



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Estudio de coordinación de protección de las fallas de
corrientes de fases y fase tierra, para optimizar su
operatividad, de la subestación correspondiente al
Servicentro Li de GNV ubicado en la ciudad de
Huacho**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista

AUTOR

Jhon Clinton ATENCIA JARA

ASESOR

Mg. Jesús Huber MURILLO MANRIQUE

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Atencia, J. (2025). *Estudio de coordinación de protección de las fallas de corrientes de fases y fase tierra, para optimizar su operatividad, de la subestación correspondiente al Servicentro Li de GNV ubicado en la ciudad de Huacho*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jhon Clinton Atencia Jara
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	76462332
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-7935-9339
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jesús Huber Murillo Manrique
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	072065
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3510-1755
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Walter Alejandro Guzmán Estremadoyro
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	21143307
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alfredo Rocha Jara
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08645523
Miembro del jurado 2	

Nombres y apellidos	José Luis Mejía Olivas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10053479
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.5. Calidad de energía
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Huaura Distrito: Huacho Calle: Panamericano Norte 990 Santa María Latitud: -11.111540 Longitud: -77.594753
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N°001/FIEE-EPIEI/2025

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 14 de julio del 2025, como presidente de Jurado el **DR. WALTER ALEJANDRO GUZMAN ESTREMADOYRO**, integrado por el Miembro de Jurado el **MG. JOSÉ LUIS MEJIA OLIVAS**, el Miembro de Jurado **MG. ALFREDO ROCHA JARA** y Miembro Asesor el **MG. HUBER MURILLO MANRIQUE**.

Después de escuchar la Sustentación presencial de Tesis del Bachiller **JHON CLINTON ATENCIA JARA** con código N° 15190236 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista que sustentó la Tesis **“ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DE LAS FALLAS DE CORRIENTES DE FASES Y FASE TIERRA, PARA OPTIMIZAR SU OPERATIVIDAD, DE LA SUBESTACION CORRESPONDIENTE AL SERVICENTRO LI DE GNV UBICADO EN LA CIUDAD DE HUACHO”**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgándole el calificativo de **..DIECISIETE..**.

Ciudad Universitaria, 14 de julio del 2025

DR. WALTER ALEJANDRO GUZMAN ESTREMADOYRO
Miembro Presidente

MG. JOSÉ LUIS MEJIA OLIVAS
Miembro Jurado

MG. ALFREDO ROCHA JARA
Miembro Jurado

MG. HUBER MURILLO MANRIQUE
Miembro Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Jesús Huber Murillo Manrique en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000171-2024-D-FIEE/UNMSM de la tesis, cuyo título es Estudio de coordinación de protección de las fallas de corrientes de fases y fase tierra, para optimizar su operatividad, de la subestación correspondiente al Servicentro Li de GNV ubicado en la ciudad de Huacho, presentado por el bachiller Jhon Clinton Atencia Jara para optar el grado de Ingeniero Electricista.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 18% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Lima, 30 de Julio de 2025

Firma del Asesor
Mg. Jesús Huber Murillo Manrique
DNI: 07206585

DEDICATORIA

Dedicatoria A Dios por guiarme y ayudarme a ser una persona de bien. A mis padres: Antenor - Liverata, y a mis hermanos, y en especial a Lucy por su permanente apoyo en cada instante.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios, a mis profesores, por el apoyo técnico durante este proceso de investigación y análisis del presente trabajo y a todas las personas que contribuyen con mi formación académica.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es coordinar el ajuste de protecciones eléctricas de sobrecorriente de fase – tierra y entre fases para la estación de servicios LI S.A.C., mediante la formulación de la teoría de componentes simétricas, análisis de cortocircuito y normativa nacional (CNE) e internacional (IEC, IEEE). Se busca con ello minimizar los tiempos de operación de las protecciones de manera coordinada, es decir, selectiva y sensitivamente. Para esto, se propone un problema de optimización que incluya todas las características de las protecciones de sobrecorriente, y se desarrolla un programa capaz de resolverlo. Previamente al ECP se realizó los cálculos de cuadro de cargas, máxima demanda y potencia contratada, dimensionamiento del cable de Media Tensión, dimensionamiento de los fusibles y elaboración del sistema de aterramiento. Se ingresó los valores obtenidos a un programa, el cual se construye en base a un sistema de ecuaciones y tablas ingresados en MS EXCEL. Una vez obtenida la solución, esta es validada en la curva de coordinación obtenida del software MS EXCEL. Finalmente, se compara los valores de coordinación de este sistema con los valores dados por la concesionaria Enel Distribución Perú S.A.A para verificar la correcta operatividad y continuidad del sistema eléctrico.

Palabras clave: Coordinación, Cortocircuito, Protecciones, Selectividad y Sobrecorriente.

ABSTRACT

The objective of this work is to coordinate the adjustment of phase-ground and inter-phase overcurrent electrical protections for the LI S.A.C. service station, through the formulation of the theory of symmetrical components, short-circuit analysis and national (CNE) and international regulations. (IEC, IEEE). This seeks to minimize the operating times of the protections in a coordinated manner, that is, selectively and sensitively. For this, an optimization problem is proposed that includes all the characteristics of overcurrent protections, and a program capable of solving it is developed. Prior to the ECP, the calculations of the load table, maximum demand and contracted power, sizing of the Medium Voltage cable, sizing of the fuses and preparation of the grounding system were carried out. The values obtained were entered into a program, which is built based on a system of equations and tables entered into MS EXCEL. Once the solution is obtained, it is validated in the coordination curve obtained from the MS EXCEL software. Finally, the coordination values of this system are compared with the values given by the concessionaire Enel Distribución Perú SAA to verify the correct operation and continuity of the electrical system.

Keywords: Coordination, Short circuit, Protections, Overcurrent Selectivity.

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE TABLAS	3
LISTA DE FIGURAS	4
I: INTRODUCCION	5
I.1 INTRODUCCION.....	5
I.2 Planteamiento del problema.....	6
I.2.1 Determinación del problema	6
I.2.2 Formulación del problema.....	7
I.3 Objetivos.....	8
I.3.1 Objetivo General	8
I.3.2 Objetivo Especifico	8
I.4 Importancia y alcance de la investigación	8
I.5 Justificación y delimitación	9
I.5.1 Justificación practica	9
I.5.2 Justificación legal	9
I.5.3 Justificación Social	10
I.5.4 Delimitación.	10
II. Revisión de Literatura	11
II.1 Marco teórico	11
II.1.1 Potencia instalada	11
II.1.2 Máxima demanda	12
II.1.3 Dimensionamiento y selección del transformador de potencia.....	12
II.1.4. Dimensionamiento y selección cable de media tensión	14
II.1.5 Dimensionamiento y selección de los fusibles tipo K	21
II.1.6 Por esfuerzo térmico	23
II.1.7 Sistema de aterramiento	25
II.1.8 cálculo del conductor a conectar en los PATS	31
II.1.9 Sistema de protección de fase y fase tierra.....	33
II.1.9 Detalle electromecánicos de la subestación.....	37
II.2 Antecedentes del estudio	40
I.2.1 Antecedentes internacionales	40

I.2.2 Antecedentes nacionales	41
II.3 Definición de términos	41
II.3.1 Coordinación de las protecciones	41
III. Hipotesis y variables	44
III.1 Hipótesis	44
III.1.1 Hipótesis general	44
III.1.2 Hipótesis específicas	44
III.2 Variables de la investigación	44
III.2.1 Variable independiente	44
III.2.2 Variable dependiente	44
III.3 Operación de las variables	45
IV. Materiales y Métodos	46
IV.1 Recolección de la información	46
IV.2 Alcances del estudio de coordinación de las protecciones	46
IV.3 Información utilizada	47
IV.4 Descripción del sistema eléctrico en estudio	48
IV.5 Criterios de ajuste de los equipos de protección	49
IV.6 Protección de transformadores de distribución	51
IV.7 Análisis de corto circuito	53
IV.7.1 Topología fundamental para el Estudio	53
IV.7.2 Parámetros utilizados	53
IV.8 Información proporcionada	56
IV.8.1 Relé de fases (Salida alimentador 20 kV – neutro aislado)	56
IV.11.2 Relé de fases (Salida alimentador 20 kV – neutro aislado)	56
IV.8.3 Relé fases-tierra (Recloser disyuntor serie U 20 kV – neutro aislado)	56
IV.8.4 Relé fases – tierra (Recloser disyuntor serie U 20 kV – neutro aislado)	57
V. Resultados	57
V.1 Presentación y análisis de los resultados	57
VI. conclusiones y recomendaciones	59
VI.1 Conclusiones	59
VI.1 Recomendaciones	62
Vii Referencias bibliograficas	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros eléctricos importantes en el C.N.E	11
Tabla 2: Cuadro de cargas	12
Tabla 3: Calculo de Potencia contratada.....	13
Tabla 4: Calculo de potencia contratada del transformador de distribución..	14
Tabla 5: Características Eléctricas Especificas del Cable de MT	15
Tabla 6: Capacidad del Cable NA2XSA2Y 18/30 KV.....	16
Tabla 7: Factores de Corrección de Capacidad para Cables Enterrados	17
Tabla 8: Cálculo de la Caída de Tensión Cable NA2XSA2Y 18/30 kV	18
Tabla 9: Calculo de la Corriente de Corto Circuito en A y B	20
Tabla 10: Características de los Fusibles tipo k.....	21
Tabla 11: Características de los Fusibles tipo k.....	22
Tabla 12: Resistividades Medidas de Terrenos Típicos Según el	26
Tabla 13: Cálculo del Sistema de Aterramiento de la Estación LI SAC	28
Tabla 14: Calculo de R2.....	29
Tabla 15: Sistema de Aterramiento Para los Circuitos Electrónicos.....	30
Tabla 16: Calculo de la corriente de Falla.....	31
Tabla 17: Constantes de conductores usados en mallas de PAT.....	32
Tabla 18: Calculo de la Sección del Conductor para SA.....	33
Tabla 19: Características Mecánicas de los Postes de CC	35
Tabla 20 Operación de variables	45
Tabla 21: Parámetros para el ECP.....	47
Tabla 22: Impedancia del Sistema en MT para fallas Trifásicas	55
Tabla 23: Impedancia del sistema en MT para fallas bifásicas	55
Tabla 24: Impedancia del sistema en MT para fallas monofásicas	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelamiento del cable Subterráneo	15
Figura 2: Modelo de Cortocircuito en los Puntos A y B	19
Figura 3: Curva de Coordinación Fusible primario.....	24
Figura 4: Estratificación de los Suelos	27
Figura 5: Estructura de Protección homopolar.....	36
Figura 6: Subestación Aérea Biposte - SAB	39
Figura 7: Modelamiento de PMI – PH-SAB. PMI-PH-SAB.....	49
Figura 8: Diagrama Unifilar de la SAB	51
Figura 9: Modelo de corto circuito.....	53
Figura 10: Modelo para el análisis de Corto Circuito	58

I: INTRODUCCION

I.1 INTRODUCCION

Una coordinación óptima de las protecciones de un sistema eléctrico es esencial ya que permitirá garantizar el funcionamiento según los requisitos y parámetros establecidos cuando se produzcan fallas de corrientes de fase y fase tierra. Esto optimiza el funcionamiento del sistema eléctrico y limita los daños que pudieran sufrir los equipos e instalaciones. De igual forma, es necesario realizar la estimación de las fallas de corrientes de fase y fase tierra asociados a los dispositivos de protección para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico; así mismos, la coordinación de la protección es un tema poco tratado en el sector eléctrico peruano ya sea por desconocimiento y falta de información.

