

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

**Análisis del sistema de protección para la  
optimización de la calidad de suministro  
del alimentador A4703-Tarma**

David Saul Ticse Estrella

Para optar el Grado Académico de  
Bachiller en Ingeniería Eléctrica

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



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

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a mis padres y hermanos por guiarme en mi camino, a mi hija por su apoyo y amor incondicional, a mis mentores y amigos por acompañarme en toda esta etapa de mi vida.

Gracias a los ingenieros de la Escuela académico profesional de Ingeniería Eléctrica y a la Universidad Continental por brindarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de mi persona.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos, por sus apoyos incondicionales en todo mi periodo de estudiante y en nuestras respectivas labores.

A los docentes de la Escuela académico profesional de Ingeniería eléctrica por sembrar conocimiento en nosotros, por brindarnos lo necesario para crecer profesionalmente.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes del Problema.....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	7
2.1.3 Antecedentes regionales.....	9
2.2 Bases teóricas.....	11
2.2.1 Sistemas de protección.....	11
2.2.1.1 Coordinación de protección del sistema eléctrico.....	11
2.2.1.2 Criterios de ajuste y coordinación de la protección.....	11
2.2.1.3 Principios generales para el ajuste y la coordinación de la protección...	12
2.2.1.4 Selectividad de la protección.....	12
2.2.1.5 Fiabilidad y seguridad de la protección.....	13
2.2.1.6 Análisis de corto circuito.....	13
2.2.1.7 Protecciones eléctricas en sistemas de distribución.....	14

2.2.1.8	Relé de sobrecorriente entre fases y tierra (50/51, 50N/51N) .....	15
2.2.2	Calidad de suministro .....	17
2.2.2.1	Estándares de la calidad del servicio .....	18
2.2.2.2	Estándares IEC, IEEE, NTCSE.....	18
2.2.2.3	Consideraciones del control de calidad de suministro de acuerdo a la NTCSE .....	20
2.2.2.4	Indicadores de la calidad de suministro .....	20
2.2.2.5	Tolerancias.....	21
2.2.2.6	Medición de la calidad de la energía.....	22
2.2.2.7	Características de los alimentadores de la SET Ninatambo.....	24
2.3	Definición de términos básicos .....	26
CAPÍTULO III.....		28
METODOLOGÍA.....		28
3.1	Método y alcance de la investigación .....	28
3.2	Diseño de la investigación .....	28
3.3	Población y muestra .....	29
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
CAPÍTULO IV .....		30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		30
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	30
4.2	Pruebas de hipótesis y análisis de la información .....	37
4.3	Discusión de resultados.....	37
CONCLUSIONES .....		39
RECOMENDACIONES.....		40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		41
ANEXOS.....		43
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....		44
ANEXO 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN .....		45

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de tolerancias .....	21
Tabla 2: Niveles de tensión.....	22
Tabla 3: Descripción de tipo de servicio.....	22
Tabla 4: Límites según la Norma EM-50160 .....	23
Tabla 5: Límite de corta y larga duración según norma IEEE-1159.....	23
Tabla 6: Límites según la Norma EM-50160 .....	24
Tabla 7: Característica del transformado .....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de protección .....	11
Figura 2: Proceso de ajuste y coordinación de la protección.....	13
Figura 3: Tipos de fallas.....	14
Figura 4: Esquema básico de un sistema de protección .....	15
Figura 5: Relé de sobrecorriente.....	16
Figura 6: Relé de sobrecorriente.....	17
Figura 7: Relé de protección del alimentador A4703.....	17
Figura 8: Esquema eléctrico de Tarma .....	26
Figura 9: Ajustes de sobrecorriente de fases .....	30
Figura 10: Ajustes de sobrecorriente de tierra.....	31
Figura 11: Desviación de protección 50N para el relé de barra de 22.9kV .....	32
Figura 12: Prueba de sobrecorriente de fases .....	32
Figura 13: Curva característica 50/51 fases L1-L2 (R-S) .....	33
Figura 14: Curva característica 50/51 fases L3-L1 (T-R).....	33
Figura 15: Curva característica 50/51 fases L2-L3 (S-T).....	34
Figura 16: Curva característica 50/51 FASES L1-L2-L3 (R-S-T).....	34
Figura 17: Prueba de sobrecorriente neutro.....	35
Figura 18: Prueba de sobre corriente neutro.....	35
Figura 19: Curva característica 51 neutro L2-N (S-N) .....	36
Figura 20: Curva característica 51 neutro L3-N (T-N) .....	36



## **RESUMEN**

La investigación evalúa el efecto en la calidad de suministro del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4703 de la Unidad de negocios de Tarma. La investigación aplicó el método analítico de alcance descriptivo-explicativo dado que se acopio información correspondiente a la protección del sistema eléctrico y la calidad del suministro del servicio eléctrico. La muestra estuvo compuesta por el Alimentador A4703 correspondiente a la subestación de Ninatambo Sistema Eléctrico de Tarma, cuya información fue obtenida por centro de control. Para el desarrollo de la investigación se empleó un protocolo de pruebas para verificar las hipótesis de estudio. Se concluye que la protección del sistema eléctrico de distribución afectó positivamente en la calidad del suministro del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4703 de la Unidad de negocios de Tarma, toda vez que se aceptó la hipótesis de investigación. Asimismo, la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad. Además, se propone el uso de tecnología de relés digitales multifuncionales para mejorar la calidad del servicio eléctrico.

Palabras clave. Protección, sistema eléctrico, calidad del servicio eléctrico.

## **ABSTRACT**

The research assesses the effect on the quality of supply of the electric power service taking into account different levels of protection (from 0 to 2 readjustments) of the electric distribution system in Feeder A4703 of the Tarma Business Unit. The research applied the analytical method of descriptive-explanatory scope since information corresponding to the protection of the electrical system and the quality of the electrical service supply was collected. The sample consisted of the A4703 Feeder corresponding to the Ninatambo electric system de Tarma substation, whose information was obtained by the control center. For the development of the research, a test protocol was used to verify the study hypotheses. It is concluded that the protection of the electrical distribution system had a positive effect on the quality of the supply of the electricity service in Feeder A4703 of the Tarma business unit, since the research hypothesis was accepted. Likewise, the protection of the system offers advantages such as safety, protection of equipment and selectivity. In addition, the use of multifunctional digital relay technology is proposed to improve the quality of electrical service.

Keywords. Protection, electrical system, quality of electrical service.

## INTRODUCCIÓN

El presente informe de investigación titulado “Análisis del sistema de protección para la optimización de la calidad de suministro del alimentador A4703” se elaboró siguiendo los objetivos trazados, luego de aplicar los conocimientos adquiridos en la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental. En tiempos modernos, la energía eléctrica tiene un rol sumamente importante para que las actividades cotidianas se desarrollen correctamente. Esta investigación brinda una manera alterna para un mejor aprovechamiento de la energía, a la vez que se mantiene su continuidad y fluidez en el sistema eléctrico; debido a que se evidencian diversas interrupciones y fallas que se suscitan; de tal forma en que se puedan reducir las horas de interrupciones que el sistema presenta y frente a ello dar posibles soluciones para garantizar que el sistema sea de calidad. Además, el sistema eléctrico de distribución es el encargado de proporcionar la energía directamente hacia los consumidores y es vital que este sistema se encuentre en óptimas condiciones para que el servicio que se esté brindando sea un producto de calidad. Por tal motivo, su protección ante cualquier evento fortuito que atente contra su buen funcionamiento es de mucho cuidado, ya que representa una de las maneras de cómo garantizar que se brinde un producto de calidad en el servicio de energía. Asimismo, el suministro de energía eléctrica en estudio lo conforma el alimentador A4703 de la Unidad de negocio de Tarma, este alimentador es uno de los encargados de dar el servicio de energía eléctrica directa hacia el consumidor, e indirectamente se relaciona al desarrollo económico social, debido a que el producto eléctrico está presente en diversos campos como el industrial, empresarial, académico, comercial, agrícola, etc., Debido a distintos factores, como el crecimiento poblacional y económico, el uso de la energía eléctrica es mayor y, por ende, el garantizar su buena calidad se convierte en un reto igual de grande. Por ello, el proteger dicho sistema de distribución cobra suma importancia para mantener y asegurar la confiabilidad y la calidad de suministro para la sociedad. Con el fin de tener un sistema confiable, seguro y conforme con las normas y exigencias de calidad de servicio es importante que se realicen acciones para asegurar continuidad del servicio eléctrico, para que también se obtengan respuestas inmediatas, seguras y óptimas frente a una falla o interrupción. La presente investigación está formada por cuatro capítulos. En el capítulo I, se trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general, específicos; objetivo general, específicos; hipótesis generales, específicas; justificación e importancia de la investigación, alcances de la investigación, limitaciones, descripción de variables. El capítulo II, se presentan los antecedentes del problema, antecedentes nacionales e internacionales, el marco y bases teóricas, aspectos generales del área de

estudio, y definición de términos básicos. En el capítulo III, se explica la metodología de la investigación, con el tipo de investigación, nivel de investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra; técnicas e instrumentos de recolección de datos: técnicas, instrumentos y técnica de procesamiento y análisis de datos. En el capítulo IV, se dan a conocer 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. Finalmente, se dan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que sirvieron para su complementación del objetivo del trabajo de investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y Formulación del Problema**

En los últimos años el inevitable crecimiento de los usuarios de la demanda de la energía en toda la provincia de Tarma , ha exigido la expansión de las redes de distribución, transferencias de carga, modificaciones de las redes topológicas, renovación y mejoramiento de las redes de distribución, todas estas variaciones generan problemas en la calidad de suministro, a esto se suma el crecimiento de la demanda eléctrica, de tal forma que la confiabilidad de los sistemas eléctricos se ven afectados por las constantes interrupciones.

Actualmente en la ciudad de Tarma existe un sistema eléctrico que corresponde a S.E.T Ninatambo.

La SET Ninatambo es suministrada por la línea de transmisión L 6076 en 44 kV que tiene una longitud de 13,57 km, por otro lado, la C.H. Huasahuasi I y Huasahuasi II se encuentran interconectados a la SET de Ninatambo en 44 kV y la C.H. de Acobamba se encuentra conectado en 22,9 kV al AMT A4703, de modo que ante cualquier eventualidad en la línea Condorcocha – Ninatambo L 6067, las centrales son los encargados de suministrar energía a toda la carga de los alimentadores de media tensión de la SET Ninatambo.

El alimentador de media tensión A4703 suministra energía a los distritos de Palca, Tapo y Huasahuasi a un nivel de tensión en 22,9 kV, debido a la lejanía de los distritos existen algunas deficiencias en la operación del AMT A4703 ocasionando frecuentes interrupciones de modo que la calidad de suministro tiene un bajo nivel de confiabilidad debido a su modo de operación radial, es así que estos tienen el mayor aporte en el cálculo de los indicadores SAIDI y SAIFI según el reporte de interrupciones de los últimos 3 años

emitidos por Electrocentro S.A. Actualmente es un sistema muy sensible porque viene atravesando discontinuidad en el suministro de energía eléctrica a raíz de eso presenta indicadores fuera de los rangos de tolerancia de acuerdo a la NTCSER, afectando la calidad de suministro y ocasionando un malestar en las poblaciones involucradas, por todo ello la empresa Electrocentro, acepta esos resultados con la elevación de las compensaciones por consumo de la energía que se traducen en pérdidas económicas para la concesionaria Electrocentro S.A.

Las causas de las interrupciones del suministro de energía generalmente son ocasionadas por descargas atmosféricas, accidentes de tránsito, caída de árboles, condiciones ambientales destructivas (hielo, vientos fuertes, etc.), falla de los equipos de protección. Por otro lado, el crecimiento constante de la carga en el AMT A4703, exige ampliaciones en las redes de baja y media tensión, incorporando nuevas subestaciones de distribución, estos cambios en la topología del alimentador ocasionan deficiencias en la operación de los sistemas de protección, a raíz de ello también se ve afectado la calidad de suministro.

Actualmente cuando ocurre una interrupción del servicio de energía (falla), no son localizadas de manera rápida por el grupo de emergencia de centro de control por ende generan mayor tiempo de interrupción y demora para el restablecimiento de energía y como resultado pérdidas económicas para la empresa Electrocentro por las elevadas compensaciones.

### **Problema general:**

¿Cómo optimizar la calidad de suministro con el análisis en los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703?

### **Problemas específicos:**

- ¿Cómo mejorar los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703?
- ¿Cómo optimizar los indicadores de la calidad de suministro del alimentador de media tensión A4703?
- ¿Cómo optimizar la duración y frecuencia de las interrupciones en el sistema eléctrico?

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo general.**

Evaluar la calidad de suministro con el análisis en los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el adecuado sistema de protección para el alimentador de media tensión A4703.
- Determinar los indicadores de la calidad de suministro con el mejoramiento de los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703.
- Ajustar los relés de protección para optimizar la duración y frecuencia de las interrupciones en el sistema eléctrico.

## **1.3 Justificación e importancia**

Electrocentro S.A., en calidad de empresa concesionaria, se ve en la necesidad de optimizar la calidad de suministro de sus alimentadores de media tensión ya que esto representa una mejora en aspectos económicos debido a que incrementa la cantidad de energía vendida y disminuye el pago de compensaciones por interrupción. Así mismo, como aspecto social la empresa brindaría un servicio de mejor calidad lo que se refleja en satisfacción de parte de la población y una buena imagen institucional para la empresa.

