFO y el BIL. indica que, al implementar elementos metálicos en las estructuras de distribución el nivel de CFO disminuirá drásticamente, haciendo a la estructura más vulnerable a sufrir flameos originados por descargas indirectas. Es necesario indicar que las estructuras de

distribución se encuentran homologadas para todas las empresas distribuidoras del país.

### **Determinación del voltaje de flameo de impulso crítico (CFO) en estructura UC-PS3**

Las estructuras de distribución están constituidas por varios elementos cuya misión es el aislamiento eléctrico, cada uno de estos elementos tiene un nivel de aislamiento específico.

En la tabla 11 se presenta el valor del CFO de los elementos que conforman las estructuras de distribución UC-3SP.

**Tabla 11.**  
**Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución**

Elemento	Valor de CFO
Aislador ANSI 56-1	150 kV
Cruceta de metal	0 kV
Cruceta de madera	360 kV
Aire	600 kV/m

Como se indicó, el CFO es el voltaje de flameo de impulso crítico y se define como el nivel de tensión al cual estadísticamente existe el 50% de probabilidad de flameo, y para determinar este factor se procede al análisis del CFO del aislamiento primario, adicionando a este el valor de incremento en CFO de los otros componentes de la estructura y está expresada de la siguiente forma:

Ecuación 8. Voltaje de flameo

$$CFO_{Total} = CFO_{ais} + CFO_{adsec} + CFO_{adter} + CFO_{adn}$$

**Donde**

$CFO_{ais}$  = CFO del primer componente

$CFO_{adsec}$  = CFO del segundo componente adicionado al primero

$CFO_{adter}$  = CFO del tercer componente adicionado al primero y segundo

$CFO_{adn}$  = adicionalmente n componentes

En la figura 13 se describe la estructura UC-PS3, la ubicación y distancias entre elementos.

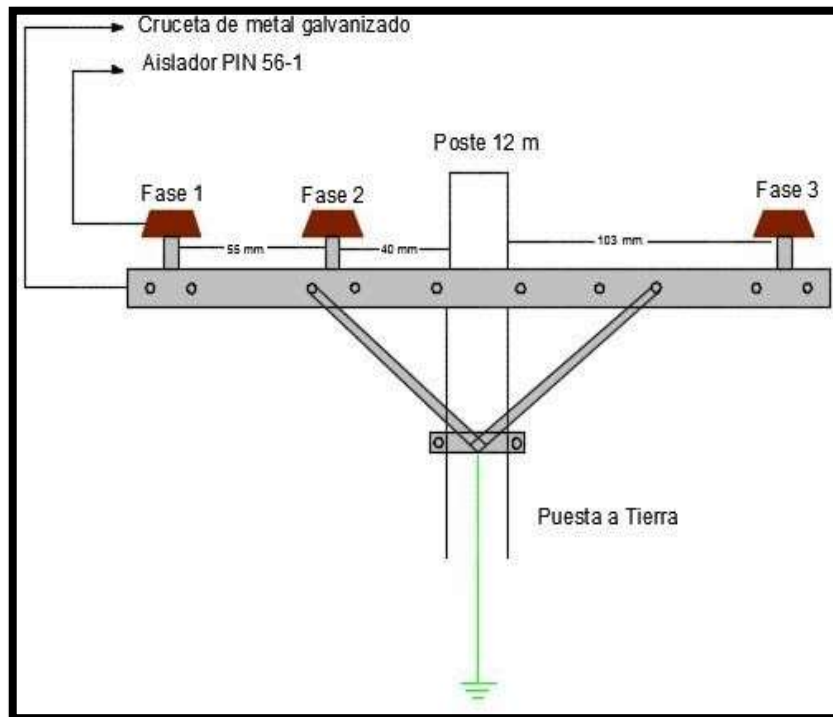


Figura 13. Ubicación y distancias de elementos en estructura de distribución UC-PS3

Tabla 12.

Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución

Desde	Trayectoria	Hasta	Valor CFO (kV)
Fase 1	Aire	Fase 2	$600 \cdot 0.55 \text{ m} = 330$
Fase 2	Aire	Poste	$600 \cdot 0.40 \text{ m} = 240$
Fase 3	Aire	Poste	$600 \cdot 1.03 \text{ m} = 618$
Fase 1	Cruceta	P. tierra	$150 + (0 \cdot 95 \text{ m}) = 150$
Fase 2	Cruceta	P. tierra	$150 + (0 \cdot 40 \text{ m}) = 150$
Fase 3	Cruceta	P. tierra	$150 + (0 \cdot 1.03 \text{ m}) = 150$
Valor mínimo de CFO			150

Por lo tanto, el valor de CFO para la estructura UC PS3 es de 150 kV.

Como se indica en las estructuras de distribución que presentan un valor de CFO inferior a 250 kV, están expuestas a experimentar flameos por descargas indirectas o inducidas, por lo tanto, a continuación, se plantea el mejoramiento del CFO, en especial, en las estructuras donde se instalaron los pararrayos.

## Mejoramiento del voltaje de flameo de impulso crítico (CFO) en la estructura UC-PS3

Considerando lo antes mencionado, y el bajo nivel de CFO presente en la estructura en estudio, se procede al mejoramiento de este índice tomando como ejemplo los casos presentes. Al incrementar un aislador en el poste de forma vertical, de similares características a los que están ubicados en la cruceta metálica se logra mejorar el índice en cuestión, la ubicación del elemento extra se realiza el análisis del CFO considerando el nuevo elemento y aplicando la ecuación 8.

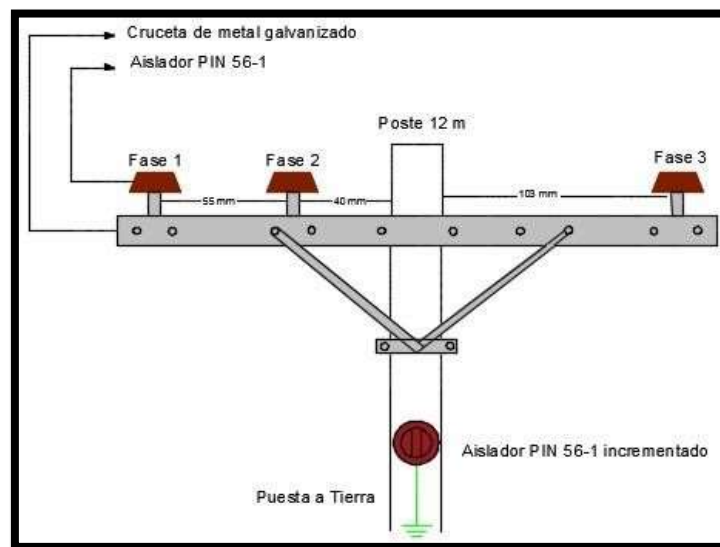


Figura 14. Incremento y ubicación de aislador ANSI 56-1 en estructura PS3

Tabla 13.

Valores de CFO para elementos de estructuras de distribución con incremento de aislador ANSI 56-1

Desde	Trayectoria	Hasta	Valor CFO (kV)
Fase 1	Aire- aislador	Fase 2	$600 \cdot 0.55 \text{ m} + 150 = 480$
Fase 2	Aire- aislador	Poste	$600 \cdot 0.40 \text{ m} + 150 = 390$
Fase 3	Aire- aislador	Poste	$600 \cdot 1.03 \text{ m} + 150 = 768$
Fase 1	Cruceta- aislador incrementado	P. tierra	$150 + 0 + 150 = 300$
Fase 2	Cruceta- aislador incrementado	P. tierra	$150 + 0 + 150 = 300$
Fase 3	Cruceta- aislador incrementado	P. tierra	$150 + 0 + 150 = 300$
Valor mínimo de CFO			300

#### 4.1.6. MCOV de las bayonetas

Se conoce que es un sistema trifásico 22.9 kV Línea – Línea con sistema de conexión en estrella multiterrado 4 hilos, por lo tanto, se aplica la ecuación, obteniendo:

Ecuación 9. MCOV de las bayonetas

$$MCOV \text{ o } U_c = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}} * Ke$$
$$MCOV = \frac{(22 + 11)}{\sqrt{3}} * 135 = 180 \text{ kW}$$

Por consiguiente y considerando el nivel de descargas atmosféricas existentes en la zona y aplicando lo sugerido en las características técnicas de los pararrayos que se estipulan, se implementaron pararrayos del tipo Heavy Duty con MCOV igual a 18 kV.

