

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

---

**Parametrización de relés multifunción en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico para la planta de minerales Orminco SAC**

---

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTOR:**

Bach. Serna Moreno, Celia

**ASESOR:**

Ms.Sc. Escate Ravello, Julio Hipólito Néstor

**NUEVO CHIMBOTE – PERÚ**

**2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**




**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D: N°492-2017-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

**PARAMETRIZACIÓN DE RELÉS MULTIFUNCIÓN EN LA  
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA  
LA PLANTA DE MINERALES ORMINCO SAC**

**AUTOR : SERNA MORENO, CELIA**

  
\_\_\_\_\_  
**JULIO HIPÓLITO NESTOR ESCATE RAVELLO**  
COD. ORCID 0000-0001-9950-2999  
DNI 32850228  
ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
E.P. INGENIERÍA EN ENERGÍA**

---

**ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

El presente jurado evaluador de la conformidad del presente informe desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N°492-2017-CU-R-UNS); titulado:

**PARAMETRIZACIÓN DE RELÉS MULTIFUNCIÓN EN LA  
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA  
ELÉCTRICO PARA LA PLANTA DE MINERALES ORMINCO SAC**

**Autor:**

Bach. Serna Moreno Celia

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador.

---

Dr. Lujan Guevara, Gilmer Juan  
Presidente

Código ORCID: 0000-0003-4619-3795  
DNI 32823443

---

Mg. Guevara Chinchayan, Robert Fabian  
Secretario

Código ORCID: 0000-0002-3579-3771  
DNI 32788460

---

M.Sc. Escate Ravello, Julio Hipólito Néstor  
Integrante

Código ORCID: 0000-0001-9950-2999  
DNI 32850228



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los quince días del mes de junio del año dos mil veintitrés, siendo las once horas de la mañana, se reunieron en el aula E3 de la EPIE, el Jurado Evaluador designado mediante T/ Resolución N°309-2023-UNS-CFI de fecha 30.05.2023, integrado por los siguientes docentes:

- Dr. Gilmer Juan Luján Guevara Presidente
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán Secretario
- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello Integrante

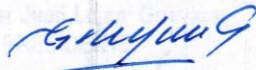
Y según la T/Resolución Decanal N° 367-2023-UNS-FI de fecha 13.06.23, se declara expedito a la bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **"PARAMETRIZACIÓN DE RELÉS MULTIFUNCIÓN EN LA COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA PLANTA DE MINERALES ORMINCO SAC"** elaborado por la Bachiller de Ingeniería en Energía: **CELIA SERNA MORENO** con código de matrícula N° 0199811045, teniendo como asesor al docente **M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello**, según T/Resolución Decanal N°705-2021-UNS-FI de fecha 30.11.21.

Terminada la sustentación del Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

| BACHILLER          | PROMEDIO       | PONDERACIÓN |
|--------------------|----------------|-------------|
| CELIA SERNA MORENO | DIECISIETE(17) | BUENO       |

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Dr. Gilmer Juan Luján Guevara  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello  
INTEGRANTE



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Celia Serna Moreno  
Título del ejercicio: Protección eléctrica  
Título de la entrega: Parametrización de relés multifunción en la coordinación de...  
Nombre del archivo: TESIS\_CELIA\_CORREGIDO.docx  
Tamaño del archivo: 1.93M  
Total páginas: 80  
Total de palabras: 10,997  
Total de caracteres: 60,873  
Fecha de entrega: 13-jul.-2023 09:33a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2130588505

“UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA”  
“FACULTAD DE INGENIERÍA”  
“ESCUELA ACADÉMICA DE INGENIERÍA EN  
ENERGÍA “



“Parametrización de relés multifunción en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico para la planta de minerales Ormíno sac”

“TESIS” PARA OBTENER “EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA”

Autor:

“Bach”, Serna Moreno, Celia.

Asesor:

Ms.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello

Nuevo Chimbote – Perú  
DICIEMBRE 2021

## **DEDICATORIA:**

**A DIOS:** Por permitirnos existir y ser nuestro guía constante en nuestra vida.

**A MIS PADRES:** Víctor y Gricelia por su incansable apoyo, consejos, fortaleza que hacen posible mi superación y a seguir adelante.

**A MI FAMILIA:** Mi hija Asia Kerry que es el motor de mi vida, que me impulsa día a día a seguir avanzando y lograr cumplir mis metas trazadas.

Mi esposo Jhim brindándome su comprensión y apoyo en todo momento, quien siempre me alentaba a culminar este trabajo.

### **AGRADECIMIENTO:**

A GRICELIA MORENO FAJARDO, mi madre persona que jamás ha dejado de creer en mí, quien fue la persona que siempre me incentivo en cada momento, siempre me alentó y quien motivo el inicio de este trabajo.

A todos los docentes de Ingeniería en Energía que de una u otra manera contribuyeron en mi formación profesional en especial a mi asesor Julio Escate Ravello, por su amistad como persona y docente por haberme orientado y apoyado durante el desarrollo de este trabajo y alentándome siempre a culminarlo.

## ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| Dedicatoria.....                        | III |
| Agradecimiento.....                     | IV  |
| Índice general.....                     | V   |
| Índice de tablas .....                  | IX  |
| Índice de figuras.....                  | X   |
| Resumen.....                            | XI  |
| Abstract.....                           | XII |
| 1. Capítulo I: Introducción.....        | 13  |
| 1.1. Antecedentes.....                  | 13  |
| 1.2. Formulación del problema.....      | 21  |
| 1.3. Objetivos.....                     | 22  |
| 1.3.1. Objetivo general .....           | 22  |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....      | 22  |
| 1.4. Formulación de la hipótesis.....   | 22  |
| 1.5. Justificación y limitaciones ..... | 23  |
| 1.5.1. Justificación.....               | 23  |
| 1.5.2. Limitación .....                 | 23  |
| 2. Capítulo II: Marco teórico .....     | 24  |
| 2.1. Dispositivos de protección.....    | 24  |
| 2.1.1.Fusibles .....                    | 24  |



|  |    |
|--|----|
| 2.1.2. Reconectores .....                                    | 26 |
| 2.1.3. Relés de sobrecorriente .....                         | 29 |
| 2.1.3.1. Tipos de relevadores de sobrecorriente.....         | 29 |
| 2.1.4. Relés diferencial.....                                | 31 |
| 2.2. Tipos de coordinación .....                             | 32 |
| 2.2.1. Coordinación de sobrecorriente .....                  | 32 |
| 2.2.1.1. Coordinación fusible - fusible.....                 | 32 |
| 2.2.1.2. Reconectador - fusible.....                         | 33 |
| 2.2.1.2.1. Fusible del lado de la fuente.....                | 35 |
| 2.2.1.1.1. Fusible del lado de la carga.....                 | 37 |
| 2.2.1.3. Relé - Fusible .....                                | 38 |
| 2.2.1.4. Relé - Reconectador .....                           | 39 |
| 2.2.1.5. Relé- Relé.....                                     | 40 |
| 2.3. Coordinación Diferencial .....                          | 41 |
| 3. Capítulo III: Materiales y métodos .....                  | 44 |
| 3.1.1. Materiales.....                                       | 44 |
| 3.1.2. Subestación San Jacinto .....                         | 44 |
| 3.1.3. Punto de medición a la intemperie (PMI) Orminco ..... | 44 |
| 3.1.4. Protección principal del sistema de utilización.....  | 44 |
| 3.1.5. Protección de celda del transformador 01 .....        | 44 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.6. Protección de celda del transformador 02 .....                 | 45 |
| 3.1.7. Parámetros eléctricos de la red en estudio .....               | 45 |
| 3.1.8. Criterios para la determinación de ajustes.....                | 45 |
| 3.1.9. Metodología del trabajo .....                                  | 47 |
| 3.1.9.1. Método de investigación .....                                | 47 |
| 3.1.9.2. Diseño de investigación .....                                | 47 |
| 3.1.9.3. Población y muestra .....                                    | 48 |
| 3.1.9.4. Estrategia de trabajo .....                                  | 48 |
| 3.1.9.4.1. Recolección de la información.....                         | 48 |
| 3.1.9.4.2. Técnicas de procesamiento y análisis de información.       | 48 |
| 4. Capítulo IV: Resultados y discusión.....                           | 49 |
| 4.1.1. Flujo de carga.....  | 49 |
| 4.1.1.1. Metodología técnica .....                                    | 49 |
| 4.1.1.2. Software utilizado .....                                     | 49 |
| 4.1.1.3. Resultados de los casos considerados .....                   | 49 |
| 4.1.2. Cortocircuito .....  | 49 |
| 4.1.2.1. Datos del sistema eléctrico.....                             | 49 |
| 4.1.2.2. Metodología y criterios .....                                | 50 |
| 4.1.2.3. Escenario de simulación de corrientes de cortocircuito ..... | 50 |
| 4.1.2.4. Resultados de los casos simulados .....                      | 50 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.3. Cálculo de los ajustes para la función de sobrecorriente (50/51,<br>50N/51N, 67/67N)..... | 51 |
| 4.1.3.1. Relé ABB REF 620 salida en 13,2 kV del AMT SJC051..                                     | 51 |
| 4.1.3.2. Reloser del sistema de utilización .....  | 52 |
| 6. Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....   | 56 |
| 6.1.1. General .....   | 56 |
| 6.1.2. Específicos .....   | 56 |
| 6.1.3. Recomendaciones.....  | 57 |
| 7. Capítulo VI: Referencias bibliográficas.....  | 58 |
| 8. Capítulo VII: Anexos.....   | 61 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Secuencia de apertura de los reconectores ..... | 36 |
| <b>Tabla 2.</b> Factor k lado de la carga .....                 | 37 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Ciclo de trabajo de un reconectador .....   | 28 |
| <b>Figura 2.</b> Secuencia completa de operación de un reconectador .....                                | 28 |
| <b>Figura 3.</b> Curvas de un reconectador .....   | 29 |
| <b>Figura 4.</b> Características de operación tiempo-corriente de los relevadores de sobrecorriente..... | 30 |
| <b>Figura 5.</b> Diagrama esquemático de un relé diferencial .....                                       | 32 |
| <b>Figura 6.</b> Coordinación fusible – fusible .....  | 32 |
| <b>Figura 7.</b> Coordinación reconectador fusible.....  | 34 |
| <b>Figura 8.</b> Grafica de coordinación de protecciones Reconectador - fusible .                        | 34 |
| <b>Figura 9.</b> Coordinación fusible – reconectador.....  | 36 |
| <b>Figura 10.</b> Gráfica de Coordinación fusible-reconectador.....                                      | 38 |
| <b>Figura 11.</b> Gráfica de coordinación Relé-Fusible .....   | 39 |
| <b>Figura 12.</b> Coordinación Relé-Reconectador.....  | 39 |
| <b>Figura 13.</b> Gráfica de Coordinación Relé - Reconectador .....                                      | 40 |
| <b>Figura 14.</b> Gráfica de coordinación relés - relés .....  | 41 |
| <b>Figura 15.</b> Protección diferencial.....  | 42 |
| <b>Figura 16.</b> Componentes de un sistema de protecciónFusible.....                                    | 43 |

## RESUMEN

El propósito de la investigación es proponer el estudio de coordinación de protecciones en el sistema de utilización de la unidad minera ORMINCO SAC, teniendo en cuenta una adecuada selectividad con respecto a las protecciones de cabecera del alimentador SJC051. La metodología utilizada es de tipo aplicativo, de naturaleza descriptiva, con estudios y evaluaciones de campo e información bibliográfica especializada, la población está conformada por la S.E. minera San Jacinto y la muestra es igual a la población, para la recopilación de información se utilizó el perfil de consumo y máxima demanda de la producción de la muestra de estudios a través de la técnica de la observación directa. Luego se procedió a analizar y evaluar las diferentes alternativas de parametrización como coordinación de protecciones para los equipos de protección en media tensión. Como principales resultados se tuvo que gracias a la recopilación de la información se logró determinar que en la línea de media tensión del alimentador SJC051, existen fallas frecuentes, estas fallas son monofásicas por arboles cercanos a la línea, conductores rotos por antigüedad de materiales y los accidentes de tránsito que afectan las redes de media tensión. En cuanto a los parámetros requeridos para el análisis técnico cumplen con el principio de selectividad con respecto a las protecciones aguas arriba del alimentador SJC051. Y por último de las simulaciones hechas en el software DigSilent Power Factory 15.1.7 se obtuvo que, del estudio de flujo de potencia, el nivel de tensión en el PMI en las subestaciones del sistema de utilización está dentro de lo permitido según la NTP y del estudio de cortocircuito se obtiene que las protecciones propuestas actúan primero que las protecciones del alimentador SJC051.

**Palabras Claves:** Protección de sistemas eléctricos, alimentador SJC051, Parametrización de relés de protección

## ABSTRACT

The purpose of the investigation is to propose the study of coordination of protections in the utilization system of the ORMINCO SAC mining unit, taking into account an adequate selectivity with respect to the header protections of the SJC051 feeder. The methodology used is of an applicative type, of a descriptive nature, with studies and field evaluations and specialized bibliographic information, the population is made up of the S.E. San Jacinto mining company and the sample is equal to the population, for the collection of information the consumption profile and maximum demand of the production of the study sample were used through the technique of direct observation. Then we proceeded to analyze and evaluate the different parameterization alternatives such as coordination of protections for medium voltage protection equipment. The main results were that, thanks to the collection of information, it was possible to determine that in the medium voltage line of the SJC051 feeder, there are frequent faults, these faults are single-phase due to trees close to the line, broken conductors due to the age of materials and the Traffic accidents that affect medium voltage networks. Regarding the parameters required for the technical analysis, they comply with the principle of selectivity with respect to the protections upstream of the SJC051 feeder. And finally, from the simulations made in the DigSilent Power Factory 15.1.7 software, it was obtained that, from the power flow study, the voltage level in the PMI in the substations of the utilization system is within what is allowed according to the NTP and From the short-circuit study, it is obtained that the proposed protections act first than the protections of the SJC051 feeder.

**Keywords:** Protection of electrical systems, SJC051 feeder, Protection relay parameterization

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

Ayala (2022) en su investigación titulada “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” realizada en la ciudad de Huancayo, la tesis tuvo por objetivo analizar la coordinación de protecciones de los relés de sobrecorriente, con la finalidad de evaluar las modificaciones en los ajustes de protección de los relés, debido al incremento de potencia en el área de mina 16, el tipo de investigación fue explicativo y analítico, para la realización del estudio se hizo un análisis de flujo de potencia y análisis de corrientes de cortocircuito, determinando el comportamiento del sistema eléctrico, posterior a ello se realizó la coordinación de protecciones de los relés utilizando los criterios de selectividad, seguridad y confiabilidad. Para las respectivas simulaciones se tomó en consideración la configuración del sistema eléctrico Cosapi para escenarios de máxima, media y mínima demanda, utilizando la base de datos proporcionada por el COES para dichas condiciones como información de referencia.

Pozzo (2022) en su tesis titulada “Ajuste de coordinación de protección ante el incremento de la demanda y por reubicación de salida del alimentador de media tensión 1052 de Electronoroeste S.A.”; realizada en la ciudad de Tumbes – Perú, la tesis tuvo por objetivo establecer una correcta coordinación de protección en media tensión entre los equipos de protección como relé-recloser-fusible instalados en el alimentador 1052, perteneciente al sistema eléctrico Zorrito; el tipo de investigación fue aplicada con un diseño experimental, para la realización del estudio se estableció



el ajuste de la coordinación de protección entre los equipos como Relé, Recloser y Fusibles en la red de distribución de 10 kV del alimentador 1052; asimismo, se actualizó los ajustes del relé de protección principal y los equipos de protección, con la finalidad de suministrar y atender a los usuarios finales en media y baja tensión, garantizando el suministro de energía con los niveles de confiabilidad, seguridad y calidad, cumpliendo con lo establecido en la NTCSE. La metodología que se empleó fue la simulación iterativa mediante el software DigSilent Power Factory. Como resultados principales en la simulación iterativa de los años 2019 SP, 2019 CP, 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040 se obtuvo que del total de veinticuatro transformadores de distribución hay once transformadores sobrecargados, superando así su límite de operación; en consecuencia, se encuentran fuera de los parámetros permitidos por la NTCSE que es de 110% en contingencia y 100% en operación normal. Asimismo, en la simulación iterativa del año 2040 se determinó la corriente de cortocircuito trifásico máximo en la barra del alimentador 1052 que fue de 14,64 kA, lo que define “el poder de ruptura” a la hora “de” elegir “los equipos de protección”; esta corriente de cortocircuito trifásico va descendiendo a medida que se aleja de la barra del alimentador llegando hasta 1,92 kA. Por otro lado, con los ajustes de coordinación de protección propuestos se disminuyeron considerablemente los indicadores SIFI y SAIDI, como también se garantizó el continuo servicio eléctrico, evitando sanciones administrativas por incumplimiento de los indicadores.

Vilcahuamán (2021) en su investigación titulada “Estudio de coordinación de protecciones del sistema eléctrico de media tensión de la Unidad Minera Kolpa”, realizada en la ciudad de Huancavelica – Perú, la investigación tuvo por objetivo

establecer una adecuada coordinación de protecciones en media tensión entre los diferentes elementos de protección instalados en todo el Sistema Eléctrico, para la realización del estudio, como primer paso se recolectaron datos en campo “medición por alimentadores” que se obtuvo mediante los relés de protección. El reporte de fallas que más se presentaba en la Unidad Minera Kolpa, fue en su sistema de distribución, lo cual condujo a tomar los datos del ajuste existente de los relés y reclosers pertenecientes a cada salida y con ello realizar el modelado de la red, permitiendo así efectuar el flujo de carga, cortocircuito y coordinación de los ajustes de protección. El siguiente paso fue procesar la información recolectada en campo, empezando con la topología de la red de distribución, procesamiento del GIS de la red de MT y las redes de distribución con sus respectivas placas características de cada centro de transformación. Posteriormente se adicionan los ajustes existentes de cada relé y recloser. Los ajustes se realizaron con el conductor de cada salida, y respectiva protección de los TC. Después de su revisión y evaluación se pasó a implementar los ajustes propuestos de los relés y recloser pertenecientes a cada salida. Como resultados principales se obtuvo que para el ajuste de sobrecorriente de fases, el Relé SEL751A de la llegada a planta, mantiene su arranque de tiempo inverso a 240 A, tomando en cuenta la capacidad del TC y disminuye su dial a 0.05; en el Relé Thytronic de la SE. N°1, se modificó su arranque de tiempo inverso a 80 A, tomando en cuenta la nominal de su transformador. Además, se incrementó el pickup de la etapa rápida a 700 A (Por temas de energización), disminuyendo su tiempo a 30 ms; en el Relé Thytronic de la SE. N°2, se modificó su arranque de tiempo inverso a 120 A, tomando en cuenta la nominal de su transformador, y por el análisis de fallas externas que repercutían en la

actual protección. Además, se incrementó su pickup de la etapa rápida a 800 A (Por temas de energización), disminuyendo su tiempo a 30 ms. En cuanto a los ajustes del sobrecorriente de tierra, en el Relé SEL751A de la llegada a planta, se modificó su arranque de tiempo inverso a 80 A, con la curva C1 - SI, con un dial de 0.05. Además, se adicionó una etapa rápida con un arranque de 500 A y con un dial de 0.07, para que exista selectividad entre equipos de protección. (Por tema de señalización); en el Relé Thytronic de la SE. N°1, se modificó su arranque de tiempo inverso a 15 A y se incrementó su pickup de la etapa rápida a 200 A, disminuyendo su tiempo a 30 ms. Por último, en el Relé Thytronic de la SE. N°2, se modificó su arranque de tiempo inverso a 15 A y se incrementó su pickup de la etapa rápida a 200 A, disminuyendo su tiempo a 30 ms.

Saavedra (2021) en su tesis titulada “Estudio de coordinación de protecciones para mejorar la calidad de servicio en el sistema eléctrico rural”, realizada en la ciudad de Chulucanas – Perú, la tesis tuvo por objetivo realizar “un estudio de coordinación de protecciones” “para” mejorar “la” calidad “de” servicio en el sistema eléctrico rural, el tipo de investigación fue aplicada con un diseño no experimental descriptivo, para la realización del estudio en principio se hizo una descripción de la situación actual de la operación del sistema eléctrico de la red de Chulucanas – Quiroz, constituido por los alimentadores A1016 y A 1017. Luego se hizo el análisis del cálculo del flujo de carga y de cortocircuito, utilizando las relaciones de los parámetros eléctricos, dados por las características resistivas, inductivas y capacitivas de la red; y con ello se logró realizar los ajustes de los sistemas de protección, es decir la utilización de los relés que controlan el nivel de sobre corrientes entre cada una de las fases y tierra (50/51,

50N/51N), además de los reconectores y los fusibles. Los datos se obtuvieron del Software Máximus, el cual le proporcionó información real geográfica de cada uno de los alimentadores. Así mismo el autor desarrolló la simulación del funcionamiento de la red en diferentes condiciones de operación, con ayuda del Software Digsilent 15.1.7.