El presente estudio define una alternativa de operación para el alimentador de media tensión A4703 que optimice la calidad de suministro para mejorar los niveles de confiabilidad de estos frente a interrupciones por falla en las troncales y secciones de línea, ya que estos tipos de interrupciones son los que tienen el mayor aporte en el cálculo de los indicadores SAIDI y SAIFI. Por lo que se pretende optimizar la calidad de suministro desarrollando un análisis de los sistemas de protección.

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

### **Hipótesis general:**

La calidad de suministro mejorará con la configuración de los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703.

### **Hipótesis específicas**

Un adecuado sistema de protección optimizará la confiabilidad del alimentador de media tensión A4703.

La configuración en los sistemas de protección garantizará la disminución de los indicadores de calidad de suministro del alimentador de media tensión A4703.

Las pruebas funcionales a los relés de protección optimizarán la duración y frecuencia de las interrupciones en los sistemas de protección.

### **Variables de la Investigación**

**Variable Independiente:** Sistema de Protección.

#### **Indicadores:**

- Corrientes de falla.
- Corriente de ajuste.
- Tiempo de ajuste.

**Variables Dependientes:** Calidad de Suministro.

#### **Indicadores.**

- SAIDI: Duración Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado.
- SAIFI: Frecuencia Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del Problema**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

- Según (SARAY, 2011); en su tesis titulada “Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas” de la Universidad Carlos III de Madrid. Para obtener el título de ingeniero electricista. Aborda el problema que imposibilita la técnica de evitar fallas producidas en la red y tiene como objetivo diseñar un sistema de protección y control analizando cada uno de las funciones de protección a su vez analizar cada elemento del cual está compuesto la subestación con dos metodologías corriente diferencial de alta impedancia y diferencia porcentual, obteniendo la protección que transmite y procesa el resultado obtenido a través de sus contactos actuando las señales al cerrar sus contactos. Concluyendo que tiene como finalidad implementar el protocolo IEC61850 para la comunicación de los relés de protección con sus respectivos equipos de control de la subestación a su vez presenta la mayor dificultad que enfrentaba la deficiencia técnica para contrarrestar los problemas producidos en la red eléctrica (1).
- Según (OSWALDO, 2010); en su tesis “Coordinación de protección en el alimentador de distribución Cerro 8”. De la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. Tiene como objetivo la comprobación y el cálculo de los ajustes de la coordinación de protección de sobrecorriente de tierra y fase mediante el método de análisis empleado determina las corrientes Inrush

asimétricas y simétricas. Se obtuvo como resultado la elevación de la confiabilidad en el suministro disminuyendo la energía dejada de vender por las fallas. Se concluyó que en los reajustes de los relés de protección no se llega a dañar los conductores, visualizando en la gráfica de las curvas de daño, el cual no deterioran a los transformadores ni alimentadores ya que cada protección actúa en su debido tiempo (2).

- Según (NÚÑEZ, 2018); en su tesis “Sistema de protección adaptativo para micro-redes basado en optimización robusta” de la Universidad de Chile. Tiene como objetivo presentar propuestas de un sistema de protección para pequeñas redes en BT. Diseñando una nueva estrategia de encontrar las fallas que actúe de manera adecuada con las diferentes funciones utilizadas en los sistemas de protección con la implementación de una metodología basada en el diagnóstico. Se obtuvo como mejor resultado la comparación de un método recurrente que se utiliza en la literatura (rapidez, coordinación de protecciones y sensibilidad). Se concluyó que considerando el comportamiento de las fallas en cortocircuito en las redes de distribución y planta FV (fotovoltaicas), se propuso un mejoramiento en el esquema de protección el cual adopta distintas funciones de protección con la implementación de algunos dispositivos direccionales (3).
- Según (ROBLES, 2018); en su tesis “Propuesta de un modelo de automatización del sistema de distribución a 22kV para la óptima colocación de protecciones inteligentes en el alimentador principal” de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador. Tiene como objetivo la propuesta de la automatización de la SED a 22kV para una buena implementación de protecciones inteligentes en su alimentador más importante. Como resultado se puede apreciar la caída de voltaje en los 02 modelos que se propuso, logrando que en los nodos más distantes de los sistemas correspondientes se logre tener una caída del 1%, cumpliendo con las normas establecidas ya que se encuentran dentro del límite para las zonas rurales y urbanas. Concluyendo en establecer un nuevo modelo de automatización en su alimentador más importante mediante la implementación del esquema FLISR el cual permite establecer nuevos protocolos en la automatización el cual tiene que ser ejecutado ante la presencia de cualquier contingencia por las fallas en cualquiera de los sistemas (4).
- Según (LEON, PELAU & SANCHEZ, 2015); en su tesis “Diseño y construcción de un banco de protecciones de sobrecorriente, para alimentadores de media tensión” de la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. Tiene

como objetivo la implementación de un módulo de protecciones de sobrecorriente, para los alimentadores en MT, el cual servirá para el aprendizaje teórico y práctico de los SD empleando tecnología acorde a la necesidad del estudiante. Obteniendo como resultado la correcta implementación del banco de protecciones para los estudiantes de la Universidad, llegando a la conclusión que el área de protecciones es muy amplia y que dependiendo de la problemática se requerirá diferentes tipos de análisis siendo fundamental en la estabilidad de los sistemas de potencia en el cual el proyecto propone con ejercicios cortos practicas reales que se puedan presentar en un sistema de potencia (5).

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

- Según (OVIEDO, 2015); en su tesis “Interconexión de la Central Hidroeléctrica de Langui II al sistema eléctrico interconectado nacional – SEIN” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Tiene como objetivo el diagnóstico del sistema eléctrico actual del área de operativa de sur este del SEIN con una metodología aplicada para el desarrollo, logrando una buena confiabilidad en el sistema eléctrico. Se obtiene como resultado de cargabilidad en las líneas de transmisión las cuales operan con normalidad y no superan los límites establecidos, a excepción de los transformadores de Dolorespata y Tintaya, los cuales superan sus límites óptimos de trabajo. Concluye que la operación de sistema eléctrico del área operativa sur este del SEIN, en estado estacionario, se demuestra el buen funcionamiento del sistema eléctrico con tensiones que operan dentro del rango de tolerancia de  $\pm 5\%$  de la tensión nominal (6).
- Según (PAUCAR & HUARHUA, 2018); en su tesis “Estudio de coordinación del sistema de protección de alimentadores de media tensión con generación distribuida ante fallas en redes adyacentes en Cusco y Apurímac” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Tiene como objetivo desarrollar la coordinación de los sistemas de protección en los alimentadores de media tensión con la implementación de la generación distribuida. Se obtuvo como resultado la actuación correcta para cada sistema de protección no desconectando el AMT TA07 gracias a que la curva de protección permite mayor selectividad y seguridad en la actuación, concluyendo con la alternativa de solución, ajuste para la coordinación de protección activando las funciones de 67 y 67N del relé SEL-351 de la protección principal

del alimentador que cuenta con generación distribuida, bloquea los disparos producidos por fallas externas y actúa solo para fallas internas. Teniendo con el nuevo ajuste y la activación de estas funciones una correcta actuación del sistema de protección (8).

- Según (MACHACA & COILA, 2017); en su tesis “Estudio y análisis experimental de la calidad del suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes - 2016” de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Tiene como objetivo analizar y estudiar experimentando la calidad de suministro haciendo el uso de un analizador de redes para lograr una mejor calidad de energía, empleando el método científico ya que se analizarán conocimientos ya existentes. Obteniendo como resultado de los datos extraídos, la elevación del consumo de la potencia reactiva haciendo que se ve reflejada en el recibo de consumo eléctrico. Llegando a la conclusión que la concesionaria Electro Puno está brindando una buena calidad de producto ya que logran cumplir con los estándares establecidos por la NTCSE (14).
- Según (TURPO, 2018); en su tesis “Análisis de los componentes de protección en subsistemas de distribución secundaria para lograr la confiabilidad de la continuidad del sistema” de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Tiene como objetivo analizar el sistema de protección de media tensión, para garantizar la confiabilidad de su sistema eléctrico con una metodología analítica. Obteniendo como resultado que se debe efectuar un buen estudio de coordinación de protección para así poder utilizar fusibles de una sola marca y un solo tipo. Como conclusión se determinó la significancia de los elementos de protección en cada circuito eléctrico de media tensión, analizando los componentes del sistema de protección para así garantizar una mejor confiabilidad del sistema eléctrico (15).
- Según (RUBIO, 2018); en su tesis “Análisis del suministro de energía eléctrica de la planta procesadora de limón y mango de agroindustrias AIB – Motupe – Lambayeque en el marco de la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos” de la Universidad Pedro Ruiz Gallo. Tiene como objetivo lograr que el SE que suministra a la Planta procesadora cumpla con la NTCSE, con una metodología Wenner. Y se obtuvo como resultado que la THDv (distorsión total de armónicas de tensión), en el caso más crítico es de 6.9% al no superar los valores establecidos por la Norma, el THDv se mantiene dentro de los valores recomendados. Llegando a la conclusión que el SE de la planta procesadora no

cumple con la NTCSE, ya que presenta 04 interrupciones al mes ocasionando pérdidas económicas (16).

### **2.1.3 Antecedentes regionales**

- Según (MAYTA, 2019); en su tesis “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” de la Universidad Continental, Huancayo, Perú. Tiene como objetivo estimar la calidad de producto considerando diferentes niveles de protección en el AMT A4502 con una metodología aplicada. Se obtuvo como resultado que la protección del sistema eléctrico es favorable ante las fallas ocasionadas por la naturaleza o accidentalmente. Se concluyó que el sistema de protección de distribución es afectado positivamente a la calidad del producto mediante relés de protección electromecánicos en el AMT A4502 de la U.N. Valle del Mantaro asegurando que la prueba de hipótesis resultó favorable y se encuentra dentro del 5% requerido ofreciendo seguridad y cuidado de los equipos (18).
- Según (PORRAS, 2019); en su tesis “Evaluación de los dispositivos de protección ante el incremento de la demanda en el SER Cangallo-Ayacucho” de la Universidad Continental, Huancayo, Perú. Tiene como objetivo proponer el ajuste de la protección para el mejoramiento de la coordinación de protección para así poder cumplir con las normas a partir del funcionamiento de los dispositivos de protección en los alimentadores de las zonas rurales de Cangallo, empleando el método analítico por que se analizaron los ajustes de cada dispositivo de protección obteniéndose como resultado que cada alimentador cumplía con los rangos establecidos por la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos rurales, pero se presentaría valores distintos ante la presencia de contingencias a causa de una falla en el sistema eléctrico. Se concluyó que la evaluación fue presentada ante el incremento de la demanda y como primer punto se observó la afectación en los sistemas de protección y en la mejora de la calidad de producto (19).
- Según (ROMA, 2019); en su tesis “Análisis de protecciones de sobrecorriente para la mejora de la continuidad de suministro de la SET Chimbote Nuevo” de la Universidad Continental, Huancayo, Perú. Tiene como objetivo la demostración de cómo llega a influir el análisis de la protección de sobre corriente para la

mejora de la continuidad del suministro eléctrico de la SET Chimbote Norte. Con una metodología aplicada para una investigación explicativa, obteniendo como resultado se pudo determinar que el cambio de los ajustes de corriente en los relés de protección de la SET brinda una mayor confiabilidad y seguridad para la continuidad. Concluyendo que con la configuración del tiempo en los relés de protección cuentan con un margen adecuado para la coordinación entre fusible y recloser considerando la lcc (20).

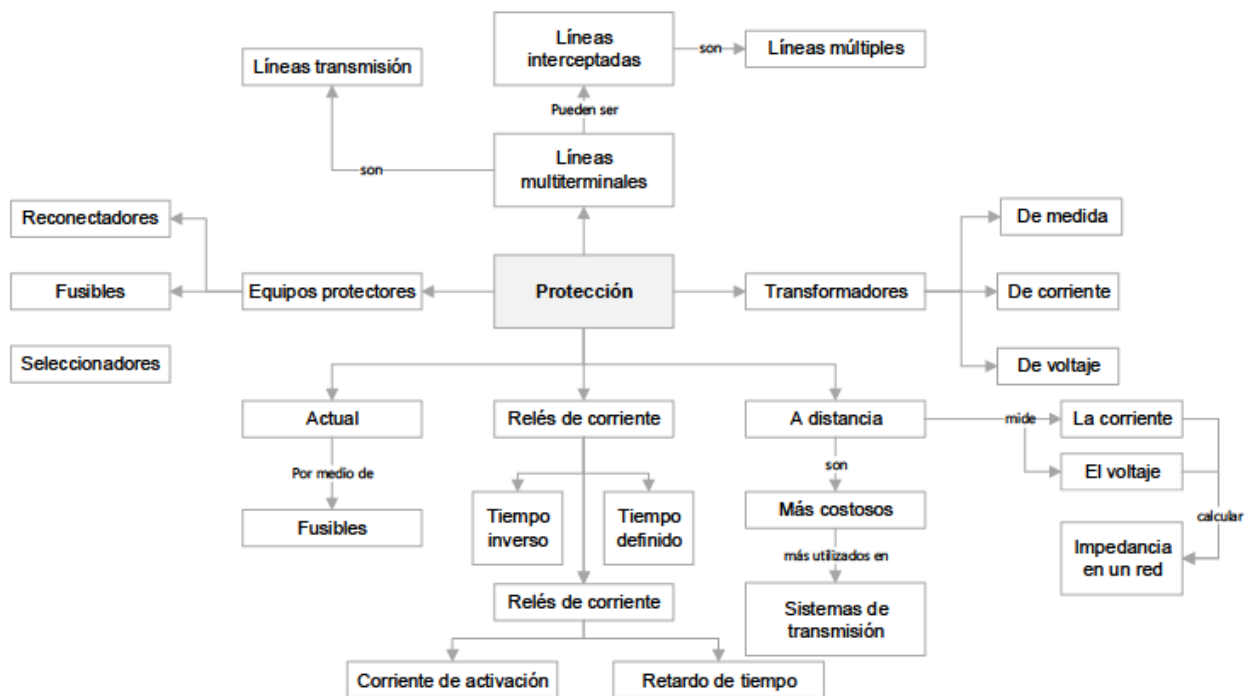
- Según (SOCUAYALA, 2017); en su tesis “Influencia de la coordinación de protección en la calidad de suministros del sistema eléctrico del alimentador 7004 de la Minera EIRL. CHUMPE - 2017” de la Universidad Continental, Huancayo, Perú. Tiene como objetivo el de garantizar un sistema continuo, seguro acorde con las normas y reglamentos establecidas con una metodología la observación científica que nos permitirá conocer la realidad mediante la observación de los objetos y fenómenos. Obteniendo como resultados la obtención de un sistema en equilibrio con el reajuste de los equipos de protección, entregando confiabilidad y continuidad a la SET Chumpe. Concluyendo que una buena coordinación actuará frente a la calidad de suministro logrando reducir los tiempos de disparo de los equipos ante cualquier falla en el sistema de la SET Chumpe (21).
- Según (ORTIZ, 2009); en su tesis “Coordinación de protección de las minicentrales hidroeléctricas Huarisca-Ingenio y el Machu para su reconocimiento por el COES” de la Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Huancayo, Perú. Tiene como objetivo analizar las cargas con el empleo del software DIGSILENT, con una metodología de simulación de datos obtenidos en campo. Teniendo como resultado la proyección del consumo de cada barra del SE de Puerto Maldonado observándose un aumento de carga en la caída de voltaje. Llegando a la conclusión que el resultado obtenido del estudio de coordinación de protección indica que la clase de precisión de la protección de los devanados del TC es adecuada determinando que la lcc en barra de la SET principal apenas incrementa un 2.10% al ingresar en servicio las minicentrales. También se ha determinado la capacidad de corto circuito de los interruptores de media tensión es mayor de lo calculado (22).

## 2.2 Bases teóricas.

### 2.2.1 Sistemas de protección

La protección de un SE es sumamente importante para la ingeniería eléctrica. El objetivo del relé de protección es garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico y evitar escenas de operación desastrosas. Si el relé de protección encuentra una condición anómala en el sistema, es crucial que se defina un mantenimiento correctivo lo más pronto posible. No obstante, es mejor que ocasione un leve daño en el área de la falla. Donde el valor sea menor y el efecto de una línea sin servicio son menores, por lo regular los relés son dispositivos de protección muy costosos.

Figura 1: Sistema de protección.



Fuente: Tesis Roque M, 2019.

#### 2.2.1.1 Coordinación de protección del sistema eléctrico

Tiene como definición a los tiempos de operación para permitir la actuación debidamente configurada en los relés de protección, disminuyendo el tiempo de actuación y garantizando una apropiada configuración en los tiempos de actuación de todas las protecciones, tanto como principales como las de respaldo (7).

#### 2.2.1.2 Criterios de ajuste y coordinación de la protección

Se debe considerar que las protecciones de respaldo y las protecciones principales cuando sean protecciones unitarias solamente requieren ajustes con respecto a las

características de operación de los correspondientes equipos; y, en consecuencia, en el presente documento solamente se menciona de manera general algunas recomendaciones para este ajuste. Las protecciones principales y de respaldo cuando sean protecciones graduadas serán ajustadas y coordinadas de acuerdo a lo establecido en el presente documento (7).

Las protecciones preventivas y las protecciones incorporadas en los equipos serán ajustadas de acuerdo a los criterios de cada proyecto y siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, las cuales están vinculadas a las garantías proporcionadas para cada equipo y su reajuste en el sistema eléctrico (7).

### **2.2.1.3 Principios generales para el ajuste y la coordinación de la protección**

Se debe definir la operación de los relés de protección para detectar las fallas, el funcionamiento anormal del sistema y las condiciones indeseadas de los equipos. El ajuste y la coordinación de la protección deben tener las siguientes características:

- Sensibilidad para detectar estas condiciones por muy incipientes que éstas sean.
- Velocidad para detectar estas condiciones lo más prontamente posible.

En una protección unitaria que comprende solo una zona de protección, la sensibilidad debe como límite distinguir la operación normal de la condición de falla. En cambio, en una protección graduada que alcanza más de una zona, la sensibilidad tiene como límite o meta detectar las fallas con la mínima corriente de falla, la cual se produce con la mínima generación en el extremo de las zonas vecinas a la zona protegida (7).

Es una buena práctica generalizada utilizar 500 ms en los diseños de seguridad de las puestas a tierra; y, de otra parte, es también una práctica aplicar este mismo tiempo como límite de exigencia por cortocircuito a los equipos, con la finalidad de cuidar su vida útil. Por esta razón, es recomendable limitar los tiempos de extinción de la falla por parte de las protecciones a 500 ms. Se debe notar que este tiempo incluye la apertura del interruptor ante el evento suscitado y rápida actuación frente a ello (7).

### **2.2.1.4 Selectividad de la protección**

La selectividad de la protección requiere un apropiado ajuste para detectar todas las fallas en su(s) zona(s) de protección; pero, también requiere una actuación debidamente coordinada. La función objetivo del ajuste y la coordinación de la protección, será la total selectividad con la máxima sensibilidad y la máxima velocidad. Sin embargo, en la realidad estas características no pueden ser todas maximizadas de manera independiente, ya que están relacionadas entre sí. Cuando se incrementa una de ellas lo más probable es que se disminuya las otras dos (2).

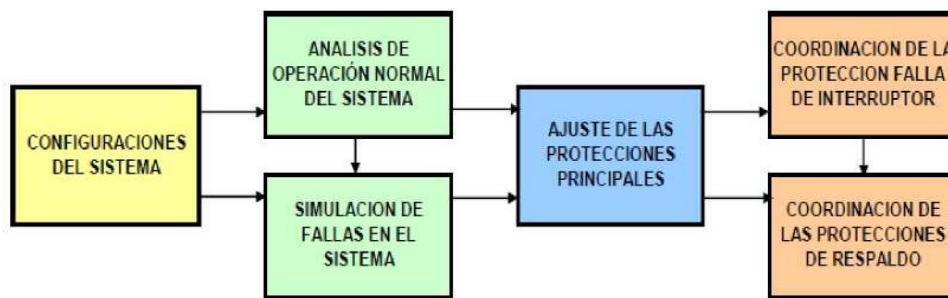


### 2.2.1.5 Fiabilidad y seguridad de la protección

Con la finalidad de asegurar una buena fiabilidad de la protección, se recomienda que la protección principal sea redundante; es decir, se debe tener dos relés de protección físicamente diferentes (protección primaria y secundaria), los cuales deben operar de manera independiente uno del otro y de ser posible contar con baterías de alimentación diferentes (2).

Estas protecciones actuarán en paralelo; es decir, cualquiera de ellas efectuará la acción de disparo de los interruptores. Cuando la seguridad de la protección que otorga un elemento puede ser insuficiente, se recomienda emplear dos elementos de protección que deben actuar en forma simultánea para efectuar una acción de disparo a un interruptor. Es decir, los contactos de estos elementos deben ser conectados en serie para que la acción sea válida (2).

Figura 2: Proceso de ajuste y coordinación de la protección.



Fuente: COES-SINAC, 2016.

La coordinación de la protección tenemos para el cálculo de manera manual las fórmulas dadas de un claro ejemplo sería entre un Recloser y fusibles tipo T, se cuenta con las características de operación del Recloser.

$$80 \times TMS \times (i^2 - 1)$$

Donde:

$t$  = tiempo de disparo.

$TMS$  = Factor multiplicador del tiempo.

$I$  = Múltiplo de la corriente de disparo, fijado por el usuario.

### 2.2.1.6 Análisis de corto circuito

La corriente que fluye a través de un elemento del sistema de potencia es un parámetro que puede ser usado para detectar fallas, dado que se produce un incremento importante del flujo de corriente cuando ocurre un corto circuito.

De acuerdo a Gönen (9) son cuatro tipos de falla que pueden ocurrir en un sistema de distribución:

- ✓ Trifásica a tierra -  $3\phi$
- ✓ Fase a fase (línea a línea) L-L
- ✓ Fase a fase o doble línea a tierra – MG
- ✓ Fase a tierra o una línea a tierra – SLG

La ocurrencia de los diferentes tipos de falla depende de varios factores como la configuración del circuito, la altura de los cables de tierra, métodos de aterramiento en el sistema, niveles de aislamiento relativo para tierra y entre fases, velocidad de despeje de falla, nivel isoceraunico y las condiciones atmosféricas de la zona.

Figura 3: Tipos de fallas.

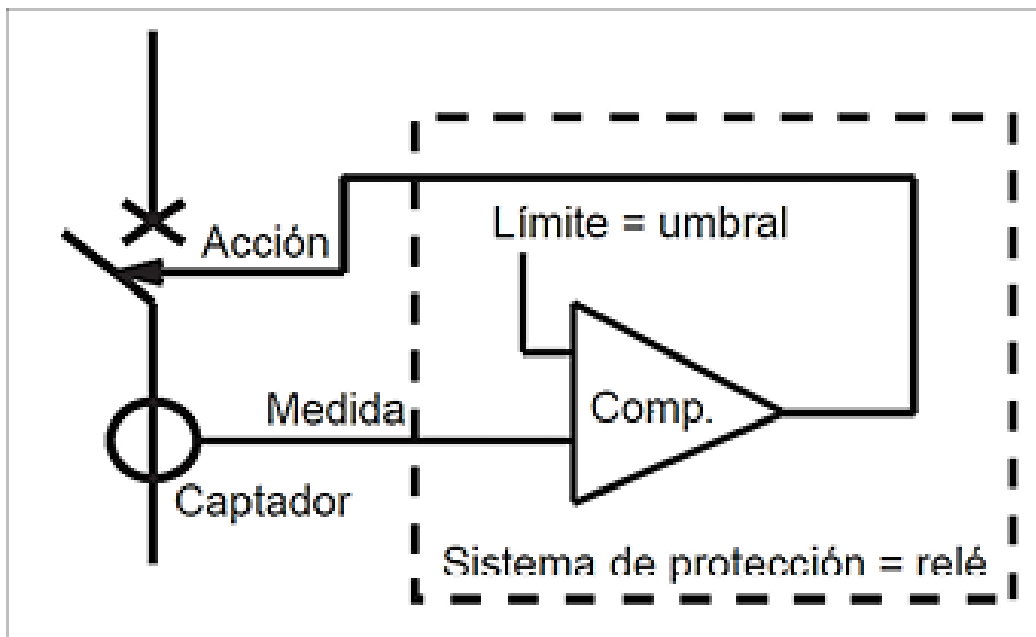
TIPO DE FALLA	PORCENTAJE DE APARICIÓN
Fallas de línea a tierra	80%
Falla de fase a fase (línea a línea)	13%
Falla de dos líneas a tierra	5%
Fallas trifásicas	2%

Fuente: Tesis Wilmer, Quispe Huaranga.

### 2.2.1.7 Protecciones eléctricas en sistemas de distribución

Para definir la operación del sistema de protección, se debe considerar un ajuste que sea totalmente adaptado a todas las condiciones de operación normal del sistema eléctrico; además, se requiere una coordinación para asegurar que las fallas, el funcionamiento anormal del sistema, así como las condiciones indeseadas de los equipos sean aisladas afectando al mínimo a las partes no afectadas (13).

Figura 4: Esquema básico de un sistema de protección.



Fuente: Centro de formación Schneider.

#### 2.2.1.8 Relé de sobrecorriente entre fases y tierra (50/51, 50N/51N)

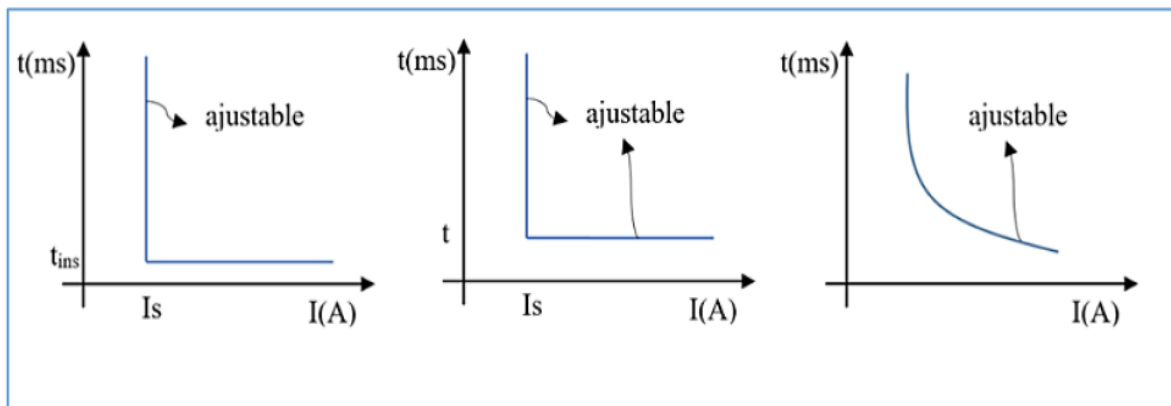
Un relé es un sistema electrónico o digital (microprocesador - controlador) que censa una falla o condición anormal (sobrecorriente, sobre voltaje, sobre frecuencia, entre otros) en el sistema de distribución; un excesivo valor genera una señal de disparo para la apertura del interruptor de potencia. Momoh (11).

Los relés de sobrecorriente entre fases y tierra están ubicados en las salidas de las SET y sirven de respaldo de las protecciones ubicadas aguas abajo de la red, es decir, reconectores y/o fusibles y por lo tanto debe coordinar con ellos (11).

La corriente de arranque de la protección de fase se calcula en base a las cargas que alimenta más una sobrecarga adicional que oscila entre 20 a 50% de la corriente de máxima de demanda. Los tiempos de ajuste y curvas características dependen de las corrientes de cortocircuito y la forma de la red, es por ello que no se puede dar una recomendación general en esta parte (11).

La corriente de arranque de la protección de tierra se calcula en base a las simulaciones de conductor caído a tierra por el lado fuente más una resistencia de falla de alta impedancia (400 Ohm).

Figura 5: Relé de sobrecorriente.



Fuente: [http://grupos.emagister.com/documento/proteccion\\_de\\_sobrecorriente/42367-821760](http://grupos.emagister.com/documento/proteccion_de_sobrecorriente/42367-821760)

### Curvas de tiempo/corriente de acuerdo a norma IEC y ANSI:

$$t = TMS * \left[ \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha} + C \right]$$

Donde:

- t= Tiempo de actuación del relé (variable dependiente).
- I= Corriente que mide el relé (variable independiente).
- $\alpha$ = Parámetro que define la curva característica de operación del relé.
- $I_s$ = Corriente de arranque del relé.
- TMS= Constante de ajuste del relé.
- K= Constante de ajuste del relé.
- C= Constante de ajuste del relé.
- Constantes de tiempo según norma:

Figura 6: Relé de sobrecorriente.

Característica		IEC / BS			ANSI / IEEE		
		$\alpha$	K	C	$\alpha$	K	C
Tiempo Definido		--	0	1	--	--	--
Normal Inverso	NI	0,02	0,14	0	2,0938	8,9341	0,17966
Muy Inverso	VI	1	13,5	0	2	3,922	0,0982
Extremadamente Inverso	EI	2	80	0	2	5,64	0,02434
Inverso de largo tiempo	LI	1	120	0	2	5,6143	2,18592

Fuente: [http://grupos.emagister.com/documento/proteccion\\_de\\_sobrecorriente/42367-821760](http://grupos.emagister.com/documento/proteccion_de_sobrecorriente/42367-821760)

Figura 7: Relé de protección del alimentador A4703.



Fuente: Propia.

### 2.2.2 Calidad de suministro

De acuerdo al artículo 223° del D.S. N°327/97, la calidad del suministro es el conjunto de parámetros físicos y técnicos que, conforme al reglamento y las normas técnicas pertinentes, debe cumplir el producto electricidad. Dichos parámetros son, entre otros, tensión, frecuencia y disponibilidad (9).

Teniendo en cuenta como base la definición de calidad y con el objetivo de precisar, dar a conocer y ser entendible se utilizará los siguientes conceptos:

- **Calidad de servicio técnico:** conjunto de parámetros físicos y técnicos que determinan la calidad del suministro eléctrico propiamente tal, como por ejemplo la continuidad de servicio, regulación de voltaje y frecuencia, etc.
- **Calidad de servicio comercial:** conjunto de parámetros que tengan relación con la atención directa e indirecta al usuario, por parte de la empresa proveedora, como por ejemplo la facturación y medición, atención de reclamos y consultas, entrega de información, etc. (9).

### **2.2.2.1 Estándares de la calidad del servicio**

- ✓ **Calidad del voltaje:** referido a las desviaciones de voltaje del ideal.

El voltaje ideal es una onda de frecuencia constante única y magnitud constante. La limitación de este término es que solo toca lo concerniente a los aspectos técnicos y dentro de estos aspectos técnicos descuida la distorsión de la corriente. El término calidad del voltaje es regularmente usado, especialmente en las publicaciones europeas. Esto puede ser interpretado como la calidad del producto entregada por la distribuidora hacia los clientes. Una definición complementaria puede ser la calidad de la corriente (9).

- ✓ **Calidad de la corriente:** Referido con las desviaciones de la corriente ideal.

La corriente ideal, así como el voltaje, es una onda de frecuencia constante única y magnitud constante. Un requerimiento adicional es que esta onda sinusoidal está en fase con la onda de voltaje. Así la calidad de voltaje está referida con la calidad que la distribuidora entrega al cliente y la calidad de la corriente referida a la calidad que toma el cliente de la distribuidora. Po supuesto que el voltaje y la corriente está fuertemente relacionados y uno de estos parámetros esta desviado de su ideal es difícil que el otro permanezca en su ideal (9).

### **2.2.2.2 Estándares IEC, IEEE, NTCSE**

#### **Calidad del voltaje:**

Hubo y habrá muchos argumentos acerca cual término usar en la interacción por parte del cliente (carga del sistema). Mucha gente usa el término “calidad de la energía” sin embargo este término esta propenso a ser criticado. La mayor

objeción contra el uso del término es que uno no puede hablar de la calidad de una cantidad física como la potencia (10).

A pesar de las teorías la presente tesis usara el término de Calidad de la Energía, aun no sea una perfecta descripción del fenómeno.

La definición dada por la IEC 61000-1-1. La compatibilidad electromagnética (CEM) es la capacidad de un equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables a ningún otro componente en dicho ambiente. En aquellos casos en los que, por las características especiales de los receptores, no se den las condiciones de CEM, se puede proceder a la inmunización de los equipos, recurriendo a los llamados sistemas de corrección de perturbaciones (10).

Recientemente la IEC a través de su proyecto de Calidad de la energía ha considerado el siguiente concepto: conjunto de parámetros definiendo las propiedades de la calidad de la energía suministrada al usuario en condiciones normales de operación en términos de continuidad de suministro y características de voltaje. (Simetría, frecuencia, magnitud, forma de onda) (10).. Calidad del servicio eléctrico se define como: cualquier problema de potencia eléctrica manifestado en desviaciones del nivel de tensión, corriente o frecuencia que resulta en daños o mala operación de los equipos del usuario final.

Heydt, se refiere al suficiente grado de seguridad del servicio eléctrico en base a las medidas, análisis y mejoras que se puedan realizar en los nodos de tensión (nodos), a fin de mantener la tensión en niveles adecuados de magnitud y forma sinusoidal, incluyendo por supuesto la frecuencia (10).

Gunther y Mehta (IEEE) = Power Quality, como un término que es directamente proporcional a las variaciones paramétricas en la energía eléctrica suministrada a los usuarios de esta.

Para especificar medidas correctivas adecuadas, que representan una relación balanceada costo/ beneficio, es preciso establecer criterio práctico sobre los niveles de distorsión permisibles tanto en el sistema de potencia de la planta industrial, como en los límites de distorsión armónica que pueden influir en las líneas de transmisión y distribución de una compañía eléctrica suministradora (10).

Resulta especialmente delicado establecer un criterio que normalice la relación usuaria/compañía suministradora, ya que esta última tiene derecho pedir al usuario que trate de no contaminar su sistema de transmisión y distribución, y el usuario también tiene derecho a pedir el suministro de una energía con la menor contaminación posible. Para lograr estos fines existe ya una normalización avanzada a un nivel mundial, aunque aún en vías de evolución (10).

### **2.2.2.3 Consideraciones del control de calidad de suministro de acuerdo a la NTCSE.**

Para efectos de la norma, no se consideran las interrupciones totales de suministro cuya duración es menor de tres (3) minutos ni las relacionadas con casos de fuerza mayor debidamente comprobadas y calificadas como tales por la autoridad.

Para evaluar la calidad de suministro, se toman en cuenta indicadores que miden el número de interrupciones del servicio eléctrico, la duración de las mismas y la energía no suministrada a consecuencia de ellas. El periodo de control de interrupciones es de seis (6) meses calendario de duración (11).

### **2.2.2.4 Indicadores de la calidad de suministro.**

La calidad de suministro se evalúa utilizando los siguientes dos (2) indicadores que se calculan para periodos de control de un semestre.

#### **A. Número total de interrupciones por cliente por semestre (N).**

Es el número total de interrupciones en el suministro de cada cliente y/o cada alimentador durante un periodo de control de un semestre.

$N =$  Número de Interrupciones, (expresada en: interrupciones / semestre)

El número de interrupciones programadas por expansión o reforzamiento de redes que deben incluirse en el cálculo de este indicador, se ponderan por un factor de cincuenta por ciento (50%). El número total de interrupciones por cliente por semestre se redondea al entero inmediato superior.

#### **B. Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D).**

Es la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al cliente durante un periodo de control de un semestre.

$$D = \varphi \times (K_i \times d_i), (\text{expresada en horas})$$



Donde:

$D_i$ : es la duración individual de la interrupción.

$K_i$ : son factores de ponderación de la duración de las interrupciones por tipo:

- I. interrupciones programadas \* por expansión o reforzamiento:  $K_i = 0.25$
- II. interrupciones programadas \* por mantenimiento:  $K_i = 0.50$
- III. Otras:  $K_i = 1.00$

Las interrupciones programadas deben ser sustentadas al OSINERGMIN y comunicadas a los clientes con una anticipación mínima de cuarenta y ocho (48) horas.

Si existiese diferencia entre la duración real y la duración programada de la interrupción, para el cálculo de la duración total ponderada de interrupciones por cliente ( $D$ ) se considera, para dicha diferencia de tiempo ( $D$ ):

- $K_i = 0$ , si la duración real es menor a la programada.
- $K_i = 1$ , si la duración real es mayor a la programada.

#### 2.2.2.5 Tolerancias

Las tolerancias semestrales de los indicadores N y D establecidos para todos los clientes conectados en distintos niveles de tensión, son:

Tabla 1: Niveles de tolerancias.

<b>Nivel de Tensión del Cliente</b>	<b>Número total ponderado de interrupciones por cliente (N)</b>	<b>Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D) en horas</b>
<b>En alta y muy alta tensión</b>	2	4
<b>En media tensión</b>	4	7
<b>En baja tensión</b>	6	10

Fuente: Aguilar, (2005)

En la actualidad, estas tolerancias solo son aplicables para los concesionarios, que vienen a ser clientes de los concesionarios de transmisión y generación, ya que de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 4° del D.S.N° 040-2001- EM del 2001.07.17, los indicadores de calidad del suministro para el sector de distribución típico 2, en el que únicamente se viene aplicando la NTCSE, fueron modificadas de la siguiente manera:

Tabla 2: Niveles de tensión.

<b>Nivel de Tensión del Cliente</b>	<b>Número total ponderado de interrupciones por cliente (N)</b>	<b>Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D) en horas</b>
<b>En alta y muy alta tensión</b>	3	6
<b>En media tensión</b>	6	10
<b>En baja tensión</b>	8	13

Fuente: Aguilar, (2005).

Asimismo, la NTCSE establece los límites de los indicadores N y D para los clientes en baja tensión de los servicios calificados como urbano -rural, del siguiente modo:

Tabla 3: Descripción de tipo de servicio.

<b>Nivel de Tensión del Cliente</b>	<b>Número total ponderado de interrupciones por cliente (N)</b>	<b>Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D) en horas</b>
<b>En alta y muy alta tensión</b>	3	6
<b>En media tensión</b>	6	10
<b>“En baja tensión</b>	8	13

Fuente: Aguilar, (2005).

### **2.2.2.6 Medición de la calidad de la energía.**

La Norma IEC-61000-4-30 Pruebas y técnicas de medición- Métodos de medición de la calidad de la energía. Tienen el objetivo de describir la metodología de la medición y la interpretación de resultados para los parámetros enlistados en la norma EN50160.

Se sugieren en esta norma dos tipos de clases de desempeño de la medición:

- Tipo A: Recomendado a usarse en aplicaciones de medición con fines contractuales, evaluación de la conformidad con normas. Aplicaciones en donde se requiera un mínimo de incertidumbre.
- Tipo B: Recomendación elaborada para aplicaciones donde no se requiere una baja incertidumbre, tales como mediciones para fines

estadísticos, análisis de problemas de operación por mencionar algunos ejemplos.

La norma propone cuatro ventanas o intervalos de observación estándar:

- Ventana base de observación de 200 milisegundos (10 ciclos para 50 Hz y 12 ciclos para 60 Hz).
- Intervalos muy cortos: Promedios de 3 segundos, observando todos los ciclos.
- Intervalos cortos: Promedios y estadísticos 10 minutos.
- Intervalos largos: Promedios y estadísticos 10 minutos.

Tabla 4: Límites según la Norma EM-50160.

<b>Evento en la tensión de suministro</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Duración</b>
<b>Sags</b>	90% < 1%	10 ms < 1 minuto
<b>Baja de tensión</b>	90% < 1%	>1minuto
<b>Interrupción de suministro</b>	< 1 %	<3 minutos (breve) >3 minutos (larga)
<b>Sobretensión temporal</b>	> 110%	Relativamente larga
<b>Sobretensión transitoria</b>	> 110%	milisegundos

Fuente: Holguín, (2010).

Tabla 5: Límite de corta y larga duración según norma IEEE-1159.

<b>Categorías</b>	<b>Duración típica</b>	<b>Magnitud típica de la tensión</b>
<b>Variaciones corta duración</b>		
<b>Instantánea</b>		
<b>Hueco</b>	0.5 – 30 ciclos	0.1 - 0.9p.u.
<b>Swell</b>	0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8p.u.
<b>Momentánea</b>		
<b>Interrupción</b>	0.5 ciclos - 3 s	< 0.1p.u.

<b>Hueco</b>	30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9p.u.
<b>Swell</b>	30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4p.u.
<b>Temporal</b>		
<b>Interrupción</b>	3 s- 1 min	< 0.1p.u.
<b>Hueco</b>	3 s- 1 min	0,1 – 0,9p.u.
<b>Swell (sobretensiones)</b>	3 s- 1 min	1,1 – 1,2p.u.
<b>Variaciones larga duración</b>		
<b>Interrupción</b>	> 1 min	0 p.u.
<b>Subtensión</b>	> 1 min	0,8 – 0,9p.u.
<b>Sobretensión</b>	> 1 min	1,1 – 1,2p.u.

Fuente: www.ieee.org.

### 2.2.2.7 Características de los alimentadores de la SET Ninatambo

Tabla 6: Límites según la Norma EM-50160.

<b>Característica</b>	<b>Detalle, Tipo o modelo</b>
<b>Sistema</b>	Trifásico, 3 hilos con neutro rígidamente conectada a tierra
<b>Tensión</b>	22.9 kV
<b>Longitud</b>	Total 22 Km aproximadamente
<b>Altitud</b>	3050 msnm
<b>Conductor</b>	AAAC de 30 mm <sup>2</sup> .
<b>Postes</b>	Postes de pino y eucalipto tratada de 18 metros de longitud
<b>Vano promedio</b>	60 metros
<b>Nº de ternas</b>	Dos
<b>Nº de alimentadores</b>	A4701 A4702 A4703 A4704 A4750

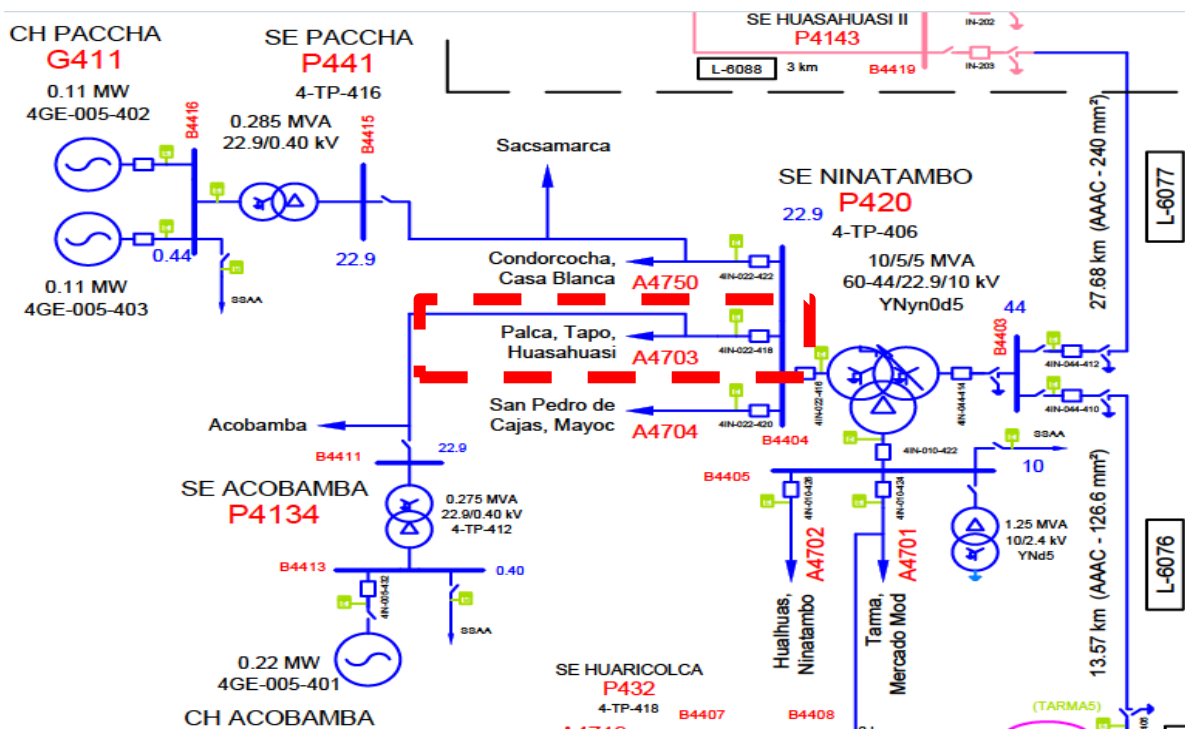
<b>Disposición de Conductores</b>	Vertical
<b>Aisladores</b>	Porcelana tipo pin ANSI 52-4 y suspensión ANSI 56-2

Fuente: Electrocentro S.A.

Tabla 7: Característica del transformado.

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Marca:</b>	SIEMENS
<b>Tipo:</b>	4-TP-044
<b>N° de Serie:</b>	2-36Y2936
<b>Año de Fabricación:</b>	1965
<b>Tensión de Distribución:</b>	22.9 KV
<b>Corriente:</b>	100 A
<b>Potencia:</b>	5 MVA
<b>Frecuencia:</b>	60 Hz
<b>Tensión (KV):</b>	44 kV
<b>Los galones de aceite por tanque:</b>	85 gal
<b>El peso de tanque con aceite:</b>	1550 kg
<b>Total peso con aceite:</b>	2340 kg
<b>Montaje:</b>	Exterior
<b>Altura:</b>	3050 m.s.n.m.

Figura 8: Esquema eléctrico de Tarma.



Fuente: Electrocentro SA.

### 2.3 Definición de términos básicos

- ✓ **Fiabilidad.** Es la permanencia de la calidad de los productos (o servicios) a lo largo del tiempo. Es decir, la capacidad de desarrollar adecuadamente su labor a lo largo del tiempo.
- ✓ **Sistemas eléctricos (SE).** Es el conjunto de elementos que constituyen la red eléctrica de potencia siendo su función, generar, transmitir y distribuir, la energía eléctrica hasta los usuarios.
- ✓ **Calidad de suministro.** Se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio.
- ✓ **Interrupción.** Es un evento que altera la secuencia en que el procesador ejecuta las instrucciones.
- ✓ **Calidad de la energía eléctrica.** Es la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS.
- ✓ **Sobrecorriente.** Es la corriente máxima que un dispositivo puede soportar en un tiempo determinado, es mayor que la corriente nominal y causada por una sobrecarga, cortocircuito.

- ✓ **IEC (Comisión Electrotecnia Internacional).** Es la organización que publica estándares internacionales basadas en el consenso y gestiona los sistemas de evaluación de conformidad de los productos, sistemas y servicios eléctricos y electrónicos.
- ✓ **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).** Es una organización profesional creada con el objetivo de ayudar a la prosperidad global, mediante la promoción del proceso de ingeniería.
- ✓ **Perturbación.** Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema.
- ✓ **Subestación eléctrica:** Es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica.
- ✓ **Interruptor de potencia.** Es un dispositivo electromecánico, cuya función principal es la de conectar y desconectar circuitos eléctricos bajo condiciones normales o de falla.
- ✓ **Reconector.** Es un interruptor con reconexión automática.
- ✓ **THDV:** Distorsión total de armónicas de tensión
- ✓ **NTCSE:** norma técnica de calidad de los sistemas eléctricos.
- ✓ **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo o un sistema cumplan con su misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

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

El método de investigación es analítico porque se analizó el ajuste de cada sistema de protección, para mejorar y corregir la situación problemática, que ha dado origen al estudio de investigación. Estos experimentos pueden ser realizados en un laboratorio o fuera de él (entorno natural). Este método responde a las preguntas ¿qué cambios y modificaciones se producirán?, ¿qué mejoras se lograrán?, ¿cuál es la eficiencia del nuevo sistema?

Asimismo, la investigación fue de alcance descriptivo-explicativo, tal como lo indicaron Hernández, y otros (17). 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 estudio fue experimental, con un grupo para la Pre Prueba y Post- Prueba, de los indicadores de la variable dependiente, comparando los resultados de cada prueba. Hernández, Fernández y Baptista (2014) refieren que este tipo de diseño pre-experimental, en donde se puede observar cómo es aplicada una prueba anterior a un estímulo y después se aplica la misma prueba, pero con el estímulo (p.136).



### **3.3 Población y muestra**

La población contempla la barra de media tensión B4404 con los Alimentadores A4702, A4703 Y A4750 y como muestra se tiene al alimentador A4703 en 22.9kV que suministra el servicio de energía eléctrica a una parte de los distritos de Tapo, Palca y Huasahuasi de la provincia de Tarma.

El tipo de muestra es de carácter NO PROBABILÍSTICO debido a que los elementos en estudio no fueron seleccionados al azar sino se escogieron como elementos representativos de forma intencional.

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

El procedimiento de la recolección de datos nos condujo a juntar valores relevantes para así lograr los objetivos planeados en el presente informe.

La información deseada para lograr el estudio se encuentra en un archivo digital obtenido por el mismo software utilizado, del cual solo nos importa los resultados obtenidos.

Asimismo, los instrumentos usados son el protocolo de pruebas conjuntamente con la maleta de pruebas de la marca Ómicron con su respectivo software Test Universe 4.20, para corroborar un buen funcionamiento, verificando una correcta configuración del relé de protección.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Pruebas funcionales a los relés de protección de sobrecorriente.

En el siguiente grafico se muestra los ajustes de fases y tierra para cada uno de los relés.

Figura 9: Ajustes de sobrecorriente de fases.

Ítem	Mod.	Alim.	Funciones	RTC (A)		Pick-Up (5I)	Dial	Curva	Pick-Up (50)	Time (s)
				Prim	Sec					
1	REF630	A4701	PHLPTOC	150	5	1.2	0.3	IEC Very inv.		
2	REF630	A4702	PHLPTOC	150	5	1.2	0.3	IEC Very inv.		
3	REF630	A4703	PHLPTOC PHIPTOC	100	5	1	0.15	IEC Norm inv.	12	0.05
4	REF630	A4704	PHLPTOC PHIPTOC	100	5	1	0.15	IEC Norm inv.	12	0.05
5	REF630	A4750	PHLPTOC PHIPTOC	100	5	1	0.15	IEC Norm inv.	12	0.05
6	REF630	BARRA 10 kV	PHLPTOC	400	5	1.25	0.15	IEC Norm inv.		
7	REF630	BARRA 22.9 kV	PHLPTOC	200	5	0.7	0.2	IEC Norm inv.		
8	REF630	BARRA 44 kV	PHLPTOC	150	5	1	0.2	IEC Norm inv.		

Fuente: Propia.

Figura 10: Ajustes de sobrecorriente de tierra.

Ítem	Mod.	Alim.	Funciones	RTC (A)		Pick-Up (51)	Dial	Curva	Pick-Up (50)	Time (s)
				Prim	Sec					
1	REF630	A4701	EFLPTOC	150	5	0.2	0.35	IEC Very inv.		
2	REF630	A4702	EFLPTOC	150	5	0.2	0.35	IEC Very inv.		
3	REF630	A4703	EFLPTOC EFIPTOC	100	5	0.4	0.4	IEC Very inv.	10	0.02
4	REF630	A4704	EFLPTOC EFIPTOC	100	5	0.4	0.4	IEC Very inv.	10	0.02
5	REF630	A4750	EFLPTOC EFIPTOC	100	5	0.4	0.4	IEC Very inv.	10	0.02
6	REF630	BARRA 10 kV								
7	REF630	BARRA 22.9 kV	EFLPTOC	200	5	0.3	0.65	IEC Very inv.		
8	REF630	BARRA 44 kV	EFLPTOC	150	5	0.2	0.4	IEC Very inv.		

Fuente: Propia.

Para el ensayo se utilizó el equipo de pruebas OMICRON CMC-356 mediante la inyección de corrientes secundarias, simulando condiciones de falla, con la finalidad de verificar el pickup (arranque) y los tiempos de operación de la función de sobrecorriente de fases y tierra.

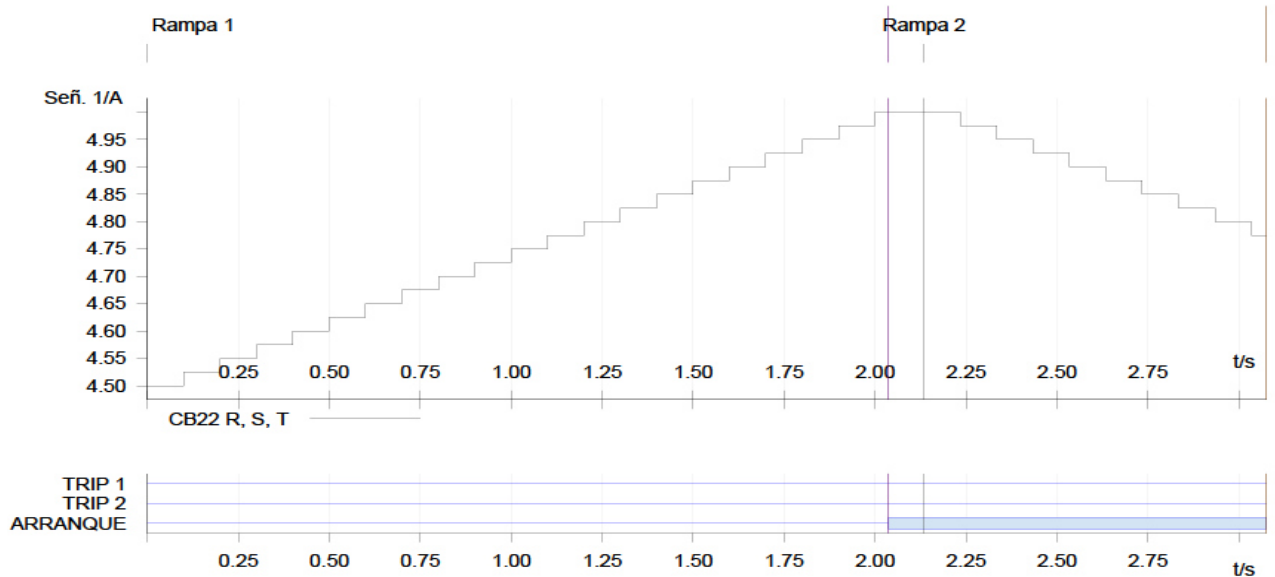
Con respecto al resultado de los ensayos, se confirma que fueron satisfactorio, actuando los relés dentro de las tolerancias indicadas en el manual. Con excepción del rele de la barra de 22.9 kV, para la función de sobrecorriente de tierra temporizada se muestra una desviación en la curva.

Figura 11: Desviación de protección 50N para el relé de barra de 22.9kV.



Fuente: Propia.

Figura 12: Prueba de sobrecorriente de fases.



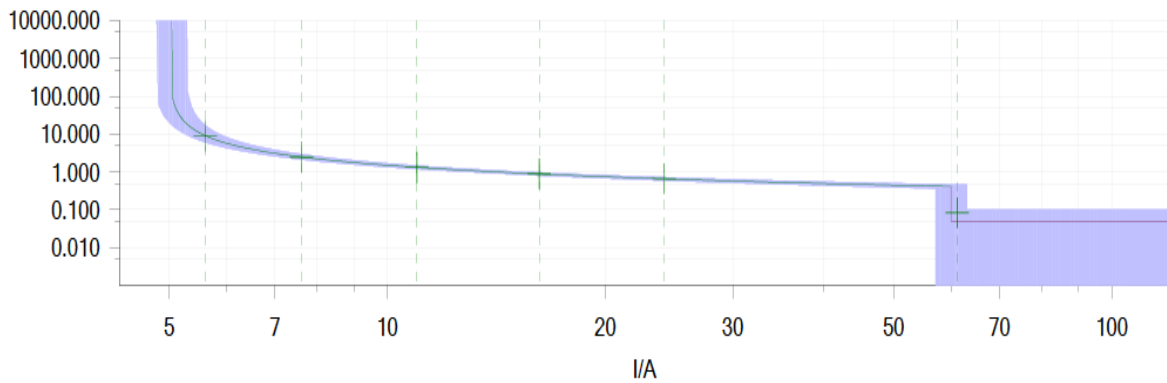
### Resultados de la evaluación

Nombre / ejec.	Rampa	Condición	Señ.	Nom.	Real	Tol.-	Tol.+	Desv.	Eval.	treal
Arranque	Rampa 1	ARRANQUE 0->1	CB22 R, S, T	5.000 A	5.000 A	150.0 mA	150.0 mA	0.000 A	+	37.20 ms
Reposicion	Rampa 2	ARRANQUE 1->0	CB22 R, S, T	4.850 A	4.775 A	150.0 mA	150.0 mA	-75.00 mA	+	41.40 ms

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Fuente: Propia.

Figura 13: Curva característica 50/51 fases L1-L2 (R-S)

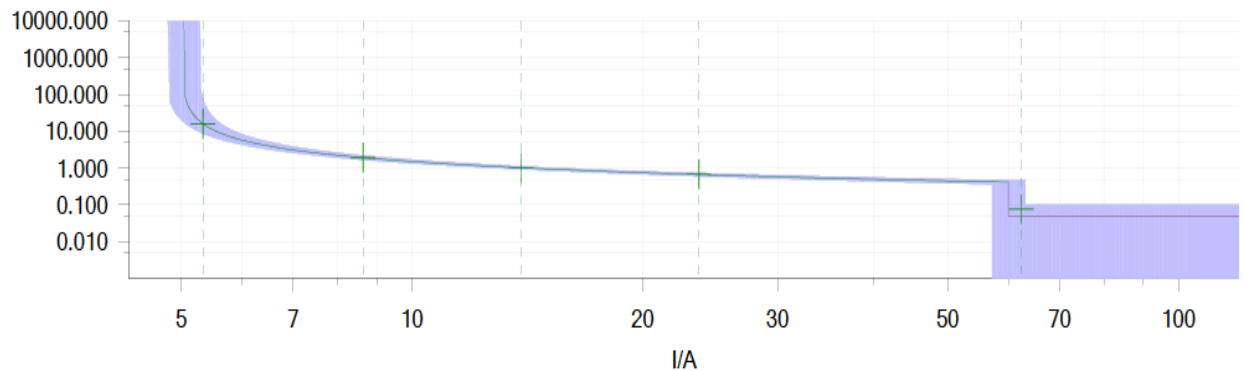


**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
R-S	PHLPTOC:1	1.122	5.610 A	n/a	9.110 s	9.002 s	-1.184 %	No	Correcta
R-S	PHLPTOC:1	1.524	7.621 A	n/a	2.481 s	2.484 s	0.1172 %	No	Correcta
R-S	PHLPTOC:1	2.199	11.00 A	n/a	1.322 s	1.327 s	0.3531 %	No	Correcta
R-S	PHLPTOC:1	3.243	16.21 A	n/a	882.1 ms	886.9 ms	0.5419 %	No	Correcta
R-S	PHLPTOC:1	4.822	24.11 A	n/a	657.0 ms	663.2 ms	0.9495 %	No	Correcta
R-S	PHIPTOC.1	1.020	61.20 A	n/a	50.00 ms	83.80 ms	67.60 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 14: Curva característica 50/51 fases L3-L1 (T-R)

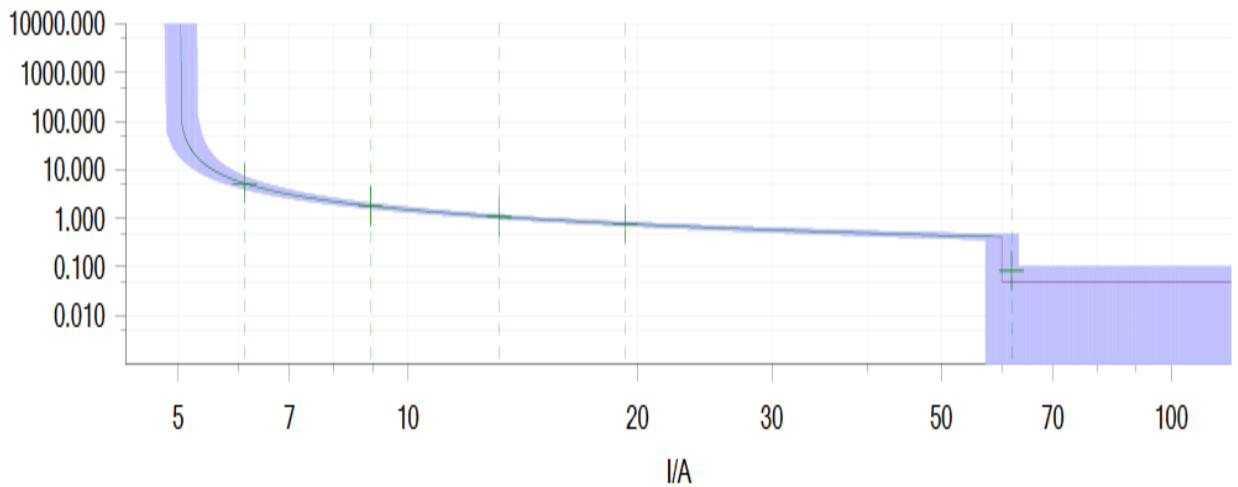


**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
T-R	PHLPTOC:1	1.068	5.340 A	n/a	15.95 s	15.65 s	-1.894 %	No	Correcta
T-R	PHLPTOC:1	1.727	8.636 A	n/a	1.911 s	1.917 s	0.3220 %	No	Correcta
T-R	PHLPTOC:1	2.776	13.88 A	n/a	1.018 s	1.021 s	0.2971 %	No	Correcta
T-R	PHLPTOC:1	4.740	23.70 A	n/a	664.4 ms	673.7 ms	1.405 %	No	Correcta
T-R	PHIPTOC.1	1.040	62.40 A	n/a	50.00 ms	75.20 ms	50.40 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 15: Curva característica 50/51 fases L2-L3 (S-T)

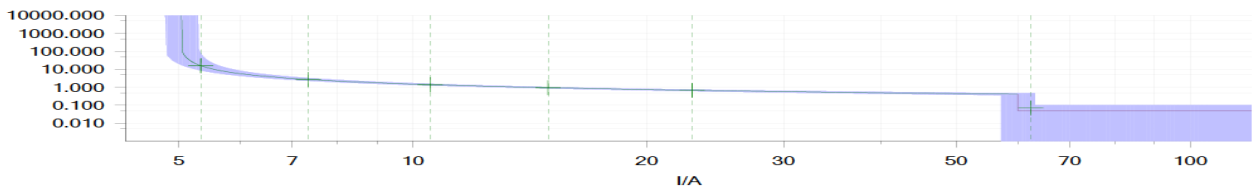


**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
S-T	PHLPTOC:1	1.223	6.116 A	n/a	5.203 s	5.172 s	-0.5870 %	No	Correcta
S-T	PHLPTOC:1	1.788	8.940 A	n/a	1.797 s	1.801 s	0.2430 %	No	Correcta
S-T	PHLPTOC:1	2.636	13.18 A	n/a	1.073 s	1.084 s	1.035 %	No	Correcta
S-T	PHLPTOC:1	3.853	19.27 A	n/a	767.9 ms	769.0 ms	0.1375 %	No	Correcta
S-T	PHIPTOC.1	1.030	61.80 A	n/a	50.00 ms	83.10 ms	66.20 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 16: Curva característica 50/51 FASES L1-L2-L3 (R-S-T)

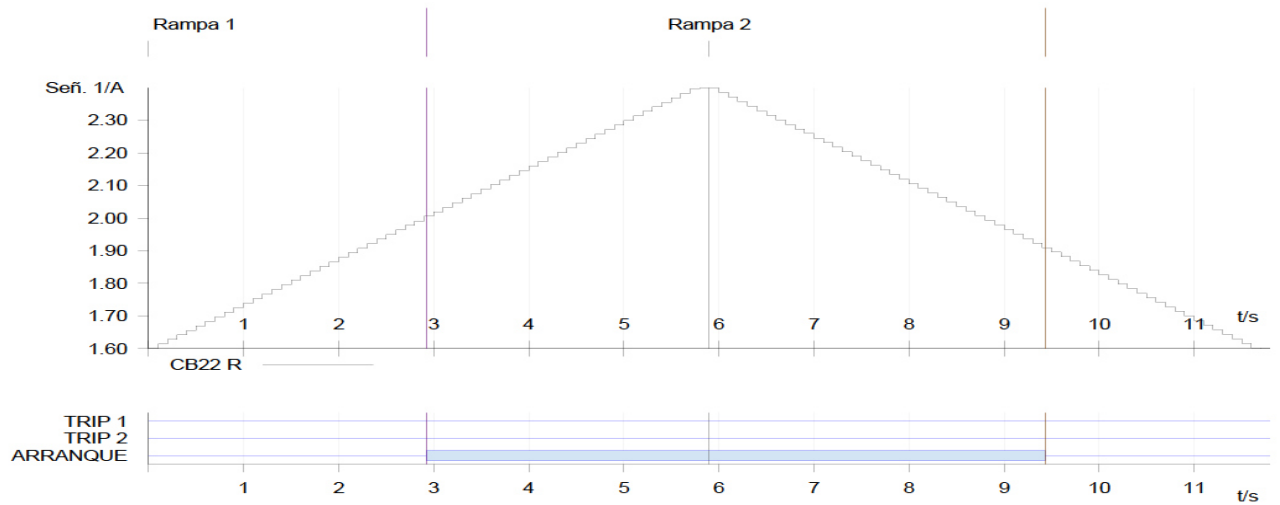


**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
R-S-T	PHLPTOC:1	1.068	5.340 A	n/a	15.95 s	15.60 s	-2.188 %	No	Correcta
R-S-T	PHLPTOC:1	1.468	7.340 A	n/a	2.725 s	2.720 s	-0.1649 %	No	Correcta
R-S-T	PHLPTOC:1	2.106	10.53 A	n/a	1.399 s	1.397 s	-0.1131 %	No	Correcta
R-S-T	PHLPTOC:1	2.987	14.94 A	n/a	949.0 ms	951.1 ms	0.2247 %	No	Correcta
R-S-T	PHLPTOC:1	4.579	22.90 A	n/a	679.7 ms	679.6 ms	-0.01010 %	No	Correcta
R-S-T	PHIPTOC.1	1.040	62.40 A	n/a	50.00 ms	69.30 ms	38.60 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 17: Prueba de sobrecorriente neutro.



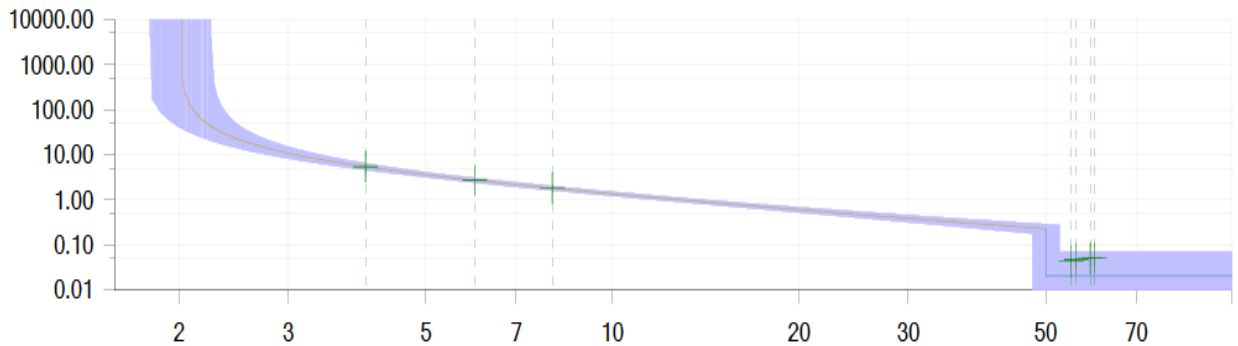
### Resultados de la evaluación

Nombre / ejec.	Rampa	Condición	Señ.	Nom.	Real	Tol.-	Tol.+	Desv.	Eval.	treal
Arranque	Rampa 1	ARRANQUE 0->1	CB22 R	2.000 A	2.006 A	150.0 mA	150.0 mA	6.000 mA	+	23.50 ms
Reposición	Rampa 2	ARRANQUE 1->0	CB22 R	2.000 A	1.910 A	150.0 mA	150.0 mA	-90.00 mA	+	33.40 ms

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Fuente: Propia.

Figura 18: Prueba de sobre corriente neutro.

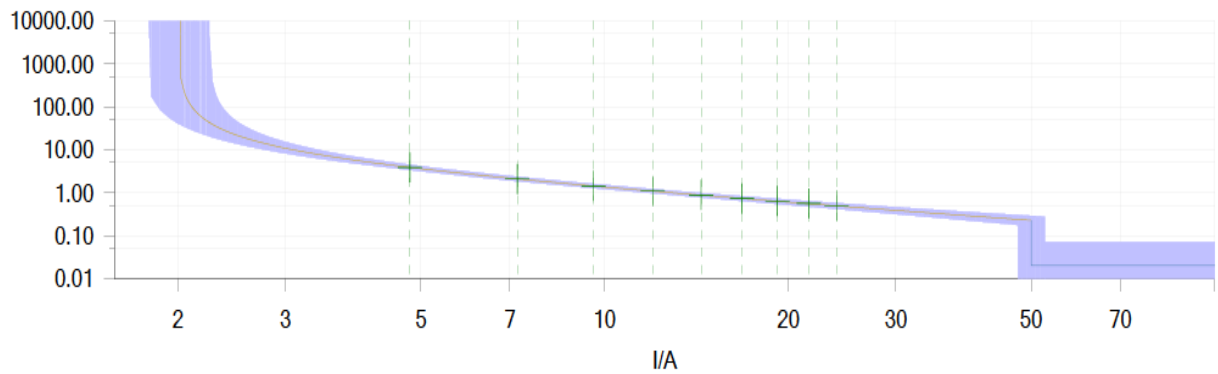


### Resultados de la prueba de disparo:

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
3I0	EFLPTOC:1	2.000	4.000 A	n/a	5.400 s	5.395 s	-0.09630 %	No	Correcta
3I0	EFLPTOC:1	3.000	6.000 A	n/a	2.700 s	2.700 s	0.0000 %	No	Correcta
3I0	EFLPTOC:1	4.000	8.000 A	n/a	1.800 s	1.803 s	0.1611 %	No	Correcta
3I0	EFIPTOC:1	1.100	55.00 A	n/a	20.00 ms	42.30 ms	111.5 %	No	Correcta
3I0	EFIPTOC:1	1.120	56.00 A	n/a	20.00 ms	47.80 ms	139.0 %	No	Correcta
3I0	EFIPTOC:1	1.180	59.00 A	n/a	20.00 ms	49.90 ms	149.5 %	No	Correcta
3I0	EFIPTOC:1	1.200	60.00 A	n/a	20.00 ms	50.00 ms	150.0 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 19: Curva característica 51 neutro L2-N (S-N)

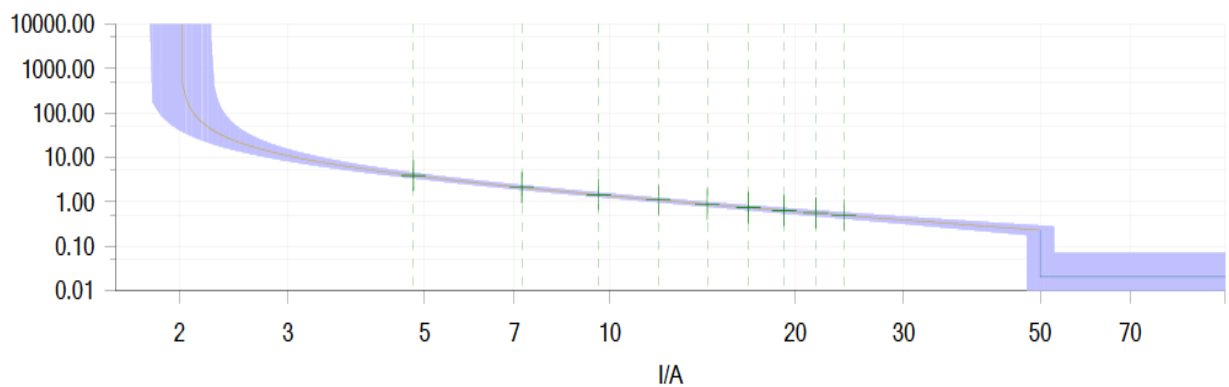


**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
S-E	EFLPTOC:1	2.400	4.800 A	n/a	3.857 s	3.861 s	0.08960 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	3.600	7.200 A	n/a	2.077 s	2.079 s	0.08560 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	4.800	9.600 A	n/a	1.421 s	1.423 s	0.1370 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	6.000	12.00 A	n/a	1.080 s	1.083 s	0.2685 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	7.200	14.40 A	n/a	871.0 ms	874.6 ms	0.4170 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	8.400	16.80 A	n/a	729.7 ms	731.9 ms	0.2974 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	9.600	19.20 A	n/a	627.9 ms	634.0 ms	0.9704 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	10.80	21.60 A	n/a	551.0 ms	558.7 ms	1.394 %	No	Correcta
S-E	EFLPTOC:1	12.00	24.00 A	n/a	490.9 ms	498.3 ms	1.506 %	No	Correcta

Fuente: Propia.

Figura 20: Curva característica 51 neutro L3-N (T-N)



**Resultados de la prueba de disparo:**

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Desviación	Sobrecarga	Resultado
T-E	EFLPTOC:1	2.400	4.800 A	n/a	3.857 s	3.863 s	0.1467 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	3.600	7.200 A	n/a	2.077 s	2.078 s	0.04220 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	4.800	9.600 A	n/a	1.421 s	1.423 s	0.1511 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	6.000	12.00 A	n/a	1.080 s	1.077 s	-0.3148 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	7.200	14.40 A	n/a	871.0 ms	870.4 ms	-0.06520 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	8.400	16.80 A	n/a	729.7 ms	727.5 ms	-0.3056 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	9.600	19.20 A	n/a	627.9 ms	633.1 ms	0.8270 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	10.80	21.60 A	n/a	551.0 ms	556.0 ms	0.9037 %	No	Correcta
T-E	EFLPTOC:1	12.00	24.00 A	n/a	490.9 ms	497.8 ms	1.404 %	No	Correcta

Fuente: Propia.



## **4.2 Pruebas de hipótesis y análisis de la información**

En la hipótesis general planteada la calidad del suministro se ve garantizada gracias a las pruebas realizadas al relé ABB REF630 del alimentador A4703, comprobando que cuenta con una correcta calibración, demostrada en la figura 12 y 17 el cual nos da una garantía de que la sobrecorriente entre fases y la sobrecorriente de neutro no generen interrupciones en mayor proporción y no solo eso, sino que también serán controladas a tiempo real por los operadores de centro de control para su pronta reposición del servicio.

En la hipótesis específica planteada se obtendrá la confiabilidad gracias a la verificación de los ajustes del sistema de protección implementada para el alimentador A4703 respetando la parametrización obtenida por centro de control, realizadas según el estudio de coordinación de protección y las normas establecidas para dicho sistema.

Interpretación: En la figura 12 y 17 se observa que, con el análisis del dispositivo de protección se garantiza la operatividad y confiabilidad del sistema eléctrico por lo tanto se logra cumplir con la Norma técnica de calidad de servicios eléctricos. Por lo tanto, aceptamos la hipótesis: Un adecuado sistema de protección optimizará la confiabilidad del alimentador de media tensión A4703.

## **4.3 Discusión de resultados**

Los resultados demuestran que la protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del suministro del servicio eléctrico en el Alimentador A4703 de la Unidad de negocios de Tarma, toda vez que en casos de fallas dentro del sistema se activan otros interruptores para asegurar la calidad del servicio de energía.

Diversos estudios han determinado similares resultados, tales como los siguientes: Cuevas y Hernández, quienes concluyeron que, en caso de interrupción del funcionamiento de un sistema eléctrico, las protecciones eléctricas son el método aplicado para descarte de desperfectos en el menor tiempo posible, esto permitirá identificar los patrones electrónicos que facilitaran seleccionar un buen dispositivo de protección (12).

La protección de los sistemas eléctricos es favorable frente a fallas causadas accidentalmente o naturales, tal como indica la teoría, de manera que trae consigo ventajas como las siguientes:

- i) Seguridad, los requisitos de seguridad garantizan que el equipo tiene unas especificaciones suficientes para admitir la energía máxima disponible en el peor de los casos.
- ii) Protección de equipos, los requisitos de protección se cumplen si los dispositivos de protección contra sobreintensidad se configuran por encima de los niveles de funcionamiento de la carga y por debajo de las curvas de daños en los equipos.
- iii) Selectividad, los requisitos de selectividad pretenden limitar los fallos del sistema o la respuesta de sobrecarga a una área o zona de impacto específicas, así como limitar la interrupción del servicio a las mismas. (12)

Teniendo en cuenta los resultados y los antecedentes revisados se ha determinado la importancia del análisis del sistema de protección en el sistema eléctrico de distribución de la ciudad de Tarma.

## CONCLUSIONES

1. Se ha determinado que la protección del sistema eléctrico de distribución mediante relés digitales con la función de sobrecorriente afecta positivamente en la calidad del suministro del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4703 de la Unidad de negocios de Tarma, toda vez que la prueba de hipótesis resultó ser significativa. Asimismo, la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad.
2. Asimismo, se ha evaluado la reducción de fallas generados en el sistema eléctrico gracias a las pruebas eléctricas realizadas a la protección del sistema eléctrico de distribución que cuentan con relés digitales con función de sobrecorriente.
3. Además, la calidad de suministro del servicio eléctrico del alimentador A4703 de la Unidad de negocios de Tarma no se vio afectada significativamente dado que el tiempo promedio entre fallas, la duración de interrupción y la estabilidad de la frecuencia fueron aceptables.

## RECOMENDACIONES

1. La protección del sistema eléctrico debe ser una práctica que debe implementarse dentro de la planificación de los sistemas de manera que se asegure la calidad del servicio de energía. Además, se recomienda que se implementen relés digitales, los cuales están siendo ampliamente aceptados en el ámbito de la protección de sistemas eléctricos de potencia.
2. Los relés digitales son dispositivos con múltiples capacidades que realizan funciones de protección, medición, control y supervisión. Asimismo, la capacidad de comunicación de los relés digitales hace posible que interactúen con otros relés, o con estaciones de monitoreo y control en forma local o remota favoreciendo una supervisión continua y una mayor cantidad de información de un sistema de potencia.
3. Asimismo, se debe planificar adecuadamente las fallas que se generan dentro de una red de distribución de manera que se pueda prevenir y actuar anticipadamente para asegurar la calidad del servicio de energía.
4. Además, la calidad de frecuencia del servicio eléctrico de energía debería ser el objetivo principal para las empresas distribuidoras de manera que prevengan y tomen medidas para el correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SARAY, (2011). Diseño del sistema de protección y control de subestaciones eléctricas de la Universidad Carlos III de Madrid.
2. OSWALDO, (2010). Coordinación de protección en el alimentador de distribución Cerro 8.
3. NÚÑEZ, (2018). Sistema de protección adaptativo para micro-redes basado en optimización robusta.
4. ROBLES, (2018). Propuesta de un modelo de automatización del sistema de distribución a 22kV para la óptima colocación de protecciones inteligentes en el alimentador principal.
5. LEON, PELAU & SANCHEZ, (2015). Diseño y construcción de un banco de protecciones de sobrecorriente, para alimentadores de media tensión.
6. OVIEDO, (2015). Interconexión de la Central Hidroeléctrica de Langui II al sistema eléctrico interconectado nacional – SEIN.
7. ANDERSSON, G. Power System Analysis. Zürich, 2012.227-0526-00.
8. PAUCAR & HUARHUA, (2018). Estudio de coordinación del sistema de protección de alimentadores de media tensión con generación distribuida ante fallas en redes adyacentes en Cusco y Apurímac.
9. HIDALGO, A., Domingo Fernando. Sistema de Protección de la Línea de Subtransmisión Pomabamba - Huari en 60 Kv. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo: 2013.
10. Vilca Choque, Miguel Ángel y Quisiyupanqui Cusiquispe, Jhon Edgar. Estudio de coordinación de protecciones en la subestación Dolorespata acorde a la nueva topología en alta y media tensión para el año 2018. Cusco: s.n., 2015.
11. COES SINAC, (2014). Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN, Lima, Perú.
12. La Industria de la Electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país. Osinergmin. 2017-01864, Lima: Gráfica Biblios S.A., 2017.978-612-47350-0-4.
13. BEAMA. Guide to Surge Protection Devices (SPDs): selection, application and theory. 2014.
14. MACHACA & COILA, (2017). Estudio y análisis experimental de la calidad del suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes - 2016
15. TURPO, (2018). Análisis de los componentes de protección en subsistemas de distribución secundaria para lograr la confiabilidad de la continuidad del sistema.

16. RUBIO, (2018). Análisis del suministro de energía eléctrica de la planta procesadora de limón y mango de agroindustrias AIB – Motupe – Lambayeque en el marco de la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos.
17. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y M. BAPTISTA. Metodología de la investigación. México: McGrawHill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
18. MAYTA, (2019). 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.
19. PORRAS, (2019). Evaluación de los dispositivos de protección ante el incremento de la demanda en el SER Cangallo-Ayacucho.
20. ROMA, (2019). Protecciones de sobrecorriente para la mejora de la continuidad de suministro de la SET Chimbote Nuevo.
21. SOCUAYALA, (2017). Influencia de la coordinación de protección en la calidad de suministros del sistema eléctrico del alimentador 7004 de la Minera EIRL. CHUMPE – 2017.
22. ORTIZ, (2009). Coordinación de protección de las minicentrales hidroeléctricas Huarisca-Ingenio y el Machu para su reconocimiento por el COES.

## **ANEXOS**

## ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DE SUMINISTRO DEL ALIMENTADOR A4703-TARMA”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p>PG: ¿Cómo optimizar la calidad de suministro con el análisis en los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703??</p> <p>PE1: ¿Cómo mejorar los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703?</p> <p>PE2: ¿Cómo optimizar los indicadores de calidad de suministro del alimentador de media tensión A4703?</p> <p>PE3: ¿Cómo optimizar la duración y frecuencia de las interrupciones en el sistema eléctrico?</p>	<p>OG: Evaluar la calidad de suministro con el análisis en los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703.</p> <p>OE1: Determinar el adecuado sistema de protección para el alimentador de media tensión 4703.</p> <p>OE2: Determinar los indicadores de la calidad de suministro con el mejoramiento de los sistemas de protección y medición del alimentador de media tensión A4703.</p> <p>OE3: Ajustar los relés de protección para optimizar la duración y frecuencia de las interrupciones en el sistema eléctrico.</p>	<p>HG: La calidad de suministro mejorara con la configuración de los sistemas de protección del alimentador de media tensión A4703.</p> <p>HE1: Un adecuado sistema de protección optimizara la confiabilidad del alimentador de media tensión A4703.</p> <p>HE2: La configuración en los sistemas de protección y medición garantizará la disminución de los indicadores de calidad de suministro del alimentador de media tensión A4703.</p> <p>HE3: Las pruebas funcionales a los relés de protección optimizarán la duración y frecuencia de las interrupciones en el sistema eléctrico.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p><b>SISTEMAS DE PROTECCIÓN</b></p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selectividad.</li> <li>• Seguridad</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b></p> <p><b>CALIDAD DE SUMINISTRO</b></p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• SAIDI: Duración Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado</li> <li>• SAIFI: Frecuencia Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado.</li> <li>• Continuidad de la energía.</li> </ul>	<p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El método de investigación es ANALÍTICO porque se plantea una nueva técnica para mejorar y corregir la situación problemática.</p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El tipo de investigación es CUANTITATIVO porque permite calcular y/o estimar las magnitudes del fenómeno en estudio.</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El nivel de investigación es EXPLICATIVO porque se diagnosticará la calidad de suministro del alimentador A4703.</p>



## ANEXO 02: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	FUENTES	INSTRUMENTOS
<b>Sistemas de Protección</b> (V. Independiente)	Es un módulo de componentes ordenados que se encuentran interrelacionados y que actúan frente a cualquier falla.	Selectividad	Tiempo de Ajuste Corriente de Ajuste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Base de datos del sistema de información eléctrico georreferenciado de las redes de media tensión de Electrocentro S.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protocolo de pruebas.</li> </ul>
		Seguridad	Actúa: Si, No		
<b>Calidad de Suministro</b> (V. Dependiente)	Se define como el grado de afectación a los componentes de un sistema ante una falla en un periodo determinado.	SAIDI: Duración Media de Interrupción por Usuario en un periodo determinado.	Número de Horas Interrumpidas en Promedio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Base de datos del registro de interrupciones de Electrocentro S.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software Test Universe 4.20</li> </ul>
		SAIFI: Frecuencia Media de Interrupción por Usuario en un periodo determinado.	Número de Veces Interrumpidas en Promedio		

### ANEXO 3: FOTOS



FOTO 1: Patio de llaves de la SET Ninatambo



FOTO 2: Tablero de maniobra de la SET Ninatambo



FOTO 3: Tablero de protección de salidas 22,9kV



FOTO 4: Relé de protección del alimentador A4703.



FOTO 5: Celda del alimentador A4703



FOTO 6: Presentación del software Test Universe 4.20

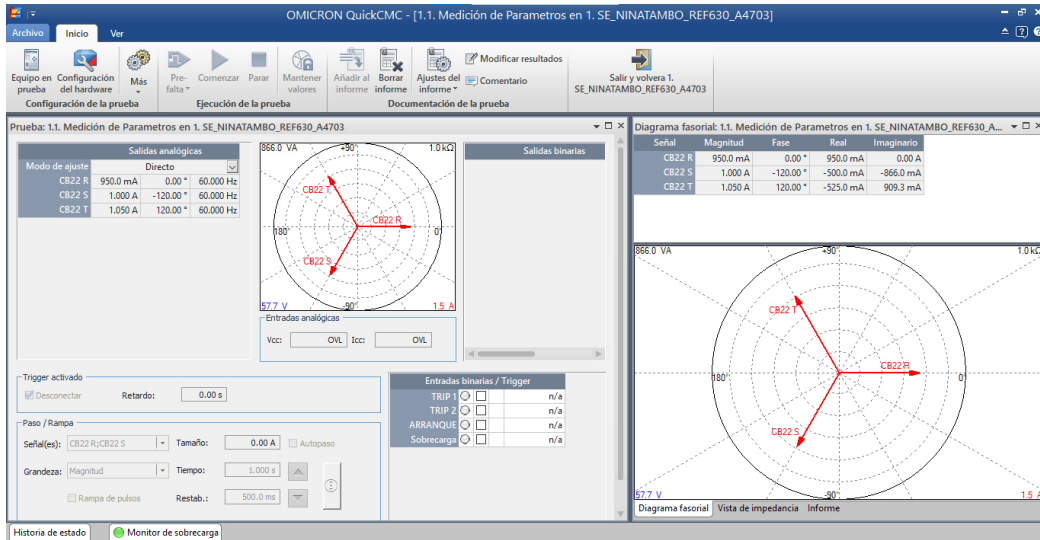


FOTO 7: verificación de conectividad (maleta de pruebas-relé de protección)

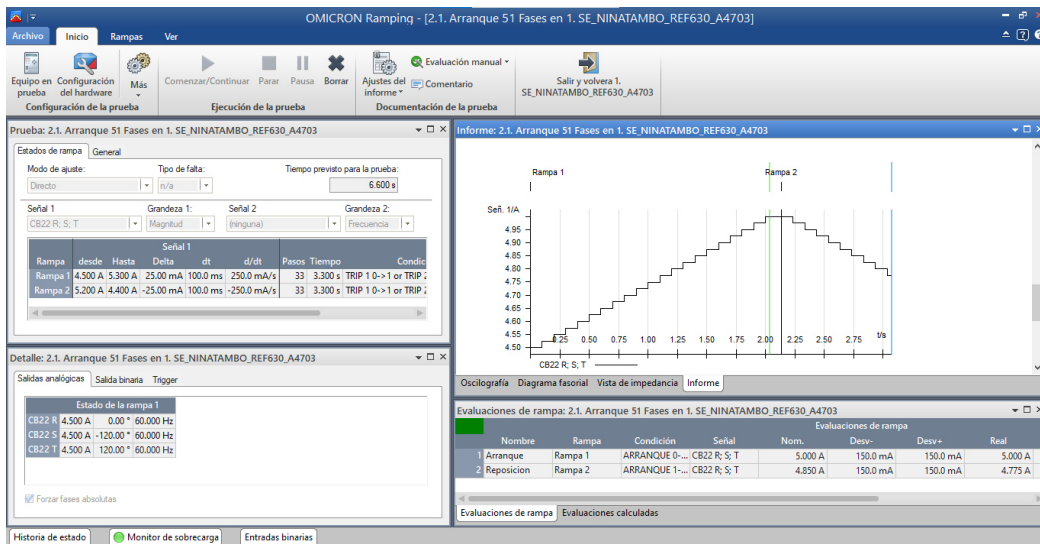


FOTO 8: Módulo de prueba modulo Ramping - fases

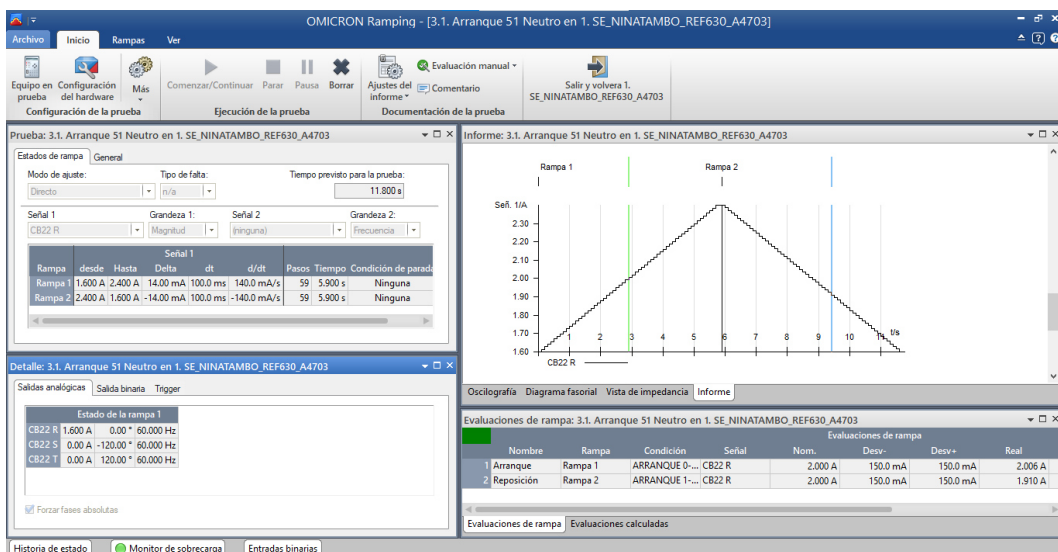


FOTO 9: Módulo de prueba modulo Ramping - neutro