El valor de MCOV, para redes de distribuciones es de 15.3 kV, esto se debe a que el valor indicado es seleccionado en base de la configuración del sistema como se indica. El procedimiento de cálculo sigue las mismas características, pero no se considera la constante Ke.

**TOV de bayonetas:** los pararrayos pueden funcionar un limitado periodo de tiempo por encima de su MCOV, y el nivel de sobretensión que puede tolerar el pararrayos depende del tiempo al que esté sometido, para asegurar el óptimo funcionamiento hay que considerar que el TOV del pararrayos no debe ser superado en magnitud y duración por el TOV del sistema. Este análisis se realiza con ayuda de la curva del TOV del pararrayo y la gráfica del Potencial de Sobretensión del Sistema, estas gráficas se presentan en las figuras 15 y 16.

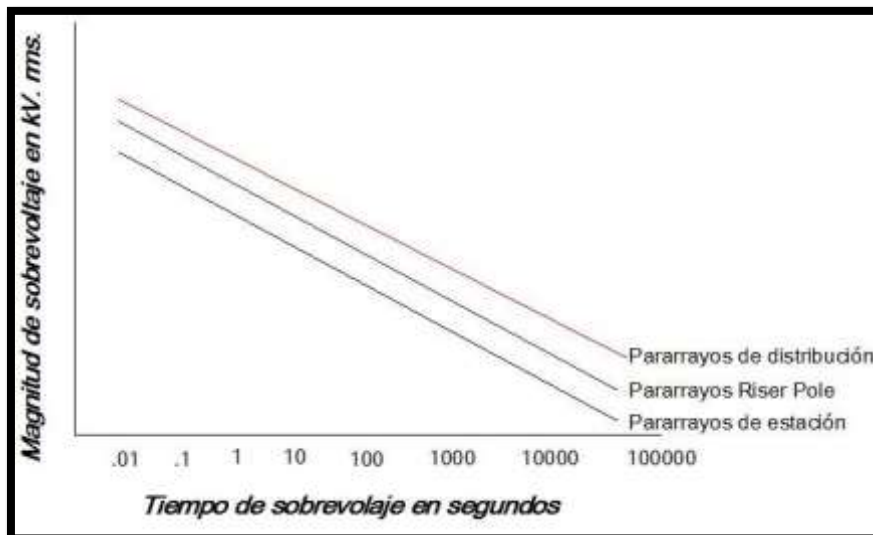


Figura 15. Curvas de TOV en los pararrayos

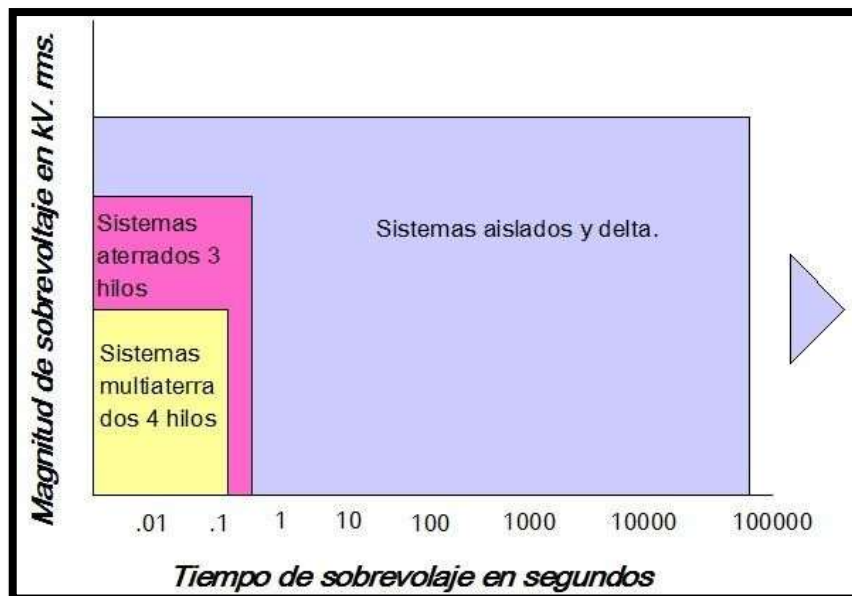


Figura 16. Potencial de sobretensión del sistema

#### 4.1.7. Valores de puesta a tierra

El valor sugerido por la Centrosur y, de igual manera, para otras empresas distribuidoras para la resistencia de puesta a tierra en redes de distribución corresponde a  $25\Omega$ , considerando que las estructuras de distribución vigentes presentan un valor de CFO de 150 kV.

En la norma IEEE 1410-2010, sugiere que: para estructuras de distribución con CFO igual a 300 kV la resistencia de puesta a tierra será igual a  $10\Omega$ , por consiguiente, si se mejora el índice CFO en las estructuras de



distribución, en especial, en las que se implementarán los bayonetas, los valores de puesta a tierra serán el antes enunciado.

### Procedimiento del cálculo del espaciamiento entre bayonetas

1. Se determina la corriente  $I_{poste}$  mediante su ecuación, considerando que el valor del CFO será el de la estructura de distribución y el valor de resistencia de puesta a tierra será el estipulado por la Centrosur, es decir, no mayor a  $25\Omega$ .
2. De la ecuación, se despeja la variable  $L$ , la cual determina la distancia de separación entre pararrayos como se indica a continuación:

Ecuación 10. Distancia de separación entre pararrayos

$$L = \frac{2ct_m(15 * CFO - V_{ir})}{I_{poste} * L_0}$$

El factor  $Z_0$  es la impedancia de la línea frente a descargas eléctricas se encuentra determinada mediante la siguiente expresión.

Ecuación 11. Impedancia

$$Z_0 = 60 \ln\left(\frac{200 * h}{r}\right)$$

**Donde:**

$h$  = es la altura del conductor sobre el piso (metros)

$r$  = es el radio medio geométrico del conductor (mm)

3. Se determina la  $I_{mediovano}$
4. Se procede a determinar la probabilidad mediante lo enunciado anteriormente.

A continuación, se presenta la tabulación y resultados obtenidos en el ejemplo de análisis mediante el programa Microsoft Excel.

En la tabla 14 se presenta el valor de algunos parámetros importantes para realizar el espaciamiento de estos.

**Tabla 14.**

**Parámetros para determinación de espaciamiento entre pararrayos**

Datos		
Voltaje de descarga del bayoneta (Vir)	68.3	kV
Tiempo de subida (tm)	0.0000012	us
Velocidad de la Luz (c)	300000000	m/s
Impedancia de línea sometida a S. T. (Zo)	551.14	$\Omega$

En la tabla 15 se presenta el cálculo de los factores en el primer vano, los mismos están en función de lo antes mencionado, como se indica en la misma el CFO de la estructura es de 150 kV, con diferentes valores de puesta a tierra.

En la tabla 16 se presentan los valores correspondientes a la distancia de medio vano, probabilidad de flameo de la estructura y la distancia para el primer vano.