La presente Tesis busca cubrir la correcta aplicación de las metodologías de cálculo de cortocircuito y su respectiva coordinación de protecciones del Servicentro LI de GNV Ubicado en la Ciudad de Huacho, con el fin de garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico ante eventuales fallas de corriente de fase y fase tierra.

I.2 Planteamiento del problema

I.2.1 Determinación del problema

La estación de servicios "LI S.A.C". viene teniendo un suministro en baja tensióntarifa BT4 el cual presenta caídas de tensión significativas perjudicando la correcta operación de sus respectivas cargas.

Por este motivo, se ha solicitado una inmediata ampliación de la potencia contratada, surgiendo así la necesidad de contar con una subestación eléctrica biposte, el cual implica, según las normas peruanas, hacerse merecedor de una tarifa en MT4 el cual resulta mínimamente 30% menos cara que en baja tensión BT4.

En consecuencia, la concesionaria encargada, Enel Distribución Perú S.A.A., de dar el punto de diseño requiere que se realice un estudio de coordinación de las protecciones que garantice el correcto funcionamiento de la estación de servicios y no ocasione daños en el sistema eléctrico.

Por ello, se ha planteado la obligación de llevar a cabo un estudio de la coordinación de las protecciones que permita poner en funcionamiento el nuevo sistema de utilización dela estación de servicios trabajando dentro de los parámetros regulados por las normas vigentes.

1.2.2 Formulación del problema

1.2.2.1 Problema General.

- ¿En qué medida realizar un cálculo de cortocircuito y estudio de coordinación de las protecciones permitirá garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?

1.2.2.2 Problema Específico.

- ¿Cómo se determinará el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?
- ¿Cómo se coordinan los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?
- ¿De qué manera se demostrará el funcionamiento de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?.

I.3 Objetivos

I.3.1 Objetivo General

Realizar el cálculo de cortocircuito y coordinación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

I.3.2 Objetivo Específico

- Determinar el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.
- Coordinar los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.
- Determinar el funcionamiento de las protecciones garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

I.4 Importancia y alcance de la investigación

La importancia del proyecto de tesis se incrementa en el ámbito académico debido a que permitió aplicar todo el conocimiento relacionado con los sistemas de protección que se han aprendido en la universidad. Adicionalmente, funciona como modelo para la evaluación de los sistemas de protección en los sistemas de distribución.

I.5 Justificación y delimitación

I.5.1 Justificación práctica

El proyecto de tesis tiene justificación práctica, porque el resultado permite optimizar el sistema eléctrico en estudio por medio de la mejora en los tiempos de actuación del sistema de protección.

I.5.2 Justificación legal

Los documentos elaborados, en la solución de la problemática del estudio y control de las corrientes de fallas en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los circuitos eléctricos son los siguientes:

El proyecto se elaboró tomando como referencia lo establecido en:

- Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas D.S. 9-93-EM
- Ley de Concesiones Eléctricas D.L. 25844
- Código Nacional de Electricidad Suministro 2011.
- Norma de Procedimientos para la elaboración de proyectos y ejecución de obras sist. utilización en M.T.R.D. N° 018-2002-EM/DGE
- Reglamento Nacional de edificaciones.
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.
- Norma Técnica Peruana NPT 111.019 – 2004.

1.5.3 Justificación Social

La justificación social se da por el mismo hecho que al mejorar la actuación de los sistemas de protección se mejora la calidad de suministro eléctrico para el predio en estudio.

1.5.4 Delimitación.

Técnica: Para los cálculos equivalentes, se toma en cuenta la potencia de cortocircuito trifásica y monofásica, así como los detalles de los equipos de protección y maniobra desde el punto de entrega de energía de la subestación eléctrica.

Espacial: Se realizará en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y realizado exclusivamente para el sistema de utilización de la estación de servicios Li S.A.C. comprendido desde el punto de medición a la intemperie (PMI) hasta la SED del predio.

Temporal: Comprende del periodo de: Julio 2024 a diciembre 2024.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1 Marco teórico

Mediante atención Comercial N° 528011810, en la cual solicitan presupuesto de Incremento de Carga en Media Tensión hasta 120 kW, Tarifa MT4, para el predio ubicado en Panamericana Norte 990 Santa María – Distrito de Huacho, provincia y departamento de Lima.

Tabla 1:

Parámetros eléctricos Importantes en el C.N.E.

Parámetro	Valor
Caída de tensión máxima permisible	5,0%
Tensión nominal	20kw
Factor de potencia	0.85

Nota. Datos tomados de la concesionaria ENEL (2024)

II.1.1 Potencia instalada

Mediante La potencia instalada es la capacidad de producción de energía de un suministro determinado que permite satisfacer la demanda eléctrica de sus instalaciones en todo momento.

$$PI = \sum_i Wi = 154 \text{ KW}$$

$\sum_i Wi$ = Es la sumatoria de todas las potencias eléctricas nominales de las máquinas y equipos eléctricos de la planta.

II.1.2 Máxima demanda

Del cuadro de cargas de las memorias descriptivas como base podemos calcular la máxima demanda que es 108 kW.

Tabla 2:

Cuadro de cargas

Nivel de Tensión	Descripción General de las Cargas	P. Inst. Vatios	F.D	M.D. Vatios
Servicios Generales 230 Voltios	Iluminación Canopy	2000	0.7	1400
	iluminación RCA y EFM	360	0.7	252
	Compresora de aire	7500	0.7	5250
	Bomba de sistema hidroneumático	1500	0.7	1050
	Panel de precios luminoso	2500	0.7	1750
	Reserva para GLP	7500	0.7	5250
	Reserva área construida	21500	0.7	15050
	Reserva general	10000	0.7	7000
Total	Total, en 230 voltios	52860		37002
Servicios Generales 460 Voltios	Motor 1 compresor principal	90000	0.7	63000
	Motor bomba agua	2400	0.7	1680
	Motores extractores aire	2500	0.7	1750
	Sistema de control del compresor	1500	0.7	1050
	Sistema de dispensadores	950	0.7	665
	Reserva	3500	0.7	2450
	Total, en 460 voltios	100850		70595
Totales	Potencias totales	154		108

Nota. Detalles del cálculo de carga.

II.1.3 Dimensionamiento y selección del transformador de potencia

II.1.3.1 Potencia contratada

Es la cantidad de equipos eléctricos que se pueden encender simultáneamente se limita por el valor de Potencia Contratada. La potencia adecuada para los equipos que funcionarán simultáneamente deben ser contratadas por cada cliente.

Tabla 3:*Cálculo de la Potencia Contratada*

Cálculo de la potencia contratada		
Potencia contratada	Potencia total instalada (kW)	154
	Factor de simultaneidad	0.78
	Potencia contratada calculada kW	120.12
	Potencia contratada final kW	120
	Tensión nominal (kv)	20
	Tarifa	MT4
	Frecuencia	60 HZ
	Sistema	3Φ

Nota. Detalles del cálculo de la potencia contratada

II.1.3.2 Selección de la potencia del transformador

El cliente desea poner un transformador tipo en baño de aceite con una potencia de 250 kVA. Por tanto, la carga total que consumirá la subestación eléctrica no sobrepasará a la carga solicitada a la concesionaria, para lo cual esta contará con un dispositivo de protección (ITM) de tal forma de no exceder la demanda contratada.

Tabla 4:*Cálculo de la Potencia Contratada del transformador de distribución*

Cálculo de la potencia del transformador		
Potencia contratada	MD (KW)	108
	F.A.	1.6
	F. P	0.8
	Potencia del trafo kv	216
	Potencia del trafo comercial kva	250
	Potencia a 440 voltios kva (60%)	160
	Potencia a 220 voltios kva (40%)	90
	Tensión primaria nominal (kv)	20
	Tensión secundaria (v)	460/230
	Frecuencia	60 HZ
	Sistema	3Φ

Nota. Detalles del cálculo de la potencia del transformador

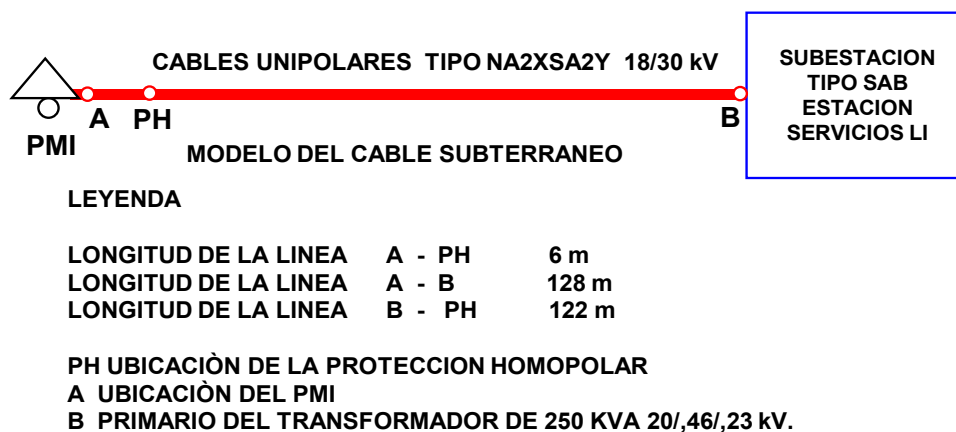
El cliente también ha decidido que el sistema de arranque será mediante un variador de velocidad, con el fin de reducir el impacto que pueda producir en los equipos de MT durante el arranque de los compresores.

II.1.4. Dimensionamiento y selección cable de media tensión

En la subtransmisión y distribución de energía subterránea, los cables NA2XSA2Y se emplean como alimentadores de transformadores en subestaciones. En instalaciones industriales y de maniobra, en urbanizaciones y en instalaciones mineras, en centrales eléctricas.

Figura 1:

Modelamiento del Cable Subterráneo



Nota. Detalles del recorrido del cable unipolar desde el PMI hasta la subestación tipo SAB de la estación de servicio LI.

Tabla 5:

Características Eléctricas Específicas del Cable de MT.

Parámetros generales	Unidad	Valores
Tipo		NA2XSA2Y
sección nominal	mm ²	50
Capacidad nominal de corriente	A	152
tensión máxima de diseño	E0/E	18/30
Resistencia del conductor (DC a 20C°)	ohm/km	0.641
Reactancia inductiva	ohm/km	0.1684
Capacitancia nominal	uFd/km	160
Norma internacional	IEC 1089 y IEC 60502	

Nota. Esta tabla muestra los parámetros principales del cable NA2XSA2Y en MT de Indeco (2005).

II.1.4.1 Por capacidad cable tipo NA2XSA2Y en MT instalación subterránea

Corriente nominal: $I_n = S / (1.7321 \cdot V_n)$

$I_n = 250 / 1.7321 \times 20 = 7.2 \text{ A}$ Para 20 kV

$I_{\text{diseño}} = 1.25 I_{\text{nominal}}$

$I_{\text{diseño}} = 9.0 \text{ A}$ Para 20 kV

Donde:

S : Potencia aparente nominal.

V : Tensión nominal 20 kV.

Tabla 6:

Capacidad del Cable NA2XSA2Y 18/30 kV

Parámetros de la carga				parámetros del cable		
Snom KVA	Tnom KV	Inom A	Idis A	Capacidad A	Rcond Ω/Km	Xcond Ω/Km
250	20	7.2	9	152	0.641	0.1684

Nota. Esta tabla muestra los parámetros principales del cable NA2XSA2Y

y la carga Indeco (2005).

