

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,

INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS:

OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL

ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04 EN 22.9 kV –

QUISPICANCHI – CUSCO 2025

PRESENTADO POR:

Br. JOSE LUIS HUAMAN MAMANI

Br. CHRISTIAN ROJAS HUAMAN

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Dr. WILLY MORALES ALARCÓN

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** WILLY MORALES ALARCON
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada:

OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL
ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04 EN 22.9 KV
- QUISPICANCHI - CUSCO 2025

Presentado por: JOSE LUIS HUAMAN MAMANI DNI N° 75768974 ;
presentado por: CHRISTIAN ROJAS HUAMAN DNI N°: 74409598

Para optar el título Profesional/Grado Académico de
INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 5 de MARZO de 2026.....

Firma

Post firma: Dr. Willy MORALES ALARCON

Nro. de DNI: 23854222

ORCID del Asesor: 0000-0002-09566815

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:563959444

Huaman Mamani y Rojas Huaman Huaman Mamani...

OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04 EN 22.9 kV – QUIS...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:563959444

Fecha de entrega

5 mar 2026, 10:47 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 mar 2026, 10:53 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-.....pdf

Tamaño del archivo

7.8 MB

187 páginas

42.955 palabras

246.238 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
129 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**
58 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACIÓN

Los señores dictaminadores y replicantes, en concordancia con el reglamento vigente de grados y títulos y con la finalidad de optar al título profesional de Ing. Electricista se sometió a su consideración la presente tesis, titulada:

“OPTIMIZACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04 EN 22.9 kV – QUISPICANCHI – CUSCO 2025”.

Inciendo que los sistemas de protección aplicados en las redes de distribución primaria estuvieron condicionados por la cantidad de instalaciones disponibles con las que contaba la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A., para aminorar y despejar diferentes fallas del subsistema eléctrico de distribución, tal forma que los suministrados se sean afectados por fallas en el servicio, esta crea la necesidad de tener un alimentador de media tensión (AMT) correctamente diseñada y con correcta coordinación de protección que sea óptima para complacer en la entrega de energía eléctrica a los consumidores. Para asegurar la continuidad y mejorar la calidad del suministro eléctrico en las redes de distribución, especialmente en la distribución primaria, las empresas de distribución y comercializadoras de energía eléctrica debe adoptar medidas que optimicen la protección y la estabilidad del sistema, he ahí un sistema optimizado en la distribución de energía en una RP implicara un costo con mayor valor en la investigación económica y técnica. Esto es crucial debido a la creciente demanda y exigencia de los usuarios sobre la empresa, los ingresos por la venta de energía serán de calidad para los usuarios.

Atentamente:

Bach. Jose Luis Huaman Mamani

Bach. Christian Rojas Huaman

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a nuestro asesor de tesis al Dr. Willy Morales Alarcón que con su paciencia, tiempo y aportes valiosos nos ayudó durante el desarrollo de este trabajo,

Agradezco también a mi formador y un gran amigo al Dr. Donato Mamani Pari, quien me formo, me educo y brindo su amistad para crecer profesionalmente, al Mgt. Washington Venancio Coello Tairo, quien nos orientó y fue parte de este proyecto de tesis. De igual manera un agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en cuyas aulas fuimos forjando como profesionales.

A todos, mi más profundo agradecimiento por contribuir a mi desarrollo académico y profesional.

Atentamente:

Bach. Jose Luis Huaman Mamani

Bach. Christian Rojas Huaman

DEDICATORIA

Las muchas razones que se emprendió este camino y es a mi madre Sonia Mamani y mi segunda madre Marlene Mamani, mi hermana Lynda, a mi compañera de vida Ana, mi futuro engreído Nikolas Bastian, mis amigos y a todas las personas que creyeron en mí. Gracias a su apoyo incondicional es el fruto de este proyecto de investigación que con mucho esfuerzo y sacrificio están plasmadas en cada una de las páginas de este proyecto de investigación.

Atentamente:

Bach. Jose Luis Huaman Mamani

Este proyecto de investigación es en agradecimiento a mi padre Hernan rojas y a mi madre, gracias a sus buenos consejos a mi madrina Elizabeth pareja y a mi padrino Tino y a mis hermanos David y Frank que son mi motivación a diario, mi tío Virgilio Pérez por creer en mí, en general a todo por ayudar a realizarme profesionalmente.

Atentamente:

Bach. Christian Rojas Huaman

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo optimizar la coordinación de protecciones del alimentador HU-04, perteneciente al sistema de distribución de Electro Sur Este S.A.A. (ELSE), asociado a la Subestación Huaro (33/22,9/10,5 kV), en el distrito de Huaro, Provincia de Quispicanchi, región Cusco. El estudio aborda la problemática de interrupciones frecuentes y desconexiones no selectivas que afectan la calidad del suministro eléctrico.

Capítulo I, presenta el diagnóstico del problema y la necesidad de establecer una correcta coordinación de protecciones, definiéndose los objetivos generales y específicos flujo de carga.

Capítulo II, desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan la investigación, abarcando los principios de funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia, dispositivos de protección que garantizan la estabilidad y seguridad operativa del sistema.

Capítulo III, Analiza los elementos de protección del alimentador HU-04 mediante simulaciones de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones, utilizando el software DIgSILENT PowerFactory (versión 2021 SP2). El estudio se desarrolló bajo los criterios de coordinación tiempo-corriente (TCC) y conforme a las normas NTCSE, IEC e IEEE.

Capítulo IV se presentan los nuevos ajustes de protección en el transformador y del alimentador de media tensión HU-04 basados a resultados de simulaciones de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones, con esta propuesta la concesionaria brindara una buena calidad de servicio.

Finalmente, el Capítulo V, concluye con los resultados y discusiones de la optimización de la coordinación de protecciones permitiendo incrementar la seguridad operativa.

Palabras clave: Coordinación de protección, Calidad de servicio, Confiabilidad del sistema, Fujo de carga.

ABSTRAC

The objective of this research work is to optimize the coordination of protections of the HU-04 feeder, belonging to the distribution system of Electro Sur Este

S.A.A. (ELSE), associated with the Huaro Substation (33/22.9/10.5 kV), in the district of Huaro, Province of Quispicanchi, Cusco region. The study addresses the problem of frequent interruptions and non-selective disconnections that affect the quality of the electricity supply.

Chapter I, presents the diagnosis of the problem and the need to establish a correct coordination of protections, defining the general and specific objectives aimed at the analysis of the load flow.

Chapter II, develops the theoretical foundations that support the research, covering the principles of operation of electrical power systems, protection devices that guarantee the stability and operational safety of the system.

Chapter III, Analyzes the protection elements of the HU-04 feeder through simulations of load flow, short circuit and coordination of protections, using the DIgSILENT PowerFactory software (version 2021 SP2). The study was developed under the criteria of time-current coordination (TCC) and in accordance with NTCSE, IEC and IEEE standards.

Chapter IV presents the new protection settings in the transformer and the HU-04 medium voltage feeder based on the results of load flow simulations, short circuit and coordination of protections, with this proposal the concessionaire will provide a good quality of service.

Finally, Chapter V concludes with the results and discussions of the optimization of the coordination of protections allowing to increase operational safety.

Keywords: Protection coordination, Quality of service, System reliability, Load flow.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	I
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRAC	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
TERMINOLOGÍA.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1. FORMULACIÓN DE LA TESIS	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Ámbito Geográfico	3
1.3 Planteamiento del Problema	7
1.4 Formulación del Problema.....	12
1.5 Antecedentes.....	13
1.6 Objetivos.....	14
1.7 Variables e Indicadores.....	14
1.8 Hipótesis	15
1.9 Justificación	15
1.10 Alcances y Limitaciones.....	17
1.11 Metodología de la Investigación.....	17
1.12. Matriz de Consistencia.....	20
1.13. Matriz de Operacionalización de Variables	21
CAPÍTULO II	22
2. MARCO TEÓRIO.....	22
2.1 Introducción.....	22
2.2 Antecedentes Locales y Nacionales.....	22
2.3 Antecedentes Internacionales	24
2.4 Bases Teóricas	25
2.5 Tipos de Sistemas de Distribución	32
2.6 Coordinación de Protección en Sistemas Eléctricos.....	35
2.7 Protecciones de Sobrecorriente.....	41
2.8 Coordinación de Relés en una Red Radial	44
2.9 Teoría de Fallas Eléctricas.....	48
2.10 Frecuencia de Ocurrencia de Tipos de Fallas	52
2.11 Demanda de Energía Eléctrica.....	53

2.12	Continuidad en el Servicio Eléctrico	55
2.13	Índices establecidos por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin).....	57
2.14	Tolerancias en la Calidad de Servicios Eléctricos	60
CAPITULO III.....		63
3.	DIAGNÓSTICO DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN HU-04	63
3.1	Introducción.....	63
3.2	Descripción del Sistema Eléctrico de Subtransmisión y Distribución	63
3.3	Descripción del Subsistema de Distribución Huaró en Estudio	65
3.4	Descripción del Sistema de Protección Actual	77
3.5	Características de las Subestaciones de 22.9 kV	86
3.6	Usuarios de Energía en el Subsistema Eléctrica Huaró HU-04.....	91
3.7	Carga Actual	91
3.8	Ajustes Actuales de Relés y Reconectores de la S.E.D Huaró	95
3.9	Protección de Sobrecorriente del Transformador de potencia de la S.E Huaró - Actual	97
3.10	Selectividad de las Protecciones de Sobrecorriente en Alimentadores de MT	98
3.11	Protección de Sobrecorriente del Alimentador de la S.E Huaró – Actual.....	99
3.12	Flujo de Carga en el Sub Sistema eléctrico actual HU – 04.....	104
3.13	valuación de cortocircuito de la red proyectada mediante simulación	107
CAPÍTULO IV		108
4.	PROPUESTA DE NUEVOS AJUSTES DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04	108
4.1	Introducción.....	108
4.2	Información Utilizada.....	108
4.3	Protección de Sobrecorriente y Esquema de Recierre.....	110
4.4	Criterios Técnicos para los Ajustes de Protección de Sobrecorriente del Transformador de Potencia de la S.E. Huaró 33/24/10.5 kV.....	111
4.5	Comprobación de la Selectividad Operativa de las Protecciones de Sobrecorriente en Alimentadores de Media Tensión	117
4.6	Protección de Sobrecorriente en el Alimentador HU-04 de 22.9 kV - Ajustes Propuestos	118
4.7	Protección Conductor Roto (I2/I1)	122
4.8	Protección de Falla a Tierra Sensible (SEF).....	123
4.9	Esquema de Rechazo Automático de Carga y Generación – Sistema Eléctricos Cusco	123
4.10	Propuesta de Reconfiguración del Sistema Eléctrico y Protecciones de la S.E. HU-04 con otro Alimentador Próximo Radia.....	127
CAPITULO V.....		130
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA PROPUESTA.....	130
5.1	INTRODUCCIÓN	130
5.2	Resultados y Discusión.....	130
5.3	Evaluación del Estado Actual del Alimentador HU-04.....	130
5.4	Análisis de Coordinación y Ajustes de Protecciones	131
5.5	Protección de Sobrecorriente y Funciones Asociadas	132

5.6 Funciones Especializadas de Protección	132
5.7 Simulación del Esquema de Rechazo Automático de Carga.....	133
5.8 Discusión de Resultados	133
CONCLUSIONES.....	136
RECOMENDACIONES.....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	140
ANEXO	148

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

<i>Figura 1.1 Emplazamiento territorial de la Provincia de Quispicanchi y sus distritos.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.2 Plano de emplazamiento de la subestación de transformación de Quencoro.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.3 Plano de emplazamiento de la subestación eléctrica de Huaru.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1.4 Diagrama unifilar Subestación Eléctrica Quencoro</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1.5 Patio de llaves de la Subestación Eléctrica Huaru.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1.6 Porcentaje de fallas del alimentador de media tensión HU-04.....</i>	<i>10</i>

CAPITULO II

<i>Figura 2.1 Etapas de un sistema eléctrico de potencia</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.2 Transformador de potencia de la subestación de Planta Solar Rubí (Moquegua).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2.3 Líneas de transmisión en operación en Machupicchu</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2.4 Subestación de Seccionamiento</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2.5 Estructura básica de un sistema eléctrico.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2.6 Sistema radial</i>	<i>32</i>
<i>Figura 2.7 Diagrama simplificado de equipamiento de protección en SE. Radial</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2.8 Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial subterráneo.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.9 Sistema anillo.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 2.10 Diagrama de un sistema eléctrico mallada</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2.11 Interruptor de potencia.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.12 Disyuntor de Media Tensión.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.13 Seccionador bajo carga SF6.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.14 Equipo de maniebra CUT OUT.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 2.15 Curva característica de fusible de MT</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.16 Clasificación de los fusibles</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2.17 Tipos de Reles</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2.18 Relé de sobrecorriente definida</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.19 Relé de sobrecorriente definida y tiempo definido</i>	<i>43</i>
<i>Figura 2.20 Relé de tiempo inverso.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.21 Coordinación de relés de sobre corriente en un sistema radial.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 2.22 Recloser</i>	<i>46</i>

<i>Figura 2.23 Tipos de fallas en sistemas de potencia por cortocircuito.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 2.24 Falla monofásica</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.25 Fallas bifásicas</i>	<i>50</i>
<i>Figura 2.26 Falla Bifásica a Tierra</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.27 Falla Trifásica.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 2.28 Fasores de Componentes.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 2.29 Valores límites de calidad de Suministro</i>	<i>60</i>

CAPITULO III

<i>Figura 3.1 Diagrama unifilar del centro de control de Electro Sur Este.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.2 Tramo del sistema Cusco – Valle Sagrado 2.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.3 Transformador de potencia Trifásico</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.4 Subestación Eléctrica de Huaro</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.5 Plano de la planta de distribución de la subestación Huaro</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.6 Estructura de la línea L-3302 de la empresa ELSE.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.7 Estructura de la subestación de Huaro.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.8 Dispositivos de protección de la subestación de Huaro.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.9 Aisladores de vidrio tipo suspensión 52-3.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3.10 Transformadores de Corriente</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3.11 Seccionador aislamiento con cuchillas deslizantes.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.12 Interruptores de Potencia de la subestación de Huaro.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 3.13 Diagrama del reconectador automático "IN-201"</i>	<i>77</i>
<i>Figura 3.14 Reconectador automático RC-21.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3.15 Transformador de Corriente de 22.9 kV AMT HU-04.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 3.16 Seccionador de barrada de 22.9 kV AMT HU-04.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3.17 Esquema unifilar de la derivación del NMT -1080.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.18 Interruptor Aéreo de Corte en Media Tensión IACM-NMT005110</i>	<i>82</i>
<i>Figura 3.19 Esquema unifilar de un reconectador automático "RC-2036"</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3.20 Esquema Unificar del reconectador automático RC – 2077.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 3.21 Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04</i>	<i>97</i>
<i>Figura 3.22 Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04</i>	<i>98</i>
<i>Figura 3.23 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.....</i>	<i>99</i>

<i>Figura 3.24 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 3.25 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 3.26 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 3.27 Modelamiento de la red eléctrica HU-04 en DigSILENT.....</i>	<i>104</i>

CAPITULO IV

<i>Figura 4.1 Diagrama unifilar de la subestación de Huaro.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4.2 Sistema de Protección Propuesto</i>	<i>111</i>
<i>Figura 4.3 Diagrama unifilar simplificado de equipos de protección.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4.4 Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04</i>	<i>115</i>
<i>Figura 4.5 Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4.6 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.7 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.8 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.9 Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.10 Ajustes lógicos de forma libre de protección: PROTSSEL1-PROTSEL250</i>	<i>125</i>
<i>Figura 4.11 Ajustes de Relé de Salida HU-04</i>	<i>126</i>

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

<i>Tabla 1.1 Condiciones geográficas y climatológicas en la Provincia de Quispicanchi</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 1.2 Número total de distritos en la Provincia de Quispicanchi</i>	<i>3</i>
<i>Tabla 1.3 Estadística de SAIDI y SAIFI en los tres últimos años</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 1.4 Eventos de interrupciones en el AMT HU-04 en el periodo 2022 al 2024</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 1.5 Variables e Indicadores.....</i>	<i>14</i>

CAPITULO II

<i>Tabla 2.1 Cuadro comparativo de las plantas generadoras en el Perú.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2.2 Frecuencia de ocurrencias por tipo de fallas.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 2.3 Numero de Interrupciones por Cliente (N”)</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2.4 Duración Total Ponderada de Interrupciones por Cliente</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2.5 Código causa de interrupciones según OSINERGMIN.....</i>	<i>59</i>

CAPITULO III

<i>Tabla 3.1 Características técnicas de las subestaciones.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 3.2 Alimentador de media tensión de la subestación eléctrica de Huaró</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3.3 Características del relé de Protección.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 3.4 Características del fabricante y Características de las protecciones</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3.5 Características del fabricante y Características de las protecciones.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3.6 Características del fabricante y Características de las protecciones</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.7 Subestaciones del Alimentador HU-04.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.8 Número de clientes residenciales, rurales y clientes mayores del alimentador de HU-04</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3.9 Cargas en el Radial HU-04.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3.10 Relés y Reconectores de Sobrecorriente de Fases.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 3.11 Relés y Reconectores de Sobrecorriente de Tierra (Neutro).....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 3.12 Arranque de Sobrecorriente existente.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 3.13 Resultados de flujo de carga Proyectado. Máxima y Mínima Demanda</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 3.14 Parámetros de Simulación del Alimentador HU-04.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 3.15 Resumen del Alimentado HU-04</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 3.16 Resultados de corto circuito en Máxima y Mínima Demanda</i>	<i>107</i>

CAPITULO IV

<i>Tabla 4.1 Ajustes Propuestos De Protección De Sobrecorriente 5I/50 de Fases</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 4.2 Ajustes Propuestos De Protección De Sobrecorriente 5IN/50N de Tierra</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 4.3 Características de la Subestación de Huaro</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 4.4 Resultados de las Simulaciones realizadas y los ajustes propuestos.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 4.5 Ajustes Propuestos para una etapa 50N</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 4.6 Porcentaje de Rechazo de carga de S.E. Quencoro – Huaro.....</i>	<i>125</i>

CAPITULO V

<i>Tabla 5.1 Cuadro de discusiones de resultados.</i>	<i>135</i>
--	------------

TERMINOLOGÍA

AMT	: Alimentador de Media Tensión
COES	: Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
EDAGSF	: Esquema de Desconexión Automática de Generación por Sobrefrecuencia
ELSE	: Electro Sur Este S.A.A.
ERACMF	: Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia
FEC	: Frecuencia Equivalente de Cortes
IEC	: International Electrotechnical Comission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
I2/I1	: Relación de Corriente de Secuencia Negativa a Positiva (Función de Conductor Roto)
kV	: Kilovoltio
kVA	: Kilovoltamperio
kW	: Kilovatio
kWh	: Kilovatio-hora
MT	: MediaTensión
NEMA	: National Electrical Manufacturers Association
NTCSE	: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
Osinerghin	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
PMU	: Phasor Measurement Unid (Unidad de Medición Fasorial)
PU	: Por Unidad (Sistema de Per-Unid para análisis eléctrico)
RC	: Recloser o Reconectador
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)
SEIN	: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SEL	: Schweitzer Engineering Laboratories (Fabricante de Relés de Protección)
TCC	: Time-Current Characteristic (Curva Tiempo-Corriente)
TC	: Transformador de Corriente
TT	: Transformador de Tensión
V	: Voltio

CAPÍTULO I

1. FORMULACIÓN DE LA TESIS

1.1 Introducción

Los Sistemas Eléctricos de Potencia están diseñados para satisfacer de manera confiable la demanda energética presente y futura, garantizando continuidad y calidad del suministro. Su operación depende del funcionamiento óptimo del equipamiento y de la coordinación efectiva de protección, como en el caso del alimentador en media tensión (AMT), HU-04, con el fin de minimizar interrupciones y limitar su impacto únicamente a las zonas afectadas. En este contexto, los sistemas de protección y su correcta coordinación son esenciales, ya que intervienen automáticamente cuando los parámetros eléctricos exceden los límites preestablecidos, asegurando confiabilidad y la seguridad de los consumidores. *(Gonzalez, 2008)*

En la Provincia de Quispicanchi, región del Cusco, las líneas aéreas de media tensión operan bajo condiciones ambientales, frecuentemente, esto provoca la desconexión de áreas más extensas de lo necesario, debido a una coordinación inadecuada entre reconectores, seccionadores, fusibles entre otros dispositivos de protección, estas fallas no solo incrementa el número de usuarios afectados, sino también impacta en la negativa en los indicadores de calidad de servicio eléctrico, SAIDI y SAIFI, que a menudo superan los límites establecidos por el ente regulador OSINERGMIN *(Reporte emitido por la empresa concesionaria ELSE)*. Es crucial mantener todos los equipos en óptimas condiciones operativas y minimizar las interrupciones, restringiéndolas únicamente a las zonas afectadas. A este respecto, los sistemas de protección y su adecuada coordinación resultan fundamentales, ya que actúan cuando los parámetros del sistema exceden los límites establecidos. Las interrupciones en la distribución eléctrica tienen implicancias técnicas y económicas relevantes, motivo por el cual las entidades supervisoras han fortalecido los

controles de calidad del servicio. Por lo tanto, es importante la solución adecuada frente fallas del AMT y mejorar la coordinación de protección en esta Provincia, no solo evita sanciones y compensaciones económicas, sino que también mejora la eficiencia y reputación de la empresa distribuidora.

Frente a este panorama, la presente investigación tiene como propósito principal optimizar la coordinación de protecciones del alimentador en media tensión (AMT), HU-04 a 22.9 kV en la Provincia de Quispicanchi. La metodología se fundamenta en un enfoque cuantitativo, ya que abarca el análisis de curvas tiempo-corriente, la evaluación del desempeño de las protecciones existentes, el análisis de sus condiciones operativas del subsistema y las simulaciones en escenarios de falla mediante herramientas especializadas como DIgSILENT PowerFactory. Los resultados obtenidos no solo permitirán mejorar la eficiencia y selección de elementos de protecciones del (AMT), HU-04, sino que también ofrecerán implicancias prácticas relevantes a la empresa Electro Sur Este S.A.A., así como para otras compañías que enfrentan desafíos similares.

La modelación precisa del análisis permitirá optimizar la operación del alimentador en media tensión HU-04, lo que coadyuvando a la disminución de los costos asociados a interrupciones en el suministro eléctrico. Para ello, el trabajo se estructura en V capítulos las cuales abordan los fundamentos teóricos, el marco normativo y los criterios prácticos, incluyendo la evaluación y diagnóstico del estado actual del alimentador en media tensión (AMT), HU-04. Además, se realiza un estudio de las fallas predominantes y la determinación óptima de los esquemas de protección, fundamentada en un estudio detallado de la coordinación de protección del AMT. El presente estudio, aborda específicamente en la subestación de distribución Huaro HU-04, ubicada en el distrito de Huaro, Provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco.

1.2 Ámbito Geográfico

El estudio de esta investigación se encuentra enmarcada en la Provincia de Quispicanchi, Departamento del Cusco, zona suroriental del Perú, cuenta con una alimentación principal y su respectiva conexión al SEIN, ubicada en la subestación Quencoro, (*Figura 1.2*), perteneciendo al ámbito de concesión eléctrica de ELSE., distribuyendo energía eléctrica al centro de transformación del distrito de Huaro que se encuentra a (3162 m.s.n.m.). La Provincia de Quispicanchi comprende diversas condiciones geográficas y climáticas (*Tabla 1.1*) que influyen directamente en el comportamiento del sistema eléctrico entre los distritos. (*Tabla 1.2*).

Tabla 1.1 Condiciones geográficas y climatológicas en la provincia de Quispicanchi.

ALTITUDES	FACTOR CLIMATOLOGICO	DIFICIL ACCESO
Altitudes variables, que van desde zonas interandinas superiores a los 3,000 m.s.n.m. como son los distritos de Ccatcca, Ocongate y Marcapata hasta sectores de selva alta como es el distrito de Camanti.	Factores climáticos críticos, como alta humedad, presencia de neblina, lluvias torrenciales y descargas atmosféricas que afectan negativamente, generando interrupciones no programadas y disparos intempestivos de protecciones mal coordinadas en cuanto a las fallas de aislamiento.	Zonas de difícil acceso, que complican las labores de mantenimiento y reposición ante los distintos tipos de fallas que ocurre en redes primarias aéreas de MT.

Fuente: Sitio web de la Provincia de Quispicanchi

Tabla 1.2 Número total de distritos en la Provincia de Quispicanchi.

PROVINCIA	DISTRITOS
1	URCOS
2	ANDAHUAYLILLAS
3	CAMANTI
4	CCARHUAYO
5	CCATCA
6	CUSIPATA
7	HUARO
8	LUCRE
9	MARCAPATA
10	OCONGATE
11	OROPESA
12	QUIQUIJANA

Fuente: Sitio web de la Provincia de Quispicanchi

Figura 1.1 Emplazamiento territorial de la Provincia de Quispicanchi y sus distritos.



Fuente: Gobierno Regional de Cusco 2025.

Figura 1.2 Plano de emplazamiento de la subestación de transformación de Quencoro.



Fuente: Visor GIS de Redes Eléctricas Electro Sur Este.

Figura 1.3 Plano de emplazamiento de la subestación eléctrica de Huaro.



Figura 1.5 Patio de llaves de la Subestación Eléctrica Huaro.



Fuente: centro de control Electro Sur Este.

1.3 Planteamiento del Problema

En Perú, la coordinación de protección en distribución eléctrica está en proceso de modernización y regulación para mejorar la confiabilidad del suministro, especialmente en zonas rurales, en zonas como las mencionadas son los principales epicentros de causas de fallas, por lo que se requiere una coordinación de protección confiable para minimizar su impacto. Actualmente, las principales empresas eléctricas están implementando relés digitales y sistemas SCADA en subestaciones clave *“la empresa LUZ DEL SUR según los reportes técnicos, hay una arquitectura basada en IEC 61850 con relés inteligentes (“Intelligent Electronic Devices” IED) para protección y control”*

En Cusco, el sistema eléctrico es operado por la empresa Electro Sur Este S.A.A., su infraestructura incluye líneas de transmisión de 138 kV y 60 kV, así como líneas de distribución de 22.9 kV y 10.5 kV, con subestaciones urbanas y rurales caracterizadas por cargas dispersas y desbalanceadas. En las zonas rurales se presentan los mayores desafíos técnicos y en la Provincia de Quispicanchi los sistemas de protección están limitados por tener equipos no sofisticados como son los de relés electromecánicos, las cuales traen fallas como selectividad en la protección, escasa implementación de protecciones entre transformadores, reconectadores y fusibles. La dispersión de las localidades y el difícil acceso nos limita a dar soluciones, es por ello que la coordinación entre reconectadores y el centro de control limita el análisis post falla y la secuenciación efectiva de protecciones. En respuesta a lo expuesto, los AMT en la Provincia de Quispicanchi presenta una coordinación deficiente de los dispositivos de protección la cual provoca distintos tipos de fallas causadas por, permutaciones climatológicas, deterioro de aislamiento, falsos contactos, postes chocados, derrumbes, crecimiento de la demanda, operaciones erróneas, acciones de terceros, etc., incluyen fallas de aislamiento, cortocircuitos, fallas en cables y descoordinación de

protecciones. Estas condiciones aumentan la frecuencia y duración de interrupciones, “SAIDI y SAIFI”.

Tabla 1.3. Estadística de SAIDI y SAIFI en los tres últimos años.

Sistema Eléctrico	Clientes	Suma de Nro Usuarios Afectados	Suma de Duración Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	CUMPLIMIENTO MENSUAL SAIFI	CUMPLIMIENTO MENSUAL SAIDI		SAIFI MT	SAIDI MT
AÑO 2022										
Valle Sagrado 2	26923	31272	43498.12	1.162	1.616	1.217	2.421		3.052	3.38
Valle Sagrado 2	26923	9415	35507.51	0.35	1.319	0.892	2.448		0.381	0.35
Valle Sagrado 2	26923	16140	41627.78	0.599	1.546	0.591	0.380		0.048	0.130
Valle Sagrado 2	26923	4571	18855.77	0.170	0.700	0.728	1.545		0.000	0.000
Valle Sagrado 2	26923	954	1555.37	0.035	0.058	0.450	1.678		0.069	0.040
Valle Sagrado 2	26923	24200	90844.25	0.899	3.374	-0.277	-2.279		1.548	7.329
Valle Sagrado 2	27484	8567	10055.59	0.312	0.366	0.538	1.179		0.492	0.648
Valle Sagrado 2	27484	19513	21900.26	0.710	0.797	0.054	0.676		1.364	1.696
Valle Sagrado 2	27484	19032	45103.83	0.692	1.641	0.716	0.886		1.286	3.145
Valle Sagrado 2	27484	23103	32670.21	0.841	1.189	-0.158	0.136		1.593	0.929
Valle Sagrado 2	27484	17543	51080.33	0.638	1.859	0.134	-0.395		0.323	1.105
Valle Sagrado 2	27484	41354	135977.10	1.505	4.948	-0.470	-2.589		2.277	5.733
AÑO 2023										
Valle Sagrado 2	28578	19786	94415.49737	0.692	3.304	0.119	-0.611		0.527	1.028
Valle Sagrado 2	28578	36418	66330.13981	1.274	2.321	-0.470	0.371		2.089	4.473
Valle Sagrado 2	28578	23884	120904.3082	0.836	4.231	-0.065	-1.538		1.073	4.561
Valle Sagrado 2	28578	4169	10750.35783	0.146	0.376	0.436	2.316		0.008	0.016
Valle Sagrado 2	28578	15276	62292.43443	0.535	2.180	-0.220	0.513		1.077	3.785
Valle Sagrado 2	28578	5940	30437.98424	0.208	1.065	0.343	-0.335		0.000	0.000
Valle Sagrado 2	28889	15761.00	59709.71	0.546	2.067	0.005	-1.036		0.988	5.407
Valle Sagrado 2	28889	8192	21935.29	0.284	0.759	0.211	0.223		0.238	0.741
Valle Sagrado 2	28889	21282	51768.07	0.737	1.792	0.175	-0.107		0.270	0.466
Valle Sagrado 2	28889	25041	72890.84	0.867	2.523	0.045	-0.838		0.799	2.312
Valle Sagrado 2	28889	28473	150207.19	0.986	5.199	-0.074	-3.514		1.455	4.024
Valle Sagrado 2	28889	33279	68863.82	1.152	2.384	-0.240	-0.698		4.396	0.749
AÑO 2024										
Valle Sagrado 2	29221	22590	64932.41258	0.773	2.222	0.038	0.470		1.242	2.804
Valle Sagrado 2	29221	23331	67007.30171	0.798	2.293	0.013	0.399		0.775	1.727
Valle Sagrado 2	29221	28195	101154.1457	0.965	3.462	-0.154	-0.769		1.941	7.141
Valle Sagrado 2	29221	21855	34364.71363	0.748	1.176	0.063	1.516		1.492	0.820
Valle Sagrado 2	29221	26196	42860.91334	0.896	1.467	-0.086	1.226		1.283	1.016
Valle Sagrado 2	29221	5362	8235.6381	0.183	0.282	0.627	2.411		0.195	0.318
Valle Sagrado 2	29811	19058	58365.2508	0.639	1.958	0.172	0.735		0.229	0.602
Valle Sagrado 2	29811	23413	24910.5660	0.785	0.836	0.026	1.857		1.960	1.033
Valle Sagrado 2	29811	38291	37358.0399	1.284	1.253	-0.473	1.439		0.467	0.333
Valle Sagrado 2	29811	26797	98962.9274	0.899	3.320	-0.088	-0.627		0.746	2.114
Valle Sagrado 2	29811	32632	91747.1317	1.095	3.078	-0.284	-0.385		0.447	1.465
Valle Sagrado 2	29811	36898	150101.1147	1.238	5.035	-0.427	-2.343		1.302	3.182

Fuente: Reporte de la Base de datos del Centro de Control de ELSE

Con ausencia en los estudios técnicos actualizados limita la respuesta ante fallas, evidenciando la necesidad de optimizar la coordinación de protección mediante análisis, simulaciones y ajustes basados en normativas internacionales, a fin de optimizar la selectividad y minimizar el tiempo de actuación ante fallas en este alimentador HU-04.

En la Provincia de Quispicanchi, se observó una cantidad significativa de eventos de interrupciones del servicio eléctrico, frente a esta situación estas fallas, al no estar adecuadamente gestionadas por el sistema de protección, generan desconexiones prolongadas, afectan a un número considerable de usuarios y ponen en riesgo la vida en centros de salud, la estabilidad operativa en centros de abastos entre otros, en respuesta a los diferentes problemas que presenta en diferentes escenarios en el AMT, (HU-04) de la Provincia de Quispicanchi, nace nuestra problemática en la presente investigación la cual se centra en la optimización de coordinación de protección del AMT, HU-04 en 22.9 kV de la Provincia de Quispicanchi.

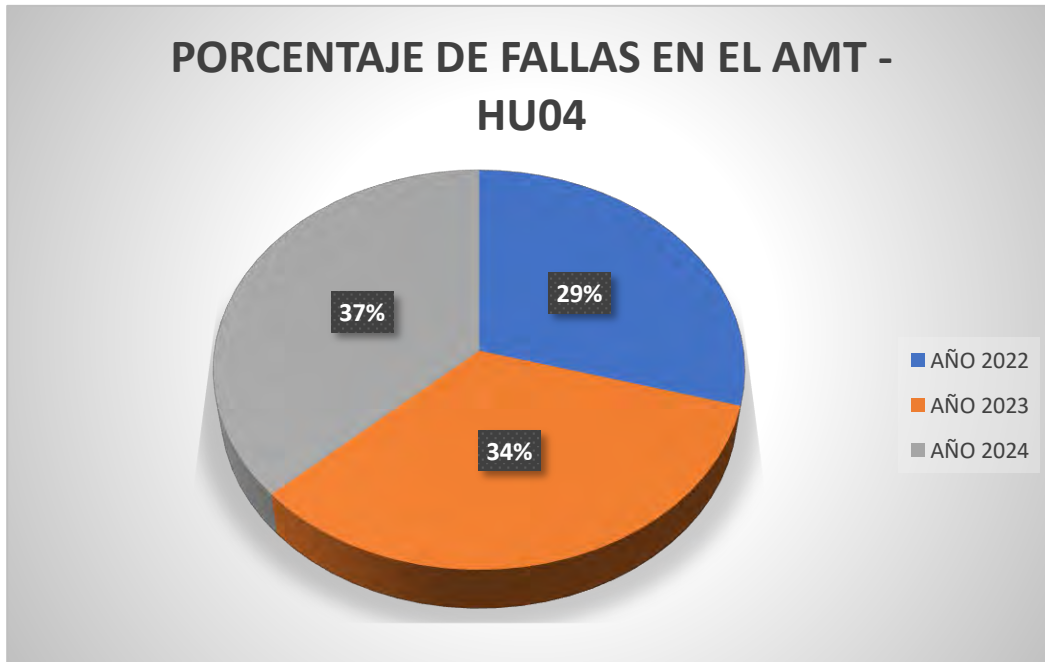
Tabla 1.4. Eventos de interrupciones en el AMT HU-04 en el periodo 2022 al 2024

FALLAS EN EL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN	2022	2023	2024	Total, general
HU04	94	108	118	320

Fuente: Centro de control de ELSE.

Del Anexo 01 se muestra el reporte de fallas del año 2022 al 2024 detallando las fallas en cada mes y con las causas de fallas detectadas por el centro de control de la empresa Electro Sur Este S.A.A., la siguiente figura muestra el porcentaje de fallas en los tres 03 últimos años en el AMT, HU-04 en la Provincia de Quispicanchi.

Figura 1.6. Porcentaje de fallas del alimentador de media tensión HU-04



Fuente: Centro de control de ELSE.

La SED “Sistema eléctrico de Distribución” en media tensión Huaro, se observa en el (Anexo 3), cumple un papel fundamental al distribuir la energía eléctrica a diversos usuarios de la provincia. En cierto modo, aumentó la demanda e incorporación de nuevas cargas especiales, no obstante, se realizó ampliaciones de redes primarias incrementado la complejidad operativa y los riesgos asociados a fallas eléctricas en el sistema actualmente, se evidencia que los dispositivos de protección instalados en el alimentador HU-04 (relés, reconectores, fusibles, entre otros), como se observa en la (Anexo 4).

Pueden no estar adecuadamente coordinados para aislar de manera selectiva y eficiente los defectos operativos registrados en la red. Esta falta de coordinación puede originar la desconexión innecesaria de amplios sectores del sistema, afectando la continuidad del suministro, generando pérdidas económicas e incidiendo desfavorablemente en la calidad del servicio eléctrico destinado a los usuarios finales. De igual manera, la regulación vigente y las demandas de las entidades

reguladoras cuyo objetivo es reducir las cantidades y tiempo de las interrupciones, así contar con una mayor confiabilidad y selectividad en la operación de las protecciones. (S.A.A. & *ELECTRO*, 2023)

La problemática se agrava frente a la carencia de una evaluación técnica actualizada de la coordinación de protecciones del alimentador HU-04, considerando las condiciones actuales de carga, topología y equipamiento. Sin una evaluación técnica rigurosa, subsiste el riesgo de una actuación inadecuada en el orden y tiempo de los dispositivos de protección, exponiendo a la infraestructura eléctrica a daños y a los usuarios a interrupciones innecesarias.

Por lo tanto, se determinó por conveniencia la optimización de coordinación de protecciones del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 Kv - Quispicanchi - Cusco para el año 2025, con el propósito de subsanar las deficiencias presentes en los ajustes y en la secuencia de actuación de los dispositivos de protección del sistema de distribución de Electro Sur Este S.A.A. Para ello, se analizan y reajustan las funciones 50/51 y 50N/51N, que garanticen selectividad de los seccionadores y fusibles.

El proceso se desarrolla mediante DIGSILENT PowerFactory 2021, permitiendo modelar el alimentador, calcular el flujo de potencia y evaluar cortocircuitos para y optimizar ajustes frente a distintos escenarios operativos y de crecimiento de demanda, logrando mayor seguridad, reducción de disparos no selectivos, mejor continuidad del servicio y capacidad de integrar nuevas cargas.

1.4 Formulación del Problema

El alimentador de media tensión HU-04, operado a 22.9 kV, presenta reiteradas salidas de servicio que afectan directamente la continuidad del suministro eléctrico en los distritos de Ccateca y Ocongate, en la provincia de Quispicanchi. Estas interrupciones, que inicialmente se manifestaban de manera esporádica, se han vuelto frecuentes a lo largo de los últimos años, alcanzando 118 fallas registradas al 2024, tal como se muestra en el *Anexo 01*. Esta situación impacta negativamente en las actividades cotidianas de los usuarios, afectando su bienestar, productividad y seguridad.

Electro Sur Este S.A.A., entidad a cargo de la operación del sistema eléctrico provincial, enfrenta diversas dificultades asociadas al desempeño de su esquema de coordinación y selectividad de protecciones. La presencia de fallas tanto transitorias como permanentes, sumadas a la actuación inadecuada de algunos dispositivos de protección, evidencia posibles deficiencias en la configuración, ajuste o coordinación de estos equipos. En ingeniería eléctrica resulta fundamental garantizar que cualquier evento de falla sea despejado de manera rápida, selectiva y segura, evitando su propagación y minimizando los riesgos para las personas, animales, infraestructura y equipos del sistema. Debido a la cantidad de usuarios conectados y al carácter esencial del suministro eléctrico, se volvió imprescindible preservar un servicio estable y confiable, limitando la ocurrencia de interrupciones. La ocurrencia reiterada de fallas en el alimentador HU-04 genera pérdidas económicas para la empresa concesionaria y compromete la calidad del suministro y expone al personal operativo a riesgos adicionales durante las maniobras de reposición. Esta problemática planteada hizo necesario el desarrollo de propuestas técnicas que permitieran mejorar la coordinación, selectividad y funcionamiento de los equipos de protección, a fin de fortalecer la calidad y confiabilidad del servicio eléctrico en el área de estudio.

1.4.1 Problemas General

¿De qué manera se optimizará la coordinación de protección del alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?

1.4.2 Problemas Específicos

1. ¿Se evaluará el estado actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?
2. ¿De qué manera la simulación en diferentes escenarios las fallas del alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, influirán en el comportamiento de dispositivos de protección?
3. ¿De qué manera el dimensionamiento de los componentes del sistema de protección influye en la correcta fiabilidad, seguridad y selectividad en el AMT HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?

1.5 Antecedentes

El sistema eléctrico evaluado no cuenta con una coordinación de protecciones adecuada, debido a que el reconector del AMT HU-04 fueron definidos empíricamente, sin sustento técnico que asegure selectividad y confiabilidad.

Esta condición evidencia la necesidad de un análisis integral mediante simulación y modelamiento especializado para optimizar la respuesta del sistema ante fallas. Sin embargo, se tienen estudios similares como:

“Estudio de la Coordinación de Protección en los Radiales PA-01 y PA-02 del Subsistema Eléctrico de Paucartambo” Tesis presentados por los Br. (Zuñiga & Delgado, 2016).

“Análisis de Coordinación de Protección del Subsistema de Distribución Primaria Huaro, HU-04 con Cargas Importantes” Tesis presentado por los Br. (Espirilla & Haquehua, 2008).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Optimizar la coordinación de protección del alimentador HU-04 en media tensión en 22.9 kV en la Provincia de Quispicanchi – Cusco 2025.

1.6.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el estado actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025.
2. Simular los diferentes escenarios de fallas del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, para obtener respuesta del comportamiento de los dispositivos de protección.
3. Dimensionar los componentes del sistema de protección para una correcta fiabilidad, seguridad y selectividad en el AMT HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025.

1.7 Variables e Indicadores

Tabla 1.5. Variables e Indicadores.

	VARIABLES	INDICADORES
INDEPENDIENTE (CAUSA)	Optimización de coordinación de protección.	Tasa de salidas del servicio eléctrico.
DEPENDIENTE (EFECTO)	Alimentador en media tensión HU-04 en 22.9kV.	Tasa de duración de interrupciones del servicio eléctrico.

Fuente: Elaboración Propia

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis General

Si se optimiza la coordinación de protección del alimentador en media tensión, reducirá los tiempos de despeje de fallas y se garantizará mejoras significativas en la continuidad de suministro eléctrico.

1.8.2 Hipótesis Específicas

1. Con la evaluación actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, se determinará las deficiencias en su coordinación de protección y ayudará a dar mejores soluciones antes las fallas presentadas en el alimentador.
2. Simulando en diferentes escenarios nos permitirá a obtener respuesta del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025. La cual permite identificar las fallas y los puntos críticos donde los dispositivos de protección no actúan adecuadamente de forma selectiva ni oportuna.
3. Si se dimensionan los componentes del sistema de protección, brindaran una mejora coordinación de protección en el AMT HU-04 en 22.9 kV, es decir serán más fiables, sensibles y con consecuencia de una mejor calidad de suministro en la Provincia de Quispicanchis – Cusco 2025.

1.9 Justificación

La investigación planteó la optimización de la coordinación de protecciones del alimentador HU-04 con el fin de disminuir interrupciones y elevar la confiabilidad del suministro eléctrico. La actuación deficiente de los sistemas de protección y la ausencia de evaluaciones periódicas afectaron la calidad del servicio, incrementaron los costos operativos y perjudicaron la imagen de Electro Sur Este S.A.A. en la provincia de Quispicanchi.

- **Practica.** - El estudio optimiza la coordinación de protecciones del alimentador AMT HU-04 mediante simulaciones técnicas, orientado a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico, reducir la frecuencia de interrupciones y proteger la infraestructura crítica, asegurando la eficiencia y continuidad del servicio. *(ATANACIO, 2009)*
- **Académico.** - El estudio fortalece la formación técnica en sistemas eléctricos de potencia, especialmente en protección de redes de media tensión, y aporta una base metodológica para futuras investigaciones, promoviendo el análisis, simulación y optimización de sistemas de protección eléctrica. *(ATANACIO, 2009)*
- **Social.** - Las interrupciones eléctricas impactan el bienestar social, la productividad y la economía, mientras que la ausencia de un sistema de protección adecuado puso en riesgo la seguridad del personal y usuario, pudiendo causar accidentes, fallas en servicios esenciales y mayor riesgo de inseguridad pública. *(ATANACIO, 2009)*
- **Económica.** - El estudio es esencial para cumplir con la normativa vigente (NTCSE 7.1 TRATO DEL CLIENTE) y Ley de Concesiones Eléctricas) y evitar sanciones, además de reducir pérdidas económicas por energía no suministrada, mantenimiento y reemplazo de equipos. También busca minimizar los impactos financieros en usuarios industriales, comerciales y de servicios críticos que dependen de una provisión de energía eléctrica continua y segura. *(ATANACIO, 2009)*
- **Técnica.** - Las empresas distribuidoras deben garantizar un suministro eléctrico confiable mediante sistemas de protección coordinados y modernizados. En la región, Electro Sur Este S.A.A. es responsable de cumplir los estándares de confiabilidad establecidos por la NTCSE Decreto Ley N° 25844, que regula indicadores como SAIFI y SAIDI, cuyo incumplimiento implica sanciones del Osinergmin. *(ATANACIO, 2009)*

1.10 Alcances y Limitaciones

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo principal mejorar la coordinación de protecciones del alimentador HU-04 en media tensión. (22,9 kV), se orientada a minimizar la ocurrencia de fallas, reducir interrupciones del suministro eléctrico y evitar daños en equipos y dispositivos de protección. Para ello, se desarrolla la modelación eléctrica del subsistema radial HU-04 en DIgSILENT PowerFactory 2021, empleando parámetros reales de la red, lo que garantiza la representatividad, precisión operativa y validez técnica del análisis de fallas y de los ajustes propuestos.

En cuanto a las limitaciones del estudio, el trabajo se restringe al análisis y mejora de la coordinación de protección, enfocándose únicamente en fallas derivadas de contactos entre fases y fase-tierra, sin considerar otros fenómenos del sistema eléctrico. Asimismo, se identifican restricciones asociadas a las bases de datos del centro de control de ELSE, lo que puede introducir incertidumbres en los valores eléctricos empleados para el modelamiento. A ello se suma la limitada accesibilidad a determinadas zonas del alimentador y la ausencia de integración entre los sistemas comerciales y las herramientas de cálculo eléctrico, lo cual restringe la correcta evaluación de la demanda efectiva y el comportamiento de carga de la red.

1.11 Metodología de la Investigación

1.11.1 Método de la Investigación

La investigación se desarrolla con un enfoque cuantitativo, aplicada y con un diseño no experimental y transversal. El procedimiento metodológico abarca la compilación de información técnica relevante del alimentador HU-04, el análisis de sus indicadores e infraestructura, la modelación y simulación del sistema en DIgSILENT PowerFactory, la formulación de propuestas de mejora de la confiabilidad y, finalmente, la validación de la hipótesis mediante el contraste.

1.11.2 Tipo de Estudio

La investigación es de tipo experimental, ya que permite comprobar hipótesis mediante la manipulación controlada de variables en un modelo simulado del alimentador HU-04 usando DIgSILENT PowerFactory. Este entorno posibilita reproducir escenarios operativos y evaluar su comportamiento de forma sistemática. Asimismo, es una investigación aplicada, pues busca resolver un problema real relacionado asociada a la confiabilidad funcional del alimentador del sistema eléctrico de Quispicanchi. Se sustenta en t sustentado en marcos teóricos de los sistemas eléctricos de potencia, produciendo resultados operativos y prácticos orientados a mejorar su desempeño, la presente investigación se ejecutará en función de los siguientes criterios:

- a) **Propósito o finalidad del estudio:** La investigación presenta un enfoque aplicado, orientado a realizar un estudio de coordinación de protecciones sustentado en fundamentos técnicos existentes, sin desarrollar nuevos conceptos teóricos.
- b) **Enfoque del estudio:** Se adopta un enfoque cuantitativo, empleando herramientas estadísticas y métodos numéricos con el fin de verificar o refutar las hipótesis formuladas.
- c) **Nivel o alcance del estudio:** Enfoque descriptivo y explicativo, orientado a caracterizar los sistemas de protección del alimentador HU-04 en 22,9 kV y analiza la respuesta del sistema ante interrupciones, con el fin de interpretar su desempeño operativo según fundamentos técnicos existentes.
- d) **Diseño del estudio:** Es experimental, debido a que se utilizan simulaciones en DIgSILENT PowerFactory para modelar, analizar y validar los escenarios propuestos.
- e) **Técnicas y Herramientas de Recolección de Datos.** - La información para desarrollar la investigación se recopilará aplicando diversas herramientas y técnicas de recolección de datos, incluyendo métodos, análisis visual y revisión de registros:

- I. Análisis documental del alimentador HU-04 basado en los sistemas de registro de infraestructura y en los parámetros eléctricos de la red.
- II. Evaluación visual del alimentador HU-04 usando fotografías de inspecciones de mantenimiento para comprobar y validar la información registrada en las bases de datos.
- III. Obtención y evaluación de los indicadores de continuidad del servicio, como SAIFI y SAIDI, del alimentador HU-04, suministrados por ELSE.
- IV. Verificación de los reportes oficiales de interrupciones entregados por la empresa ELSE al organismo regulador OSINERGMIN.
- V. Entrevistas técnicas a ingenieros supervisores y especialistas de las áreas operativas de la empresa, con experiencia directa en el tema objeto de estudio.
- VI. Búsqueda de fuentes especializadas como, repositorios digitales, artículos científicos, revistas técnicas y libros relacionados con la temática de investigación.