Flores (2021) en su investigación titulada “Evaluación del sistema de coordinación de protecciones en subestaciones eléctricas móviles de media tensión con Digsilent en una empresa minera”, realizada en la ciudad de Arequipa – Perú, la investigación tuvo por objetivo evaluar la configuración del sistema de coordinación de protecciones en las subestaciones móviles de media tensión en la empresa minera específicamente de las subestaciones usadas como fuentes de alimentación para palas eléctricas empleadas en tajo abierto, el tipo de investigación es aplicada, su diseño es experimental y transversal con un nivel descriptivo – propositivo, para la realización del estudio se recopiló la información de la configuración de los relés usados en las subestaciones para posteriormente, procesarla y analizarla en el software Digsilent, utilizado específicamente en la especialidad de sistemas eléctricos de potencia. Con esta herramienta, generó un nuevo estudio de coordinación de protecciones que permite contrastar los valores óptimos recomendados con los que forman parte de la configuración actual. Con toda esta información, se evaluó la condición de las protecciones de sobrecorriente, diferencial de transformador y de tensiones que componen el sistema de relés. Como resultados principales se obtuvo que la configuración de protecciones de sobrecorriente de fases presenta oportunidades de mejora, de acuerdo con el estudio propuesto, se puede mejorar la selectividad de las

protecciones en las diferentes etapas. Para poder configurar el sistema de acuerdo con el estudio propuesto, se debe modificar la etapa temporizada de las celdas de las 11 subestaciones estudiadas en un 81.82%, la etapa instantánea en un 89.09% y la segunda etapa de sobrecorrientes (sólo disponible en 12 celdas) en un 100%. En cuanto a las configuraciones de la protección de sobrecorriente a tierra también presenta desviaciones y se requiere modificaciones para mejorar el funcionamiento del sistema. De acuerdo con los datos obtenidos, se requiere optimizar el 52.73% de las celdas que cuentan con esta protección. En cuanto a la configuración de la protección de desbalance de fases requiere de pocos cambios, pero aun así se considera inadecuada, debido a que presenta la necesidad de modificación en el 4.55% de las 22 celdas evaluadas, correspondiente únicamente a la celda K03 de la SE060. Debido al porcentaje bajo, se sospecha que esta desviación se haya producido debido a un error humano durante la carga de parámetros. En cuanto a la configuración de las protecciones de tensión es mejorable, solo se necesitaría la modificación del 3.77% de las celdas con protección de sobretensión habilitada, el 7.55% de las celdas con protección de mínima tensión y el 50% de las celdas que cuentan con la protección de sobretensión de neutro. Por último, en cuanto a la protección diferencial también se presenta desviación, sin embargo, el porcentaje es bajo y solo se requeriría la modificación de la Subestación 052, lo que representa el 9.09% del total de celdas evaluadas.

Saavedra (2021) en su investigación titulada “Estudio de coordinación de protecciones de la nueva central eólica de 18 mva Duna Huambos para la conexión al sistema interconectado nacional”, realizado en la provincia de Chota - Perú, la investigación

tubo por objetivo “realizar un estudio de coordinación de protecciones de” la central eólica “de” 18MVA, en 138 kV, Duna-Huambos para la conexión del sistema interconectado nacional, el tipo de investigación es aplicada con un diseño descriptivo, para la realización del estudio en primer lugar, se realizó un análisis de los parámetros eléctricos del sistema de potencia sin la central eólica, posteriormente se realizó el mismo análisis de los parámetros eléctricos del sistema de potencia con la central eólica, luego se evaluó la implementación de los equipos de protección, considerando los valores obtenidos con anterioridad y finalmente se realizó la simulación de una correcta coordinación de protecciones mediante el software DIGSILENT. El autor concluye que los resultados del estudio de flujo de potencia en los escenarios antes del proyecto indican que los niveles de tensión en las barras del sistema se encuentran dentro de los límites permitidos por las normas, además, se observa una sobrecarga en el transformador de potencia de Carhuaquero, por otro lado los resultados del estudio de flujo de potencia al ingreso del proyecto, indican que los niveles de tensión en las barras del sistema mejoran encontrándose en los límites permitidos por las normas. Con respecto al estudio de cortocircuito, las variaciones de las corrientes no son muy significativas. Por último, gracias a el software DIGSILENT, se realizó una correcta coordinación de protecciones, demostrando de manera satisfactoria el comportamiento del sistema de protección propuesto ante la presencia de fallas eléctricas.

Monsalve (2020) en su tesis titulada “Coordinación de protección del Alimentador BE-S03 – sistema eléctrico Bellavista Rural”, realiza en la provincia de Bellavista, la tesis tuvo por objetivo Calcular y seleccionar un sistema de coordinación de protección en media tensión entre los elementos de protección Relé – Recloser – Fusibles instalados

en el sistema de distribución en 22.9 kV, del Alimentador BE-S03 perteneciente al Sistema Eléctrico Bellavista Rural, el tipo de investigación es aplicada no experimental, para la realización del estudio se efectuó una simulación iterativa del flujo de potencia y corrientes de cortocircuito que se presentan en el alimentador, utilizando el Software DIGSILENT Power Factory, asimismo, se instalaron equipos de protección modernizados obteniendo como resultado una mejora en los tiempos de interrupción del servicio eléctrico, evitando que el personal técnico de operaciones de emergencia se desplace a la zona de falla, pudiendo desde un centro de control SCADA maniobrar en tiempo real los equipos de protección, gracias a esto se pudo garantizar un suministro de energía eléctrica de manera continua y eficiente, en cumplimiento con los estándares de calidad estipulado en la normatividad vigente Peruana.

Torres (2019) en su tesis titulada “Coordinación de protecciones en baja tensión por selectividad asistida”, realizada en la ciudad de Callao – Perú, la tesis tuvo por objetivo coordinar los interruptores automáticos en baja tensión por selectividad asistida aplicando las características de disparo para una ampliación de demanda en una instalación eléctrica industrial, el tipo de investigación es transversal con un diseño no experimental, para la realización del estudio se calculó la corriente de cortocircuito, el cual permite calificar y detallar la capacidad de los dispositivos de protección contra las corrientes de falla que circulan en los elementos del sistema eléctrico, en el caso de una actualización se inicia con el estudio de flujo de carga con el objetivo de determinar las condiciones de operación, se procede a seleccionar los dispositivos de protección, se comprueba la selectividad de estos mediante el estudio de coordinación de protecciones, el cual tiene como objetivo verificar la configuración de los esquemas

de protección utilizando los diagramas unifilares, analizando los gráficos de las curvas tiempo-corriente. Para tal fin se utilizó un software especializado donde se involucran las curvas características de los dispositivos de protección. Se actualizó y determinó los nuevos ajustes utilizando cuadros en Excel; asimismo, se utilizaron catálogos del fabricante para configurar y seleccionar los dispositivos. Como resultado principal se determinó que la coordinación de protecciones garantiza la correcta operación de los dispositivos de protección del sistema eléctrico ante una condición de falla, anulando los daños de los elementos que componen el sistema.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente proyecto se realiza con la finalidad de obtener los ajustes adecuados de los equipos de protección instalados en la subestación cumpliendo con los requisitos básicos de la ingeniería de protecciones, las cuales son: sensibilidad, seguridad, rapidez, selectividad y confiabilidad.

Actualmente el sistema de utilización de la unidad minera ORMINCO SAC se encuentra interconectada mediante una línea de distribución en 13.8 kV desde la S.E. San Jacinto. La empresa de distribución eléctrica, Hidrandina S.A., con la finalidad de mejorar y fortalecer el suministro en la S.E. ha entregado sus parámetros de cabecera de los relés para la coordinación de una adecuada protección por parte de los clientes mayores. Teniendo en cuenta las interrupciones totales de los alimentadores y las compensaciones que se generan por este motivo se plantea el siguiente problema: ¿De qué manera la parametrización de los relés de protección “mejorará la coordinación de protecciones” en el sistema de utilización de “la” unidad minera ORMINCO “SAC”.



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Proponer el estudio de coordinación de protecciones en el sistema de utilización de la unidad minera ORMINCO SAC, teniendo en cuenta una adecuada selectividad con respecto a las protecciones de cabecera del alimentador.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Recopilar “información de la topología de las redes y equipos eléctricos, curvas de equipos de protección, curvas de daño, etc.”
- Determinar “los parámetros requeridos para el análisis técnico, esto es, resistencias y reactancias de los componentes de secuencia” de acuerdo a las condiciones actuales de la red y asociados.
- Modelar las “redes, distribución de la carga, estudios de” flujo “de potencia y cortocircuito empleando programas computacionales disponibles en la Empresa.”

### **1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Debido al incremento de la demanda por sector industrial y carga asociadas (sistemas de utilización y distribución) la cual varía los cortocircuitos en la red, se hace necesario la actualización del “estudio de coordinación de” las “protecciones” de “la unidad minera” ORMICO SAC “para” la mejora en los tiempos de actuación y coordinación de las protecciones.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN Y LIMITACIONES**

### **1.5.1. Justificación**

Se justifica de manera practica porque el estudio de coordinación de protecciones de sistemas eléctricos ayuda a evitar daños en los equipos y a las cargas mediante un adecuado funcionamiento de las protecciones.

### **1.5.2. Limitación**

El presente Proyecto de investigación cuenta con una limitación económica que obliga a retrasar el presente estudio, para lo cual los investigadores cubrirán el costo para poder realizar el Trabajo de investigación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

#### 2.1.1. Fusibles

Según Ramírez (2003) es el dispositivo más frecuente y asequible utilizado para proteger sistemas de distribución contra sobrecorriente es también uno de los más confiables, ya que puede funcionar sin necesidad de mantenimiento durante largos períodos de tiempo.

Para Condumex (2009):

Se puede describir como un dispositivo que se utiliza para salvaguardar los sistemas eléctricos de posibles fallos de sobrecarga o cortocircuito. Se conecta en el circuito eléctrico y, cuando fluye una corriente a través de él que supera un cierto nivel previamente determinado, se activa y desconecta el circuito al que está conectado. Para lograr esto, el componente fusible del dispositivo de protección se funde. Dicho componente puede ser un alambre, una cinta u otra forma adecuada.

Según Arce (2010) los fusibles realizan diversas funciones, como detectar el aumento de corriente en el sistema protegido, interrumpir las sobrecorrientes y resistir los voltajes transitorios para evitar la reignición (extinción controlada del arco).

Cuando una sobrecorriente circula a través de un fusible, el tiempo desde que se detecta hasta que se funde se conoce como "Tiempo mínimo de fusión", y el tiempo para que se complete la fusión se llama "Tiempo máximo de despeje". Sin embargo, la principal limitación de los fusibles es que, si se someten "a una corriente superior a su" corriente "mínima de fusión", "se" funden "y" dejan "sin servicio la parte sistema" "más allá de

este” punto, lo que requiere la intervención de un técnico para analizar el tipo de falla y reponer el fusible.

“Existen diferentes subdivisiones de los tipos de fusibles según la norma ANSI”

“C37.42. Mencionaremos una descripción de cada uno de ellos.”

- “Fusible tipo K: Conducen hasta 150% de su In sin daños (relación de velocidad es 6 a 8).”
- “Fusibles Tipo T: Más lentos que los K (relación de velocidad 10 a 13).”
- “Fusible tipo Std: Intermedia entre los K y T; son permisivos a las fluctuaciones de corriente (relación de velocidad 7 a 11).”
- “Fusible Tipo H: Conducen hasta el 100% de su In sin daño; tienen característica de fusión muy rápida (relación de velocidad 7 a 11).”
- “Fusible Tipo N: Conducen hasta el 100% de su In sin daños. Son más rápidos aún que los H.”
- “Fusible Tipo X: Provistos de un elemento dual; son permisivos a las fluctuaciones de la corriente (relación de velocidad 32).”
- “Fusible Tipo Sft: Provisto de elemento dual; no actúan ante fallas temporarias en transformadores.”
- “Fusibles Tipo MS o KS: Respuesta ultra lenta y mayor permisividad de corriente que los T; bueno como protección de línea (relación de velocidad 20).

Un fusible de Tipo K, se comporta de forma diferente de un fusible de tipo T o de cualquier tipo.”

“Dentro de” la misma categoría “de fusibles, existe una” clasificación “que” “los” separa según los “valores de amperios utilizados para” lograr “una” adecuada

“coordinación” “de” las “protecciones”. Por esta razón,”se” aconseja emplear “fusibles” “del” mismo “tipo” y subcategoría.

Por lo general, “el fabricante” asegura “que un fusible” con una capacidad “de” “10 A” “se” queme “antes que uno de 15 A”, que “uno de 20 A” se funda “antes que uno de 25 A”, “y” “así sucesivamente”, hasta el “fusible” con la “mayor” capacidad de “amperios”. Esta garantía se aplica siempre y cuando los fusibles sean del mismo tipo y subcategoría. Sin embargo, el fabricante no puede asegurar “que un fusible de 8 A”, que “no” es “preferido”, “se funda antes que uno de 10 A”, “que” sí lo es, o que un fusible “de 10 A preferido se funda antes que uno de 12” A “no preferido”. Es importante destacar “que cada fusible tiene diferentes curvas” de interrupción “según” “su” capacidad “de” amperios, que se representan en amperios-segundos.

### **2.1.2. Reconectores**

Según Arce (2010) los reconectores son dispositivos automáticos que se utilizan para restablecer un circuito después de una falla temporal. Estos dispositivos están “diseñados para soportar” altas “corrientes de cortocircuito” y cuentan con “un” “sistema de control” que mide “la corriente” del circuito. “En caso” de “que se produzca una falla”, el reconector abre o cierra “el circuito en una secuencia predeterminada”. “Si la falla persiste” “después” “de” esta “secuencia”, el reconector aísla el resto del sistema.

Existen diferentes tipos de reconectores que se clasifican según la técnica que utilizan para extinguir el arco, como “los de vacío y los de aceite mineral”, “y” “según” el “tipo de control” “que” emplean “para ejecutar la secuencia de recierre”, que

“puede” “ser” “hidráulico o electrónico”. “Las” “principales” “características” de los reconectores “son”:

**“Corriente de interrupción”:** “es” “la” cantidad “máxima” de “corriente simétrica RMS” “que” un “reconector” “puede” detener.

**“Ciclo de trabajo”:** se refiere a “la secuencia de operación que el equipo utiliza para” resolver “una falla” y determina “la vida útil del equipo según la corriente de interrupción”.

**“Corriente nominal”:** “es” “la” cantidad “continua” de corriente “a 60 Hz que el equipo puede soportar” indefinidamente. Los reconectores con control electrónico tienen bobinas de 560 A o 1120 A, mientras que los reconectores con control hidráulico tienen bobinas que van desde “25 hasta 560 A”.

**“Tensión de servicio”:** “es el voltaje nominal de operación del reconector y generalmente está diseñado para soportar voltajes de línea superiores al sistema”. “Por ejemplo, para un sistema de distribución a 13,8 kV, la clase de voltaje de un reconector es de 15,5 kV”.

“Los reconectores” “tienen” diferentes “curvas de tiempo inverso” para seleccionar la adecuada para la coordinación, denominadas “lentas”, “mientras que la operación de apertura instantánea” “también” tiene “curvas”, “denominadas” “rápidas”.

La secuencia de operación del reconector está compuesta por cuatro aperturas del circuito, cada una de las cuales se puede ajustar para que se produzca a una velocidad determinada. Esto se logra estableciendo qué curva de tiempo inverso se utilizará para cada una de las cuatro aperturas, lo que permite ajustar la rapidez de cada operación.” La secuencia o ciclo estándar de trabajo para un reconector se muestra

en la figura 1”, “el recierre del circuito” “después de una apertura demora dos segundos en equipos con control hidráulico”, “y” para equipos con control electrónico este tiempo es ajustable”. La figura 2” se muestra la secuencia de operación” del “reconectador” “ante una falla en el circuito que supervisa”.

**Figura 1.**

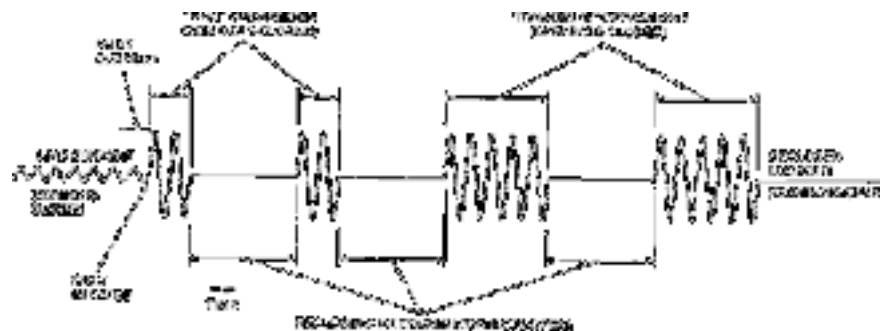
Ciclo de trabajo de un reconectador



**Fuente:** Estudio de Coordinación de las protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE), Sub-Estaciones: Sta. Rosa, Libertad, Salinas y Chipipe (León Carrera & Villón Villacreses, 2002, p. 29)

**Figura 2.**

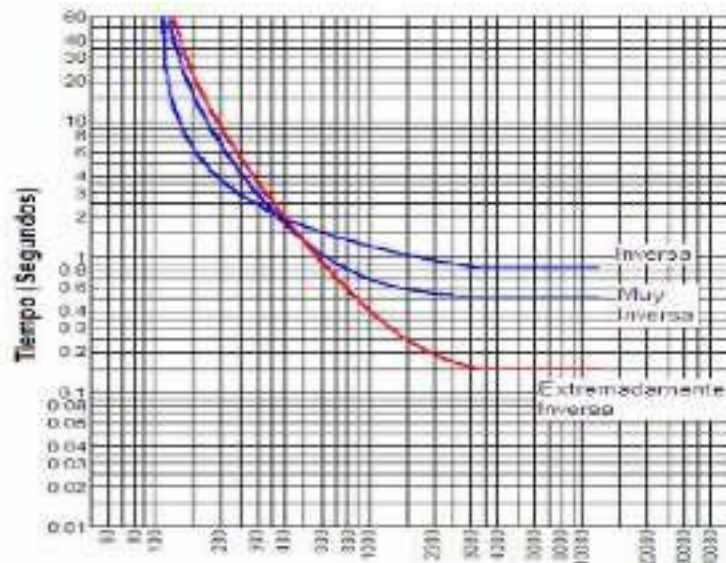
Secuencia completa de operación de un reconectador



**Fuente:** Estudio de Coordinación de las protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE), Sub-Estaciones: Sta. Rosa, Libertad, Salinas y Chipipe (León Carrera & Villón Villacreses, 2002, p. 29)

Los reconectores tienen curvas que son útiles para coordinar su operación con otros equipos de protección. También pueden ser de tipo trifásico o monofásico lo que depende de las características “de las redes de distribución” “presente” en el sistema”.

**Figura 3.**  
Curvas de un reconector



**Fuente:** Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala (Arce Lazo, 2010, p. 19)

### 2.1.3. Relés de sobrecorriente

Este dispositivo de protección es ampliamente utilizado y simple, en particular “en alimentadores radiales de distribución (10 a 25 kV)” “y transformadores” de “baja” potencia (hasta 4 MVA)”. Se utiliza “como protección” secundaria para “equipos más importantes dentro de un sistema eléctrico de potencia, como generadores”, “transformadores” de “alta” potencia, líneas de media tensión”, entre otros. “El” relé “de” sobrecorriente funciona “de” manera sencilla, “ya que su operación depende de dos variables” fundamentales que “se” “describen a continuación”.

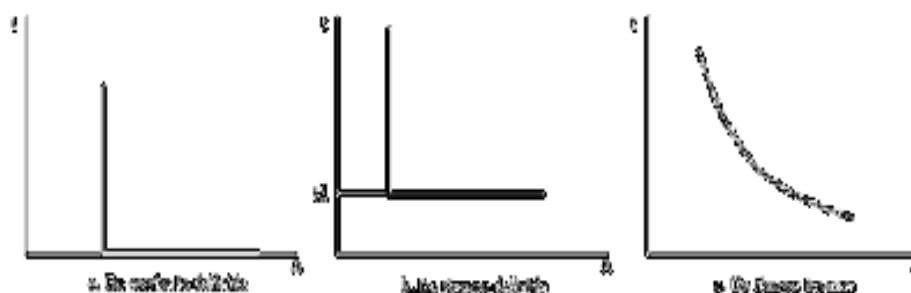
- “El nivel de corriente mínima de operación (o corriente de pickup)”, “que es aquel valor que produce el cambio de estado del relé”.
- “La característica de tiempo de operación”.

#### 2.1.3.1. Tipos de relevadores de sobrecorriente



Según Ramírez (2003) Según cómo operan, los relés de sobrecorriente se pueden dividir en tres grupos: aquellos de corriente definida, de tiempo definido y de tiempo inverso. Cada uno de estos tipos de relé tiene su propia curva característica, las cuales se muestran en la figura siguiente.

**Figura 4.**  
Características de operación tiempo-corriente de los relevadores de sobrecorriente



Fuente: Protección de sistemas (Ramírez Castaño, 2003, p. 163)

### Protecciones de sobrecorriente instantáneas

Según Arce (2010) los relés de unidades aisladas no son ampliamente utilizados “en” los sistemas eléctricos de potencia” y suelen ser combinados con otras protecciones para aprovechar sus características. Estos relés se construyen utilizando tres tipos de armaduras: succionada, atraída y copa de inducción, cuyo torque depende de la expresión  $KI^2$ . Los tiempos de operación de estos relés suelen estar en el rango de 10 a 60 milisegundos.