**Tabla 15.**

**Cálculo de factores iniciales en el primer vano**

Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	FO. de estructura	I. Poste (kA)	I. Medio vano
50	150	3.13	3.12
40		3.91	3.92
30		5.22	5.22
25		6.26	6.27
20		7.83	7.84
15		10.44	10.45
10		15.67	15.67
5		31.34	31.34

**Tabla 16.**

**Distancias y probabilidad de flameo en el primer vano CFO=150 kV**

Vano 1.				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO de estructura	Distancia de medio vano (m)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano
50	150	65.32	99.60	130.64
40		52.26	99.29	104.51
30		39.19	98.52	78.38
25		32.66	97.64	65.32
20		26.13	95.87	52.26
15		19.60	91.66	39.19
10		13.06	79.28	26.13
5		6.53	38.70	13.06

De igual manera, en las tablas 17, 18 y 19 se presenta la corriente de poste, distancias y probabilidades de flameo en el segundo, tercer y cuarto vano respectivamente.

**Tabla 17.**  
**Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el segundo vano CFO=150 kV**

Vano 2.				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO de estructura	I. Poste (kA)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	150	0.78	73.88	261.28
40		0.98	72.84	209.02
30		1.31	70.39	156.77
25		1.57	67.82	130.64
20		1.96	63.18	104.51
15		2.61	54.44	78.26
10		3.92	38.47	52.26
5		7.84	14.31	26.13

**Tabla 18.**  
**Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el tercer vano CFO=150 kV**

Vano 3.				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ ).	CFO en estructura	I. Poste (kA)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	150	0.52	49.58	391.91
40		0.65	48.89	313.53
30		0.87	47.26	235.15
25		1.04	45.54	195.96
20		1.31	42.45	156.77
15		1.74	36.63	117.57
10		2.61	25.98	78.38
5		5.22	9.87	39.19

**Tabla 19.**  
**Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el cuarto vano CFO=150 kV**

Vano 4				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO en estructura	I. poste (kA)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	150	0.20	37.98	1045.11
40		0.24	37.86	836.09
30		0.33	37.57	627.06
25		0.39	37.24	522.55
20		0.49	36.58	418.04
15		0.65	35.00	313.53
10		0.98	30.36	209.02
5		1.96	15.14	104.51

Uno de los objetivos de este trabajo es el mejoramiento CFO en las estructuras de distribución y el procedimiento para lograrlo ya se indicó

anteriormente, ahora, se procede a realizar el análisis anterior con la variante del CFO a 300 kV.

En la tabla 20 se presenta la tabulación de los factores iniciales del cálculo para el espaciamiento entre pararrayos, pero con la particularidad de que la estructura se encuentra con el factor CFO mejorado. El cálculo es de similares características que el caso anterior.

**Tabla 20.**  
**Cálculo de factores iniciales en el primer vano con CFO=300 kV**

Datos			
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO de Estructura	I. Poste (kA)	I. de medio vano
50	300	8.20	8.20
40		10.25	10.25
30		13.67	13.67
25		16.40	16.40
20		20.50	20.50
15		27.33	27.33
10		41.00	41.00
5		82.00	82.00

**Tabla 21.**  
**Distancias y probabilidad de flameo en el primer vano CFO=300 kV**

Vano 1				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO de estructura	Distancia de medio vano (m)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano
50	300	65.32	97.45	130.64
40		52.26	95.54	104.51
30		39.19	91.01	78.38
25		32.66	86.31	65.32
20		26.13	77.96	52.26
15		19.60	62.56	39.19
10		13.06	36.80	26.13
5		6.53	8.76	13.06

**Tabla 22.**

**Distancias y probabilidad de flameo en el segundo vano CFO=300 kV**

Vano 2				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO de estructura	I. Poste (kA)	Probabilidad de Flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	300	1.91	73.34	261.28
40		2.39	71.70	209.02
30		3.18	68.51	156.77
25		3.82	64.98	130.64
20		4.77	58.69	104.51
15		6.36	47.17	78.26
10		9.54	27.85	52.26
5		19.09	6.82	26.13

**Tabla 23.**

**Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el tercer vano CFO=300 kV**

Vano 3				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO en estructura	I. poste (kA)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	300	1.27	49.23	391.91
40		1.59	48.27	313.53
30		2.12	46.01	235.15
25		2.54	43.66	195.96
20		3.18	39.46	156.77
15		4.24	31.78	117.57
10		6.36	18.90	78.38
5		12.72	4.88	39.19

**Tabla 24.**

**Distancias, corrientes de poste y probabilidad de flameo en el cuarto vano CFO=300 kV**

Vano 4				
Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO en estructura	I. Poste (kA)	Probabilidad de flameo (%)	Distancia de vano (m)
50	300	0.48	37.17	1045.11
40		0.60	36.45	836.09
30		0.80	34.76	627.06
25		0.95	32.99	522.55
20		1.19	29.85	418.04
15		1.59	24.08	313.53
10		2.39	14.42	209.02
5		4.77	3.91	104.51

Mediante la función de Heidler se puede graficar el comportamiento de transitorios de frente rápido en un sistema, y está representada a continuación:

## Ecuación 12. Función Heidler

$$I(t) = \frac{I_{pk}}{n} \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{\left(\frac{t}{\tau_1} + 1\right)^n} e^{\left(\frac{-t}{\tau_2}\right)}$$

**Donde:**

$I_{pk}$  = valor de cresta de la corriente

$\tau_1$  = constante de tiempo de subida

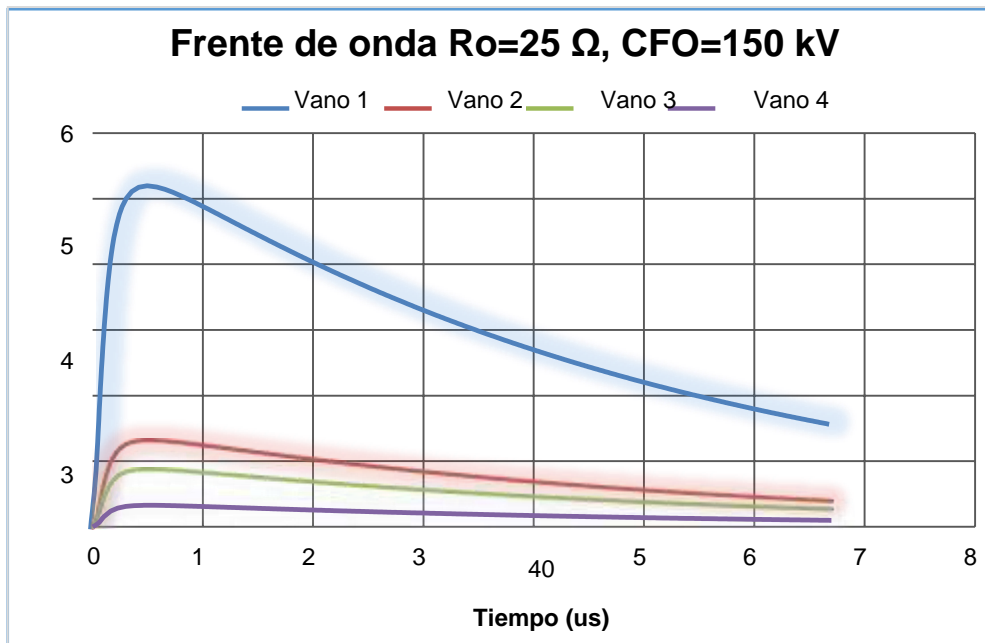
$\tau_2$  = constante de tiempo de cola

$n$  = constante de cavidad (usualmente  $n = 5$ )