1.11.3 Análisis de Datos

- Los datos previamente procesados servirán para obtener indicadores técnicos cuantificados.
- Llevar a cabo un análisis económico acorde a la nueva propuesta.
- Se elaborará y presentará un estudio técnico que cuantifique las ventajas y desventajas de la alternativa de solución para ELSE.
- En el análisis de datos se apoyará con softwares especializados como, DIGSILENT Power Factory, ArcGIS, Microsoft Office, AutoCAD, otros según sean necesarios.

1.12. Matriz de Consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Metodología	Técnicas y herramientas	Población y muestra
¿De qué manera se optimizará la coordinación de protección del alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?	Optimizar la coordinación de protección del alimentador HU-04 en media tensión en 22.9 kV en la Provincia de Quispicanchi – Cusco 2025.	Si se optimiza la coordinación de protección del alimentador en media tensión, reducirá los tiempos de despeje de fallas y se garantizará mejoraras significativas en la continuidad de suministro eléctrico.	Variables Independiente Optimización de coordinación de protección. Variables Dependientes Alimentador en media tensión HU-04 en 22.9kV.	Tipo de investigación: Descriptivo. Nivel de la investigación: Aplicativo. Diseño de la investigación: Experimental. Enfoque de la investigación: Cuantitativo	- Reportes SIELSE - Centro de control - DIgSILENT - ETAP - ArcGIS	Población: - Subsistema eléctrico Huaro - Quispicanchis Muestra: AMT HU- 04 Tipo de muestra: - Por conveniencia
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas				
¿Se evaluará el estado actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?	Evaluar el estado actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025.	Con la evaluación actual del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, se determinará las deficiencias en su coordinación de protección y ayudará a dar mejores soluciones antes las fallas presentadas en el alimentador.				
¿De qué manera la simulación en diferentes escenarios las fallas en el alimentador en media tensión HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, influirán en el comportamiento de dispositivos de protección?	Simular los diferentes escenarios de fallas en el alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025, para obtener respuesta del comportamiento de los dispositivos de protección.	Simulando en diferentes escenarios nos permitirá a obtener respuesta del alimentador en media tensión HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025. La cual perite identificar las fallas y los puntos críticos donde los dispositivos de protección no actúan adecuadamente de forma selectiva ni oportuna.				
¿De qué manera el dimensionamiento de los componentes del sistema de protección influye en la correcta fiabilidad, seguridad y selectividad en el AMT HU-04 en 22,9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025?	Dimensionar los componentes del sistema de protección para una correcta fiabilidad, seguridad y selectividad en el AMT HU-04 en 22.9 kV en la Provincia Quispicanchi – Cusco 2025.	Si se dimensionan los componentes del sistema de protección, brindaran una mejora coordinación de protección en el AMT HU-04 en 22.9 kV, es decir serán más fiables, sensibles y con consecuencia de una mejor calidad de suministro en la Provincia de Quispicanchis – Cusco 2025.	Indicadores Tasa de salidas del servicio eléctrico. Tasa de duración de interrupciones del servicio eléctrico.			

1.13. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES
Variable Independiente	Optimización de la coordinación de protecciones	Proceso mediante el cual se ajustan y coordinan adecuadamente los dispositivos de protección (relés, reconectores, seccionadores y fusibles) para asegurar una operación selectiva, rápida y confiable del sistema eléctrico frente a fallas, evitando disparos intempestivos y reduciendo el área afectada durante una interrupción. (Castellanos, 2019).	Se evalúa mediante la modelación, ajuste y simulación de los dispositivos de protección del alimentador HU-04 en DIGSILENT PowerFactory, donde se analizan curvas de coordinación, tiempos de despeje y escenarios de falla fase-fase y fase-tierra.	Cuantitativa	- Tiempos de operación de relés - Coordinación entre relés 50/51 y 50N/51N - Selectividad en fallas de fase y tierra - Número de disparos intempestivos
Variable Dependiente	Confiabilidad del alimentador HU-04 en 22.9 kV	Capacidad del alimentador para suministrar energía eléctrica de forma continua, segura y sin interrupciones prolongadas, evaluada mediante indicadores internacionales de confiabilidad como SAIDI y SAIFI. (Espírrilla & Haquehua, 2008).	Se mide a partir de la información histórica de interrupciones del alimentador HU-04 y los resultados de la simulación en DIGSILENT PowerFactory, analizando la frecuencia y duración de fallas antes y después de la optimización de protecciones.	Cuantitativa	- SAIFI (frecuencia de interrupciones)-SAIDI (duración de interrupciones)-Número total de fallas anuales-Duración promedio por falla

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRIO

2.1 Introducción

En este capítulo se establecen los fundamentos teóricos que facilitan el entendimiento de la coordinación de dispositivos de protección en sistemas eléctricos. En la primera parte se identifican los elementos principales de la red, en la segunda parte, definiciones conceptuales y normas, para optimizar la selección adecuada de equipos y su coordinación óptima, estableciendo las bases teóricas para el desarrollo del estudio.

2.2 Antecedentes Locales y Nacionales

- **Meza, E. & Rodas, E., (2004). de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica** con su proyecto de tesis intitulado *“Optimización de la protección de las redes de distribución primaria de la ciudad del Cusco”*. Esta tesis plantea la operación en anillo para algunos alimentadores de media tensión de las subestaciones de Dolorespata y Quencoro, anillando estos en pares y proponiendo la compra y puesta en servicio de relés de protección de sobrecorriente direccional que se adapten a las celdas de maniobra con disyuntores existentes en los puntos de interconexión; así mismo está limitada a la fecha de publicación debido a que en ese momento se tenía muy pocos puntos de interconexión y equipos de protección y maniobra; de igual forma este estudio no plantea una mejora en los indicadores SAIDI y SAIFI para la configuración de operación propuesta.
- **Jhon Rudier Zuñiga Sara & Policarpio Delgado Tito (2017) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica** con su proyecto de tesis intitulado *“Estudio de la Coordinación de Protección en los Radiales Pa-01 Y Pa-02 del Subsistema Eléctrico de Paucartambo”*.

Esta tesis plantea la coordinación de protección en los alimentadores PA01 y Pa02 del Subsistema Eléctrico de Paucartambo, demostró que existe un inadecuado dimensionamiento de los componentes de apertura y cierre que componen este subsistema y esto debido a las constantes interrupciones que conlleva no tener una adecuada coordinación de dichos componentes además de los agentes externos a los que está sometido esta zona de estudio.

- **Del Pozo, A. & Rivas, R., (2006).** de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica con su proyecto de tesis intitulado *“Evaluación de la operación en malla del subsistema eléctrico Cusco en 10.5kV”*.

Esta tesis plantea la operación en malla de todos los alimentadores de media tensión que a la fecha (2006) contaban con un punto de interconexión, se limita exclusivamente a un estudio de flujo de carga en el que se evalúan perfiles de tensión, cargabilidad y pérdidas, mas no involucra un estudio de cortocircuito ni coordinación de protección.

- **Anderson Molina Salamanca & Alexander Velásquez Suárez, (2021)**, Título Análisis de Sobre corriente Para Fallas en derivación Empleando los Módulos D’lorenzo con el Software ETAP cuyo objetivo es; Implementar un análisis de sobrecorriente para fallas en derivación utilizando los módulos D’Lorenzo con el software ETAP bajo la normatividad ANSI.
- **Perez San Martin & Francisco Javier (2021)**, En su tesis “Coordinación de protecciones de sistemas eléctricos de potencia mediante formulación de problema de optimización”; Con el objetivo de que primero, debido a que el sistema es enmallado, las protecciones direccionales son fundamentales para poder conseguir una operación coordinada de los relés.

Por esto, se incorporan protecciones direccionales en este trabajo junto con las de sobrecorriente. Segundo, por la necesidad de redondear ciertos ajustes resultantes de la coordinación, dado el modelo del relé en ETAP.

- **Encala Pihuave & Tonato Guerrero (2023)** En su tesis Titulado “Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de Relés SEL-751” cuyo objetivo Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de Relés SEL-751.

2.3 Antecedentes Internacionales

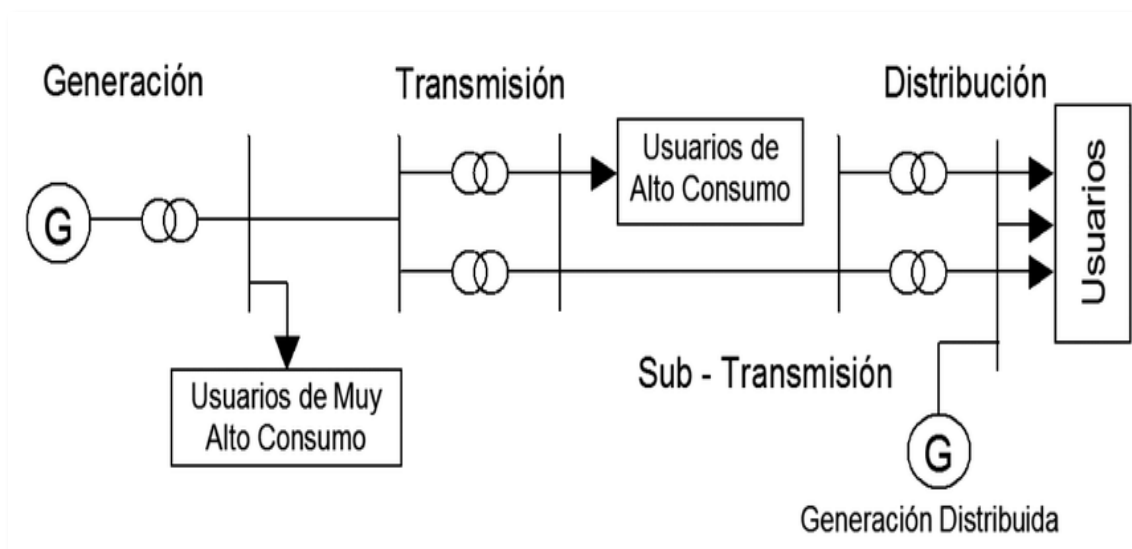
- **Xuemei, Y. and Jinliang, J. “Study on power supply of ring network of 10kV distribution network”, in China International Conference on Electricity Distribution, 2008 – Added to IEEE Xplorer at 21 August 2009.** Este paper establece las consideraciones necesarias para poner en operación una red en anillo con la finalidad de mejorar la confiabilidad del suministro de energía.
- **Salman, S. and Tan, S. “Comparative study of protection requirements of active distribution networks using radial and ring operations”, in IEEE Lausanne Power Tech, 2007 – Added to IEEE Xplorer at 06 June 2008.** Este paper da a conocer los requisitos para una adecuada coordinación de protección para los dos modos de operación (radial y anillo) debido a la inserción de la generación distribuida en redes que inicialmente operaban en configuración radial.
- **Wadi, M., Baysal, M. and Shobole, A. “Comparison between open-ring and closed-ring grids reliability”, in 4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), 2017 - Added to IEEE Xplorer at 01 June 2017.** Este paper evalúa la confiabilidad entre redes que operan en configuración radial y anillo, y muestra resultados de mejora en cuanto a los indicadores SAIDI y ENS (Energía no suministrada).

2.4 Bases Teóricas

2.4.1 Sistema Eléctricos de Potencia

Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) deben mantener óptimos niveles de calidad del suministro de energía eléctrica, respondiendo a las crecientes exigencias derivadas de la expansión de la frontera eléctrica, así como a las condiciones ambientales y socioeconómicas del entorno. Asimismo, deben operar bajo criterios de confiabilidad, limitando el impacto ambiental y favoreciendo la integración paisajística de las infraestructuras, como se muestra en la (Figura 2.1).

Figura 2.1. Etapas de un sistema eléctrico de potencia.



Fuente: Análisis de la Criticidad de los Sistemas de Distribución.

2.4.2 Generación

La matriz de generación eléctrica del Perú está conformada por centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, solares fotovoltaicas, eólicas y geotérmicas, las cuales integran fuentes convencionales y energías renovables no convencionales.

Esta diversificación tecnológica permite fortalecer la seguridad energética, incrementar la confiabilidad operativa y promover la sostenibilidad ambiental del sistema eléctrico nacional.

Todas estas unidades de generación están interconectadas al SEIN, conformando una red unificada que posibilita el despacho económico energético, el uso eficiente de recursos y la continuidad del servicio de energía eléctrica. A continuación, se detallan en la tabla los tipos de centrales que existen en el país (*Tabla 2.1*).

Tabla 2.1. Cuadro comparativo de las plantas generadoras en el Perú.

Tipo de central eléctrica	Fuente de energía	Clasificación	Características técnicas	Ejemplos en Perú
Hidroeléctrica	Energía potencial y cinética del agua	Renovable	- Turbinas Pelton - Turbinas Francis - Turbinas Kaplan - Minicentrales para zonas aisladas	Central Hidroeléctrica del Mantaro, Chaglla, Cañón del Pato
Térmica	Combustión de combustibles fósiles o biomasa	No renovable	- Ciclo simple: turbinas a vapor o gas - Ciclo combinado: turbina a gas + vapor - Diésel/Fuel-oíl: respaldo o zonas aisladas	Central Térmica de Chilca, Ilo 21, Talara
Solar fotovoltaica	Radiación solar	Renovable	Conversión directa de energía solar en electricidad mediante paneles fotovoltaicos; requieren alta radiación	Planta Solar Rubí (Moquegua), Planta Solar Tacna
Eólica	Energía cinética del viento	Renovable	Uso de aerogeneradores; necesitan vientos constantes y estables	Parque Eólico Marcona, Parque Eólico Wayra I
Geotérmica	Calor interno de la Tierra	Renovable (potencial)	Aprovecha vapor geotérmico; aún sin plantas comerciales en Perú; proyectos piloto en zonas volcánicas	Potencial en Arequipa y Moquegua

Fuente: Elaboración propia (Acevedo, 2013).

2.4.3 Subestación Elevadora

Las subestaciones elevadoras incrementan la tensión generada en las centrales eléctricas habitualmente entre 6 kV y 25 kV hasta niveles de 60 kV a 500 kV, adecuados para el transporte eficiente de energía en redes de alta o extra alta tensión. Disponen de transformadores de potencia y sistemas destinados a la protección, control, maniobra y medición, cuyo diseño prioriza la

capacidad, confiabilidad y seguridad. En el Perú, estas instalaciones están ubicadas junto a centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, solares y eólicas, constituyen el punto inicial de la transmisión en el SEIN, se visualiza en la *(Figura 2.2)*. (MONTECELOS, 2015)

Figura 2.2. Transformador de potencia de la subestación de Planta Solar Rubí (Moquegua).



Fuente: Revista EL GAS – Revista de energía e Hidrocarburos. (GAS, 2024).

2.4.4 Líneas de Transmisión

Las líneas de transmisión eléctrica se estructuran mediante conductores, armados, cables de guarda y aisladores, desde los centros de generación hasta las subestaciones de distribución, constituyen el medio fundamental para el transporte de energía eléctrica en MAT, AT y MT, los parámetros eléctricos distribuidos resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia definen el comportamiento eléctrico de la línea y condicionan su eficiencia, estabilidad y desempeño operativo. El diseño de estas líneas son claves para mantener la continuidad y seguridad energética a grandes distancias, se detalla en la siguiente *(Figura 2.3)*. (CARRENO, 2024).

Figura 2.3. Líneas de transmisión en operación en Machupicchu.



Fuente: ISA RED, Línea de transmisión L-1002 de Machupichu – Quencoro (RED, 2024).

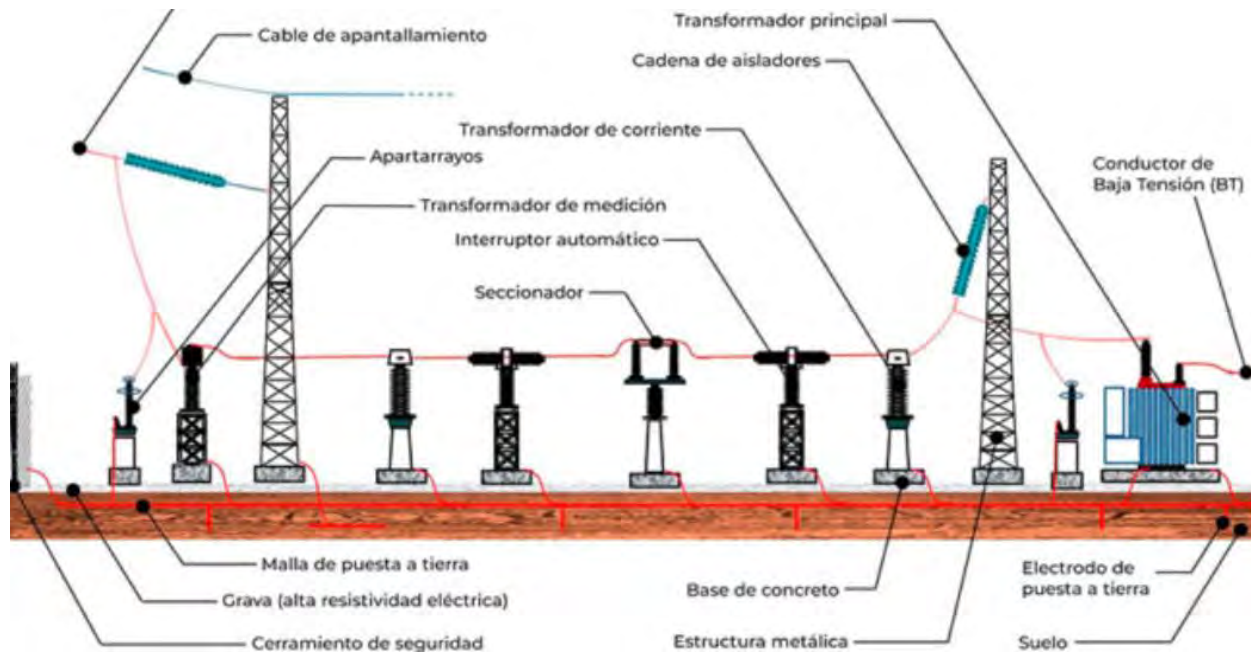
2.4.5 Subestación de Seccionamiento

Una subestación de seccionamiento es una instalación eléctrica diseñada para seccionar el sistema de transmisión o distribución, incorporando equipos de protección, maniobra y eventualmente control. Su función esencial es aislar segmentos para mantenimiento o contingencias, optimizando la continuidad del servicio y la seguridad operativa de la red:

- Facilitar el aislamiento del sistema frente a anomalías, evitando la propagación de fallas o cortocircuitos y protegiendo los equipos.
- Facilitar la desconexión de secciones de la red eléctrica destinadas a trabajos de ampliación, modificación o mantenimiento.

En situaciones que requieren el seccionamiento de un circuito, el objetivo es mantener operativa la mayor parte del sistema, limitando la desconexión únicamente al área afectada. Así, se mantiene la continuidad del servicio, minimizando interrupciones y optimizando la confiabilidad de la red. (MONTECELOS, 2015) (Figura 2.4).

Figura 2.4: Subestación de Seccionamiento.



Fuente: Artículo científico del cusco de Subestación de potencia (Marcos, 2019).

2.4.6 Subestaciones Primarias

Una subestación primaria es una instalación que recibe energía en alta tensión desde el sistema de transmisión o subtransmisión y la transforma a media tensión para su distribución. Se ubica cerca de los centros de consumo para reducir pérdidas y mejorar la calidad del suministro, empleando transformadores de potencia y equipos de maniobra, protección y medición.

Su operación mediante alimentadores de media tensión abastece subestaciones secundarias o grandes usuarios, asegurando un servicio eficiente, confiable y seguro. También son determinantes para la adecuada coordinación de protecciones y la planificación del sistema eléctrico. (MONTECELOS, 2015)

2.4.7 Subestación Intermedia de Transformación

Una subestación intermedia de transformación es una instalación ubicada estratégicamente en la red de transmisión que ajusta el nivel de tensión eléctrica para optimizar su transporte y

distribución. Utiliza transformadores de potencia para reducir o elevar la tensión según las necesidades del sistema, incorporando equipos de maniobra, protección, medición y compensación reactiva. Su implementación contribuye a minimizar pérdidas técnicas, optimizar el control de tensión y apoyar la expansión del sistema eléctrico en áreas con alta demanda. (MONTECELOS, 2015)

2.4.8 Subestaciones de Distribución

Las subestaciones de distribución son instalaciones electromecánicas estratégicas del sistema eléctrico de potencia, encargadas de transformar la energía desde alta tensión o subtransmisión 60, 138 o 220 kV a niveles de media tensión, comúnmente 22,9 kV o 10,5 kV, adecuados para su entrega a las redes de distribución urbana y rural. Estas infraestructuras incorporan equipos y sistemas de transformación, maniobra, protección y control, diseñados para optimizar el acondicionamiento de la tensión, garantizar la operación y cumplir rigurosamente con los estándares técnicos y normativos, asegurando así un suministro seguro, eficiente y continuo a los usuarios finales. (MONTECELOS, 2015)

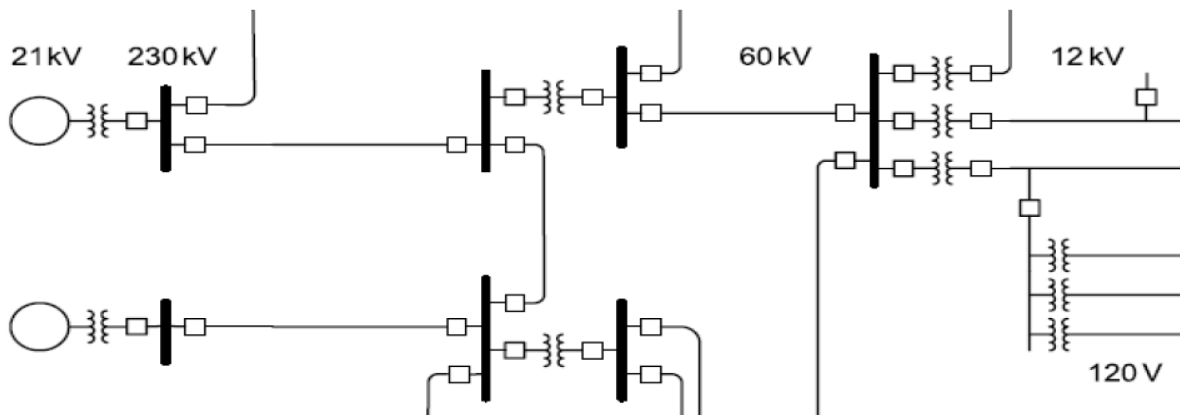
2.4.9 Sistema de Distribución

Desde las subestaciones de transformación hasta los usuarios finales, el sistema de distribución eléctrica transporta y distribuye la energía, constituyendo una fase esencial del sistema eléctrico de potencia. Este sistema se compone de líneas de subtransmisión encargadas de abastecer a las subestaciones de distribución, en las cuales se efectúa la reducción, regulación y adecuación de los niveles de tensión para su correcta entrega al sistema eléctrico entre valores típicos comprendidos 2.4 kV y 13.2 kV. A partir de dichas subestaciones, la energía se distribuye mediante alimentadores primarios, transformadores de distribución y acometidas eléctricas, los cuales permiten el suministro directo a los consumidores en baja tensión. (MONTECELOS, 2015)

2.4.9.1 Características del Sistema de Distribución

De acuerdo con diversos autores, un sistema de distribución eléctrica debe cumplir ciertos requisitos fundamentales, entre los cuales destacan la facilidad de alimentación desde el sistema de potencia y la posibilidad de una ampliación sencilla y flexible de la red. Una de las funciones principales del sistema de distribución es satisfacer la demanda de energía eléctrica en sectores específicos, especialmente en zonas alejadas o áreas que inicialmente no se encuentran interconectadas. El sistema de distribución constituye un eslabón esencial entre el sistema de transmisión y los usuarios finales, ya que permite la entrega eficiente y confiable de la energía eléctrica. En la mayoría de los casos, estas redes presentan una configuración radial, característica que, si bien simplifica la operación y el diseño, también incrementa la vulnerabilidad del sistema frente a la ocurrencia de fallas o eventos imprevistos, en la *Figura 2.5* se ilustra la estructura típica de este tipo de red.

Figura 2.5. Estructura básica de un sistema eléctrico.



Fuente: Sistema eléctrico de potencia (SEP) (Dammert 2011).

El reto de la distribución eléctrica es planificar, diseñar, construir, operar y mantener sistemas que suministren un servicio adecuado, eficiente y confiable al área de carga. No todos los esquemas son económicamente viables en cualquier zona, debido a diferencias en densidad y perfil

de demanda. Por ello, las soluciones para áreas industriales difieren de las rurales. En la selección del sistema también influyen la infraestructura existente, la topografía y las proyecciones de crecimiento. La distribución puede implementarse mediante redes subterráneas, líneas aéreas, conductores abiertos sobre postes o combinaciones de estas alternativas, definidas según criterios técnicos y económicos.

2.5 Tipos de Sistemas de Distribución

2.5.1 Sistema Radial

El sistema radial se caracteriza por poseer una trayectoria única de suministro eléctrico desde la subestación a los usuarios finales, sin caminos alternativos de retorno. Este tipo de configuración destaca por su simplicidad estructural, facilidad de operación, control y protección, además de presentar bajos costos de implementación y mantenimiento.

No obstante, este esquema posee una limitada confiabilidad, debido a que una falla en cualquier punto del alimentador, se interrumpe el suministro aguas abajo del punto afectado. Las redes primarias de distribución suelen adoptar una topología radial, en la cual la energía fluye en un único sentido desde la subestación hacia los distintos ramales de carga, distribuyéndose de manera jerárquica o en forma de ramas, se ilustra en la (Figura 2.6).

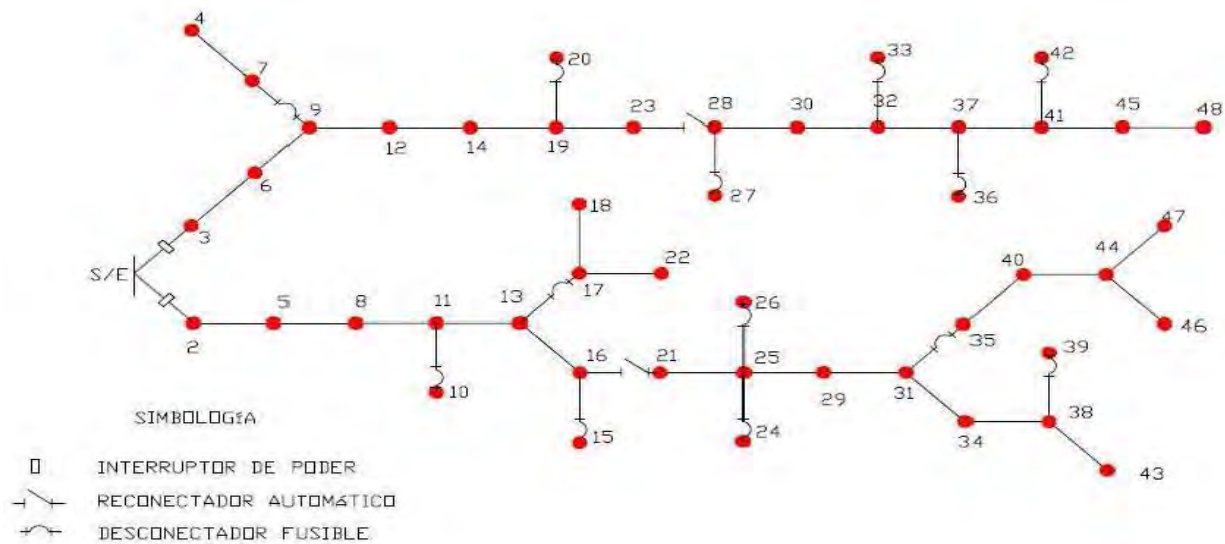
Figura 2.6. Sistema radial.



Fuente: Topología de un sistema radial (Dammert., 2011).

Existen distintos tipos de redes radiales que, según sus características de mercado y demanda, se clasifican en redes urbanas, semiurbanas y rurales.

Figura. 2.7. Diagrama simplificado de equipamiento de protección en SE. Radial.



Fuente: (Ayre Sanchez, 2005).

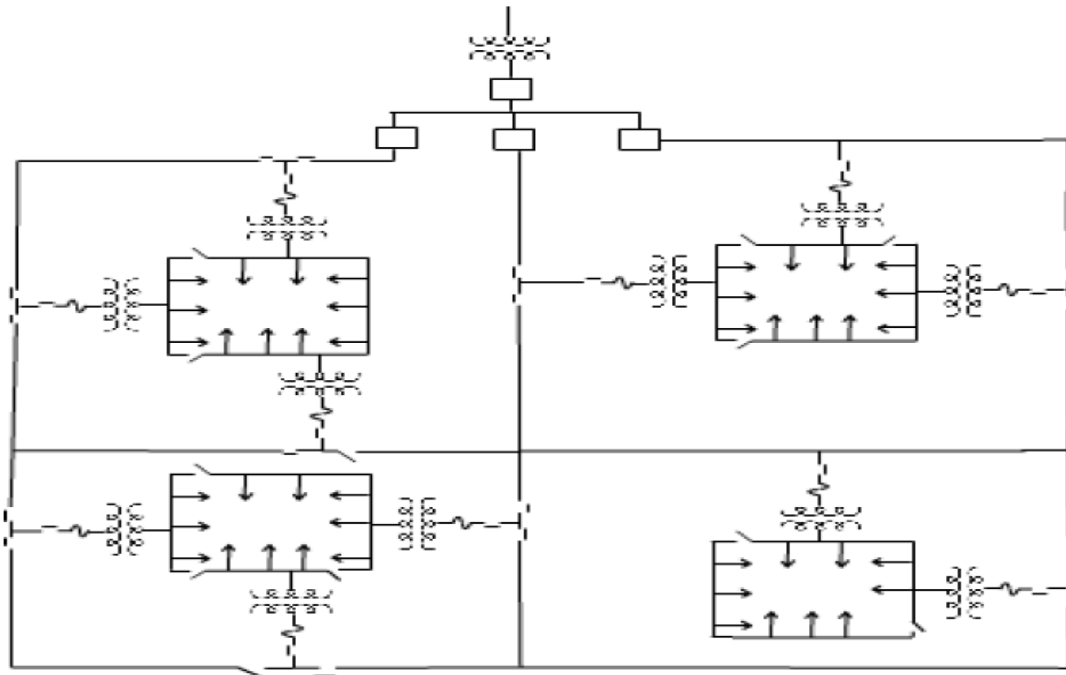
2.5.1.1 Sistemas Radiales Aéreos

Son ampliamente utilizados en áreas urbanas y rurales debido a su simplicidad estructural, facilidad de mantenimiento y bajo costo de implementación. Desde las subestaciones de distribución se alimentan líneas aéreas que suministran energía a transformadores de distribución, generalmente instalados en configuración aérea. En zonas rurales, se emplea el sistema radial puro por la baja densidad de carga, mientras que en áreas urbanas se incorporan puntos de interconexión normalmente abiertos, que permiten la transferencia de carga y el aislamiento de fallas, mejorando la continuidad del servicio ante contingencias.

2.5.1.2 Sistemas Radiales Subterráneos

En zonas urbanas de media y alta densidad de carga se emplean sistemas de distribución subterráneos, cuya mayor inversión se justifica por su mayor confiabilidad, seguridad y mejor integración urbana. garantizan la continuidad del servicio, permiten la transferencia de carga ante contingencias, se ha expandido hacia zonas residenciales y suburbanas, integrándose con redes aéreas adyacentes. (Figura 2.8).

Figura 2.8. Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial subterráneo.

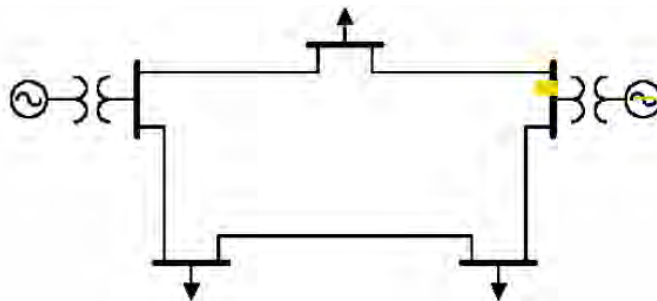


Fuente: (Ayre Sanchez, 2005).

2.5.2 Sistema en Anillo

Se caracteriza por presentar múltiples trayectorias entre la fuente de alimentación y las cargas, permite mantener la continuidad del servicio eléctrico ante contingencias en tramos del circuito, este tipo de red dispone de dos o más trayectorias de alimentación, posibilitando la transferencia de carga entre alimentadores, ofrece mayor confiabilidad y seguridad operativa, requiere esquemas de protección más complejos y de mayor costo, debido a la bidireccionalidad del flujo de corriente y la coordinación de protecciones asociada, como se detalla en (Figura 2.9).

Figura 2.9. Sistema anillo.

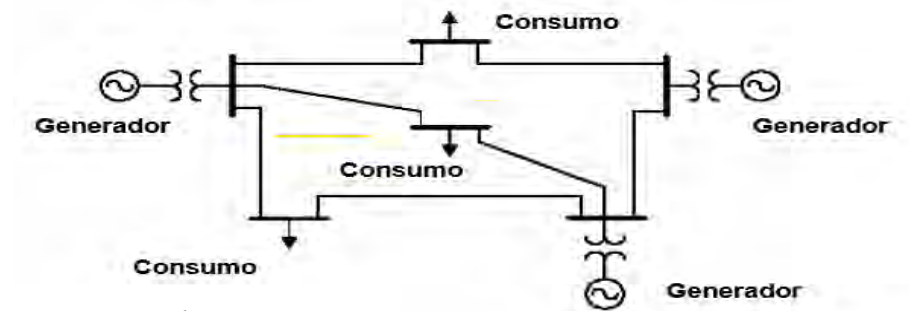


Fuente: Ayre Sanchez, 2005.

2.5.3 Sistemas Malladas

Las líneas se encuentran interconectadas formando anillos cerrados o múltiples rutas para el flujo de energía, lo que proporciona elevados niveles de seguridad y confiabilidad operativa ante la ocurrencia de fallas. Esta configuración permite la máxima continuidad del servicio, ya que ofrece trayectorias alternativas para el suministro eléctrico. Implica mayores costos de inversión y operación, además de una mayor complejidad en la coordinación de protecciones. Las redes de transmisión y transporte de energía eléctrica suelen emplear esta topología en grandes sistemas interconectados. (Figura 2.10).

Figura: 2.10. Diagrama de un sistema eléctrico mallada.



Fuente: Ayre Sanchez, 2005.

2.6 Coordinación de Protección en Sistemas Eléctricos

La coordinación de protección en sistemas eléctricos consiste en el ajuste y selección adecuada de los dispositivos de protección con el objetivo de aislar selectivamente las fallas, minimizando la interrupción del servicio y protegiendo la integridad de los equipos.

Una correcta coordinación garantiza que solo el dispositivo más cercano a la falla opere, preservando la continuidad del suministro, mejorando la confiabilidad del sistema y reduciendo los impactos operativos y económicos. (ROMERO, 2008).

2.6.1 Coordinación de Protección Eléctrico

La coordinación de protecciones consiste en ajustar correctamente los dispositivos de protección de una red eléctrica para que, ante una falla, opere de manera rápida y selectiva el

equipo más cercano, aislando solo el tramo afectado y manteniendo en servicio el resto del sistema, mejorando la continuidad, confiabilidad y seguridad operativa del suministro eléctrico en condiciones normales. (ROMERO, 2008).

2.6.2 Dispositivos de Protección

Estos dispositivos constituyen elementos esenciales del sistema de protección eléctrica, e incluyen relés, fusibles, interruptores y disyuntores, cuya función principal es detectar, aislar y mitigar condiciones anómalas en el flujo de corriente, tales como sobrecorriente, cortocircuitos o fallas a tierra. (ROMERO, 2008).

2.6.3 Principios Generales de la Coordinación de Protección

- **Rapidez.** - Este principio enfatiza la importancia de una actuación rápida de los dispositivos de protección para minimizar los daños en el sistema y proteger la seguridad de las personas. Cuanto más rápido sea el tiempo de respuesta, menores serán las consecuencias de la falla.
- **Selectividad.** – Es la capacidad de los dispositivos para desconectar solo la parte del sistema donde ocurre la falla, evitando interrupciones innecesarias sin afectar al sistema.
- **Sensibilidad.** - Los dispositivos de protección implica su capacidad para detectar y actuar ante fallas de baja magnitud, especialmente en circuitos de baja corriente. Los sistemas deben ser lo suficientemente sensibles para responder incluso a fallas mínimas que puedan comprometer la seguridad del sistema.
- **Simplicidad.** - La interpretación de los esquemas de protección debe ser clara y comprensible, a fin de facilitar las actividades de diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema eléctrico. Una representación sencilla y estandarizada de los esquemas permite reducir errores en la implementación.

- **Economía.** – Procura optimizar los costos de implementación de los sistemas de protección, sin afectar la seguridad ni el desempeño del sistema, mediante la selección y uso de equipos que mantengan equilibrio entre costo y beneficio.
- **Confiabilidad.** - Garantiza que los dispositivos de protección funcionen correctamente cuando se presenten condiciones de falla y permanezcan inactivos durante la operación normal. Un sistema de protección confiable es esencial para evitar desconexiones innecesarias y asegurar la estabilidad del sistema.

2.6.4 Objetivo de la Coordinación de Protección

La coordinación de protecciones tiene como finalidad resguardar los equipos del sistema eléctrico y garantizar la continuidad del suministro ante fallas. Se fundamenta en la actuación selectiva, secuencial y temporizada de los dispositivos de protección, permitiendo aislar solo el área afectada. se reducen los impactos de las contingencias, mejorando la reposición del servicio.

2.6.4.1 Dispositivos de Protección de Líneas de Alta y Media Tensión

A. Interruptor de Potencia de Vacío (VHPS, por sus siglas en inglés)

Este dispositivo de alta tensión permite interrumpir o restablecer el flujo de corriente en líneas de transmisión o distribución, facilitando una operación segura y controlada del sistema. Su accionamiento posibilita la apertura o cierre de circuitos bajo condiciones normales o de falla.

B. Seccionador de Alta Tensión

El seccionador es un dispositivo de maniobra en vacío utilizado para aislar tramos de línea o equipos del sistema durante labores de mantenimiento, inspección o contingencia, garantizando la seguridad operativa del personal y la integridad de los equipos. Su operación se realiza en ausencia de carga, y su función principal es establecer una separación visible que asegure la desenergización efectiva del circuito como se puede observar en la siguiente (*Figura 2.11*).

Figura 2.11. Interruptor de potencia.



Fuente: (SECTORELECTRICIDAD, 2015).

C. Disyuntor de Media Tensión con Relé de Protección Integrado

El reconectador automático integra en un solo equipo las funciones de interrupción y protección, actuando simultáneamente como disyuntor y relé de protección. Su principal función es detectar, interrumpir y restablecer de manera automática el suministro eléctrico ante condiciones anómalas del sistema, tales como sobrecorrientes, fallas monofásicas o transitorias. Este dispositivo se utiliza principalmente en redes de distribución primaria, donde su capacidad de reconexión secuencial y selectiva contribuye significativamente a mejorar la continuidad del servicio, la confiabilidad operativa y la eficiencia en la restauración del sistema eléctrico.

Figura 2.12. Disyuntor de Media Tensión.



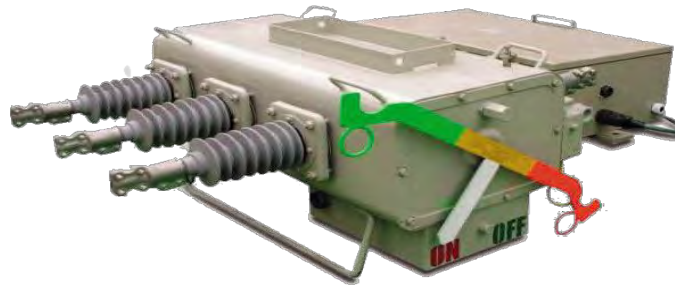
Fuente: (electricaplicada, 2015).

D. Seccionador Bajo Carga

Este dispositivo electromecánico, conocido como seccionador bajo carga, está diseñado para interrumpir o conectar circuitos eléctricos bajo condiciones de carga nominal, sin estar

destinado a la interrupción de corrientes de cortocircuito. Su función principal es garantizar la operación segura del sistema, permitiendo la conexión y desconexión controlada de circuitos durante condiciones normales de operación, minimizando la formación de arcos eléctricos y protegiendo tanto la integridad de los equipos como la seguridad del personal operativo.

Figura 2.13. Seccionador bajo carga SF6.



Fuente: (GRUPOELECOND, 2022).

E. Cut Out

Un cut out o seccionador fusible es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos de media tensión para proporcionar una forma segura de desconectar una parte de la red eléctrica para mantenimiento, reparación o en caso de falla. Estos dispositivos combinan las funciones de un interruptor seccionador y un fusible en un solo equipo. La principal función del seccionador fusible es cortar el flujo de corriente eléctrica en líneas o circuitos frente a condiciones de sobrecarga o falla, protegiendo así el sistema eléctrico y permitiendo un aislamiento seguro para realizar trabajos de mantenimiento.

Figura 2.14. Equipo de maniebra CUT OUT.

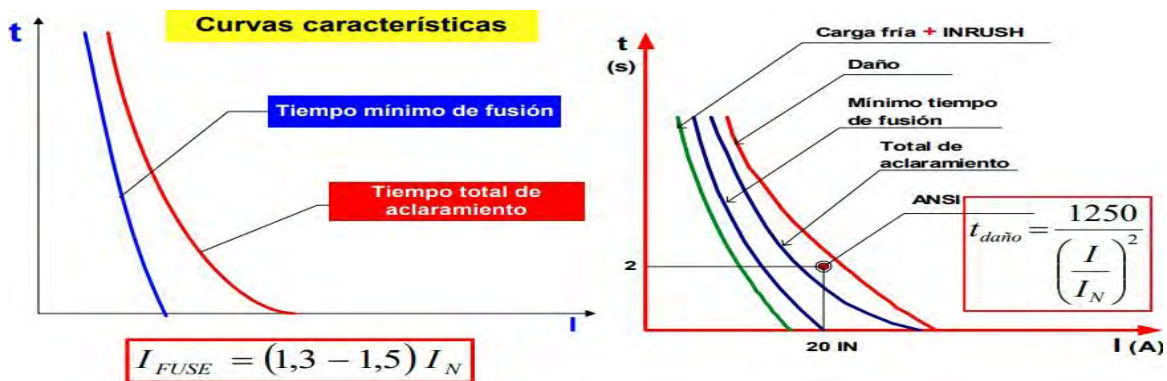


Fuente: (GRUPOELECOND, 2022)

F. Fusible

Los fusibles de expulsión son elementos clave en la protección de redes aéreas de distribución, ya que actúan frente a sobrecorrientes y cortocircuitos mediante la fusión controlada del elemento fusible. Sus curvas características tiempo-corriente permiten una operación selectiva y coordinada con otros dispositivos de protección, asegurando la desconexión rápida del tramo afectado y la continuidad del servicio se aprecia en la (Figura 2.15).

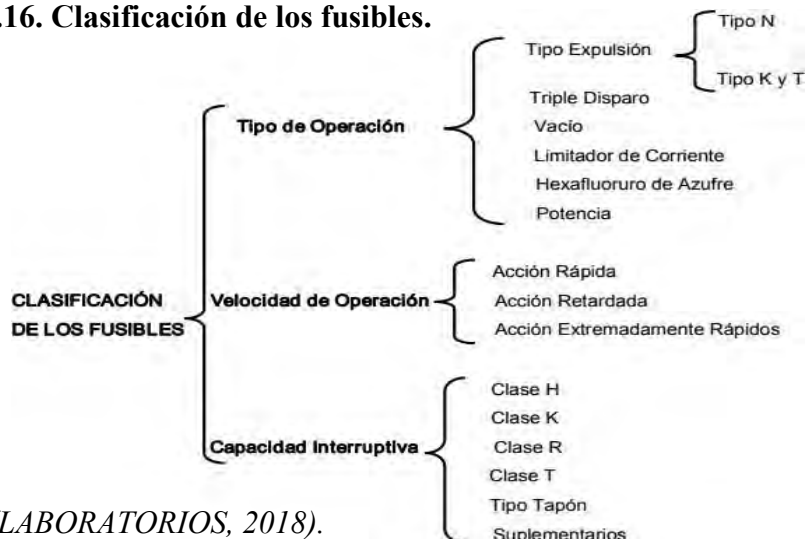
Figura 2.15. Curva característica de fusible de MT.



Fuente: (GRUPOELECOND, 2022).

La clasificación de fusibles según operación, velocidad y capacidad interruptora garantiza una protección adecuada, correcta coordinación con otros dispositivos y un desempeño confiable del sistema eléctrico, visualizada en (Figura 2.16).

Figura 2.16. Clasificación de los fusibles.



Fuente: (LABORATORIOS, 2018).

Los fusibles se clasifican según su característica tiempo-corriente, respuesta a sobrecorrientes y capacidad de interrupción, lo que facilita seleccionar el tipo adecuado para proteger equipos, conductores y sistemas eléctricos, garantizando una coordinación eficaz con los demás dispositivos de protección del sistema.

- **Fusibles de Expulsión.** - Diseñados para interrumpir corrientes de cortocircuito, expulsan un núcleo fundido, indicando visualmente la falla en sistemas de media tensión.
- **Fusibles Limitadores de Corriente.** - Diseñados para limitar la corriente en sobrecargas o cortocircuitos, brindan protección rápida y eficiente contra sobrecorrientes.
- **Fusibles de Potencia.** - Empleados en aplicaciones de media tensión y alta corriente, protegen transformadores y equipos de gran potencia, soportando corrientes elevadas.
- **Fusibles de Retardo.** - Ofrecen una respuesta retardada a las corrientes de cortocircuito, lo que les permite tolerar corrientes de arranque momentáneamente sin fundirse. Adecuados para aplicaciones con cargas inductivas.
- **Fusibles de Enlace Expulsor.** - Fusibles de expulsión de media tensión, desarrollados para la protección de circuitos y equipos en redes de distribución.
- **Fusibles de Aire o de Aceite.** - Utilizados en transformadores y equipos de media tensión, los fusibles son de aire o de aceite, destacando estos últimos por su diseño compacto y confiable.
- **Fusibles de Expulsión de Cable.** - Se instalan en cajas de conexión para proteger cables de media tensión, desconectándolos cuando ocurre una sobrecarga.

2.7 Protecciones de Sobrecorriente

Los esquemas de protección deben interpretarse de forma clara, precisa y técnicamente coherente, para optimizar los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema eléctrico en general actual moderno. Una representación gráfica normalizada y detallada

permite identificar con facilidad los elementos de protección, trayectorias de corriente de falla y dispositivos de coordinación, minimizando la posibilidad de errores operativos. Se fortalece la confiabilidad, selectividad y seguridad funcional del sistema de, garantizando una respuesta eficaz ante contingencias eléctricas.