### Protecciones de sobrecorriente de tiempo definido

Este mismo autor menciona que se puede lograr una protección básica de “tiempo definido” combinando “un relé instantáneo” y “un temporizador”. Sin embargo, en la práctica, es poco común utilizar elementos separados para este fin. En su lugar, se emplea “un relé de disco de inducción” con una “curva poco inversa”, lo que significa

“que” su operación está definida para corrientes de “10 veces la corriente” nominal “en adelante”. Para lograr “esta característica de operación”, “se” usa “una unidad de medida” que “se satura rápidamente”. “En los relés de estado sólido”, “se utiliza un comparador” y un temporizador para lograr una protección de tiempo definido. Estos relés solo se activan “si la sobrecorriente” “se mantiene durante el tiempo necesario” y no se activan si la corriente se interrumpe antes de tiempo.

#### **“Protecciones de sobrecorriente de tiempo inverso”**

La característica “principal de este tipo” de relé “es” “que” cuanto “mayor” es “la corriente aplicada”, “menor es su tiempo de operación”. “En” “los” relés electromecánicos, se utilizan unidades de medida de disco de inducción, que pueden ser de tipo espira, en cortocircuito o wattimétrica.

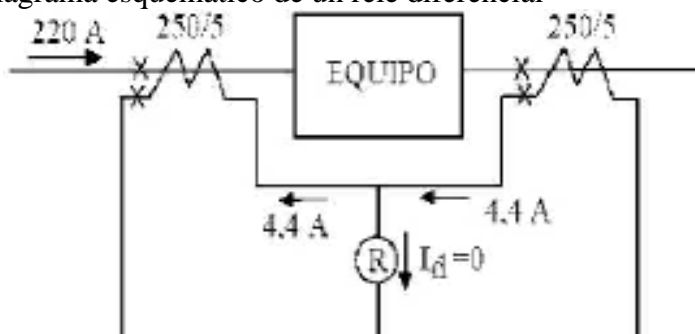
#### **2.1.4. Relés diferencial**

Según Arce (2010) el dispositivo es único en su función de proteger a las personas y equipos contra corrientes indirectas, y su correcto funcionamiento depende de una conexión adecuada a tierra. Su tarea principal es detectar la corriente de falla (I<sub>def</sub>) que se produce cuando ocurre una falla en la instalación, ya que no debe haber corriente que fluya a través del conductor de tierra. El relé detecta “la diferencia” “entre” “la” corriente “de entrada y salida”, y abre “sus contactos cuando los valore” “s no coinciden. Una de las características más importantes es su sensibilidad para detectar la corriente mínima de falla.

Este tipo de relé se utiliza principalmente “para la protección de máquinas” síncronas y asíncronas, “transformadores de potencia”, “subestaciones y líneas cortas” con “potencias” elevadas (“de 5 a 8 MVA”), debido a razones prácticas y económicas. El

esquema muestra que cuando no hay fallas en la zona protegida (entre los transformadores de corriente y potencial), la corriente detectada por el relé diferencial "R" es cero. Sin embargo, cuando ocurre una falla, ya sea monofásica, bifásica o trifásica, en esta zona, el relé "R" da la orden de abrir el interruptor correspondiente".

**Figura 5.**  
Diagrama esquemático de un relé diferencial



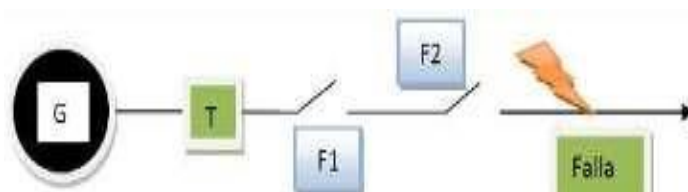
**Fuente:** Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala (Arce Lazo, 2010, p. 22)

## 2.2. “Tipos de coordinación”

### 2.2.1. “Coordinación de sobrecorriente”

#### 2.2.1.1. “Coordinación fusible – fusible”

**“Figura 6”.**  
“Coordinación fusible – fusible”



**Fuente:** Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala (Arce Lazo, 2010, p. 23)

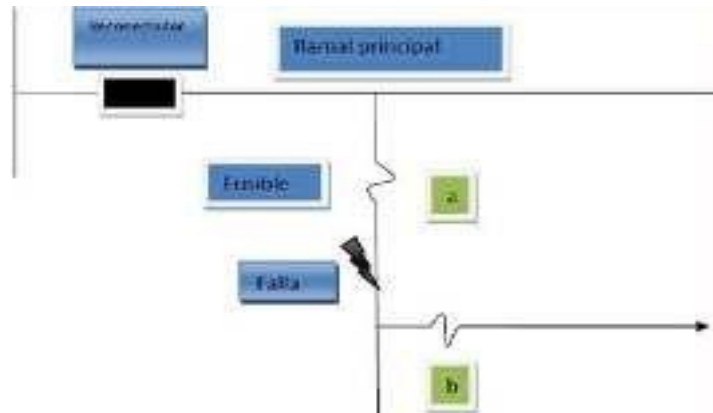
“En este tipo de coordinación “de fusibles,”el fusible 2” ubicado “más”cerca de “la” “falla” “se” considera como la” protección principal, y su proceso de fundición” debe completarse “antes” de “que” el fusible 1 “de respaldo inicie su proceso de fusión”. De esta manera, se cumple “uno de los criterios más importantes, que es” la”

“selectividad”. Para lograr “la coordinación” fusible-fusible, se selecciona cuidadosamente el tipo y la capacidad de los fusibles de tal “manera que el fusible más cercano a la falla” se funda primero, aislando el área afectada. En la práctica, se establece “que el tiempo” máximo “de despeje de falla de un fusible no debe” superar “el 75% del tiempo mínimo” de fusión del fusible “de respaldo”, dentro del “rango” de posibles corrientes de cortocircuito. Además, se recomienda coordinar los fusibles “del mismo tipo (K, T, N, XS, etc.) para un alimentador o circuito”. Es importante tener “en cuenta” que, en el caso de los fusibles de estaño, se debe multiplicar la corriente nominal con sobrecarga por 1,5, según los criterios del personal que realiza la coordinación.

#### ***2.2.1.2. Reconector - fusible***

Se busca lograr una coordinación efectiva entre el fusible y el reconector de cabecera en el caso de una falla permanente o temporal en el ramal secundario. La coordinación se puede ejemplificar mediante un diagrama unifilar simple en el cual se muestra cómo debe actuar el reconector en dos situaciones distintas: una falla temporal y una falla permanente que ocurren en el mismo lugar pero en diferentes momentos. En la coordinación reconector-fusible se busca que el fusible proteja ante una falla permanente mientras que el reconector de cabecera actúe ante una falla temporal.

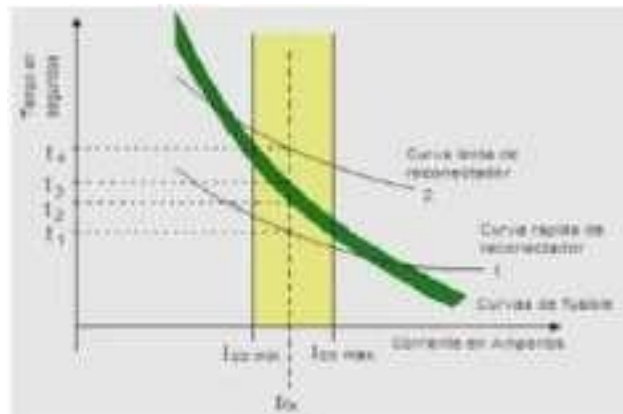
**Figura 7.**  
Coordinación reconectador fusible



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 24)

Para entender la coordinación de protecciones es necesario presentar una representación gráfica de las curvas de protección del reconectador y del fusible, que permita visualizar cómo se coordinan adecuadamente.

**Figura 8.**  
Gráfica de coordinación de protecciones Reconectador - fusible



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 24)

En primer lugar se lleva a cabo un análisis de “una falla temporal” que ocurre en el punto X entre los puntos a y b, los cuales son protegidos por el fusible según lo muestra la figura 7. Cuando ocurre una falla temporal en el punto X, la corriente

“aumenta” “de” forma instantánea “hasta alcanzar el valor  $I_{fx}$ ”, y en ese momento la curva rápida del reconectador, que es la curva 1, detecta este aumento de corriente”en” “un tiempo  $t_1$ , lo que provoca la primera apertura del interruptor”. Debido a que el valor de  $I_{fx}$  no alcanza la curva mínima de fusión,”el fusible no detecta el cambio de corriente”, y “el” reconectador cierra automáticamente para liberar la falla temporal. “De esta” manera “se” garantiza “la continuidad del servicio”.

En segundo lugar, si “ocurre una falla permanente en el punto X”, “la corriente” experimenta”un aumento significativo. La curva 1 detecta el aumento de corriente en el tiempo  $t_1$  y opera por primera vez, interrumpiendo el flujo de corriente”. “El reconectador cierra sus contactos nuevamente”, pero “como la falla es permanente”, “la corriente aumenta” instantáneamente “de valor”. “La curva 1” ya no”detecta” el segundo”aumento de corriente”, sino que es la curva mínima de fusión del fusible la que lo detecta”en el tiempo  $t_2$ ”, y comienza a fundirse en ese momento. En el tiempo  $t_3$ , el fusible se funde por completo y se libera la falla antes de que el reconectador opere en la curva lenta 2. De esta manera “se asegura la continuidad del servicio” en las áreas” donde” “no” hay “falla”.

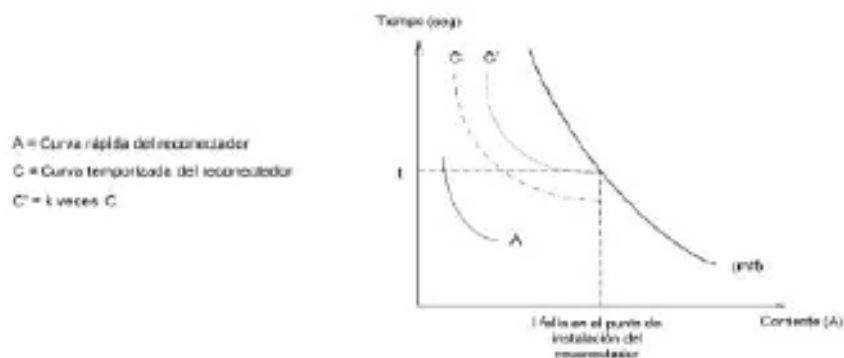
“Cuando se” tienen “dos dispositivos diferentes”, “la coordinación depende de” su “ubicación relativa”. Si el fusible está ubicado en el “lado de la fuente”, actuará” como” “protección de respaldo del reconectador”, y “viceversa”.

#### 2.2.1.2.1. *“Fusible del lado de la fuente”*

“Como” se indicó previamente, en “este caso” el reconectador actúa como protección principal y el fusible actúa como protección “de respaldo”. “Todas las operaciones del reconectador” “deben” ocurrir “antes que” las del “fusible”, “lo” que requiere que “el”

tiempo mínimo de fusión” (mtf) del fusible” sea “mayor que el tiempo de despeje” “lento del reconectador”, el cual está “afectado” “por” un “factor k”,”como””se” muestra en la siguiente figura.

**Figura 9.**  
Coordinación fusible – reconectador



**Fuente:** Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala (Arce Lazo, 2010, p. 26)

Cooper Power System ha establecido que los factores k para esta coordinación están relacionados con el tiempo de “recierre en ciclos” y el “número de intentos”. En la tabla siguiente se muestran varios “valores” “de” este “factor”.

**“Tabla 1”.**  
“Secuencia de apertura de los” reconectadores

| SECUENCIA DE APERTURA               |             |          |            |
|-------------------------------------|-------------|----------|------------|
| Tiempo de reconexión<br>en segundos | 2 rápidas - |          | 1 rápida - |
|                                     | 2 lentas    | 2 lentas | 4 lentas   |
| 25                                  | 2.70        | 3.20     | 3.70       |
| 30                                  | 2.60        | 3.10     | 3.50       |
| 60                                  | 2.10        | 2.50     | 2.70       |
| 90                                  | 1.85        | 2.10     | 2.20       |
| 120                                 | 1.70        | 1.80     | 1.90       |
| 240                                 | 1.40        | 1.40     | 1.45       |
| 600                                 | 1.35        | 1.35     | 1.35       |

**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala “(Arce Lazo, 2010, p. 26)

### 2.2.1.1.1. Fusible del lado de la carga

Se requiere que el tiempo de fusión mínima (mtf) del fusible sea superior a la curva rápida del reconector multiplicada por el factor k para asegurar la coordinación, como se muestra en la tabla anterior. También se debe cumplir el punto “máximo de coordinación (PMC)” y el tiempo de desconexión mínimo (mtd) del fusible debe ser menor que la curva temporizada del reconector sin la multiplicación por el factor k, para garantizar la “correcta coordinación entre los dispositivos de protección”.

**Tabla 2.**  
Factor k lado de la carga

| Tiempo de reconexión en ciclos | Secuencia de apertura   |                        |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------|
|                                | “2 rápidas”, “2 lentas” | “1 rápida”, “3 lentas” |
| “25-30”                        | “1,8”                   | “1,25”                 |
| “60”                           | “1,35”                  | 1,25                   |
| 90                             | 1,35                    | “1,25”                 |

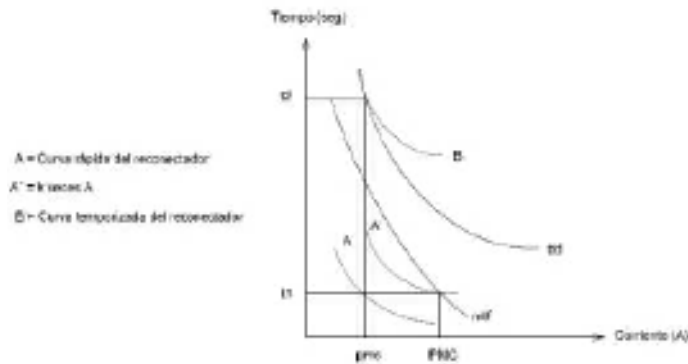
**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 27)

Es esencial que el reconector cuente con “dos o más operaciones” retardadas “o” temporizadas “para” prevenir la desconexión del circuito en caso de que el fusible actúe mientras el reconector está funcionando. Este concepto se puede apreciar con más claridad en la gráfica que muestra la coordinación de las curvas del fusible y del reconector. Para lograr una coordinación óptima entre el “reconector y el fusible, se recomienda ajustar el reconector con dos operaciones instantáneas seguidas de dos” operaciones “temporizadas”. “La primera operación” despejará “el 80%” “de las”



“fallas temporales”,mientras que “la segunda” operación eliminará “un 10% adicional”,garantizando“que” “los” fusibles actúen antes del tercer disparo del reconector y permitiendo solucionar fallas permanentes.

**Figura 10.**  
Gráfica de Coordinación fusible-reconector



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 28)

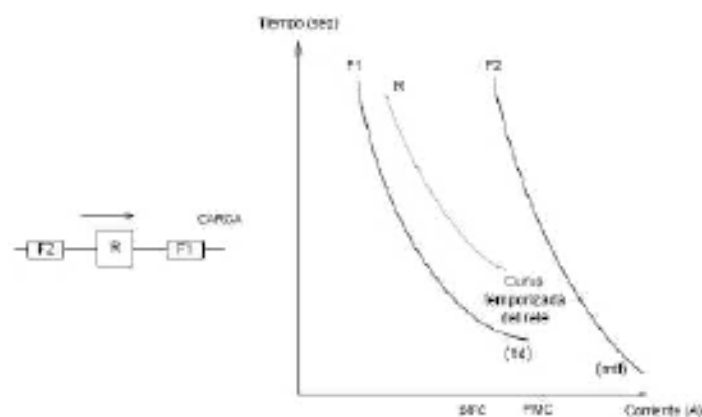
### 2.2.1.3. Relé - Fusible

En la “coordinación entre un relé de una subestación” y un fusible en un alimentador”, se requiere que “el fusible”actúe primero “y” despeje “la falla antes de que” lo haga “el relé”, lo que brinda “un margen de tiempo de 0,2 a 0,3 segundos” entre” las curvas máximas “de despeje del fusible y la de tiempo inverso del relé”. Este margen “debe mantenerse” para permitir “errores en la señal del transformador de corriente”, sobre-viajes del relé y otras situaciones.

Si un interruptor tiene relés de recierre, la coordinación “se logra cuando los recierres de despeje” no funden “el fusible”.”Si la falla persiste”, el “fusible debe fundirse” “antes de que el relé” abra permanentemente el circuito”.”Cuando un relé es” la “protección de respaldo” del “fusible”, su “curva” de “tiempo-corriente temporizada” “debe” estar por encima”de la curva” “de (mtd) del fusible”.”Cuando” el “fusible””es”

el “respaldo” del “relé”, su “curva de (mtf)” “debe” estar “por” encima “de la curva” de “tiempo-corriente temporizada” “del relé”. Si el relé está entre dos fusibles, su curva de “tiempo-corriente temporizada” “debe” estar “por” encima “de la curva de (mtd)” “de F1 y por debajo de la curva de (mtf) F2”. Este tipo de coordinación se muestra en la siguiente figura.

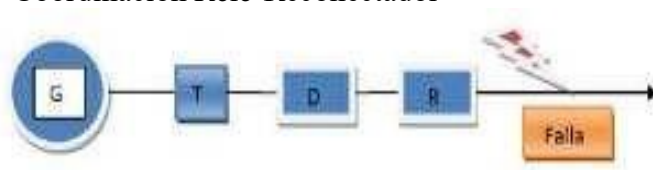
**Figura 11.**  
Gráfica de coordinación Relé-Fusible



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 29)

#### 2.2.1.4. “Relé – Reconector”

**“Figura” 12.**  
“Coordinación Relé-Reconector”



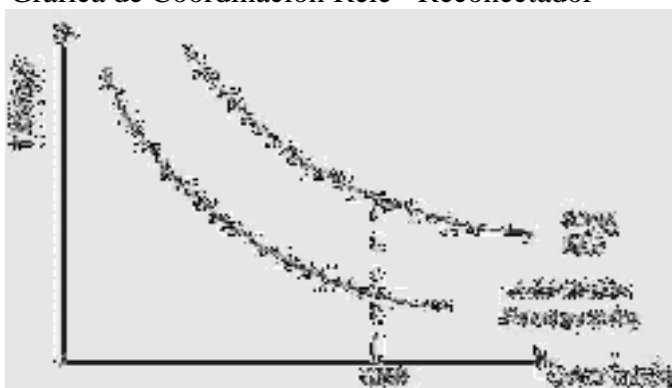
**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 29)

En una subestación de distribución donde las salidas son controladas por un disyuntor con relés y hay “un reconector en el alimentador”, “la coordinación” se logra “entre el relé” “que” controla el “disyuntor y el reconector”. “El reconector” debe “actuar” tantas “veces” como sea necesario, “pero el relé no debe completar su ciclo de

actuación”. La suma total de las “operaciones del reconectador” debe estar por debajo de “la curva” “característica de tiempo-corriente del relé”. Sin embargo, la “coordinación” de este rango se limita “por los relés con curvas de tiempo extremadamente” inversas.

**Figura 13.**

Gráfica de Coordinación Relé - Reconectador



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala “(Arce Lazo, 2010, p. 30)

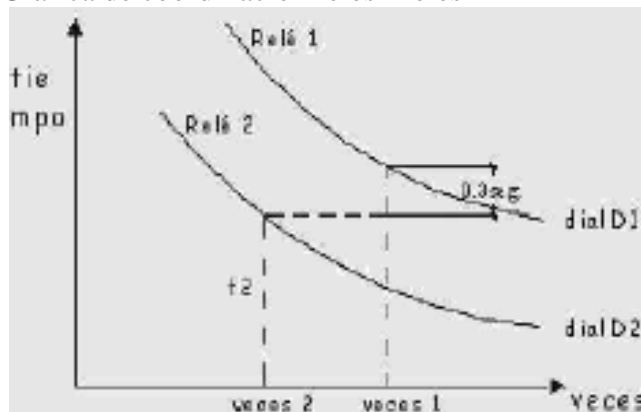
#### 2.2.1.5. *Relé- Relé*

La coordinación de los relés de sobrecorriente se logra a través de la determinación “de la corriente mínima de disparo” y del tiempo “de” retardo, lo “que” permite una “sensibilidad” adecuada para detectar varios “tipos de fallas” en las líneas de distribución, y una selectividad para discriminar fallas en las zonas primarias y secundarias “de” protección. Para garantizar una “operación” selectiva “de los relés en conjunto”, se recomienda el uso de curvas inversas con el mismo grado de inversión (“curvas inversas, muy inversas”, extremadamente, “etc”).

“ Para lograr una correcta” coordinación, se deben establecer límites en las zonas de protección y obtener “todos los datos necesarios de los equipos de protección” y las características del sistema eléctrico a proteger. En la verificación de “si los relés pueden tener unidad instantánea”, se debe garantizar que “la corriente “no exceda el 30% del

valor de la corriente de falla máxima en el punto de ubicación del relé.”Para la unidad temporizada”,”el” tps “se calibrará con un valor adicional a la corriente de carga”, que puede variar “del 10 al 50%”” dependiendo del caso” y del “punto” de ubicación del relé.