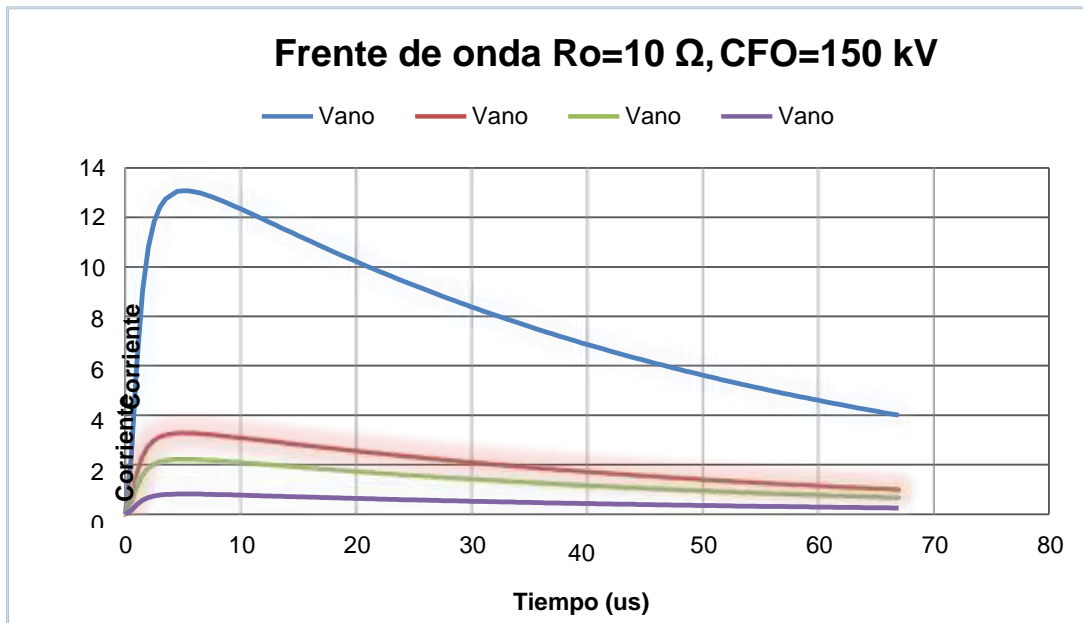
$\eta$  = factor de corrección del valor de cresta

Con la función antes mencionada se puede graficar la onda de impulso presente en la red de distribución y en especial en cada vano.

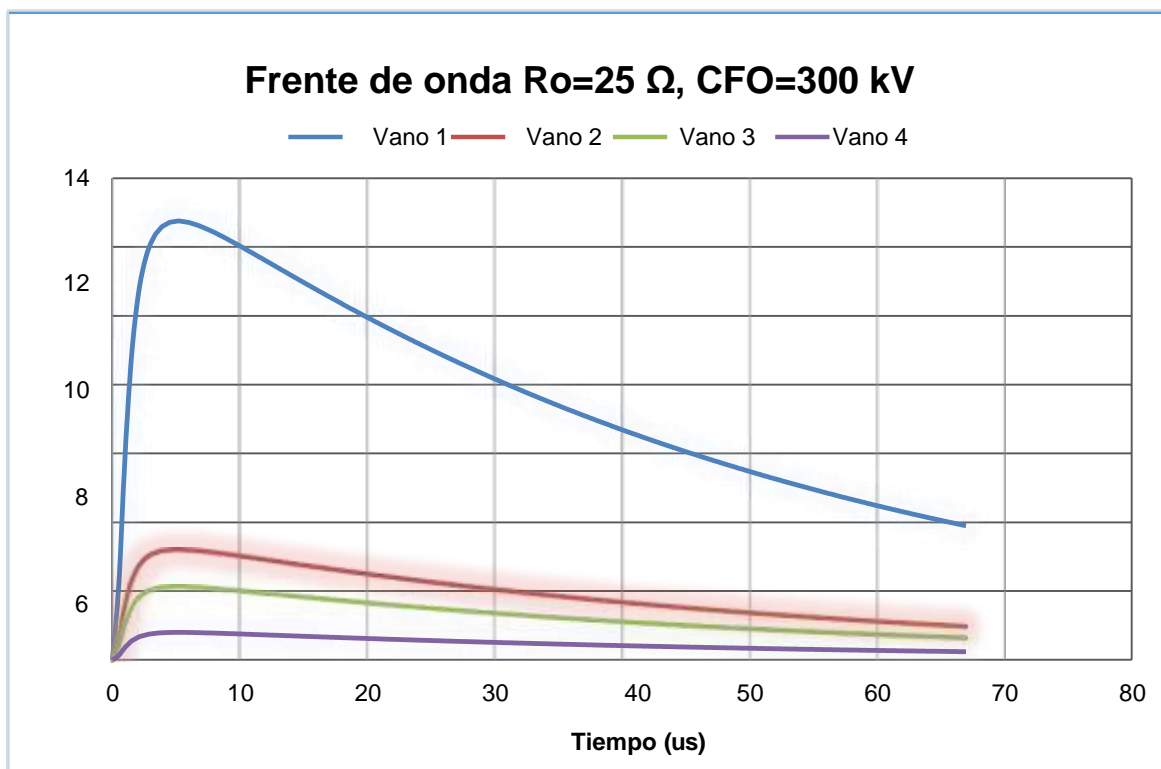
En las figuras 17, 18, 19 y 20 se presentan las gráficas correspondientes a los frentes de ondas presentes en cada vano y la atenuación que sufren al someterse al pararrayos.



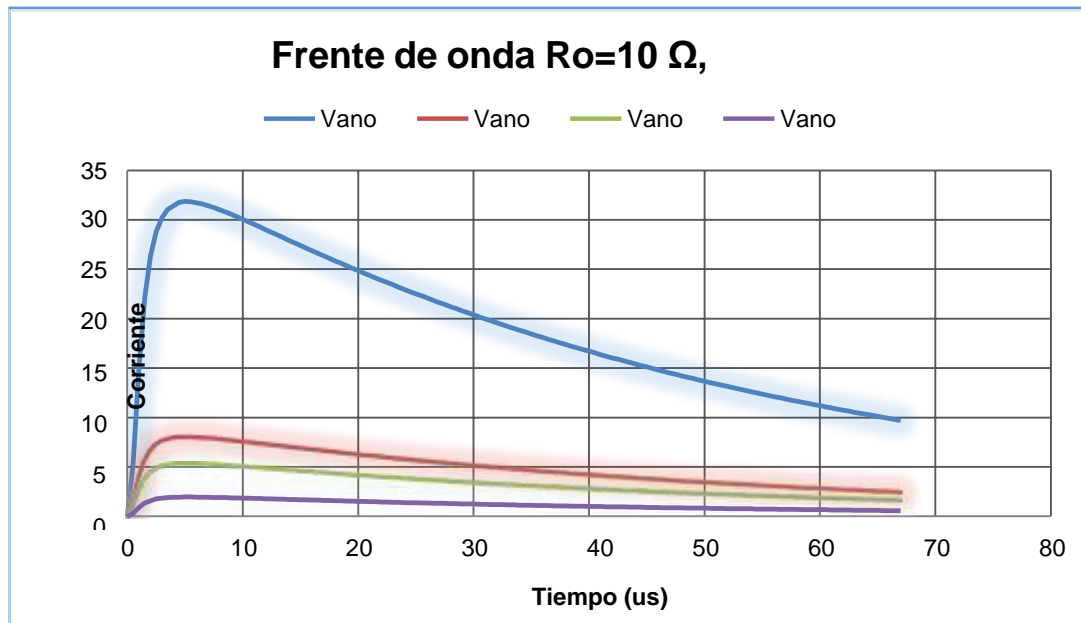
**Figura 17. Frente de onda para estructura con CFO=150 kV y resistencia de puesta a tierra de 25 Ω**



**Figura 18. Frente de onda para estructura con CFO=150 kV y resistencia de puesta a tierra de 10 Ω**



**Figura 19. Frente de onda para estructura con CFO=300 kV y resistencia de puesta a tierra de 25 Ω**



**Figura 20. Frente de onda para estructura con CFO=300 kV y resistencia de puesta a tierra de 10 Ω**

#### 4.2. Análisis de resultados

Como se puede apreciar, al incrementar el nivel de CFO y disminuir el valor de la resistencia de puesta a tierra en las estructuras donde se emplazarán los pararrayos, la probabilidad de flameo disminuye. Este particular se puede apreciar cuando se incrementa el CFO a 300 kV y la resistencia de puesta a tierra se establece en 10 Ω, la probabilidad de flameo en el primer vano es menor al 50% y en los vanos subsecuentes disminuye aún más.