A la capacidad de cable se le multiplica por los siguientes factores de corrección:

- Temperatura del suelo 25°C
- Resistividad del suelo 150°C-cm/W
- Profundidad de la instalación 1.00 m.
- Configuración del cable Triple (tres unipolares)

Tabla 7:***Factores de Corrección de Capacidad para Cables Enterrados***

Descripción de los factores	k
Factor de corrección de profundidad de tendido	0.97
Factor de corrección por resistividad térmica del terreno 150° 0-cm/W	1.1
Factor de corrección de temperatura del suelo a 25°C	0.96
Factor de corrección de capacidad de corriente relativos al tendido del ducto	0.76
Factor de corrección relativo al agrupamiento de los cables directamente enterrados	1
factor de corrección total	0.809

Nota. Esta tabla muestra los factores de corrección para cables enterrados usados en el cálculo de la corriente del conductor CNE (2006)

Con I_{cat} . Aplicamos los factores de corrección considerados por el CNE y evaluamos la $I_{conductor}$.

$I_{conductor} = 152$ Amperios.

$I_{conductor} = I_{cat} \times \text{Factor de corrección}$

$I_{conductor}$. - Es la corriente que circula por el conductor con carga.

$I_{conductor} = 152 \times 0.809 = 123$ Amperios.

$I_{conductor} \gg I_{diseño}$ (123 > 9 Amperios)

II.1.4.2 Por caída de tensión cable tipo NA2XSA2Y en MT instalación subterránea

$$\Delta V = 1.7321 \times I_n \times L (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

03 cables Unipolares en formación triángulo tipo autoportante.

Donde:

In: Corriente nominal.

Cosφ: Factor de potencia promedio calculado.

ΔV: Caída de tensión L: 128 m.

FP: 0.85.

Ø: 31.8.

R: Resistencia del conductor.

X: Reactancia del conductor.

KV: 20.

$$\Delta V = 1.7321 \times 7.2 \times 0.128 (0.6410 \times 0.85 + 0.1684 \times 0.53).$$

Para 20 kV la caída de tensión es de 1.01 voltios y 0.01%.

Tabla 8:

Cálculo de la Caída de Tensión Cable NA2XSA2Y 18/30 kV

Parámetros de la carga				Parámetros del cable					
Snom	Tnom	Inom	L	Rcond	Xcond	cos	sen	Δv	Δv
KVA	KV	A	Km	Ω/Km	Ω/Km			v	%
250	20	7.2	0.128	0.641	0.1684	0.85	0.53	1.01	0.005

Nota. Esta tabla muestra los factores para realizar el cálculo de la caída de

tensión expresado en porcentaje en cumplimiento de la normativa.

Por lo tanto, la caída de tensión calculado seria:

ΔV calculado <<< 5%

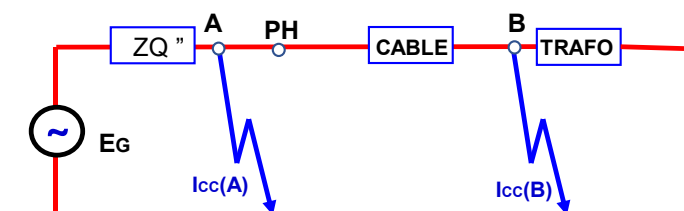
Según el CNE la $\Delta V \leq 5\% V_{nominal}$, por tanto, si cumple.

II.1.4.3 Por corriente de corto circuito

Para el cálculo por corriente de corto circuito se ha modelado el sistema como un generador síncrono equivalente concentrado en el PMI. El generador equivalente se ha modelado para una potencia de cortocircuito trifásica tal como sigue:

Figura 2:

Modelo de Cortocircuito en los Puntos A y B



Nota. Modelo de corto circuito en los puntos A y B VDE (1998).

Del modelo cabe señalar lo siguiente:

- La tensión V en el punto A ha sido proporcionados por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A.
- El punto A corresponde al PUNTO DE DISEÑO (PMI) también proporcionado por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A
- El punto B corresponde al ingreso de celda de transformación (bornes del transformador lado de alta tensión). Incluye al 100% del cable NA2XSA2Y de 50 mm^2 18/30 kV tipo seco de media tensión.
- Los cálculos correspondientes a la corriente de corto circuito en los puntos A y B se hallan en la tabla N° 9.

Pcc de corto circuito trifásico 242 MVA para 20 kV - Tsv 0.02 Seg.

Proporcionado por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A

La corriente de corto circuito en el punto A:

$$I_{cc} A = 242 / (1.7321 * 20) = 6.986 \text{ kA}$$

La corriente de corto circuito en el punto B:

$$ZQ'' = (1.1 * V^2) / P_{cc} = 2.9932 \, \Omega, RQ = 0.1 XQ'' ZQ'' = 1.005 XQ'', XQ'' = 1.8091$$

$$\Omega, RQ = 0.1818 \, \Omega, ZQ'' = 0.1818 + j 1.8091 \, \Omega \text{ Longitud del cable } 128 \text{ m.}$$

Impedancia de la línea = $0.0567 + j 0.0203$ en 20 kV. $ZB = 0.2385 + j 1.83 = 1.8496 \angle 81.80^\circ \, \Omega$ En 20 kV $I_{cc} B = 20 / (1.7321 * 1.8449) = 6.24 \text{ kA}$. En 20 kV.

$I_{cc} B$ calculado $\lll I_{cc}$ cable, por lo tanto, se puede observar que la I_{cc} en el punto B es mucho menor de la I_{cc} del cable.

Tabla 9:

Cálculos de la Corriente de Cortocircuito en A y B

PUNTO	MVA	KV	I_{ccA} (KA)
PUNTO A	242.00000	20	6.9857
XQ'' (MT)	1.80914	Ω	
RQ'' (MT)	0.18182	Ω	
ZQ'' (MT)	1.81818	Ω	
I_{cc} cable mínimo	10.48	KA	
Scu calculado	15.76	mm^2	
Scu comercial	50	mm^2	
I_{cc} cable	33.23	KA	
ZB (MT)	R	X	Z(Ω)
	0.2587	1.83	1.8476
I_{cc} (B)	6.25	KA	

Nota. Esta tabla el cálculo de corto circuito entre los puntos A y B UNMSM

(1999).

II.1.5 Dimensionamiento y selección de los fusibles tipo K

Acompaño la tabla del fusible seleccionado. Para realizar este cálculo es necesario tomar en cuenta los parámetros nominales de Media Tensión a 60 Hz.

$I_{\text{diseño}} = 1.5 I_{\text{nominal}}$.

Los fusibles son seleccionados teniendo presente los siguientes parámetros:

- Tensión
- Corriente.
- Poder de ruptura
- Tipo de curva.

Así mismo para el cálculo de elección de fusibles deberá comprobarse:

$I_{\text{inserción}} = 12 \times I_{\text{nominal}}$ a 0.1 segundos.

$I_{\text{daño térmico}} = 20 \times I_{\text{nominal}}$ a 2 segundos.

$I_{\text{nom}} = 250 / 1.7321 \times 20 = 7.2 \text{ A}$

$I_{\text{diseño}} = 1.25 \times I_{\text{nom}} = 7.2 \times 1.25 = 9 \text{ A}$

$I_{\text{inserción}} = 12 \times 9 = 87 \text{ A}$

$I_{\text{daño térmico}} = 20 \times 9 = 144 \text{ A}$

Tabla 10:

Características de los Fusibles tipo K

Parámetros trafo					Características del fusible			
Sno m	Tno m	Inom	Idis	Icomer	Tip o	Poder de corte	Corriente Inser	Corriente Dñterm
KVA	KV	A	A	A		KA	KA	KA
250	20	7.2	9	8	K	12	87	144

Nota. Esta tabla muestra las características del fusible tipo k con respecto al daño térmico, adaptado de SOLEFUSE (2005).

En régimen de falla se presenta la corriente de cortocircuito:

$$I_{cc} = P_{cc} / \sqrt{3} \cdot V_n$$

Donde:

P_{cc} es la potencia de cortocircuito en

MVA. V_n tensión nominal en kV.

La máxima corriente que se presenta durante el cortocircuito se denomina corriente de choque.

$$I_{choque} = \sqrt{2} \cdot \tau \cdot I_{cc}$$

Donde:

τ depende de la $R/x = 0.443/0.1583 = 2.8$, entonces $\tau = 1.05$

$I_{choque} = 1.4142 \cdot 1.05 \cdot 6.986 = 10.465 \text{ kA}$ En 20 kV.

Tabla 11:

Características de los Fusibles tipo K.

Parámetros del transformador			Características del fusible							
Snom.	Tnom.	Inom	Idis	Icomer	Tip	S	Icc	Ta	K	Ichoque
KVA	KV	A	A	A	o	KA	KA	u		KA
250	20	7.2	9	8	K	24 2	6.98 6	1.0 5	1.41 4	10.37

Nota. Esta tabla muestra las características del fusible tipo k con respecto a la corriente de choque. SOLEFUSE (2005).

El transformador triásico tiene bobinado primario y secundario. Las tensiones en B.T. son de 230/460 Voltios son tomadas solo en vacío.

El estudio de la coordinación de la protección se realiza en obra. Al ejecutar la obra ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A. nos brinda sus ajustes de protección para así realizar los ajustes de los equipos de protección.

También utilizando las normas VDE también llegamos a calcular las características.

II.1.6 Por esfuerzo térmico

Utilizando la siguiente fórmula recomendada por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A.

$$I_{km} = 0.09447 \times S / \sqrt{t}$$

Donde:

I_{km} Corriente de corto circuito en kA.

S Sección nominal del cable de 50 mm²

t. Tiempo de aclaramiento de falla en seg.