**Figura 14.**  
Gráfica de coordinación relés - relés



**Fuente:**” Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 31)

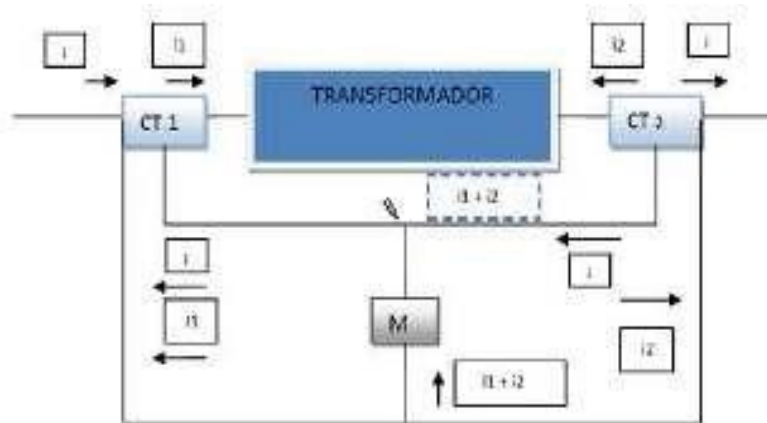
En la protección de sobrecorriente, si no hay otros dispositivos de protección en el lado de carga, el primer relé toma el dial más bajo. Para los siguientes relés hacia el lado de alimentación, se considera un tiempo de 0,3 segundos para calcular el dial, esto se hace para tener en cuenta posibles errores de tolerancia y sobrecarga que puedan presentarse en ese tramo.

### 2.3. COORDINACIÓN DIFERENCIAL

La protección diferencial es crucial en los sistemas eléctricos de potencia y se utiliza para proteger a los transformadores de potencia en las subestaciones. Esta protección compara las corrientes y aprovecha el hecho de” que un objeto protegido”” siempre lleva la misma corriente” en ambos lados durante el funcionamiento normal. Si hay una diferencia en la corriente, esto indica una falla entre las dos secciones. Para

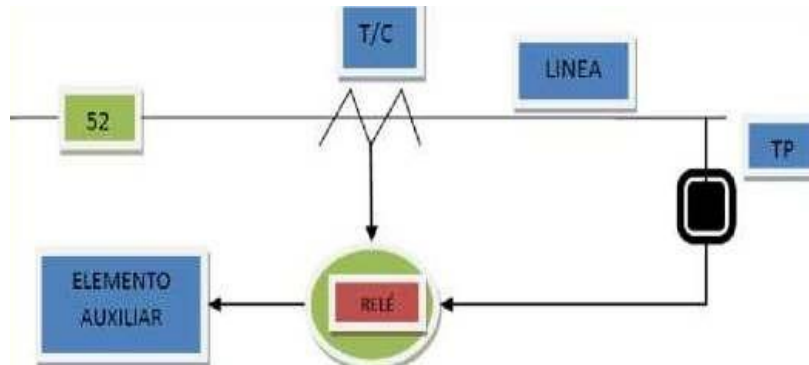
conectar los devanados secundarios de los transformadores de corriente (CT1 y CT2), se forma un circuito eléctrico cerrado con una corriente secundaria  $I'$  y un elemento de medición  $M$  que se conecta al punto de balance eléctrico. Si la diferencia de corriente de secuencia es cero, se considera una buena operación. Cuando ocurre una falla en la zona del transformador de corriente, fluye una corriente  $i_1 + i_2$ , que es proporcional a la corriente de falla  $I_1 + I_2$  en ambos lados del elemento de medición. El circuito asegura un disparo confiable de la protección si la corriente de falla fluye dentro de la zona de protección durante una gran falla para el elemento de medición  $M$ .

**Figura 15.**  
Protección diferencial



**Fuente:** Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala (Arce Lazo, 2010, p. 32)

**Figura 16.**  
Componentes de un sistema de protección Fusible



**Fuente:** “Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala” (Arce Lazo, 2010, p. 32)

- “Tipo N”: “Conducen hasta el 100% de su  $I_n$  sin daños”. Son más rápidos aún que los H”.
- “Fusible Tipo X”: “Provistos de un elemento dual”; son permisivos a las fluctuaciones de la corriente” (“relación de velocidad 32”).
- “Fusible Tipo Sft”: “Provisto de elemento dual; no actúan ante fallas temporarias en transformadores”.
- “Fusibles Tipo MS o KS”: “Respuesta ultra lenta y mayor permisividad de corriente que los T”; “bueno como protección de línea” (“relación de velocidad 20”).

## **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1.1. “Materiales”**

### **3.1.2. “Subestación San Jacinto”**

La bahía de salida del alimentador en media tensión (AMT) San Jacinto, de código SAP SJC051, cuenta para su protección eléctrica con el siguiente relé multifunción:

- Un (01) relé de sobrecorriente marca ABB, modelo REF620, con las siguientes funciones:
  - Sobrecorriente de fases (50P/51P)
  - Sobrecorriente de tierra (50N/51N)

### **3.1.3. Punto de medición a la intemperie (PMI) Orminco**

El sistema de utilización de Orminco cuenta con el siguiente equipamiento de protección.

### **3.1.4. Protección principal del sistema de utilización**

- Un (01) recloser electrónico automático RESEAD RIVE 27kV – 3F – Ti – 630 A – 12.5 kA.
- Tres (03) Transformador de corriente de fase de relación 250/5, 10 VA, clase 5P20
- Un (01) Transformador de corriente homopolar de relación 100/1, 5 VA, clase 5P10
- Un (01) Transformador de tensión 1x500 VA, 13.2/0.23 kV

### **3.1.5. Protección de celda del transformador 01**

- Un (01) Seccionador tripolar 27 kV, 630 A, 12.5 kA
- Tres (03) Fusibles limitadores de potencia CEF de 63 A

### 3.1.6. Protección de celda del transformador 02

- Un (01) Seccionador tripolar 27 kV, 630 A, 12.5 kA
- Tres (03) Fusibles limitadores de potencia CEF de 63 A

### 3.1.7. “Parámetros eléctricos” “de la” red “en” estudio

#### “Tabla” 3.

“Parámetros eléctricos” “de” la subestación San Jacinto

| Nombre de AMT      | Código | kV   | Potencia de CC (MVA) | Corriente de CC (kA) | R /X      | X0/X1   | R0/X0      |
|--------------------|--------|------|----------------------|----------------------|-----------|---------|------------|
| San Jacinto pueblo | SJC051 | 13.2 | 51.46                | 2.152931             | 0.1303861 | 1.16886 | 0.06061332 |

### 3.1.8. Criterios para la determinación de ajustes

- **Sobrecorriente de fases (50/51 y 67)**
  - El valor de arranque de los relés de sobrecorriente entre fases se calcula como:
    - a) Arranque ( $I_{>}$ )=120%  $I_n$  ( $I_n$ : Corriente Nominal)
    - b) Arranque ( $I_{>}$ )= 120%  $CT_p$  ( $CT_p$ : Relación primaria del CT)Se considera al menor.
  - La curva característica de operación podrá definirse de acuerdo a las normas IEC, ANSI, IEEE u otras de acuerdo al fabricante del relé y se elegirá según la necesidad de coordinamiento con el resto de relés.
  - La curva característica de operación seleccionada debe considerar lo siguiente:
    - No operar cuando se conecte cargas (corrientes Inrush).
    - Deben proteger a los equipos (Transformadores y Líneas) de sus límites de sobrecarga térmica y dinámica.



- La curva de daño térmico y dinámico de cada transformador de potencia se determinan según norma ANSI / IEEE C57, 91 – 1981
- La corriente INRUSH de transformadores de potencia se determinará:
  - Transformadores < 2MVA; Inrush = 8 x IN
  - Transformadores > 2MVA; Inrush = (10 – 12) x IN

Con un tiempo de duración menor a 100 mseg, según estándar IEE Std242 “IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power System”

- El intervalo de tiempo de coordinamiento entre relés es aproximadamente entre 200 y 250 mseg como mínimo.
- La determinación del ajuste final dependerá de las corrientes de cortocircuito, la forma de la red y tipo de equipo a proteger (línea, transformador, motor, banco de capacitores, reactores, generadores)
- Para este sistema eléctrico no es necesario aplicar la direccionalidad a la función de protección de fallas entre fases
- **Sobrecorriente a tierra (50N/51N y 67N)**
  - El valor de los relés de sobrecorriente a tierra se calculará como:
    - a) Arranque ( $I_{o>}$ ) = 10% IN (IN: Corriente nominal)
    - b) Arranque ( $I_{o>}$ ) = 10% CT

Se elige el menor
  - La protección de sobrecorriente direccional a tierra (67N) es simular a la sobrecorriente no direccional; con la única diferencia que se debe especificar la dirección del flujo de corriente de secuencia cero (3 x

Io) para la que se aplica la protección. Para su evaluación el relé requiere una referencia o polarización que puede ser la tensión homopolar ( $3 \times V_0$ ). Con la finalidad de discriminar la correcta dirección se debe ajustar el ángulo de máxima sensibilidad según el sistema de puesta a tierra.

### **3.1.9. Metodología del trabajo**

#### ***3.1.9.1. Método de investigación***

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicativo, de naturaleza descriptiva, con estudios y evaluaciones de campo e información bibliográfica especializada.

La Investigación es descriptiva ya que se empleará la información estadística real del comportamiento de la demanda eléctrica y se realizarán simulaciones de fallas en diversos escenarios, seguidamente se aplicarán los criterios de protecciones, y seguidamente se evalúa si las coordinaciones propuestas cumplen con los criterios de rapidez y selectividad.

La Investigación es aplicada porque será plasmada en la protección utilizada en la S.E. San Jacinto, la cual servirá de protección ante fallas en el sistema eléctrico salvaguardando la operatividad del sistema.

#### ***3.1.9.2. Diseño de investigación***

El diseño de la investigación es del tipo descriptivo y aplicado, donde se dispondrá de una muestra en quien se realizará el estudio y de donde se recoge la información relevante, el siguiente diagrama representa este diseño:



La variable independiente “X” sería: Parametrización de los relés: X

La variable dependiente “Y” sería: Coordinación de protecciones:  $Y = f(X)$

X: Cambios o manipulación.

### **3.1.9.3. Población y muestra**

La población está conformada por la S.E. minera San Jacinto.

La muestra es igual a la población.

### **3.1.9.4. Estrategia de trabajo**

#### *3.1.9.4.1. Recolección de la información*

Se procederá a la recopilación de la información existente en la caracterización del perfil de consumo y máxima demanda de la producción de la muestra de estudios a través de la técnica de la observación directa.

Se recogerá información de la base de datos de fallas de los operadores de la subestación de transformación Santa, para tomarlos como referencia en la aplicación de las condiciones contractuales.

#### *3.1.9.4.2. Técnicas de procesamiento y análisis de la información.*

Se procederá a analizar y evaluar las diferentes alternativas de parametrización como coordinación de protecciones para los equipos de protección en media tensión, según los diversos tipos de condiciones geográficas del alimentador, luego éstas se compararán entre sí determinándose la mejor condición de aplicación de las protecciones de la subestación de transformación.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1.1. Flujo de carga

#### 4.1.1.1. Metodología técnica

Para evaluar los resultados de flujo de carga en régimen estacionario se consideran como criterios de calidad y confiabilidad que el sistema debe satisfacer las siguientes condiciones:

#### Niveles de tensión admisible en barra

- Operación Normal :  $\pm 5\% V_N$
- Operaciones en contingencia :  $\pm 5\% V_N$  y  $-10\% V_N$

( $V_N$ : Tensión Nominal)

#### Líneas y transformadores sin sobrecarga

- Operación Normal : 100% SN
- Operación en contingencia : 120% SN

(SN: Potencia nominal)

#### 4.1.1.2. Software utilizado

El software utilizado para realizar el análisis de las simulaciones de flujo de carga es el DigSilent Power Factory 15.1.7.

#### 4.1.1.3. Resultados de los casos considerados

Los resultados se mostrarán en el Anexo B

### 4.1.2. Cortocircuito

#### 4.1.2.1. Datos del sistema eléctrico

Para el análisis de corto circuito se ha tomado en cuenta la base del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), según COES, para las temporadas de Estiaje máxima y mínima demanda en base a esta configuración se han simulado las corrientes de cortocircuito

#### **4.1.2.2. Metodología y criterios**

- El periodo de análisis se da para la máxima demanda del alimentador
- Las simulaciones de cortocircuito se han desarrollado con el software DigSilent – Power Factory 15.1.7.
- Las corrientes de corto circuito han sido simuladas según norma IEC 60909.

Las fallas evaluadas son las siguientes:

- Falla trifásica con resistencia de falla  $0 \Omega$
- Falla bifásica con resistencia de falla  $0 \Omega$
- Falla monofásica con resistencia de falla de  $0 \Omega$ , hasta  $400 \Omega$
- Duración de apertura de interruptor 0,1 segundos.
- Duración de apertura de térmico 1,0 segundos

#### **4.1.2.3. Escenario de simulación de corrientes de cortocircuito**

EL escenario considerado para obtener la máximas y mínima de corto circuito es el siguiente: Escenario de condición normal de operación.

#### **4.1.2.4. Resultados de los casos simulados**

Los resultados se muestran en el Anexo D, se resume:

Las **Máximas corrientes de falla** se dan en la temporada de máxima demanda.

Los resultados se resumen en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.**  
*Máximas corrientes de falla*

| Nodo         | kV   | Trifásica | Bifásica | Monofásica | Monofásica |
|--------------|------|-----------|----------|------------|------------|
|              |      | (kA)      | (kA)     | (kA)       | (kA)       |
|              |      | R = 0 Ω   | R = 0 Ω  | R = 0 Ω    | R = 400 Ω  |
| Barra SJC051 | 13.2 | 2004.928  | 1736.625 | 1889.186   | 19.890     |
| PMI          | 13.2 | 1317.638  | 1141.286 | 1175.333   | 18.992     |
| SED01        | 13.2 | 705.333   | 610.884  | 565.659    | 17.995     |
| SED02        | 13.2 | 703.415   | 609.223  | 563.988    | 17.992     |

#### 4.1.3. Cálculo de los ajustes para la función de sobrecorriente (50/51, 50N/51N, 67/67N)

##### 4.1.3.1. Relé ABB REF 620 salida en 13,2 kV del AMT SJC051

###### - Sobrecorriente de fases

Los ajustes actuales de sobrecorriente de fases se mantienen por considerarse adecuados.

**Tabla 5.**  
Ajustes actuales de sobrecorriente de fases del AMT SJC051

| Protección de Sobre corriente de Fases |               |       | Ajuste de Umbral |          |         | Ajuste de Umbral |           |               |
|--|---------------|-------|------------------|----------|---------|------------------|-----------|---------------|
| Relé Modelo                            | Eq. Protegido | TC    | I>               | T>       | Curva1  | I>>              | T>>       | Curva2        |
| ABB REF620                             | Línea 13.2 kV | 200/5 | 240 A prim.      | 1.70 Seg | U4 – EI | 1800.0 A prIm.   | 0.01 seg. | Definite Time |

###### - Sobrecorriente de tierra

Los ajustes actuales de sobrecorriente de tierra se mantienen por considerarse adecuados.

**Tabla 6.**

Ajustes actuales de sobrecorriente de tierra del AMT SJC051

| Protección de Sobre corriente a tierra |               |       | Ajuste de Umbral |          |          | Ajuste de Umbral |           |               |
|--|---------------|-------|------------------|----------|----------|------------------|-----------|---------------|
| Relé Modelo                            | Eq. Protegido | TC    | I>               | T>       | Curva1   | I>>              | T>>       | Curva2        |
| ABB REF620                             | Línea 13.2 kV | 200/5 | 20 A prim.       | 0.15 Seg | IEC - SI | 2000.0 A prim.   | 0.01 seg. | Definite Time |

#### 4.1.3.2. *Reloser del sistema de utilización*

##### - **Sobrecorriente de fases**

Considerando que el sistema de utilización cuenta con 02 transformadores de 1000 kVA, y una corriente de nominal total de 87.48 amperios, por lo cual ajustamos el arranque en 105 amperios, la característica de operación seleccionada es *IEC Curva Standart Inverse (CI-SI)*, con un dial de 0.05.

Se ajustará una etapa de tiempo definido en 1000 Amp y 0.00 segundos, con este ajuste se logra despejar fallas máximas de manera instantánea.

**Tabla 7.**

Ajustes actuales de sobrecorriente de fases del sistema de utilización

| Protección de Sobrecorriente de Fases |               |       | Ajuste de Umbral |          |             | Ajuste de Umbral |          |               |
|---------------------------------------|---------------|-------|------------------|----------|-------------|------------------|----------|---------------|
| Relé Modelo                           | Eq. Protegido | TC    | I>               | T>       | Curva1      | I>>              | T>>      | Curva2        |
| SEL 751A                              | Línea 13.2 kV | 250/5 | 105.0 A prim.    | 0.05 Seg | IEC C1 – SI | 1000 A prim.     | 0.00 Seg | Definite Time |

##### - **Sobrecorriente de tierra**

El arranque lo ajustamos en 25 Amp, la característica de operación seleccionada es *IEC Standart Inverse (CI – SI)*, con un dial de 0.05.

Se ajustará una etapa de tiempo definido con un arranque de 12.5 Amp, y un dial de 500 mseg.

Así mismo, se estará ajustando una etapa instantánea en 500 Amp.

**Tabla 8.**  
Ajustes actuales de sobrecorriente de tierra del sistema de utilización

| Protección de Sobrecorriente a tierra |               |        | Ajuste de Umbral |                  |                      | Ajuste de Umbral |      |             | Ajuste de Umbral |      |               |
|---------------------------------------|---------------|--------|------------------|------------------|----------------------|------------------|------|-------------|------------------|------|---------------|
| Relé Modelo                           | Eq. Protegido | TC     | I <sub>SEF</sub> | T <sub>SEF</sub> | Curva <sub>SEF</sub> | I>               | T>   | Curva1      | I>>              | T>>  | Curva 2       |
| SEL 751A                              | Línea 13.2 kV | 100 /1 | 12.5 A prim.     | 0.50             | Definite Time        | 25.0 A prim.     | 0.05 | IEC C1 – SI | 500 A prim.      | 0.00 | Definite Time |

- **Limitador de potencia**

El arranque del limitador de potencia se realiza en base a la potencia contratada con la concesionaria, en este caso será de 1392 kW, y el tiempo de actuación será de 10.0 segundos.

**Tabla 9.**  
Limitador de potencia

| Limitador de potencia |               |       | Ajuste de Umbral |         |         |
|-----------------------|---------------|-------|------------------|---------|---------|
| Relé Modelo           | Eq. Protegido | TC    | kV               | kW      | T (seg) |
| SEL 751A              | Línea 13.2 kV | 250/5 | 13.2             | 1392.00 | 10.00   |

- **Saturación de transformadores de corriente del recloser**

A continuación, se muestra la verificación de saturación de los TC's del recloser, teniendo como relación 250/5 para fases, de clase 5P20.

$$I_{CC \max} = I_{prim \ nom} * Factor \ Límite$$



Siendo:

I CC máx: Corriente de cortocircuito máximo soportado por el transformador

I prim nom: Corriente nominal primaria del transformador (250)

Factor Límite: Factor Límite de precisión del transformador (20)

$$I_{CC\ max} = 250 * 20$$

$$I_{CC\ max} = 5000\ Amp$$

Del Cuadro de máximas corrientes de falla, tenemos que la corriente máxima en el recloser (PMI) es de 1317.638 amperios, siendo que la corriente máxima soportada por los transformadores de corriente es de 5000 amperios, los transformadores no se saturan ante fallas monofásicas o trifásicas.

A continuación, se muestra la verificación de saturación del TC homopolar del recloser, teniendo como relación 100/1, de clase 5P10.

$$I_{CC\ max} = I_{prim\ nom} * Factor\ Límite$$

Siendo:

I CC máx: Corriente de cortocircuito máximo soportado por el transformador

I prim nom: Corriente nominal primaria del transformador (100)

Factor Límite: Factor Límite de precisión del transformador (10)

$$I_{CC\ max} = 100 * 10$$

$$I_{CC\ max} = 1000\ Amp$$

Del Cuadro de máximas corrientes de falla, tenemos que la corriente máxima en el recloser (PMI) es de 1175.333 amperios, siendo que la corriente máxima soportada por los transformadores de corriente es de 100 amperios, el transformador se satura ante fallas monofásicas.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1.1. General**

Se logró proponer “el estudio de coordinación de protecciones del” “sistema” de utilización del cliente ORMINCO S.A.C en donde se pudo ver una mejora en la detección de fallas con la implementación de relés multifunción.

### **6.1.2. Específicos**

- Gracias a la recopilación de la información se determinó que en el estado actual de la línea de media tensión del alimentador SJC051, existen fallas frecuentes, estas fallas son monofásicas por arboles cercanos a la línea, conductores rotos por antigüedad de materiales y los accidentes de tránsito que afectan las redes de media tensión.
- Los parámetros requeridos para el análisis técnico cumplen con el principio de selectividad con respecto a las protecciones aguas arriba del alimentador SJC051.
- De las simulaciones hechas en el software DigSilent Power Factory 15.1.7 se obtuvo que, del estudio de flujo de potencia, el nivel de tensión en el PMI en las subestaciones del sistema de utilización está dentro de lo permitido según la NTP y del estudio de cortocircuito se obtiene que las protecciones propuestas actúan primero que las protecciones del alimentador SJC051.