En el caso de las estructuras con 150 kV de CFO y resistencia de puesta a tierra de 25 Ω, la probabilidad de flameo sobrepasa el 50% hasta el segundo vano y si se reduce el valor de puesta a tierra la probabilidad de flameo disminuye en cifras menores al 50%.

Los pararrayos estarán ubicados según las distancias especificadas por las tablas, para el caso en estudio y habiendo realizado el mejoramiento de CFO en las estructuras, el primer pararrayo se ubicará a 86 metros (primer vano), el siguiente a 130 m (dos vanos).

En la figura 21 se presenta la evaluación de las probabilidades de flameo en las estructuras aéreas en cada vano.



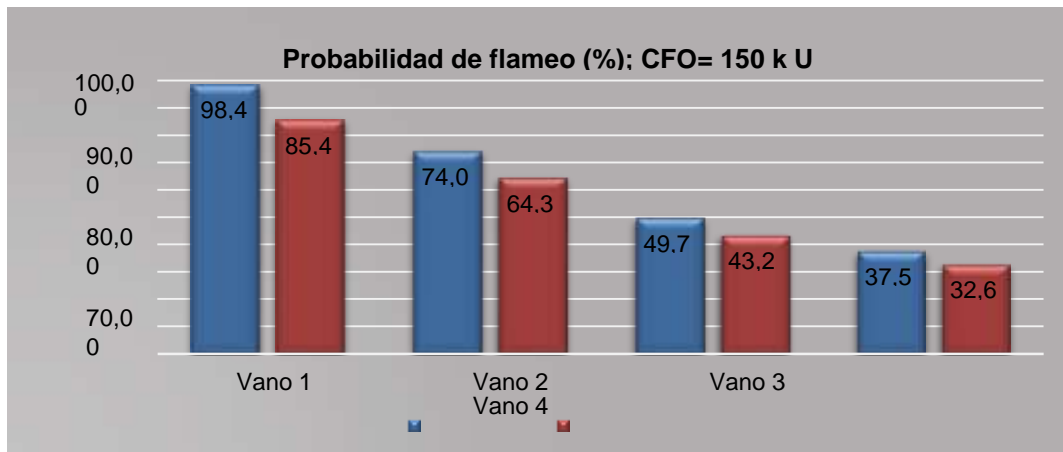


Figura 21. Probabilidad de flameo en estructuras. CFO=150 kU Rg= 25 Ω y 10 Ω

**Modelo electrogeométrico:** para determinar el modelo electrogeométrico de la red en estudio, se aplica la metodología presentada en el capítulo III, la única consideración que se toma es que, la altura de la red de distribución (debido a la geografía irregular del lugar) es de 20 metros con respecto al suelo.

La  $I_0$  requerida para determinar los parámetros del “Modelo Electrogeométrico” de la red de distribución se realiza mediante su ecuación, en consecuencia se obtendrán múltiples valores de  $I_0$ . En la figura 22, se presenta la gráfica del modelo electrogeométrico para una red de distribución y en las tablas 25 y 26 se presenta los valores correspondientes a los parámetros del modelo electrogeométrico del caso en cuestión y con mejoramiento de CFO respectivamente.

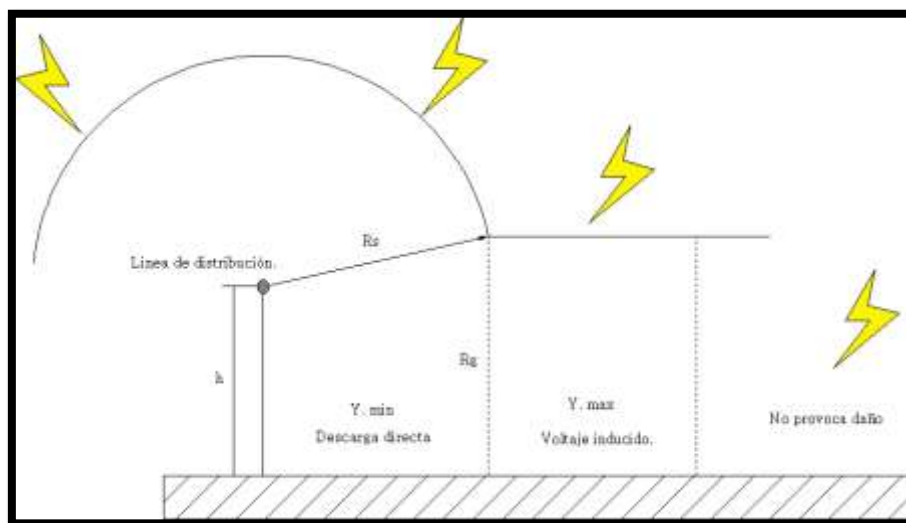


Figura 22. Modelo electrogeométrico de una red de distribución sin protección

**Tabla 25.**  
**Valores correspondientes al modelo electrogeométrico de la red de distribución en estudio**

Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO. de estructura	I. poste (kA)	$r_s$ (metros)	$r_g$ (metros)	Y min. (metros)	Y máx. (metros)	Max. voltaje inducido (kV)
50	150	3.13	21.01	18.91	20.98	10.38	225.00
40		3.92	24.29	21.86	24.22	12.98	281.25
30		5.22	29.29	26.36	28.59	17.31	375.00
25		6.27	32.97	29.67	31.52	20.77	450.00
20		7.84	38.12	34.31	35.33	25.96	562.50
15		10.45	45.96	41.36	40.69	34.61	750.00
10		15.67	59.81	53.83	49.33	51.92	1125.00
5		31.34	93.86	84.47	68.21	103.84	2250.00

**Tabla 26.**  
**Valores correspondientes al modelo electrogeométrico de la red de distribución en estudio con mejoramiento de CFO**

Resistencia de puesta a tierra ( $\Omega$ )	CFO. de estructura	I. poste (kA)	$r_s$ (metros)	$r_g$ (metros)	Y min. (metros)	Y máx. (metros)	Max. voltaje inducido (kV)
50	300	7.63	37.48	33.73	34.87	12.65	450.00
40		9.54	43.33	39.00	38.94	15.81	562.50
30		12.72	52.24	47.01	44.71	21.08	750.00
25		15.27	58.81	52.93	48.73	25.29	900.00
20		19.09	67.99	61.19	54.09	31.62	1125.00
15		25.45	81.97	73.77	61.87	42.16	1500.00
10		38.17	106.69	96.02	74.86	63.24	2250.00
5		75.34	167.41	150.67	104.65	126.47	4500.00

Realizando el análisis de los valores correspondientes a la red de distribución con 150 kV de CFO, valor pico de descarga 32 kA, 5  $\Omega$  de resistencia de puesta a tierra y ubicada a 20 metros de altura se puede deducir que:

- Si una descarga atmosférica se precipita entre  $y = 0$  y  $y = 6821$  metros esta impactará la línea.
- Si una descarga atmosférica se precipita entre  $y = y_{min} = 6821$  y  $y = y_{max} = 10384$  metros esta inducirá voltaje a las líneas.
- Si una descarga atmosférica se precipita a una distancia superior a 103.84 metros no provoca daño a la red.

La analogía es similar para el caso de una estructura con CFO igual a 300 kV.

Además de los ejemplos antes señalados, se pueden presentar casos similares con diferentes valores de corriente de descarga. En las tablas 25 y 26, respectivamente, se presentan los valores correspondientes al modelo electrogeométrico para líneas de distribución ubicadas a 20 metros de altura, 150 kU y 300 kU de CFO.