$I_{km} = 33.4$ kA. Es la I_{cc} del cable

Entonces 46.76 kA >>> 6.9857 kA

Por tanto, el cable de 70 mm² tipo NA2XSA2Y 18/30 kV es el

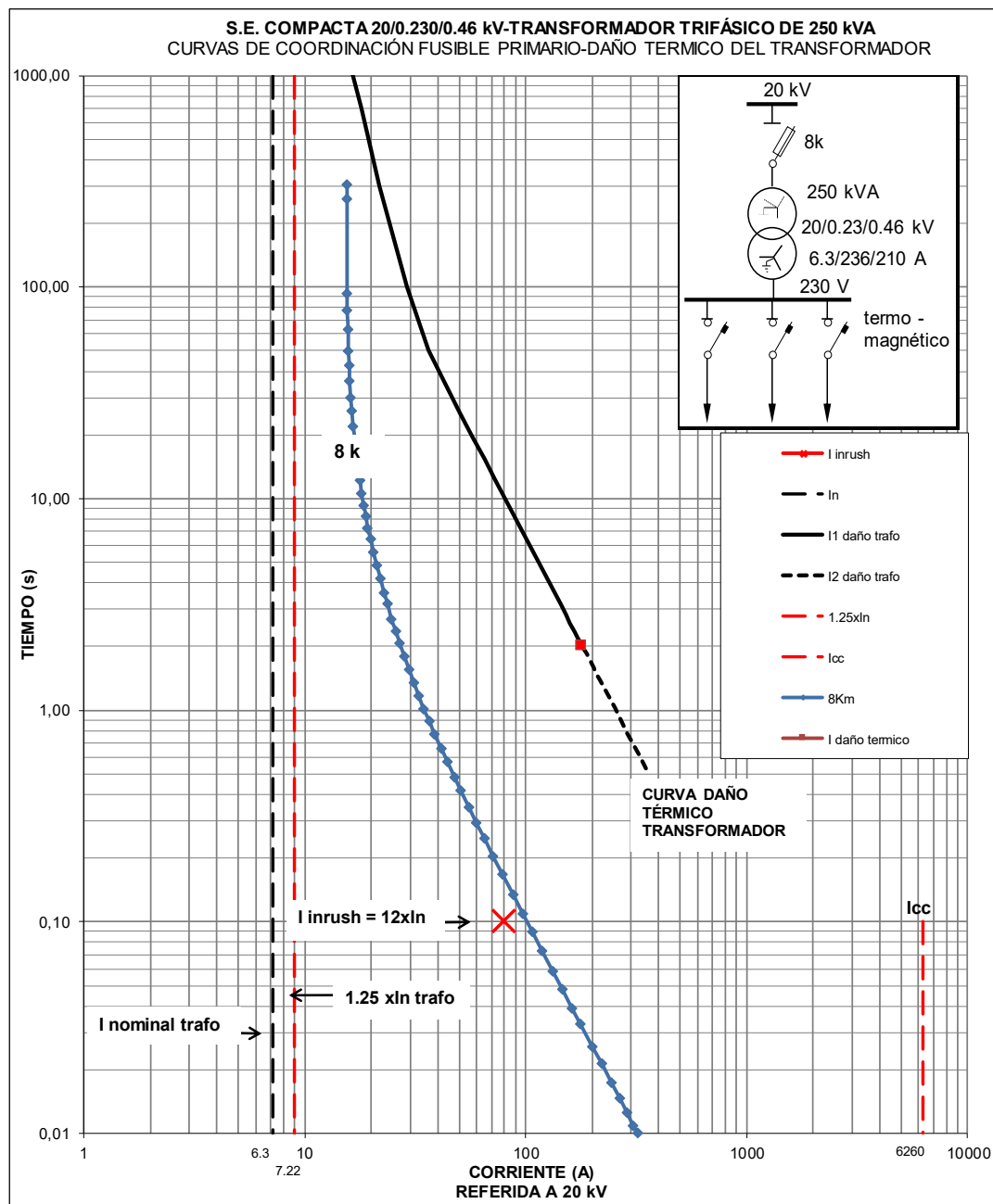
adecuado. $i^2_{cc} \times t = k^2 S^2 k^2$ (XLPE) = 8836 ALUMINIO

$$S = 50 \text{ mm}^2, t = 0.02 \text{ Seg. } I_{cc}(\text{cable}) = \sqrt{k^2 S^2 / t}$$

$$I_{cc}(\text{cable}) = 33.23 \text{ kA}$$

Pero 46.53 kA >>>> 6.9857 kA para 20 kV.

Por tanto, si cumple con las normas VDE – 0102 - 2.

Figura 3:*Curvas de Coordinación Fusible Primario - Daño Térmico del Transformador*

Nota. Esta figura muestra las curvas de coordinación del fusible y ca curva de daño térmico del transformador, adaptado de IEEE (1980).

II.1.7 Sistema de aterramiento

Primeramente, el sistema de puesta a tierra se compone de un electrodo vertical de cobre recocido de 19 mm², con una longitud total de 2.40 m. Además, se enterrará directamente en un pozo relleno y compactado con tierra de chacra, a una profundidad de alrededor de 3.00 m. La tabla A2-06 del Código Nacional de Electricidad muestra las resistencias medias de terrenos típicos del Tomo Utilización.

Podemos concluir, basándonos en la estratificación del tipo de suelo y en los valores antes mencionados:

- El tipo de terreno SC corresponde a un 30% de la profundidad del terreno utilizado.
- El tipo de terreno MH corresponde a un 70% de la profundidad del terreno utilizado.

Promedio para el tipo de suelos SM 125 Ω – m. Promedio para el tipo de suelos MH 190 Ω – m. Cálculo de la resistividad equivalente:

$$\rho_{\text{equiv}} = (L \cdot \rho_1 \cdot \rho_2) / (\rho_2 h_1 + \rho_1 (L - h_1))$$

$$L = 2.40 \text{ metros } h_1 = 0.90 \text{ metros.}$$

$$\rho_{\text{equiv}} = 150.79 \Omega - \text{m.}$$

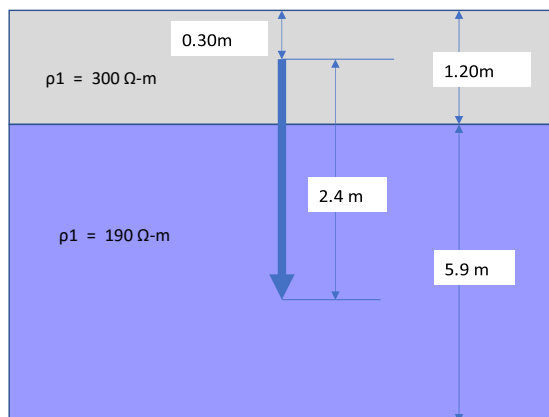
Tabla 12:*Resistividades Medidas de Terrenos Típicos Según el CNE*

Tipo de terreno	Naturaleza del terreno	Resistividad		
		Bajo	Alto	Promedio
GW	Grava de buen grado, mezcla de grava y arena	600	1000	800
GP	Grava de bajo grado, mezcla de grava y arena	1000	2500	1750
GC	Grava con arcilla, mezcla de grava con arcilla	200	400	300
SM	Arena con limo, mezcla de bajo grado de arena con limo	100	500	300
SC	Arena con arcilla, mezcla de bajo grado de arena con arcilla	50	200	125
ML	Arena fina con arcilla de ligera plasticidad	30	80	55
MH	Arena fina o terreno con limo, terreno elástico	80	300	190
CL	Arcilla pobre con grava, arena limo	25	60	42.5
CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad	10	55	32.5

Nota. Esta tabla muestra las Resistividades Medidas de Terrenos Típicos Según CNE (2006).

En consecuencia, para nuestro caso tomamos la resistividad equivalente de $150.79 \Omega - m$.

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra (según estratificación de los duelos), se ha considerado la siguiente expresión:

Figura 4:***Estratificación de los Suelos***

Nota. Modelo de estratificación de los suelos adaptado de Kindermann (1949).

$$R_1 = \frac{\rho_{equiv}}{2\pi L} \ln[4Lx(2h + L)/(1.36xd)(4h + L)] \quad (1)$$

Donde:

R_1 = Resistencia de la puesta a tierra, ohmios

ρ = resistividad equivalente del terreno, ohm-m.

L = Longitud del electrodo, m

d = Diámetro del electrodo, m

h = Altura del electrodo debajo del nivel del piso,

Para este proyecto se tendrá:

$\rho = 150.79 \text{ ohm}\cdot\text{m}.$

$L = 2.40 \text{ m}.$

$d = 0,019 \text{ m}.$ $h = 0.30 \text{ m}.$

Reemplazando valores en la ecuación (1) se obtiene el siguiente resultado:

$R1 = 57.35$ Ohmios

Para la subestación, el tratamiento de la tierra a utilizarse en los pozos de tierra será mezclado con sales electrolíticas, especialmente bentonita que, según recomendaciones de los fabricantes, los porcentajes de reducción de resistencia son:

1 Dosis de 5Kg. 80-85%

2 Dosis de 5Kg. 85-90%

3 Dosis de 5Kg. 90-95%.

Como no se cumple tenemos que hacer uso de otro pozo de tierra. Para este caso dispondremos 02 pozos de tierra similares al primero ya calculado anteriormente.

Tabla 13:

Cálculo del Sistema de Aterramiento de la Estación de Servicios LI SAC.

Parámetro del sistema	Unidad	Resultados
Resistividad del terreno	Ohm-m	232.65
Numero de varillas de Cu en malla	Unidad	1
Longitud de la varilla	m	2.4
Diámetro de la varilla	m	0.019
Distancia entre varillas	m	6
Resistencia del pozo	Ohmios	57.35
Reducción por tratamiento químico 3 dosis x m3 (95%)		0.075
Resistencia del pozo a tierra	Ohmios	4.3
Resistencia final	Ohmios	4.3

Nota. Esta tabla muestra los parámetros para el cálculo de la resistencia final del sistema de aterramiento adaptado de Yanque (2001)

Por lo tanto, la resistencia final $R1=4.30$ ohmios se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma. Así mismo, aprovechamos para construir el sistema de aterramiento para los equipos electrónicos luego para dos pozos de puesta a tierra, ES ESTE CASO 02 POZOS DE TIERRA. En consecuencia, apliquemos la fórmula N° 2.

$$R2 = R1' (1 + \alpha) / 2 \quad (2)$$

$$A = r / X \quad (3)$$

$$r = L / \ln (4 L / d) \quad (4)$$

Donde:

δ = Coeficiente de reducción

r = Radio semiesférico equivalente en m.

X = Distancia entre varillas de cobre (jabalinas) L = Longitud de la varilla

D = Diámetro de la varilla

$R1$ = Resistencia de una sola varilla (valor obtenido anteriormente)

Tabla 14:

Cálculo de $R2$

Parámetro	Dato	Unidad
$r=L/\ln(4L/D)$	386	
a	6	m
$\alpha=r/a$	0.064	
$R2$	2.289	ohmios

Nota. Esta tabla muestra los parámetros para el cálculo de $R2$ adaptado de Wenner (2002).

El valor de la resistencia del sistema de puesta a tierra equivalente utilizando 02 pozo de tierra similares es 2.29 ohmios.

Es importante que todas las conexiones al sistema de tierra sean lo más seguras posibles, en consecuencia, se aconseja el empleo de soldadura exotérmica (Cadweld o similar) el cual permite una conexión segura y duradera. Los accesorios y conectores de cobre deben ser de buena calidad en el resto de las instalaciones.

Tabla 15:

Sistema de Aterramiento Para Los Circuitos Electrónicos

Descripción del PAT conectado a	valor proyectado ohmios	valor permisible ohmios	calificación
TG-Baja tensión-Fuerza	<10	25	excelente
Circuitos electrónicos	<5	10	excelente

Nota. Esta tabla muestra los resultados de los valores del sistema de aterramiento, frente a los valores permisibles adaptado de IEEE (2007).

Todos los pozos de tierra deben UTILIZAR COMO JABALINAS el cobre electrolítico. Para que el resultado sea menor al valor calculado anteriormente, se debe contrastar el cálculo con el proveedor de materiales de esta especialidad para refinar los parámetros del cálculo y definirlos.

Se recomienda que según la elección de cada uno de los cuatro casos al realizarlo se tiene que ir probando en forma gradual para estar seguro de que el análisis de la estratificación a partir de las calicatas haya sido exitoso.

II.1.8 cálculo del conductor a conectar en los PATS

Para el cálculo del conductor utilizado en la conexión del sistema de aterramiento y los pozos de tierra es necesario hallar la corriente de falla en el lado de media tensión.

Tabla 16:

Cálculo de la corriente de Falla

Procedimiento por seguir	Valores	Unidad
Corriente de corto circuito en 20k en la subestación	6.26	Ka
Factor de seguridad	1.7	
Nueva corriente de corto circuito calculada	10.642	Ka
Corriente de falla más desfavorable, en el lado de MT	11	Ka

Nota. Esta tabla muestra el cálculo de la corriente de falla adaptado de IEEE (2007).