### 6.1.3. Recomendaciones

- De la simulación de flujo de potencia, se obtiene una región donde el calibre del conductor del AMT SJC051 se encuentra en su límite de cargabilidad, por lo que se recomienda el reemplazo del cable existente por uno de mayor calibre.
- De la simulación de corriente de corto circuito, se obtiene “que la” “corriente de falla” transitoria “máxima” obtenida “en” “el “PMI es de 1175.333 amperios, de esta corriente máxima se tiene que el transformador de corriente homopolar del recloser se saturará ante estas fallas, por lo cual se recomienda usar la medición mediante este transformador solo para la protección del sensitivo a tierra, las funciones 50N/51N deberán de ser mediante el cálculo de corriente con los transformadores de fase.
- Se recomienda que, una vez reajustados los relés de acuerdo al estudio, se verifique su correcta operación con pruebas eléctricas utilizando un simulador de potencia trifásico.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ayala 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*. Repositorio Institucional Continental:  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11552>
- Arce Lazo, E. S. (2010). *Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación "MACHALA" propiedad de la CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A. - Regional el Oro*. Repositorio UPS:  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/309>
- Condumex. (2009). *Manual técnico de instalaciones eléctricos en baja tensión* (Quinta edición ed.). Servicios Condumex.
- Flores Paredes, C. A. (2021). *Evaluación del sistema de coordinación de protecciones en subestaciones eléctricas móviles de media tensión con Digsilent en una empresa minera en la ciudad de Arequipa - 2021*. Repositorio Institucional Continental:  
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11808>
- León Carrera, A., & Villón Villacreses, J. (2002). *Estudio de Coordinación de las protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE), Sub-Estaciones: Sta. Rosa, Libertad, Salinas y Chipipe*. Repositorio Espol: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3060>

- Monsalve Mera, O. (2020). *Coordinación de protección del Alimentador BE-S03 – sistema eléctrico Bellavista Rural*. Repositorio Institucional UNPRG: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8307>
- Pozzo Silva, E. A. (2022). *Ajuste de coordinación de protección ante el incremento de la demanda y por reubicación de salida del alimentador de media tensión 1052 de Electronoroeste S.A.* Repositorio USS: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/9475>
- Ramírez Castaño, S. (2003). *Protección de Sistemas*. Universidad Nacional de Colombia . Manizales: Primera edición. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7094/samuelramirezcastano.2003.pdf?sequence=1>
- Saavedra Ugaz , R. C. (2021). *Estudio de coordinación de protecciones para mejorar la calidad de servicio en el sistema eléctrico rural Chulucanas – Quiroz 22.9 kV*. Repositorio Digital Institucional UCV: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76424?locale-attribute=es>
- Saavedra Vasquez, , J. R. (2021). *Estudio de coordinación de protecciones de la nueva central eólica de 18 mva Duna Huambos para la conexión al sistema interconectado nacional*. Repositorio USAT: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4382>
- Torres Flores, Y. M. (2019). *Coordinación de protecciones en baja tensión por selectividad asistida*. Repositorio Institucional Digital UNAC: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3917#:~:text=El%20estudio%20de%20coordinaci%C3%B3n%20de%20protecciones%20garantiza%20>

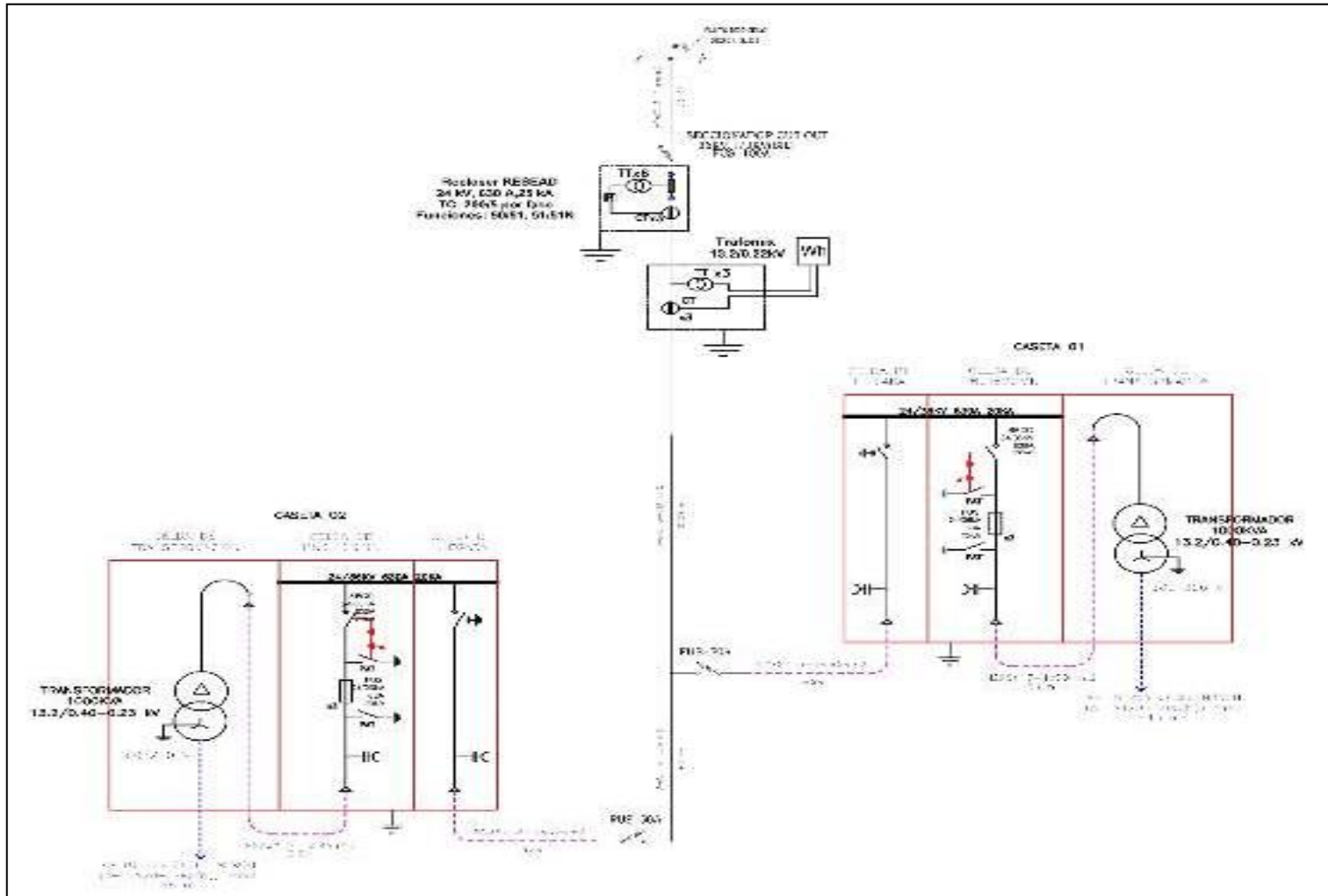
la%20correcta%20operaci%20n,elementos%20que%20componen%20el  
%20sistema.

Vilcahuamán De La Cruz , H. E. (2021). *Estudio de coordinación de protecciones del sistema eléctrico de media tensión de la Unidad Minera Kolpa, Huancavelica.*

Repositorio UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8107>

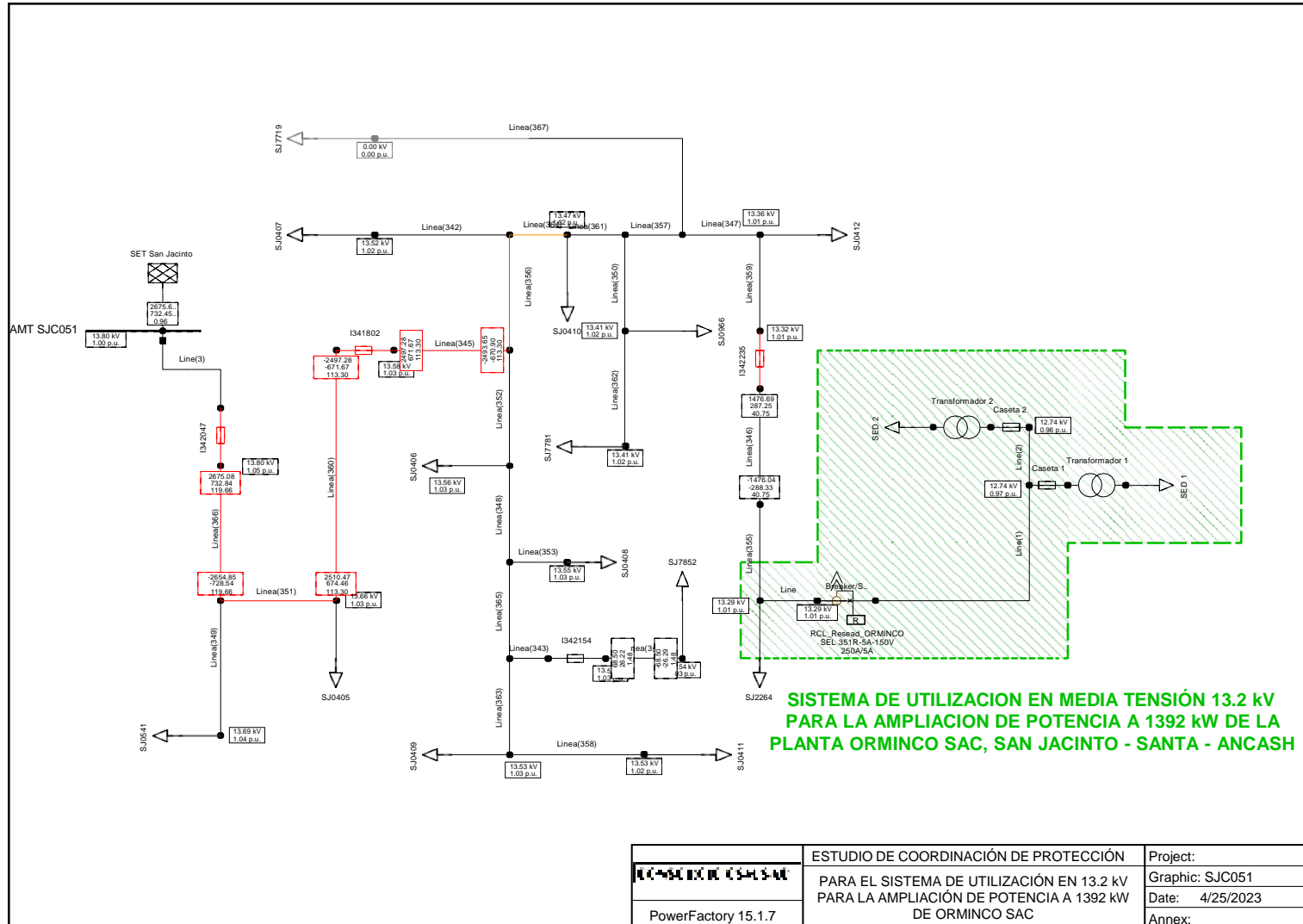
## CAPÍTULO VII: ANEXOS

### Anexo A: diagrama unifilar del sistema de utilización

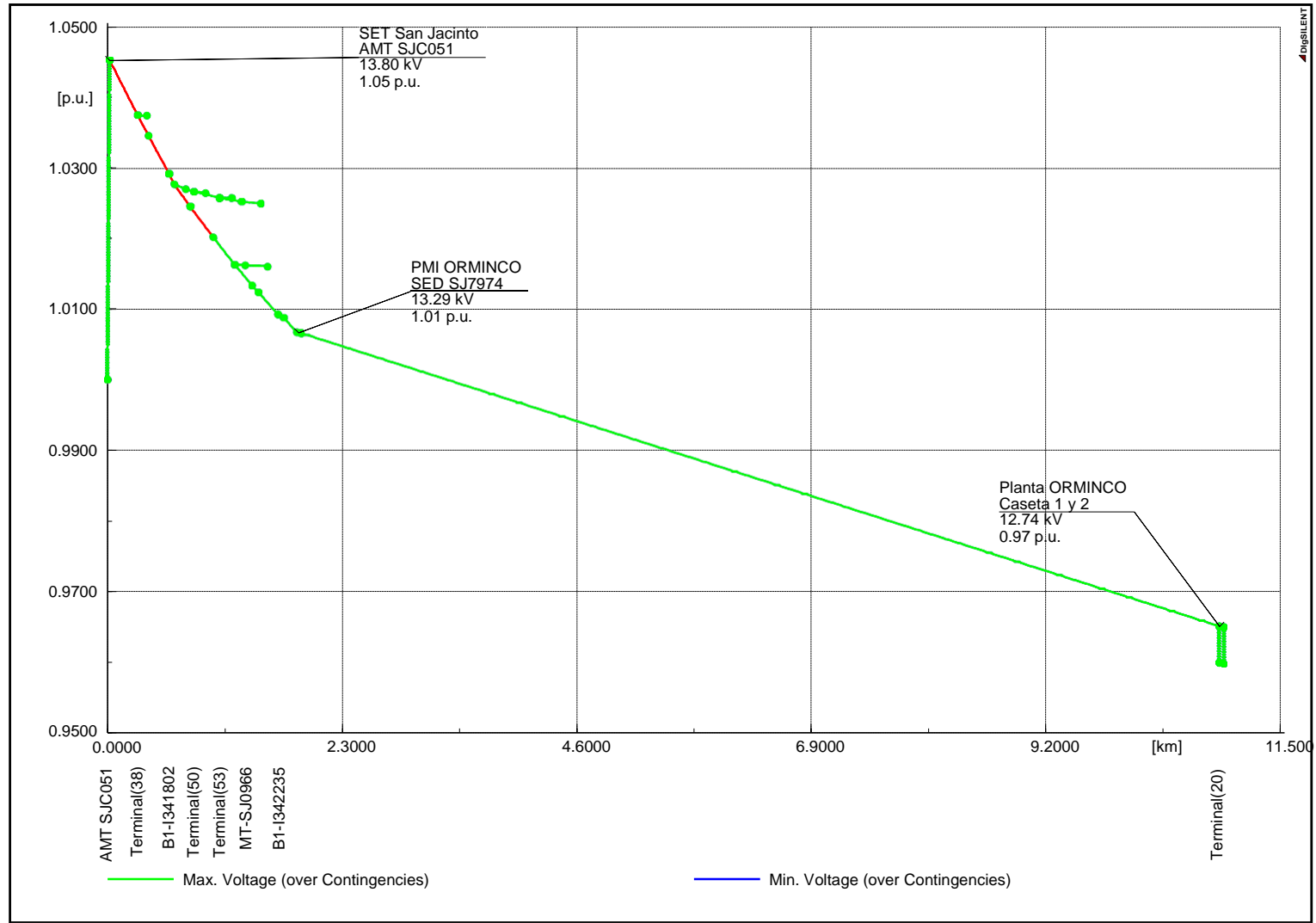




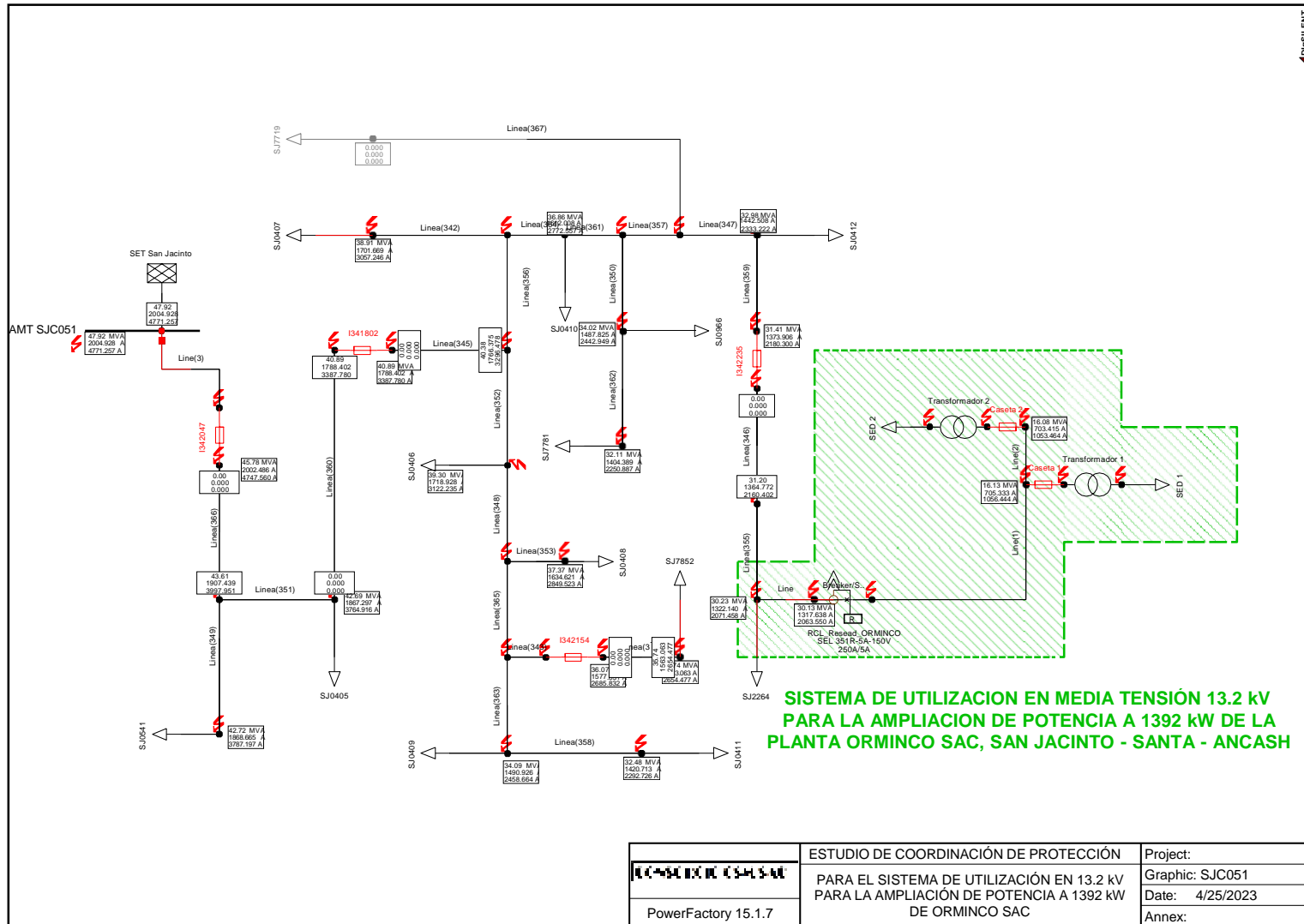
## Anexo B: simulación de flujo de potencia