**Tabla 27.**  
**Valores para modelo electrogeométrico. CFO=150 kU – Altura 20 m**

<b>I. descarga</b>	<b>rc</b>	<b>rg</b>	<b>Y min.</b>	<b>Y máx.</b>	<b>V máx. ind.</b>	<b>Espacio entre Y min. y máx.</b>
<b>kA</b>	<b>metros</b>	<b>metros</b>	<b>metros</b>	<b>metros</b>	<b>kU</b>	<b>metros</b>
5	28.466	25.620	27.906	16.567	225	-11.339
10	44.668	40.202	39.839	33.134	450	-6.705
15	58.138	52.324	48.324	49.701	675	1.378
20	70.092	63.083	55.288	66.269	900	10.980
25	81.033	72.930	61.358	82.836	1125	21.478
30	91.228	82.105	66.824	99.403	1350	32.578
35	100.843	90.758	71.850	115.970	1575	44.120
40	109.986	98.988	76.537	132.537	1800	56.000
45	118.738	106.864	80.952	149.104	2025	68.152
50	127.154	114.439	85.144	165.671	2250	80.527
55	135.281	121.753	89.147	182.239	2475	93.091
60	143.152	128.837	92.990	198.806	2700	105.816
65	150.797	135.718	96.692	215.373	2925	118.681
70	158.239	142.415	100.270	231.940	3150	131.670
75	165.497	148.947	103.739	248.507	3375	144.768
80	172.587	155.328	107.110	265.074	3600	157.964
85	179.524	161.572	110.392	281.641	3825	171.250
90	186.319	167.687	113.593	298.209	4050	184.616
95	192.984	173.685	116.720	314.776	4275	198.056
100	199.52	179.57	119.779	331.343	4500	211.564
	6	4				

Cuando se aplica el modelo electrogeométrico en una red de distribución para determinar la influencia de una descarga atmosférica sobre una línea, se puede presentar el inconveniente que la distancia mínima ( $Y_{min}$ ) supera a la distancia máxima ( $Y_{max}$ ), esto es producto de que el valor de puesta a tierra existente es insuficiente para evacuar la energía filtrada por la descarga y como resultado se obtendrá una subtensión o sobretensión de retorno. En las tablas 27 y 28 se puede denotar este pormenor.

**Tabla 28.**

**Valores para modelo electrogeométrico. CFO=300 kU – Altura 20 m**

<i>I. descarga</i>	<i>rc</i>	<i>rg</i>	<i>Y min.</i>	<i>Y máx.</i>	<i>V máx. ind</i>	<i>Espacio entre Y min y Y máx.</i>
<i>kA</i>	<i>metros</i>	<i>metros</i>	<i>metros</i>	<i>metros</i>	<i>kU</i>	<i>metros</i>
5	28.466	25.620	27.906	8.284	450	-19.622
10	44.668	40.202	39.839	16.567	900	-23.272
15	58.138	52.324	48.324	24.851	1350	-23.473
20	70.092	63.083	55.288	33.134	1800	-22.154
25	81.033	72.930	61.358	41.418	2250	-19.940
30	91.228	82.105	66.824	49.701	2700	-17.123
35	100.843	90.758	71.850	57.985	3150	-13.865
40	109.986	98.988	76.537	66.269	3600	-10.269
45	118.738	106.864	80.952	74.552	4050	-6.400
50	127.154	114.439	85.144	82.836	4500	-2.308
55	135.281	121.753	89.147	91.119	4950	1.972
60	143.152	128.837	92.990	99.403	5400	6.413
65	150.797	135.718	96.692	107.686	5850	10.995
70	158.239	142.415	100.270	115.970	6300	15.700
75	165.497	148.947	103.739	124.254	6750	20.514
80	172.587	155.328	107.110	132.537	7200	25.427
85	179.524	161.572	110.392	140.821	7650	30.429
90	186.319	167.687	113.593	149.104	8100	35.512
95	192.984	173.685	116.720	157.388	8550	40.668
100	199.526	179.574	119.779	165.671	9000	45.893

**Ubicación de bayonetas:** para la ubicación de los pararrayos en las redes de distribución se considera la metodología y modelos sugeridos, pero para la red de distribución en análisis, se procede a la implementación del aislador extra como se indica en la figura 23. Se muestra también, en conjunto, la implementación de los pararrayos y el aislador para mejoramiento del CFO en la estructura.

En la figura 23 se presenta la implementación física del sistema para mejoramiento de CFO en estructuras de distribución y, de igual manera, muestra la ubicación de los pararrayos en redes de distribución. La figura antes mencionada está tomada de una red de distribución perteneciente a Electrocentro.



**Figura 23. Estructura con mejoramiento de CFO y bayonetas**

#### 4.5. Prueba de hipótesis

##### 4.5.1. Hipótesis general

Para la prueba de la hipótesis general se sometió a una prueba estadística denominada Coeficiente de correlación (“ $r_s$ ” de Spearman), con la finalidad de determinar la influencia del sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca a través de los datos generales.

**Tabla 29.**  
**Comparaciones de protecciones**

	N.º de protecciones	Detección de las descargas atmosféricas	Utilización
Protección tipo bayoneta	4,637	92.72%	87.52%
Protección convencional	3.272	87.11%	86.28%

##### Correlaciones

			Automatización	Optimización
Rho de Spearman	Protección tipo bayoneta	Coeficiente de correlación	1.000	.355**
		Sig. (bilateral) N	. 371	.000 371
	Disponibilidad (optimización)	Coeficiente de correlación	.255**	1.000
		Sig. (bilateral) N	.000 371	. 371

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

### Correlaciones

			Automatización	Confiabilidad
Rho de Spearman	Protección tipo bayoneta	Coeficiente de correlación	1.000	.745*
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Utilización (Confiabilidad)	Coeficiente de correlación	.880**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

La matriz de correlación presenta por pares de variables el coeficiente de Spearman y el nivel de significancia obtenido, además del número de casos (ver datos en la parte de color verde), la correlación entre cada pareja de variables se repite dos veces, se pueden tomar los resultados de cualquiera de las dos.

En el presente ejemplo, el nivel de significancia (0.000) es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, entonces existe relación lineal y, por lo tanto, dependencia entre la optimización y la confiabilidad frente a la respuesta de la protección del alimentador. Además, la correlación es moderada (está en el rango entre 0.3 y 0.7) y directamente proporcional (tiene signo positivo).

### Planteamiento de hipótesis general

#### Hipótesis nula

Ho: el sistema de protección tipo bayoneta no influye positivamente en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho.

#### Hipótesis alterna

H<sub>1</sub>: el sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho.

**a. Análisis estadístico:** al tratar de correlacionar los valores del cambio hacia la protección tipo bayoneta, se decide hacer uso del estadístico Rho-Spearman, el cual calcula que tan correlacionados están estos dos tipos de

variables, la cual generará dependencia. Así se puede apreciar en el cuadro de correlaciones que el coeficiente de correlación Rho de Spearman tiene un valor de 0.75 para el caso de la confiabilidad y para el caso de la optimización es de 0.355, donde ambos tienen una significancia al 5% y un p–valor de esta prueba igual a 0.