Determinación de la sección transversal del conductor

La sección transversal del conductor se determina mediante la ecuación (9), en donde la corriente de falla deber ser la máxima corriente futura de falla esperada que puede ser conducida por cualquier conductor del sistema de tierra, y el tiempo t_c , debe reflejar el tiempo de despeje máximo posible.

$$A_{mm^2} = \frac{I_G}{\sqrt{\left(\frac{TCAP*10^{-4}}{t_C*\alpha_r*\rho_r}\right)*\ln\left(\frac{K_0+T_m}{K_0+T_a}\right)}}$$

Donde:

- I_G = Máxima corriente de falla asimétrica [kA]
- A_{mm^2} = Sección transversal del conductor [mm²]
- T_m = Temperatura máxima permisible de fusión [°C]
- T_a = Temperatura ambiente [°C] (40°C)

- T_r = Temperatura de referencia de constantes de materiales [$^{\circ}\text{C}$]
- α_0 = Coeficiente térmico de resistividad a 0°C [$1/^{\circ}\text{C}$]
- α_r = Coeficiente térmico de resistividad a la temperatura de referencia T_r [$1/^{\circ}\text{C}$]
- ρ_r = Resistividad del conductor de tierra a la temperatura de referencia T_r [$\mu\Omega\cdot\text{cm}$]
- $K_0 = 1/\alpha_0$ o $[(1/\alpha_0)-T_r]$ [$^{\circ}\text{C}$]
- T_c = Duración de la corriente de falla [s]
- TCAP = Factor de capacidad térmica por unidad de volumen obtenido de la tabla [ab].

Tabla 17: Constantes de conductores usados en mallas de PAT

Constantes de conductores usados en mallas de puesta a tierra

Description	Material conductivity (% IACS)	α_T , factor at 20 $^{\circ}\text{C}$ ($1/^{\circ}\text{C}$)	K_0 at 0 $^{\circ}\text{C}$	Fusing temperature I_m $^{\circ}\text{C}$	Resistivity at 20 $^{\circ}\text{C}$ ρ_r $\mu\Omega - \text{cm}$	Thermal capacity $\text{J}/\text{cm}^3\cdot^{\circ}\text{C}$ TCAP
Copper, annealed soft-drawn	100	0,00393	234	1083	1.72	3.4
Copper, Commercial hard-drawn	97	0,00381	242	1084	1.78	3.4
Copper-clad steel wire	40	0,00378	245	1084	4.4	3.8
Copper-clad steel Wire	30	0,00378	245	1084	5.86	3.8
Copper-clad steel rod	17	0,00378	245	1084	10.1	3.8
Aluminum-clad steel Wire	20.3	0,0036	258	657	8.48	3.561
Steel, 1020	10.8	0,00377	245	1510	15.9	3.8
Stainless-clad steel rod	98	0,00377	245	1400	17.5	4.4
Zinc-coated steel rod	8.6	0,00320	293	419	20.1	3.9
Stainless steel 304	2.4	0,00130	749	1400	72	4

Nota. Esta tabla muestra las constantes de conductor usados en malla de puesta a tierra IEEE (2007).

Tabla 18:*Cálculo de la Sección del Conductor Para el Sistema de Aterramiento IEEE*

Descripción	Representación	Valor
Corriente de falla KA	I_f	11
Tiempo de aclaramiento de falla (seg)	t	0.5
Capacidad térmica por unidad de volumen (J/cm ³ /°C)	TCAP	3.42
Coeficiente térmico de resistividad a T °C	a_{20}	0.00393
Resistividad del conductor T °C (mΩ/cm)	r_{20}	1.77
Coeficiente térmico de resistividad inverso 0 °C	K_0	242
Temperatura máxima permisible °C	T_m	1083
Temperatura ambiente °C	T_a	20
sección del conductor mm ²	27.554	mm ²
Conductor elegido mm ²	35	mm ²

Nota. Esta tabla muestra las constantes usadas para el cálculo de la sección del conductor para sistemas de aterramiento adaptado de IEEE STD 80 (2000).

II.1.9 Sistema de protección de fase y fase tierra

II.1.9.1 Reconectador de Circuito Automático (ACR) con Powerlogic

Controlador ADVC

Este documento describe los procedimientos de instalación y mantenimiento para el reconectador de circuito automático (ACR) PMSTM serie U con rango de controlador PowerLogic (ADVC).

Todas las marcas comerciales son propiedad de Schneider Electric Industries SAS o sus empresas afiliadas proporcionan lo siguiente:

- Bienestar, Actuación, Circular, Actuación y Recurso.
- RoHS 60% Reciclable.
- Rendimiento energético optimizado.

- Libre de SVHC Instrucciones de fin de vida útil Emisiones de CO2 reducidas.
- SF6 libre de mantenimiento.
- Declaración Ecopasaporte PEP (Perfil Ambiental del Producto).

El programa ecoDesign Way de Schneider Electric fue revisado y validado por UL Environment para cumplir con los requisitos de ANSI/IEC 62430. Este manual describe la instalación y el mantenimiento del PMSet U-Series ACR y del PowerLogic ADVC.

II.1.9.2 Estructura de protección homopolar proyectada

En el presente proyecto se ha considerado la implementación de una estructura de protección de para fallas a tierra, compuesto por un poste de concreto de 13/400/2/180/375, reconectador de circuito automático (ACR) con powerlogic controlador ADVC, con las funciones de protección 50P/51P y 50N/51N ubicados dentro del powerlogic controlador ADVC (tableros ubicados a la intemperie).

La estructura de protección para fallas a tierra proyectada constará de los siguientes elementos.

Tendrá forma troncocónica; el acabado exterior es homogéneo, libre de fisuras, cangrejas y excoiaciones, tiene las características y dimensiones técnicamente aceptadas por ENEL DISTRIBUCIÓN PERÚ S.A.A.

El poste será fabricado de concreto armado por sistema de centrifugación y deberá cumplir con las siguientes normas:

- NTP 339.027 : Para diseño, fabricación y pruebas.
- DGE 015-T : La relación de la carga de rotura (a 0,10 m debajo de la cima) y la carga de Trabajo será igual ó mayor de 2.

Tabla 19:

Características Mecánicas de los Postes de Concreto Centrifugado

Descripción	Tipo - I
Norma de fabricación	NTP 339-027
Forma de fabricación	Centrifugado
Longitud (m)	13
Esfuerzo en la punta	400
Coefficiente de seguridad	2
Diámetro de vértice (mm)	180
Diámetro en base (mm)	375
Conicidad (mm/m)	15
Peso (kg)	1250
Diámetro de agujero pasante (mm)	22

Nota. Esta tabla muestra las características mecánicas del poste de concreto centrifugado adaptado de *Falumsa* (2020).

En una longitud de 3,00 m, desde la base del poste, se debe aplicar pintura bituminosa (polímeros de alto lustre y rápida penetración en el concreto), para proteger este poste de la humedad y las sustancias corrosivas.

Estarán enterradas 1/10 de su longitud total y cimentadas con una mezcla de concreto 1:8 con piedras medianas; el poste será izado desde su centro de gravedad sin exceder los esfuerzos de diseño.

II.1.9 Detalle electromecánicos de la subestación

Las subestaciones de tipo biposte se apoyan en dos postes unidos entre sí y se utilizan en lugares bastante transitados, como áreas industriales y comerciales. Estas se emplean como punto final o continuo para líneas eléctricas aéreas y subterráneas de media tensión.

Un transformador de distribución constituye la subestación aérea. Además, cuenta con protección contra sobretensión (descargadores de sobretensión DST) y protección contra sobre corriente (cortacircuitos), así como con accesorios esenciales para su instalación, como aisladores, herrajes y apoyos.

Las necesidades de aislamiento para el personal y el equipo instalado en una subestación SAB se determinan por los niveles de tensión. Estos aseguran una operación segura y confiable.

De tal manera que los gradientes de tensión no afecten la rigidez dieléctrica del material aislante, el aislamiento establece las especificaciones de los materiales aislantes y las distancias entre los elementos. El tamaño de los equipos a emplear se determina, a su vez, por dichas distancias y la potencia de trabajo.

Transformaciones de tensión, a frecuencia constante, número de fases o conexiones de dos o más circuitos son funciones de las subestaciones eléctricas. Se encuentran cerca de las centrales generadoras, en la periferia de las áreas de consumo o dentro y fuera de las empresas fabriles y edificios.

Por lo general, las subestaciones de las ciudades están dentro de los edificios para así ahorrar espacio y reducir la contaminación. En cambio, las instalaciones al aire libre se sitúan en zonas internas y externas de los predios cumpliendo con las distancias de seguridad recomendadas por el código nacional de electricidad.

El transformador es el componente principal de las subestaciones eléctricas; aumenta la intensidad y la potencia constante para cambiar la tensión de la energía eléctrica.

II.2 Antecedentes del estudio

I.2.1 Antecedentes internacionales

En su trabajo de investigación Encala y Tonato (2023) elaboraron un manual práctico de laboratorio, por medio de la coordinación de protecciones de un sistema eléctrico de distribución, utilizando el equipo de inyección de fallas OMICRON CMC 356 y el equipo de protección Relé SEL-751 pertenecientes al laboratorio de protecciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Se utilizó el software especializado ETAP para realizar la simulación del sistema. Finalmente, para una coordinación de protección adecuada, se creó un manual de prácticas que incluía los cálculos, el procedimiento y los equipos de uso. Esto redujo el tiempo de inactividad del sistema y también evitó las interrupciones provocadas por fallas dentro de este.

Chanatasig (2016) en su trabajo realiza una investigación para coordinar los resguardos en los alimentadores de tensión mediana 13.8KV a través de analizar el flujo de potencia y las averías. El objetivo de esta tesis fue desarrollar una adecuada coordinación de protecciones de los alimentadores primarios a 13.8kv de una nueva SE llamada Pujin, para la empresa Eléctrica de Cotopaxi a través del análisis del flujo de potencia.

1.2.2 Antecedentes nacionales

En su trabajo de investigación Rómulo (2018) realizó el estudio de Coordinación de Protecciones del proyecto túnel línea amarilla ubicado en el distrito del Rímac, región Lima con el propósito de lograr sensibilidad, selectividad y rapidez en el sistema de protección de la SED_01 examinada, características fundamentales para garantizar la confiabilidad de un sistema eléctrico de distribución. Este estudio protegió el sistema eléctrico, protegió al personal que trabajaba y redujo la interrupción de la energía por fallas.

En su trabajo de investigación Jann (2023) obtuvo como resultado cálculos de ajustes de protecciones de sobre corriente temporizada e instantánea de tierra y fase para todos los relés de protección del circuito de chancado, así como también curvas de protección para cada equipo y curvas de coordinación con fusibles y relés aguas arriba. Finalmente, se obtuvo el análisis y la comparación de la energía disipada para los transformadores de 4160V y 480V, utilizando el sistema de aterramiento.

II.3 Definición de términos

II.3.1 Coordinación de las protecciones

Se produce por medio de los ajustes de los relés de protección de las instalaciones como la línea, el transformador, el alimentador, el generador y otras. En la mayoría de los casos, se utilizan software computacional y se siguen procedimientos y normas establecidas por instituciones de renombre.

Subestación: El propósito de esta instalación es establecer los niveles de tensión apropiados para la distribución y transmisión de energía eléctrica. El transformador es su principal equipo.

Energía eléctrica: La diferencia de potencial entre dos puntos permite que se establezca una corriente eléctrica entre ellos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico; se conoce como energía.

Relés de protección: Con la capacidad de detectar una magnitud de entrada específica, en colaboración con otros equipos de control, realiza una determinada tarea. Para llevar a cabo las acciones correctivas permanentes, son los elementos encargados de “reconocer” condiciones inusuales en los diversos componentes del sistema eléctrico.

Curva de tiempo definido: La curva de corriente VS tiempo es una señal que nuestros sistemas de protección pueden entender al abrir o cerrar circuitos después de mantenerse en una magnitud específica, es un método muy práctico para coordinación de relés o fusibles tipo H, N, T o K.

Cortocircuito: Cuando dos puntos con una diferencia de potencial se ponen en contacto, ocurre un fenómeno eléctrico que se caracteriza por corrientes circulantes elevadas hasta el punto de falla.

Corriente de cortocircuito: Es la representación de una elevada cantidad de energía térmica y fuerzas electromagnéticas, las cuales ocasionan que los conductores, los interruptores termomagnéticos o de potencia, los ductos de barras y los tableros de distribución pueden doblarse, así como las explosiones conducentes de incendio o los latigazos que pueden quemar o

matar a las personas que se encuentren cerca de la falla.

Dispositivos de protección: Son interruptores, fusibles, etc. que aíslan por completo una falla permanente, o cuando un mecanismo o aparato se abre, de manera intempestiva o voluntaria.

Selectividad: El propósito de la selectividad en un sistema radial es eliminar de la red la carga o la derivación de salida que presenta falla, manteniendo operativo y en servicio la mayor parte de las instalaciones posibles.

Sobrecarga: La temperatura de varias partes del transformador aumentan como resultado. El aislamiento del sistema se deteriora y la vida útil del transformador disminuye si la temperatura final supera la temperatura límite de diseño.

Aislamiento de protección: Es el uso de materiales que tengan un aislamiento reforzado y de protección entre sus partes activas y sus masas accesibles.

Esquema eléctrico: Es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de una parte de ella, en la que cada uno de los componentes y sus conexiones están claramente definidos.

PMI: Son los puntos de medición a la intemperie, se encuentran ubicados en la parte superior de una estructura de concreto centrifugado. En este punto es donde se instala el sistema de protección y se puede modificar la red eléctrica.

Ampacidad: Es la intensidad de corriente más alta que puede fluir continuamente por un conductor eléctrico sin dañarlo.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

III.1 Hipótesis

III.1.1 Hipótesis general

Realizando el cálculo de cortocircuito y coordinación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

III.1.2 Hipótesis específicas

- Determinando el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.
- Coordinando los tiempos de actuación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.
- Determinado el funcionamiento de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

III.2 Variables de la investigación

III.2.1 Variable independiente

Coordinación de las protecciones

III.2.2 Variable dependiente

Operatividad y continuidad del sistema eléctrico

III.3 OPERACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 20

Operación de las variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM S
Variable independiente Coordinación de las protecciones	Realizar el E.C.P. enfocado en corto circuito monofásico – tierra para lo cual se ajustarán los relés, cumpliendo a satisfacción las normas vigentes.	Flujo de potencia del sistema eléctrico	Caída de tensión	X1
		Cálculo de la corriente de corto circuito trifásico	Fallas poco frecuentes	X2
		Protecciones para fallas entre fases bifásico	Fallas moderadamente frecuentes	X3
		Protecciones para fallas fase	Fallas muy frecuentes	X4
Variable dependiente Operatividad y continuidad del sistema de eléctrico	Implementación al Sistema Eléctrico la coordinación y ajustes los relés respectivos conectados mediante transformadores toroidales	Sistema eléctrico confiable	coordinación cronométrica	Y1
			coordinación amperimétrica	Y2
		Calidad de energía	Factor de potencia técnico	Y3

Nota. Esta figura muestra la operación de las variables el cual nos dará los indicadores observables.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1 Recolección de la información documental procesamiento de la información

Con el presente estudio se plantea determinar los ajustes de los dispositivos de protección ubicados a partir del PMI SGGC-SCE- 528011810-2023 San Borja, 28 de diciembre del 2023, ubicado Panamericana Norte N° 990 Santa María, distrito de Huacho, provincia de Huaura y departamento de Lima de la Estación de Servicios LI S.A.C.

Alimentador de 3-1x50 mm² tipo NA2XSA2Y y llega a la Subestación Particular interior de la empresa, además contempla el dimensionamiento, selección, instalación y ajustes de la protección correspondiente al relé de corrientes de fases y fases tierra o corriente homopolar de las instalaciones de media tensión de la empresa.

IV.2 Alcances del estudio de coordinación de las protecciones

- Ajustes recibidos de ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A correspondientes a su sistema y los equipos instalados “aguas arriba”.
- Selección de fusibles primarios del transformador de distribución de 250 KVA, 22.9/0.46/.23 kV ubicados dentro de la Estación de Servicios LI S.A.C.
- Presentación de todas las curvas, cuadros y tablas de la coordinación de protección del sistema eléctrico.
- Análisis de Cortocircuito del sistema eléctrico.

- Determinación de los ajustes del disyuntor Serie U, marca MERLIN GERIN de SCHNEIDER ELECTRIC es controlado y monitoreado por el Controlador Avanzado (ADVC) montado en el poste. Encerrado en una carcasa de acero inoxidable de grado marino 316, el ADVC proporciona un panel de control del operador (OCP) y un controlador electrónico que monitorea el disyuntor y proporciona funciones de protección, medición, control y comunicación.

IV.3 Información utilizada

Para realizar el ECP se ha contado con la siguiente información:

- Curvas características corriente-tiempo de fusibles tipos “km”.
- Curva de daño térmico del transformador de potencia según la norma americana ANSI/IEEE C57.12.00 – 1980.
- Parámetros para el estudio de la coordinación de la protección suministrado por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A.

Tabla 21:

Parámetros para el ECP

H-52	Función	I(A)	Tiempo(seg)	Curva
Fase	51P	420	0.6	DT
	50P	4020	0.05	DT
Tierra	SEF	16	1	DT
	50/51N	100	0.6	DT
Valores de PCC				
20KV 3F			240MVA	
20KV 1F			124MVA	
Tiempo de apertura			0.02seg	

Nota. Esta tabla muestra los parámetros para el estudio de coordinación de protección Enel (2024).

- Curvas DT característica corriente-tiempo de disyuntor Serie U para la coordinación de sobre corrientes de fases.
- Curvas DT característica corriente-tiempo de disyuntor Serie U para la coordinación de sobre corrientes de fases - tierra.

IV.4 Descripción del sistema eléctrico en estudio

La estación de servicios LI S.A.C. es alimentado a través de un cable de MT tipo NA2XSA2Y de 3-1x50 mm² 18/30 kV que une el PMI ubicado Panamericana Norte N° 990 Santa María, distrito de Huacho, provincia de Huaura y departamento de Lima, y la subestación particular interior de la Estación de Servicios LI S.A.C.

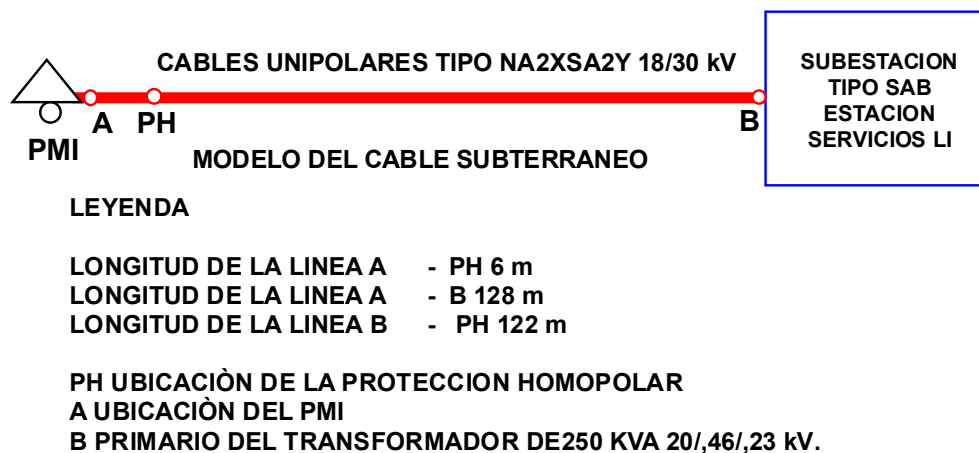
La subestación interna ubicada dentro del servicentro se halla equipada con:

- SAB totalmente equipada.
- Transformador de 250 kVA, 20/.46/.23 kV, marca DELCROSA.
- Relé de corriente homopolar.
- Sistema de aterramiento para BT y MT.

El estudio se ha desarrollado en función de los ajustes recibidos de parte de ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A.

Para la determinación de los ajustes de los equipos de protección se han utilizado los criterios de protección de transformadores y los criterios de coordinación entre unidades de sobre corriente normados.

En el siguiente plano se muestra el diagrama unifilar de protecciones del sistema eléctrico en estudio.

Figura 7:*Modelamiento de PMI – PH-SAB*

Nota. Esta figura muestra el modelamiento desde el PMI – PH – SAB.

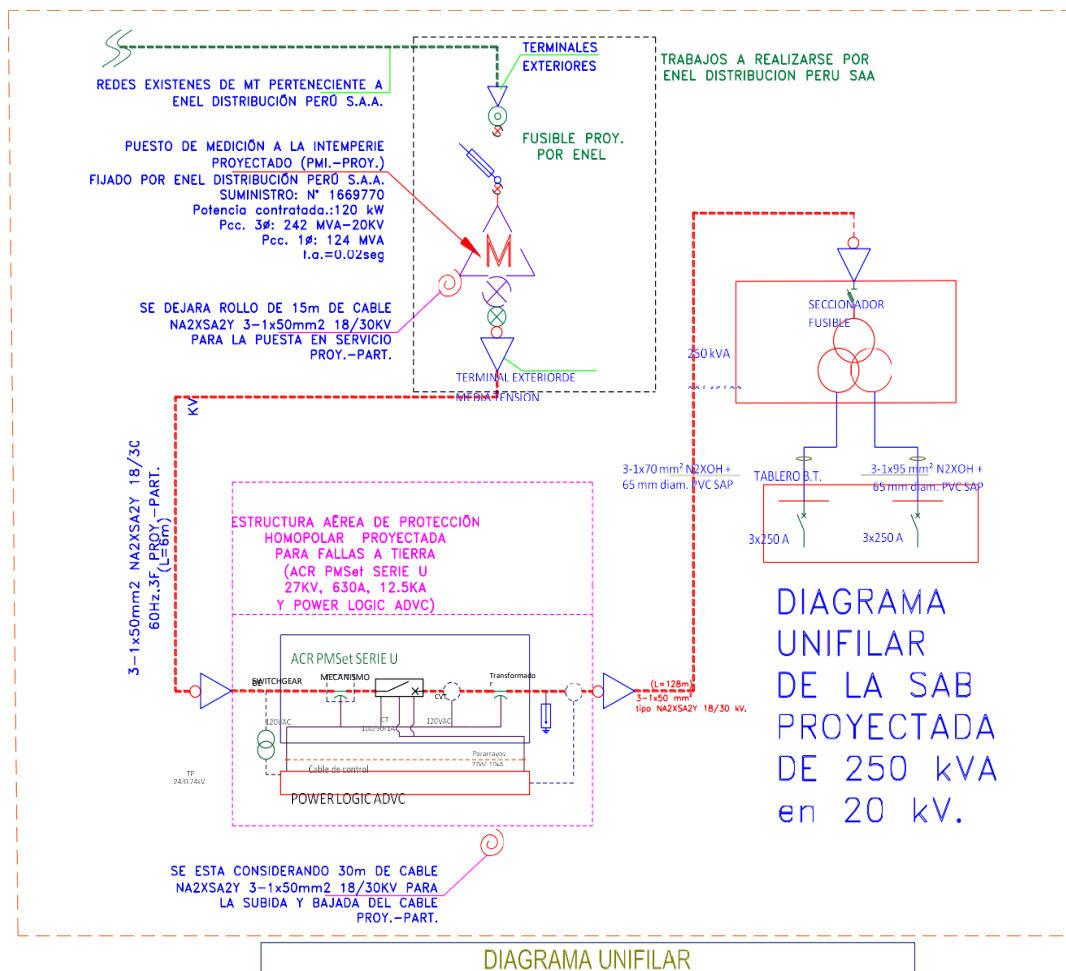
IV.5 Criterios de ajuste de los equipos de protección

El objetivo principal del sistema de protección implementado para alimentar a la ESTACIÓN DE SERVICIOS LI S.A.C. es proporcionar, en forma rápida y coordinada, el despeje de fallas debidas a la corriente homopolar en la línea de alimentación de media tensión y de esta manera minimizar la interrupción del suministro y los daños en los equipos comprometidos en las fallas. Así mismo se podrá identificar la zona de perturbación que podrían sacar fuera de servicio el alimentador de 20 kV, ubicados aguas arriba de la subestación particular de la ESTACIÓN DE SERVICIOS LI S.A.C. Para la determinación de los ajustes del disyuntor Serie U, marca MERLIN GERIN de SCHNEIDER ELECTRIC insertado en el alimentador en media tensión, se tomó en cuenta los siguientes criterios:

Ante una falla en el alimentador en 20 kV el disyuntor serie U debe operar antes que el relé de ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A. ubicado “aguas arriba” del PMI asignado.