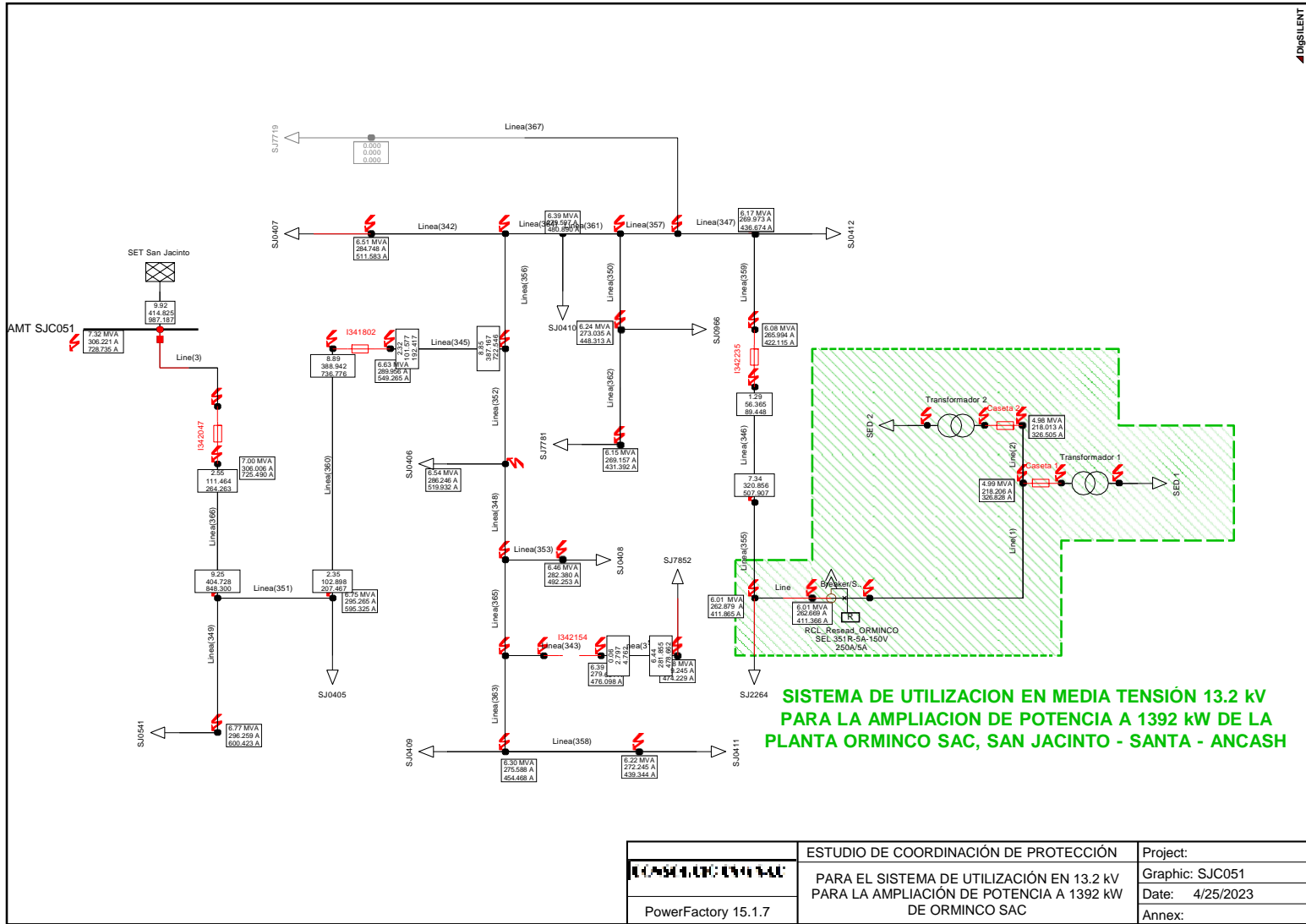


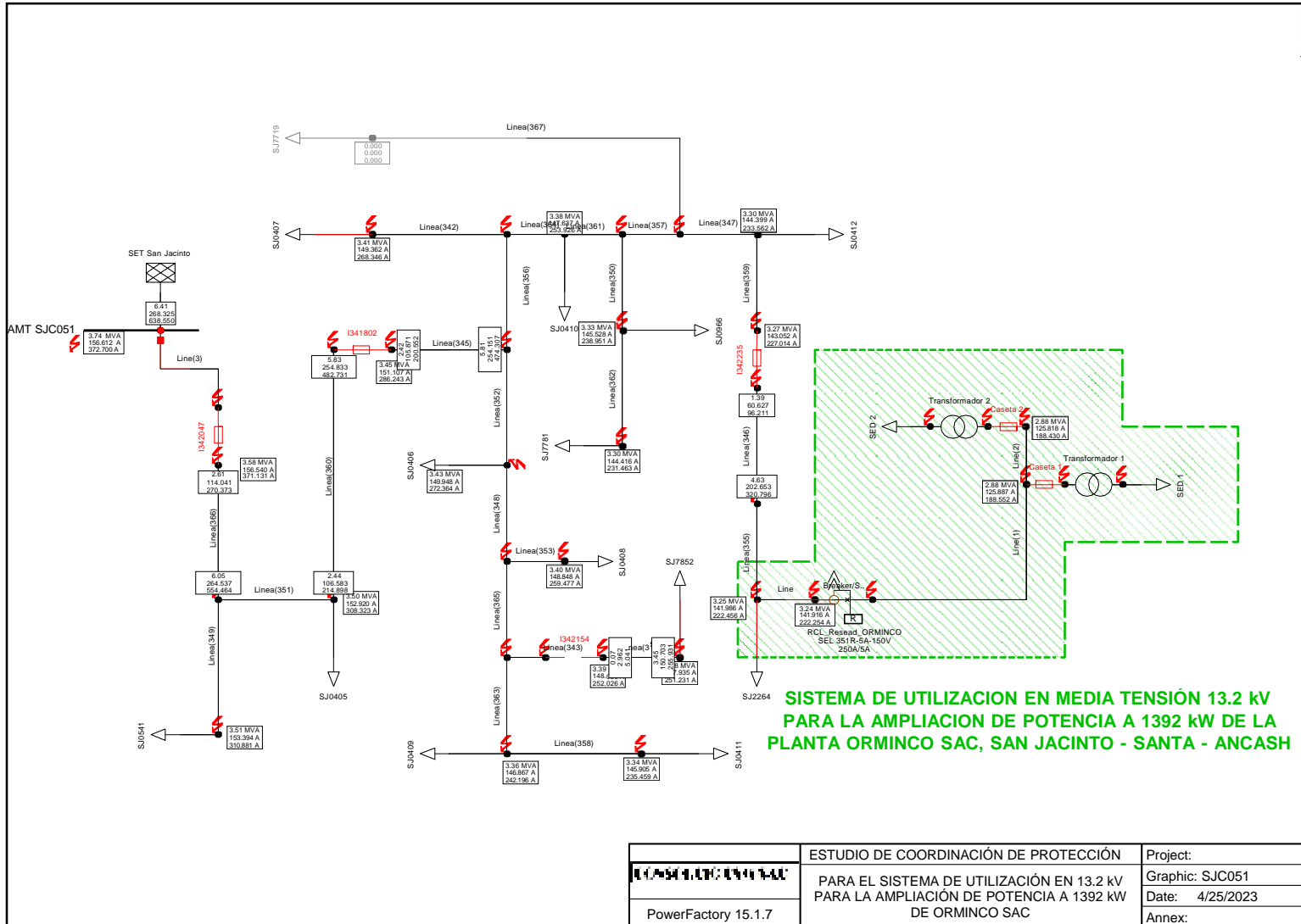
### Anexo C: Perfil de tensión del alimentador SJC052



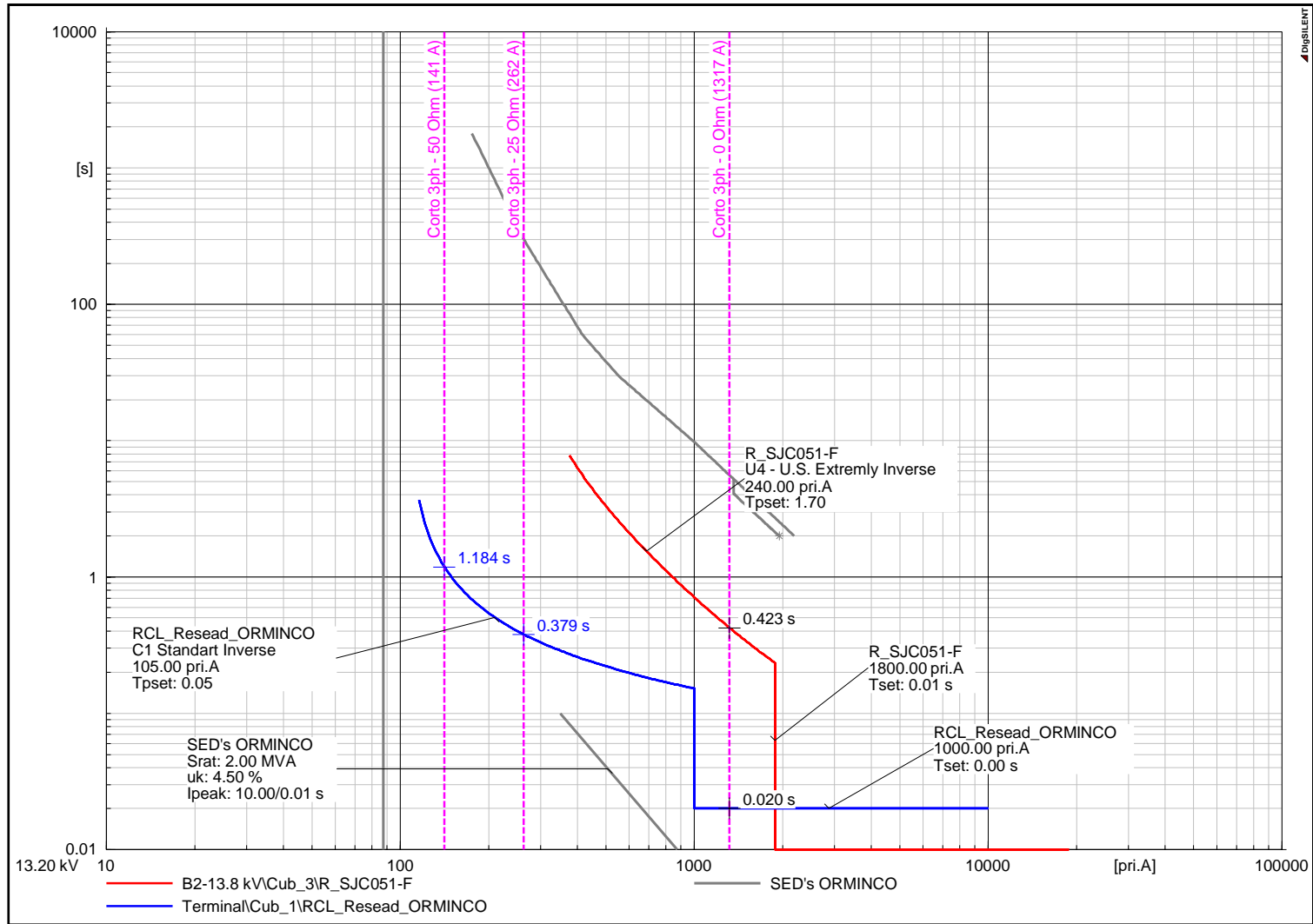
## Anexo D: Simulación de corto circuito trifásico (resistencia 0, 25 y 50 Ohm)



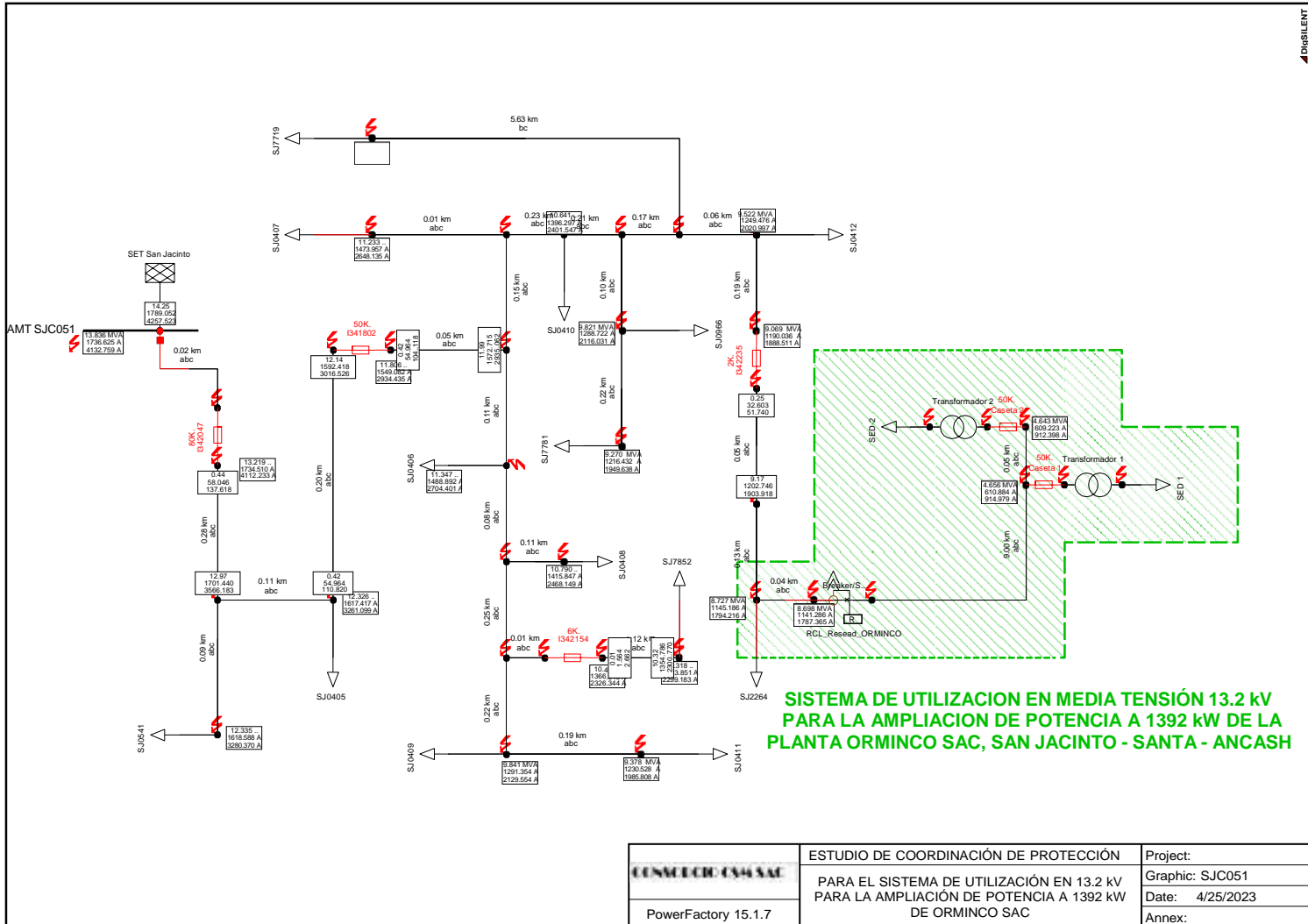


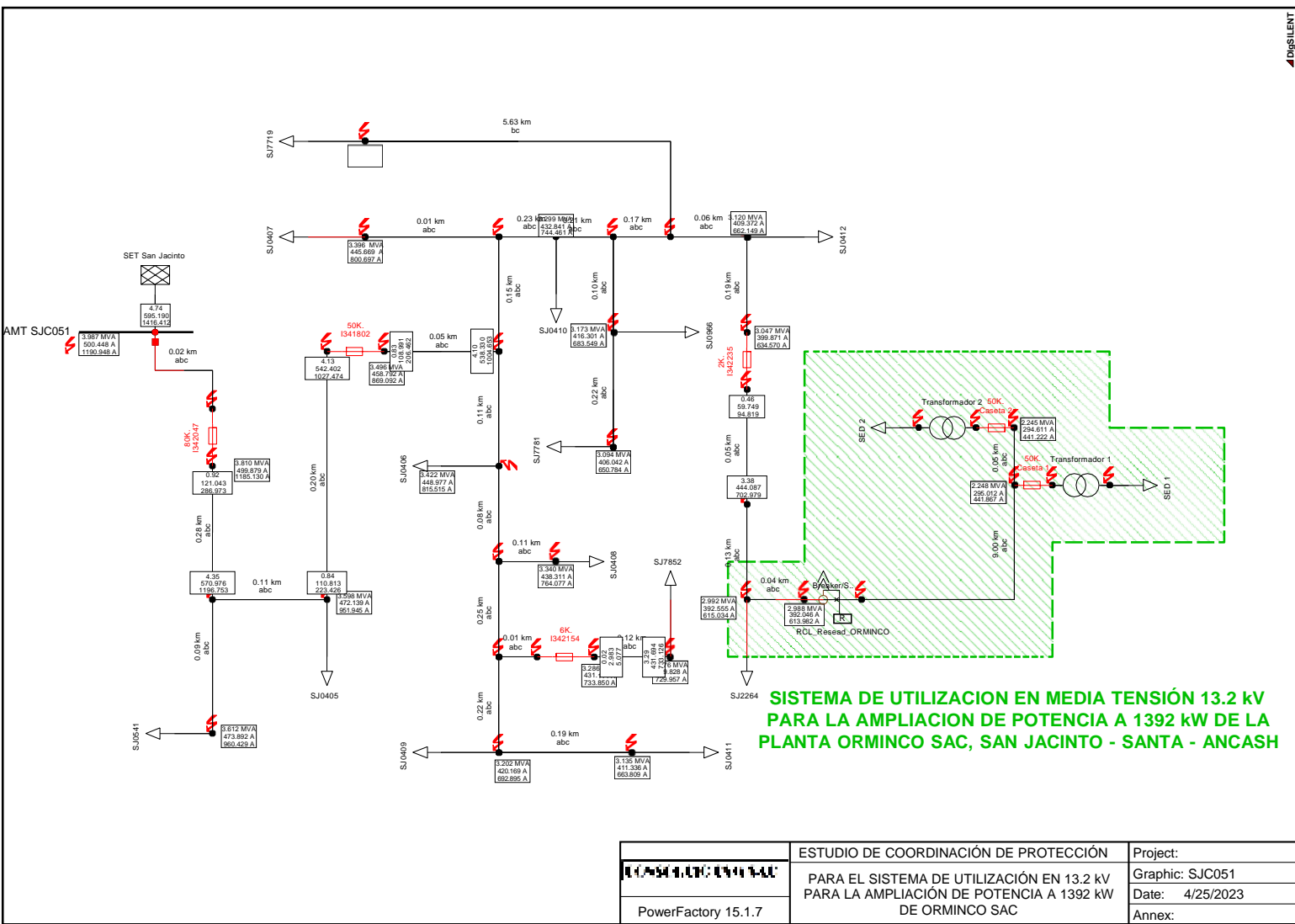


### Anexo E: Coordinación de protecciones para fallas trifásicas



## Anexo F: Simulación de corto circuito trifásico (resistencia 0, 25, 50 y 100 Ohm)

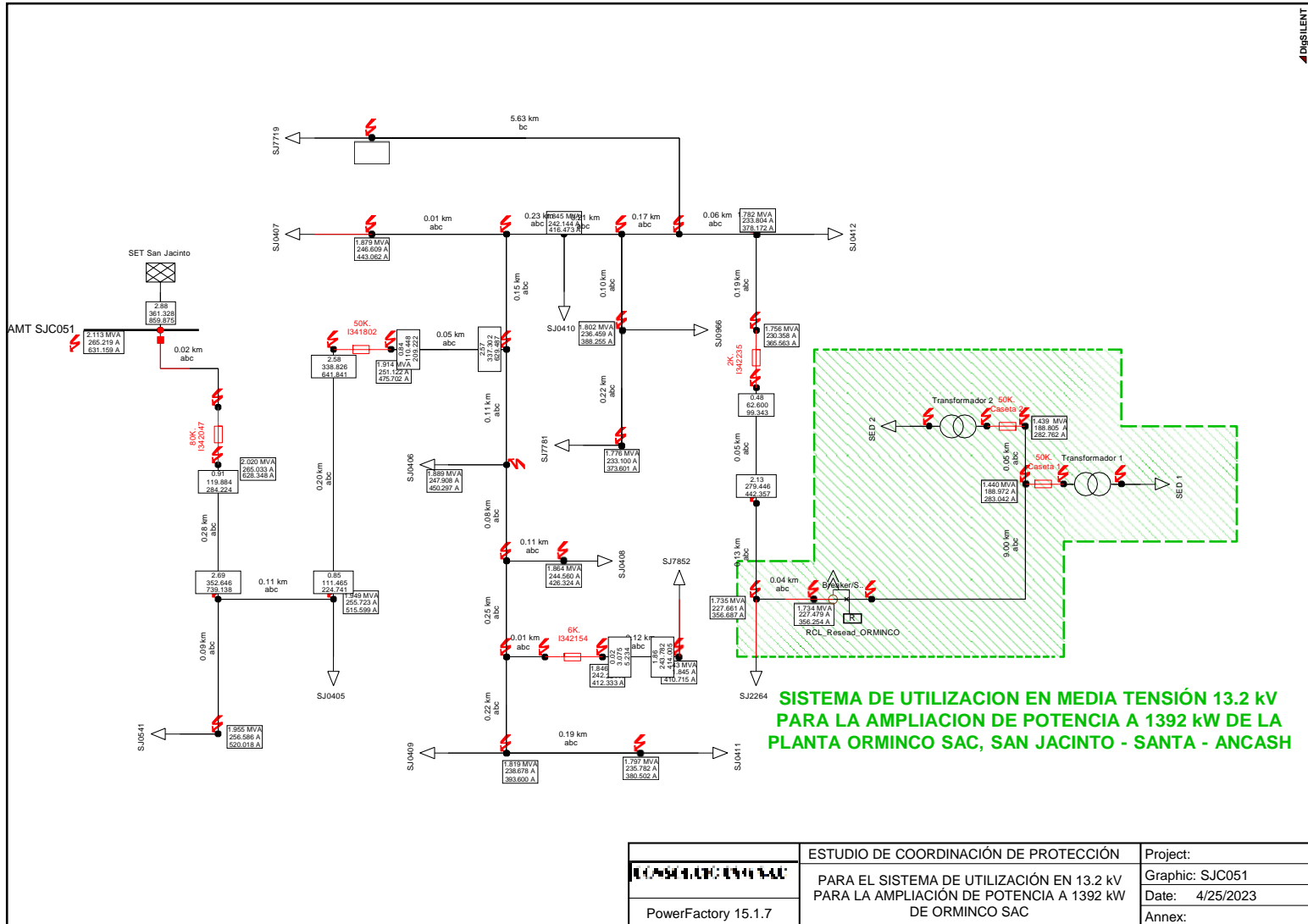





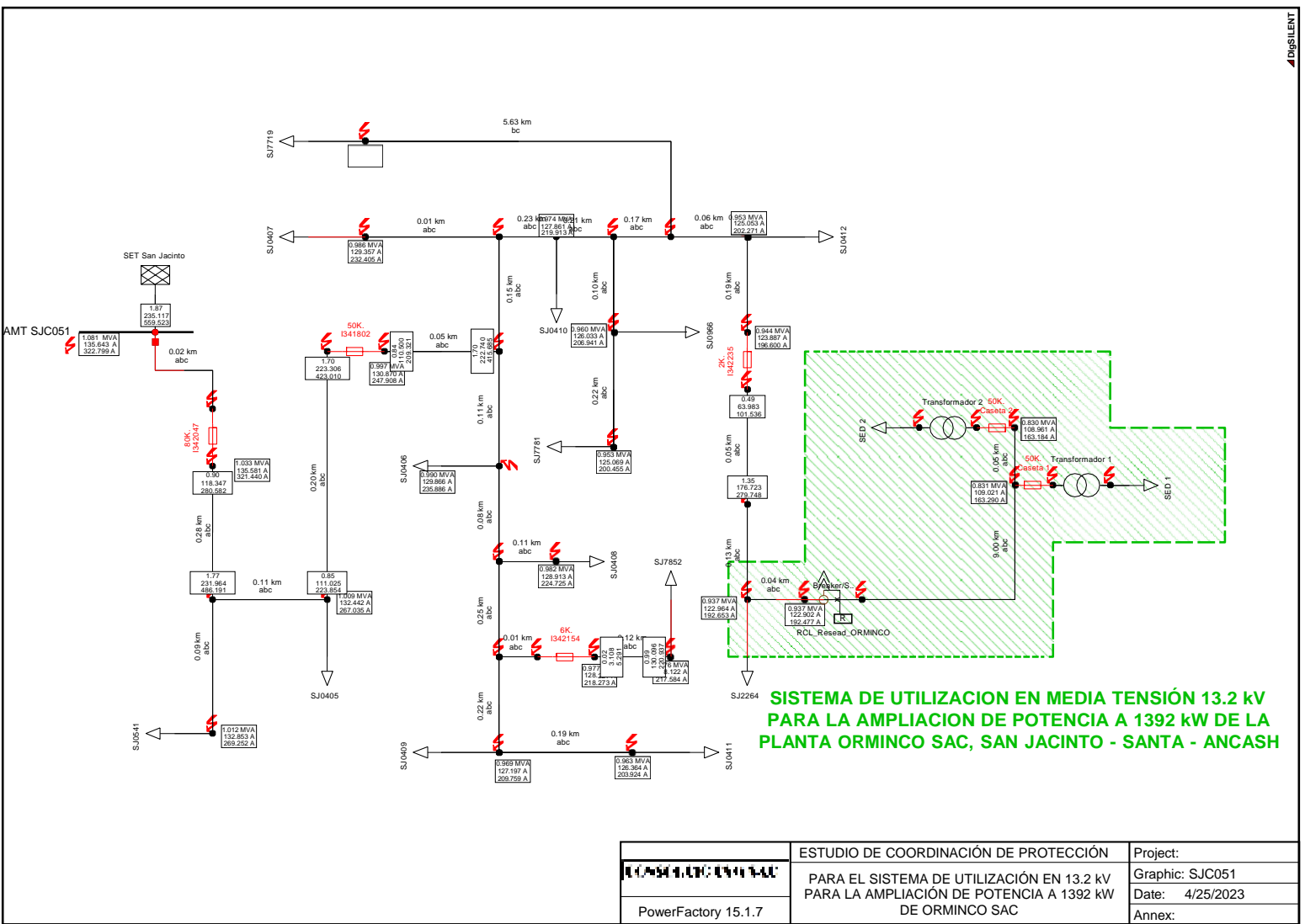
**SISTEMA DE UTILIZACION EN MEDIA TENSION 13.2 kV PARA LA AMPLIACION DE POTENCIA A 1392 kW DE LA PLANTA ORMINCO SAC, SAN JACINTO - SANTA - ANCASH**


|                     |   |                 |
|---------------------|---|-----------------|
|                     | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:        |
|                     | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051 |
| PowerFactory 15.1.7 |   | Date: 4/25/2023 |
|                     |   | Annex:          |