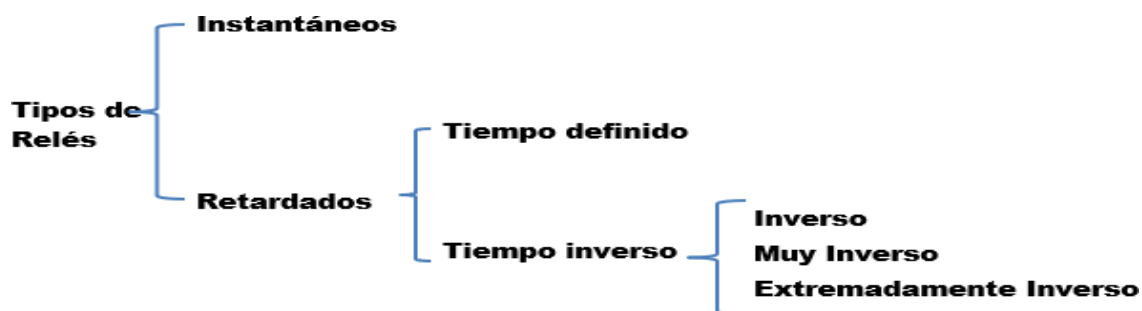
2.7.1 Funciones de un Sistema de Protección Contra Sobrecorriente

La finalidad principal de la protección contra sobrecorriente es la detección de corrientes excesivas, actuando al interrumpir y aislar condiciones anómalas de corriente que puedan presentarse en un circuito eléctrico, protegiendo los equipos, disminuye peligros de incendio y preserva la integridad operativa del sistema eléctrico. De acuerdo con la norma IEEE Std 242-2001, este tipo de sistema debe actuar con rapidez y selectividad, desconectando únicamente la sección afectada del sistema para proteger la infraestructura eléctrica y la seguridad del personal. El sistema opera mediante dispositivos de protección sensibles a sobrecargas y corrientes de cortocircuito, los cuales detectan el exceso de corriente y actúan automáticamente para interrumpir su flujo antes de que alcance niveles que comprometan la estabilidad del sistema.(IEEE, 2001).

2.7.2 Características de Operación

En función de su tiempo de respuesta ante fallas o sobrecorrientes, se clasifican los relés de protección, definiendo su característica temporal de respuesta. Esta clasificación permite identificar los principales tipos de relés y sus aplicaciones específicas dentro del sistema eléctrico.

Figura 2.17. Tipos de Relés.

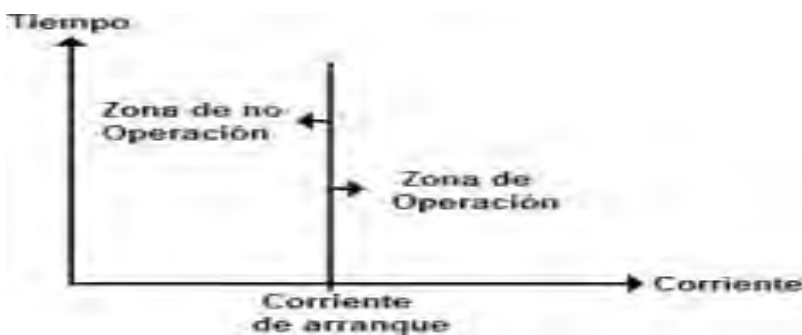


Fuente: Guía de Coordinación de Protección.

I. Relés de Sobrecorriente

El relé de corriente definida opera instantáneamente al alcanzar un valor prefijado de corriente, con ajustes coordinados en sentido descendente desde la fuente hacia la carga. Sin embargo, presenta limitaciones ante fallas de alta intensidad, debido a su baja selectividad para distinguir puntos de cortocircuito próximos con resistencias reducidas respecto a la fuente, se aprecia en (Figura 2.18). (Zavalar, 1992).

Figura 2.18. Relé de sobrecorriente definida.



Fuente: Guía de Coordinación de Protección.

II. Relé de Corriente definida y Tiempo Definido

Permiten regular tanto el nivel de corriente como el tiempo de operación, optimizando la coordinación y selectividad entre dispositivos de protección. Su capacidad de ajuste progresivo y el uso de un margen de tiempo o respaldo garantizan una respuesta más precisa y confiable frente a fallas, superando las limitaciones de los relés de corriente definida (Figura 2.19). (Zavalar, 1992).

Figura 2.19. Relé de sobrecorriente definida y tiempo definido.

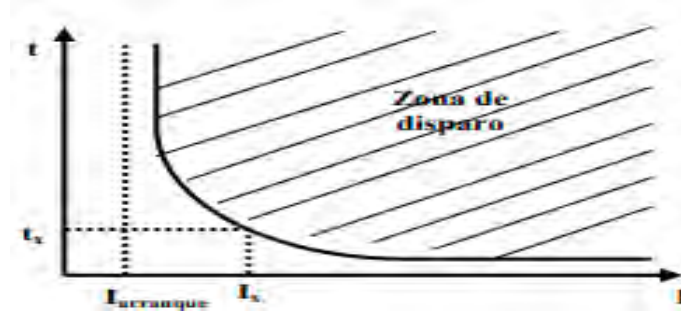


Fuente: Guía de Coordinación de Protección.

III. Relé de Tiempo Inverso

Regulan su actuación de manera inversamente proporcional a magnitud de corriente de falla, logrando disparos rápidos ante corrientes elevadas y manteniendo selectividad y coordinación del sistema de protección eléctrico general. (Zavalar, 1992).

Figura 2.20. Relé de tiempo inverso.

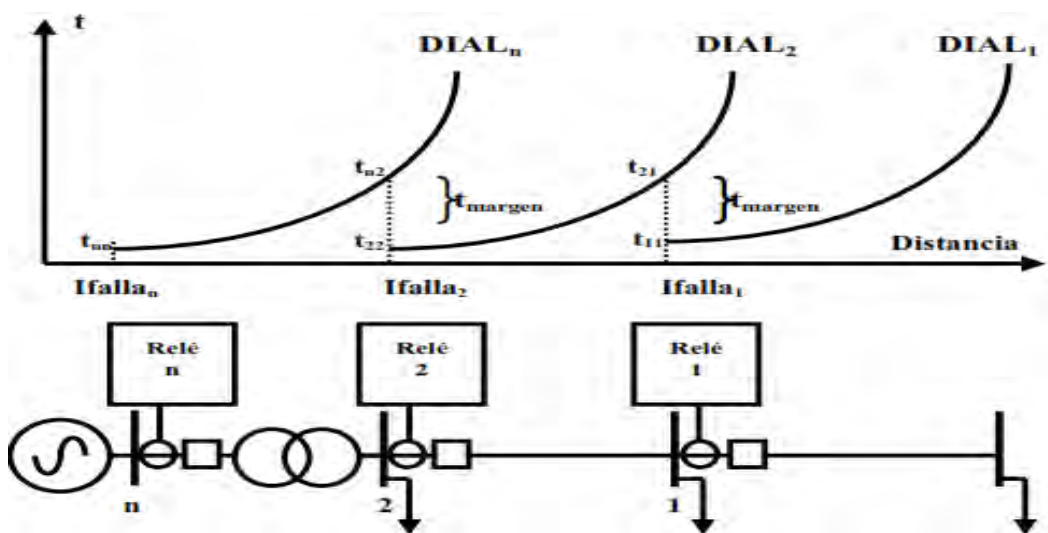


Fuente: Guía de Coordinación de Protección.

2.8 Coordinación de Relés en una Red Radial

En una red radial, la coordinación de protecciones ajusta tiempos y parámetros de los relés para aislar solo el tramo afectado, mejorando selectividad, sensibilidad y reduciendo interrupciones del suministro (Figura 2.21).

Figura 2.21. Coordinación de relés de sobre corriente en un sistema radial.



Fuente: Coordinación gráfica de protecciones (Zavalar, 1992).

2.8.1 Coordinación Fusible - Fusible

La coordinación Fusible – Fusible asegura que, ante una falla, actúe únicamente el fusible más cercano a la carga, manteniendo operativo el resto del sistema. Se basa en la selectividad, lograda mediante la correcta comparación de curvas tiempo-corriente, donde el fusible aguas abajo actúa antes que el agua arriba. Para ello, el fusible primario suele tener un calibre mayor y una respuesta más lenta. *(Zavalar, 1992)*

2.8.2 Coordinación Reconectador – Fusible

Actúa frente a una falla, el reconectador sea el primer dispositivo en operar mediante disparos rápidos y reconexiones automáticas, con el objetivo de eliminar fallas transitorias y evitar la actuación del fusible. Cuando la falla resulta permanente, el reconectador pasa a un modo de disparo lento, permitiendo que el fusible actúe y aisle únicamente el tramo defectuoso. Esta coordinación se obtiene mediante el ajuste adecuado de las curvas tiempo-corriente, los tiempos de retardo y el número de reconexiones. *(Zavalar, 1992)*

2.8.3 Coordinación Interruptor-Reconectador

Para asegurar una adecuada coordinación entre el interruptor y el reconectador, este último debe actuar ante una falla del lado de la carga, evitando la operación del interruptor controlado por el relé de sobrecorriente. Esto se logra garantizando que la curva característica del reconectador no se cruce con la del relé, manteniendo un margen mínimo de tiempo de 0,35 segundos y suprimiendo el último ciclo de recierre del reconectador. *(Zavalar, 1992)*

2.8.4 Coordinación Relé-Reconectador

La coordinación de protecciones a un mismo nivel de voltaje, sin transformadores intermedios, exige que el reconectador funcione como el dispositivo principal de protección y que el relé opere como protección de respaldo. Con el fin de garantizar la selectividad, las curvas

tiempo-corriente del reconectador deben situarse por debajo de la curva del relé para todos los valores posibles de corriente de falla dentro de la zona protegida. (Zavalar, 1992)

2.8.5 Coordinación Relé-Relé

La coordinación Relé – Relé garantiza que, ante una falla, opere primero el relé más cercano, mientras el relé aguas arriba actúa solo como respaldo. Se logra mediante el ajuste adecuado de curvas tiempo-corriente y retardos, evitando disparos innecesarios. (Zavalar, 1992).

2.8.6 Coordinación Relé-Fusible

Actúa frente a una falla, el fusible actúa inicialmente como protección principal y el relé funcione como respaldo en caso de que el fusible no elimine la falla. Para ello, las curvas tiempo-corriente del relé deben ubicarse por encima de la curva del fusible, considerando todos los niveles posibles de corriente de falla, reduce el área afectada por la interrupción. (Zavalar, 1992).

2.8.7 Recloser o Reconectador en Media Tensión

Dispositivo eléctrico-electrónico empleado principalmente en sistemas de distribución de MT, su función esencial es restablecer automáticamente el suministro eléctrico tras interrupciones transitorias, como cortocircuitos o sobrecargas momentáneas. Este equipo supervisa continuamente la red y, al detectar una falla temporal, realiza la apertura y posterior cierre automático del circuito, permitiendo la recuperación del servicio sin requerir intervención manual.

Figura 2.22. Recloser



Fuente: (TRANSFORMER, 2023)

2.8.8 Relé de Protección de Sobrecorriente (Funciones 50,51,50N,51N)

La protección de sobrecorriente supervisa de forma continua la corriente en cada fase para identificar incrementos anormales asociados a fallas o cortocircuitos. Su tiempo de actuación depende de la magnitud de la corriente detectada. Puede operar con tiempo definido al superarse un umbral ajustado, ya sea de manera instantánea (función 50) o con retardo (función 51). Asimismo, puede actuar con tiempo inverso, donde el tiempo de disparo varía según una relación exponencial previamente establecida.

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

Donde:

t = Tiempo de actuación del Relé (variable dependiente)

I = Corriente que mide el Relé (variable independiente)

α = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé.

I_s = Corriente de Arranque del Relé

TMS = Constante de ajuste del Relé

K = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé

C = Constante de ajuste del Relé

Para el ajuste del relé se debe definir lo siguiente:

2.8.8.1 Para la Función 50 (Instantaneous Overcurrent Relay)

Sobre corriente instantánea, este relé opera de manera inmediata al detectar una corriente que excede un umbral predeterminado, sin retardo intencional de tiempo. Su función principal es proteger el sistema ante fallas de alta magnitud, como cortocircuitos francos, donde se requiere una actuación rápida para limitar los daños térmicos y mecánicos en los equipos.

2.8.8.2 Para la Función 51 (Time Overcurrent Relay)

Sobre corriente temporizado. Este dispositivo entra en operación cuando la corriente excede el valor configurado, con un tiempo de disparo que disminuye a medida que aumenta la corriente de falla, las curvas características normalizadas (IEC o ANSI). Se utiliza para lograr una

coordinación selectiva entre protecciones en redes radiales y garantizar que el equipo de protección ubicado más próximo al punto de falla actúe en primer lugar.

2.8.8.3 Para la Función 50N (Instantaneous Earth Fault Relay)

Sobrecorriente instantánea de secuencia cero. Detecta corrientes de falla a tierra a través de la componente de secuencia cero o corriente residual. Opera instantáneamente al superar el umbral de disparo configurado, proporcionando una protección rápida contra fallas monofásicas a tierra, frecuentes en redes de distribución.

2.8.8.4 Para la Función 51N (Time Earth Fault Relay)

Sobrecorriente temporizado de secuencia cero. Funciona de manera similar al relé 51, pero actúa ante corrientes residuales de secuencia cero, con un retardo de tiempo inversamente proporcional a la magnitud del valor de la corriente de falla a tierra. Permite coordinar la protección frente a fallas monofásicas a tierra en diferentes niveles del sistema.

2.9 Teoría de Fallas Eléctricas

2.9.1 Cortocircuito

El cortocircuito es una falla eléctrica que se produce cuando dos conductores con diferentes potenciales se tocan directamente o mediante baja impedancia, generando una corriente excesiva que puede dañar equipos, afectar la operación del sistema eléctrico y generar riesgos de seguridad. Según IEEE (2018), un cortocircuito es "una condición anómala de un circuito eléctrico en la que la resistencia entre dos puntos con diferentes potenciales eléctricos es extremadamente baja, lo que resulta en una corriente elevada no controlada. (*IEEE, 2018*).

2.9.2 Fases Abiertas

Cuando se habla de fases abiertas, se está haciendo referencia a situaciones en las cuales no se garantiza la continuidad en el suministro y distribución de la energía eléctrica. Esto puede

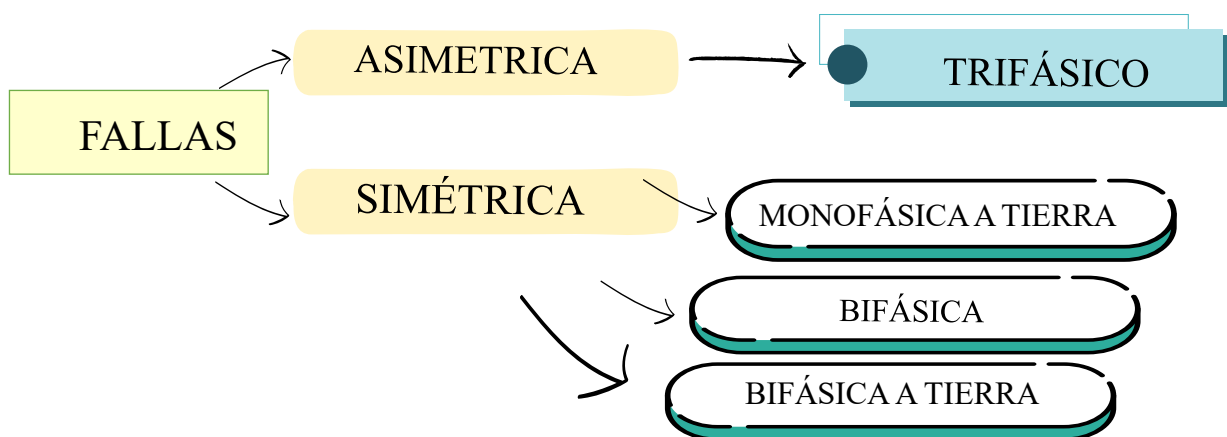
sucedan en diversos niveles, desde una fase abierta hasta la apertura de las tres fases. En cualquier caso, esta interrupción en la distribución eléctrica puede provocar que el servicio se vea afectado parcial o completamente, lo que implica que la energía eléctrica puede salir de manera intermitente o incluso dejar de funcionar por completo. *Castaño (2004)*.

2.9.3 Tipos de Cortocircuitos

Se considera falla a cualquier desviación o perturbación no planificada respecto a las condiciones normales de funcionamiento de un sistema eléctrico de potencia, la cual genera una perturbación transitoria o permanente en sus variables eléctricas. Las fallas pueden clasificarse en: internas, asociadas al propio sistema de potencia (como cortocircuitos o defectos de aislamiento), y externas, originadas por factores ajenos al sistema (como fallas en equipos de protección, sobrecargas, descargas atmosféricas, contaminación ambiental o acciones humanas).

Cabe destacar que la tasa de ocurrencia de fallas es mayor en los sistemas de baja tensión, debido a la mayor cantidad de componentes y dispositivos conectados en comparación con los sistemas de alta tensión. *Castaño (2004)* en la siguiente imagen se muestra los tipos de fallas (*Figura 2.23*).

Figura 2.23. Tipos de fallas en sistemas de potencia por cortocircuito.

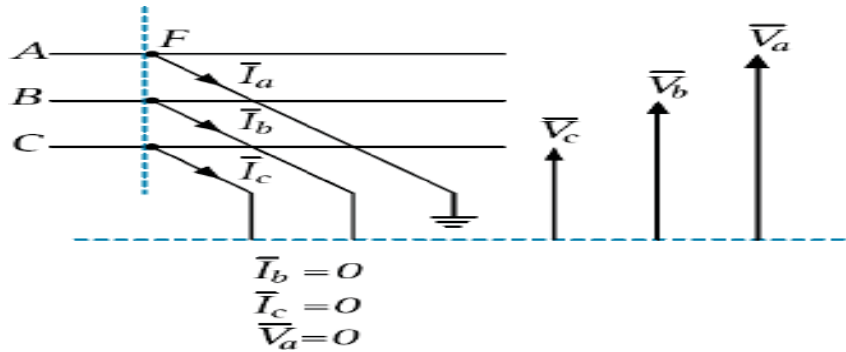


Fuente: Castaño (2004).

2.9.3.1 Fallas Monofásicas

Una falla monofásica es una condición anormal en un sistema eléctrico donde una sola fase de corriente alterna sufre una interrupción o perturbación, mientras que las otras dos fases continúan operando normalmente. Esta falla puede ser causada por cortocircuitos, sobrecargas u otros problemas en una fase específica del sistema eléctrico. (Laza, 2010).

Figura 2.24. Falla monofásica.

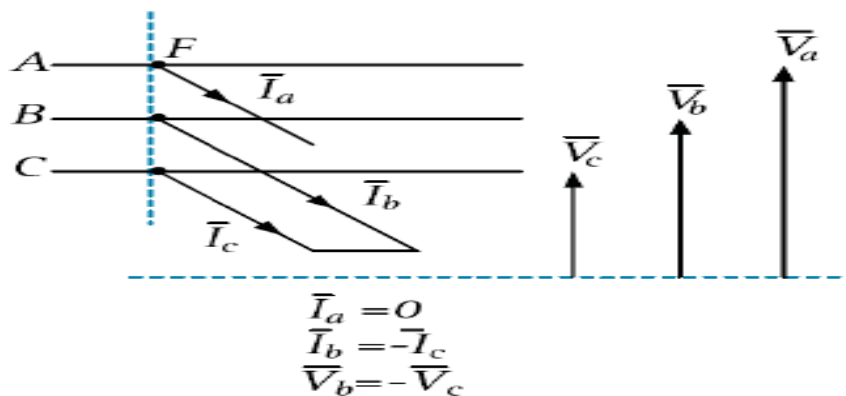


Fuente: (Laza, 2010). Coordinación de protecciones de una red.

2.9.3.2 Fallas Bifásicas (Fase-Fase)

Una falla bifásica es una condición en las dos de las tres fases que conforman un sistema eléctrico trifásico experimentan una interrupción o perturbación, mientras que la tercera fase permanece operativa. Esto puede ocurrir debido a problemas en dos de las fases, como cortocircuitos, o por problemas de desequilibrio en el sistema. (Laza, 2010).

Figura 2.25. Fallas bifásicas (Fase - Fase).

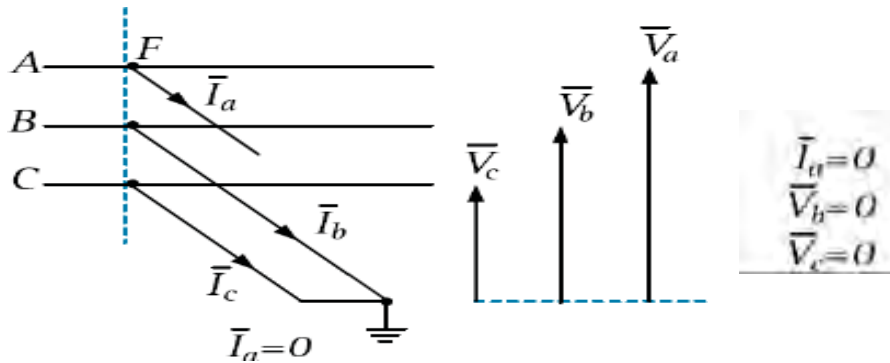


Fuente: (Laza, 2010). Coordinación de protecciones de una red.

2.9.3.3 Fallas Bifásicas a tierra (Fase a Tierra)

Las fallas bifásicas a tierra son situaciones anormales en sistemas eléctricos donde dos fases de corriente alternan hacen contacto con tierra o masa, creando un cortocircuito entre las fases y la tierra. (Laza, 2010).

Figura 2.26. Falla Bifásica a Tierra.

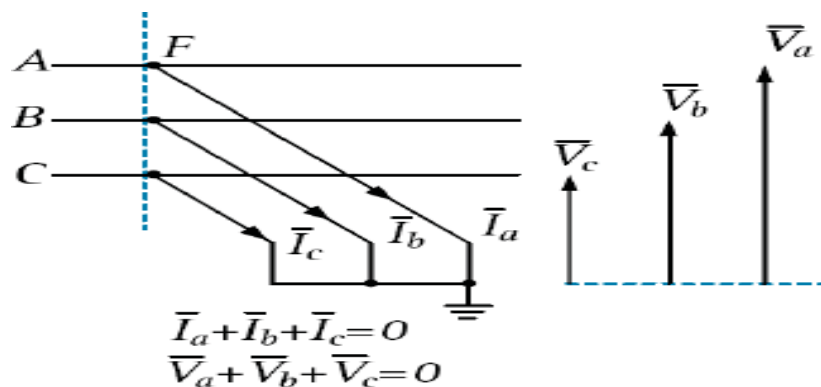


Fuente: (Laza, 2010). Coordinación de protecciones de una red.

2.9.3.4 Fallas Trifásica

Una falla trifásica se refiere a un evento en un sistema eléctrico trifásico en el cual se produce un cortocircuito o Un funcionamiento anómalo que impacta de manera simultánea a las tres fases del sistema eléctrico. Durante una falla trifásica, Las tensiones y corrientes de las tres fases sufren variaciones importantes y, generalmente, se ven severamente afectadas, se generan condiciones de alto estrés en el equipo eléctrico. (Laza, 2010)

Figura 2.27. Diagrama de Falla Trifásica.



Fuente: (Laza, 2010). Coordinación de protecciones de una red.

2.10 Frecuencia de Ocurrencia de Tipos de Fallas

En la siguiente tabla se verifica el porcentaje de fallas ocurridas en las distintas fases.

Tabla 2.2. Frecuencia de ocurrencias por tipo de fallas.

TIPO DE FALLA	PORCENTAJE OCURRENCIA
MONOFÁSICA	70 % - 80 %
BIFÁSICA A TIERRA	17 % - 10 %
BIFÁSICA	10 % - 8 %
TRIFÁSICA	3 % - 2 %

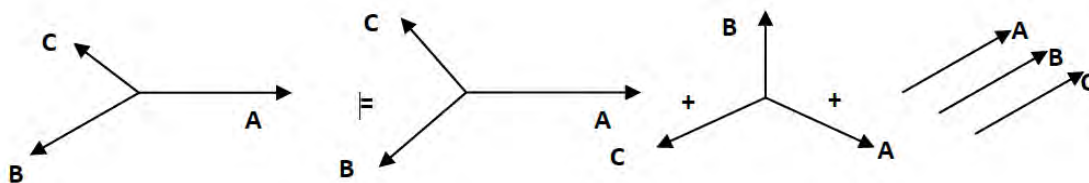
Fuente: (Gomez Carmona & J. Zapata, 2007)

2.10.1 El Método de Componentes Simétricas Fortescue

Método de Fortescue se utiliza para estudiar y resolver problemas en sistemas eléctricos trifásicos desequilibrados, como cortocircuitos, desequilibrios de carga y otros eventos anormales. Al descomponer el sistema en componentes simétricas, los ingenieros eléctricos pueden realizar cálculos y análisis de manera más sencilla, lo que facilita la detección y resolución de problemas.

- 1. Componentes de secuencia positiva:** Compuesto por tres fasores iguales, separados 120° y con idéntica secuencia de fase del sistema original.
- 2. Componentes de secuencia negativa:** Integrado por tres fasores iguales, separados 120° y con secuencia de fases inversa a la original.
- 3. Componentes de secuencia cero:** Forma tres fasores iguales y con desfase nulo.

Figura 2.28. Fasores de Componentes.



Fasores Desbalanceados. Secuencia Positiva. Secuencia Negativa. Secuencia Cero.

Fuente: (Gomez Carmona & J. Zapata, 2007).

2.10.2 Fallas de Acuerdo a su Duración

2.10.2.1 Fallas transitorias

Una falla transitoria es una interrupción temporal o una perturbación en un sistema eléctrico que dura solo un corto período de tiempo, generalmente unos pocos ciclos de corriente alternan. Estas fallas suelen ser de naturaleza y pueden deberse a diversas causas, como fluctuaciones de voltaje, sobretensiones, cortocircuitos temporales, cambios en la carga o eventos climáticos.

2.10.2.2 Fallas permanentes

La falla permanente provoca una interrupción sostenida del sistema debido a una condición anormal no temporal y sostenida del flujo de electricidad en una parte específica del SEP.

2.11 Demanda de Energía Eléctrica

En el mercado eléctrico, la demanda, la oferta y la regulación constituyen los factores determinantes de su funcionamiento, estando influenciados por variables de comportamiento complejo propias del sector energético. La demanda representa la potencia solicitada por los usuarios en un momento específico. El estudio de la curva de demanda máxima, el consumo de energía de los usuarios y la curva de carga, desagregada en sus distintos componentes de demanda.

2.11.1 Demanda Promedio

Es la potencia promedio solicitada por el sistema durante un intervalo de tiempo específico, expresada generalmente en kW o kVA.

2.11.2 Demanda Máxima

Consiste en evaluar las necesidades de carga durante un periodo determinado, caracterizándose por una duración breve respecto al intervalo analizado. Para definir la demanda máxima es necesario establecer previamente el intervalo de medición. La carga puede representarse en unidades por unidad (p.u.) en relación con la carga pico del sistema.

2.11.2.1 Comportamiento de la Demanda

I. Demanda Industrial

La demanda industrial corresponde al consumo eléctrico de fábricas, industrias extractivas y centros productivos, caracterizándose por altos requerimientos de potencia activa y reactiva, así como elevados factores de carga y perfiles de consumo continuos. Presenta picos transitorios de potencia derivados del arranque de motores, hornos eléctricos y maquinaria pesada, lo que exige sistemas adecuados de protección, compensación de reactivos y control de la calidad de energía.

II. Demanda Residencial

La demanda residencial corresponde al consumo eléctrico de hogares, tanto unifamiliares como multifamiliares. Se distingue por el uso de equipos de baja potencia, como iluminación, electrodomésticos, sistemas de climatización y dispositivos electrónicos. Este consumo condiciona el diseño de las redes de distribución secundaria, donde la estabilidad y la confiabilidad del suministro resultan fundamentales.

2.11.3 Proyección de la demanda eléctrica

Estimación futura del consumo eléctrico basada en tendencias históricas, crecimiento poblacional y desarrollo económico, utilizada para planificar infraestructura y garantizar un suministro confiable. Permite proyectar la demanda futura, estimando energía y potencia requeridas en un periodo definido, sirven de base para estudios que determinan necesidades eléctricas a corto, mediano y largo plazo.

2.11.4 Eficiencia energética

Considera las transformaciones que reducen la energía requerida para generar una unidad de actividad económica o cubrir las necesidades energéticas de los servicios utilizados por las personas, manteniendo o mejorando los niveles de confort y calidad de vida.

2.12 Continuidad en el Servicio Eléctrico

2.12.1 Continuidad de Suministro Eléctrico

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) establece los criterios para garantizar la continuidad del suministro eléctrico, definiendo indicadores, límites máximos de interrupciones (frecuencia y duración) y obligaciones de las empresas distribuidoras, con el fin de asegurar un servicio confiable y de calidad para los usuarios.

2.12.2 Confiabilidad de los Sistemas Eléctricos

Se refiere a la capacidad de un sistema eléctrico que funciona de forma continua y sin interrupciones, garantizando un suministro de energía estable y confiable para los usuarios.

✓ Fiabilidad

La fiabilidad es una medida más específica de la confiabilidad y La atención se centra en la probabilidad de que un sistema sin problemas durante un período de tiempo determinado.

2.12.3 Indicadores de Calidad de Suministro

Según el procedimiento n.º 074-2004-OS/CD de OSINERGMIN mediante dos indicadores principales, calculados en períodos de monitoreo semestrales. Esta metodología permite el monitoreo de la continuidad, confiabilidad y rendimiento del suministro eléctrico a los usuarios y garantiza el cumplimiento de las normas regulatorias aplicables.

2.12.3.1 Número Total de Interrupciones por Cliente por Semestre (N)

Se define como el número total de cortes de suministro eléctrico por cliente durante un período de monitoreo de seis meses, representado por N y expresado como cortes por semestre. Los cortes de suministro programados derivados de la expansión o el refuerzo de la red se incluyen en el cálculo del indicador con un factor de ponderación del 50% para reflejar con precisión su impacto en la continuidad y la fiabilidad del suministro eléctrico.

2.12.3.2 Duración Total Ponderada de Interrupciones por Cliente (D)

Se define como la suma de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones del suministro eléctrico por cliente durante un período de seguimiento de seis meses, cuantificando así el impacto temporal global de las interrupciones en la continuidad de los servicios.

$$D = \sum k_i * d_i \text{ (Expresado en horas)}$$

Donde:

d_i : Es la duracion de la interrupcion

k_i : Factores de ponderacion de la duracion por tipo de interrupcion

$k_i = 0.25$: Para interrupciones en redes por expansion o reforzamiento.

$k_i = 0.50$: Para interrupciones en redes, por mantenimiento.

$k_i = 1$: Considerado para otro tipo de interrupciones.

Las interrupciones programadas son cortes de energía previamente planificados para realizar trabajos de mantenimiento, mejora o ampliación de las redes eléctricas. Estos cortes deben contar con la autorización correspondiente y comunicarse a los usuarios con al menos 48 horas de anticipación, indicando claramente el inicio y fin del servicio. Si la duración real difiere de lo previsto, esa variación se considera en el cálculo de los indicadores de confiabilidad, de modo que reflejen de forma justa la continuidad y eficiencia del suministro eléctrico.

$k_i = 0$: Si la duracion real es menor a la programada.

$k_i = 1$: Si la duracion real es mayor a la programada

2.12.4 Tolerancias de Calidad de Suministro

Las tolerancias de los indicadores de Calidad de Suministro dependen del nivel de tensión al que están conectados los usuarios. Por ello, se fijan límites distintos que permiten evaluar con mayor precisión la continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico, considerando la importancia del suministro y el tipo de conexión de cada cliente.

Tabla 2.3 Numero de Interrupciones por Cliente (N”).

Cientes en Muy Alta y Alta Tensión	2	Interrupciones/semestre
Calientes en Media Tensión	4	Interrupciones/semestre
Cientes en Baja Tensión	6	Interrupciones/semestre

Fuente: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

Tabla 2.4 Duración Total Ponderada de Interrupciones por Cliente.

Cientes en Muy Alta y Alta Tensión	4	Horas/semestre
Calientes en Media Tensión	7	Horas/semestre
Cientes en Baja Tensión	10	Horas/semestre

Fuente: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

En resumen, la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) define los lineamientos técnicos que garantizan un servicio eléctrico seguro, continuo y confiable, promoviendo la satisfacción de los usuarios mediante estándares de desempeño bien establecidos y sistemas de compensación cuando estos no se cumplen.

2.13 Índices establecidos por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin)

2.13.1.1 System Average Interruption Frequency Index, Índice de Frecuencia de Interrupciones Promedio del Sistema SAIFI

Este indicador muestra cuántas veces, un usuario del sistema eléctrico sufre cortes de energía a lo largo de un año. Para obtenerlo, se consideran tanto los clientes que han sido afectados como aquellos que no, y su cálculo se basa generalmente en una fórmula matemática específica.

$$SAIFI = \frac{\text{Numero de interrupciones a dichos usuarios}}{\text{Numero total de usuarios}} \left[\frac{\text{int.}}{\text{año}} \right]$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{N}$$

Donde:

U_i : Número de usuarios afectados por cada interrupción i .

N : Número total de usuarios del sistema eléctrico al que pertenece.

2.13.1.2 System Average Interruption Duration Index, o Índice de Duración de Interrupciones Promedio del Sistema SAIDI

Este indicador refleja cuántas veces, un usuario del sistema eléctrico enfrenta interrupciones del servicio a lo largo de un año, sin importar si ha sido afectado de manera directa o indirecta por estos eventos.

$$SAIDI = \frac{\text{Suma de duración de las interrupciones} \left[\frac{\text{Hrs.}}{\text{año}} \right]}{\text{Número total de usuarios}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n T_i * U_i}{N}$$

Donde:

U_i : Número de usuarios afectados por cada interrupción i .

N : Número total de usuarios del sistema eléctrico al que pertenece.

T_i : Número total de usuarios del sistema eléctrico al que pertenece.

2.13.2 Calidad de Producto conforme a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)

La calidad de Producto, la cual, según el Decreto Supremo DS-009-1999-EM, establece las tolerancias admitidas para el suministro eléctrico, indicando los criterios y límites que deben cumplirse para garantizar la confiabilidad y estabilidad del servicio.

- ✓ **Tolerancias.** - Las **tolerancias de tensión** son los rangos permitidos alrededor del voltaje nominal en los puntos de distribución: $\pm 5\%$ en la mayoría de los casos y $\pm 7,5\%$ en redes

secundarias de áreas urbano-rurales. Si el voltaje excede estos límites más del 5 % del tiempo, se considera que la calidad del suministro es deficiente.

- ✓ **Indicador de Calidad.** - Se mide la desviación del suministro eléctrico comparando la tensión promedio cada 15 minutos con la tensión nominal del punto de llegada, permitiendo evaluar si cumple los estándares de calidad establecidos.

2.13.3 Comunicación de Interrupciones Importantes

Una interrupción significativa afecta al sector público, más del 5 % de usuarios o 5 000 consumidores. OSINERGMIN exige reportarla en 12 horas, detallando ubicación, sistema, tiempos, causas y usuarios afectados.

2.13.4 Código de Causa de Interrupciones

OSINERGMIN, mediante la Resolución N° 074-2024-OS-CD, establece un código de interrupciones para supervisar los sistemas eléctricos, el cual debe coincidir con la clasificación definida en la Norma Técnica de Calidad de Servicio.

Tabla 2.5. Código causa de interrupciones según OSINERGMIN.

Descripción	Código OSINERGMIN	Naturaleza Interrupción	Responsable
Otros, falla humana	39	NF	O
Cuando la interrupción es causada por otra compañía.	38	NT	O
Varios, causado por otra compañía externa	37	NT	O
Déficit de generación	36	NR	O
Falla sistema interconectado	35	NT	O
Por Expansión mediante la ampliación o reforzamiento de las redes	34	PE	O
Por Mantenimiento, labores de conservación y reparación	33	PM	O
Otros fenómenos naturales	32	NC	F
Sismo	31	NC	F
Inundaciones	30	NC	F
Fuertes vientos	29	NC	F
Descarga atmosféricos	28	NC	F
Otros, causados por terceros	27	NT	T
Pedido de Autoridad	26	NO	T
Contacto accidental con línea	25	NT	T
Picado de cable	24	NT	T
Caída de árbol	23	NT	T
Robo de cableado o componente eléctrico	22	NT	T
Vandalismo	21	NT	T
Impacto Vehicular	20	NT	T
Cometas	19	NT	T
Aves	18	NT	T
Otras incidencias debido a fallos en componente(s) del sistema de energía	17	NF	P
Daño en el cableado por parte de nuestro propio personal	16	NF	P
Animales (felinos y roedores)	15	NF	P
Suspensión de emergencia (No contemplados en los mantenimiento en PM	14	NO	P
Error de maniobra	13	NO	P
Contacto entre conductores	12	NF	P
Conexión de la red con la estructura del edificio	11	NF	P
Contacto de red con árbol	10	NF	P
Caída de estructura	9	NF	P
Caída conductor de red	8	NF	P
Falla terminal cable	7	NF	P
Falla empalme de red	6	NF	P
Mal funcionamiento de equipos (Transformador, interruptor, seccionador de	5	NF	P
Nivel deficiente de aislamiento (Aislador dañado/Tensión inapropiada)	4	NF	P
Ajuste inadecuado de la protección	3	NF	P
Reforzamiento de redes o por expansión	2	PE	P
Por Mantenimiento	1	PM	P

Fuente: OSINERGMIN

2.14 Tolerancias en la Calidad de Servicios Eléctricos

Son límites aceptables de variación en parámetros como tensión, frecuencia y perturbaciones en el suministro eléctrico, estas establecen rangos máximos permisibles de desviación respecto a valores nominales, garantizando así un estándar mínimo de calidad. Cuando se exceden estas tolerancias, se considera que la calidad del servicio es deficiente, lo que puede originar compensaciones o sanciones conforme a la normativa vigente, la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) establece tolerancias que garantizan un suministro eléctrico estable y confiable, protegiendo a los usuarios y preservando la integridad del sistema, (Figura 2.29).

Figura 2.29. Valores límites de calidad de Suministro.

Valores Límites de Calidad de Suministro			
1	Valores Típico	Límites de Indicadores	Tolerancia
2	Por usuario afectado (NTCSE)	N° de interrupciones por usuario y por semestre	8 /sem.
		D: Duración ponderada de las interrupciones por usuario y por semestre	13 horas/sem.
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Frecuencia promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	5 /año
		SAIDI: Duración promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	9 horas/año
3	Por usuario afectado (NTCSE)	N: N° de interrupciones por usuario y por semestre	8 /sem.
		D: Duración ponderada de las interrupciones por usuario y por semestre	13 horas/sem.
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Frecuencia promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	7/año
		SAIDI: Duración promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	12 horas/año
4, 5 y SER	Por usuario afectado (NTCSE)	NIC: N° de interrupciones promedio por cliente y por semestre	10 /sem.
		DIC: Duración ponderada acumulada de interrupciones promedio por cliente por semestre	25 y 40 horas/año
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Frecuencia promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	12 y 24/ año
		SAIDI: Duración promedio de las interrupciones por usuarios del sistema eléctrico	16 y 40 horas/año

Fuente: (SIEN, 2018 Pg.28) Norma Técnica de Calidad de Suministros Eléctricos, (2008).

2.14.1 Normas

2.14.1.1 Normas Americanas (USA)

- ANSI: American National Standards Institute.
- ASA: American Standards Association.
- ASTM: American Society for Testing Materials.
- NEMA: Asociación Nacional de fabricantes Eléctricos.

2.14.1.2 Normas Europeas

- AFNOR: Asociación Francesa de Normalización (Francia).
- BSI: British Standards Institute, “Instituto Británico de Normas”.
- DIN: Deutsches Institut für Normung, “Instituto Alemán de normas” (Alemania).
- VDE: Asociación de Electrotécnicos Alemanes. (Alemania).
- UNE: Norma Española.

2.14.1.3 Normas Internacionales

- IEC: Internacional Electrotechnical Comisión.
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers “Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos”.
- ISO: International Organization for Standardization “Organización Internacional de Normalización” (internacional).
- SI: Sistema Internacional de Unidades.

2.14.1.4 Normas y Leyes Nacionales

- Ley de Concesiones Eléctricas (25844): Ley de concesiones eléctricas,
- Código Nacional de Electricidad – SUMINISTRO
- Norma DGE - “Terminología en Electricidad, Símbolos Gráficos En Electricidad”.

2.14.1.5 Normatividad Especifica

- Criterios de Ajuste y Coordinación de los Sistemas de Protección del SEIN – COES. – Para el estudio de coordinación de protecciones en redes eléctricas, en el ámbito peruano.
- Norma IEC 60909. – Esta normatividad se utilizó para adoptar, el modelo de las fallas en diferentes puntos, del sistema que comprende el estudio.
- Norma IEC 255 – 3. – Esta normatividad se utilizó para adoptar las curvas de tiempo inverso de los relés de sobre corriente.
- ANSI/IEEE Estándar C57.109 – 1985. – Esta Normatividad se utilizó para modelar, la curva de daño térmico y mecánico de los transformadores.
- ANSI/IEEE 242 – 1986. – Define curvas de capacidad de cortocircuito en 4 categorías basados en potencias e impedancias.
- IEEE – SRD 551 – USA 2006. – Recomendaciones prácticas para el cálculo de fallas en redes industriales y redes de distribución.

CAPITULO III

3. DIAGNÓSTICO DEL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN HU-04

3.1 Introducción

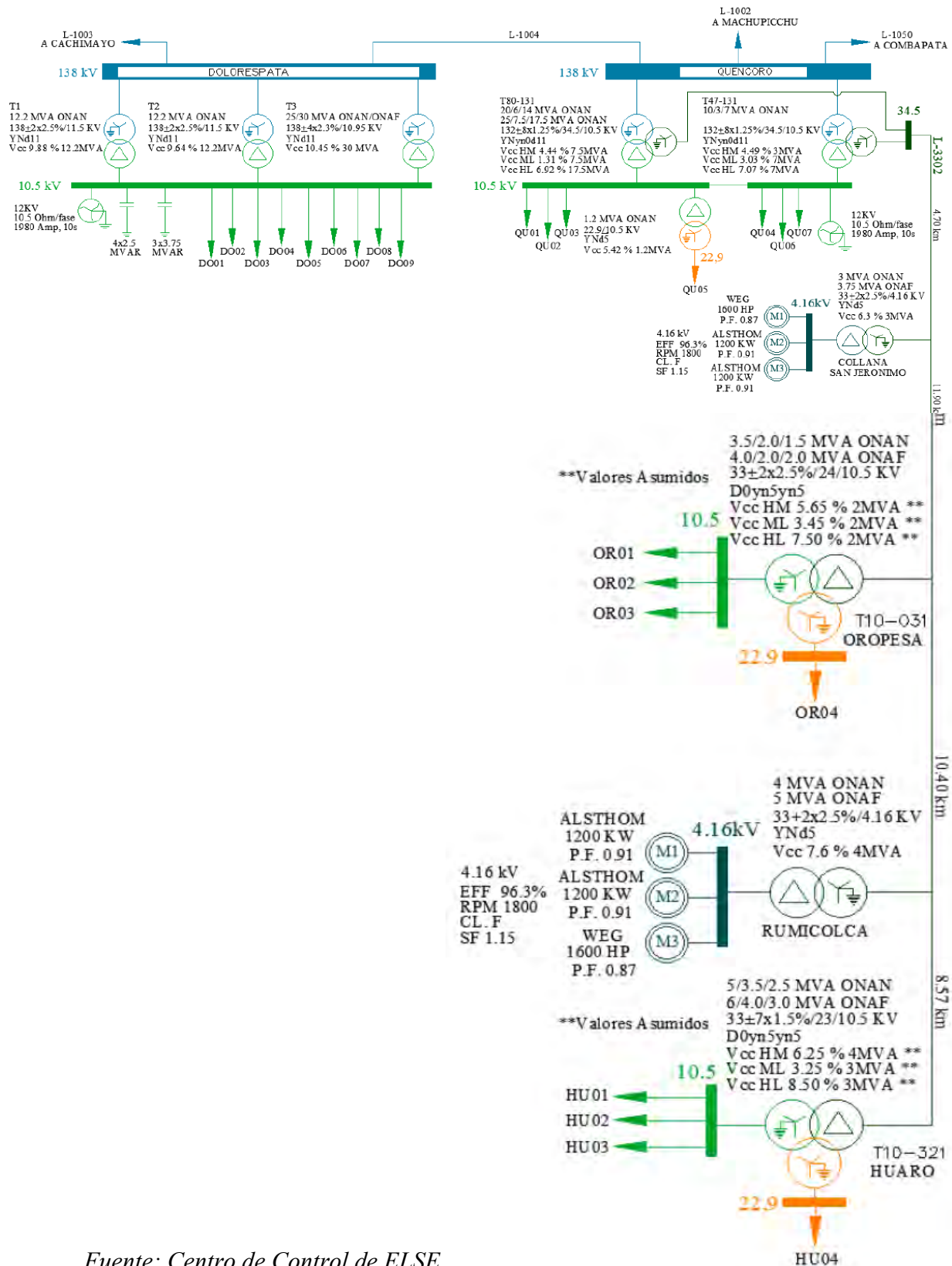
Este apartado describe el análisis del estado actual incluye un diagnóstico físico y operativo de los componentes de la subestación y del alimentador HU-04, describiendo Los elementos de infraestructura eléctrica del sistema en 22.9kV. Dicho alimentador abastece principalmente a los distritos mencionados en la *(Tabla 1.1)*.

Finalmente, se destaca que la empresa distribuidora ha avanzado en la actualización de su sistema de información geográfica (GIS), con información proporcionada por el centro de control de ELSE, lo cual ha permitido disponer de datos técnicos precisos, actualizados y confiables, fundamentales para la ejecución, validación y verificación de los estudios eléctricos desarrollados en el presente capítulo.

3.2 Descripción del Sistema Eléctrico de Subtransmisión y Distribución

El sistema eléctrico evaluado incluye redes y alimentadores de media tensión interconectados en dirección a una subestación de transformación de nivel alta y media tensión, conectada a su vez mediante redes de transmisión de 138 kV que aseguran el transporte corriente y tensión desde el sistema de potencia hacia las redes de distribución. En la *(Figura 3.1)*, detalla sus principales parámetros eléctricos, el diagrama unifilar representa el sistema de subtransmisión y distribución asociado a las subestaciones Dolorespata, Quencoro, Oropesa y Huaro, las cuales están interconectadas a la red de transmisión de 138 kV. Dicho sistema presenta derivaciones hacia Cachimayo, Machupicchu y Combapata, que suministran energía a las barras principales de las subestaciones Dolorespata y Quencoro, conformando la estructura troncal del subsistema eléctrico en análisis. Las particularidades técnicas de las subestaciones se detallan en la *(Tabla 3.1.)*.

Figura 3.1 Diagrama unifilar del centro de control de Electro Sur Este.



Fuente: Centro de Control de ELSE.

Tabla 3.1. Características técnicas de las subestaciones.

Instalación	Transformadores	Niveles de tensión (kV)	Capacidad (MVA / kW)	Alimentadores derivados
Subestación Quencoro	- T80-313: 20/26,7/33,3 MVA	138 / 22,9 / 10,5	20–33,3 MVA	QU01 (22,9 kV)
	- T47-313: 12,5/16,7/20,8 MVA		12,5–20,8 MVA	QU02 (22,9 kV)
Subestación Oropeza (T10-034)	5/3,5/2,5 MVA	34,5 / 22,9 / 10,5	Hasta 5 MVA	OR01, OR02, OR03 (10,5 kV) OR04 (22,9 kV)
Subestación Huaro (T10-321)	5/3,5/2,5 MVA	33 / 22,9 / 10,5	Hasta 5 MVA	HU01, HU02, HU03 (10,5 kV)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.2. Tramo del sistema Cusco – Valle Sagrado 2.



Fuente: Plan de inversiones del área de demanda 10 para mayo 2025 abril 2029 (OSINERGMIN, 2024).

3.3 Descripción del Subsistema de Distribución Huaro en Estudio

3.3.1 Transformador de Potencia de la Subestación de Huaro

Con la (Figura 3.1) representa el esquema unifilar del transformador de potencia T10-321, ubicado en la Subestación Huaro, es un equipo trifásico con capacidad nominal de 5/3,5/2,5 MVA en refrigeración ONAN y 6/4/3,0 MVA en refrigeración ONAF, lo que le otorga versatilidad

operativa según el régimen térmico. Presenta una relación de transformación de $33 \pm 7 \times 1,5 \% / 23 / 10,5 \text{ kV}$, con conexión D0yn5yn5, lo cual permite una adecuada adaptación entre los distintos niveles de tensión del sistema.

Los valores de tensión de cortocircuito asumidos (V_{cc}) corresponden a distintos niveles de transformación que nos ayudan a definir el comportamiento del transformador bajo situaciones de falla y su capacidad para controlar corrientes de cortocircuito, que son:

- $V_{ccHM}=6,25\%$ a 4 MVA,
- $V_{ccML}=3,25\%$ a 3 MVA,
- $V_{ccHL}=8,50\%$ a 3 MVA.

Figura 3.3. Transformador de potencia Trifásico



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

En el lado de media tensión a 10,5 kV, se disponen tres alimentadores identificados como HU-01, HU-02 y HU-03, mientras que, en el nivel de 22,9 kV, se encuentra conectado el alimentador HU-04, lo que evidencia la función estratégica del transformador respecto a la entrega de energía y la confiabilidad del funcionamiento del sistema eléctrico local. El tramo de línea asociado al transformador tiene una longitud de 35,57 km desde la subestación de transformación de Quencoro. Este diagrama unifilar permite visualizar de manera sintética la configuración eléctrica del transformador, sus parámetros nominales, las conexiones de los alimentadores y los valores de cortocircuito asumidos, información fundamental para los estudios de coordinación de protecciones y análisis de fallas.

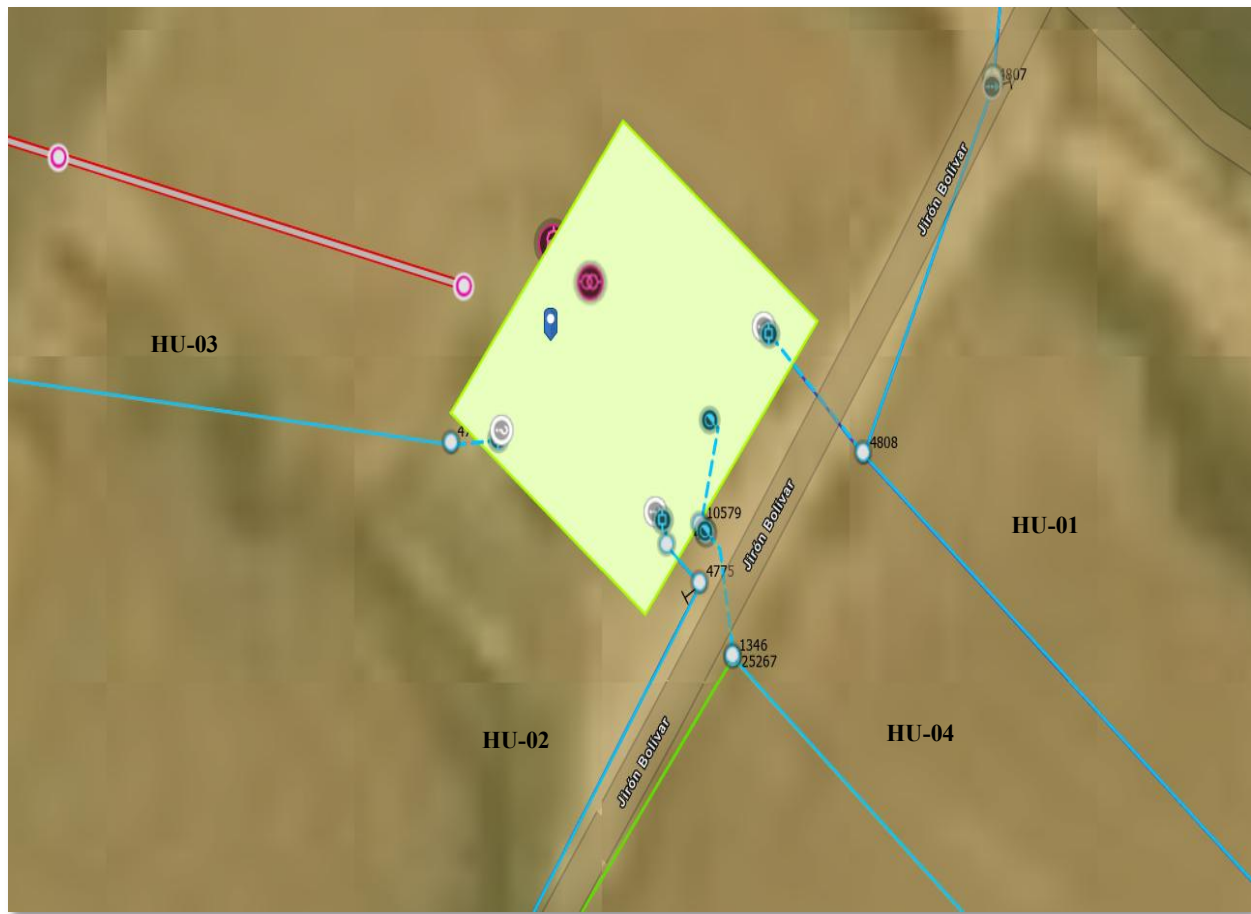
El subsistema eléctrico Huaro este encargado de abastecer la demanda de la Provincia de Quispicanchi mediante cuatro alimentadores de media tensión conectados en 22,9 kV y 10,5 kV de la Subestación Huaro. Estos alimentadores, configurados radialmente con esquemas de seccionamiento y respaldo, garantizan la continuidad, confiabilidad y flexibilidad operativa del suministro eléctrico hacia cargas urbanas, rurales e industriales. Se muestra en la *(Tabla 3.2) - (Figura 3.4)*.

Tabla 3.2. Alimentador de media tensión de la subestación eléctrica de Huaro.

ALIMENTADOR	DESCRIPCION
HU-01	Urcos y sus comunidades bajas funcionan con una tensión de 10,5 kV y una red de configuración radial.
HU-02	Huaro, trabaja a un nivel de tensión 10.5 kV y red topología es radial.
HU-03	Comunidades de Andahuaylillas, trabaja a un nivel de tensión 10.5 kV y red topología es radial.
HU-04	Distritos de Ccatcca, Pachanta, Ccarhuayo, Ocongate, Mahuayani y comunidades, trabaja a un nivel de tensión 22.9 kV y red topología es radial.

Fuente: Bases de datos de la empresa ELECTRO SUR ESTE.

Figura 3.4 Subestación Eléctrica de Huaró.



Fuente: GIS – Electro Sur Este S.A.A.

Los alimentadores de Huaró operan bajo una topología radial, configuración que, si bien limita la redundancia del suministro, simplifica la operación y el control del sistema. Estos alimentadores atienden cargas en un rango altitudinal de 3100 a 4500 m s. n. m., lo que demanda mayores exigencias en términos de aislamiento, desempeño dieléctrico y pérdidas eléctricas, debido a la menor densidad del aire y a las condiciones climáticas andinas. Entre los componentes más relevantes es el transformador de potencia, cuya correcta disposición requiere la adecuada ubicación de los alimentadores y de la sala de control, elementos esenciales para la operación y supervisión del sistema. En la siguiente imagen se presenta el plano perimétrico y la distribución en planta de la Subestación Huaró 33/22,9/10 kV, donde se evidencian la organización espacial.

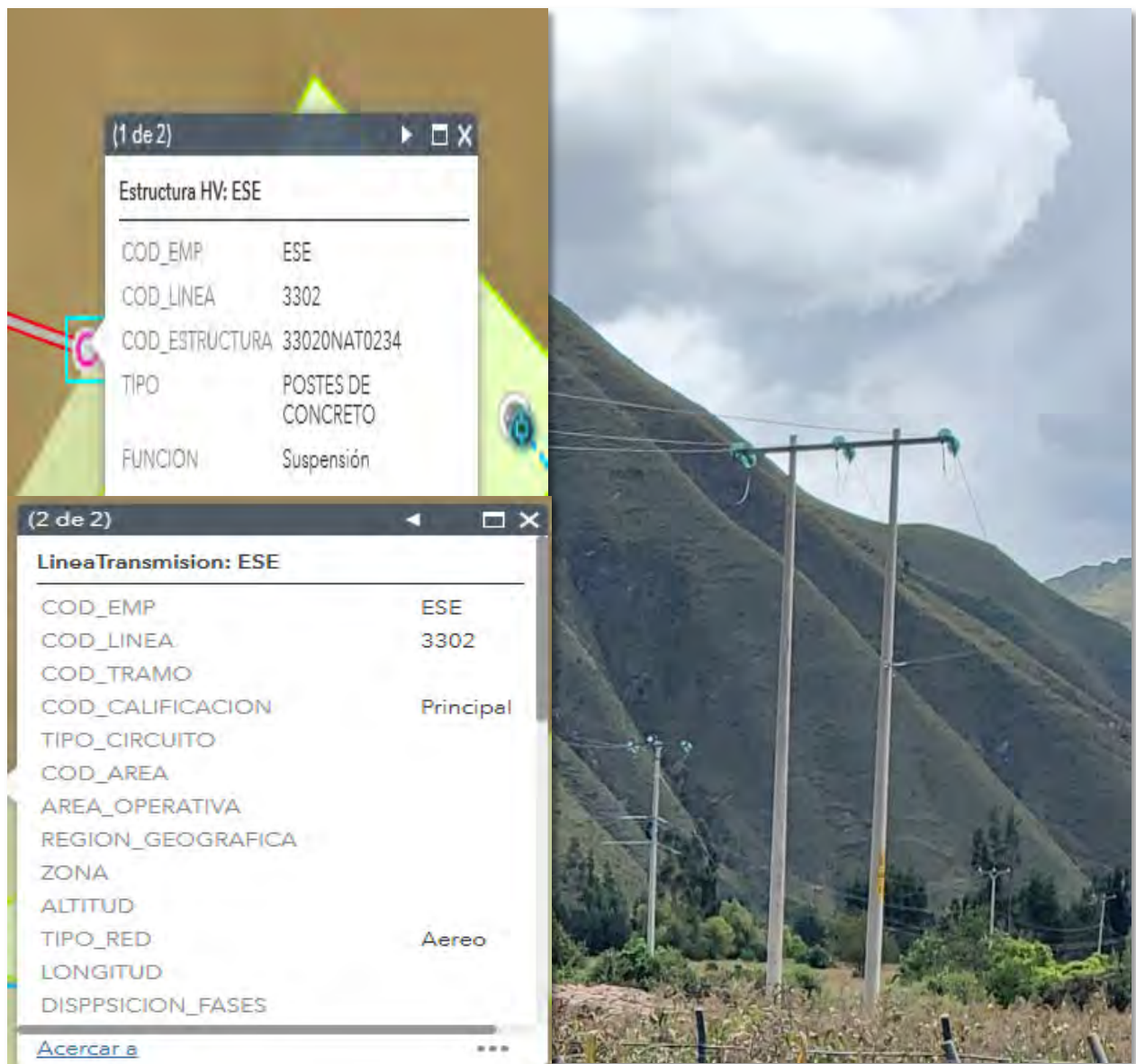
Fuente: (ELECTRO SUR ESTE, 2023).



3.3.2 Estructuras de Soportes de la Subestación de Huaro

La línea L-3302 viene del centro de transformación de Quencoro pasando por las subestaciones de distribución de Oropesa y llegando a la S.E. de Huaro, se aprecia en la (Figura 3.6), donde nos encontramos con una estructura de postes de concreto con armado trifásico tipo H de suspensión con cadena horizontal, este compuesto por 6 aisladores de vidrio de tipo suspensión, grapas de suspensión, crucetas de perfil angular y 02 postes de concreto.

Figura 3.6. Estructura de la línea L-3302 de la empresa ELSE.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo y Gis – ELSE.

La segunda estructura metálica de soporte correspondiente a una celda de una subestación eléctrica, donde se observan los principales componentes asociados a la protección y maniobra de redes de potencia en media tensión. En su parte superior se distinguen los aisladores tipo suspensión. En el nivel intermedio se identifican pararrayos o (DPS). En la parte inferior se ubican los gabinetes de control y medición, los cuales alojan equipos de instrumentación y protecciones asociadas al circuito, se aprecia la (Figura 3.7).

Arquitectura y configuración de una subestación de maniobra y transformación, diseñada bajo criterios de seguridad eléctrica y confiabilidad operacional, que asegura distancias de aislamiento adecuadas y la correcta disipación de corrientes de falla a tierra.

Figura 3.7. Estructura de la subestación de Huaro.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.3.3 DPS o Pararrayos de la Subestación de Huaró

Los DPS (dispositivos de protección contra sobretensiones), según se presenta en la (Figura 3.8), los cuales representan elementos críticos en los sistemas eléctricos de potencia, destinados a la mitigación de sobretensiones transitorias originadas por descargas atmosféricas, maniobras de conmutación o perturbaciones de la red. Estos equipos presentan un comportamiento dieléctrico no lineal, actuando como aislantes en condiciones nominales y derivando a tierra los incrementos súbitos de tensión en tiempos del orden de microsegundos, para luego recuperar su estado de aislamiento. Actualmente se utiliza un DPS de 35 kV para la proteger transformadores y equipos de media tensión.

Figura 3.8. Dispositivos de protección de la subestación de Huaró.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo

3.3.4 Aisladores de la Subestación de Huaro

En la subestación de Huaro se instalan aisladores de vidrio tipo suspensión 52-3, los cuales poseen una resistencia mecánica de 50 kN y un diseño en disco modular que permite su ensamblaje en cadenas de suspensión y anclaje como se observa en la (Figura 3.9). Estos aisladores cumplen la función de soportar mecánicamente los conductores de fase y, simultáneamente, garantizar su aislamiento eléctrico respecto a la estructura metálica, contribuyendo a la seguridad operativa y confiabilidad del sistema de potencia.

Figura 3.9. Aisladores de vidrio tipo suspensión 52-3.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo

3.3.5 Transformador de Corriente de la Subestación de Huaro

Se presentan tres transformadores de corriente en la subestación mencionada, tipo pedestal, acoplados a aisladores poliméricos tipo columna, diseñados para soportar esfuerzos mecánicos y asegurar la rigidez dieléctrica frente a las tensiones nominales del sistema, los dispositivos se visualizan en la (Figura 3.10). Estos equipos son esenciales en la medición y protección, al transformar la corriente primaria en valores secundarios normalizados para relés, sistemas de control e instrumentación. La nomenclatura TT-332 permite su identificación operativa dentro del esquema unifilar de la subestación y detallando las fases que tiene la subestación, garantizando una gestión eficiente bajo criterios de seguridad, confiabilidad y selectividad en la protección, fundamentales para la estabilidad S.E.P.

Figura 3.10. Transformadores de Corriente.

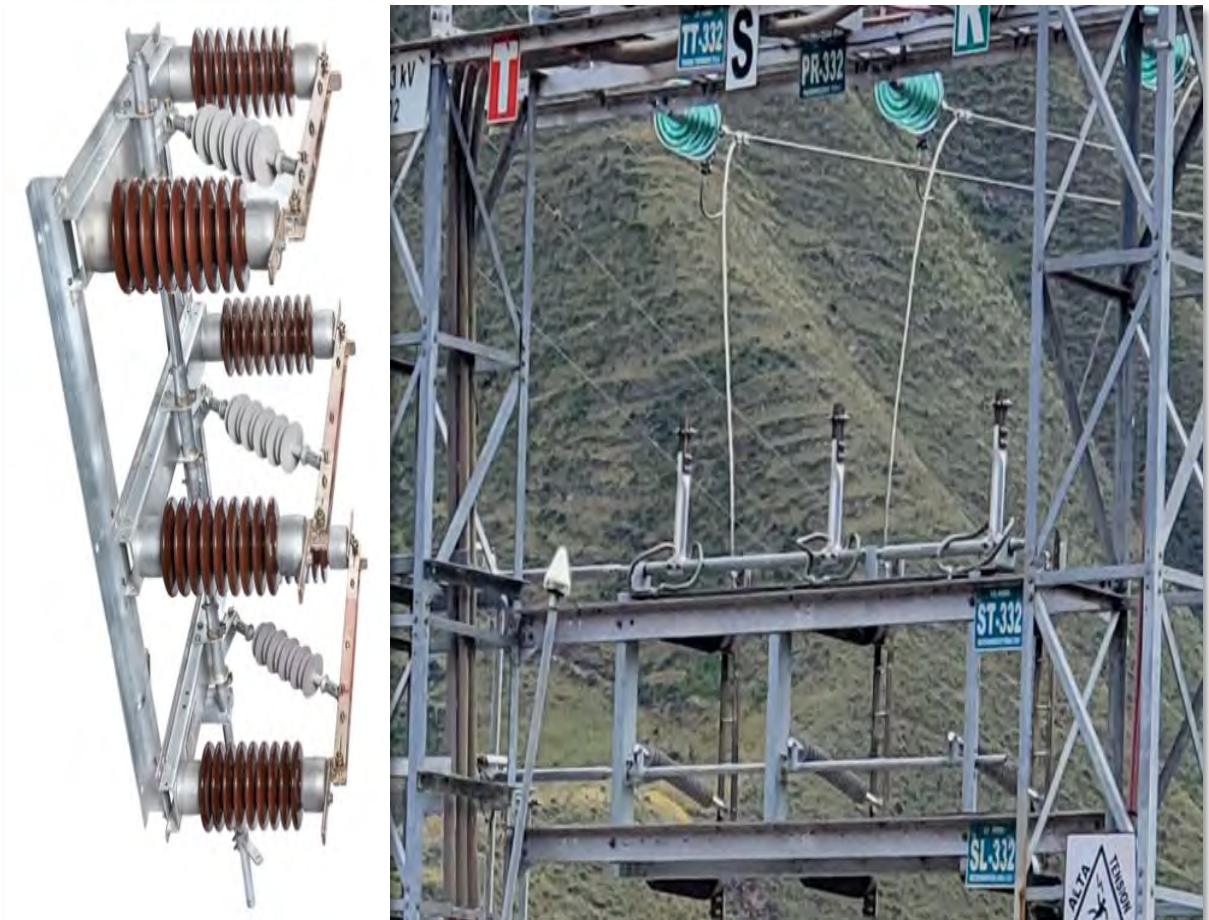


Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.3.6 Seccionadores de la Subestación Huaro

La subestación de Huaro cuenta con un seccionador de cuchillas deslizantes, dispositivo de maniobra en vacío cuya operación de apertura y cierre de contactos se efectúa en dirección longitudinal, de abajo hacia arriba. Este tipo de seccionador es ampliamente utilizado en sistemas de potencia debido a que optimiza el espacio físico requerido para su instalación, Esto lo convierte en una opción eficiente para subestaciones de configuración compacta; sin embargo, su principal limitación es que posee una capacidad de corte menor que los seccionadores de cuchillas giratorias, restringiendo su uso a maniobras sin carga y a funciones de aislamiento y seguridad operativa, tal como se observa en la (Figura 3.11).

Figura 3.11. Seccionador aislamiento con cuchillas deslizantes.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.3.7 Interruptores de Potencia de la subestación de Huaro

También encontramos los interruptores de potencia instalados en la subestación de Huaro, dispuestos sobre aisladores tipo columna, los cuales aseguran la rigidez dieléctrica necesaria frente a las tensiones nominales del sistema. Estos equipos desempeñan un papel esencial en la maniobra y protección de la red eléctrica, al posibilitar la apertura y el cierre controlado de circuitos Bajo condiciones operativas regulares y en casos de falla. La estructura metálica de soporte garantiza la estabilidad mecánica, incluyendo la correcta distancia de seguridad eléctrica, como se evidencia en la (Figura 3.12).

Figura 3.12. Interruptores de Potencia de la subestación de Huaro.



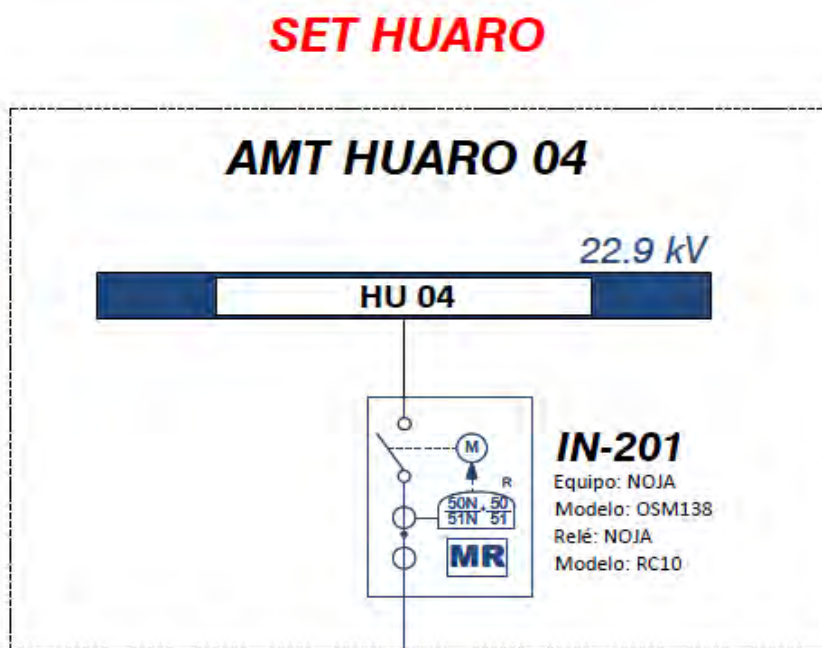
Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.4 Descripción del Sistema de Protección Actual

3.4.1 Reconectador Automático de Protección (RECLOSER) en la Salida HU-04

La *Figura 3.13* presenta el diagrama unifilar del AMT HUARO - 04 representa una sección del S.E.D en MT (22,9 kV), cuyo elemento principal es un reconectador automático identificado como IN-201. Esta representación constituye una herramienta esencial para el análisis operativo y de protección.

Figura 3.13. Diagrama del reconectador automático "IN-201".



Fuente: Centro de Control de ELSE.

El control RC10 de NOJA está diseñado para resolver las exigencias de protección y sistemas automatizados en las redes de distribución, lo que lo convierte en el centro de control del equipo y garantiza la coordinación y confiabilidad del sistema de distribución.

La (*Figura 3.14*) representa un punto de control y protección en un circuito de MT en 22,9 kV, donde un reconectador automático modelo OSM138 con controlador RC10 asegura la detección de fallas de fase y tierra, ejecutando la apertura y reconexión automática del circuito

para discriminar entre fallas transitorias y permanentes. Asimismo, se especifica que la línea de alimentación utiliza un conductor de aluminio de 50 mm², se presentan los datos en la (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Características del relé de Protección.

Equipo	NOJA (fabricante)
Modelo	OSM138
Relé	NOJA (fabricante)
Modelo	RC10
50N	Protec. de sobrecorriente de fase instantánea.
51N	Protec. de sobrecorriente de fase de tiempo retardado.
50	Protec. de sobrecorriente de tierra instantánea.
51	Protec. de sobrecorriente de tierra de tiempo retardado.

Fuente: Sistema de información de Electro Sur Este S.A.A.

Figura 3.14. Reconectador automático RC-21



RECONECTADORES - HUARO							
ALIMENTADOR	KV	MARCA	MODELO	FUNCIONES	TC	VT	OBS
HU04	22.9	NULEC		50/51P, 50/51N, 79	1/1		ELSE
	22.9	SEL	351R	50/51P, 50/51N, 79	1/1		ELSE
	22.9	SEL	351R	50/51P, 50/51N, 79			ELSE

Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.4.1 Transformador de Corriente en la Salida HU-04

En la salida de la subestación de HU-04 se aprecia un transformador de corriente (CT) de MT en 22.9 kV son dispositivos de instrumentación, reducen corrientes primarias elevadas a valores secundarios normalizados (1 A o 5 A), facilitando su uso en medición, protección y control sin comprometer la seguridad del sistema. Se basa en el efecto de inducción electromagnética para su funcionamiento, clasificándose TC de medida, orientados a precisión en facturación y monitoreo, y TC de protección, destinados a alimentar relés y disparar interruptores ante fallas. Entre sus especificaciones más importantes destacan la relación de transformación, la clase de precisión, el nivel de aislamiento y el factor térmico de seguridad, parámetros que garantizan un funcionamiento confiable tanto en operación normal como durante cortocircuitos, como se muestra en la siguiente (Figura 3.15).

Figura 3.15. Transformador de Corriente de 22.9 kV AMT HU-04.



Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.4.2 Seccionadores Deslizable o Seccionadores de Barra en la Salida HU-04

En la salida de la subestación de HU-04 se aprecia un seccionador de cuchillas deslizantes, dispositivo de maniobra en vacío cuya operación de apertura y cierre de contactos se efectúa en dirección longitudinal, de abajo hacia arriba. Este tipo de seccionador es ampliamente utilizado en sistemas de potencia debido a que optimiza el espacio físico requerido para su instalación, Esto lo convierte en una opción eficiente para subestaciones compactas; sin embargo, su principal limitación es que tiene una capacidad de corte menor que los seccionadores de cuchillas giratorias, lo que restringe su uso a maniobras sin carga y a funciones de aislamiento y seguridad operativa, tal como se observa en la (Figura 3.16). Todos los mencionados se aprecian en el (Anexo 4).

Figura 3.16. Seccionador de barrada de 22.9 kV AMT HU-04.

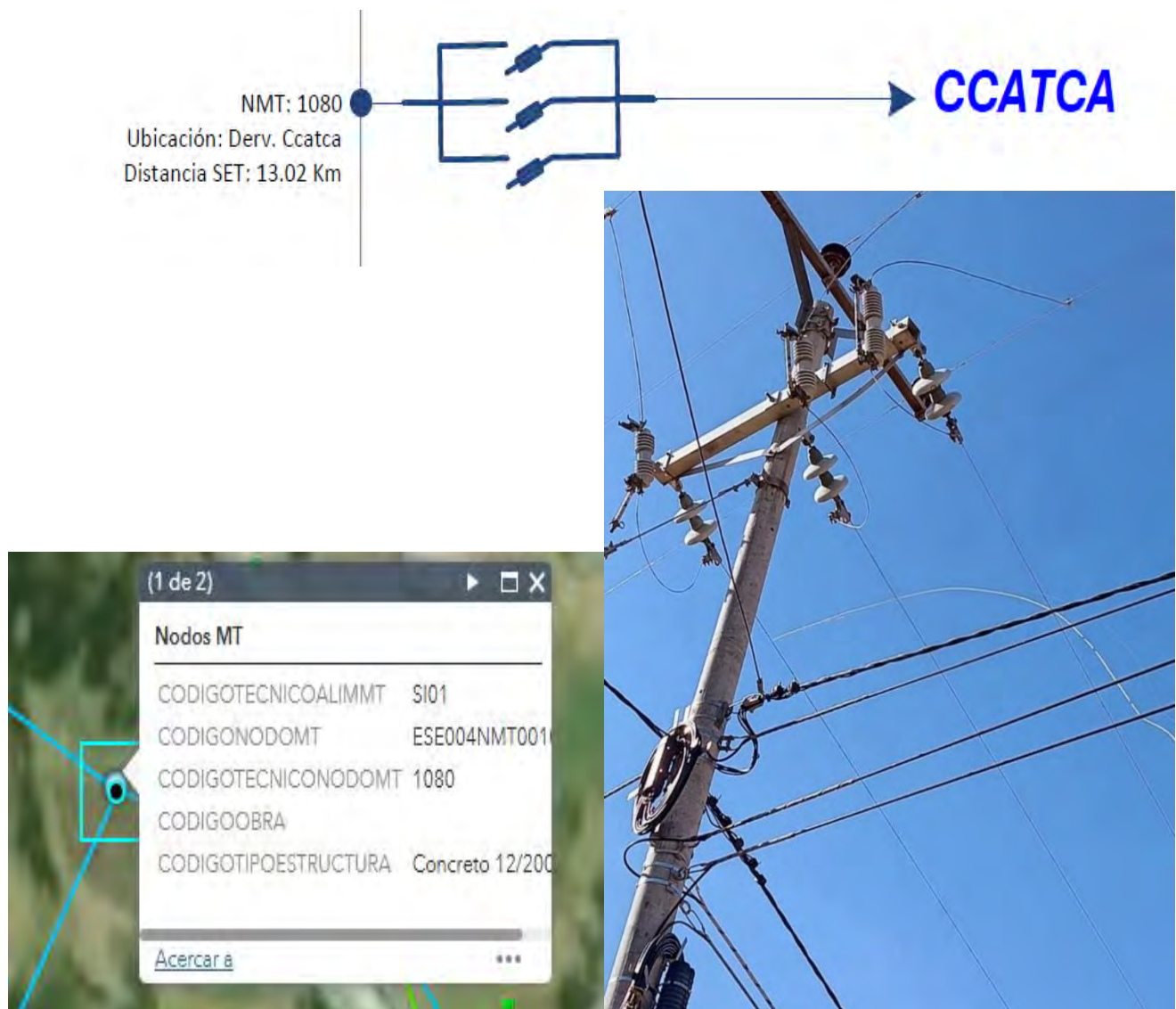


Fuente: Propia, fotografía tomada en campo.

3.4.3 Nodo de Media Tensión 1080, Derivación Eléctrica en la Localidad de Ccatcca

En la (Figura 3.17) pertenece al Nodo de Media Tensión (NMT – 1080), El sistema se encuentra ubicado en la derivación Ccatcca, a 13,02 km de la (SET). Desde el nodo de conexión, se dispone un conjunto de tres seccionadores de tipo Cut Out en paralelo, cuya función es proporcionar maniobrabilidad y aislamiento de la línea durante las operaciones normales o de mantenimiento.

Figura 3.17. Esquema unifilar de la derivación del NMT -1080.

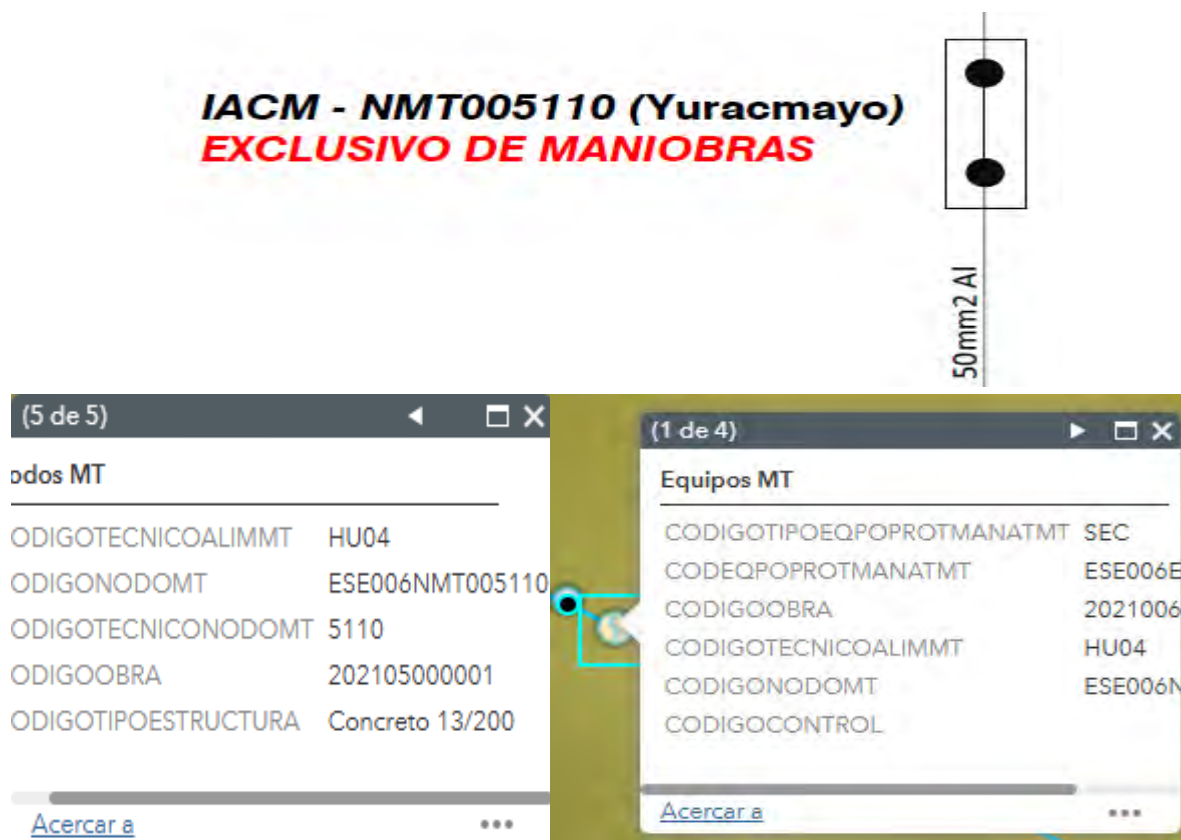


Fuente: Área de GIS de ELSE y Centro de Control de ELSE.

3.4.4 Interruptor o Seccionador Aéreo de Corte en Media Tensión (IACM) - Sistema de Protección Urcos - Ccatcca

Muestra la (Figura 3.18) el nodo de media tensión (NMT 5110, Yuracmayo - Ccatcca) es un dispositivo clasificado como exclusivo de maniobras, utilizado para la apertura y cierre de circuitos en condiciones normales de operación, sin estar diseñado para protección contra corrientes de falla. El símbolo representado corresponde a un seccionador de dos polos, dispuesto en un rectángulo, reflejando su función en el control de la continuidad eléctrica en el sistema. La línea asociada utiliza un cable de aleación de aluminio con sección de 50 mm² lo que asegura una capacidad adecuada de transporte de corriente y resistencia mecánica frente a condiciones operativas.

Figura 3.18. Interruptor Aéreo de Corte en Media Tensión IACM-NMT005110.



Fuente: Área de GIS de ELSE y Centro de Control de ELSE.

3.4.5 Reconectador Automático RC-2036 - Sistema de Protección Ccateca - Ocongate

Muestra la (Figura 3.19) un reconectador automático en media tensión, identificado con el código RC-2036, ubicado en Pampacamara – Ocongate, a una distancia de 18,97 km de la (SET).

El equipo reconectador, el cual está diseñado para la protección, seccionamiento y restablecimiento automático del servicio eléctrico ante fallas transitorias o permanentes en la red de distribución. Asociado al reconectador, se encuentra un relé de protección SEL, modelo 351R-4, encargado de la detección, coordinación de fallas y selectividad mediante protección instantánea y temporizada. Sus especificaciones se muestran en la (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Características del fabricante y Características de las protecciones.

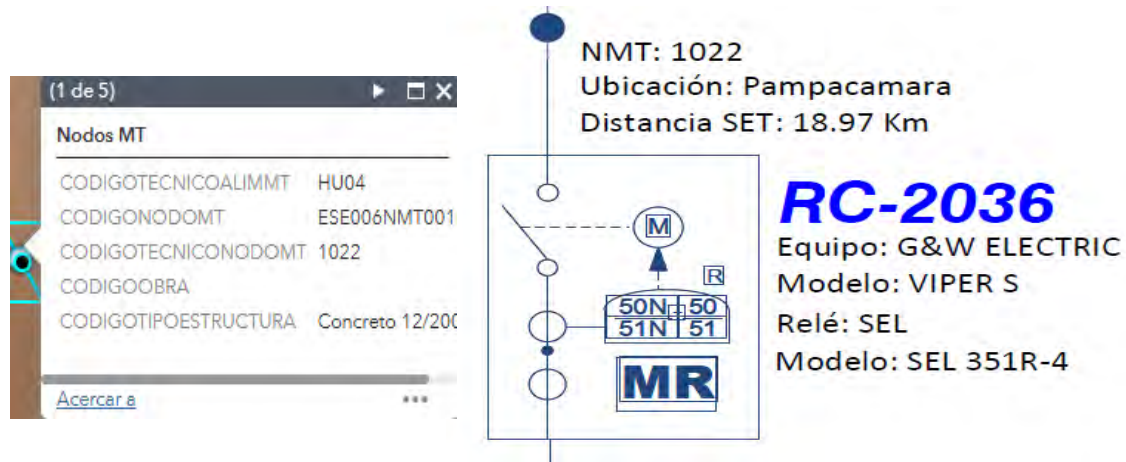
Equipo	G&W ELECTRIC (fabricante)
Modelo	VIPER S
Relé	SEL
Modelo	SEL 351R-4
50N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro o tierra.
51N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro o tierra.
50	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.
51	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.

Fuente: Sistema de información de Electro Sur Este S.A.A.

Se destaca también la incorporación de un mecanismo de operación motorizado (M) y un módulo de reconexión automática (R), que permite realizar maniobras de manera local o remota, mejorando notablemente la capacidad de respuesta del sistema eléctrico.

La implementación de reconectadores automáticos en la red de distribución es clave para garantizar la confiabilidad, la selectividad y la continuidad del suministro, ya que facilitan la restauración automática tras fallas transitorias y aseguran una coordinación eficiente con otros dispositivos de protección, tanto aguas arriba como aguas abajo, como se observa en la siguiente (Figura 3.19).

Figura 3.19. Esquema unifilar de un reconectador automático “RC-2036”.



Fuente: Área de GIS de ELSE y Centro de Control de ELSE.

3.4.6 Reconectador Automático RC – 2077 – Sistema de Protección Ccatcca - Ocongate

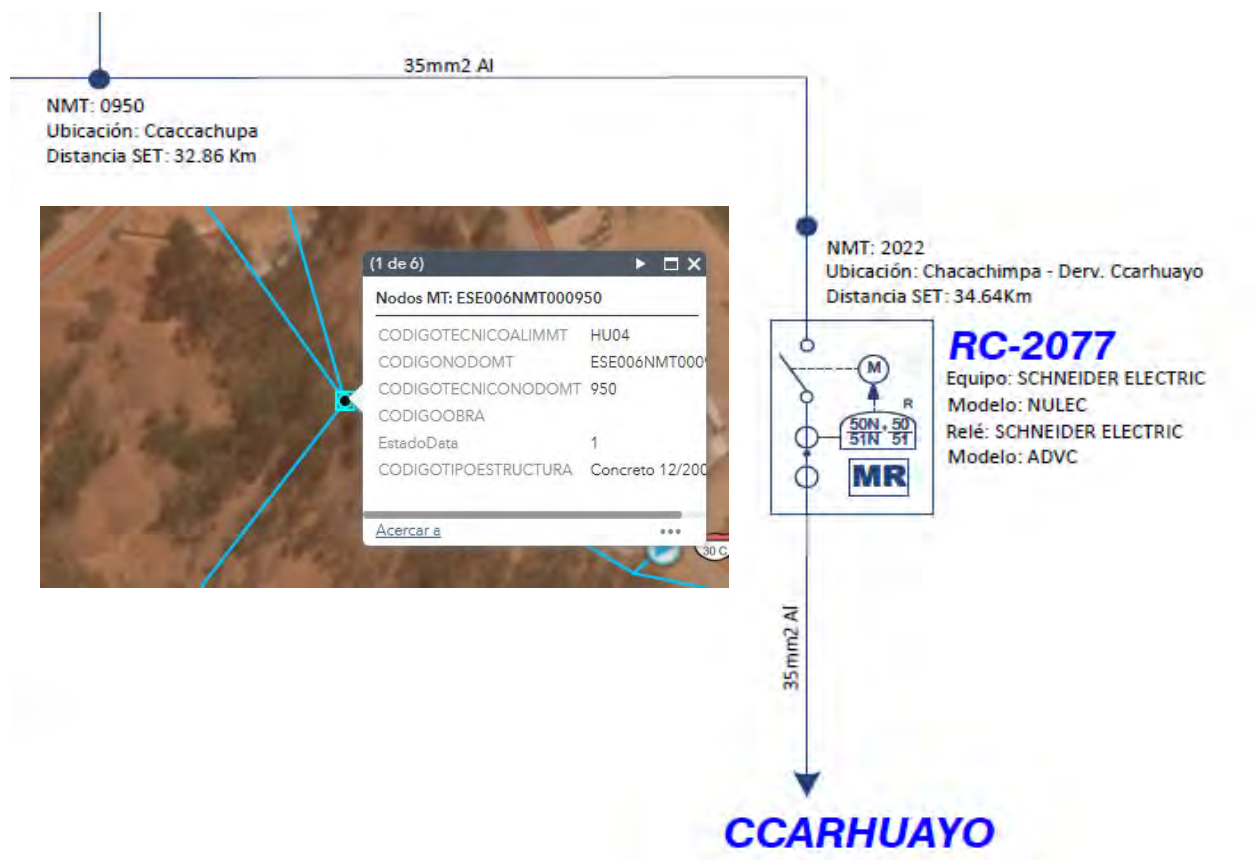
En la (Figura 3.20) El Nodo de Media Tensión NMT00950, ubicado en Ccacachupa – Ocongate a 32,86 km de la SET, distribuye energía a los distritos de Pachanta y Ccarhuayo. En el punto de derivación, a 34,64 km de la SET con Nodo de Media Tensión NMT002022, se instala el reconectador automático RC-2077, este está asociado a un relé de protección de marca Schneider Electric, modelo ADVC. La conexión a la línea principal se realiza mediante un conductor de aluminio en aleación, sección 35 mm², garantizando capacidad de transporte de corriente y resistencia mecánica en condiciones operativas. Sus especificaciones se muestran en la (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Características del fabricante y Características de las protecciones.

Equipo	SCHNEIDER ELECTRIC (fabricante)
Modelo	NUCLER
Relé	SCHNEIDER ELECTRIC
Modelo	ADVC
50N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro.
51N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro.
50	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.
51	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.

Fuente: Sistema de información de Electro Sur Este S.A.A.

Figura 3.20. Esquema Unificar del reconectador automático RC – 2077.



Fuente: Área de GIS de ELSE y Centro de Control de ELSE.

3.4.7 Reconectador Automático RC – 2035 – Sistema de Protección Ccatcca - Ocongate

Muestra la (Figura 3.21) y la (Figura 3.20) El Nodo de Media Tensión (NMT) 00950, ubicado en Ccacachupa – Ocongate a 32,86 km de la SET, distribuye energía a los distritos de Chacachimpa Huequeuno, Pachanta y Mahuayani, en la cual se identifican los nodos junto con los equipos destinados a maniobra y protección. En primera instancia se observa el nodo de MT de Chacachimpa con código. NMT002577, es un modo exclusivo de maniobra con la función de limitar el seccionamiento de la línea sin incluir elementos de protección, asimismo se aprecia el NMT001022, localizado en Huequeuno a 36.5 km de la SET, en allí se encuentra el reconectar automático RC-2035, este reconectador corresponde las características siguientes (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Características del fabricante y Características de las protecciones.

Equipo	G&W (fabricante)
Modelo	VIPER S
Relé	SEL
Modelo	SEL 351R-4
50N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro.
51N	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de neutro.
50	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.
51	Protec. de sobrecorriente instantánea y temporizada de fase.

Fuente: Sistema de información de Electro Sur Este S.A.A.

El dispositivo incorpora un mecanismo de operación motorizado (M) y un módulo de reconexión automática (R), lo que permite realizar operaciones tanto locales como remotas, incrementando la flexibilidad operativa y la continuidad del servicio.

Más adelante en la derivación, se identifican los nodos NMT: 1080 y NMT: 0978, ambos ubicados en Tinke, a distancias de 43,64 km y 43,71 km de la SET, respectivamente, donde se incluyen equipos de seccionamiento representados esquemáticamente. Desde estos puntos se proyectan las derivaciones que abastecen a las localidades de Pachanta y Mahuayani.

3.5 Características de las Subestaciones de 22.9 kV

A continuación, se muestran en cuadros los nombres, ubicación, potencia y relación de transformación de las subestaciones de distribución. (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Subestaciones del Alimentador HU-04.

Nº	SUBESTACION DE DISTRIBUCION	DIRECCION SED	TIPO SED	AMT	SED	RELACION DE TRANSFORMACION KV
1	CCUNUCUNCA	CCUNUCUNCA	TRIF	HU04	60040	50kVA 22.9/0.38kV
2	ANTENA CORPAC	ANTENA CORPAC	TRIF	HU04	60041	50kVA 22.9/0.38kV
3	CCATCCA	CALLE SANTA ANA	TRIF	HU04	60042	100kVA 22.9/0.38kV
4	PLAZA DE ARMAS CCATCA	CCATCCA	TRIF	HU04	60043	80kVA 22.9/0.38kV
5	CCATCCAPAMPA	CCATACCAPAMPA	TRIF	HU04	60046	50kVA 22.9/0.38kV
6	PAMPACAMARA 1	PAMPACAMARA BAJA	TRIF	HU04	60047	50kVA 22.9/0.44kV
7	CCATACAMARA SED REUBICADA	CCATCCA	TRIF	HU04	60049	80kVA 22.9/0.38kV
8	AUSARAY	AUSARAY	MON	HU04	60050	15kVA 22.9/0.44kV
9	JULLICUNCA	JULLICUNCA	TRIF	HU04	60051	25kVA 22.9/0.44kV
10	CARHUAYO	CARHUAYO	TRIF	HU04	60052	100kVA 22.9/0.22kV

11	CHACACHIMPA	CHACACHIMPA	TRIF	HU04	60053	100kVA 22.9/0.4kV
12	YANAMA	YANAMA	TRIF	HU04	60054	100kVA 22.9/0.38kV
13	CCOLCCA	CALLE PRINCIPAL	TRIF	HU04	60055	50kVA 22.9/0.38kV
14	LAURAMARCA	CALLE PRINCIPAL	TRIF	HU04	60056	25kVA 22.9/0.38kV
15	CUYUNI	CUYUNI	TRIF	HU04	60059	50kVA 22.9/0.38kV
16	HUACCOCHONI	CUYUNI	TRIF	HU05	60058	50kVA 22.9/0.38kV
17	PIÑIPUQIO	LLOCLLAPAMPA	TRIF	HU04	60060	50kVA 22.9/0.38kV
18	CCOPI ALTO	CCOPI ALTO	TRIF	HU04	60061	25kVA 22.9/0.44kV
19	ATAPATA	ATAPATA	TRIF	HU04	60062	25kVA 22.9/0.38kV
20	YURACMAYO	YURACMAYO	TRIF	HU04	60063	100kVA 22.9/0.38kV
21	UMUTO	UMUTO	TRIF	HU04	60064	100kVA 22.9/0.38kV
22	SONCCOMARCA	SONCCOMARCA	TRIF	HU04	60065	25kVA 22.9/0.38kV
23	KAURI	KAURI	TRIF	HU04	60066	160kVA 22.9/0.38kV
24	TINKI	PLAZA DE ARMAS	TRIF	HU04	60067	100kVA 22.9/0.38kV
25	CCOÑAMURO	CCOÑAMURO	MON	HU04	60068	25kVA 22.9/0.44kV
26	PINCHIMURO	CCATCCA	MON	HU04	60069	25kVA 22.9/0.44kV
27	CHECCASPAMPA	CALLE PRINCIPAL	TRIF	HU04	60070	30kVA 22.9/0.38kV
28	ANDAYAQUE	ANDAYAQUE	TRIF	HU04	60071	50kVA 22.9/0.38kV
29	SUMANA	SUMANA	TRIF	HU04	60072	25kVA 22.9/0.44kV
30	MARKUPATA	MARKUPATA	MON	HU04	60073	25kVA 22.9/0.44kV
31	CCAPANA	CCAPANA	TRIF	HU04	60074	50kVA 22.9/0.38kV
32	PARCCOCCALLA	PARCCOCCALLA	TRIF	HU04	60075	50kVA 22.9/0.38kV
33	HUEQUEUNO	HUEQUEUNO	TRIF	HU04	60076	75kVA 22.9/0.22kV
34	ANDAMAYO	ANDAMAYO	TRIF	HU04	60077	25kVA 22.9/0.44kV
35	SALLAC	SALLAC	MON	HU04	60101	25kVA 22.9/0.44kV
36	RODEANA	RODEANA	MON	HU04	60102	5kVA 22.9/0.44kV
37	CCOPI BAJO	CCOPI	MON	HU04	60105	25kVA 22.9/0.44kV
38	MAHUAYANI	CONUMIDAD DE MAHUAYANI	TRIF	HU04	60106	50kVA 22.9/0.38kV
39	PAMPACANCHA	PAMPACANCHA	TRIF	HU04	60107	25kVA 22.9/0.38kV
40	LAWA LAW	LAWA LAW	TRIF	HU04	60108	25kVA 22.9/0.38kV
41	KUCHUWASI	COMUNIDAD DE KUCHUWASI	MON	HU04	60109	15kVA 22.9/0.44kV
42	MALLMA	MALLMA	TRIF	HU04	60110	50kVA 22.9/0.38kV
43	URPIA	COM. CAM. URPIA	MON	HU04	60113	10kVA 13.2/0.44kV
44	ULLPO	COMUNIDAD DE ULLPO	MON	HU04	60115	37.5kVA 13.2/0.22kV
45	LLACHIC	COMUNIDAD DE LLACHIC	MON	HU04	60116	25kVA 13.2/0.38kV
46	CHECOLLO	ANEXO DE CHECOLLO SALLAC	MON	HU04	60117	10kVA 22.9/0.44kV
47	HUANCARMAYO	C.P. HUANCARMAYO SALLAC	TRIF	HU04	60120	50kVA 22.9/0.40kV
48	IPACUNA I	SECTOR IPACUNA-COM. CCOÑAMURO	MON	HU04	60121	25kVA 22.9/0.44kV
49	MARCANI I	SECTOR MARCANI-CCOÑAMURO	MON	HU04	60122	25kVA 22.9/0.44kV
50	PUMAORCCO	COMUNIDAD DE PUMAORCCO	MON	HU04	60123	25kVA 22.9/0.22kV
51	CONCHAPALLANA	SECTOR CONCHAPALLANA, COMUNIDAD COPY	MON	HU04	60129	15kVA 22.9/0.46kV
52	PACCHANTA	PACCHANTA	MON	HU04	60131	5kVA 22.9/0.44kV

53	HUEQUEUNO LOCAL M.T.	HUEQUEUNO	TRIF	HU04	60140	80kVA 22.9/0.38kV
54	TRIUNFO LA VICTORIA	BARRIO EL TRIUNFO DE OCONGATE	TRIF	HU04	60144	50kVA 22.9/0.38kV
55	PUYCABAMBA	COMUNIDAD PUYCABAMBA	TRIF	HU04	60145	25kVA 22.9/0.22kV
56	HUAYLLABAMBA II	HUAYLLABAMBA	TRIF	HU04	60146	10kVA 22.9/0.38kV
57	LLULLUCHA SECTOR CENTRAL	LLULLUCHA SECTOR CENTRAL	TRIF	HU04	60147	50kVA 22.9/0.44kV
58	SALICANCHA	SALICANCHA	MON	HU04	60148	25kVA 13.2/0.44kV
59	YURACCANCHA	YURACCANCHA	MON	HU04	60149	25kVA 22.9/0.44kV
60	CACHIRA	CACHIRA	MON	HU04	60150	15kVA 22.9/0.44kV
61	LLULLUCHA SECTOR ALIANZA	LLULLUCHA SECTOR ALIANZA	TRIF	HU04	60151	50kVA 22.9/0.44kV
62	CAMPAMENTO CONIRSA	CHACACHIMPA	TRIF	HU04	60153	400kVA 22.9/0.38kV
63	PUCARUMI QUESPERUMI	PUCARUMI QUESPERUMI	MON	HU04	60154	15kVA 22.9/0.22kV
64	UPIS-SECTOR CENTRAL-CALCHICANCHA	UPIS-SECTOR CENTRAL-CALCHICANCHA	MON	HU04	60155	37.5kVA 22.9/0.44kV
65	PUCARUMI SECTOR CENTRAL	PUCARUMI SECTOR CENTRAL	MON	HU04	60156	15kVA 22.9/0.44kV
66	PUCARUMI PANTIPATA	PUCARUMI PANTIPATA	MON	HU04	60157	15kVA 22.9/0.22kV
67	COMUNIDAD DE CHUNTACOLLO	COMUNIDAD DE CHUNTACOLLO	MON	HU04	60158	15kVA 22.9/0.22kV
68	SECTOR TOTORANI	SECTOR TOTORANI	MON	HU04	60159	15kVA 22.9/0.44kV
69	CHAUPIMAYO SECTOR PICCHU	CHAUPIMAYO	MON	HU04	60160	10kVA 22.9/0.22kV
70	YACCACHETA	CCATCA YACCACHETA	MON	HU04	60161	10kVA 22.9/0.44kV
71	CHURUBAMBA	COM. CHURUBAMBA	MON	HU04	60163	15kVA 22.9/0.44kV
72	TELEFONICA	CERRO CORPAC	TRIF	HU04	60166	25kVA 22.9/0.22kV
73	PACCHANTA CENTRAL	PACCHANTA	MON	HU04	60171	25kVA 22.9/0.44kV
74	PACCHANTA BAÑOS TERMALES	PACCHANTA	MON	HU04	60172	15kVA 22.9/0.44kV
75	AUSANGATE CENTRAL	HUAYNA AUSANGATE	MON	HU04	60173	25kVA 22.9/0.22kV
76	AUSANGATE PATALACAY	HUAYNA AUSANGATE	MON	HU04	60174	25KVA 22.9-13.2/0.23-0.46KV
77	CHICHUMICHINA-MARANPAQUI	CHICHUMICHINA-MARANPAQUI	MON	HU04	60175	25kVA 22.9/0.44kV
78	TISACANCHA - MARAMPAQUI	TISACANCHA - MARAMPAQUI	MON	HU04	60176	25kVA 22.9/0.22kV
79	COMUNCANCHA	MARANPAQUI SECTOR COMUNCANCHA	MON	HU04	60177	25kVA 22.9/0.44kV
80	PUCACASA	LLULLUCHA	MON	HU04	60178	15kVA 22.9/0.22kV
81	JAJALLACTA	JAJALLACTA	MON	HU04	60188	15kVA 22.9/0.22kV
82	COÑAHUISE	COÑAHUISE	MON	HU04	60189	10kVA 22.9/0.44kV
83	QUISQUIHUASA	QUISQUIHUASA	MON	HU04	60190	10kVA 22.9/0.44kV
84	AMERICAN MOVIL PERU S.A.C.	CERRO WIRACCHAN - URCOS	MON	HU04	60191	25kVA 22.9/0.22kV
85	PARU PARU	CCATCCA	MON	HU04	60192	25kVA 22.9/0.44kV
86	CCOCHACUNCA	SECTOR CCOCHACUNCA	TRIF	HU04	60193	10kVA 22.9/0.38kV
87	CCASAPATA	SECTOR CCASAPATA	MON	HU04	60194	15kVA 22.9/0.38kV
88	RUMPUCACCA	RUMPUCACCA	MON	HU04	60195	15KVA 22.9/0.46KV
89	MANAYPATA	MANAYPATA	MON	HU04	60196	10kVA 22.9/0.44kV
90	ILLAPATA	ILLAPATA	MON	HU04	60197	25kVA 22.9/0.44kV
91	LLOQUETA	LLOQUETA	MON	HU04	60198	15kVA 22.9/0.44kV
92	SAYHUAPAMPA	SAYHUAPAMPA	MON	HU04	60199	15kVA 22.9/0.44kV
93	CULLI	COMUNIDAD DE CULLI	TRIF	HU04	60200	25kVA 22.9/0.22kV

94	I.E 50535 HUARAHUARA 01	HUARAHUARA	MON	HU04	60201	15kVA 22.9/0.44kV
95	HUARAHUARA 02	COMUNIDAD DE HUARAHUARA	MON	HU04	60202	25kVA 22.9/0.44kV
96	QUISINSAYA	COMUNIDAD DE QUISINSAYA	MON	HU04	60203	15kVA 22.9/0.44kV
97	CCATCCA	AUSARAY-PALLCAPAMPA-HUATTAPATA-TOTORANI	MON	HU04	60204	25kVA 22.9/0.44kV
98	TELEFONICA MOVILES-02	CCATCA	MON	HU04	60206	15kVA 22.9/0.22kV
99	SINACCARA 01	CAMINO AL SANTUARIO COYLLORITTI	MON	HU04	60208	5kVA 22.9/0.44kV
100	SINACCARA 02	CAMINO AL SANTUARIO DE COYLLORITTI	MON	HU04	60209	15KVA 22.9/0.46-0.23KV
101	CHECASPAMPA	OCONGATE	MON	HU04	60210	25kVA 22.9/0.44kV
102	AURAMARCA-KENTE CHACALLE	AURAMARCA-KENTE CHACALLE	MON	HU04	60211	25kVA 22.9/0.44kV
103	LAURAMARCA-CHACAPAMPA	LAURAMARCA-CHACAPAMPA	MON	HU04	60212	10kVA 22.9/0.22kV
104	HUACATINCO	OCONGATE HUACATINCO	MON	HU04	60215	25kVA 22.9/0.22kV
105	PALCCA	OCONGATE PALCCA	MON	HU04	60216	15kVA 22.9/0.22kV
106	PATAPALLPA BAJA	PATAPALLPA	MON	HU04	60218	25kVA 22.9/0.44kV
107	YUPANACANCHA	PATAPALLPA	MON	HU04	60219	25kVA 22.9/0.44kV
108	PATAPALLPA ALTA	PATAPALLPA	MON	HU04	60220	25kVA 22.9/0.44kV
109	MARJUPATA CHICO	MARJUPATA CHICO	MON	HU04	60221	5kVA 22.9/0.22kV
110	HUAJASPAMPA	CC. MACHACCA SECTOR HUAJASPAMPA	MON	HU04	60226	15kVA 22.9/0.44kV
111	COYUNI N° 1	COYUNI	TRIF	HU04	60230	25kVA 22.9/0.22kV
112	GALPON TINKI	COMUNIDAD DE TINKI	TRIF	HU04	60231	25kVA 22.9/0.38kV
113	Alto Serranuyoc	Alto Serranuyoc	MON	HU04	60233	10kVA 22.9/0.44kV
114	PUCAPUCA	PUCAPUCA	MON	HU04	60235	10kVA 22.9/0.22kV
115	SALICANCHA II	SALICANCHA II	MON	HU04	60236	15KVA 22.9/0.46KV
116	ANTENA OCONGATE	OCONGATE	MON	HU04	60243	25kVA 22.9/0.22kV
117	CHUMPICANCHA	CHUMPICANCHA	MON	HU04	60244	15kVA 22.9/0.44kV
118	ANTENA TELEFONICA	OCONGATE	TRIF	HU04	60245	25kVA 22.9/0.22kV
119	JAJALLACTA - NEXTEL	JAJALLACTA	MON	HU04	60246	5kVA 22.9/0.22kV
120	CCOYA	CCOYA	TRIF	HU04	60249	25kVA 22.9/0.44kV
121	UPIS SECTOR PARTE ALTA	UPIS SECTOR PARTE ALTA	MON	HU04	60250	25kVA 22.9/0.44kV
122	PATAPACCHANTA	PACCHANTA	MON	HU04	60253	37.5kVA 22.9/0.44kV
123	MUYURINA	MUYURINA	MON	HU04	60259	10kVA 22.9/0.22kV
124	CHECASPAMPA ALTO	CHECASPAMPA ALTO	MON	HU04	60263	15kVA 22.9/0.44kV
125	AYAVIRI (Antes CCATCCA)	Sector AYAVIRI - CC SAYSAYHUAMAN (Antes CCATCCA)	MON	HU04	60265	10kVA 22.9/0.44kV
126	AYLUCCASA	CCATCCA	MON	HU04	60266	15kVA 22.9/0.44kV
127	GRIFO - CCACCACHUPA	CCARHUAYO OCONGATE	TRIF	HU04	60269	20kVA 22.9/0.38kV
128	Estación Radar Cusco	Estación Radar Cusco - Cerro Acopia Grande	TRIF	HU04	60271	50kVA 22.9/0.22kV
129	SED SIUSA	SIUSA-URCOS	MON	HU04	60272	15kVA 22.9/0.46-0.23 kV
130	TICAPALLANA	SALLAC	MON	HU04	60273	10kVA 22.9/0.44kV
131	TAYANCANI	TAYANCANI	MON	HU04	60289	30kVA 22.9/0.44kV
132	JOSÉ CARLOS MARIATEGUI	JOSÉ CARLOS MARIATEGUI	MON	HU04	60290	10kVA 22.9/0.44kV
133	CHILLIHUANI	CHILLIHUANI	MON	HU04	60291	25kVA 22.9/0.44kV
134	ANCCASI	ANCCASI	MON	HU04	60292	10kVA 22.9/0.38kV

135	ACHACALLA	ACHACALLA	MON	HU04	60293	15kVA 22.9/0.44kV
136	CHUCCLLUIRI	PILLIYOC	MON	HU04	60294	10kVA 22.9/0.44kV
137	CJALLHUA	CJALLHUA	MON	HU04	60296	15kVA 22.9/0.38kV
138	ACCOCUNCA ALTO	ACCOCUNCA	MON	HU04	60297	25kVA 22.9/0.22kV
139	ACCOCUNCA MEDIO	ACCOCUNCA	MON	HU04	60298	15kVA 22.9/0.22kV
140	ACCOCUNCA BAJO	ACCOCUNCA	MON	HU04	60299	15kVA 22.9/0.44kV
141	ACCOCUNCA MITAMITA	ACCOCUNCA	MON	HU04	60300	5kVA 22.9/0.22kV
142	QUECHAPATA	QUECHAPATA	MON	HU04	60301	5kVA 22.9/0.44kV
143	QUECHAPATA ALTA	QUECHAPATA	MON	HU04	60302	15kVA 22.9/0.44kV
144	HUACATINCO BARRANCO	OCONGATE HUACATINCO	MON	HU04	60303	10kVA 22.9/0.44kV
145	PALCCA CCAMARACASA	CCAMARACASA	MON	HU04	60304	10kVA 22.9/0.44kV
146	MALQUI - MALQUI	C.C. MALQUI MALQUI	MON	HU04	60307	5kVA 22.9/0.44kV
147	CALLMUYOPATA	CALLMUYOPATA	MON	HU04	60308	10 kVA 22.9/0.46-0.23 kV
148	CCONCHUPATA	CCONCHUPATA - huario	MON	HU04	60309	5kVA 22.9/0.44kV
149	CCORICCOCHA	CCORICCOCHA	MON	HU04	60310	5kVA 22.9/0.44kV
150	HUALPAORCCO N°1	HUALPAORCCO N°1	MON	HU04	60311	5kVA 22.9/0.44kV
151	HUALPAORCCO N°2	HUALPAORCCO N°2	MON	HU04	60312	10kVA 22.9/0.44kV
152	OSCOMACHAY	OSCOMACHAY	MON	HU04	60313	5kVA 22.9/0.44kV
153	PAQUITACUCHO	PAQUITACUCHO	MON	HU04	60314	5kVA 22.9/0.44kV
154	POCANCACHAPATA	POCANCACHAPATA	MON	HU04	60315	5kVA 22.9/0.44kV
155	TORRESCANCHA	TORRESCANCHA	MON	HU04	60316	5kVA 22.9/0.44kV
156	CHAPIRI	CHAPIRI	MON	HU04	60317	5kVA 22.9/0.44kV
157	HUACARPIÑAS	HUACARPIÑAS - CHIMPAYANAMA	MON	HU04	60318	5kVA 22.9/0.44kV
158	LAHUANI	LAHUANI	MON	HU04	60319	5kVA 22.9/0.44kV
159	HUPAHAPA	HUPAHAPA	MON	HU04	60320	5kVA 22.9/0.44kV
160	PHUYUSQURI	PHUYUSQURI	MON	HU04	60321	25kVA 22.9/0.44kV
161	COMBAPATA-ILLIUTA II	COMBAPATA-ILLIUTA	MON	HU04	60325	25kVA 22.9/0.44kV
162	COMBAPATA ILLIUTA I	COMBAPATA ILLIUTA	MON	HU04	60326	25kVA 22.9/0.44kV
163	PAMPACAMARA	PAMPACAMARA	MON	HU04	60327	25kVA 22.9/0.44kV
164	PATACAMARA	PATACAMARA	TRIF	HU04	60328	25kVA 22.9/0.44kV
165	OCONGATE 1 (REUBICADA)	CARRETERA INTEROCEANICA	TRIF	HU04	60336	160kVA 22.9/0.38kV
166	OCONGATE 2 (REUBICADA)	CARRETERA INTEROCEANICA	TRIF	HU04	60337	160kVA 22.9/0.38kV
167	PACCORUMI	CCATCCA	MON	HU04	60338	15kVA 22.9/0.44kV
168	QUERARANI	CCATCCA	MON	HU04	60339	10kVA 22.9/0.44kV
169	PACCHANTA BAJA I	PACCHANTA BAJA	MON	HU04	60340	15kVA 22.9/0.44kV
170	PACCHANTA BAJA II	PACCHANTA BAJA	MON	HU04	60341	15kVA 22.9/0.44kV
171	PACCHANTA BAJA III	PACCHANTA BAJA	MON	HU04	60342	10kVA 22.9/0.22kV
172	CHINCHAY	CHINCHAY - C.C. LLOQUETA	MON	HU04	60343	10kVA 22.9/0.22kV
173	PINCHIMURO II	PINCHIMURO	MON	HU04	60348	10kVA 22.9/0.44kV
174	EBC CCARHUAYO	CCARHUAYO	MON	HU04	60351	15kVA 22.9/0.22kV
175	COMUNIDAD MANZANARES	COMUNIDAD MANZANARES	TRIF	HU04	60355	10kVA 22.9/0.38kV
176	CC. CCATACAMARA - (SED 0060049 REUBICADA)	CC. CCATACAMARA	TRIF	HU04	60357	80kVA 22.9/0.22kV
177	MACHACA I	MACHACA - HUACOCHONI	TRIF	HU04	60358	80kVA 22.9/0.22kV

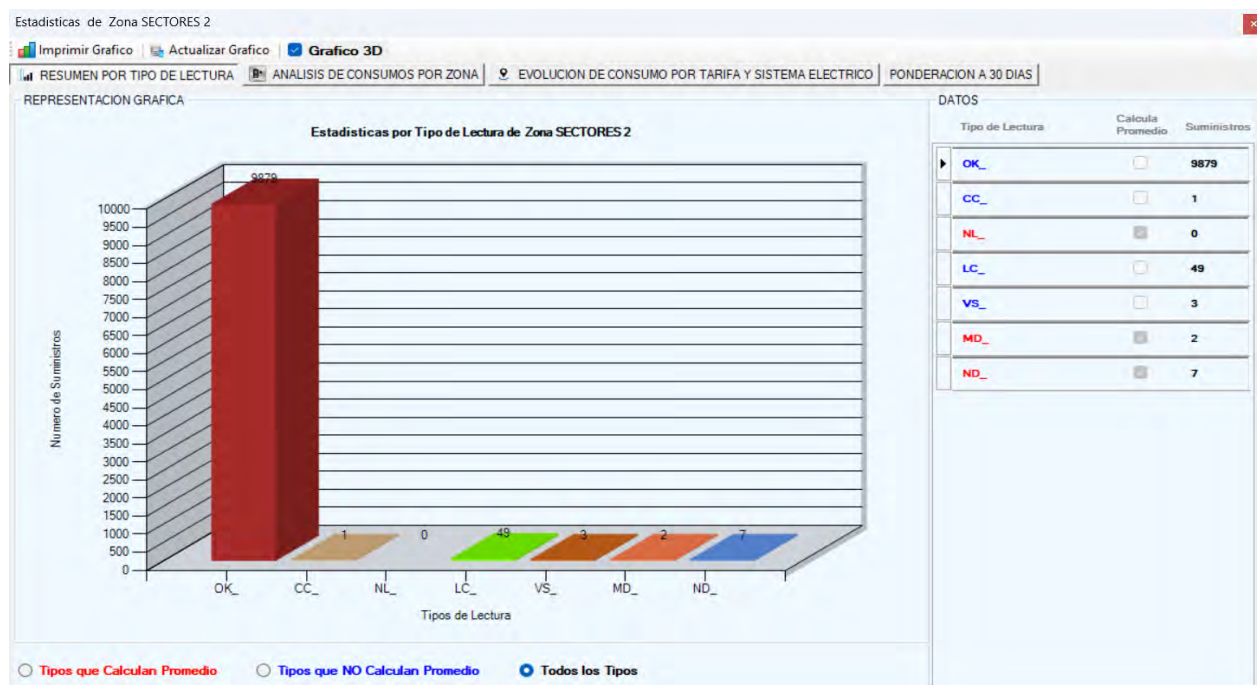
178	MACHACA II	MACHACA - HUACUCHONI	TRIF	HU04	60359	25kVA 22.9/0.22kV
179	ANTENA CCATCCA CUS055 VIETTEL PERU S.A.C.	CCATCCA	MON	HU04	60360	10kVA 22.9/0.22kV
180	ANTENA APACHETA CCATCCA	APACHETA	MON	HU04	60362	10kVA 22.9/0.22kV
181	ANTENA CCATCCA CUS098 VIETTEL	CCATCA	MON	HU04	60366	10kVA 22.9/0.22kV

Fuente: Electro Sur Este S.A.A.

3.6 Usuarios de Energía en el Subsistema Eléctrica Huaro HU-04

La subestación Huaro, con sectores 1 y 2, incluye el alimentador HU-04 en el sector 2, suministrando energía a unos 9,957 usuarios en Ccatcca y Ocongate, mostrando la distribución de carga y tipos de clientes. (Tabla 3.8)

Tabla 3.8. Número de clientes del alimentador de HU-04.



Fuente: Electro Sur Este S.A.A.

3.7 Carga Actual

Las cargas eléctricas del presente radial se encuentran modeladas en función de sus componentes de potencia activa (P) y potencia reactiva (Q), permitiendo una representación precisa del comportamiento eléctrico bajo condiciones normales y de contingencia del sistema. Se detallan los valores característicos y parámetros eléctricos asociados a dichas cargas, (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Cargas en el Radial HU-04.

Nº	SUBESTACION DE DISTRIBUCION	SED	Potencia Activa Total Lado AT [kW]	Potencia Reactiva Total Lado AT [kvar]
1	CCUNUCUNCA	60040	6,25681201	3,75453992
2	ANTENA CORPAC	60041	12,2528019	6,74299292
3	CCATCCA	60042	56,3563348	27,8096487
4	PLAZA DE ARMAS CCATCA	60043	500,268835	245,639234
5	CCATCCAPAMPA	60046	22,2453603	11,7222806
6	PAMPACAMARA I	60047	17,2405126	8,70840084
7	CCATACAMARA SED REUBICADA	60049	500,365708	250,863187
8	AUSARAY	60050	6,09929647	3,28952685
9	JULLICUNCA	60051	4,17578835	2,35938683
10	CARHUAYO	60052	23,3273994	11,8987773
11	CHACACHIMPA	60053	1,05236032	0,58263306
12	YANAMA	60054	16,3253907	8,74147839
13	CCOLCCA	60055	8,22481183	4,66335305
14	LAURAMARCA	60056	5,17065058	2,34952206
15	HUACCOCHONI	60058	5,24946704	3,73309574
16	CUYUNI	60059	7,24941635	3,73304488
17	PIÑIPUQIO	60060	5,18728656	2,38241421
18	CCOPI ALTO	60061	7,18712551	3,47513012
19	ATAPATA	60062	7,18712679	3,38216782
20	YURACMAYO	60063	7,18498579	3,37790246
21	UMUTO	60064	16,2434524	8,71652218
22	SONCCOMARCA	60065	3,18497433	1,3776665
23	KAURI	60066	37,6606997	19,1655102
24	TINKI	60067	14,223668	7,25048131
25	CCOÑAMURO	60068	4,11207741	2,38442322
26	PINCHIMURO	60069	9,11185476	5,38380476
27	CHECCASPAMPA	60070	4,17043203	2,43369842
28	ANDAYAQUE	60071	1,22739279	1,66837189
29	SUMANA	60072	1,17245862	1,35217038
30	MARKUPATA	60073	2,17236172	1,35220237
31	CCAPANA	60074	7,22664631	3,66811515
32	PARCCOCCALLA	60075	6,22667693	3,66789768
33	HUEQUEUNO	60076	9,17065928	4,43571877
34	ANDAMAYO	60077	3,17081732	1,34936527
35	SALLAC	60101	2,14813832	1,50787145
36	RODEANA	60102	1,2066214	1,68467207
37	CCOPI BAJO	60105	3,14719329	1,50461434
38	MAHUAYANI	60106	7,22414074	3,66110529
39	PAMPACANCHA	60107	4,1702767	2,34854106
40	LAWA LAW	60108	2,17732467	1,36216092
41	KUCHUWASI	60109	1,09763954	0,78399762
42	MALLMA	60110	3,17028906	2,3483052
43	URPIA	60113	2,07427217	1,25459934
44	ULLPO	60115	2,13556745	1,46463212
45	LLACHIC	60116	2,13558046	1,31668133
46	CHECOLLO	60117	2,08455405	1,05780424
47	HUANCARMAYO	60120	4,27273343	2,90378944
48	IPACUNA I	60121	1,19563069	1,3992445
49	MARCANI I	60122	2,14793109	1,50716091
50	PUMAORCCO	60123	3,15370242	1,52693151
51	CONCHAPALLANA	60129	1,08923844	1,36091014
52	PACCHANTA	60131	1,05960843	1,09386934
53	HUEQUEUNO LOCAL M.T.	60140	2,32771596	1,59489106
54	TRIUNFO LA VICTORIA	60144	5,17129145	2,76456383
55	PUYCABAMBA	60145	1,15209147	1,52141495
56	HUAYLLABAMBA II	60146	2,17882836	1,36518765
57	LLULLUCHA SECTOR CENTRAL	60147	5,17622624	3,36038961

58	SALICANCHA	60148	1,05616459	0,19277234
59	YURACCANCHA	60149	1,18123718	0,36996585
60	CACHIRA	60150	2,08360213	1,33811954
61	LLULLUCHA SECTOR ALIANZA	60151	2,17650373	1,3605101
62	CAMPAMENTO CONIRSA	60153	3,17870997	3,76636059
63	PUCARUMI QUESPERUMI	60154	2,05711355	1,19587006
64	UPIS-SECTOR CENTRAL-CALCHICANCHA	60155	5,07332853	2,29694213
65	PUCARUMI SECTOR CENTRAL	60156	1,0735019	1,29724329
66	PUCARUMI PANTIPATA	60157	1,05713193	0,19597814
67	COMUNIDAD DE CHUNTACCOLLO	60158	1,09975805	1,40345515
68	SECTOR TOTORANI	60159	1,07346552	0,2972801
69	CHAUPIMAYO SECTOR PICCHU	60160	2,07349084	1,03148457
70	YACCACHETA	60161	1,06941676	0,23796913
71	CHURUBAMBA	60163	1,05394766	0,12358872
72	TELEFONICA	60166	16,1919161	8,39191098
73	PACCHANTA CENTRAL	60171	7,11167741	4,38311658
74	PACCHANTA BAÑOS TERMALES	60172	4,07332211	2,2967721
75	AUSANGATE CENTRAL	60173	1,20727484	0,68700413
76	AUSANGATE PATALACAY	60174	2,11252741	1,3858688
77	CHICHUMICHINA-MARANPAQUI	60175	1,04085691	1,09354358
78	TISACANCHA - MARAMPAQUI	60176	2,07349357	1,29735173
79	COMUNCANCHA	60177	5,11191333	3,38382081
80	PUCACASA	60178	1,04390353	0,10060531
81	JAJALLACTA	60188	15,0933488	7,37740149
82	COÑAHUISE	60189	2,04583308	0,95698413
83	QUISQUIHUASA	60190	2,0637499	1,07054273
84	AMERICAN MOVIL PERU S.A.C.	60191	9,15237483	5,52243382
85	PARU PARU	60192	1,07447045	1,18152379
86	CCOCHACUNCA	60193	2,07437419	1,03354419
87	CCASAPATA	60194	2,09556488	1,13037441
88	RUMPUCACCA	60195	1,06340116	0,21737816
89	MANAYPATA	60196	1,06501791	0,22290726
90	ILLAPATA	60197	2,0784765	1,26901616
91	LLOQUETA	60198	1,0784661	1,26898822
92	SAYHUAPAMPA	60199	1,06940626	1,23792218
93	CULLI	60200	2,07549983	1,11082085
94	I.E 50535 HUARAHUARA 01	60201	2,09704557	1,39250051
95	HUARAHUARA 02	60202	4,14782228	2,5067831
96	QUISINSAYA	60203	2,07510434	1,30382805
97	CCATCCA	60204	1,12485075	0,42806848
98	TELEFONICA MOVILES-02	60206	2,08919196	1,36071532
99	SINACCARA 01	60208	2,04072236	0,94531663
100	SINACCARA 02	60209	2,11173854	1,23519663
101	CHECASPAMPA	60210	4,07352258	2,29756935
102	AURAMARCA-KENTE CHACALLE	60211	1,05745976	0,1970944
103	LAURAMARCA-CHACAPAMPA	60212	2,05743073	1,04896611
104	HUACATINCO	60215	1,05369203	1,08465419
105	PALCCA	60216	1,17649499	1,36033478
106	PATAPALLPA BAJA	60218	1,11323088	1,38815508
107	YUPANACANCHA	60219	1,1131937	0,38819094
108	PATAPALLPA ALTA	60220	2,11317702	1,38808909
109	MARJUPATA CHICO	60221	2,04179653	0,94776022
110	HUAJASPAMPA	60226	2,07073519	1,24247309
111	COYUNI N° 1	60230	2,18927179	1,23832015
112	GALPON TINKI	60231	12,6124125	7,08122104
113	Alto Serranuyoc	60233	1,06941523	0,23796388
114	PUCAPUCA	60235	2,05594805	0,98018381
115	SALICANCHA II	60236	1,05612393	1,19272701
116	ANTENA OCONGATE	60243	11,1132337	5,38867876
117	CHUMPICANCHA	60244	2,08923466	1,21288665
118	ANTENA TELEFONICA	60245	2,17166973	1,20282117
119	JAJALLACTA - NEXTEL	60246	2,19220123	1,24427259

120	CCOYA	60249	1,12911474	0,55384689
121	UPIS SECTOR PARTE ALTA	60250	4,11181712	2,3835389
122	PATAPACCHANTA	60253	2,20594184	1,68255601
123	MUYURINA	60259	2,04100429	0,94595752
124	CHECASPAMPA ALTO	60263	1,08287651	0,33518642
125	AYAVIRI (Antes CCATCCA)	60265	1,06501977	0,22291364
126	AYLLUCCASA	60266	1,08361217	1,33814415
127	GRIFO - CCACCACHUPA	60269	1,05255218	0,50892573
128	Estación Radar Cusco	60271	21,2577524	10,7573966
129	SED SIUSA	60272	2,07564223	1,11130905
130	TICAPALLANA	60273	2,07564	1,11130142
131	TAYANCANI	60289	2,13656833	1,26380399
132	JOSÉ CARLOS MARIATEGUI	60290	2,0744326	1,1531495
133	CHILLIHUANI	60291	2,07528882	1,15659121
134	ANCCASI	60292	2,05852217	1,20066333
135	ACHACCALLA	60293	1,07531407	1,30456358
136	CHUCCLLUIRI	60294	1,07528537	0,30460509
137	CJALLHUA	60296	1,07510458	0,80379701
138	ACCOCUNCA ALTO	60297	1,1125168	0,38587693
139	ACCOCUNCA MEDIO	60298	2,1124992	1,23779357
140	ACCOCUNCA BAJO	60299	1,11251293	0,38586369
141	ACCOCUNCA MITAMITA	60300	1,12035209	0,41267147
142	QUECHAPATA	60301	2,33403315	1,88496183
143	QUECHAPATA ALTA	60302	2,07899027	1,17151098
144	HUACATINCO BARRANCO	60303	2,04387587	0,95250929
145	PALCCA CCAMARACASA	60304	1,09574382	0,38880514
146	MALQUI - MALQUI	60307	2,05232903	0,97187429
147	CALLMUYOPATA	60308	2,04114713	0,94628318
148	CCONCHUPATA	60309	2,05392108	0,97552475
149	CCORICCOCHA	60310	2,05391783	0,97551732
150	HUALLPAORCCO N°1	60311	2,05392199	0,97552684
151	HUALLPAORCCO N°2	60312	2,05392143	0,97552557
152	OSCOMACHAY	60313	2,05630346	0,98097757
153	PAQUITACUCHO	60314	2,04644511	0,95838513
154	POCANCACHAPATA	60315	2,04644433	0,95838335
155	TORRESCANCHA	60316	2,04826353	0,96262995
156	CHAPIRI	60317	2,05272816	0,97278817
157	HUACARPIÑAS	60318	2,04106663	0,94610022
158	LAHUANI	60319	2,04179456	0,94775425
159	HUPAHAPA	60320	2,04179135	0,94774688
160	PHUYUSQURI	60321	2,04133078	0,94670047
161	COMBAPATA-ILLIUTA II	60325	1,13033115	0,44683641
162	COMBAPATA ILLIUTA I	60326	2,13148764	1,45077626
163	PAMPACAMARA	60327	3,12931917	1,44335919
164	PATACAMARA	60328	5,12930824	2,44331141
165	OCONGATE 1 (REUBICADA)	60336	9,32784884	5,09981645
166	OCONGATE 2 (REUBICADA)	60337	16,3270345	8,32388957
167	PACCORUMI	60338	1,08359314	0,33811324
168	QUERARANI	60339	2,12237664	1,27157422
169	PACCHANTA BAJA I	60340	2,0570898	1,0478099
170	PACCHANTA BAJA II	60341	2,05711055	1,04788039
171	PACCHANTA BAJA III	60342	2,11204397	1,23624306
172	CHINCHAY	60343	2,05605082	0,98039426
173	PINCHIMURO II	60348	2,05717529	1,04810038
174	EBC CCARHUAYO	60351	2,0753171	1,15670601
175	COMUNIDAD MANZANARES	60355	2,07439334	1,03359245
176	CC. CCATACAMARA - (SED 0060049 REUBICADA)	60357	2,05516984	0,93900739
177	MACHACA I	60358	2,05762798	1,0907912
178	MACHACA II	60359	1,05764552	1,09079236
179	ANTENA CCATCCA CUS055 VIETTEL PERU S.A.C.	60360	1,05191567	0,11893015
180	ANTENA APACHETA CCATCCA	60362	2,05171213	0,9704545
181	ANTENA CCATCCA CUS098 VIETTEL	60366	2,04959634	0,96560268

Fuente: Electro Sur Este S.A.A.

3.8 Ajustes Actuales de Relés y Reconectores de la S.E.D Huaro

3.8.1 Relé - Sobrecorriente de Fases

En el siguiente cuadro se presenta el estado actual de los relés instalados en la subestación, donde se emplean relés 50/51 NOJA, destinados a la protección contra sobrecorrientes de fase. El relé 50 actúa de manera instantánea cuando la corriente supera el valor de ajuste, permitiendo la desconexión inmediata del circuito ante fallas severas. Por su parte, el relé 51 opera de forma temporizada, ajustándose en función de la magnitud de la corriente, lo que posibilita una adecuada coordinación selectiva con las protecciones de alimentadores, transformadores y líneas del sistema (Tabla 3.10). El reconector interrumpe y restablecer automáticamente el servicio eléctrico ante fallas transitorias o permanentes. Incorporan relés de sobrecorriente de fase (ANSI 50/51), que detectan corrientes de falla en las tres fases, donde el relé 50 actúa instantáneamente y el 51 lo hace de forma temporizada para lograr coordinación selectiva. Su integración permite proteger, controlar y automatizar la red.

Tabla 3.10. Relés y Reconectores de Sobrecorriente de Fases.

RELES DE SUBESTACIONES - SOBRECORRIENTE DE FASES - ACTUALES																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	RTT	RTC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO			Ciclo de recierre	
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo				
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>		t>>>		
						A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)		
RE1HU01	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.30	90.00	0.07	C1							2R+Lock	
RE1HU02	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.33	99.00	0.05	C1	1.66	498.00	0.04				2R+Lock	
RE1HU03	SEL	751	10.5	10/0.10	150/1	0.66	99.00	0.05	C1	3.32	498.00	0.04				2R+Lock	
RE1HU04	NOJA	RC10	22.9	22.9/0.10	1/1	60.00	60.00	0.10	IEC-NI	600.00	600.00	0.05				2R+Lock	
RECONECTADORES DE ALIMENTADORES - SOBRECORRIENTE DE FASES - ACTUALES																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	AL	KV	TC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO			Ciclo de recierre	
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo				
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>		t>>>		
						A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)		
RC-2035	NULEC		HU04	22.9	1/1	50.00	50	0.05	IEC-VI	--	--	--				2R+Lock	
RC-2077	SEL	351R			1/1	50.00	50	0.05	IEC-VI	--	--	--				2R+Lock	
RC-2036	SEL	351R															

Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

3.8.2 Relé - Sobrecorriente de Tierra (Neutro)

En el siguiente cuadro se verifica el estado actual de los relés de las subestaciones en la actualidad, en la subestación cuenta con los relés 50N/51N NOJA, el relé 50N es un dispositivo de sobrecorriente instantáneo a tierra, proporcionando protección rápida del sistema que detecta las corrientes residuales producidas por fallas monofásicas a tierra, opera de manera instantánea cuando la corriente de falla supera el umbral configurado quiere decir para fallas de tierra de alta magnitud. En cuanto al relé 51N, este relé de sobrecorriente de neutro temporizado está diseñando para detectar las fallas a tierra de baja intensidad, actúa en un tiempo de retardo coordinado presenta sensibilidad ante fallas a tierra de una fase en redes de distribución, (Tabla 3.11).

Tabla 3.11. Relés y Reconectores de Sobrecorriente de Tierra (Neutro).

RELES DE SUBESTACIONES - SOBRECORRIENTE DE TIERRA - ACTUALES																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	RTT	RTC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO		Direc	Ciclo de recierre	
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo				
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>				t>>>
						A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim			(s)
RE1HU01	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.10	30.00	0.08	C2								2R+Lock
RE1HU02	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.10	30.00	0.05	C2								2R+Lock
RE1HU03	SEL	751	10.5	10/0.10	150/1	0.20	30.00	0.16	C2								2R+Lock
RE1HU04	NOJA	RC10	22.9	22.9/0.10	1/1	30.00	30.00	0.14	IEC-NI	400.00	400.00	0.05					2R+Lock
RECONECTADORES DE ALIMENTADORES - SOBRECORRIENTE DE TIERRA - ACTUALES																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	AL	KV	TC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO		Direcc	Ciclo de recierre	
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo				
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>				t>>>
						A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim			(s)
RC-2035	NULEC				1/1	30.00	30	0.05	IEC-VI	--	--	--					2R+Lock
RC-2077	SEL	351R	HU04	22.9	1/1	30.00	30	0.05	IEC-VI	--	--	--					2R+Lock
RC-2036	SEL	351R															

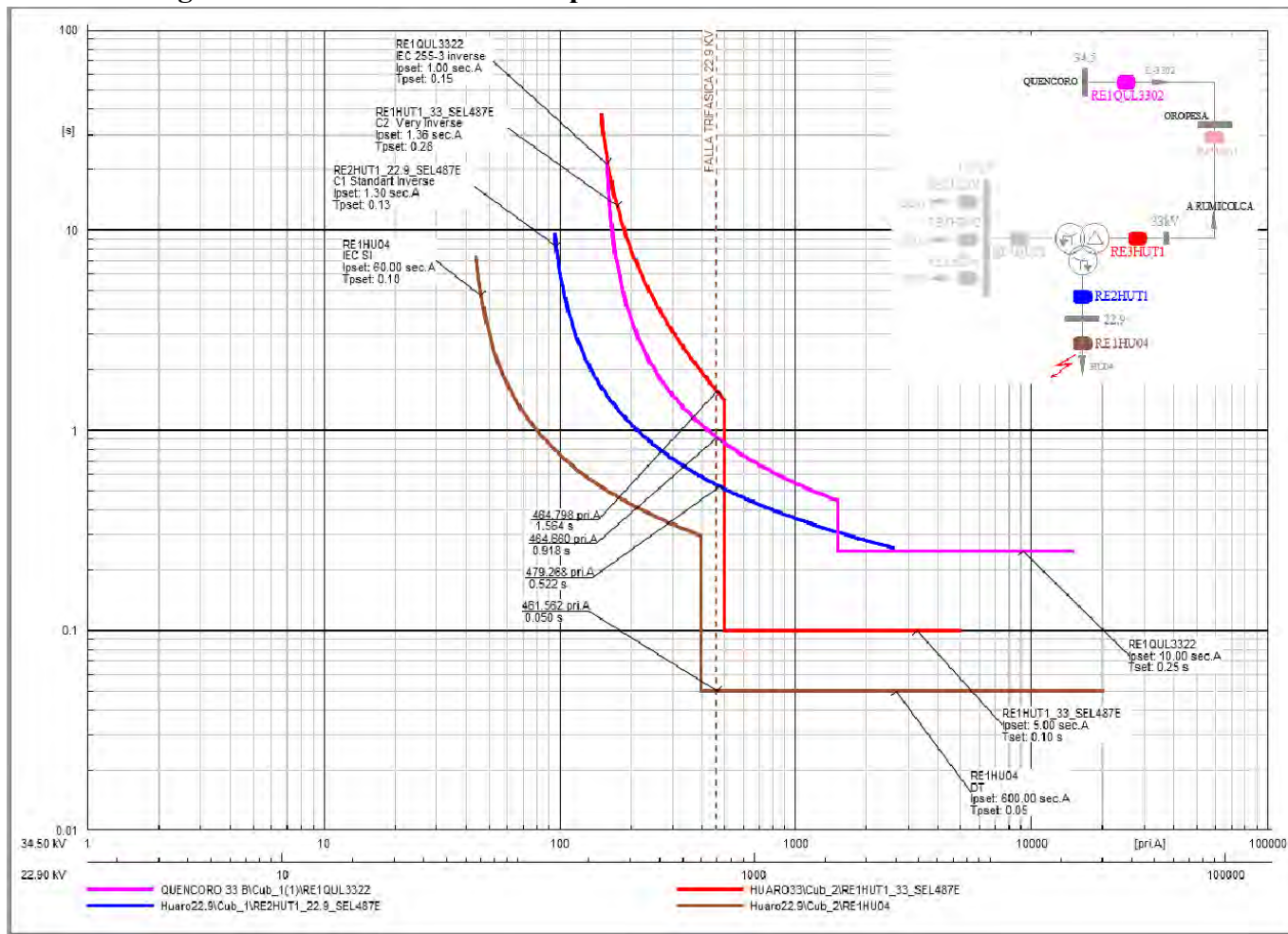
Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

Los reconectores automáticos en alimentadores cuentan con protección a sobrecorriente a tierra (funciones ANSI 50N/51N), diseñada para detectar y despejar fallas monofásicas en sistemas de media tensión. El relé 50N actúa de manera instantánea, mientras que el 51N opera con retardo para garantizar coordinación selectiva. Esta configuración protege los equipos, aumenta la seguridad operativa y mejora la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico al permitir la reconexión automática del alimentador tras fallas transitorias.

3.9 Protección de Sobrecorriente del Transformador de potencia de la S.E Huaro - Actual

3.9.1 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 - Actual

Figura 3.21. Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04.



Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

Se visualiza (Figura 3.21) como es la coordinación de los relés ubicados en el transformador de Huaro si ocurre una falla adyacente a la barra de 22.9 kV:

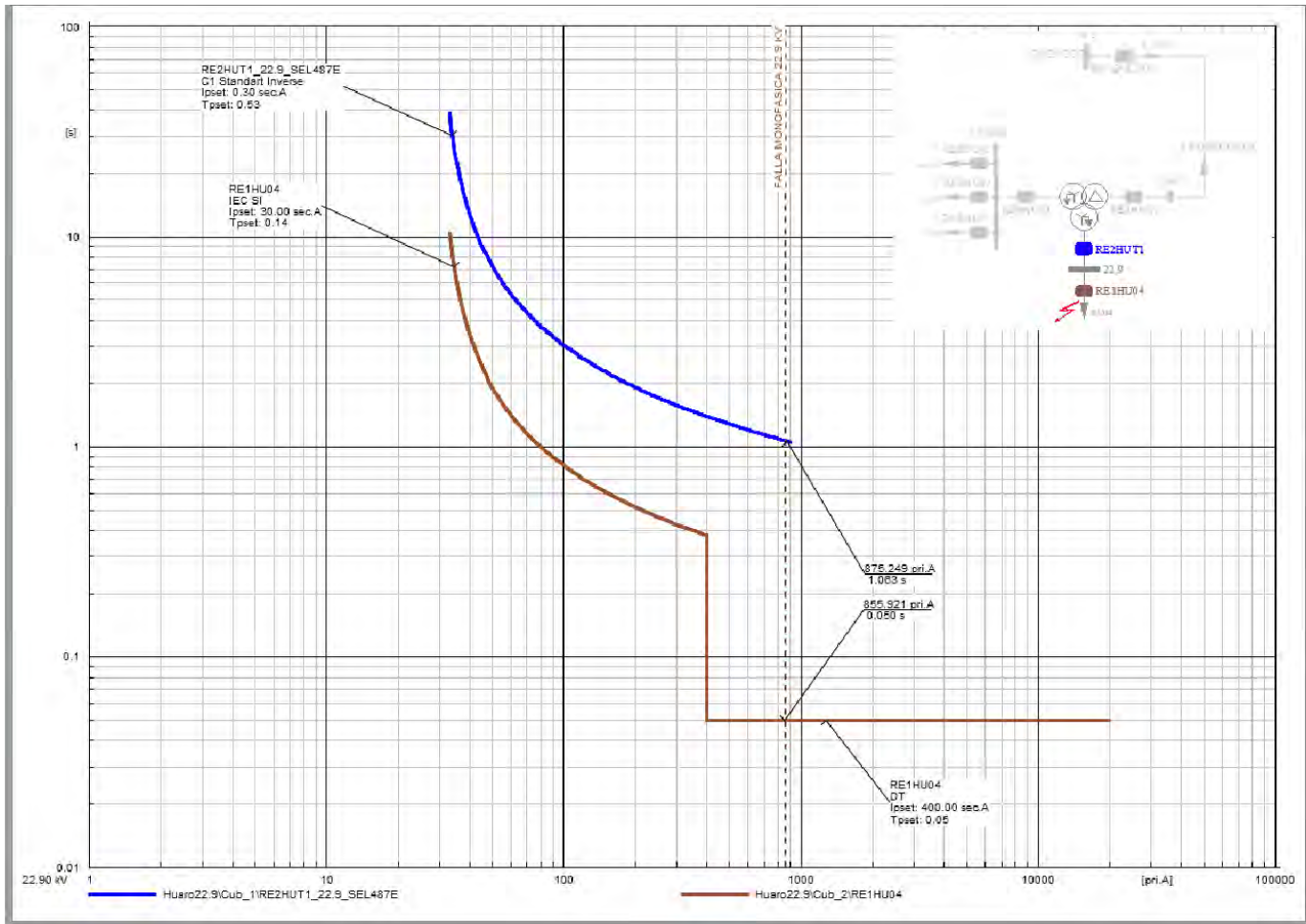
i. La Secuencia de Operación es la siguiente

- Primero: Recloser de la salida HU04 en 50 ms
- Segundo: Relé del transf. lado 22.9 KV en 522 ms
- Tercero: Relé ubicado en Quencoro en 918 ms
- Cuarto: Relé del transf. lado 34.5 KV en 1564 ms

Para este caso se observa la descoordinación del relé ubicado en el lado de 34.5 VK del transformador de Huaro

3.9.2 Protección de Sobrecorriente de Tierra 51N/50N - Actual

Figura 3.22. Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04.



Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

Se visualiza (Figura 3.22) la coordinación en los relés ubicados en el transformador de Huaro cuando ocurre una falla cerca a la barra de 22.9 kV:

i. La secuencia de operación es la siguiente:

- Primero: Recloser de la salida HU04 en 50 ms
- Segundo: Relé del transf. lado 22.9 KV en 1063 ms

3.10 Selectividad de las Protecciones de Sobrecorriente en Alimentadores de MT

En la S. E. Huaro el AMT en 22.9 KV (HU04), se puede verificar rápidamente que el arranque el valor propuesto para la protección de sobrecorriente de fases excede la corriente de

máxima demanda. Se observa que no existe desbalance de corriente debido a que ELSE informó que no existen cargas monofásicas de importante magnitud en las redes que emergen de Huaro.

Tabla 3.12. Arranque de sobrecorriente existente en la S.E. HU-04.

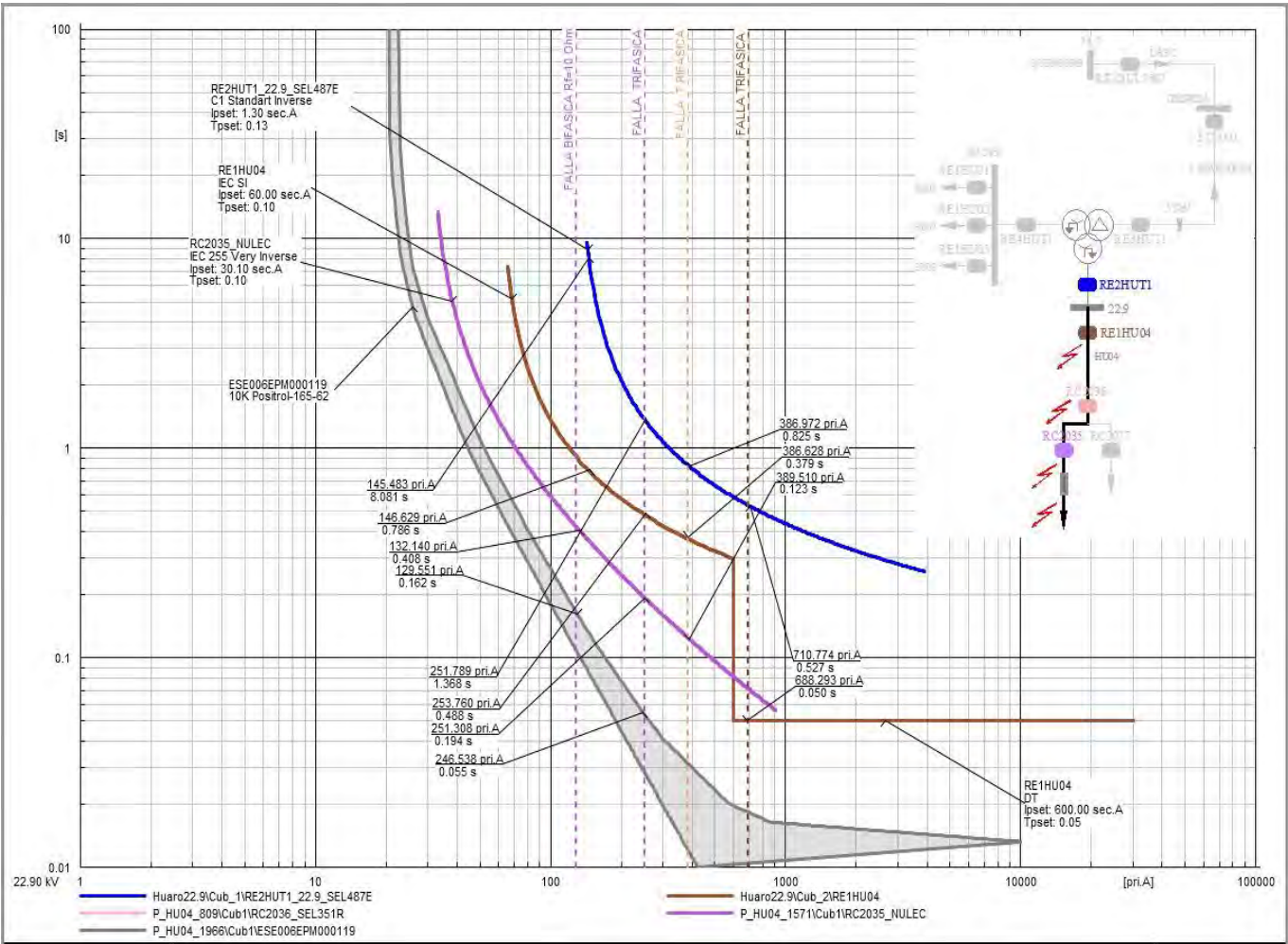
AMT	kV	TC	Tipo de Conductor	Capac. del Conductor	Máxima Demanda		Máximo Desbalance	51 Pickup	51N Pickup
			Material mm2	Amp	KW	Amp	Amp	Amp	Amp
HU04	22.9	1/1	CU. 3x95 S 22.9 KV NKY	250	1985,91	29	0.70	60	30.0

Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

3.11 Protección de Sobrecorriente del Alimentador de la S.E Huaro – Actual

3.11.1 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 Existentes

Figura 3.23. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.

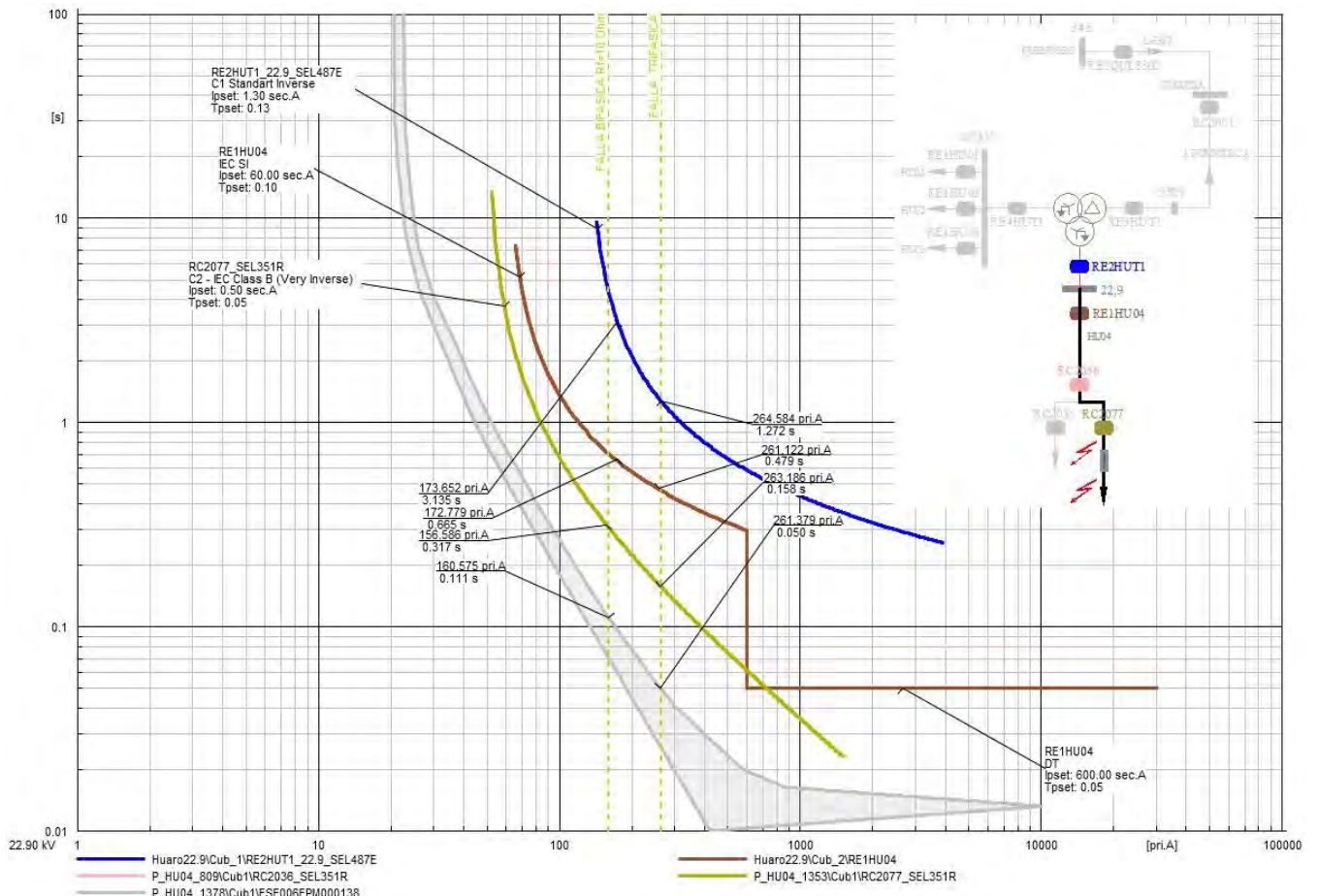


Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

- i. **La secuencia de operación para una falla cercana a la barra de 22.9 KV:**
 - Primero: Relé de cabecera en 50 ms
 - Segundo: Relé de lado de 22.9 KV en 527 ms
- ii. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2036:**
 - Primero: Recloser RC2035 123
 - Segundo: Relé de cabecera en 379 ms
 - Tercero: Relé de lado de 22.9 KV en 825 ms
- iii. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2035:**
 - Primero: Recloser RC2035 en 194 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 488 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1368 ms
- iv. **La secuencia de operación para una falla muy alejada:**
 - Primero: Recloser RC2035 en 408 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 786 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 8081 ms,

3.11.2 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 - Actuales

Figura 3.24. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.



Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

i. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2077:

(a) Fusible en instantáneo

- Primero: Recloser RC2077 en 158 ms
- Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
- Tercero: Relé de cabecera en 479 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1272 ms

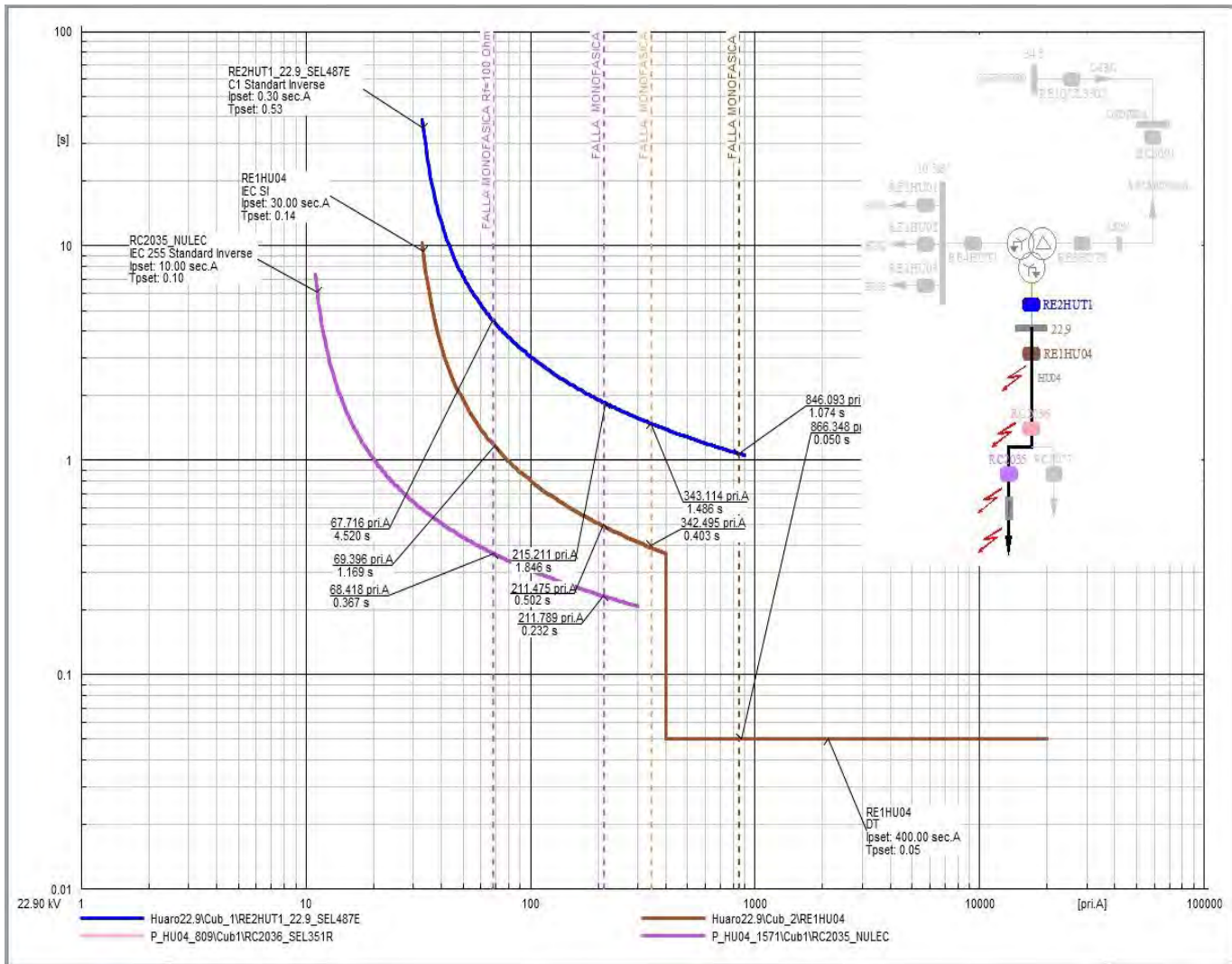
ii. La secuencia de operación para una falla muy alejada:

(b) Fusible en instantáneo

- Primero: Recloser RC2077 en 317 ms
- Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
- Tercero: Relé de cabecera en 665 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 3135 ms

3.11.3 Protección de Sobrecorriente de Tierra (Neutro) 51N/50N - Actuales

Figura 3.25. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV

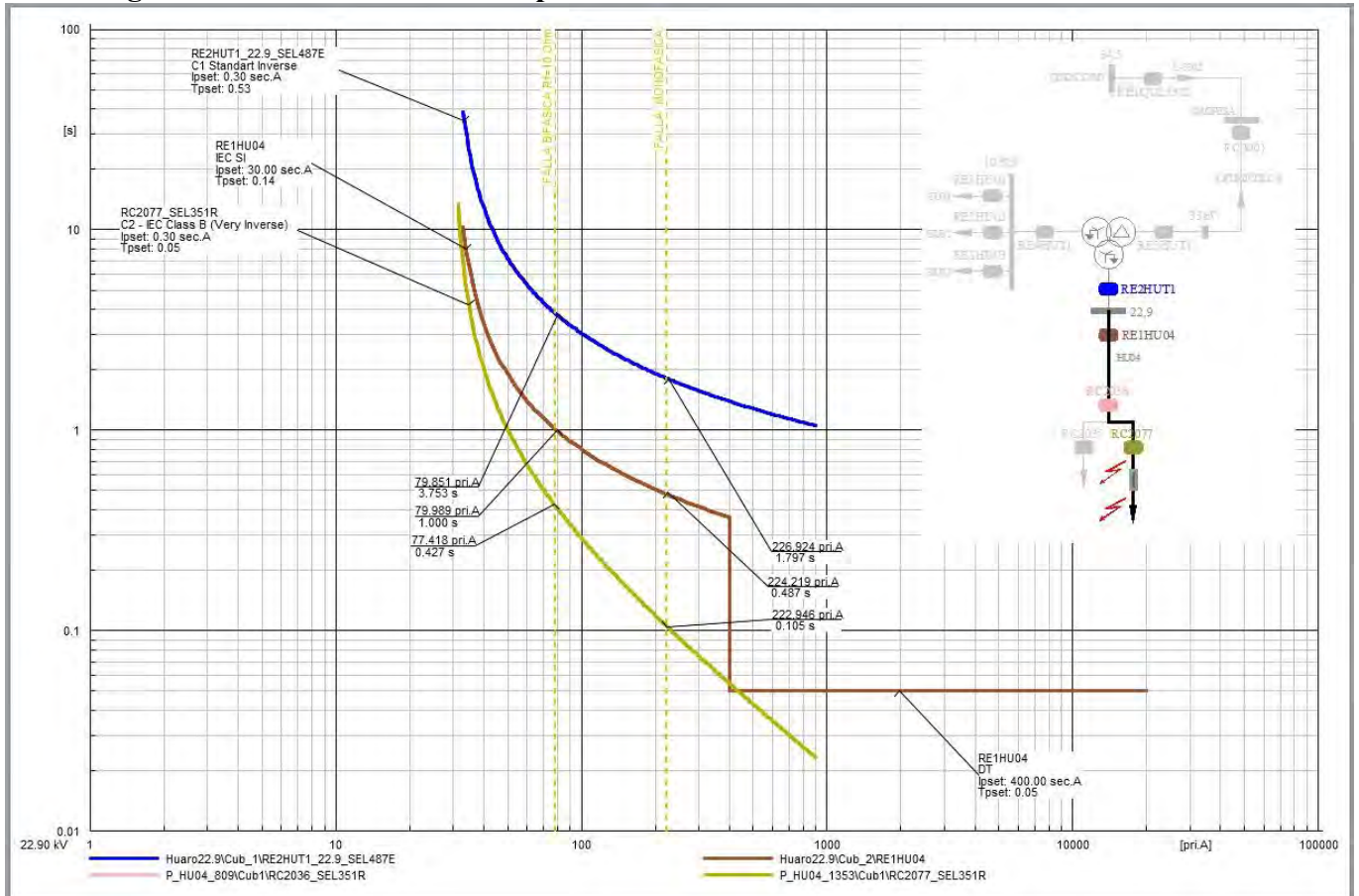


Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

- i. **La secuencia de disparo para una falla localizada próxima a la barra de 22.9 KV:**
 - Primero: Relé de cabecera en 50 ms
 - Segundo: Relé de lado de 22.9 KV en 1074 ms
- ii. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2036:**
 - Primero: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Segundo: Relé de cabecera en 403 ms
 - Tercero: Relé de lado de 22.9 KV en 1486 ms
- iii. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2035:**
 - Primero: Recloser RC2035 en 232 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 502 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1846 ms
- iv. **La secuencia de operación para una falla muy alejada:**
 - Primero: Recloser RC2035 en 367 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 1169 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 4520 ms

3.11.4 Protección de Sobrecorriente de Tierra (Neutro) 51N/50N - Actuales

Figura 3.26. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 en 22.9 kV.



Fuente: Sistema de información del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A.

- i. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2077 es la siguiente:**
 - Primero: Recloser RC2077 en 105 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 487 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1797 ms
- ii. **La secuencia de operación para una falla muy alejada es la siguiente:**
 - Primero: Recloser RC2077 en 427 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 (falta agregar)
 - Tercero: Relé de cabecera en 1000 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 3763 ms

3.11.5 Protección Conductor Roto (I2/I1)

En la protección implementada por Electro Sur Este (ELSE) se fijan los criterios y el método para implementar la detección de conductor roto (I2/I1). Se especifica que dicha función operará únicamente en modo de supervisión o alarma, sin generar comando de disparo, permitiendo su monitoreo continuo por parte del operador del sistema.

3.11.6 Protección de Falla a Tierra Sensible (SEF)

En Electro Sur Este (ELSE) se fijan las pautas y la metodología para implementar la función de detección de fallas a tierra sensibles (SEF). Se precisa que esta función no es aplicable en redes con neutro aterrizado, por lo que, en su reemplazo, se implementará una etapa convencional de protección 50N con alta sensibilidad. Dicha función operará únicamente en modo de alarma, sin ejecutar comando de disparo, permitiendo su supervisión permanente por el operador del sistema.

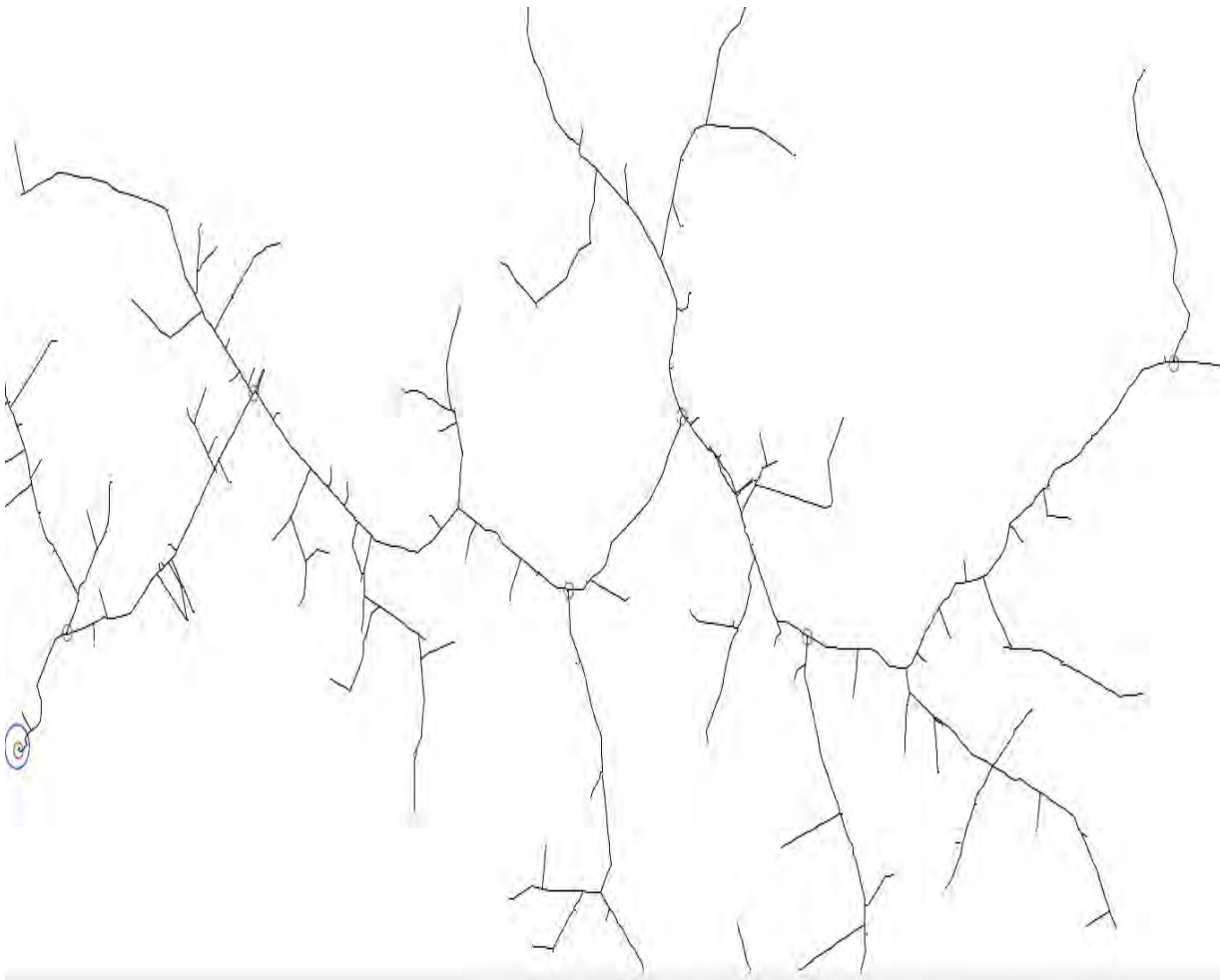
3.11.7 Protección de Sobretensión Homopolar (59N)

En el esquema de protección de Electro Sur Este (ELSE) se definen los criterios técnicos y la metodología de ajuste para la función de sobretensión homopolar (59N). Se establece que esta no ejecutará disparo automático, operando únicamente en modo de alarma, con el propósito de permitir su monitoreo continuo por parte del operador del sistema, facilitando la detección temprana de condiciones anómalas de tensión en el neutro.

3.12 Flujo de Carga en el Sub Sistema eléctrico actual HU – 04

El modelo del sistema eléctrico objeto de estudio se construyó utilizando el software Power Factory DigSILENT (versión 2021 SP2) para analizar el comportamiento operativo de la red en condiciones normales. Este estudio incluye el flujo de potencia activa y reactiva, así como la distribución de tensiones y corrientes en los diferentes niveles del sistema previamente descrito. La simulación permite evaluar y validar el desempeño de la red ante escenarios de demanda máxima y mínima, reflejando fielmente las condiciones actuales de carga del área de estudio y asegurando un análisis confiable de su operación.

Figura 3.27. Modelado del estudio de la red eléctrica HU-04 usando DigSILENT.



Fuente: Elaboración propia.

3.12.1 Flujo de carga en la red proyectada: Resultados y análisis

La tabla siguiente muestra los resultados del análisis de flujo de carga, permitiendo evaluar cómo opera el sistema eléctrico, verificando tensiones, corrientes y pérdidas de potencia en las diferentes ramas bajo las condiciones de funcionamiento definidas.

Tabla 3.13. Resultados de flujo de Carga Proyectado Bajo Condiciones de Máxima y Mínima Demanda.

Red: Grid		Escenario del Sistema: Grid				Caso de Estudio: Study Case		Anexo:		/ 41
Nivel Generación	Carga	Carga	Compen-	Alimentad.	Intercambio con	Intercambio	Pérdidas	Pérdidas	Pérdidas	
Voltaje	Motor		sación	Externo		de Potencia	Totales	con Carga	sin Carga	
[kW]/	[kW]/	[kW]/	[kW]/	[kW]/		[kW]/	[kW]/	[kW]/	[kW]/	
[kV]	[kvar]	[kvar]	[kvar]	[kvar]		[kvar]	[kvar]	[kvar]	[kvar]	
0.44	0.00	0.00	149.98	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	69.32	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
					22.90 kV	-149.99	8.70	0.00	8.70	
						-69.35	27.33	0.00	27.33	
0.46	0.00	0.00	57.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
	0.00	0.00	24.34	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
					22.90 kV	-57.00	2.08	0.00	2.08	
						-24.34	5.88	-0.00	5.88	
22.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1985.91		249.43	249.43	0.00	
	0.00	0.00	0.00	0.00	653.85		-245.23	3.21	-248.43	
					0.22 kV	121.53	4.53	0.00	4.53	
						68.89	12.61	0.00	12.61	
					0.38 kV	1331.70	7.79	0.00	7.79	
						669.11	18.43	0.00	18.43	
					0.40 kV	65.48	1.48	0.00	1.48	
						34.18	3.90	0.00	3.90	
					0.44 kV	158.69	8.70	0.00	8.70	
						96.68	27.33	0.00	27.33	
					0.46 kV	59.08	2.08	0.00	2.08	
						30.21	5.88	-0.00	5.88	
Total	0.00	0.00	1711.97	0.00	1985.91	0.00	274.02	249.43	24.58	
	0.00	0.00	830.90	0.00	653.85	0.00	-177.08	3.21	-180.28	

Fuente: Elaboración propia en el Software DigSILENT

Tabla 3.14. Parámetros de Simulación del Alimentador HU-04.

PARÁMETRO	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Número de Subestaciones	0	No se modelaron subestaciones en el sistema.
Número de Barras	624	-
Número de Terminales	1	-
Número de Líneas	444	-
Número de Trafos (2 devanados)	181	-
Número de Trafos (3 devanados)	0	No se utilizaron transformadores de 3 devanados.
Número de Máquinas síncronas	0	No se modelaron generadores síncronos.
Número de Máquinas asíncronas	0	No se modelaron máquinas asíncronas.
Número de Cargas	181	-
Número de Shunts/Filtros	0	No se utilizaron filtros o shunts.
Número de SVS	0	No se modelaron Sistemas de Compensación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15. Resumen del Alimentado HU-04.

Parámetro	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kvar)	Potencia Aparente (kVA)	Observaciones
Generación	0	0	0	No hay generación interna en el sistema.
Alimentador Externo	1985,91	653,85	2090,78	Toda la potencia proviene de un alimentador externo.
Carga P(U)	1711,97	830,9	1902,95	
Carga P(Un)	1712	830,87	1902,97	
Carga P(Un-U)	0,03	-0,03	-	Hay diferencias entre carga nominal y desbalanceada.
Pérdidas en la Red	274,02	-177,08	-	
Carga de la Línea	-	-248,43	-	La línea presenta características capacitivas.
Compensación Inductiva	-	0	-	No se aplicó compensación inductiva.
Compensación Capacitiva	-	0	-	No se aplicó compensación capacitiva.
Capacidad Instalada	0	-	-	No hay generación instalada en el sistema.
Reserva Rodante	0	-	-	No hay reserva de generación disponible.

Fuente: Elaboración propia.

3.13 valuación de cortocircuito de la red proyectada mediante simulación

Tabla 3.16. Corto circuito, resultados obtenidos en condiciones de máxima y mínima demanda.

NRO	Nodo Bajo Falla 2F (Falla Franca)	Potencia de C.C. Inicial		Corriente de C.C. Subtransitoria		Corriente Pico de C.C.		Corriente de Interrupción de C.C.		Potencia de Interrupción de C.C.	
		Sk" A	Sk" B	Ik" A	Ik" B	ip A	ip B	Ib A	Ib B	Sb A	Sb B
		[kVA]	[kVA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kVA]	[kVA]
01	ESE006NMT000902	6698,653081	6698,653081	0,506655357	0,506655357	0,730849318	0,730849318	0,506655357	0,506655357	6698,653081	6698,653081
02	ESE006NMT000950	5263,072955	5263,072955	0,398074669	0,398074669	0,574221848	0,574221848	0,398074669	0,398074669	5263,072955	5263,072955
03	ESE006NMT001281	15128,33651	15128,33651	1,1442379	1,1442379	1,651841418	1,651841418	1,1442379	1,1442379	15128,33651	15128,33651
04	ESE006NMT001318	31155,24921	31155,24921	2,356439976	2,356439976	3,683537123	3,683537123	2,356439976	2,356439976	31155,24921	31155,24921
05	ESE006NMT001743	2519,234682	2519,234682	0,190543342	0,190543342	0,274858358	0,274858358	0,190543342	0,190543342	2519,234682	2519,234682
06	ESE006NMT002539	4161,513674	4161,513674	0,314757783	0,314757783	0,454037421	0,454037421	0,314757783	0,314757783	4161,513674	4161,513674
07	ESE006NMT003313	3577,243648	3577,243648	0,270566282	0,270566282	0,390291275	0,390291275	0,270566282	0,270566282	3577,243648	3577,243648
08	HU04-24	40135,833	40135,833	3,035690092	3,035690092	6,982353904	6,982353904	3,035690092	3,035690092	40135,833	40135,833

Fuente: Elaboración propia en el Software DigSILENT.

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA DE NUEVOS AJUSTES DE PROTECCIÓN DEL ALIMENTADOR EN MEDIA TENSIÓN HU-04

4.1 Introducción

En este capítulo se llevó a cabo el estudio técnico y la formulación de nuevos ajustes de protección aplicables a la línea de media tensión de 22,9 kV que enlaza la Subestación Huaro con el alimentador HU-04. Las modificaciones introducidas en la configuración de la red hicieron necesaria una evaluación detallada de los parámetros de protección existentes, con el propósito de verificar su adecuación a los criterios de selectividad, confiabilidad y correcta coordinación entre dispositivos. El propósito central fue definir ajustes optimizados que permitan una actuación oportuna y eficaz frente a condiciones de falla, reduciendo al mínimo las afectaciones al sistema eléctrico. Se revisaron los ajustes vigentes y se analizó el comportamiento de las propuestas mediante simulaciones, evidenciándose mejoras significativas en el desempeño y la protección.

4.2 Información Utilizada

4.2.1 SEIN - Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

- Representación detallada de la configuración topológica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), proyectada para el horizonte operativo del año 2025.
- Base de datos técnica de los equipos del sistema, que incluye parámetros eléctricos característicos, capacidades térmicas y de transmisión de las líneas, así como las potencias nominales de transformadores de potencia y generadores síncronos del SEIN.
- Información operativa asociada al despacho de generación y a la asignación de la demanda eléctrica del SEIN para el año 2025, considerando escenarios hidrológicos de avenida y estiaje, y condiciones de demanda máxima, media y mínima.

4.2.2 Información Proporcionada de ELSE

- Información georreferenciada del sistema eléctrico de ELSE, organizada en plataformas GIS para el análisis espacial de la red.
- Esquemas unifilares de protección correspondientes a las distintas instalaciones eléctricas del concesionario.
- Registros históricos de demanda eléctrica obtenidos a partir de los sistemas de medición instalados en la totalidad de sus activos.
- Estudios técnicos recientes de coordinación de protecciones desarrollados dentro del área de concesión e influencia de ELSE laborado en el año 2023.

4.2.3 Información Recopila Durante la Vista Técnica a las Instalaciones de ELSE

- Levantamiento de información técnica a partir de las placas de características de los transformadores de potencia, transformadores Zig-Zag, transformadores de corriente (TC) y transformadores de tensión (TP), entre otros equipos asociados.
- Recopilación de los parámetros y ajustes de los relés de protección mediante descarga directa desde el software propietario de cada equipo; en los casos donde no fue posible la comunicación, los valores se obtuvieron mediante registro manual y respaldo fotográfico.
- Los ajustes correspondientes a los relés y reconectores instalados aguas abajo de los alimentadores no fueron obtenidos en campo, siendo esta información proporcionada oficialmente por ELSE para su análisis y validación posterior.

4.2.4 Herramienta Computacional Empleada

Los análisis de flujo de carga, contingencias, corrientes de cortocircuito y tiempos críticos de despeje se realizaron con DIgSILENT PowerFactory versión 21. Los resultados, presentados gráficamente, se enfocaron en el área de estudio, utilizando equivalentes

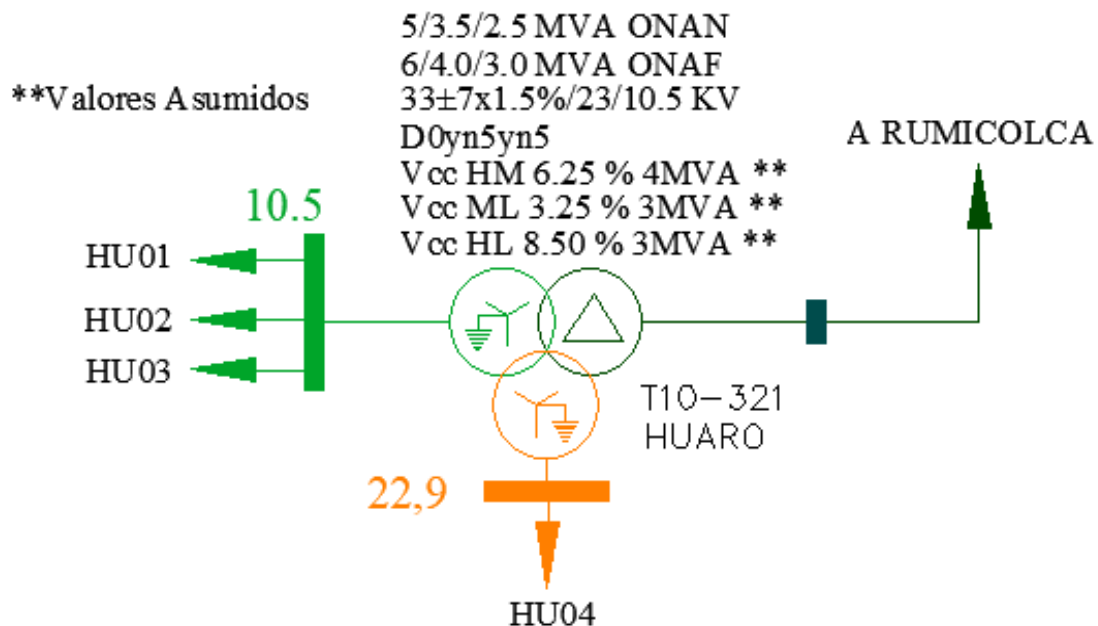
eléctricos del sistema externo para garantizar un análisis riguroso y coherente con los objetivos del trabajo.

4.3 Protección de Sobrecorriente y Esquema de Recierre

El esquema de recierre automático en redes de distribución no responde a un criterio único, ya que su configuración depende de las condiciones geográficas, operativas y de la experiencia del operador. En este estudio no se aplica el esquema de salvamento de fusibles, debido a la presencia de fusibles de repetición instalados por la concesionaria.

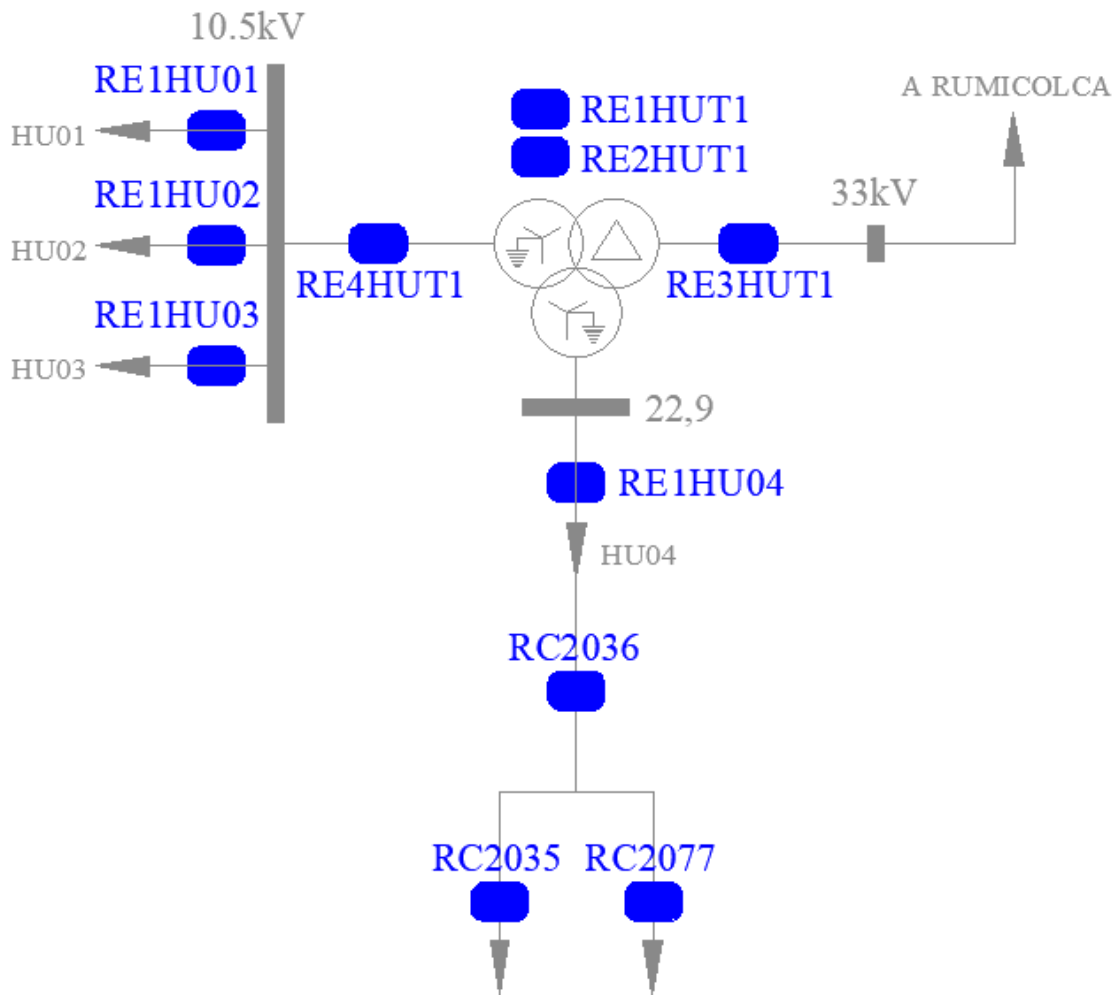
En consecuencia, se propone el uso exclusivo de recierres lentos, adecuados para sistemas coordinados principalmente con relés. Considerando la experiencia operativa de ELSE y criterios técnicos, se recomienda habilitar dos recierres lentos con tiempos muertos de 0,5 s y 10 s, seguidos de un disparo definitivo, asegurando selectividad y estabilidad del sistema. se muestra en el diagrama unifilar siguiente (*Figura 4.1*).

Figura 4.1. Diagrama unifilar de la subestación de Huaro.



Fuente: Centro de Control ELSE.

Figura 4.2. Sistema de Protección Propuesto.



Fuente Centro de Control ELSE.

4.4 Criterios Técnicos para los Ajustes de Protección de Sobrecorriente del Transformador de Potencia de la S.E. Huaro 33/24/10.5 kV

4.4.1 Ubicación de las Protecciones en la S.E. de Huaro y Línea de 22.9Kv

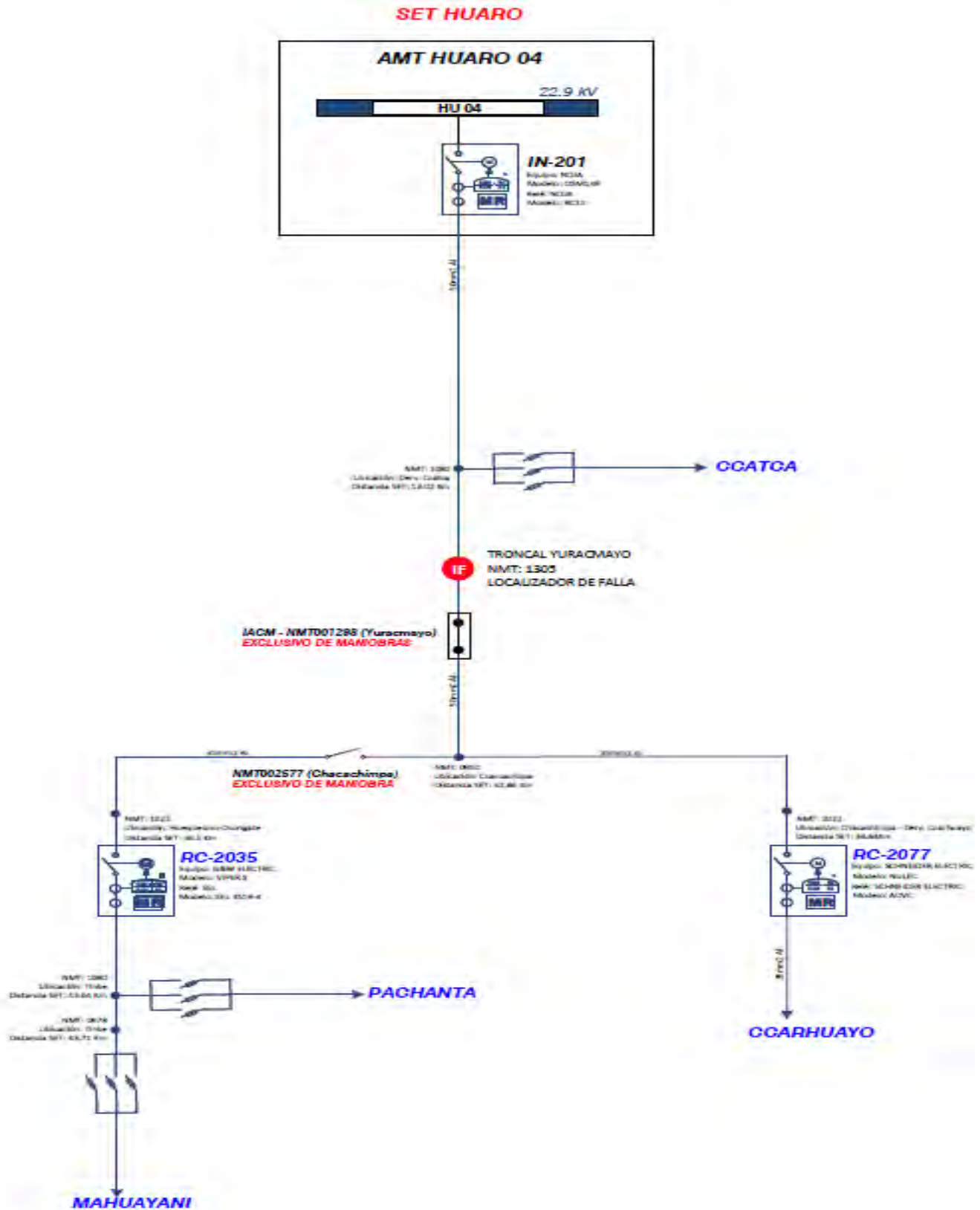
De la (Figura 4.3) se presenta la disposición eléctrica de la Subestación Huaro y del alimentador HU-04, incluyendo los principales equipos de protección, transformadores de potencia y la línea de 22,9 kV Huaro–Ocongate, detallando la ubicación funcional de los dispositivos de protección relevantes.

4.4.2 Subestación Eléctrica de Transformación Huaro

- A la salida de la SED tiene un interruptor en nivel de 22.9 kV IN 201, Equipo: NOJA Modelo: OSM138 Relé: NOJA, tipo instantáneo: 50,50N y relé retardado 51, 51N, Modelo: RC10
- Derivación Ccatcca, se tiene un seccionador bajo carga NMT:1080, Distancia SET: 13.02Km.
- En la línea troncal Yuracmayo, se tiene un localizador de falla tipo NMT: 1305, con equipo de maniobra IACM -NMT001298, EXCLUSIVO DE MANIOBRAS.
- En Chacachimpa se tiene un interruptor tipo NMT002577 exclusivo de maniobra.
- En la derivación Pachanta y Mahuayani, se tiene instalado un interruptor-recloser RC-2035, equipado con relés de sobrecorriente 50 y 51 Equipo: G&W ELECTRIC Modelo: VIPERS Relé: SEL, Modelo: SEL 351R-4.
- En la derivación Ccarhuayo se cuenta con equipos de protección Ubicación: Chacachimpa -Ccarhuayo Distancia SET: 34.64Km NMT: 2022. Cuenta con RC-2077, Equipo: SCHNEIDER ELECTRIC Modelo: NULEC Relé de sobrecorriente SCHNEIDER ELECTRIC Modelo: ADVC.
- Entre Tinke-Pachanta y Mahuayani se tiene dispuesto seccionador bajo carga tipo NMT:0978Ubicación: Tinke -Distancia SET: 43.71Km.
- En subestación Pachanta se tiene presente un seccionador bajo carga, NMT:1080 Ubicación: Tinke Distancia SET: 43.64Km.

la (Figura 4.3), S. E de Huaro, se identifican y describen los dispositivos de protección actualmente instalados tanto en el alimentador de media tensión HU-04, transformador de potencia y su interacción dentro del esquema de protección del sistema.

Figura 4.3. Representación Unifilar de la Arquitectura de Protección del Sistema.



Fuente: Centro de Control ELSE

Tabla 4.1 Ajustes Propuestos de Protección de Sobrecorriente 51/50 de Fases

RELES DE SUBESTACIONES - SOBRECORRIENTE DE FASES - PROPUESTOS																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	RTT	RTC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO			Direc	Ciclo de recierre
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo				
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>	t>>>	I>>>		
A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)								
RE1HU01	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.30	90.00	0.05	C2							2R+Lock	
RE1HU02	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.33	99.00	0.05	C1	1.66	498.00	0.04				2R+Lock	
RE1HU03	SEL	751	10.5	10/0.10	150/1	0.66	99.00	0.05	C1	3.40	510.00	0.06				2R+Lock	
RE1HU04	NOJA	RC10	22.9	22.9/0.10	1/1	60.00	60.00	0.13	IEC-NI	550.00	550.00	0.05				2R+Lock	
RECONECTADORES DE ALIMENTADORES - SOBRECORRIENTE DE FASES - PROPUESTOS																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	TC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO			TIEMPO DEFINIDO			Direc	Ciclo de recierre	
					Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo			Ajuste Instantáneo					
					I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>	t>>>	I>>>			t>>>
A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)					
RC-2035	NULEC				1/1	50.00	50	0.05	IEC-VI	—	—	—				2R+Lock	
RC-2077	SEL	351R	HU04	22.9	1/1	50.00	50	0.05	IEC-VI	—	—	—				2R+Lock	
RC-2036	SEL	351R			1/1	60.00	60	0.08	IEC-NI							2R+Lock	

Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

Tabla 4.2 Ajustes Propuestos de Protección de Sobrecorriente 51N/50N de Tierra

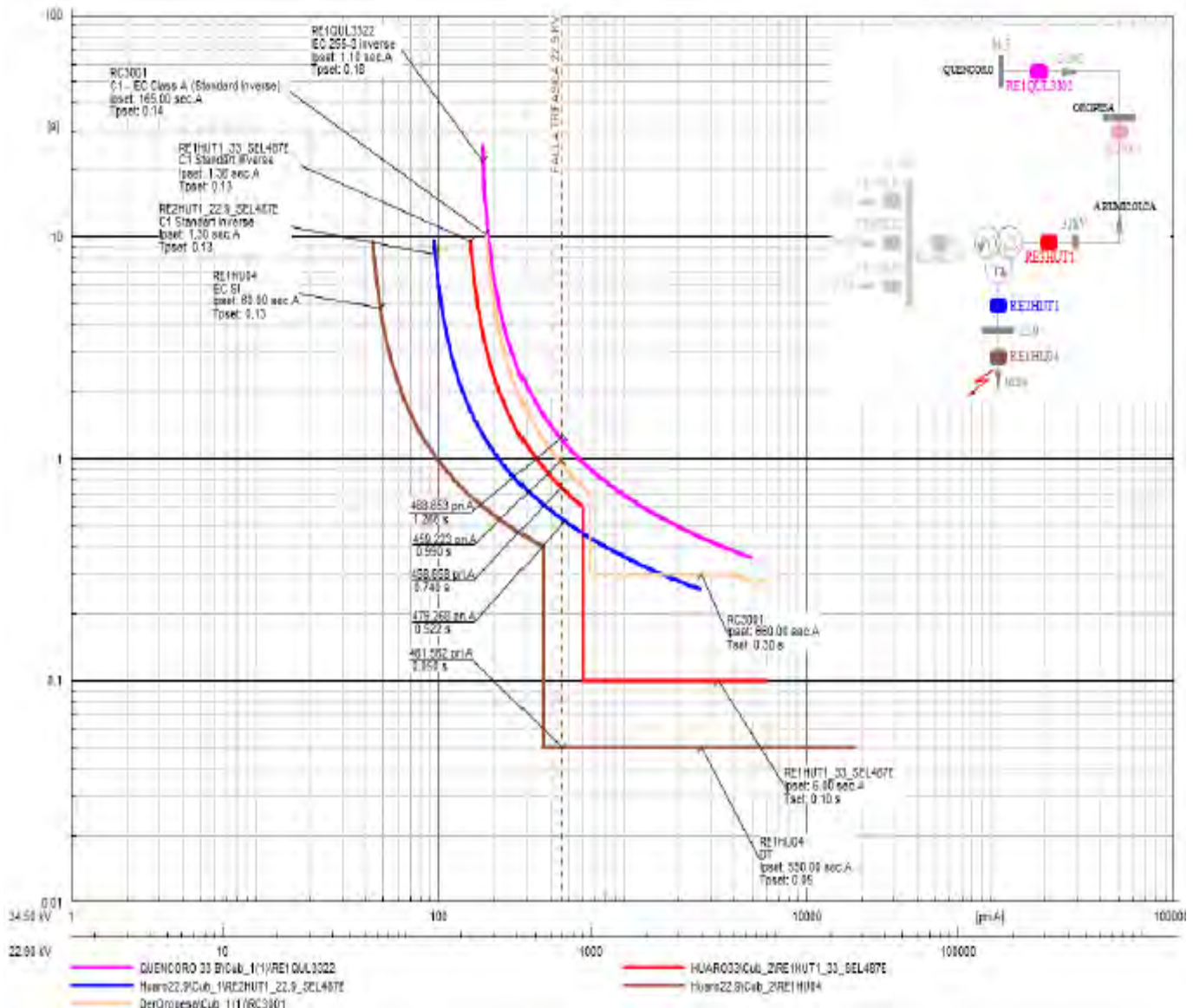
RELES DE SUBESTACIONES - SOBRECORRIENTE DE TIERRA - PROPUESTOS																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	RTT	RTC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO		TIEMPO DEFINIDO		Direc	Ciclo de recierre		
						Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo		Ajuste Instantáneo					
						I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>			t>>>	
A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)								
RE1HU01	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.10	30.00	0.08	C2							2R+Lock	
RE1HU02	SEL	751	10.5	10/0.10	300/1	0.10	30.00	0.05	C2	0.10	30.00	0.60				2R+Lock	
RE1HU03	SEL	751	10.5	10/0.10	150/1	0.20	30.00	0.07	C2							2R+Lock	
RE1HU04	NOJA	RC10	22.9	22.9/0.10	1/1	30.00	30.00	0.16	IEC-NI	500.00	500.00	0.05				2R+Lock	
RECONECTADORES DE ALIMENTADORES - SOBRECORRIENTE DE TIERRA - PROPUESTOS																	
COD. RELE	MARCA	MODELO	KV	TC	TIEMPO INVERSO				TIEMPO DEFINIDO		TIEMPO DEFINIDO		Direc	Ciclo de recierre			
					Ajuste Temporizado				Ajuste Instantáneo		Ajuste Instantáneo						
					I>		TMS	Curva	I>>		t>>	I>>>			t>>>		
A Sec	A Prim			A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)	A Sec	A Prim	(s)					
RC-2035	NULEC		HU04	22.9	1/1	30.00	30	0.05	IEC-VI							2R+Lock	
RC-2077	SEL	351R			1/1	30.00	30	0.05	IEC-VI								2R+Lock
RC-2036	SEL	351R			1/1	30.00	30	0.10	IEC-NI								2R+Lock

Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones

4.4.3 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 - Ajustes Propuestos

A continuación, se presentan los ajustes propuestos de las curvas de los relés de protección correspondientes al transformador y al alimentador HU-04, los cuales han sido definidos con el fin de asegurar una adecuada coordinación, selectividad y confiabilidad del esquema de protección del sistema eléctrico.

Figura 4.4. Curvas de Relés de protección del transformador de HU-04.



Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

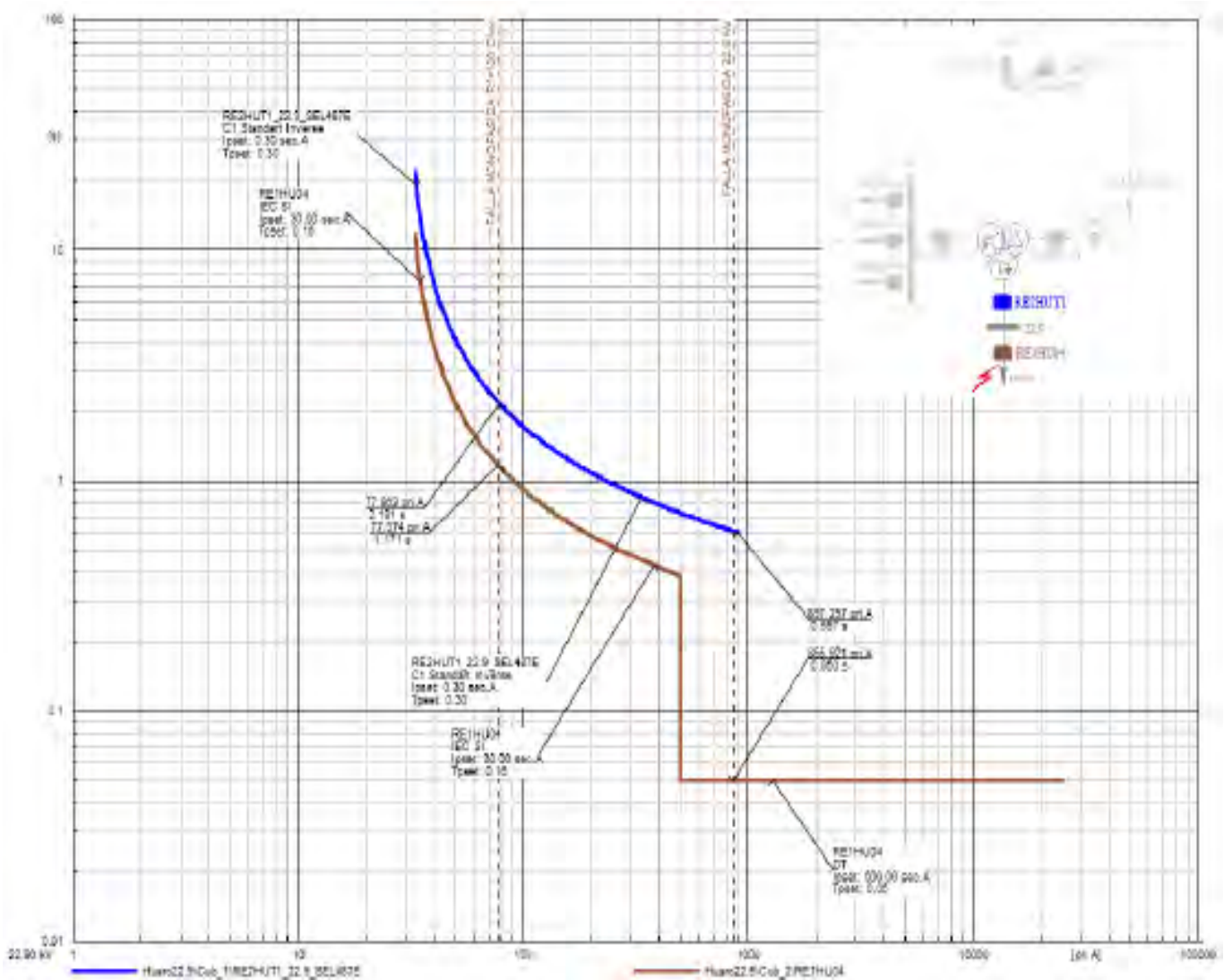
En el (Figura 4.4) se observa la coordinación de los relés ubicados en el transformador de Huaro cuando ocurre falla cerca del AMT de 22.9 kV:

i. La secuencia de operación es la siguiente:

- Primero: Recloser se la salida HU04 en 50 ms
- Segundo: Relé del transf. lado 22.9 KV en 522 ms
- Tercero: Relé del transf. lado 34.5 KV en 740 ms
- Cuarto: Relé RE2QUL3302 en 990 ms
- Quinto: Relé ubicado en Quencoro en 1266 ms

4.4.4 Protección de Sobrecorriente de Tierra 51N/50N – Ajustes Propuestos

Figura 4.5. Curvas de Relés de proteccion del transformador de HU-04.



Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

En el (Figura 4.5) se observa la coordinación de los relés ubicados en el transformador de Huaro cuando ocurre una falla muy cercana al AMT de 22.9 kV:

- i. **La secuencia de operación para una falla delante del relé RE1HU04 es la siguiente:**
 - Primero: Recloser de la salida HU04 en 50 ms
 - Segundo: Relé del transf. lado 22.9 KV en 597 ms
- ii. **La secuencia de operación para una falla alejada es la siguiente:**
 - Primero: Recloser de la salida HU04 en 1171 ms
 - Segundo: Relé del transf. lado 22.9 KV en 2181 ms

4.5 Comprobación de la Selectividad Operativa de las Protecciones de Sobrecorriente en Alimentadores de Media Tensión

Muestra la tabla siguiente se evidencia que el umbral de arranque del relé de sobrecorriente de fase propuesto supera la corriente correspondiente a la máxima demanda del sistema, lo que asegura una coordinación y selectividad adecuadas del esquema de protección. Asimismo, se constata la ausencia de desbalances significativos de corriente, dado que, según los registros operativos de ELSE, no existen cargas monofásicas de magnitud representativa en los alimentadores asociados a la Subestación Huaro. En consecuencia, el ajuste de la función 51N proporciona la sensibilidad requerida para detectar fallas monofásicas a tierra de 100 Ω , evitando a la vez disparos indebidos ocasionados por desbalances leves o corrientes residuales que no corresponden a fallas reales.

Tabla 4.3 Características de la Subestación de Huaro.

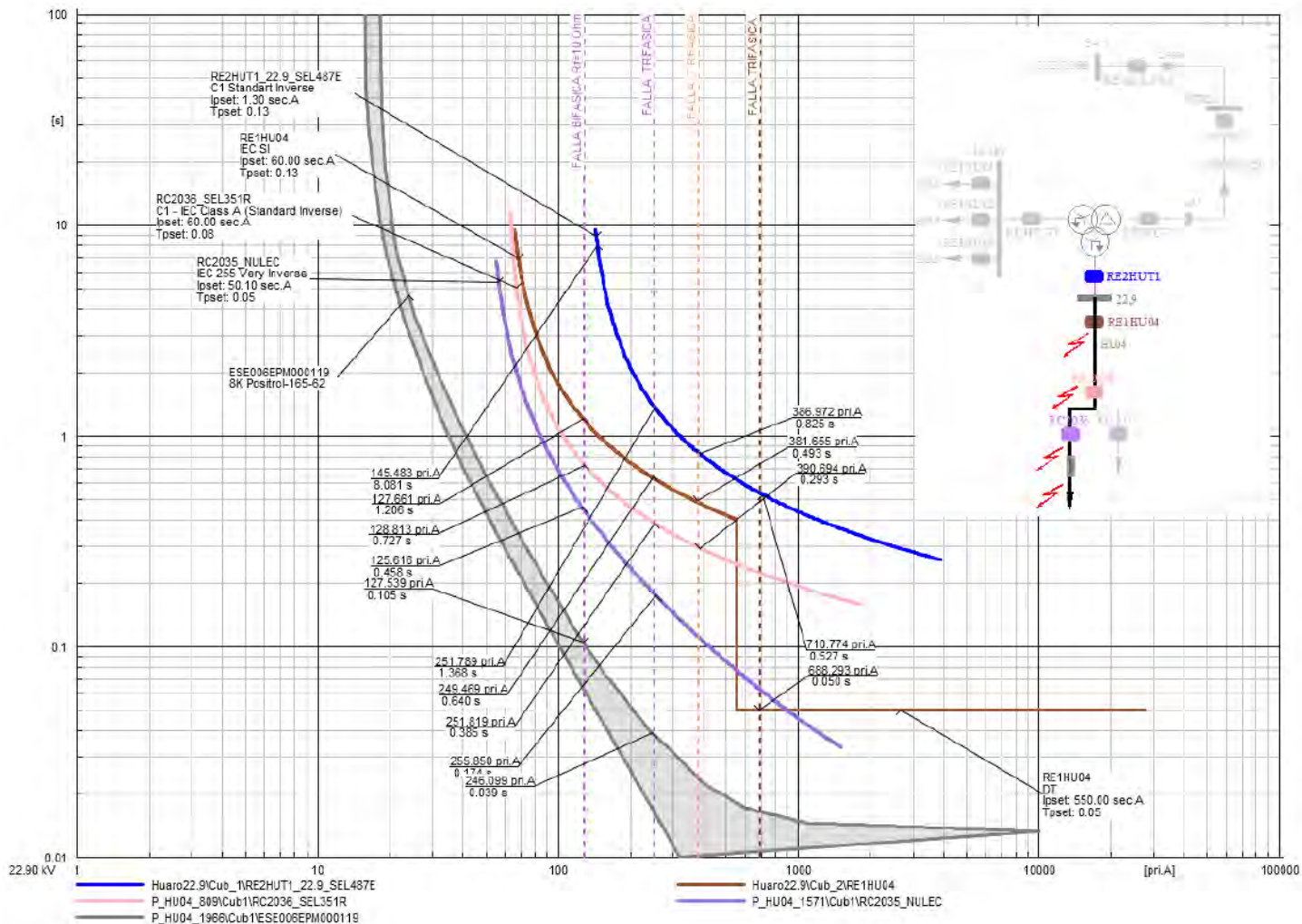
SUBESTACION HUARO									
AMT	kV	TC	Tipo de Conductor	Capac. Del Conductor	Máxima Demanda		Máximo Desbalance	51 pickup	51N Pickup
			Material_mm2	Amp	KW	Amp	Amp	Amp	Amp
HU04	22.9	1/1	CU. 3x95 S 22.9 KV NKY	250	1740	29	0.7	60	30

Fuente: Centro de control ELSE.

4.6 Protección de Sobrecorriente en el Alimentador HU-04 de 22.9 kV - Ajustes Propuestos

4.6.1 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 – Propuestos

Figura 4.6. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.



Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

- i. La secuencia de operación para una falla cercana a la barra de 22.9 KV es la siguiente:
 - Primero: Relé de cabecera en 50 ms
 - Segundo: Relé de lado de 22.9 KV en 527 ms
- ii. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2036 es la siguiente:
 - Primero: Recloser RC2036 293
 - Segundo: Relé de cabecera en 493 ms
 - Tercero: Relé de lado de 22.9 KV en 825 ms
- iii. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2035 es la siguiente:
 - Fusible en instantáneo

- Primero: Recloser RC2035 en 174 ms
- Segundo: Recloser RC2036 385 agregar)
- Tercero: Relé de cabecera en 640 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1368 ms

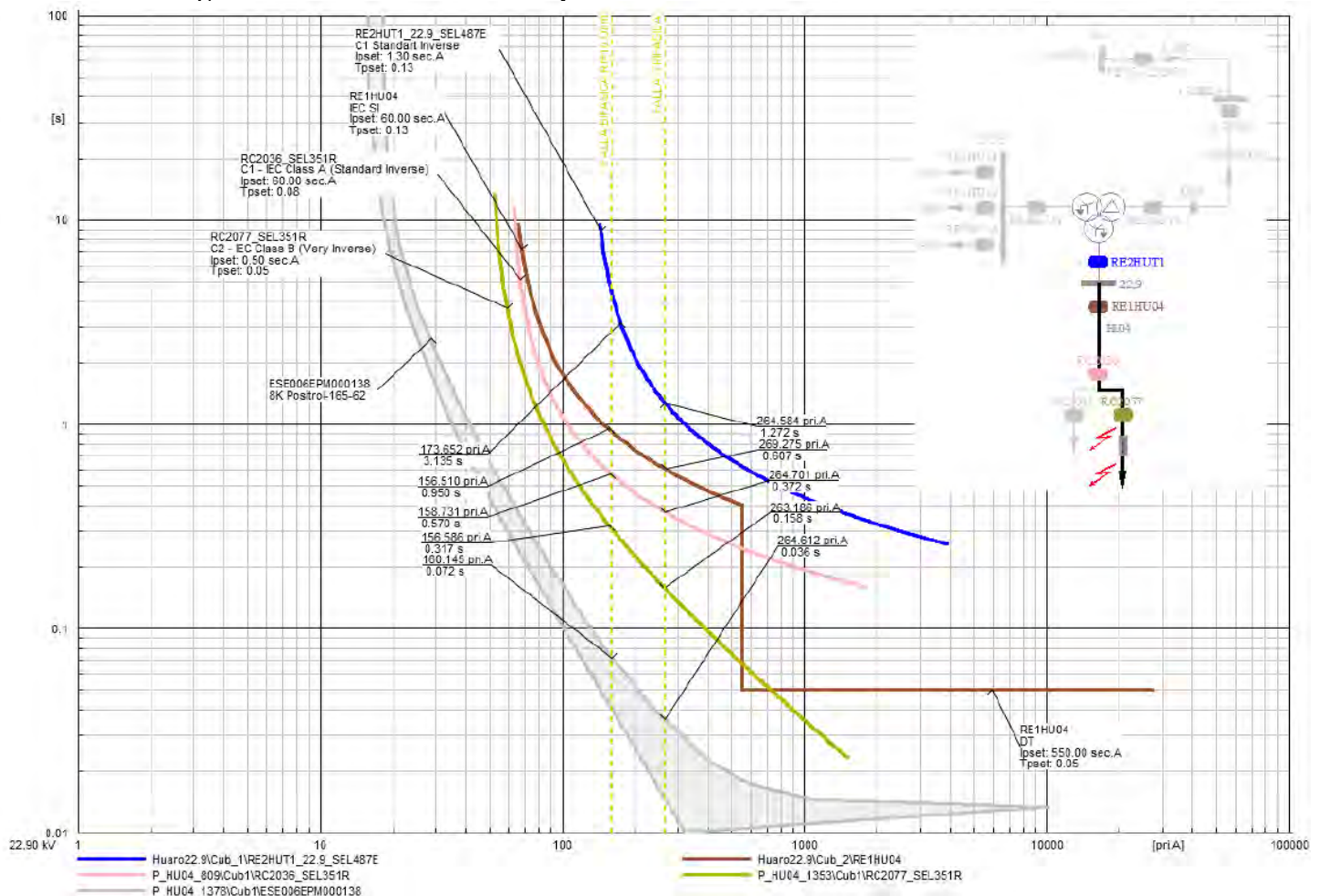
iv. La secuencia de operación para una falla muy alejada es la siguiente:

- Fusible en instantáneo
- Primero: Recloser RC2035 en 458 ms
- Segundo: Recloser RC2036 727
- Tercero: Relé de cabecera en 1206 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 8081 ms

Con los ajustes propuestos y el nuevo recloser RC2036 se observa una correcta selectividad.

4.6.2 Protección de Sobrecorriente de Fases 51/50 – Ajustes Propuestos

Figura 4.7. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV



Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

i. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2077 es la siguiente:

a) Fusible en instantáneo

- Primero: Recloser RC2077 en 158 ms
- Segundo: Recloser RC2036 en 372 ms
- Tercero: Relé de cabecera en 607 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1272 ms

ii. La secuencia de operación para una falla muy alejada es la siguiente:

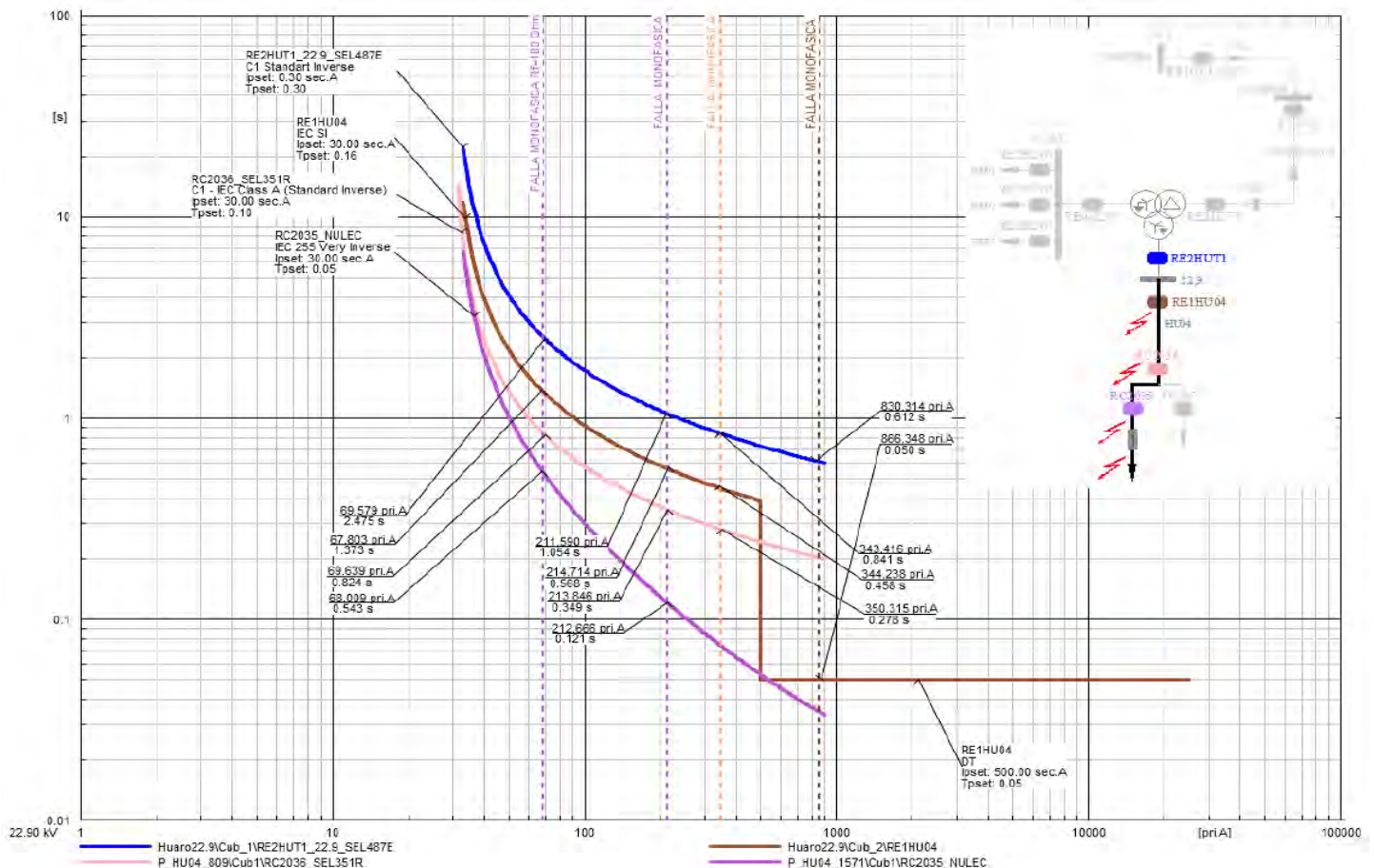
b) Fusible en instantáneo

- Primero: Recloser RC2077 en 317 ms
- Segundo: Recloser RC2036 en 570 ms
- Tercero: Relé de cabecera en 950 ms
- Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 3135 ms

Con los ajustes propuestos y el nuevo recloser RC2036 se observa una correcta selectividad.

4.6.3 Protección de Sobrecorriente a Tierra (Neutro) 51N/50N – Ajustes Propuestos

Figura 4.8. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.



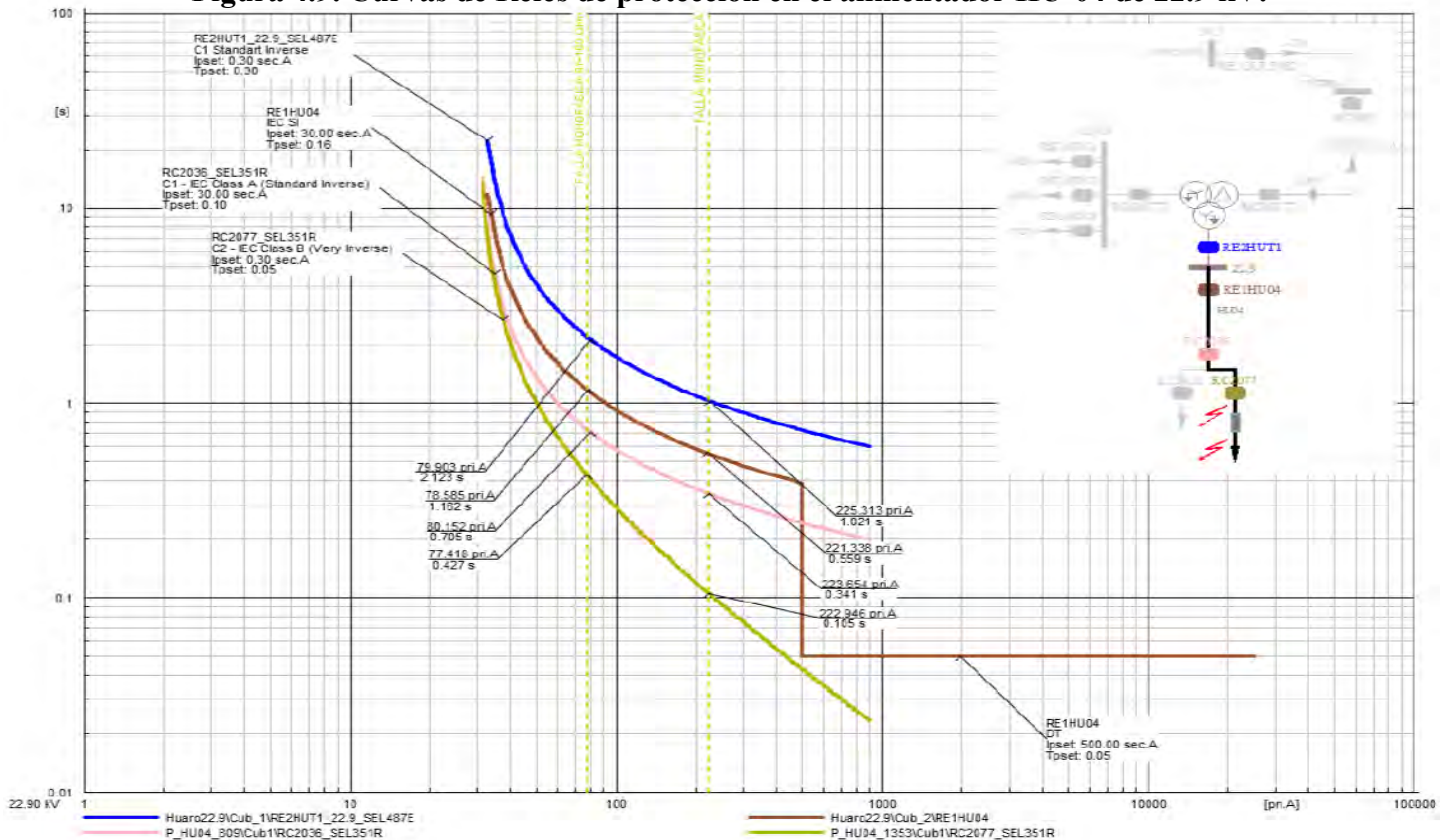
Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

- i. La secuencia de operación para una falla cercana a la barra de 22.9 KV es la siguiente:
 - Primero: Relé de cabecera en 50 ms
 - Segundo: Relé de lado de 22.9 KV en 612 ms
- ii. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2036 es la siguiente:
 - Primero: Recloser RC2036 en 278 ms
 - Segundo: Relé de cabecera en 458 ms
 - Tercero: Relé de lado de 22.9 KV en 841 ms
- iii. La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2035 es la siguiente:
 - Primero: Recloser RC2035 en 121 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 en 349 ms
 - Tercero: Relé de cabecera en 568 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1054 ms
- iv. La secuencia de operación para una falla muy alejada es la siguiente:
 - Primero: Recloser RC2035 en 543 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 en 824 ms
 - Tercero: Relé de cabecera en 1373 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 2475 ms

En este caso se mantiene la selectividad inclusive agregando el recloser RC2036.

4.6.4 Protección de Sobrecorriente de Tierra 51N/50N – Ajustes Propuestos

Figura 4.9. Curvas de Relés de protección en el alimentador HU-04 de 22.9 kV.



Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

- i. **La secuencia de operación para una falla delante del recloser RC2077 es la siguiente:**
 - Primero: Recloser RC2077 en 105 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 en 341 ms
 - Tercero: Relé de cabecera en 559 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 1021 ms
- ii. **La secuencia de operación para una falla muy alejada es la siguiente:**
 - Primero: Recloser RC2077 en 427 ms
 - Segundo: Recloser RC2036 en 705 ms
 - Tercero: Relé de cabecera en 1162 ms
 - Cuarto: Relé de lado de 22.9 KV en 2123 ms

En este caso se observa una correcta selectividad aún después de agregar el recloser RC2036

4.7 Protección Conductor Roto (I2/I1)

La filosofía de protección de ELSE define los criterios para el ajuste de la función de detección de conductor roto (I2/I1), la cual opera únicamente en modo de alarma para la supervisión y diagnóstico del sistema. En la Subestación Huaro, los alimentadores de 10,5 kV y 22,9 kV cuentan con neutro sólidamente puesto a tierra, condición que influye en la respuesta de las protecciones ante fallas monofásicas y desbalances de corriente, requiriendo una parametrización adecuada que garantice la selectividad, confiabilidad y estabilidad operativa del esquema de protección, en la siguiente tabla se verifica los ajustes propuestos:

Tabla 4.4. Resultados de las Simulaciones realizadas y los ajustes propuestos

AJUSTES																		
COD. RELE	MARCA	MODELO	RTC	EVENTO DE CONDUCTOR ROTO												CONDUCTOR ROTO		
				OPERACIÓN NORMAL			EVENTO CERCANO						EVENTO INTERMEDIO			EVENTO AJEJADO		
				I2(A)	I1(A)	I2/I1(%)	I2(A)	I1(A)	I2/I1(%)	I2(A)	I1(A)	I2/I1(%)	I2(A)	I1(A)	I2/I1(%)	I2 (A Prim)	I2/I1(%)	t (seg)
RE1HU04	NOJA	RC10	1/1	0.64	29.56	2.18	12.89	16.53	77.99	6.37	23.03	27.66	0.60	29.27	2.06	10	25	7
RC-2035	NULEC		1/1	0.74	8.21	8.96	3.19	5.76	55.42	3.18	5.77	55.07	1.05	7.90	13.28	10	30	5
RC-2077	SEL	351R	1/1	0.31	3.12	9.93	1.01	2.15	46.79	1.00	2.15	46.62	0.31	3.12	9.86	10	30	5
RC-2036	SEL	351R	1/1	0.43	18.46	2.33	6.33	12.59	50.26	7.13	11.79	60.44	0.73	18.16	4.04	10	20	6

Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

4.8 Protección de Falla a Tierra Sensible (SEF)

Conforme a la Filosofía de Protección de ELSE, la función de falla a tierra sensible (SEF) no es aplicable en sistemas con neutro sólidamente puesto a tierra, debido a la baja impedancia del punto de conexión, la cual limita su sensibilidad de detección. En su reemplazo, se implementa la función de sobrecorriente de secuencia cero (50N), configurada con alta sensibilidad y operando únicamente en modo de alarma, con fines de supervisión y análisis operativo.

En el sistema de distribución asociado a la Subestación Huaro, cuyos alimentadores operan a 10,5 kV y 22,9 kV con neutro directamente aterrizado mediante el transformador de potencia, esta configuración resulta técnicamente justificada, permitiendo el monitoreo de posibles desbalances o corrientes residuales a tierra sin comprometer la selectividad ni la estabilidad del esquema de protección.

En la siguiente tabla se verifica los ajustes propuestos:

Tabla 4.5. Ajustes Propuestos para una etapa 50N.

AJUSTES											
COD. RELE	MARCA	MODELO	Alim	KV	RTC						
						OPERACIÓN NORMAL				SEF	
						3I0(A)	I2(A)	I1(A)	I2/I1(%)	I > (A Prim)	t (seg)
RE1HU04	NOJA	RC10	HU04	22.9	1/1	0.75	0.64	29.56	2.18	10	7
RC-2035	NULEC				1/1	0.17	0.74	8.21	8.96	10	5
RC-2077	SEL	351R			1/1	1.04	0.31	3.12	9.93	10	5
RC-2036	SEL	351R			1/1	0.77	0.43	18.46	2.33	10	6

Fuente: Elaboración propia, construida a partir de cálculos eléctricos y lineamientos técnicos de coordinación de protecciones.

4.9 Esquema de Rechazo Automático de Carga y Generación – Sistema Eléctricos Cusco

En septiembre de 2024, el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES) aprobó las especificaciones técnicas vigentes para el año 2025 relacionadas con los Esquemas de Rechazo Automático de Carga (ERAC) y de Desconexión Automática de Generación (EDAG). Estas directrices establecen los criterios operativos y los parámetros técnicos

necesarios para salvaguardar la estabilidad y la seguridad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) ante contingencias de alta severidad.

Con el fin de asegurar una respuesta coordinada y eficiente, el SEIN se organiza en zonas operativas, definiéndose para cada una las etapas de actuación y los porcentajes de carga o generación que deben ser desconectados automáticamente frente a perturbaciones que afecten la frecuencia o la continuidad del suministro eléctrico.

El sistema eléctrico operado por Electro Sur Este S.A.A. (ELSE) se encuentra clasificado en la Zona A, para la cual se contempla únicamente la aplicación del Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia (ERACMF). Por ello, no se considera el esquema de desconexión automática de generación por sobrefrecuencia (EDAGSF), debido a la limitada presencia de generación local en su área de concesión.

4.9.1 Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia “ERACMF” Propuesto en la S.E. HUARO

En el sistema eléctrico del Cusco, el Esquema de Rechazo Automático de Carga (ERAC) se implementa en las subestaciones Quencoro y Huaro, definidas como puntos clave de intervención dentro de la Zona A del SEIN. En estas instalaciones se aplica la lógica de desconexión automática de carga basada en los valores de frecuencia y tiempos de respuesta establecidos por el COES, lo que permite actuar de manera rápida y coordinada frente a caídas de frecuencia en el sistema interconectado. Este esquema contribuye a preservar la estabilidad operativa y a limitar la propagación de perturbaciones.

Seguidamente, se muestra la tabla de configuración del ERAC para las subestaciones Quencoro y Huaro, donde se describen las etapas de actuación, los umbrales de frecuencia, los retardos temporales y los porcentajes de carga desconectados en cada nivel.

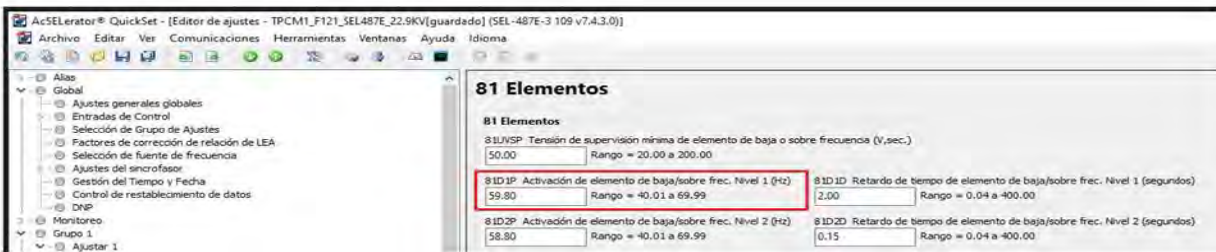
Tabla 4.6. Porcentaje de Rechazo de carga de S.E. Quencoro – Huaro.

ETAPA	SUBESTACION	TENSIÓN	ALIMENTADOR , CIRCUIRO O CARGA	CODIGO DEL INTERRUPTOR	DEMANDA	AJUSTES DE UMBRAL		AJUSTES DE DERIVADA-			RELE AJUSTADO UMBRAL DE	SERIE	RELE AJUSTADO DERIVADA	SERIE
		Kv					Hz	seg	Hz	Hz/s	seg		FRECUENCIA	
ETAPA 3	HUARO	22.9 kV	HU04	IN-201	0.95	58.8	0.15	59.8	-1	0.35	NOJA POWER	311717040339	SEL487E	1182360304
ETAPA 5	QUENCORO	22.9 kV	QU01	IN-1554	1.85	58.5	0.15				SEL351A	1132670356	-	-
ETAPA 5	QUENCORO	22.9 kV	QU05	IN-1548	0.6	58.5	0.15				SEL351A	1132670356	-	-

Fuente: COES.

Para cumplir con el porcentaje de rechazo de carga establecido en la Etapa 3, se definió la desconexión automática del alimentador HU-04 en la Subestación Huaro, mientras que en la Etapa 5 se dispone la apertura de los alimentadores QU-01 y QU-05 desde la Subestación Quencoro mediante el relé SEL-351A. La actuación del HU-04 se realiza de forma coordinada entre el equipo NOJA Power, asociado a la mínima frecuencia, y el relé SEL-487E del transformador de potencia, configurado para responder a la derivada de frecuencia. Esta coordinación garantiza una actuación rápida y selectiva ante condiciones críticas, contribuyendo a la estabilidad dinámica del SEIN conforme a los lineamientos del COES para la Zona A.

Figura 4.10. Ajustes lógicos de forma libre de protección: PROTSSEL1- PROTSEL250.



Ajustes lógicos de forma libre de protección: PROTSEL1 - PROTSEL250

2024 48 # DERIVADA DE FRECUENCIA----- 49 PMV01 := -DFDTP 50 PSV10 := PMV01 >= 1.100000 51 PCT15IN := PSV10 AND 81D1 52 PCT15PU := 21.000000 53 PCT15DO := 6.000000 54 PSV11 := PSV10 AND 81D1 55 # BANDERAS 56 PLT10S := PCT15Q 57 PLT10R := TRGTR		2025 48 # DERIVADA DE FRECUENCIA----- 49 PMV01 := -DFDTP 50 PSV10 := PMV01 >= 1.000000 51 PCT15IN := PSV10 AND 81D1 52 PCT15PU := 21.000000 53 PCT15DO := 6.000000 54 PSV11 := PSV10 AND 81D1 55 # BANDERAS 56 PLT10S := PCT15Q 57 PLT10R := TRGTR
---	--	---

Fuente: COES.

A partir del análisis de la lógica de protección implementada, se observa que el ajuste correspondiente a la función de derivada de frecuencia (df/dt) presenta un umbral de arranque de 59.8 Hz, con una pendiente de 1.10 Hz/s y una temporización de 21 ciclos (equivalente a 350 ms). No obstante, conforme a las especificaciones técnicas establecidas en el Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia – ERACMF 2025, dicho valor de pendiente de derivada deberá ser ajustado a 1.00 Hz/s, a fin de garantizar la coherencia con los criterios normativos del COES y mantener una respuesta adecuada del sistema ante eventos de inestabilidad de frecuencia.

Por otro lado, en el relé NOJA POWER instalado en la salida HU-04 de la Subestación Huaro, se verificaron los ajustes actuales asociados a la función de mínima frecuencia, los cuales se detallan a continuación. Estos parámetros permiten identificar el umbral de actuación, los tiempos de retardo y la secuencia de desconexión de carga, asegurando una coordinación efectiva con el relé SEL-487E y una respuesta selectiva dentro del esquema ERACMF vigente.

Figura 4.11. Ajustes de Relé de Salida HU-04

The screenshot displays the configuration interface for the NOJA POWER relay, specifically for output HU-04. The interface is divided into several tabs, with 'Ajustes Sin Conexión' (Settings Without Connection) selected. The 'Frecuencia' (Frequency) section is highlighted with a red box, showing the following settings:

Función	Umbral (Hz)	Pendiente (Hz/s)	Tiempo de Disparo (s)	Acción
Baja Frecuencia (UF)	59.80	1.10	0.15	L
Sobre Frecuencia (OF)	50.50		10.00	D
ROCOF	1.0	1.0	0.50	D

Other visible settings include:

- Sobre Voltaje (OV):** Multiplicador 1.15, Tiempo de Disparo 10.00 s.
- Sobre Voltaje (OV2):** Multiplicador 1.15, Tiempo de Disparo 10.00 s.
- OV3:** Desplazamiento de Neutro (OV3) 0.05, Tiempo de Disparo 10.00 s.
- OV4:** Secuencia Negativa (OV4) 0.05, Tiempo de Disparo 10.00 s.
- Auto Recierre de Voltaje:** Tiempo de Recierre 10.00 s, No. de Disparos para Bloqueo 4.
- Voltaje Sag (UV4):** Multiplicador 0.10, 0.50, 0.90; Tiempo de Operación 10.00 s; Tiempo de Bloqueo 10 min.

Fuente: Elaboración propia

Del análisis efectuado se evidencia que únicamente se encuentra habilitado el umbral de frecuencia de 58.8 Hz, con una temporización de 150 ms, ajustes que no requieren modificación por encontrarse dentro de los valores operativos definidos por el ERACMF 2025. Sin embargo, se constató que el reconectador NOJA POWER dispone de la función de derivada de frecuencia (ROCOF), actualmente deshabilitada, la cual podría ser activada y parametrizada adecuadamente, permitiendo así trasladar la supervisión de la derivada de frecuencia desde el relé SEL-487E hacia el NOJA POWER, optimizando la coordinación y simplicidad del esquema de protección.

Conclusión técnica, la Subestación Huaro, el relé SEL-487E cumple actualmente la función de derivada de frecuencia (df/dt), mientras que el reconectador NOJA POWER actúa únicamente sobre el umbral de frecuencia mínima (59/81U). No obstante, considerando que el NOJA POWER cuenta con la función ROCOF integrada, esta podría ser habilitada y ajustada para reemplazar la función equivalente en el relé SEL-487E, optimizando la lógica de disparo y fortaleciendo la selectividad operativa del esquema de rechazo de carga.

De acuerdo con los requerimientos técnicos del ERACMF 2025, el ajuste de la pendiente de derivada configurado actualmente en el relé SEL-487E deberá modificarse de 1.10 Hz/s a 1.00 Hz/s, con el propósito de alinear los parámetros del sistema de protección a los estándares de frecuencia establecidos por el COES, asegurando así la coherencia funcional y la estabilidad dinámica del SEIN durante perturbaciones severas.

4.10 Propuesta de Reconfiguración del Sistema Eléctrico y Protecciones de la S.E. HU-04 con otro Alimentador Próximo Radia.

En el proceso de reconfiguración de redes de distribución se analizan los distintos esquemas operativos que pueden adoptarse, tales como configuraciones radiales, enmalladas y con ramales laterales, las cuales permiten adaptar el sistema a condiciones normales y de contingencia. La

selección de un esquema adecuado resulta un desafío técnico, debido a la multiplicidad de alternativas posibles para alcanzar un funcionamiento óptimo del sistema.

La planificación de los esquemas de corte y seccionamiento en redes de distribución tiene como finalidad principal la reducción de costos operativos y la mejora de la confiabilidad del suministro. Un diseño óptimo busca minimizar las pérdidas y los costos asociados, garantizando al mismo tiempo el abastecimiento de la demanda eléctrica con niveles aceptables de calidad y continuidad del servicio.

Estas funciones se implementan comúnmente mediante Unidades Principales de Anillo (Ring Main Units – RMU), que integran dispositivos como seccionadores, fusibles y disyuntores. Las RMU son equipos encapsulados en gas SF₆, un dieléctrico de alta rigidez, cuya correcta operación depende de que el gas se mantenga limpio y a una presión superior a la atmosférica. En su configuración típica, las RMU incorporan aisladores y disyuntores conectados a una cámara común de SF₆, controlados por relés de protección que permiten la maniobra segura del sistema.

Las fallas y cortocircuitos son eventos frecuentes en los sistemas de distribución, originados por factores como errores humanos, descargas atmosféricas, deterioro del aislamiento o interferencia de animales. Estas contingencias provocan interrupciones del suministro eléctrico, por lo que los equipos de corte y seccionamiento desempeñan un rol fundamental al permitir el aislamiento rápido de la zona afectada y la reconfiguración de la red, reduciendo el número de usuarios fuera de servicio.

El restablecimiento del suministro mediante reconfiguración de la red requiere un análisis previo de las restricciones técnicas del sistema. Para ello, se considera la revisión de literatura especializada sobre reconfiguración de redes eléctricas, operación de dispositivos de seccionamiento y métodos automáticos de restauración del servicio.

El objetivo central de la investigación es identificar la alternativa más eficiente de reconexión de la red de distribución, considerando restricciones de tensión y manteniendo la topología radial del sistema. Este análisis se desarrolla mediante herramientas de simulación como MATLAB y DIgSILENT PowerFactory, que permiten modelar distintos escenarios y obtener soluciones óptimas.

Finalmente, se concluye que la futura reconfiguración del alimentador HU-04 no puede realizarse mediante transferencia de carga hacia otro alimentador, debido a la inexistencia de alimentadores cercanos. En este contexto, y conforme al Estudio de Coordinación de Protecciones 2024, se propone la implementación de esquemas de reconfiguración a través de la plataforma ADMS Survalent ONE, prevista para su puesta en operación en el año 2025.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA PROPUESTA

5.1 INTRODUCCIÓN

La propuesta contempla la actualización de los sistemas de protección mediante el reemplazo de transformadores de corriente, reconectores automáticos y fusibles, incorporando tecnología moderna que permita una detección y despeje eficiente de fallas, mejorando la coordinación, selectividad y confiabilidad del sistema eléctrico.

5.2 Resultados y Discusión

El análisis de resultados se desarrolló a partir de la modelación del sistema eléctrico de la Subestación Huaro, alimentador HU-04 (22,9 kV), mediante el software DlgSILENT Power Factory (versión 2021 SP2). Las simulaciones consideraron análisis de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones, lo que permitió evaluar el comportamiento del sistema ante distintos escenarios operativos de demanda máxima y mínima.

5.3 Evaluación del Estado Actual del Alimentador HU-04

Los resultados del estudio de flujo de carga muestran un funcionamiento estable del sistema eléctrico en régimen normal, con perfiles de tensión que cumplen los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE). Sin embargo, se identificaron pérdidas técnicas considerables y una dependencia total del alimentador externo para el suministro de potencia activa (1985,91 kW) y reactiva (653,85 kvar). Asimismo, se constató la ausencia de generación distribuida, reserva rodante y compensación reactiva, factores que limitan la capacidad del sistema para responder eficazmente ante perturbaciones o contingencias operativas.

5.4 Análisis de Coordinación y Ajustes de Protecciones

El análisis comparativo entre los ajustes vigentes y los ajustes propuestos permitió identificar discrepancias relevantes en los tiempos de actuación y en los niveles de disparo de los dispositivos de protección. Se constató que los parámetros originales habían sido establecidos con criterios empíricos, sin un sustento técnico basado en una coordinación sistemática, lo que generaba operaciones no selectivas y desconexiones innecesarias, impactando negativamente en la continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

Mediante el análisis de las curvas tiempo–corriente (TCC), se definió una nueva secuencia jerárquica de operación de los dispositivos de protección, asegurando la selectividad y la adecuada discriminación temporal según la localización de la falla en el sistema.

Para fallas cercanas a la barra de 22,9 kV, el relé principal opera en un tiempo aproximado de 50 ms, mientras que el relé de respaldo actúa de manera coordinada a los 527 ms, garantizando una adecuada selectividad temporal.

Fallas intermedias: el recloser RC-2036 interviene en 293 ms, coordinando selectivamente con el relé de cabecera (493 ms) y el de respaldo (825 ms).

En el caso de fallas de ubicación intermedia, el reconectador RC-2036 actúa a los 293 ms, manteniendo una coordinación selectiva con el relé de cabecera, que opera a los 493 ms, y con el relé de respaldo, cuyo tiempo de actuación es de 825 ms.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema de distribución mejora su desempeño y confiabilidad operativa. Asimismo, se comprobó que el transformador ZigZag ubicado en la barra de 22,9 kV está correctamente dimensionado, ya que el nivel de corriente aportado durante fallas a tierra permite una coordinación adecuada de las protecciones.

5.5 Protección de Sobrecorriente y Funciones Asociadas

La implementación de las funciones 50/51 (sobrecorriente instantánea y temporizada) permitió definir una curva de operación adaptada a las condiciones reales de carga y a los niveles de cortocircuito del sistema. A partir de este proceso se consiguió una selectividad temporal mínima de 0,35 s entre el relé de cabecera y los Recloser, garantizando un despeje secuencial y coordinado de las fallas, sin superposición de curvas características ni conflictos operativos entre dispositivos.

Asimismo, se diseñó un nuevo esquema de recierre automático configurado con dos intentos lentos (0,5 s y 10 s), lo cual contribuye a mejorar la estabilidad del sistema eléctrico de distribución y la reducción de riesgos asociados las interrupciones del servicio frente a fallas transitorias recurrentes, especialmente en redes rurales, donde las perturbaciones de origen atmosférico o ambiental son más frecuentes. Este esquema optimizado incrementa la continuidad del suministro eléctrico y refuerza la confiabilidad global del sistema.

5.6 Funciones Especializadas de Protección

Se implementaron funciones avanzadas de supervisión y protección conforme a la Filosofía de Protección de (ELSE), orientadas a mejorar la confiabilidad operativa y la identificación temprana de irregularidades en el sistema eléctrico. Estas configuraciones se describen a continuación:

Conductor roto (I2/I1): configurada en modo alarma y supervisada en tiempo real a través del sistema SCADA, permitiendo la detección de asimetrías o pérdida de fase sin generar disparos intempestivos. Falla a tierra sensible (SEF): sustituida por la función 50N de alta sensibilidad, más adecuada para sistemas con neutro sólidamente aterrizado, garantizando una mayor precisión en la detección de fallas monofásicas.

Sobretensión homopolar (59N): implementada únicamente como etapa de alarma, debido a que en este tipo de redes las sobretensiones residuales son de baja magnitud y corta duración, no justificando una acción de disparo automático.

Los valores de ajuste validados mediante simulación confirman un comportamiento estable y confiable del sistema eléctrico frente a contingencias de baja y media severidad, sin riesgo de actuaciones erróneas ni falsas alarmas, lo que garantiza una operación segura y selectiva de las protecciones.

5.7 Simulación del Esquema de Rechazo Automático de Carga

El sistema fue evaluado ante eventos de baja frecuencia conforme a las especificaciones técnicas establecidas por el COES para el año 2025. De acuerdo con esta normativa de (ELSE), clasificada dentro en Zonas A del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), implementa exclusivamente el Esquema de Rechazo Automático de Carga por Mínima Frecuencia (ERACMF).

Los resultados de simulaciones dinámicas evidenciaron que el alimentador HU-04 ejecuta la desconexión automática durante la Etapa 3 (58,8 Hz) a través del recloser NOJA RC-10, mientras que en la Etapa 5 intervienen los alimentadores QU-01 y QU-05 pertenecientes a la Subestación Quencoro, conforme a la secuencia de rechazo definida por el COES. Asimismo, se realizó la recalibración de la derivada de frecuencia (ROCOF), ajustando su valor de 1,1 Hz/s a 1,0 Hz/s, con el fin de alinear la respuesta del sistema al nuevo esquema operativo y garantizar una actuación más precisa y estable del sistema de protección ante perturbaciones de frecuencia.

5.8 Discusión de Resultados

El análisis integral del sistema demuestra que la optimización de la coordinación de protecciones incrementa de manera significativa la confiabilidad operativa y reduce el riesgo de

desconexiones no selectivas ante eventos de falla. Los ajustes propuestos garantizan una coordinación precisa y eficiente entre los distintos dispositivos de protección, logrando los siguientes beneficios:

- Selectividad temporal efectiva entre relés, reconectadores y fusibles, asegurando una secuencia adecuada de eliminación de fallas.
- Reducción de los tiempos de actuación frente a fallas monofásicas y trifásicas, permitiendo una respuesta más ágil, selectiva y controlada del sistema de protección.
- Incremento de la continuidad y calidad del suministro eléctrico, evidenciado en la mejora de los indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI.
- Mayor estabilidad operativa del alimentador HU-04, con una disminución significativa de la energía no suministrada y una optimización del desempeño y eficiencia global del sistema de distribución.

En resumen, los resultados muestran que la implementación de metodologías de coordinación basadas en simulaciones y análisis técnico especializado refuerza la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico de distribución. Esto cumple los objetivos de la investigación y favorece la mejora continua en la operación de la red. En el cuadro siguiente se presenta una comparación detallada entre el estado actual y los ajustes propuestos, evidenciando de manera clara los beneficios de las nuevas configuraciones.

Tabla 5.1. Cuadro de discusiones de resultados.

Criterio de análisis	Estado actual del AMT HU-04	Propuesta optimizada de ajustes
Base normativa, criterios y metodología	No existe un estudio formal de coordinación; los ajustes fueron definidos empíricamente o por experiencia operativa, sin respaldo analítico documentado.	Estudio técnico integral basado en curvas TCC, análisis de cortocircuito y criterios de selectividad, coordinación y respaldo, conforme a normas IEC, filosofía de protección ELSE y lineamientos COES.
Modelado del sistema eléctrico	Información GIS parcialmente desactualizada; modelo sin validación con demanda real ni escenarios críticos de falla.	Modelo completo y actualizado en DIgSILENT PowerFactory, incorporando demanda proyectada al 2025 y simulaciones de fallas reales y extremas.
Diagnóstico operativo del alimentador	Alta frecuencia de interrupciones, tiempos de despeje no uniformes y eventos de mala coordinación aguas abajo.	Optimización de secuencias de despeje, reducción de tiempos de operación y mejora sustancial de la continuidad y confiabilidad del servicio.
Relés y dispositivos instalados	Relés digitales existentes (NOJA, SEL, Schneider) con ajustes no coordinados entre sí.	Se mantienen los equipos existentes, pero se redefinen ajustes y curvas para lograr coordinación selectiva progresiva sin necesidad de inversión adicional.
Protección 50/51 – Sobrecorriente de fase	Ajustes elevados o no alineados con la corriente de máxima demanda, con riesgo de no despejar fallas menores o generar disparos innecesarios.	Pickups definidos entre 1,1–1,3 veces la corriente máxima de carga y 6–10 veces para instantáneo, usando curvas IEC Normal/Very Inverse, asegurando selectividad y rapidez.
Protección 50N/51N – Sobrecorriente de tierra	Sensibilidad insuficiente para detectar fallas monofásicas en zonas alejadas del alimentador.	Pickups ajustados entre 2–4 veces la corriente mínima de falla y 0,1–0,2 pu en 51N, permitiendo detectar fallas a tierra de hasta 100 Ω sin disparos falsos.
Esquema de recierre automático	Sin filosofía técnica definida; dependencia de la práctica histórica del operador.	Implementación de 2 recierre lentos, primer recierre a 0,5 s y segundo a 10 s, mejorando la recuperación del servicio ante fallas transitorias.
Coordinación entre dispositivos	Superposición de curvas TCC entre reconectores y protecciones de cabecera, con pérdida de selectividad.	Coordinación verificada entre RC-2035, RC-2036, RC-2077 y relé de cabecera, garantizando despeje selectivo y jerarquizado.
Transformador de potencia y protección de respaldo	Coordinación limitada ante fallas en barras o salida del alimentador.	Secuencia optimizada: primero HU-04, luego protección 22,9 kV y finalmente respaldo 34,5 kV del transformador, asegurando protección integral del sistema.
Confiabilidad y continuidad del servicio	Alta probabilidad de cortes extensivos, disparos injustificados y afectación directa a los usuarios.	Reducción de interrupciones, respuesta más rápida y localizada, con mejora directa en los índices SAIDI y SAIFI.
Crecimiento de la demanda	No considerado en los ajustes actuales, limitando la flexibilidad operativa futura.	Ajustes diseñados considerando expansión futura residencial, comercial e industrial, garantizando sostenibilidad del esquema de protección.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. La optimización de la coordinación de protecciones del alimentador de media tensión HU-04 en 22,9 kV permitió mejorar de manera significativa la selectividad, confiabilidad y seguridad operativa del sistema de distribución de la provincia de Quispicanchi. La propuesta de nuevos ajustes técnicos redujo los tiempos de despeje de fallas y eliminó disparos no selectivos, fortaleciendo la continuidad del suministro eléctrico y asegurando el cumplimiento de los criterios establecidos por la NTCSE y los indicadores de calidad regulados por Osinergmin.
2. El análisis del estado actual del alimentador HU-04 evidenció deficiencias relevantes en la coordinación de los dispositivos de protección existentes, tales como relés, reconectadores y fusibles, cuyos ajustes fueron definidos de manera empírica y no correspondían a las condiciones reales de carga, topología ni proyección de crecimiento del sistema. Estas limitaciones ocasionaban desconexiones innecesarias de amplios sectores del alimentador, incrementando los índices de interrupción SAIDI y SAIFI y afectando negativamente la calidad del servicio eléctrico en el área de estudio.
3. Las simulaciones de flujo de carga, cortocircuito y coordinación de protecciones realizadas en el software DIgSILENT PowerFactory permitieron evaluar el desempeño del alimentador HU-04 bajo distintos escenarios operativos y de falla. Los resultados demostraron que, en la condición actual, las protecciones no actuaban de forma selectiva ni oportuna; mientras que, con la implementación de los ajustes propuestos, se logró una adecuada coordinación tiempo–corriente (TCC), garantizando una actuación jerárquica, selectiva y confiable frente a fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas.
4. El redimensionamiento y ajuste integral del esquema de protección propuesto en el Capítulo IV, que incluye las funciones 50/51, 50N/51N, detección de conductor roto y protección

sensible a tierra, permitirá fortalecer la fiabilidad, sensibilidad y estabilidad operativa del alimentador HU-04. Asimismo, la propuesta técnica se encuentra alineada con los requerimientos del esquema ERACMF 2025 y constituye una base técnica sólida para futuras expansiones de carga, reduciendo el riesgo operativo y contribuyendo a una mayor eficiencia y sostenibilidad del sistema eléctrico de distribución.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la empresa Electro Sur Este S.A.A. implementar progresivamente los nuevos ajustes de protección del alimentador HU-04 en 22,9 kV propuestos en el Capítulo IV, considerando las funciones 50/51, 50N/51N, protección sensible a tierra y protección de conductor roto, con el fin de mejorar la selectividad, reducir los tiempos de despeje de fallas y disminuir las interrupciones no programadas del servicio eléctrico.
2. Se recomienda efectuar estudios de coordinación de protecciones de manera periódica, especialmente ante variaciones significativas de carga, ampliaciones de red o incorporación de nuevos usuarios, con el objetivo de mantener actualizados los ajustes de los dispositivos de protección y asegurar un desempeño confiable del alimentador HU-04 frente a nuevas condiciones operativas.
3. Se recomienda mejorar los sistemas de supervisión, registro y análisis de eventos del alimentador HU-04, integrando la información del centro de control, SCADA y relés digitales, a fin de facilitar el análisis post-falla, identificar patrones recurrentes y optimizar la toma de decisiones operativas y de mantenimiento.
4. Se recomienda capacitar de manera continua al personal técnico y operativo de la empresa distribuidora en temas relacionados con coordinación de protecciones, análisis de fallas y uso de herramientas especializadas como DIgSILENT PowerFactory, con el propósito de garantizar una correcta aplicación, verificación y actualización de los ajustes de protección del sistema.
5. Se recomienda aplicar la metodología desarrollada en esta investigación a otros alimentadores de media tensión de características similares dentro del área de concesión de Electro Sur Este S.A.A., priorizando aquellos con altos índices de SAIDI y SAIFI, con el fin de mejorar de manera integral la confiabilidad y calidad del servicio eléctrico en la región.

6. Se recomienda que futuras investigaciones incluyan el análisis de otras funciones de protección avanzadas, como protecciones direccionales, automatización de la red y esquemas de reconfiguración automática, así como la evaluación económica detallada de los beneficios obtenidos con la optimización de la coordinación de protecciones

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, R. (2013). Análisis de la Criticidad de los Sistemas de Distribución como parte fundamental en la prestación del Servicio Eléctrico. *Criticality analysis of distribution systems as a fundamental part of electric service supply*, 80.
- Alania, C. F. (2022). *Análisis de la coordinación de protecciones del sistema eléctrico Cosapi, por incremento de la potencia en el área mina 16, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico – Cosapi minería*. HUANCAYO: UNIVERSIDAD CONTINENTAL.
- Alines, M. R. (2005). *Proteccion de Sistemas Electricos de Potencia*. Monterrey - Mexico: Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- ATANACIO, O. H. (2009). *ANALISIS DE COORDINACION DE PROTECCION DE SUB-SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIA HUARO, HU-04 CON CARGAS IMPORTANTES*. CUSCO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.
- Bedoya, M. Y., & Cadavid, F. G. (2015). *Coordinación de Relés de Sobrecorriente en Sistemas de Distribución con Penetración de Generación Distribuida*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Bravo, L. R. (2020). SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION. *TECSUP*, 24.
- Calderón, J. L. (2019). *Coordinación De La Protección Y Mejora De Los Indicadores Saidi Y Saifi Del Alimentador En Media Tensión Gera Salida 03 De La Empresa Electro Oriente S.A. Moyobamba 2019*. MOYOBAMBA: CERSAR VALLEJO.
- Carhuacusma, D. W. (2021). *Metodología de Selección, Ajuste y Coordinación de Protección con Relés Adaptativos de Sobrecorriente en Sistemas Eléctricos de Distribución con Generación Distribuida*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

- CARRENO, C. M. (2024). *Subestaciones Y Lineas de Transmision*. COLOMBIA: Universidad de Cantabria.
- Castaño, J. S. (30 de abril de 2020). *researchgate.net*. Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-1278-Coordinacion-recloser-fusible_fig29_281538416
- Castaño, R. (2003). *Protección de Sistemas Eléctricos (Primera ed.)*. Colombia: UNAL.
- Castellanos, R. A. (2019). *Mejoramiento de la Coordinación de Protección del Sistema Eléctrico Tarapoto Rural - Alimentador TA-S06*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Choque, V. (2015). *ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN LA SUBESTACIÓN DE DOLORESPATA ACORDE A LA NUEVA TOPOLOGIA EN ALTA Y MEDIA TENSIÓN PARA EL AÑO 2018*. CUSCO: UNSAAC.
- COES. (26 de JULIO de 2014). *SINAC*. Obtenido de COES: <https://www.coes.org.pe/portal/>
- COES. (2019). CTUALIZACION DEL ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL AÑO 2018. *COES SINAC*, 51.
- COES. (10 de ABRIL de 2025). Obtenido de COES: <https://www.coes.org.pe/portal/>
- Congreso de la Republica. (2010). *Ley de Concesiones Electricas*. Lima. Obtenido de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/EADD4E1CA3843D5D0525823C0058FAA7/\\$FILE/DL_25844.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/EADD4E1CA3843D5D0525823C0058FAA7/$FILE/DL_25844.pdf)
- DÍAZ, S. F. (2023). *PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD RURAL DE LA LAGUNA HUAYPO, CUSCO (PER)*. MADRID: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

electricaplicada. (28 de mayo de 2015). *electricaplicada*. Obtenido de electricaplicada: <https://www.electricaplicada.com/principales-interruptores-disyuntores->

ELECTRO SUR ESTE, E. (2023). PLAN AMBIENTAL DETALLADO DE LA LT-3302 Y SUBESTACIONES ASOCIADAS. *LEYCA CONSULTING*, 342.

ELSE. (2017). Codificación de Armados obtenidos de ELSE. *OFICINA SID ELSE*, 120.

ELSE. (2020). PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION - 2020 CONCESION ELECTRO SUR ESTE S.A.A. *DIVISION DE MANTENIMIENTO*, 111.

Espirilla, F. A., & Haquehua, D. A. (2008). *Analisis de Coordinación de Protección del Subsistema de Distribución Primaria Huaro, Huaro 04 con Cargas Importantes*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Expósito, G. (2003). *Sistemas eléctricos de potencia Ejercicios y problemas resueltos*. Madrid: Prentice Hall.

Fhon, N. J. (2019). *Simulación del sistema eléctrico de potencia en 138 kV Chimbote Uno – Casma aplicando el programa PSAT Matlab*. CHIMBOTE: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

García, F. G. (2017). Influencia del nivel de aislamiento en las líneas de transmisión de 60 kv- Huancayo 2017. *UNIVERSIDAD CONTINENTAL*, 142.

GAS, E. (2024). Central Solar Fotovoltaica de Clemesí inyectará 115 MW al SEIN. *EL GAS*, 20.

GlobeCore. (24 de Marzo de 2023). *GlobeCore*. Obtenido de GlobeCore: <https://globecore.com/es/publications/buchholz-relay-found-only-on-transformers-with/>

Gobierno del Perú. (2008). *Norma Técnica de Calidad de Servicios electricos Rurales*. Lima. Obtenido de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898559/RD-016-2008-EM-DGE.pdf>

- Gonzalez, F. (2008). *Introducción a los Sistemas de Potencia,* 2008. Este documento detalla la estructura de los sistemas eléctricos de potencia, su operación óptima, y la coordinación de protecciones para garantizar continuidad y calidad en el suministro. LIMA: UNI.
- Grifaldo, V. (2012). *Protección de sistemas eléctricos de potencia.* Puno: UNIVERSIDAD DEL ALTIPLANO.
- GRUPOELECOND. (30 de DICIEMBRE de 2022). *GRUPOELECOND.* Obtenido de GRUPOELECOND: <https://www.aragcu.com/product/seccionador-cut-out-polimerico-stcor-27-38-150kv-bil-200a-10ka-l-f-750mm-silicon-technology>
- Guerrero, E. P. (2023). *Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de Relés SEL-751.* ECUADOR: Universidad Politécnica Salesiana .
- IEEE. (2018). ELECTRIC POWER DISTRIBUTION FOR INDUSTRIAL PLANTS. *IEEE*, 34.
- INEL. (25 de FEBRERO de 2025). *Inel Institute of Technology.* Obtenido de Inel Institute of Technology: https://inelinc.com/programas-online/?fbclid=IwY2xjawMK7F9leHRuA2FlbQIxMABicmlkETF2eFM1SmswTFR1MndCYIFrAR56W5g9ZnbhqjxgR2npjXsceu9EZguVQfSV9G8itqUjh8EB2_z3ioUUh5AlkA_aem_HJ_0PCZ8pHznJRnhJ-ji3Q
- Javier, P. S. (2021). *Coordinación de protecciones de sistemas eléctricos de potencia mediante formulación de problema de optimización.* SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- LABORATORIOS, C. D. (2018). *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA CORTACIRCUITO DE REPETICION TRES ETAPAS.* Colombia: Grupo epm.

- Laza, A. (2010). *Estudio de Coordinación de Protecciones en Alta y Media Tensión en la Subestación "Machala" Propiedad de la Corporación Nacional de Electricidad S.A.* Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
- Leon, A. M. (2021). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de las máquinas críticas en la empresa Cynara Perú S.A.C., 2021.* LIMA: UNIVERSIDAD CONTINENTAL.
- Marcos, F. M. (2019). CONFIGURACIÓN DE SUBESTACIÓN DE POTENCIA. *UTP*, 45.
- MINAS, M. D. (1997). NORMAS TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS. *NORMAS TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS*, https://www.osinergmin.gob.pe/cartas/documentos/electricidad/normativa/NTCSE_DS020-97-EM.pdf.
- Ministerio de Energía y Minas. (13 de Setiembre de 2010). *Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos*. Obtenido de <https://www.enel.pe/content/dam/enel-pe/ayuda/normas-legales/Norma%20Tecnica%20de%20Calidad%20de%20los%20Servicios%20Electricos.pdf>
- MONTECELOS, J. T. (2015). *Subestaciones Eléctricas*. CALI: Ediciones Paraninfo, S.A. .
- Olivera, E. J. (2024). *Influencia de la resistencia neutro a tierra en los transformadores de distribución de la unidad minera Chungar-Volcan, 2024.* HUANCAYO: UNIVERSIDAD CONTINENTAL.
- OSINERG. (2004). *Procedimiento para la supervisión de los Sistemas Eléctricos* . Lima.
- OSINERGMIN. (2024). Revisión y Aprobación del Plan de Inversiones en Transmisión para el Área de Demanda 10 Período 2025-2029. *Revisión y Aprobación del Plan de Inversiones en Transmisión para el Área de Demanda 10 Período 2025-2029*, 102.

- Palma, B. R. (2008). *Los Sistemas Eléctricos de Potencia*. Santiago: Pearson Education.
- Pucho Leon, A. (2025). *Modelo eléctrico de una electrolinera basado en la generación distribuida solar fotovoltaica en la ciudad de Cusco* . CUSCO: UNSAAC.
- PUMA, F. C. (2023). ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA CRÍTICO DE DISTRIBUCIÓN, ALIMENTADOR 5023 EN 22.9 KV., SET TAPARACHI - JULIACA - LAMPA -PARATIA – PALCA - VILAVILA. *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO*, 126.
- Quispe, E. (2019). *Plan de Mantenimiento en Base a Registros Históricos de Fallas en Redes de Distribución Eléctrica Arequipa*. AREQUIPA: Universidad Nacional de San Agustín,.
- RED, I. (2024). ISA inaugurated in Peru the highest transmission line built in Latin America. *Releases*, 25.
- Ríos, E. A. (2020). METODOLOGÍA DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN REDES . *Metodología de coordinación de protecciones en redes de distribución de media tensión*,, 57.
- ROMERO, C. (2008). *PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIAS*. HUANCAYO: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- S.A.A., E. S., & ELECTRO , S. E. (21 de MAYO de 2023). *ELSE*. Obtenido de ELSE: <https://www.else.com.pe/else/plan-ambiental-detallado/pad-cusco/>
- Sanchez, M. A. (2021). *Evaluación de la coordianción de protección, en redes de distribución con generación distribuida*. Arica: Universidad de Tarapaca .
- Sánchez, R. (2012). *Estudio de cortocircuito y calibración de protecciones eléctricas en el sistema de transmisión de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.

SECTORELECTRICIDAD. (26 de MAYO de 2015). *SECTORELECTRICIDAD*. Obtenido de SECTORELECTRICIDAD: [//www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/](http://www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/)

SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA, PETRÓLEO Y ENERGÍA. (2 de DICIEMBRE de 2024). Obtenido de <https://www.desdeadentro.pe/2024/12/la-era-de-las-redes-inteligentes-en-el-sector-electrico-peruano/>

Stürgkh, A. (2025). *Importancia de las redes eléctricas para la transición energética europea*. EUROPA: Unida en la diversidad.

Suárez, A. M. (2021). *Análisis de Sobre corriente Para Fallas en derivación Empleando los Módulos D'lorenzo con el Software Etap*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

TRANSFORMER, V. P. (26 de Junio de 2023). *VIETNAM POWER TRANSFORMER*. Obtenido de VIETNAM POWER TRANSFORMER: <https://vietnamtransformer.com/our-news/what-is-a-recloser-how-does-a-recloser-work-recloser-schneider>

UNSAAC. (2017). Mejoramiento de la coordinación de protección del sistema eléctrico QU-05 en 22.9 KV, Cusco - Paruro. En W. R. Paucar Ccahuana, *Mejoramiento de la coordinación de protección del sistema eléctrico QU-05 en 22.9 KV, Cusco - Paruro* (pág. 145). CUSCO.

Velastegí, M. (2003). *Estudio y Coordinación de Protecciones de Sobrecorriente del Sistema Eléctrico de Petro Producción utilizando relés digitales*. Quito: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

Yokota, J. (2025). Marco regulatorio del sector de servicios públicos de América Latina. *S&P GLOBAL*, 15.

Zapata, C., & Mejia, G. (2003). *Coordinación de Reles de Sobrecorriente en Sistemas Enmallados Utilizando Programación Lineal*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

- Zapata, C., & Mejia, G. (2003). *Coordinación de Relés de Sobrecorriente en Sistemas Radiales Utilizando Programación Lineal*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.
- Zavalar, P. (1992). *Coordinación Grafica de Protecciones de sobrecorriente en sistemas radiales de distribución*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Zuñiga, J. R., & Delgado, P. T. (2016). *Estudio de la Coordinación de Protección en los Radiales PA-01 y PA-02 del Subsistema Eléctrico de Paucartambo*. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

ANEXO

Anexo 1

Indicadores de fallas del alimentador HU-04

MES	AMT	NC: No Programdo, Fenomenos Naturales	NF: No Programado, Falla	NO: No Programado, Operación	NT: No Programado, Acción de terceros	PE: Programado, Expansión o Reforzamiento	PM: Programado: Mantenimiento	Total, general
2022								
ENERO	HU04	9	3					12
FEBRERO	HU04	6	1	1				8
MARZO	HU04	11					2	13
ABRIL	HU04		4		1			5
MAYO	HU04	1			1		3	5
JUNIO	HU04				2		2	4
JULIO	HU04	3	1	1				5
AGOSTO	HU04	2	1	1				4
SEPTIEMBRE	HU04	1	1	2				4
OCTUBRE	HU04	8	1					9
NOVIEMBRE	HU04	10			1			11
DICIEMBRE	HU04	13		1				14
2023								94
ENERO	HU04	9	1					10
FEBRERO	HU04	11	2	1	2			16
MARZO	HU04	8					1	9
ABRIL	HU04	3					1	4
MAYO	HU04	3	1	1				5
JUNIO	HU04	3	1	1				5
JULIO	HU04	2		1				3
AGOSTO	HU04	1		2				3
SEPTIEMBRE	HU04	2				2	3	7
OCTUBRE	HU04	12				2	3	17
NOVIEMBRE	HU04	10				2	3	15
DICIEMBRE	HU04	9				2	3	14
2024								108
ENERO	HU04	10		1		1		12
FEBRERO	HU04	8	1					9
MARZO	HU04	10		1	1	2		14
ABRIL	HU04	12						12
MAYO	HU04	3	2					5
JUNIO	HU04	3	2					5
JULIO	HU04	2						2
AGOSTO	HU04	1		1				2
SEPTIEMBRE	HU04	5	1					6
OCTUBRE	HU04	17	3	2		1		23
NOVIEMBRE	HU04	10	2	4				16
DICIEMBRE	HU04	6	3		1		2	12
								118

Anexo 2

Causas ocasionadas por distintos factores y total de clientes afectados 2025.

CAUSAS	CANTIDAD DE CAUSAS	TOTAL, CLIENTES AFECTADOS
Caída de Árbol	2	10779
Contacto accidental con la línea	3	4560
Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	2	8846
Descargas atmosféricas	87	32292
Fuertes vientos	13	5894
Impacto Vehicular	1	9968
Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	2	6146
Otras, por falla en componentes sist. potencia - PARARRAYOS	1	6146
Otros fenómenos naturales o ambientales	4	1203
Otros, causados por terceros	1	592
Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	2	10919
Total, general	118	92785

Anexo 3

Subestación eléctrica Huaro.



Anexo 4

Patio de llaves de la subestación eléctrica Huaro.



Anexo 5

Símbolos y descripción de los Relés según la norma ANSI estándar.

RELÉ DE PROTECCIÓN	SÍMBOLO	RELÉ DE PROTECCIÓN	SÍMBOLO
Elemento maestro	1	Relé térmico para transformador	49
Relé con retardo de tiempo al arrancar	2	Relé instantáneo de sobrecorriente	50
Relé de chequeo	3	Relé temporizado de sobrecorriente.	51
Relé maestro de arranque	4	Interruptor de corriente alterna.	52
Relé maestro de parada	5	Relé excitación o del generador cc.	53
Interruptor de arranque	6	disponible.	54
Interruptor anódico	7	Relé de factor de potencia.	55
Disp. de desconexión de la pot. de control	8	Relé de aplicación del campo.	56
Dispositivo de inversión.	9	Dispositivo de cortocircuito.	57
Interruptor de control de secuencia	10	Relé de falla de la rectificación.	58
Disponible	11	Relé de sobretensión.	59
Dispositivo de sobrevelocidad	12	Relé de desbalance de corriente.	60
Dispositivo de velocidad síncrona	13	Disponible.	61
Dispositivo de baja velocidad	14	Relé temporizado para parada.	62
Dispositivo igualador de frecuencia	15	Relé de presión.	63
Disponible	16	Relé de falla a tierra.	64
Interruptor de descarga o punteo	17	Regulador.	65
Disp.de aceleración o desaceleración	18	Disp. de control o de avance lento.	66
Relé de transición de arranque o marcha	19	R.direccional de sobrecorriente ac.	67
Válvula operadora eléctricamente	20	Relé de bloqueo.	68
Relé de distancia.	21	Dispositivo permisivo de control.	69
Interruptor igualador.	22	Reóstato.	70
Dispositivo de control y temperatura.	23	Suiche nivel.	71
Relé de ondas viajeras.	24	Interruptor cc.	72
Disp. de sincronización	25	Contac. para resistencia de carga.	73
Dispositivo térmico	26	Relé de alarma.	74
Relés de mínima tensión	27	Mecanis. para cambio de posición	75
Detector de llama	28	Relé de sobrecorriente de cc.	76
Relé anunciador	29	Transmisor de pulsos.	77
Contactos de aislamiento	30	Relé de protección.	78
Dispositivo de excitación separada	31	Relé de recierre de ca.	79
Relé direccional de potencia	32	Relé de flujo.	80
Conmutador de posición	33	Relé de frecuencia.	81
Conmutador de sec.	34	Relé de recierre de cc.	82
Disp. de cortocircuitar las escobillas	35	R. de control selectivo automático.	83
Dispositivo de polaridad	36	Mecanismo de operación.	84
Relé de mínima intensidad	37	Relé receptor de carrier	85
Dispositivo térmico de cojinetes	38	Relé de disparo y bloqueo.	86
Relé de campo/pérdida de excitación	39	Relé de protección diferencial.	87
Detector de condiciones mecánicas	40	Moto generador.	88
Interruptor de campo	41	Seccionador de línea.	89
Interruptor de marcha	42	Dispositivo de regulación.	90
Dispositivo de transferencia	43	Relé direccional de tensión.	91
Relé de sec. de arranque del grupo	44	R.direccional de potencia tensión.	92
Detector de condiciones atmosféricas	45	Contacto cambiador de campo.	93
Relé de intensidad para equilibrio	46	Relé de disparo o disparo libre.	94
Relé de tensión para secuencia de fase	47	Disponible.	95
Relé de secuencia incompleta	48	Detector de vibraciones.	96

Estructura de un Relé de marca NOJA



Anexo 7

Estadísticas del centro de control ELSE

Código Interrupción	Causa	Tipo	Tipo Ubicación Origen	Origen DE	Clientes Afectados
2024006000000000064	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Equipo protección de MT	HU04	7747
2024006000000000086	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Equipo protección de MT	HU04	3172
2024006000000000037	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	9968
2024006000000000018	Impacto Vehicular	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	9968
20240060000000000156	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000091	Otros, causados por terceros	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	592
20240060000000000249	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	811
20240060000000000199	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000181	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000196	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Equipo protección de MT	HU04	6146
20240060000000000137	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000176	Otras, por falla en componentes sist. potencia - PARARRAYOS	No Programada - Falla	Equipo protección de MT	HU04	6146
20240060000000000034	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040250	
20240060000000000099	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000155	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000212	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	803
20240060000000000030	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040155	
20240060000000000213	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	591
20240060000000000148	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	305
20240060000000000117	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000108	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
20240060000000000088	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000067	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
20240060000000000121	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
20240060000000000074	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
20240060000000000026	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000150	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040294	
20240060000000000165	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000172	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
20240060000000000100	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	179

2024006000000000109	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
2024006000000000007	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	506
2024006000000000128	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040157	
2024006000000000057	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040042	335
2024006000000000135	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000103	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000055	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
2024006000000000036	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
2024006000000000152	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000230	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	803
2024006000000000153	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	6146
2024006000000000070	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000097	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	638
2024006000000000035	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000187	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
2024006000000000246	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000014	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000095	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
2024006000000000020	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	144
2024006000000000146	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000144	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	6163
2024006000000000145	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000220	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	179
2024006000000000045	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040155	
2024006000000000098	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000174	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040259	
2024006000000000065	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000012	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000112	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
2024006000000000043	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	179
2024006000000000004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
2024006000000000062	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000023	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	803

2024006000000000102	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000132	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	179
2024006000000000119	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000089	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040297	
2024006000000000068	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	978
2024006000000000147	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000061	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000243	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	510
2024006000000000251	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	179
2024006000000000245	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	334
2024006000000000028	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000029	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000207	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000072	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000053	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	280
2024006000000000051	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000106	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000227	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
2024006000000000143	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	653
2024006000000000060	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000090	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000158	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000163	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000096	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	978
2024006000000000115	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040297	
2024006000000000039	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000073	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000168	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	978
2024006000000000049	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000182	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	332
2024006000000000041	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	592
2024006000000000170	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000022	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000151	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040147	

2024006000000000164	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000071	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000118	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000238	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	730
2024006000000000154	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000159	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	225
2024006000000000160	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000162	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	
2024006000000000046	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000063	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000200	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	638
2024006000000000250	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	642
2024006000000000011	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	506
2024006000000000044	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	638
2024006000000000047	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	728
2024006000000000125	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Equipo protección de MT	HU04	144
2024006000000000130	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040163	
2024006000000000015	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Subestación de Distribución	HU040196	
2024006000000000021	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Equipo protección de MT	HU04	4423
2024006000000000101	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Equipo protección de MT	HU04	4423

ANEXO 8

CUADRO DE "SAIDI y SAIFI" DEL SUBSISTEMA H04-2024												
Código NTCSE	Causa	Tipo	Tipo Origen	Tipo Ubicación Origen	Origen	Origen	Inicio	Duración No Programada	Duración Expansión	Duración Rechazo	Clientes Afectados	Energía No Suministrada
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/01/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400007	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	03/01/2024 10:00	3.25	0.00	0.00	506	0.00002
0062400011	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	06/01/2024 17:35	0.33	0.00	0.00	506	0
0062400012	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/01/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001

0062400014	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0.321	HU04	07/01/2024 8:58	1.87	0.00	0.00		0.00001
0062400015	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	57	HU040196	07/01/2024 17:06	15.23	0.00	0.00		0.00008
0062400020	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060306	684	12/01/2024 16:01	2.32	0.00	0.00	144	0.00001
0062400022	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	12/01/2024 17:24	3.10	0.00	0.00		0.00002
0062400023	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/01/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/01/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400018	Impacto Vehicular	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060023	HU04	14/01/2024 15:39	4.80	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400026	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	15/01/2024 10:47	3.72	0.00	0.00		0.00002
0062400021	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060308	HU04	15/01/2024 13:16	2.57	0.00	0.00	4423	0.00001
0062400030	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060155	HU040155	16/01/2024 10:01	50.27	0.00	0.00		0.00025
0062400028	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/01/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002
0062400029	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061999	HU04	16/01/2024 16:00	1.17	0.00	0.00		0.00001
0062400034	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060250	HU040250	19/01/2024 16:32	18.97	0.00	0.00		0.00009
0062400035	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	22/01/2024 9:22	3.52	0.00	0.00		0.00002
0062400036	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	25/01/2024 7:54	1.90	0.00	0.00	332	0.00001
0062400037	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	27/01/2024 10:45	3.03	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400039	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	30/01/2024 16:54	2.35	0.00	0.00		0.00001
0062400041	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060119	HU04	03/02/2024 11:39	1.68	0.00	0.00	592	0.00001
0062400043	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060101	HU04	05/02/2024 15:35	0.50	0.00	0.00	179	0
0062400044	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060344	HU04	05/02/2024 20:02	9.97	0.00	0.00	638	0.00005
0062400045	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060155	HU040155	06/02/2024 9:10	1.83	0.00	0.00		0.00001

0062400046	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	06/02/2024 9:17	2.72	0.00	0.00	728	0.00001
0062400047	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	06/02/2024 15:40	1.42	0.00	0.00	728	0.00001
0062400049	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	09/02/2024 13:55	3.33	0.00	0.00	225	0.00002
0062400051	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	12/02/2024 14:38	2.03	0.00	0.00	225	0.00001
0062400053	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060849	HU04	13/02/2024 11:38	0.87	0.00	0.00	280	0
0062400055	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	15/02/2024 14:42	2.80	0.00	0.00	653	0.00001
0062400057	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060042	HU040042	17/02/2024 8:59	5.03	0.00	0.00	335	0.00003
0062400060	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	21/02/2024 6:28	5.45	0.00	0.00	728	0.00003
0062400062	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060395	HU04	21/02/2024 12:49	3.68	0.00	0.00	225	0.00002
0062400063	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	22/02/2024 18:26	1.40	0.00	0.00	728	0.00001
0062400065	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	23/02/2024 6:18	3.70	0.00	0.00	225	0.00002
0062400061	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060842	HU04	23/02/2024 8:32	1.80	0.00	0.00		0.00001
0062400067	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	24/02/2024 5:49	2.53	0.00	0.00	332	0.00001
0062400068	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060029	HU04	24/02/2024 7:13	1.82	0.00	0.00	978	0.00001
0062400073	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	24/02/2024 10:29	3.02	0.00	0.00	728	0.00002
0062400070	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060216	HU04	25/02/2024 8:57	4.88	0.00	0.00		0.00002
0062400071	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	25/02/2024 9:37	1.38	0.00	0.00	225	0.00001
0062400072	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060398	HU04	25/02/2024 18:09	1.22	0.00	0.00		0.00001
0062400074	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	27/02/2024 8:12	2.47	0.00	0.00	728	0.00001
0062400064	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	02/03/2024 9:13	0.53	4.78	0.00	7747	0.00003
0062400088	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060223	HU04	13/03/2024 18:29	0.58	0.00	0.00		0

0062400089	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060297	HU040297	14/03/2024 10:54	3.02	0.00	0.00		0.00002
0062400086	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060391	HU04	15/03/2024 10:21	0.18	4.65	0.00	3172	0.00002
0062400090	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062024	HU04	17/03/2024 8:31	4.65	0.00	0.00		0.00002
0062400091	Otros, causados por terceros	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060119	HU04	17/03/2024 8:48	0.20	0.00	0.00	592	0
0062400095	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	20/03/2024 13:50	1.78	0.00	0.00	653	0.00001
0062400096	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060029	HU04	20/03/2024 14:23	1.48	0.00	0.00	978	0.00001
0062400097	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060344	HU04	20/03/2024 15:02	2.63	0.00	0.00	638	0.00001
0062400098	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060216	HU04	20/03/2024 15:25	18.42	0.00	0.00		0.00009
0062400099	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060099	HU04	20/03/2024 15:31	5.90	0.00	0.00		0.00003
0062400103	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060223	HU04	20/03/2024 16:14	1.72	0.00	0.00		0.00001
0062400100	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060101	HU04	20/03/2024 16:27	4.63	0.00	0.00	179	0.00002
0062400102	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060092	HU04	20/03/2024 16:48	3.15	0.00	0.00		0.00002
0062400101	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060308	HU04	21/03/2024 14:57	0.25	0.00	0.00	4423	0
0062400106	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060842	HU04	21/03/2024 15:57	0.48	0.00	0.00		0
0062400108	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	21/03/2024 17:05	15.42	0.00	0.00	225	0.00008
0062400109	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	21/03/2024 18:29	14.02	0.00	0.00	653	0.00007
0062400112	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	22/03/2024 7:37	0.88	0.00	0.00	653	0

0062400115	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060297	HU040297	22/03/2024 15:42	2.72	0.00	0.00		0.00001
0062400117	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060252	HU04	23/03/2024 19:02	0.88	0.00	0.00		0
0062400118	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060405	HU04	24/03/2024 6:54	2.93	0.00	0.00		0.00001
0062400119	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060875	HU04	24/03/2024 12:56	3.98	0.00	0.00		0.00002
0062400121	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	24/03/2024 15:34	0.43	0.00	0.00	653	0
0062400125	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060306	HU04	25/03/2024 14:41	2.05	0.00	0.00	144	0.00001
0062400128	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060157	HU040157	29/03/2024 6:27	2.13	0.00	0.00		0.00001
0062400130	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060163	HU040163	29/03/2024 20:35	12.32	0.00	0.00		0.00006
0062400132	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060101	HU04	30/03/2024 14:27	0.45	0.00	0.00	179	0
0062400135	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060099	HU04	31/03/2024 10:47	3.38	0.00	0.00		0.00002
0062400137	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	02/04/2024 13:27	0.05	0.00	0.00		0
0062400143	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060512	HU04	07/04/2024 16:41	1.57	0.00	0.00	653	0.00001
0062400144	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	09/04/2024 15:00	0.10	0.00	0.00	6163	0
0062400145	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060223	HU04	09/04/2024 15:44	1.02	0.00	0.00		0.00001
0062400146	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	09/04/2024 15:51	2.53	0.00	0.00		0.00001
0062400147	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	09/04/2024 16:09	0.43	0.00	0.00		0
0062400148	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060305	HU04	10/04/2024 4:24	4.18	0.00	0.00	305	0.00002
0062400150	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060294	HU040294	10/04/2024 14:19	2.85	0.00	0.00		0.00001
0062400151	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060147	HU040147	10/04/2024 14:54	1.82	0.00	0.00		0.00001
0062400152	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060099	HU04	10/04/2024 17:29	2.02	0.00	0.00		0.00001
0062400153	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	12/04/2024 13:26	0.53	0.00	0.00	6146	0

0062400154	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	13/04/2024 8:03	1.18	0.00	0.00	728	0.00001
0062400155	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	14/04/2024 17:59	15.52	0.00	0.00		0.00008
0062400156	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	16/04/2024 13:45	0.05	0.00	0.00		0
0062400159	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060088	HU04	17/04/2024 8:25	3.08	0.00	0.00	225	0.00002
0062400158	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060875	HU04	17/04/2024 14:14	2.85	0.00	0.00		0.00001
0062400160	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	18/04/2024 14:20	1.33	0.00	0.00	728	0.00001
0062400162	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060435	HU04	19/04/2024 8:58	1.90	0.00	0.00		0.00001
0062400163	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060216	HU04	19/04/2024 12:57	3.88	0.00	0.00		0.00002
0062400164	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060132	HU04	19/04/2024 15:56	2.57	0.00	0.00		0.00001
0062400165	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060171	HU04	21/04/2024 8:25	3.58	0.00	0.00		0.00002
0062400168	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060029	HU04	22/04/2024 15:12	0.80	0.00	0.00	978	0
0062400170	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060314	HU04	25/04/2024 15:27	1.38	0.00	0.00		0.00001
0062400172	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	26/04/2024 5:58	2.70	0.00	0.00		0.00001
0062400174	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060259	HU040259	26/04/2024 11:24	21.60	0.00	0.00		0.00011
0062400176	Otras, por falla en componentes sist. potencia - PARARRAYOS	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	03/05/2024 14:19	1.28	0.00	0.00	6146	0.00001
0062400181	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	08/05/2024 16:37	0.05	0.00	0.00		0
0062400182	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	11/05/2024 18:13	1.48	0.00	0.00	332	0.00001
0062400187	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	15/05/2024 8:59	1.57	0.00	0.00	332	0.00001
0062400196	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	000930	HU04	20/05/2024 13:14	0.13	0.00	0.00	6146	0

0062400200	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060344	HU04	22/05/2024 13:33	2.28	0.00	0.00	638	0.00001
0062400199	Contacto accidental con la línea	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	000930	HU04	22/05/2024 13:42	0.04	0.00	0.00		0
0062400207	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060123	HU04	03/06/2024 16:34	1.77	0.00	0.00		0.00001
0062400212	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	06/06/2024 14:38	0.87	0.00	0.00	803	0
0062400213	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060154	HU04	07/06/2024 14:43	1.75	0.00	0.00	591	0.00001
0062400220	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060101	HU04	16/06/2024 19:12	1.97	0.00	0.00	179	0.00001
0062400227	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	22/06/2024 17:53	2.62	0.00	0.00	332	0.00001
0062400230	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	25/06/2024 14:24	1.18	0.00	0.00	803	0.00001
0062400238	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060138	HU04	16/07/2024 10:38	2.53	0.00	0.00	730	0.00001
0062400243	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	21/07/2024 17:30	2.33	0.00	0.00	510	0.00001
0062400245	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	23/07/2024 10:31	2.65	0.00	0.00	334	0.00001
0062400246	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060285	HU04	23/07/2024 18:00	1.17	0.00	0.00		0.00001
0062400250	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060344	HU04	25/07/2024 8:43	2.53	0.00	0.00	642	0.00001
0062400249	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	26/07/2024 13:10	2.67	0.00	0.00	811	0.00001
0062400251	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060101	HU04	28/07/2024 6:27	3.38	0.00	0.00	179	0.00002
0062400034	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060250	HU040250	19/08/2024 16:32	18.97	0.00	0.00		0.00009
0062400030	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060155	HU040155	16/08/2024 10:01	50.27	0.00	0.00		0.00025
0062400026	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	15/08/2024 10:47	3.72	0.00	0.00		0.00002
0062400007	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	03/08/2024 10:00	3.25	0.00	0.00	506	0.00002

0062400036	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	25/08/2024 7:54	1.90	0.00	0.00	332	0.00001
0062400035	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	22/08/2024 9:22	3.52	0.00	0.00		0.00002
0062400014	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	07/08/2024 8:58	1.87	0.00	0.00		0.00001
0062400020	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060306	HU04	12/08/2024 16:01	2.32	0.00	0.00	144	0.00001
0062400012	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/09/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/09/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/09/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/09/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400028	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/09/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002
0062400037	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	27/10/2024 10:45	3.03	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400018	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060023	HU04	14/10/2024 15:39	4.80	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400034	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060250	HU040250	19/10/2024 16:32	18.97	0.00	0.00		0.00009
0062400030	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060155	HU040155	16/10/2024 10:01	50.27	0.00	0.00		0.00025
0062400026	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	15/10/2024 10:47	3.72	0.00	0.00		0.00002
0062400007	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	03/10/2024 10:00	3.25	0.00	0.00	506	0.00002

0062400036	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	25/10/2024 7:54	1.90	0.00	0.00	332	0.00001
0062400035	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	22/10/2024 9:22	3.52	0.00	0.00		0.00002
0062400014	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	07/10/2024 8:58	1.87	0.00	0.00		0.00001
0062400020	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060306	HU04	12/10/2024 16:01	2.32	0.00	0.00	144	0.00001
0062400012	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/10/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/10/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/10/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400028	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/10/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002
0062400029	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061999	HU04	16/10/2024 16:00	1.17	0.00	0.00		0.00001
0062400039	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	30/10/2024 16:54	2.35	0.00	0.00		0.00001
0062400012	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/10/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/10/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/10/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400028	Otras, por falla en componentes	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/10/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002

	del sistema de potencia											
0062400012	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400037	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	27/11/2024 10:45	3.03	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400018	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060023	HU04	14/11/2024 15:39	4.80	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400034	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060250	HU040250	19/11/2024 16:32	18.97	0.00	0.00		0.00009
0062400030	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Subestación de Distribución	0060155	HU040155	16/11/2024 10:01	50.27	0.00	0.00		0.00025
0062400026	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	15/11/2024 10:47	3.72	0.00	0.00		0.00002
0062400007	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060302	HU04	03/11/2024 10:00	3.25	0.00	0.00	506	0.00002
0062400036	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	25/11/2024 7:54	1.90	0.00	0.00	332	0.00001
0062400035	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060217	HU04	22/11/2024 9:22	3.52	0.00	0.00		0.00002
0062400014	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	07/11/2024 8:58	1.87	0.00	0.00		0.00001
0062400020	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060306	HU04	12/11/2024 16:01	2.32	0.00	0.00	144	0.00001
0062400012	Corte de energía (No incluidos en PM y PE)	No Programada - Operación	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/11/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/11/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/11/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/11/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400028	Fuertes vientos	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/10/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002

0062400029	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061999	HU04	16/10/2024 16:00	1.17	0.00	0.00		0.00001
0062400039	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	30/10/2024 16:54	2.35	0.00	0.00		0.00001
0062400012	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/10/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/10/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/10/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001
0062400028	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/10/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002
0062400012	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400029	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061999	HU04	16/10/2024 16:00	1.17	0.00	0.00		0.00001
0062400039	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0062028	HU04	30/10/2024 16:54	2.35	0.00	0.00		0.00001
0062400012	Por expansión o reforzamiento de redes (Propio)	Expansión y Reforzamiento (programada)	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400004	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060900	HU04	02/10/2024 15:44	1.03	0.00	0.00	332	0.00001
0062400023	Otros fenómenos naturales o ambientales	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060303	HU04	13/10/2024 8:38	1.20	0.00	0.00		0.00001
0062400024	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060427	HU04	13/10/2024 14:56	1.35	0.00	0.00	803	0.00001

0062400028	Otras, por falla en componentes del sistema de potencia	No Programada - Falla	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0061994	HU04	16/10/2024 14:26	3.93	0.00	0.00		0.00002
0062400012	Impacto Vehicular	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060874	HU04	06/10/2024 18:20	1.33	0.00	0.00		0.00001
0062400037	Caída de Árbol	No Programada - Acción de terceros	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060853	HU04	27/11/2024 10:45	3.03	0.00	0.00	9968	0.00002
0062400018	Descargas atmosféricas	No Programada - Fenomenos naturales	Sistema de Distribución	Equipo protección de MT	0060023	HU04	14/11/2024 15:39	4.80	0.00	0.00	9968	0.00002