Ante una falla en los primarios del transformador 20/0.46/.23 kV, en la ESTACIÓN DE SERVICIOS LI S.A.C este relé es la protección de las corrientes de fallas a tierra.

En lo que sigue se describe los criterios seguidos para el ajuste y selección del calibre de fusibles para el transformador de distribución.

Figura 8:**Diagrama Unifilar de la SAB**

Nota. Esta figura muestra el diagrama unifilar de las SAB proyectada de 250KVA.

IV.6 Protección de transformadores de distribución

Para realizar el estudio de coordinación de protecciones se ha contado la siguiente información.

El transformador de distribución de la ESTACIÓN DE SERVICIOS LI S.A.C tiene implementado protección primaria constituida por fusibles que proveen

protección principal contra fallas en los terminales secundarios y contra fallas internas en los devanados del transformador.

El esquema de protección primaria para transformadores constituido por fusibles debe cumplir con los siguientes criterios:

El fusible debe ser selectivo con los equipos de protección instalados “aguas arriba” y “aguas abajo” de su ubicación.

El fusible primario podrá admitir una determinada sobrecarga en el transformador, siempre que no comprometa la vida útil del transformador.

Los fusibles primarios deberán ser calibrados a no más del 130% de la corriente primaria nominal del transformador. Cuando este valor no corresponda a la capacidad nominal de un fusible, se permitirá usar el valor nominal próximo más alto proporcionado por el fabricante (referencia: Código Nacional de Electricidad).

El fusible primario debe soportar la corriente de energización del transformador que podrá llegar a 12 veces su corriente nominal, en un tiempo de aproximadamente 0.100 s (Punto Inrush). La curva mínima de operación del fusible primario debe encontrarse por arriba y a la izquierda del punto Inrush.

El fusible primario debe evitar que se alcance el daño del transformador, debiendo por ello encontrarse abajo y a la derecha de la curva de daño que determina la capacidad térmica del transformador.

Para la curva de daño de transformadores de distribución se ha tomado de la norma ANSI/IEEE C57.12.00 – 1980.

IV.7 Análisis de corto circuito

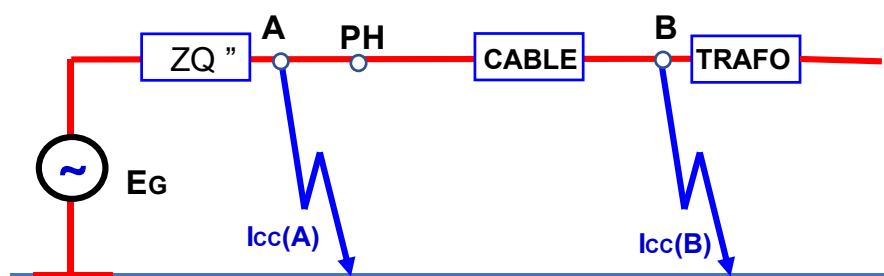
IV.7.1 Topología fundamental para el estudio

Para las simulaciones de cortocircuito se ha modelado el sistema como un generador síncrono equivalente concentrado en el PMI.

El generador equivalente se ha modelado para una potencia de cortocircuito trifásica tal como sigue:

Figura 9:

Modelo de cortocircuito



Nota. Esta figura muestra el modelo para el cálculo y análisis de corto circuito.

IV.7.2 Parámetros utilizados

La línea de media tensión a 20 kV que alimenta a la subestación es 120 metros. Desde el PMI hasta la subestación interna. Se ha considerado los

siguientes parámetros para el transformador de distribución ubicado en la subestación aérea biposte.

Los fusibles a utilizar serán del tipo Km y tendrán las siguientes características:

- Alta capacidad de ruptura.
- Alto efecto limitador.
- Baja sobretensión de corte.
- Bajas pérdidas eléctricas.
- Uso exterior.

Para realizar este cálculo es necesario tomar en cuenta los parámetros nominales de Media Tensión a 60 Hz.

$I_{\text{diseño}} = 1.25 I_{\text{nominal}}$.

Así mismo para el cálculo de elección de fusibles deberá comprobarse:

$I_{\text{inserción}} = 12 \times I_{\text{nominal}}$ a 0.1 segundos.

$I_{\text{daño térmico}} = 20 \times I_{\text{nominal}}$ a 2 segundos.

Por esfuerzo térmico permisible:

Utilizando la siguiente fórmula recomendada por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A

$$I_{\text{km}} = 0.09447 \times S / \sqrt{t}$$

Donde:

I_{km} : Corriente de corto circuito en kA.

S: Sección nominal del cable de 50 mm²

t: Tiempo de aclaramiento de falla en seg. I_{km} = 46.76 kA. Es la I_{cc} del cable

Entonces 46.76 kA >>> 6.26 kA

Por tanto, el cable de 50 mm² tipo NA2XSA2Y 18/30 kV es el adecuado.

Tabla 22:

Impedancias del sistema en MT para fallas trifásicas

IMPED. FUENTE		IMPED. SEC. +		IMPED. TOTAL	
RG	XG	R1	X1	RTOTAL	XTOTAL
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
0.258738	1.829344	0.258738	1.829344	0.517476	3.658688

Nota. Esta tabla muestra los valores de la impedancia trifásica para el sistema MT.

Tabla 23:

Impedancias del sistema en MT para fallas bifásica

IMPED. FUENTE		IMPED. SEC. +		IMPED. SEC. -		IMPED. TOTAL	
RG	XG	R1	X1	R1	X1	RTOTAL	XTOTAL
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
0.2587	1.8293	0.2587	1.8293	0.7762	5.4880	1.2937	9.1467

Nota. Esta tabla muestra los valores de la impedancia bifásica para el sistema MT.

Tabla 24:

Impedancias del sistema en MT para fallas monofásica

IMPED. FUENTE		IMPED. SEC. +		IMPED. SEC. - Z10		IMPED. SEC. 0		IMPED. TOTAL	
RG	XG	R1	X1	R10	X10	R0	X0	RTOTAL	XTOTAL
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
0.2587	1.8293	0.2587	1.8293	0.7762	5.4880		6.0187	1.2937	15.166

Nota. Esta tabla muestra los valores de la impedancia monofásica para el sistema MT.

IV.8 Información proporcionada

La información de los dispositivos de protección proporcionada por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A y ESTACIÓN DE SERVICOS LI S.A.C.

IV.8.1 Relé de fases (Salida alimentador 20 kV – neutro aislado)

IV.8.1.1 Punto A

$I_{>} = 420 \text{ A}$, $t = 0.6$ segundos (característica: tiempo definido).

$I_{o>} \text{ (SEF)} = 16 \text{ A}$, $t = 1.0$ segundos (característica: tiempo definido)

$I_{o>>} 4020 \text{ A}$, $t = 0.05$ segundos (característica: tiempo definido).

Datos proporcionados por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A

IV.11.2 Relé de fases (Salida alimentador 20 kV – neutro aislado)

IV.8.2.1 Punto A

$I_{>} = 191 \text{ A}$, $t = 0.3$ segundos (característica: tiempo definido).

$I_{o>>} 2000 \text{ A}$, $t = 0.02$ segundos (característica: tiempo definido).

Datos proporcionados por ESTACIÓN DE SERVICOS LI S.A.C.

IV.8.3 Relé fases-tierra (Recloser disyuntor serie U 20 kV – neutro aislado)

IV.8.3.1 Punto PH

$I_{>} = 16 \text{ A}$, $t = 1$ segundos (característica: tiempo definido).

$I_{o>>} 100 \text{ A}$, $t = 0.6$ segundos (característica: tiempo definido).

Datos proporcionados por ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A

IV.8.4 Relé fases – tierra (Recloser disyuntor serie U 20 kV – neutro aislado)

IV.8.4.1 Punto PH

$I > 4 \text{ A}$, $t = 0.3$ segundos (característica: tiempo definido).

$I_{o >> 20 \text{ A}}$, $t = 0.15$ segundos (característica: tiempo definido).

Datos proporcionados por ESTACIÓN DE SERVICOS LI S.A.C.

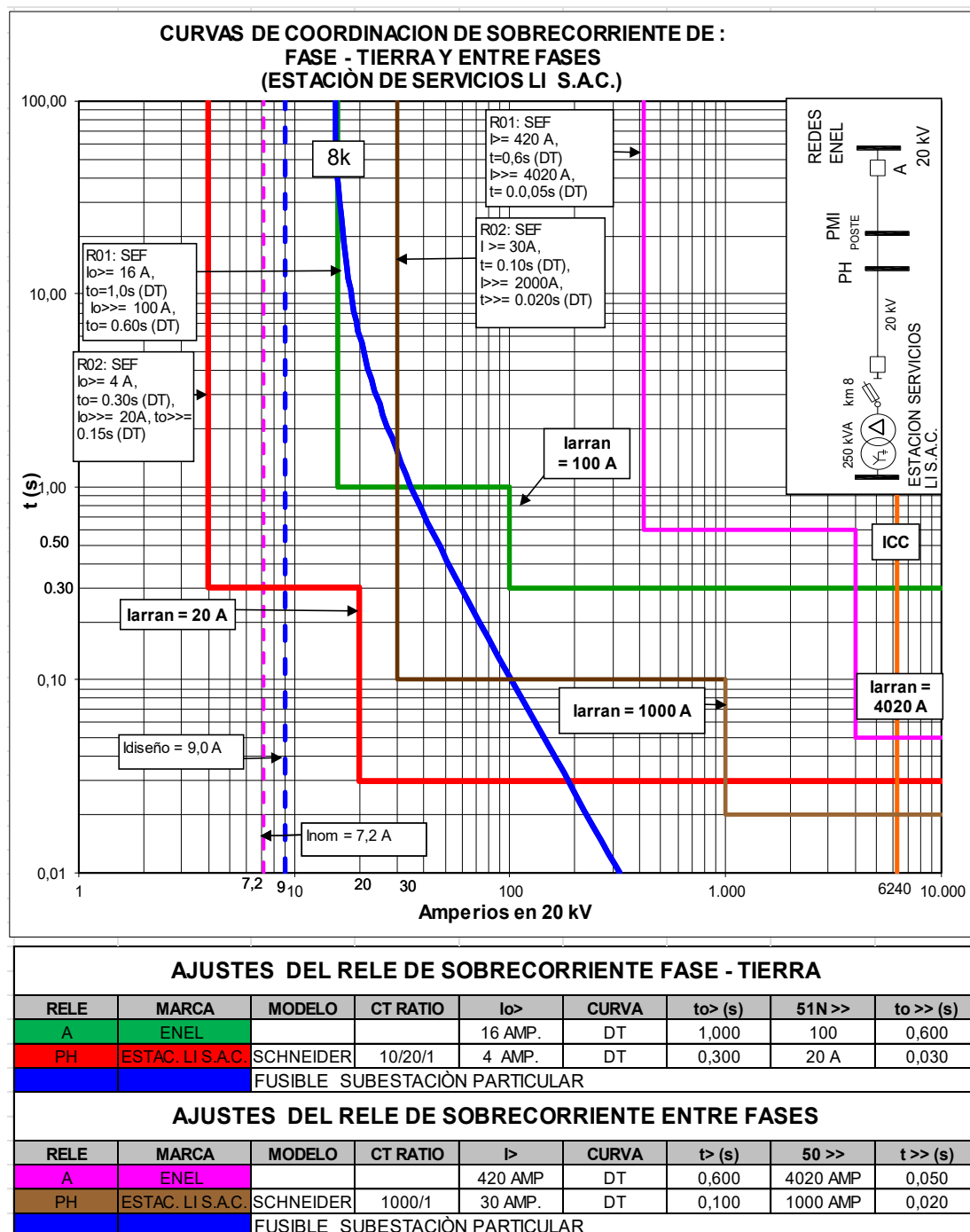
V. RESULTADOS

V.1 Presentación y análisis de los resultados

Los resultados de las simulaciones de cortocircuito se muestran en forma gráfica en las siguientes figuras, en los cuales se presentan los resultados de las sobre corrientes de fases y sobre corrientes de fase – tierra.

Figura 10:

Modelo Para el Análisis de corto circuito



Nota. Esta figura muestra las curvas de coordinación de protección de las protecciones, los cuales garantizaran su correcta actuación

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VI.1 Conclusiones

- **Conclusión general:** Como hipótesis general tenemos *“Realizando el cálculo de cortocircuito y coordinación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC”*.

a. Se realizó el cálculo de corto circuito en el punto A y B, mediante el cual se obtuvo $I_{cc} A = 6.9857$ y $I_{cc} B = 6.25$ KA respectivamente.

Con estas corrientes garantizamos un adecuado trabajo de los sistemas de accionamiento del PMI, Celda de protección y Daño térmico del transformador.

b. Se realizó el estudio de la coordinación de las protecciones mediante el cual se ha logrado garantizar los correctos disparos de los relés instalados en el PH y sistema eléctrico de Enel Distribución Perú S.A.A., Dado una falla nuestros relés instalados en el Recloser 50P/51P (protección de fases) y 50N/51N (protección de fases a tierra) siguiendo los correctos ajustes planteados por Enel Distribución Perú S.A.A. y el Servicentro LI SAC.

En consecuencia y teniendo en cuenta lo manifestado en los párrafos a y b se verifica que los tiempos ajustados en los relés de PH son los suficientemente apropiados para que las fallas del servicentro LI SAC, si los hubiera, hagan actuar solo a los relés del PH. Con esto logramos garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI S.A.C.

- **Conclusión específica 01:** Como hipótesis específica 01 tenemos *“Determinando el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.”*

Se determino el estado actual en baja tensión de las instalaciones eléctricas del servicentro LI SAC y presenta las siguientes falencias: Caída de tensión, Perturbaciones en el momento del arranque de los motores y no tiene el estudio de la coordinación de las protecciones; por lo antes mencionado no garantiza la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

Después de haber realizado el trabajo, en media tensión, ya no se presentan las falencias indicadas en el párrafo anterior y en consecuencia, se garantiza la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.

- **Conclusión específica 02:** Como hipótesis específica 02 tenemos *“Coordinando los tiempos de actuación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI sac.”*

Se realizo la coordinación de los tiempos de actuación en el PH, con los tiempos proporcionados por Enel Distribución Perú S,A,A. Los mismos que presentamos a continuación.

- Para las fallas de fase.

ENEL 51P/50P, $I \geq 420A$, $t = 0,6s(DT)$ $I \geq 4020$, $t > 0,05s(DT)$.

PH 51P/50P, $I \geq 191A$ $t = 0,1s(DT)$ $I \geq 1000$, $t > 0,02s(DT)$.

- Para las fallas de fase – tierra.

ENEL 50N/51N, $I_{0>} \geq 16A$, $t_0 = 1,0s(DT)$, $I_{0>} \geq 100A$, $t_{0>} > 0,6s(DT)$.

PH 50N/51N, $I_{0>} \geq 4A$, $t_0 = 0,3s(DT)$, $I_{0>} \geq 20A$, $t_{0>} > 0,03s(DT)$.

Como se puede visualizar, en el párrafo anterior, los tiempos de actuación en el PH y la concesionaria son lo suficientemente distantes.

Así podemos concluir que coordinando los tiempos de actuación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.”.

- **Conclusión específica 03:** como hipótesis específica 03 tenemos *Determinando el funcionamiento de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.”*

Realizando los estudios de:

- Las corrientes de corto circuito
- La coordinación de las protecciones.
- Realizando los ajustes de los relés instalados en el PH.

Se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.”

VI.1 Recomendaciones

- a. En forma semestral es necesario hacer un control visual mecánico de los fusibles tipo “km” instalados en las subestaciones particulares tipo SAB; así mismo, una inspección del disyuntor Serie U de marca SCHNEIDER en un poste de concreto armado.
- b. Recomendamos realizar la prueba y contrastación anuales de los ajustes de los relés instalados en el PH, para lo cual es necesario disponer de una maleta de pruebas de inyección de corrientes primarias con capacidad según requerimiento del estudio, para ello se coordinará con personal de ENEL DISTRIBUCIÓN PERÚ S.A.A para su respectiva supervisión.
- c. Recomendamos cuando existen cualquier perturbación y/o alteración del sistema coordinar con el especialista de la estación de servicios LI S.A.C.
- d. Realizar el monitoreo semestral a la SAB, sistema de aterramiento y medición de aislamiento de las máquinas y alimentadores instalados en los circuitos principales y derivados de la estación de servicios LI S.A.C.
- e. Para verificar los niveles correctos de protección, se recomienda efectuar el ajuste y control de los relés:

Relé 50/51 Sobrecorrientes de fases.

Relé 50N/51N Sobrecorrientes de fases - tierra.

Para ello se coordinará con personal de ENEL DISTRIBUCION PERU S.A.A para su respectiva supervisión.

VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Barrantes, J. (2014). *Estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones en CVGALUNASA*. Ciudad Universitaria “Rodrigo Facio”.

Blackburn, L y Domin, T. (2006). *Protective Relaying: Principles And Applications (PowerEngineering)*. Estados Unidos: RRN Trade LLC.

Brokering, C. y Palma, W. (2008). *Sistemas Eléctricos de Potencia*. Chile: Ñom Lűfke.

Bustamante A. y Jimenez B. (2022). *Estudio de coordinación de protecciones para el sistema eléctrico de la empresa Balanceados Probalen CIA.LTDA*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9263>

Carillo R. (2018). *Estudio de coordinación de protecciones con el software etap versión 12.6 del proyecto túnel línea amarilla ubicado en el distrito del Rímac, región lima – Perú*.
<http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/495>

Elmore, W. (2003). *Protective Relaying: Theory and Applications*. Estados Unidos: CRC Press.

Encala, K. y Tonato, M. (2023). *Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de relés sel-751*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.

IEC. *Cálculos de las corrientes de cortocircuito en redes trifásicas de corriente Alterna*. (60909).

IEC. *Cálculo de corrientes de cortocircuito en las redes trifásicas de corriente alterna*. (909). IEC. *Cálculo de los efectos de las corrientes de cortocircuito*. (865).

IEC. *Conjunto de apartamento de baja tensión. Reglas para los conjuntos de serie y los conjuntos derivados de serie*. (439-1).

- IEC. *Electrical equipment – Data for short circuit currents calculation*. (60909-2).
- IEC. *Guía de aplicación para el cálculo de corrientes de cortocircuito en la redes BT radiales*. (60781)
- IEC. *Short circuit currents in tree-phase a.c. systems – Calculations of currents*. (60909-0).
- IEC. *Short circuit currents in tree-phase a.c. systems – Factor for the calculation of*. (60909-1).
- IEC. *Short circuit currents in tree-phase a.c. systems – Current during two separate*. (60909-3).
- IEEE. (1990). *Electrical Power System in commercial Building*. (Std 241).
- IEEE. (2007). *Grounding of industrial and commercial power systems*. (Std 142).
- IEEE. (1986). *IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. (Std 242).
- IEEE. (1993). *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*. (Std 141).
- IEEE. (1986). *Protection and coordination of industrial and commercial power systems*. (Std 242).
- IEEE. (2001). *Protection and coordination of industrial and commercial power systems*. (Std 242).
- León T. (2023). *Evaluación de sistema de coordinación de protecciones con ETAP en el circuito eléctrico de Chancado en media tensión de una empresa minera en la región de La Libertad*. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13498/4/IV_FIN_109_TE_Leon_Taibe_2023.pdf
- Uribe A., González O. y Giraldo A. (2014). *Optimización y confiabilidad del sistema de potencia eléctrica de la industria de alimentos*. Universidad Católica Santo Toribio de

Mogrovejo.https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2619/1/TL_ZapataBenitesLeonel.pdf

ANEXO 1. Matriz de consistencia

“ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DE LAS FALLAS DE CORRIENTES DE FASES Y FASE TIERRA, PARA OPTIMIZAR SU OPERATIVIDAD, DE LA SUBESTACION CORRESPONDIENTE AL SERVICENTRO LI DE GNV UBICADO EN LA CIUDAD DE HUACHO”				
Realizar el cálculo de corto circuito y coordinación de protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC. Esto permitirá hacer frente a los corto circuitos trifásicos bifásicos y monofásicos a tierra.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MÉTODOS
Problema general ¿En qué medida realizar un cálculo de corto circuito y estudio de coordinación de las protecciones permitirá garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?	Objetivo general Realizar el cálculo de corto circuito y coordinación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC	Hipótesis general Al realizar el cálculo de corto circuito y coordinación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.	Variable independiente (X): Coordinación de las protecciones Variable dependiente (Y): Operatividad y continuidad del sistema eléctrico	Implementar un sistema eléctrico El problema objeto de investigación es implementar un sistema eléctrico confiable que haga frente a los corto circuitos trifásicos, bifásicos y monofásicos a tierra. Instituir el nivel de satisfacción Concluyentemente instituir el nivel de satisfacción de la calidad de energía suministrada.
Problema específico N° 1 ¿Cómo se determinará el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?	Objetivo específico N° 1 Determinar el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.	Hipótesis específica N° 1 Al determinar el estado actual de las instalaciones eléctricas del predio se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.		
Problema específico N° 2 ¿Cómo se coordinan los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?	Objetivo específico N° 2 Coordinar los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.	Hipótesis específica N° 2 Al coordinar los tiempos de actuación de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.		
Problema específico N° 3 ¿De qué manera se demostrará el funcionamiento de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC?	Objetivo específico N° 3 • Determinar el funcionamiento de las protecciones para garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.	Hipótesis específica N° 3 Al determinar el funcionamiento de las protecciones se logra garantizar la operatividad y continuidad del sistema eléctrico correspondiente al servicentro LI SAC.		