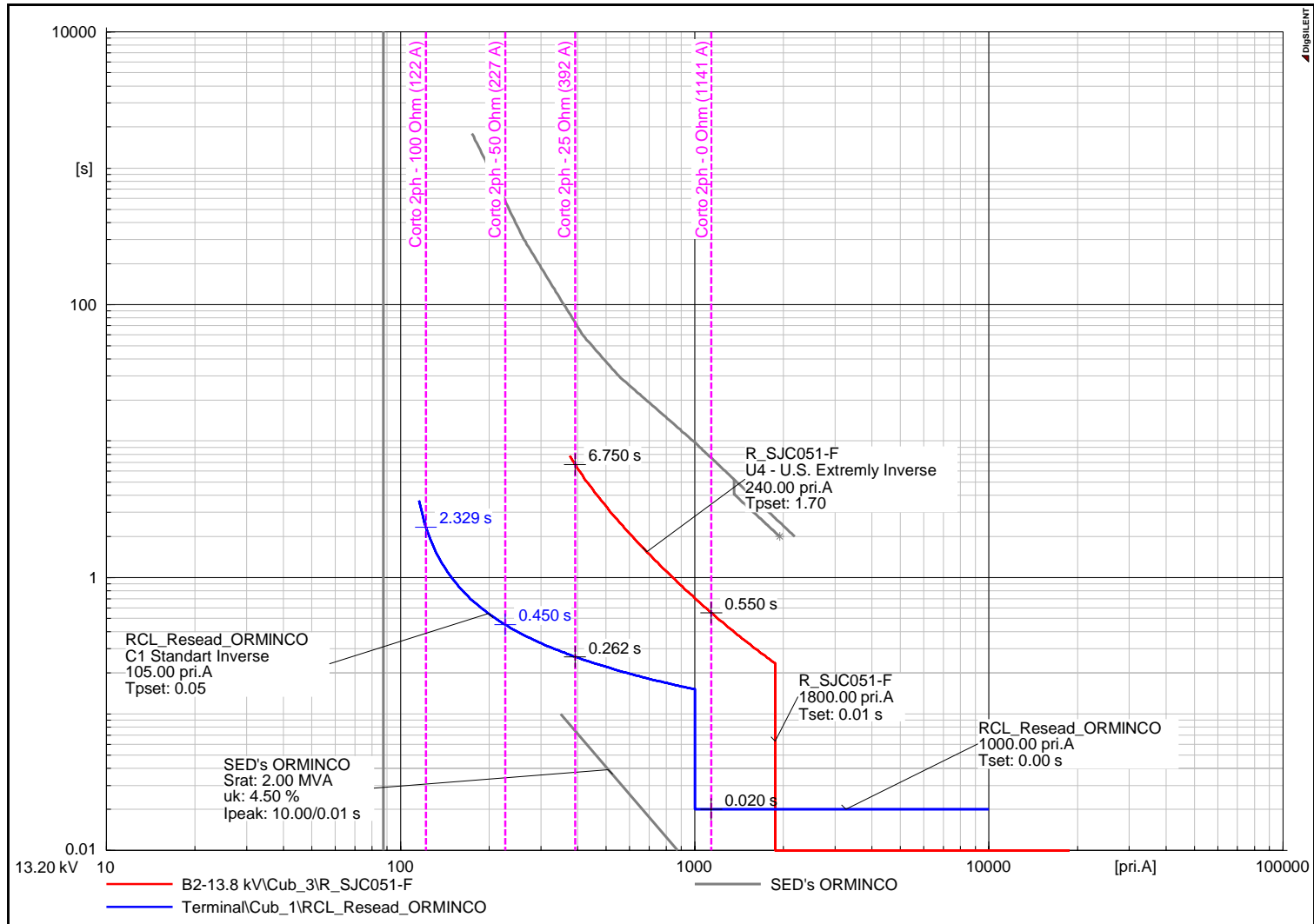


|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>PowerFactory 15.1.7 | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:                                     |
|  | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV<br>PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW<br>DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051<br>Date: 4/25/2023<br>Annex: |

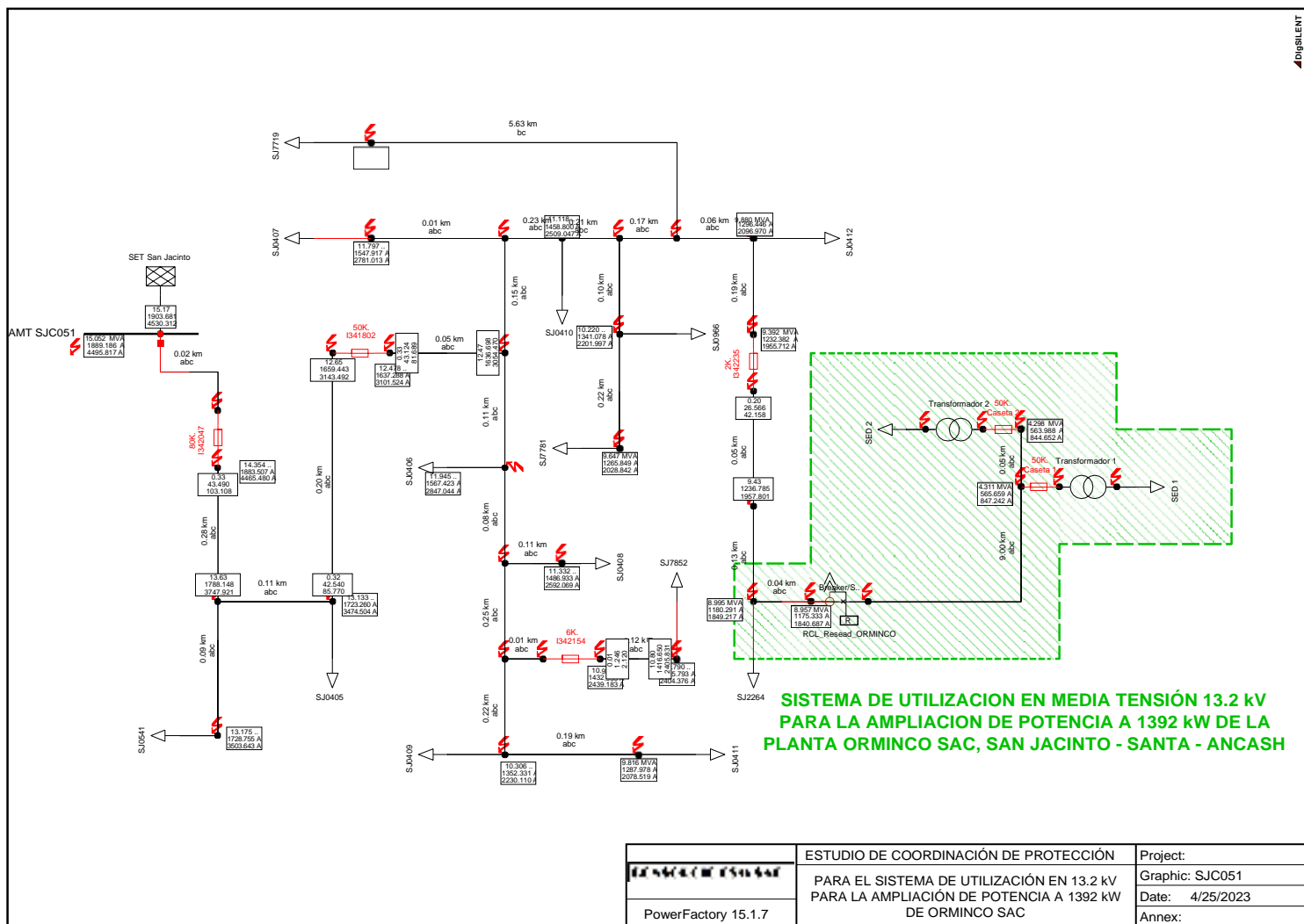


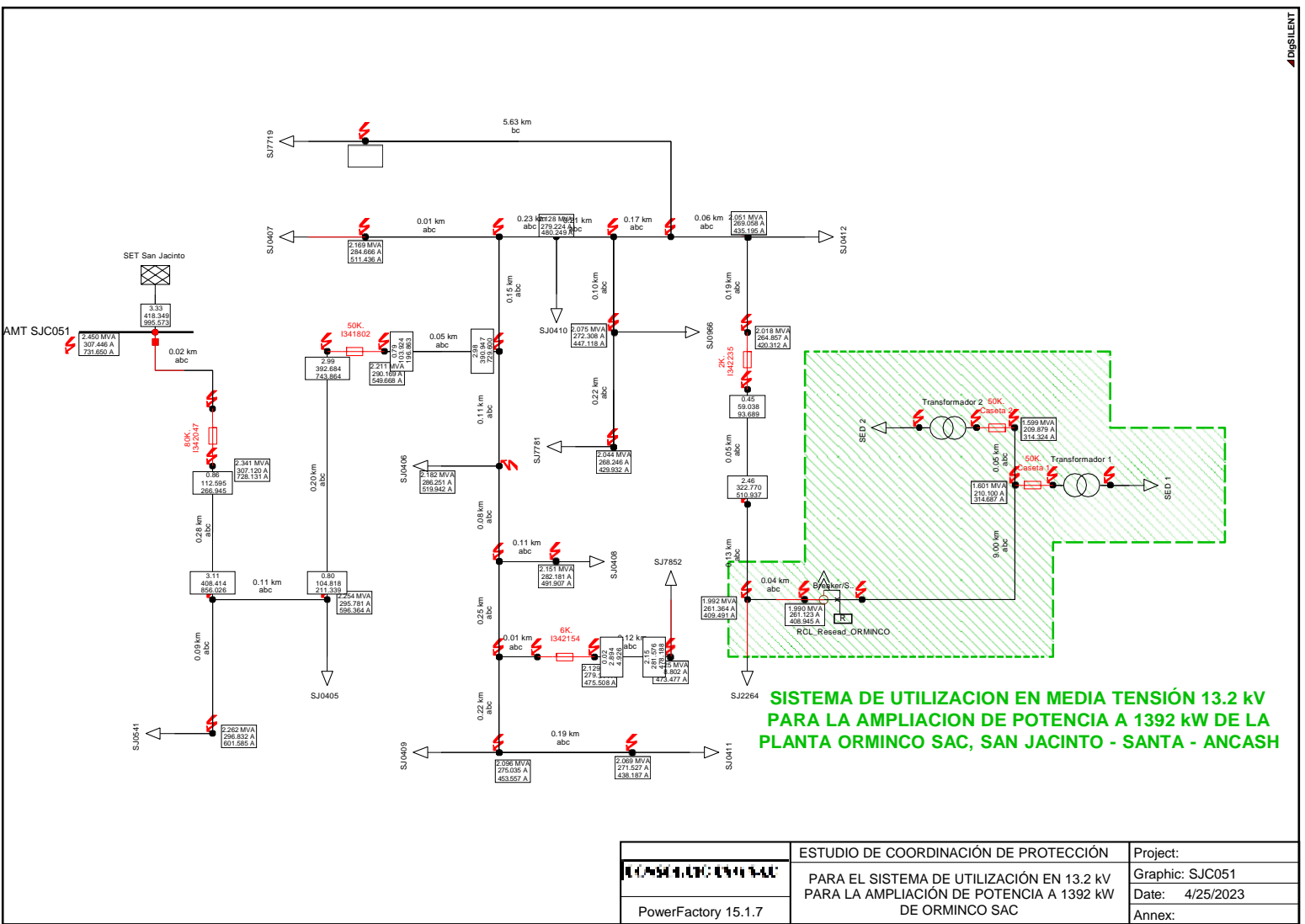
|  |   |  |
|--|---|--|
| <br>PowerFactory 15.1.7 | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:                                     |
|  | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV<br>PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW<br>DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051<br>Date: 4/25/2023<br>Annex: |

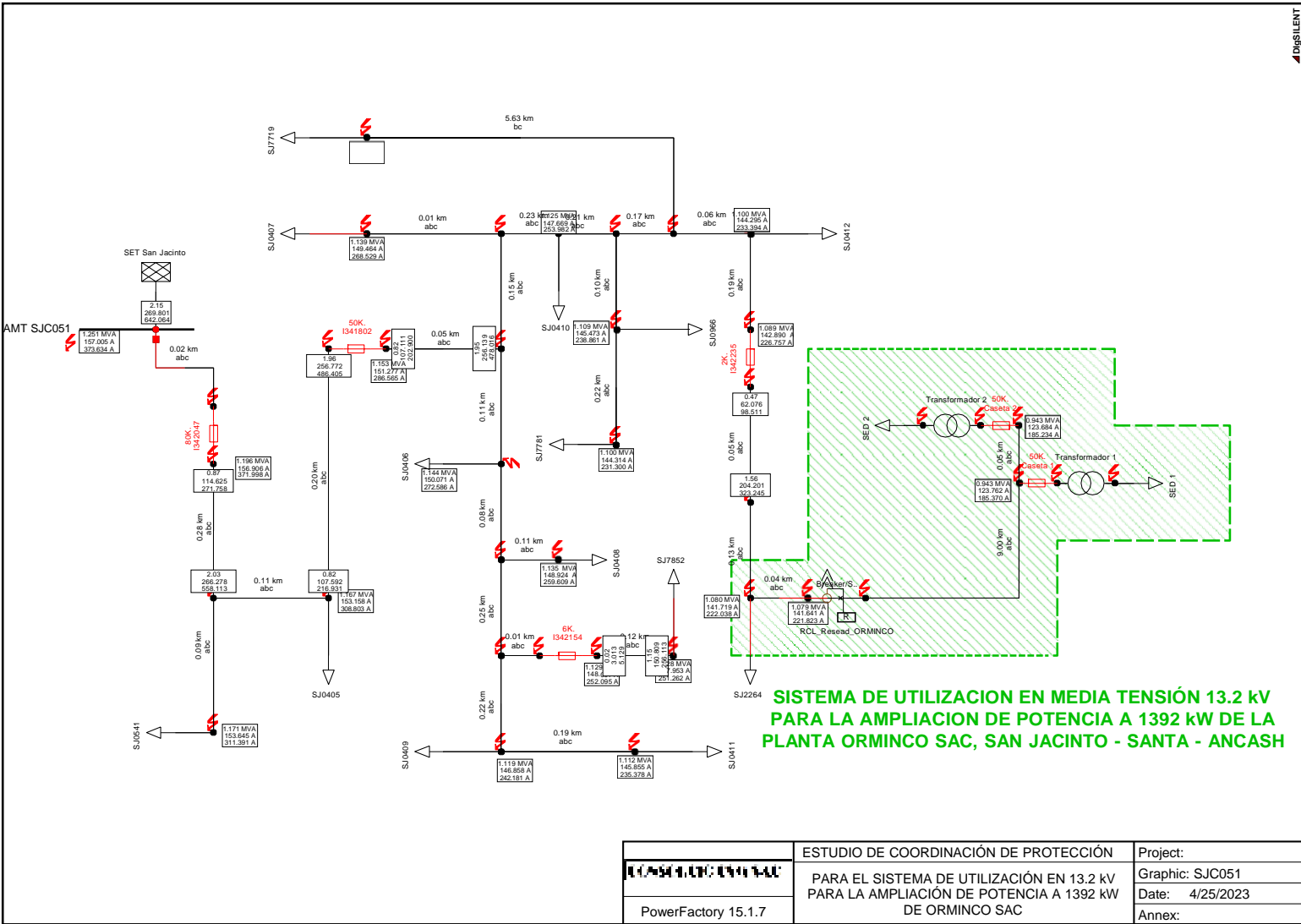
### Anexo G: Coordinación de protecciones para fallas bifásicas