**Tabla 30.**  
**Correlaciones Rho de Spearman**

			Correlaciones	
			Automatización	Optimización
Rho de Spearman	Protección Tipo Bayoneta	Coeficiente de correlación	1.000	.355**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Disponibilidad (optimización)	Coeficiente de correlación	.255**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

**\*\*.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

			Correlaciones	
			Automatización	Confiabilidad
Rho de Spearman	Protección tipo Bayoneta	Coeficiente de correlación	1.000	.745**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Utilización (confiabilidad)	Coeficiente de correlación	.880**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

**\*\*.** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Para la validación de la hipótesis general se considera un nivel de confiabilidad 95%, siendo la significancia 5% (0.05), entonces para aceptar la hipótesis alterna el valor de p (sigma) debe ser menor de 0.05 ( $p < 0.05$ ). Teniendo de esta manera que el valor de  $p = 0.000 < 0.05$ , aceptando la hipótesis alterna. Del mismo modo, se determinó el nivel de relación entre las variables teniendo un valor de Rho de Spearman de 0.745; es decir, sí existe una relación alta y directa entre las variables optimización y confiabilidad con un nivel de relación de 74% y 35.5% respectivamente, es decir, el sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho.

**b. Conclusión estadística:** el sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho.

#### 4.5.2. Hipótesis específicas

##### a. Hipótesis específica 1

Ho: el sistema de protección en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho no es deficiente.

Hi: el sistema de protección en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es deficiente.

**Tabla 31.**

**Cuadro de comparación de costos de mantenimiento del sistema de protección**

	Costo de Mantenimiento en S/	%
Protección con el método convencional	18,907.14	66.38
Protección tipo bayoneta	9,572.51	33.62
Total	28,479.65	100

En la tabla 31 se observa que, en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho, respecto al costo de mantenimiento en el mes, en el periodo 2020-8, un 66.38% (S/ 18,907.14), representa la protección con el método convencional, mientras que 33.628% (S/ 9,572.51) es costo de mantenimiento del sistema de protección tipo bayoneta.

De acuerdo a los datos encontrados, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Hi); la cual menciona que el sistema de protección en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es deficiente.

##### b. Hipótesis específica 2

Ho: evaluar el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho no es eficiente.

Hi: evaluar el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es eficiente.



**Tabla 32.**  
***Tiempo de respuesta del sistema de protección***

	Tiempo de respuesta en microsegundos	%
Protección convencional	0.000056	82.35
Sistema de protección tipo bayoneta	0.000012	17.65
Total	<b>0.000068</b>	100

En la tabla 32 se observa que, en el alimentador A4007 en el alimentador de Julcamarca – Ayacucho respecto al tiempo de respuesta se puede mencionar que, un 82.35% (0.000056 microsegundos) representa al tiempo de respuesta del sistema de protección convencional, mientras que un 17.65% (0.000012 microsegundos) representa el tiempo de respuesta del sistema de protección tipo bayoneta.

De acuerdo a los datos encontrados, se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , y se acepta la hipótesis alterna  $H_1$ ; la cual dice que el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es eficiente.

## CONCLUSIÓN

- Se concluye que, considerando un nivel de confiabilidad de 95%, siendo la significancia 5% (0.05), y un valor de p (sigma) menor de 0.05 ( $p < 0.05$ ). Se obtuvo el valor de  $p = 0.000 < 0.05$ , por lo cual se rechazó la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, determinando el nivel de relación entre las variables, teniendo un valor de Rho de Spearman de 0.745; existiendo una relación alta y directa entre las variables de protección en optimización y confiabilidad con un nivel de relación de 74% y 35.5% respectivamente, por lo que el sistema de protección tipo bayoneta influye positivamente en el alimentador A4007 de Ayacucho – Julcamarca.
- Se concluye que, en el alimentador A4007 de Julcamarca –Ayacucho, respecto al costo de mantenimiento en el periodo 2020, un 66.38% (S/ 18,907.14), representa el mantenimiento y ejecución correspondiente a la protección con el método convencional, mientras que 33.628% (S/ 9,572.51) es el costo de ejecución y mantenimiento del sistema de protección tipo bayoneta, de acuerdo a los datos encontrados, se menciona que el sistema de protección en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es deficiente.
- Se concluye que en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho respecto al tiempo de respuesta podemos mencionar que, un 82.35% (0.000056 microsegundos) representa al tiempo de respuesta del sistema de protección convencional, mientras que un 17.65% (0.000012 microsegundos) representa el tiempo de respuesta del sistema de protección tipo bayoneta de acuerdo a los datos encontrados, se puede mencionar que el sistema de protección tipo bayoneta en el alimentador A4007 de Julcamarca – Ayacucho es eficiente.
- Se concluye que, el sistema de bayoneta para la protección de las redes eléctricas en media tensión, propuesta que cumple con lo requerido por el cliente en lo que concierne a protección contra descargas atmosféricas, y

sumado a esto, el costo es beneficioso para la empresa concesionaria Electrocentro.

- Se concluye que, la bayoneta apantalla perfectamente a las líneas de 22.9 kV para intensidades de rayo superiores a 4 kA, por ello las descargas eléctricas caerán dentro de la zona de atracción de la bayoneta, por lo tanto, incidirán sobre las bayonetas y no sobre los conductores.
- La incidencia de rayos directamente sobre las bayonetas genera una elevada tensión en el mismo; dado por la multiplicación de la corriente de rayo y la impedancia característica de la bayoneta. Esta descarga solo tiene una forma de liberarse a través de las bajadas hacia la puesta a tierra, sin embargo, se puede notar en los datos tomados de campo que algunos de estos poseen valores elevados de resistencia de puesta a tierra.

## RECOMENDACIONES

Para reducir el número de salidas del alimentador A4007 Ayacucho – Julcamarca de 22.9 kV del presente estudio, se recomienda:

1. Realizar el mantenimiento periódico de la bayoneta en el respectivo tramo, para la seguridad de la instalación.
2. Para las corrientes de descarga mayores a 10 kA es necesario realizar la instalación de descargadores de sobrevoltajes de alta tensión, para garantizar la operatividad, confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico, como de los equipos.
3. Para dar seguridad a la instalación, es necesario instalar descargadores de sobretensión en todas las fases.
4. Realizar el mantenimiento o tratamiento de los sistemas de puesta a tierra para reducir los valores de esta, haciendo uso de componentes químicos por la elevada resistividad y encontrarse en zona rocosa.

## REFERENCIAS

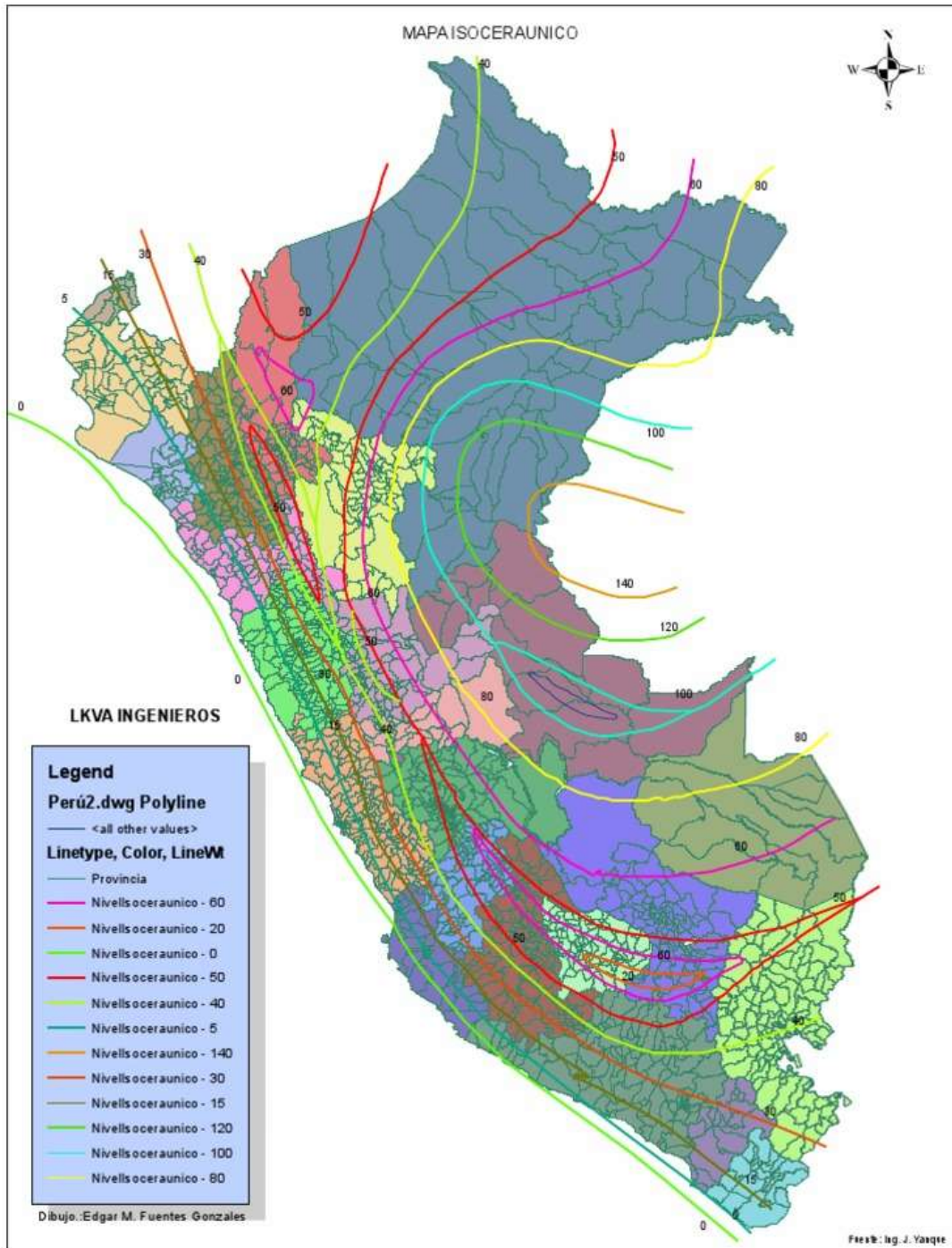
1. **GARCÍA, S. J. F.** *Sistema para diagnóstico de fallas en transformadores a través de lógica difusa.* n.º 3, 2003, Ingeniería Energética, Vol. vol. 24, págs. pp. 34-41. ISSN 1815-5901..
2. **SEBASTIÁN, J., LÓPEZ, M., LOZANO, I.M., ANDRÉS, E. y SALAZAR, Q.** *Sistema para el monitoreo remoto de la temperatura en transformadores de distribución Remote Monitoring System For The Temperature Distribution Transformers.* n.º 4, 2015, Scientia et Technica, Vol. vol. 20, págs. pp. 317-324. ISSN 0122-1701.
3. **JARA-NORIEGA, J.** Optimización de la protección eléctrica de la subestación Tierra Colorada. [En línea] [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2560/IME\\_192.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2560/IME_192.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
4. **JIMÉNEZ, E. A. y CUENCA, D. R.** *Estudio para la implementación y coordinación de protecciones en las líneas de distribución de Ingenio Monterrey de la ciudad de Catamayo.* Catamayo : s.n., 2018.
5. **ÁLVAREZ, J. L.** *Diseño de alimentador en media tensión 10 – 22.9 kV y subestación compacta de 160 kVA para la empresa Servicio de Administración Tributaria de Trujillo - SATT.* Trujillo : s.n., 2014.
6. **REINOSO, O. A.** *Protección contra sobrecarga y determinación de pérdida de tiempo de vida en transformadores de distribución debido a sobrecargas.* 2011.
7. **BOCANEGRA, S. Y., MONTOYA, O. D. y MOLINA-CABRERA, A.** *Estimación de parámetros en transformadores monofásicos empleando medidas de tensión y corriente.* n.º 4, 2020, Parameter estimation in single-phase transformers employing voltage and current measures, Vol. vol. 19, págs. pp. 63-75.
8. **CERÓN, A. F., LOZANO, R. A., APONTE, G. y ROMERO, A. A.** *Estimación de la temperatura de punto caliente en transformadores de potencia inmersos en aceite mineral utilizando regresión con vectores de soporte.* n.º 4, 2020, Información tecnológica, Vol. vol. 31. DOI 10.4067/s0718-07642020000400035.

9. **SIMEÓN PUCUHUAYLA, J. F.** *Ubicación óptima del seccionador fusible para mejorar los indicadores SAIDI y SAIFI en el sistema eléctrico rural de Ayacucho.* 2019. pág. p. 102.
10. **BREFFE, O. E. T., ROSELL-LÓPEZ, L. R., LLANES, M. V., SUPERIOR, I., METALÚRGICO, M. y ERNESTO, E. C.** *Utilización de la simulación digital de protecciones eléctricas en los transformadores de potencia de las industrias niquelíferas de Moa.* 2005.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223516049003>.
11. **SWINBURNE, P.** *Protección de telefonía para empresas. Central telefónica en la nube.* 2021.
12. **MAYTA, C.** *Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro.* 2019.
13. **APLICACI, A. D. E., DIVISI, R., SUBGERENCIA, O. R., APROBADO, C. y DISTRIBUCI, G.** *Fusibles tipo bayoneta para media tensión.* 2021. pp. 2-5.
14. **ALONSO, L. G.** *Métodos de investigación de enfoque experimental. Postgradoune.* [En línea] <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>.
15. **EHAR RIVERO, B. y RUBEIRA, A.** *Metodología de la investigación.* [En línea] 2008.  
<http://www.rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>.
16. **ESPINOSA, Roberto y LARA, L.** *Sistemas de Distribución.* Sistemas editoriales técnicos S. A., 1990.

## **ANEXOS**

# Anexo 1

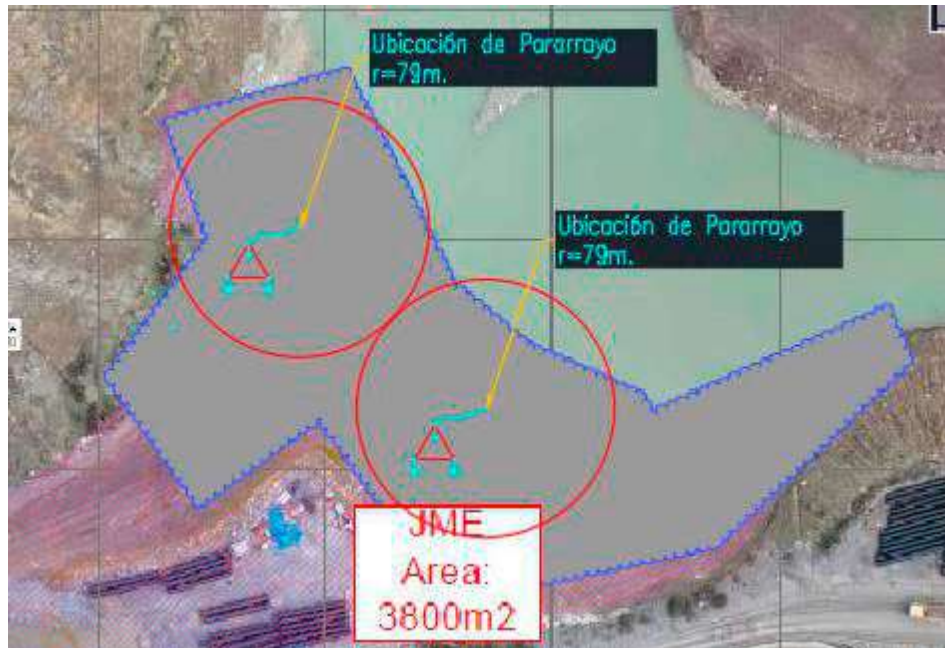
## Selección de nivel isocerámico





## Anexo 2

### Dimensiones por proteger



## Anexo 3

### Instalación de puestas a tierra para las bayonetas





## Anexo 5

Bayonetas instaladas en las estructuras de MT