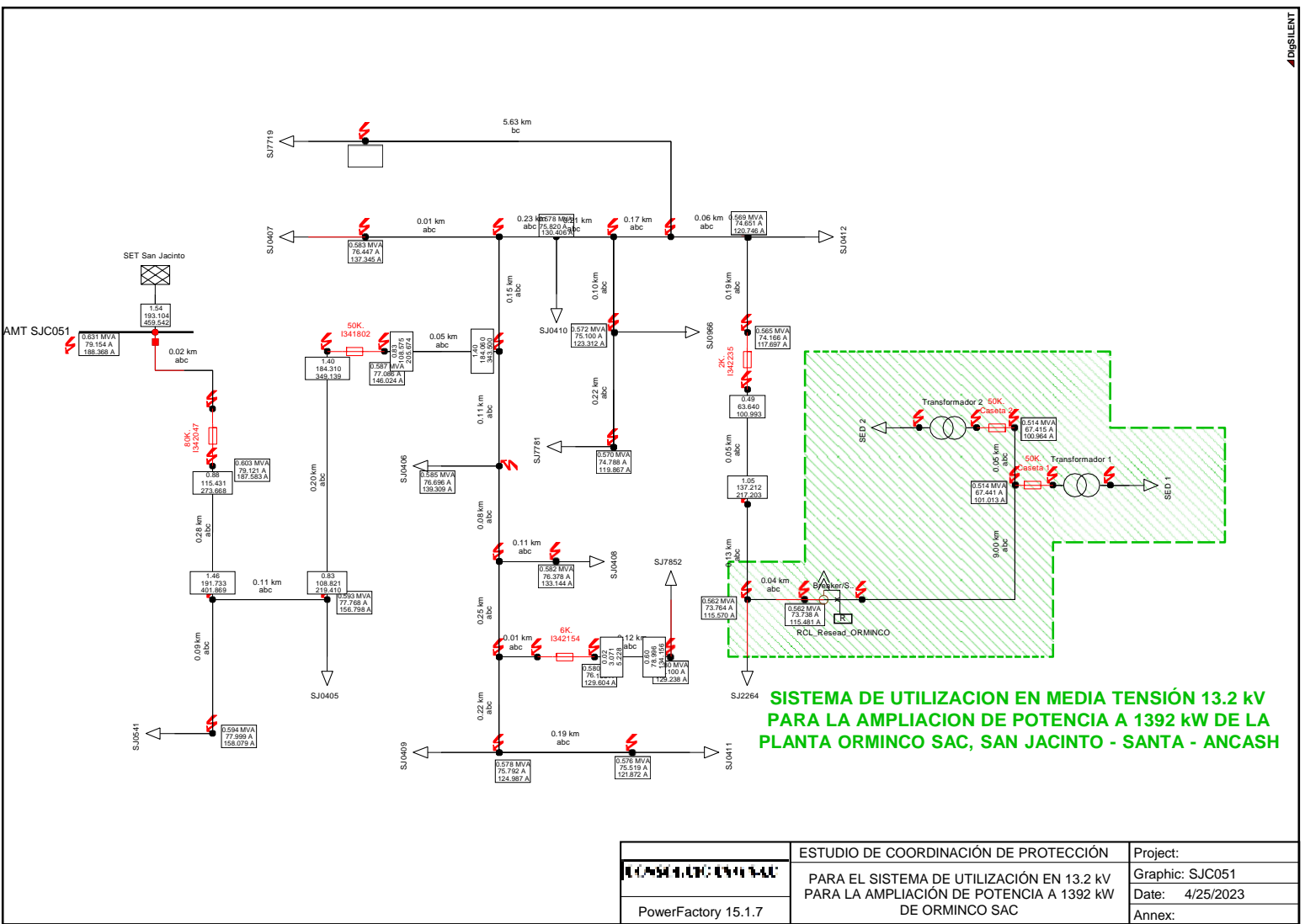


## Anexo H: Simulación de corto circuito monofásico (resistencia 0, 25, 50, 100, 200, 300 y 400 Ohm)



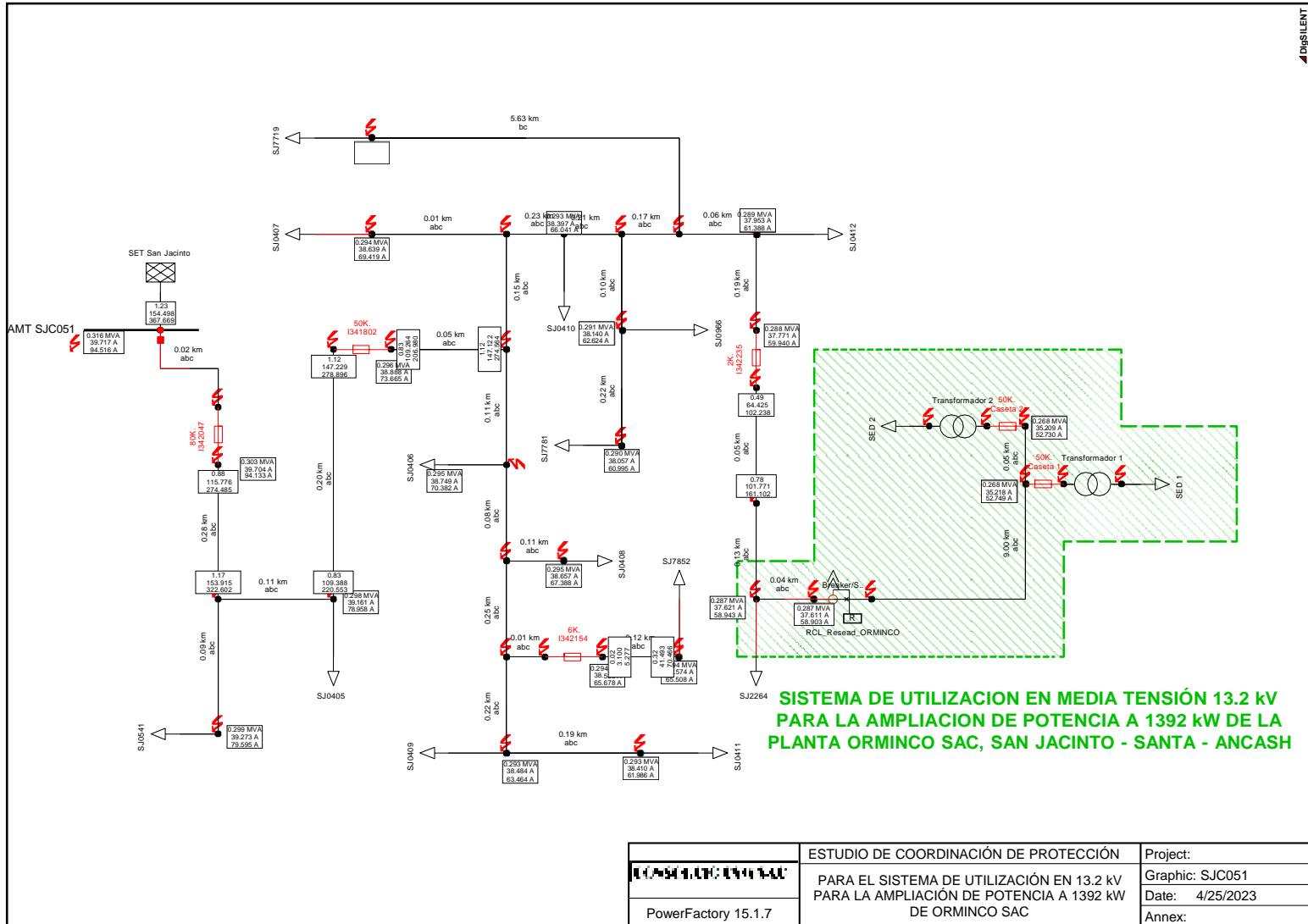






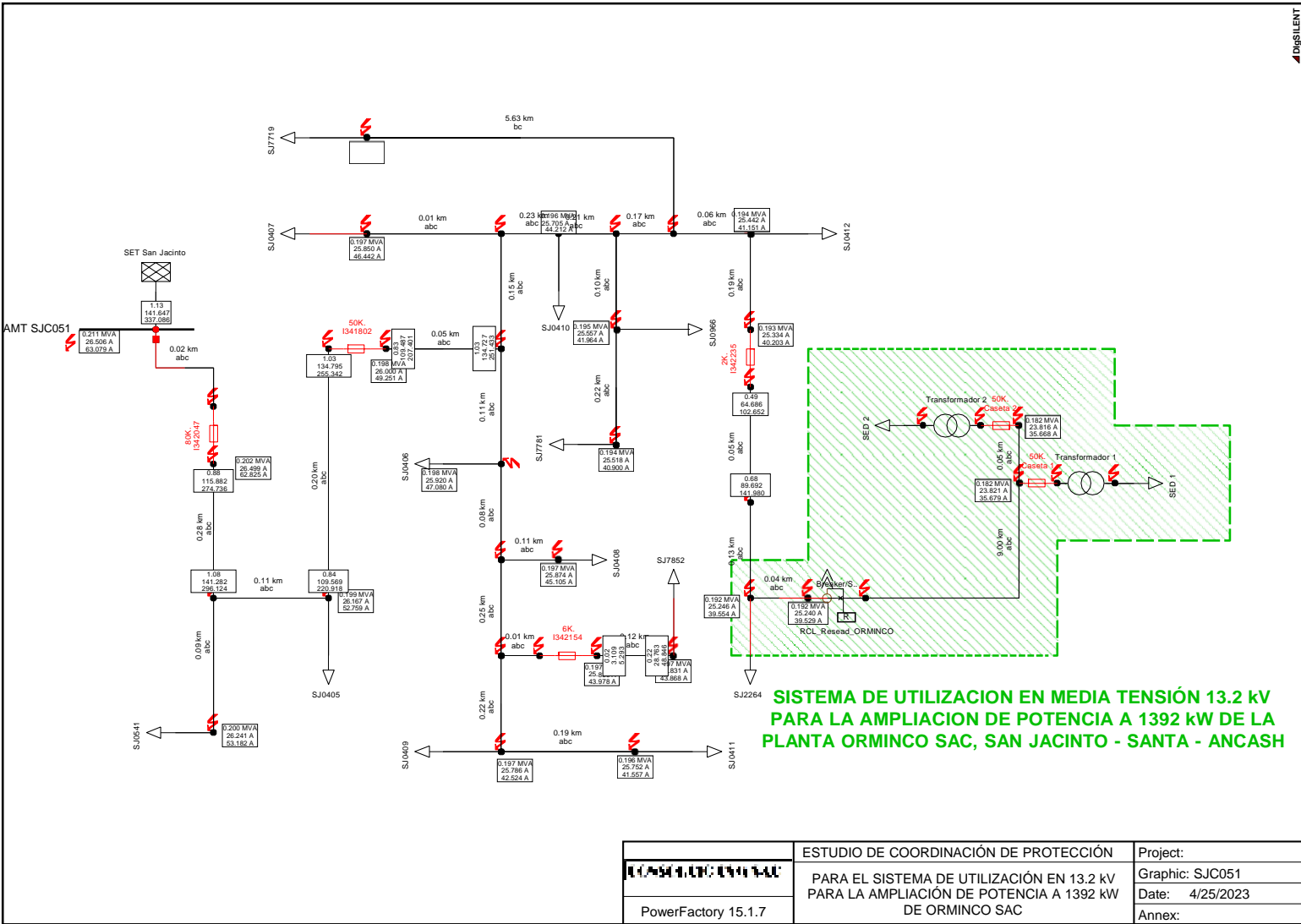
**SISTEMA DE UTILIZACION EN MEDIA TENSION 13.2 kV PARA LA AMPLIACION DE POTENCIA A 1392 kW DE LA PLANTA ORMINCO SAC, SAN JACINTO - SANTA - ANCASH**

|                     |   |                 |
|---------------------|---|-----------------|
|                     | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:        |
|                     | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051 |
| PowerFactory 15.1.7 |   | Date: 4/25/2023 |
|                     |   | Annex:          |

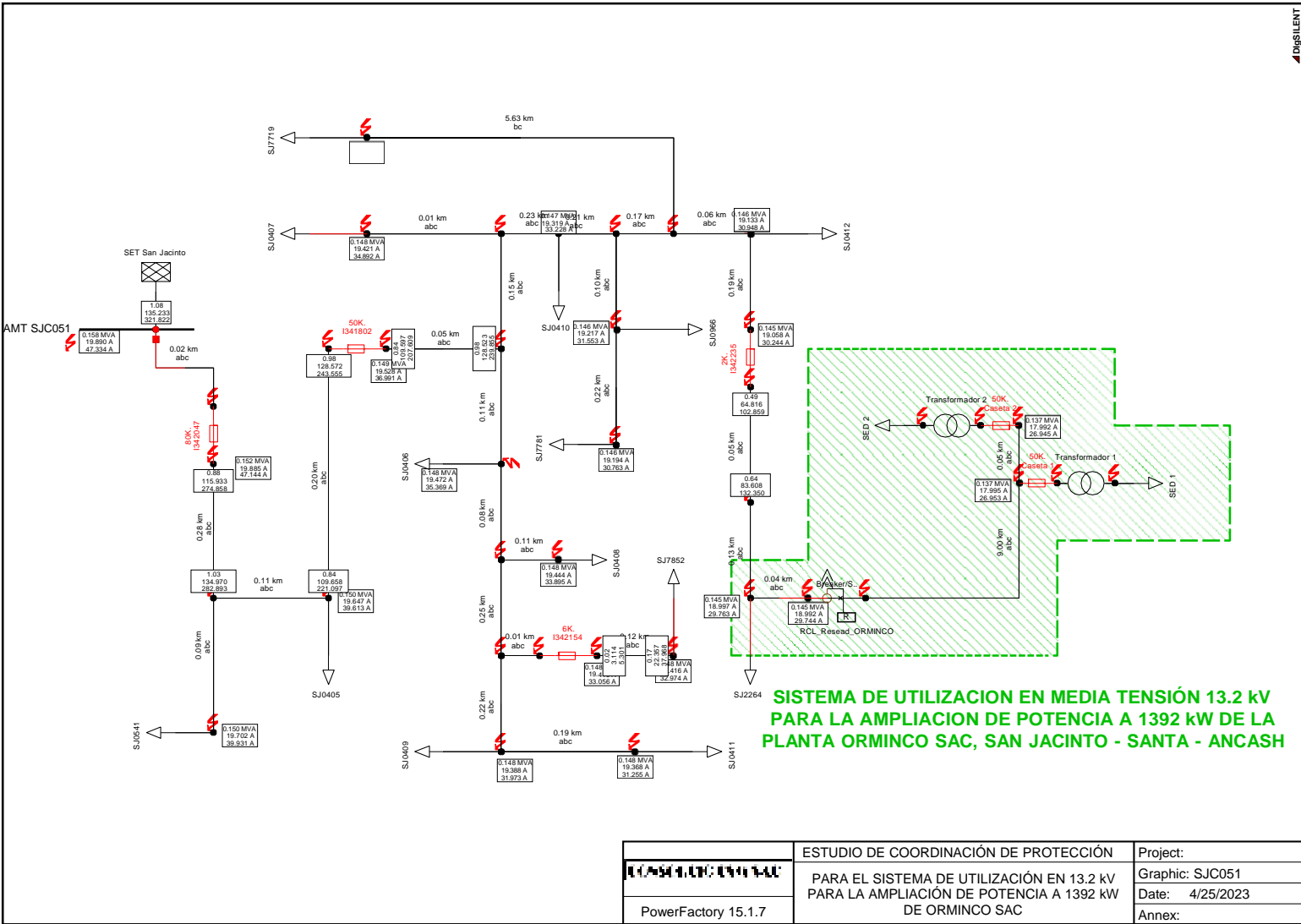


|                     |   |                 |
|---------------------|---|-----------------|
| PowerFactory 15.1.7 | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project: SJC051 |
|                     | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW DE ORMINCO SAC | Date: 4/25/2023 |
|                     |   | Annex:          |





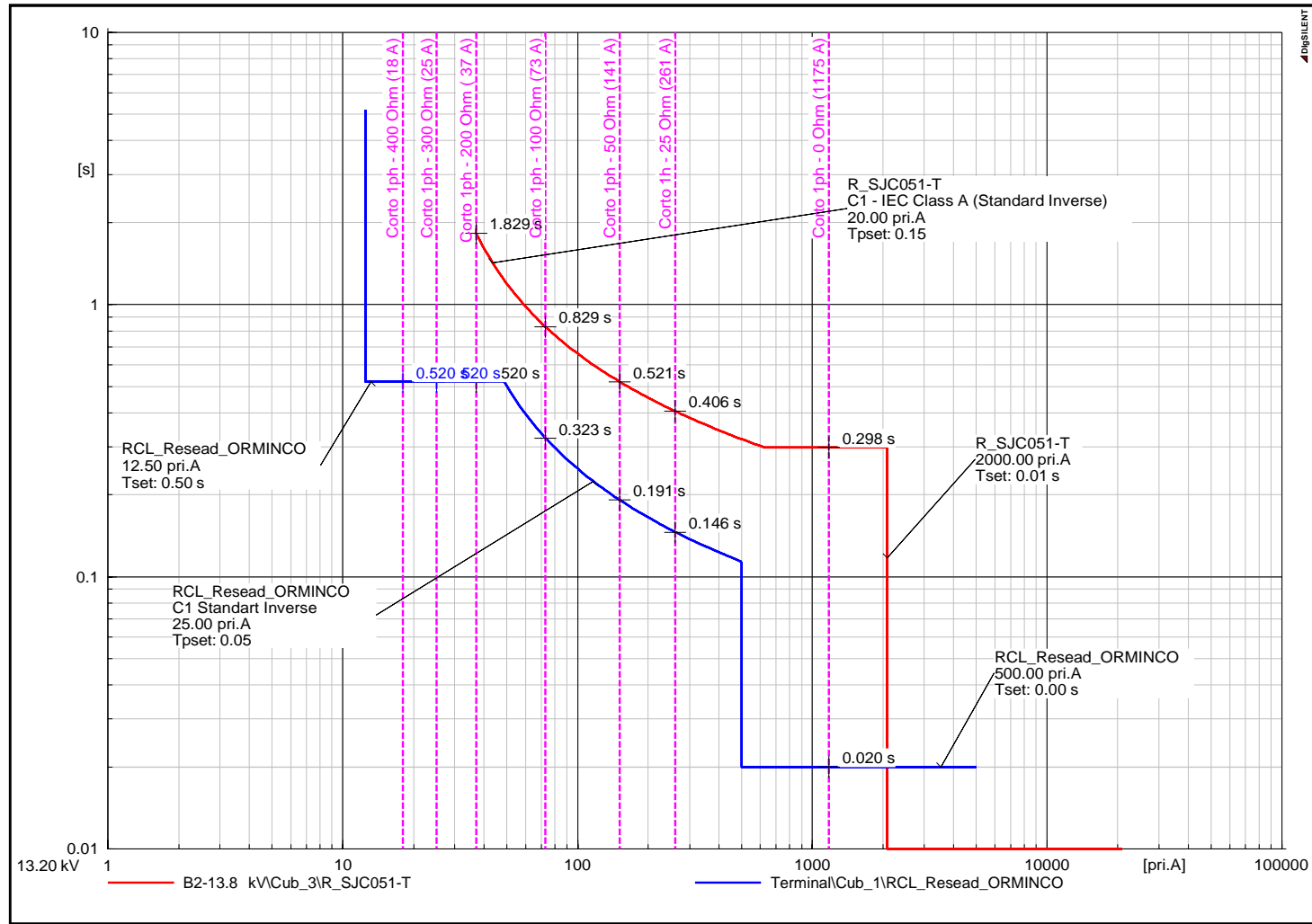
|  |   |  |
|--|---|--|
|  | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:                                     |
|  | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV<br>PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW<br>DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051<br>Date: 4/25/2023<br>Annex: |



**SISTEMA DE UTILIZACION EN MEDIA TENSION 13.2 kV PARA LA AMPLIACION DE POTENCIA A 1392 kW DE LA PLANTA ORMINCO SAC, SAN JACINTO - SANTA - ANCASH**

|                     |   |                                    |
|---------------------|---|------------------------------------|
|                     | ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN   | Project:                           |
|                     | PARA EL SISTEMA DE UTILIZACIÓN EN 13.2 kV<br>PARA LA AMPLIACIÓN DE POTENCIA A 1392 kW<br>DE ORMINCO SAC | Graphic: SJC051<br>Date: 4/25/2023 |
| PowerFactory 15.1.7 |   | Annex:                             |

### Anexo I: Coordinación de protecciones para fallas monofásicas





## DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, SERNA MORENO CELIA, Bachiller de la  
estudiante / docente de la

|                         |                            |           |            |   |
|-------------------------|----------------------------|-----------|------------|---|
| Facultad:               | Ciencias                   | Educación | Ingeniería | X |
| Escuela Profesional:    | Ingeniería en Energía      |           |            |   |
| Departamento Académico: | Energía, Física y Mecánica |           |            |   |
| Escuela de Pos Grado    | Maestría                   | Doctorado |            |   |

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un **trabajo inédito**, intitulado:

**"PARAMETRIZACIÓN DE RELÉS MULTIFUNCIÓN EN LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA PLANTA DE MINERALES ORMINCO SAC"**

|  |       |                     |     |
|--|-------|---------------------|-----|
| presentado en 80 folios, para la obtención del Grado académico | ( )   |                     |     |
| Título Profesional   | ( X ) | Investigación Anual | ( ) |

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Chimbote, Julio de 2023.

Firma:

Nombres y Apellidos: CELIA SERNA MORENO

DNI: 40441836



## ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, JULIO HIPÓLITO NÉSTOR ESCATE RAVELLO

asesor / presidente de la Unidad de Investigación de la

|           |          |  |           |  |            |   |
|-----------|----------|--|-----------|--|------------|---|
| Facultad: | Ciencias |  | Educación |  | Ingeniería | X |
|-----------|----------|--|-----------|--|------------|---|

|                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| Departamento Académico: | Energía, Física y Mecánica |
|-------------------------|----------------------------|

|                      |  |          |  |           |  |
|----------------------|--|----------|--|-----------|--|
| Escuela de Pos Grado |  | Maestría |  | Doctorado |  |
|----------------------|--|----------|--|-----------|--|

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:

**“PARAMETRIZACIÓN DE RELÉS MULTIFUNCIÓN EN LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA PLANTA DE MINERALES ORMINCO SAC”**

Del estudiante / docente: CELIA SERNA MORENO

De la escuela / departamento académico: Ingeniería en Energía

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del 13 % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.

Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, Julio del 2023.

Firma:

Nombres y Apellidos del Asesor/Presidente UIF: Julio Hipólito Néstor Escate Ravello.  
DNI: 32850228

# Parametrización de relés multifunción en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico para la planta de minerales Orminco sac

## INFORME DE ORIGINALIDAD

|                     |                     |               |                         |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| <b>13%</b>          | <b>13%</b>          | <b>1%</b>     | <b>3%</b>               |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

## FUENTES PRIMARIAS

|          |   |                |
|----------|---|----------------|
| <b>1</b> | <b>repositorio.uns.edu.pe</b><br>Fuente de Internet       | <b>8%</b>      |
| <b>2</b> | <b>dspace.ups.edu.ec</b><br>Fuente de Internet            | <b>1%</b>      |
| <b>3</b> | <b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b><br>Fuente de Internet | <b>1%</b>      |
| <b>4</b> | <b>dspace.ucuenca.edu.ec</b><br>Fuente de Internet        | <b>1%</b>      |
| <b>5</b> | <b>qdoc.tips</b><br>Fuente de Internet                    | <b>&lt; 1%</b> |
| <b>6</b> | <b>documents.mx</b><br>Fuente de Internet                 | <b>&lt; 1%</b> |
| <b>7</b> | <b>www.researchgate.net</b><br>Fuente de Internet         | <b>&lt; 1%</b> |
| <b>8</b> | <b>hdl.handle.net</b><br>Fuente de Internet               | <b>&lt; 1%</b> |

|    |  |       |
|----|--|-------|
| 9  | <a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet               | < 1 % |
| 10 | <a href="http://www.dspace.espol.edu.ec">www.dspace.espol.edu.ec</a><br>Fuente de Internet               | < 1 % |
| 11 | Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador<br>Trabajo del estudiante                     | < 1 % |
| 12 | <a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | < 1 % |
| 13 | <a href="http://repositorio.unsaac.edu.pe">repositorio.unsaac.edu.pe</a><br>Fuente de Internet           | < 1 % |
| 14 | <a href="http://wandelnetwerknordholland.nl">wandelnetwerknordholland.nl</a><br>Fuente de Internet       | < 1 % |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo