

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Mejoramiento de las protecciones para garantizar la
continuidad del servicio eléctrico en media tensión del
sistema eléctrico Machacuay**

Jhoseff Briams Valladolid Paitan

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme esta maravillosa oportunidad de poder alcanzar este paso tan importante en mi vida y cumplir una etapa más en mi vida profesional.

A mis padres, mis hermanos y mi novia, mi gran amor, por dedicarme su tiempo y apoyo en todas las etapas de mi vida.

A mi asesor el Ing. Joel Colonio Llacua por el tiempo, la experiencia y los conocimientos brindados en la elaboración de la tesis a fin de culminar este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi consejero y maestro, por brindarme la seguridad, amor y motivación a cada instante de mi vida. A mis padres Flavio y Liliana, que son mi fortaleza para alcanzar mis metas y objetivos trazados a lo largo del camino de mi vida profesional. A mis hermanos que son la causa de recuerdos y vivencias de antaño. A mi novia, mi gran amor, quien me presionó y apoyó a alcanzar este objetivo trazado y jamás desistir en el proceso.

ÍNDICE

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	x
Abstract	xi
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Formulación del problema	13
1.2.1 Problema general	14
1.2.2 Problema específico	14
1.3 Objetivos.....	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificación e importancia	15
1.4.1 Justificación.....	15
1.4.2. Importancia.....	15
1.5. Hipótesis	15
1.5.1. Hipótesis general.....	16
1.5.2. Hipótesis específicas.....	16
1.6. Variables de la investigación	16
1.7. Operacionalización de las variables.....	16
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes del problema	17
2.1.1. Antecedentes internacionales	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.1.3. Antecedentes regionales.....	20

2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Protecciones eléctricas.....	22
2.2.2. Tipos de protecciones	23
2.2.3. Zonas de protección.....	24
2.2.4. Características de protección.....	24
2.2.5. Elementos de protección.....	26
2.2.6. Esquemas de protección.....	31
2.2.7. Calidad del servicio eléctrico	32
2.3. Definición de términos básicos	36
2.3.1. Protección	36
2.3.2. Protección principal.....	36
2.3.3. Protección de respaldo.....	36
2.3.4. NTCSE	36
2.3.5. PAC.....	36
CAPÍTULO III.....	37
METODOLOGÍA	37
3.1. Método y alcance de la investigación	37
3.2. Tipo de investigación	37
3.3. Diseño de la investigación	38
3.4. Población y muestra	38
3.4.1. Población.....	38
3.4.2. Muestra	38
3.5. Instrumento de recolección de datos	38
3.6. Técnicas de recolección de datos.....	38
CAPÍTULO IV	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Descripción del sistema eléctrico Machacuay	39
4.1.1. Descripción de equipos de protección actuales	41
4.1.2. Descripción de equipos de protección propuestos.....	41
4.2. Resultados y discusión	42
4.2.1. Resultados de flujo de carga	42
4.2.2. Resultados de cortocircuito	52
4.2.3. Resultados de protección actual	53
4.2.4. Resultados de propuesta protección.....	64

4.2.5. Ajustes de protección actual y propuesta	75
4.3. Prueba de hipótesis	76
4.4. Discusión de resultados	77
4.4.1. Tiempo de actuación de fases A4013	77
4.4.2. Tiempo de actuación de fases A4017	79
4.4.3. Tiempo de actuación de fases A4022	80
4.4.4. Tiempo de actuación de tierra A4013.....	82
4.4.5. Tiempo de actuación de tierra A4017.....	85
4.4.6. Tiempo de actuación de tierra A4022.....	86
Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	90
Lista de referencias	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Dispositivo de protección de respaldo de SET.....	41
Tabla 3. Dispositivos de protección del alimentador A4013.....	41
Tabla 4. Dispositivos de protección del alimentador A4017.....	41
Tabla 5. Dispositivos de protección del alimentador A4022.....	41
Tabla 6. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4013.....	41
Tabla 7. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4017.....	42
Tabla 8. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4022.....	42
Tabla 9. Cargabilidad de SED en alimentador A4013.....	44
Tabla 10. Cargabilidad de SED en alimentador A4017.....	46
Tabla 11. Cargabilidad de SED en alimentador A4022.....	47
Tabla 12. Cálculo de cortocircuito trifásica máxima medidos en los dispositivos de protección.....	52
Tabla 13. Cálculo de cortocircuito monofásico máximo, medidos en los dispositivos de protección.....	52
Tabla 14. Ajustes de protección de fases de dispositivos actuales y propuestos	75
Tabla 15. Ajustes de protección de tierra de dispositivos actuales y propuestos.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de protección (COES)	24
Figura 2. Traslape de protecciones	26
Figura 3. Tipos de detectores.....	27
Figura 4. Relé de protección de sobrecorriente	27
Figura 5. Curvas de operación del fusible (11).....	28
Figura 6. Fusible tipo K	28
Figura 7. Seccionador tipo cut out.....	29
Figura 8. Reconectador	30
Figura 9. Tiempos en un sistema de protección.....	31
Figura 10. Interruptores en media tensión.....	31
Figura 11. Numeración de los esquemas de protección según IEEE	32
Figura 12. Tolerancia para los armónicos	34
Figura 13. Diagrama unifilar SET Machacuay	39
Figura 14. Distribución de alimentadores A4013, A4017, A4022 de la SET Machacuay	40
Figura 15. Perfil de tensión del alimentador A4013.....	42
Figura 16. Perfil de tensión del alimentador A4017.....	43
Figura 17. Perfil de tensión del alimentador A4022.....	43
Figura 18. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 1) ...	53
Figura 19. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 2) ...	54
Figura 20. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 3) ...	55
Figura 21. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4017 (ramal 1) ...	56
Figura 22. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 2) ...	57
Figura 23. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4022 (ramal 1) ...	58
Figura 24. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 1) ...	59
Figura 25. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 2) ...	60
Figura 26. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 3) ...	61
Figura 27. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4017 (ramal 1) ...	62
Figura 28. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4022 (ramal 1) ...	63
Figura 29. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 1)	64
Figura 30. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 2)	65

Figura 31. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 3)	66
Figura 32. Coordinación de protección de fases A4017 (ramal 1)	67
Figura 33. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 2)	68
Figura 34. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 1)	69
Figura 35. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 2)	70
Figura 36. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 3)	71
Figura 37. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 1)	72
Figura 38. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 2)	73
Figura 39. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 3)	74
Figura 40. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 1)	77
Figura 41. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 2)	78
Figura 42. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 3)	78
Figura 43. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4017 (ramal 1)	79
Figura 44. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4022 (ramal 1)	80
Figura 45. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4022 (ramal 2)	81
Figura 46. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 1)	82
Figura 47. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 2)	83
Figura 48. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 3)	84
Figura 49. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4017 (ramal 1)	85
Figura 50. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4022 (ramal 1)	86
Figura 51. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4022 (ramal 3)	88

RESUMEN

La tesis tiene como objetivo principal mejorar las protecciones eléctricas para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

El método de investigación de la tesis es el analítico, que consistió en analizar el sistema eléctrico y examinar por separado los circuitos, el tipo de investigación es aplicada, porque tiene como objetivo resolver el problema enfocado en su aplicación, el diseño de la investigación de la tesis es preexperimental, la población y muestra de la investigación son las protecciones eléctricas de los circuitos alimentadores en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

En las tablas 14 y 15 se muestran la propuesta de implementación de los nuevos equipos de protección que permiten mejorar los tiempos de protección de fases y tierra en los alimentadores A4013, A4017 y A4022 minimizando las interrupciones de servicio eléctrico y garantizando la continuidad de servicio eléctrico.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to improve electrical protections to guarantee the continuity of the medium voltage electrical service of the Machacuay electrical system.

The research method of the thesis is the analytical one that consisted of analyzing the electrical system and examining the circuits separately, the type of research is applied because it aims to solve the problem by focusing on its application, the research design of the Thesis is pre-experimental, the population and research sample the electrical protections of the medium voltage feeder circuits of the Machacuay electrical system.

Table 14 and 15 shows the proposal for the implementation of the new protection equipment that allows to improve the protection times of phases and earth in the feeders A4013, A4017 and A4022 minimizing the interruptions of electrical service and guaranteeing the continuity of service electric.

INTRODUCCIÓN

La tesis titulada “*Mejoramiento de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay*”, tiene como tema de estudio las protecciones eléctricas.

Hoy en día las protecciones eléctricas son muy importantes en todo sistema, porque impiden la pérdida o daño de los aparatos eléctricos, así como la protección de las personas. La tesis tiene justificación práctica, metodológica y social. Tiene justificación práctica porque los resultados permiten mejorar los tiempos de actuación del sistema de protección, ya que esto beneficia al sistema eléctrico en estudio. Se justifica la tesis en lo metodológico porque se realizó una serie de procedimientos que ayudan a analizar el sistema de protecciones eléctricas. La justificación social se da por el mismo hecho que al mejorar la actuación de los sistemas de protección se mejora la calidad de suministro eléctrico para toda la población del área en estudio.

La tesis tiene como estructura principal cuatro capítulos. El primer capítulo presenta el planteamiento del problema de investigación, objetivos, y justificación. El segundo capítulo presenta el marco teórico, necesario para la realización de la tesis. El tercer capítulo se presenta el marco metodológico desarrollado en la tesis. En el cuarto capítulo se presenta los resultados de la tesis.

Finalmente, se encuentran las conclusiones, recomendaciones y lista de referencias.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

La empresa concesionaria de la región centro, con el fin de brindar un servicio de energía eléctrica de calidad a sus clientes, ejecutó una serie de obras de ampliación y reforzamiento de sus redes eléctricas. Estas ampliaciones y reforzamientos son ejecutadas en base a un expediente técnico y, cuando ingresan a servicio, presentan por lo general deficiencias, al no contar con un análisis adecuado en el sistema eléctrico de protección y, por lo general, presentan interrupciones de servicio eléctrico.

La causa principal de estas interrupciones es la inadecuada operación de estos equipos de protección, si esto sigue ocurriendo, existirán continuas interrupciones de servicio eléctrico que afecta directamente a la calidad de energía eléctrica.

Por lo tanto, en la tesis se plantea el objetivo de mejorar las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

1.2 Formulación del problema

De acuerdo al planteamiento del problema de investigación se formulan los siguientes problemas:

1.2.1 Problema general

¿Cómo mejorar las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay?

1.2.2 Problema específico

¿Cómo se coordinan los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay?

¿Cómo calcular las magnitudes de actuación de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay?

¿De qué manera se determina el funcionamiento de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay?

1.3 Objetivos

La tesis propone un objetivo general y dos específicos.

1.3.1 Objetivo general

Mejorar las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

1.3.2 Objetivos específicos

Coordinar los tiempos de actuación de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Calcular las magnitudes de actuación de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Determinar el funcionamiento de las protecciones para garantizar la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

1.4 Justificación e importancia

La tesis cuenta con justificación e importancia que adquiere por el desarrollo y resultado.

1.4.1 Justificación

1.4.1.1. Justificación práctica

La tesis tiene justificación práctica, porque los resultados permiten mejorar los tiempos de actuación del sistema de protección, ya que esto beneficia al sistema eléctrico en estudio.

1.4.1.2. Justificación metodológica

Se justifica la tesis en lo metodológico, porque se realiza una serie de procedimientos que ayudan a analizar el sistema de protecciones eléctricas.

1.4.1.3. Justificación social

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

1.4.2. Importancia

La tesis adquiere importancia, sobre todo en lo académico, porque permitió volcar todos los conocimientos referentes a los sistemas de protecciones adquiridos en la universidad. Además de ello, sirve como modelo de análisis de los sistemas de protección en los sistemas de distribución.

1.5. Hipótesis

La tesis propone tres hipótesis.

1.5.1. Hipótesis general

Al mejorar las protecciones se garantizará la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

1.5.2. Hipótesis específicas

Al coordinar los tiempos de actuación de las protecciones se garantizará la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Al calcular las magnitudes de actuación de las protecciones se garantizará la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Al determinar el funcionamiento de las protecciones se garantizará la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

1.6. Variables de la investigación

Variable independiente

Protecciones

Variable dependiente

Continuidad del servicio eléctrico

1.7. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente Protecciones	Coordinación de los tiempos actuación de las protecciones.	Tiempo de actuación de las protecciones
	Cálculo de las magnitudes de actuación de las protecciones	La magnitud de actuación de las protecciones
	Funcionamiento para las diferentes condiciones de fallas	Selectividad del equipo
Variable dependiente Continuidad del servicio eléctrico	Funcionamiento del sistema eléctrico ante los eventos de falla	Correcto funcionamiento de las protecciones

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

La tesis presenta antecedentes internacionales, nacionales y regionales.

2.1.1. Antecedentes internacionales

De la tesis “*Selección y coordinación de las protecciones eléctricas de los alimentadores primarios Norte, Sur y Juan de Salinas de la subestación San Cayetano*” (1). Se presenta el siguiente resumen:

[...] Ante la necesidad de optimización de los circuitos eléctricos de distribución, en la subestación San Cayetano de la ciudad de Loja, para disminuir al mínimo el tiempo de interrupción al usuario, se acometió un estudio minucioso de los circuitos Norte, Sur y Juan de Salinas, donde, mediante la correcta selección y coordinación adecuada de las protecciones se analizan las diferentes variantes que permitan resolver el problema y así aumentar la continuidad y brindar un mejor servicio eléctrico. Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se realizó el cálculo de las corrientes de cortocircuito con el software *Spard mp Distribution* y se llevó a cabo la comprobación de las capacidades de interrupción de los equipos de protección, así como su coordinación (1).

De la tesis “*Estudio para la coordinación de protecciones mediante selectividad lógica para los centros de fuerza de la central Molino, presa Daniel Palacios y central Mazar de la Empresa Celec Hidropaute*” (2). Se presenta en su resumen:

[...] “El proyecto de tesis presente establece la coordinación de protecciones aplicando selectividad lógica para los centros de fuerza de la central Molino, presa Daniel Palacios y central Mazar, específicamente para los servicios auxiliares que ayudan a cumplir actividades de control de generación de la casa de máquinas, por mencionar algunos donde se verifica la importancia de la continuidad del suministro de energía eléctrica para su desarrollo; por este motivo, con la selectividad lógica se trata de garantizar el despeje de cualquier falla en el menor tiempo posible y que actúe el relé que le corresponde, los equipos son digitales, por esto, se aprovechan al máximo los tiempo mínimos que facilita para el despeje y su comunicación a partir del protocolo IEC 61850 especializado para control de protecciones en subestaciones, medición de parámetros; el medio que permite la comunicación es la fibra óptica multimodo para un sistema en anillo con Ethernet 100 base T que permite transmitir datos en mínimo tiempo, luego de crear el diagrama de principio lógico se deben parametrizar y configurar los equipos de acuerdo a la necesidad de su actuación y comunicados por mensajes GOOSE que contienen la orden de funcionamiento y de la espera lógica para que los relés empiecen a operar si se presenta alguna falla” (2).

De la tesis “*Óptima coordinación de protecciones en alimentadores con generación distribuida para maximizar la confiabilidad mediante MINLP*” (3). se presenta el resumen:

“El artículo hace referencia a la óptima coordinación de protecciones en sistemas de distribución, dado que en dichos sistemas se presenta un aumento de las corrientes de cortocircuito teniendo como resultado que las protecciones pierdan velocidad de disparo y selectividad. Se simulará un flujo de potencia en el sistema eléctrico de 33 nodos de la IEEE, para determinar las variables eléctricas asociadas a la calidad del producto. La metodología considera

también aplicar un modelo de programación no lineal entera mixta (MINLP) para la solución de flujos de potencia, donde se incluirán variables binarias que decidan la implementación de generación distribuida (GD) en los nodos del sistema eléctrico. La misma que se resolverá mediante el optimizador GAMS, considerando como función objetivo la minimización de pérdidas activas y así incrementar la confiabilidad a la implementación de GD. Como resultado de dicha optimización se llegará a realizar la coordinación de protecciones para mejorar el sistema eléctrico considerando la GD” (3).

2.1.2. Antecedentes nacionales

De la tesis *“Estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador de media tensión TSU-016 de Hidrandina S. A., La Libertad, 2015”* (4). Se presenta el resumen:

[...] Realizar el estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador de media tensión TSU-016 de Hidrandina S. A., La Libertad 2015. El diseño es cuasiexperimental, pues analiza comparativamente el comportamiento del alimentador en media tensión, antes y después del estudio de coordinación de protecciones. Los datos del sistema eléctrico de distribución TSU-016, como son: la potencia de cortocircuito del operador de red, los parámetros eléctricos de los conductores, las demandas máximas de cada cliente de la radial y los ajustes de los equipos de protección fueron obtenidos de Hidrandina el 22 de junio del 2015 (4).

De la tesis *“Protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 kV, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica del distrito de Ichuña – provincia General Sánchez Cerro – región Moquegua, año 2016”* (5). Se presenta el resumen siguiente:

[...] “Tiene como objetivo optimizar la protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 kV, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica del distrito de Ichuña – provincia General Sánchez Cerro – región Moquegua, año 2016; que a la fecha viene siendo afectado debido a las interrupciones por descargas atmosféricas ocasionadas por

diversos factores como la densidad de impactos de rayo, la altura de la línea aérea del cable de guarda y las diferentes distancias mínimas que caracterizan a una línea de media tensión. Al respecto, se realizó la evaluación de los componentes como: la coordinación mediante fusibles en la troncal para una mayor protección y coordinación usando herramientas adicionales como el uso de un software, habiendo utilizado el programa Neplan V.5.5.5, para la simulación correspondiente en la troncal de la línea de media tensión Ubinas – Ichuña” (5).

De la tesis *“Estudio de coordinación de la protección del sistema eléctrico Cerro Verde”* (6). Se presenta el resumen siguiente:

“La tesis está aplicada a las instalaciones de la unidad de producción Cerro Verde perteneciente a la empresa minera del Perú (Minero Perú). Desde el inicio de operación comercial de las instalaciones de minado y planta industrial de electrodeposición de la unidad de producción Cerro Verde, se han venido registrando un número relativamente alto de fallas de origen eléctrico, las que han causado, entre otros problemas, los siguientes: daño y pérdida de equipos, desenergización innecesaria de parte o total de las instalaciones eléctricas y paradas con la consiguiente pérdida de producción. Como consecuencia de ajustes o equipamientos inapropiados en los elementos de protección, muchos de los cuales determinaron una cantidad relativamente alta de salidas del servicio de las redes de distribución o instalaciones de generación y algunos ocasionaron destrucción de equipos; surgió entonces la necesidad de efectuar un estudio de coordinación de protección de las instalaciones eléctricas de la unidad” (6).

2.1.3. Antecedentes regionales

De la tesis *“Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro”* (7). Se presenta el resumen siguiente:

[...] “La tesis evalúa el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a

2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro durante el año 2018. La investigación aplicó el método analítico y un diseño no experimental transversal explicativo dado que se acopió información correspondiente a la protección del sistema eléctrico y la calidad del producto del servicio eléctrico. La muestra estuvo compuesta por el alimentador A4502 correspondiente a la subestación de distribución del sistema eléctrico del valle de Mantaro, cuya información fue obtenida en base a los 12 meses del año 2018. Para el desarrollo de la investigación se empleó la prueba Chi Cuadrado para verificar las hipótesis de estudio. Se concluye que la protección del sistema eléctrico de distribución afectó positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro, toda vez que se aceptó la hipótesis de investigación. Asimismo, la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad. Además, se propone el uso de tecnología de relés digitales multifuncionales para mejorar la calidad del servicio eléctrico” (7).

En la tesis *“Optimización de la protección eléctrica para minimizar las interrupciones en el tramo del eje Matahuasi - Quebrada Honda”* (8). Se presenta el resumen siguiente:

[...] “La tesis tiene como objetivo optimizar las protecciones eléctricas para minimizar las interrupciones del servicio eléctrico de los alimentadores A4502 y A4504 en el tramo del eje Matahuasi - Quebrada Honda. En la investigación se aplicó el método analítico y un diseño preexperimental, ya que se recabó la información acorde a la protección del sistema eléctrico y su calidad. La muestra es tomada del sistema eléctrico en los alimentadores A4502 y A4504 en el tramo del eje Matahuasi - Quebrada Honda. El sistema eléctrico en 13.2 kV opera adecuadamente, además de las pérdidas del sistema en el escenario de máxima demanda son adecuadas. El sistema eléctrico opera con un nivel de 1.67% de pérdidas de potencia. En el tema de caídas de tensión se puede ver que para el escenario de máxima demanda están en los niveles adecuados de los límites establecidos por la NTCSEER. En el análisis del sistema eléctrico se verifica que la operación de las instalaciones

nuevas del AMT 4502, AMT4504 no impactará considerablemente los niveles de cortocircuito en las barras del sistema. Finalmente, se propone el uso de tecnología de reconectores automáticos, con el uso de los equipos mencionados se minimizan las interrupciones del servicio eléctrico y mejora los niveles de los indicadores de confiabilidad del sistema eléctrico de los alimentadores A4502 y A4504 en el tramo del eje” (8).

De la tesis *“Coordinación de protección para el sistema eléctrico Trujillo Sur, El Porvenir, Moche y Salaverry”* (9). Se presenta el resumen siguiente:

[...]“La tesis tiene por finalidad establecer los ajustes y la filosofía de los sistemas de protección necesarios para lograr una adecuada coordinación de protección entre las líneas de transmisión, alimentadores de media tensión y transformadores de potencia instalados en las subestaciones Trujillo Sur, Porvenir, Salaverry 1, Moche y Salaverry 2. También en la presente tesis se realizó una evaluación y optimización de los ajustes de los equipos de protección instalados en los sistemas de transmisión, subtransmisión y alimentadores de media tensión del sistema eléctrico de Hidrandina S. A. Se efectuaron los estudios de flujo de carga y el respectivo cálculo de cortocircuito de las instalaciones eléctricas asociadas para poder verificar el efecto del incremento de la proyección de demanda del sistema eléctrico correspondiente. También se evalúa el comportamiento de los equipos de protección ante posibles fallas que podrían presentarse en el sistema eléctrico y definir los ajustes de los equipos de protección bajo la nueva configuración del sistema. El área de influencia del estudio abarca la ciudad de Trujillo y sus correspondientes aledaños” (9).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Protecciones eléctricas

Las protecciones eléctricas son el conjunto de elementos que tiene como objetivo detectar las fallas para aislarlos.

Según el COES “El sistema de protección debe ser concebido para atender una contingencia doble; es decir, se debe considerar la posibilidad que

se produzca un evento de falla en el sistema eléctrico, al que le sigue una falla del sistema de protección, entendido como el conjunto relé-interruptor” (10).

El sistema de protección está constituido por protecciones principales y de respaldo. Además, el sistema eléctrico debe contar con las protecciones preventivas y protección incorporadas al equipo.

Como se indica en el COES, “las protecciones son diseñadas para operar en dos formas distintas: como protecciones unitarias para detectar fallas en una zona de protección o como protecciones graduadas para detectar fallas en más de una zona de protección” (10).

2.2.2. Tipos de protecciones

De acuerdo al COES los tipos de protecciones en los sistemas eléctricos son:

2.2.2.1. La protección unitaria

Las características de la protección unitaria son:

- A) Son selectivas porque detectan las fallas en su respectiva zona de protección.
- B) No son sensibles fuera de su zona de protección, con lo cual no pueden desempeñar funciones de protección de respaldo.
- C) Su operación es bajo el principio diferencial.

2.2.2.2. La protección graduada

Las características de la protección graduada son:

- A) Son poco selectivas, porque no solo detectan las fallas en su respectiva zona de protección.
- B) Son sensibles fuera de su zona de protección con lo que pueden desempeñar funciones de protección de respaldo.
- C) Su operación es bajo mediciones de corriente, tensiones e impedancias.

D) Son graduados en su tiempo de actuación.

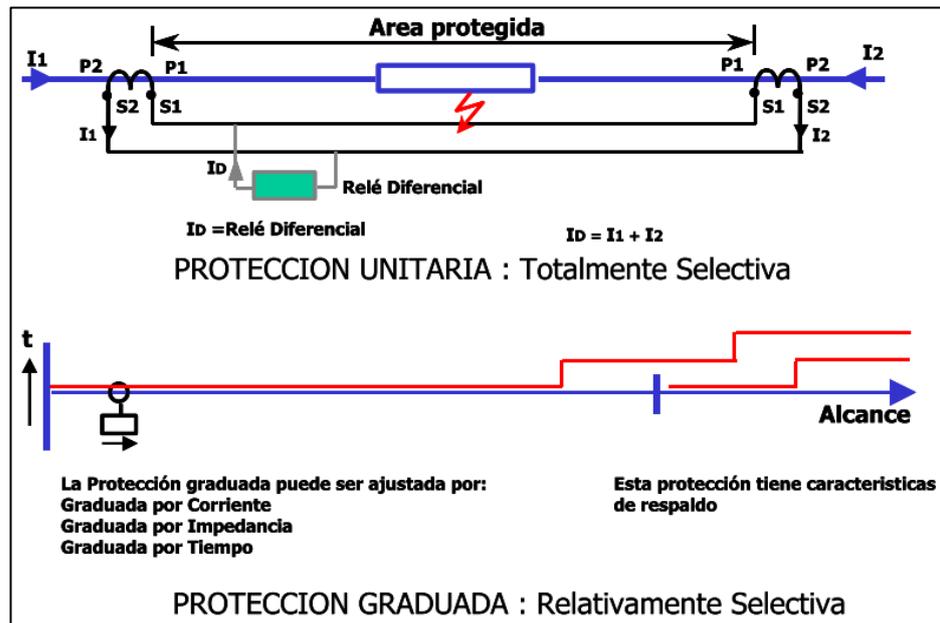


Figura 1. Tipos de protección (COES)

2.2.3. Zonas de protección

Las zonas de protección son una parte del sistema eléctrico, que están protegidos por un determinado esquema y se establece entorno a cada equipo del sistema eléctrico. Que por lo general está compuesto por varios elementos de protección y estas están definidas para:

- La generación
- La transformación
- Las barras
- Las líneas de transmisión
- Las líneas de distribución
- Los equipos eléctricos

2.2.4. Características de protección

Los objetivos de los elementos de un sistema de protección eléctrico son referenciados como la filosofía que deben tener todos los elementos para un adecuado funcionamiento.

Según el COES “se debe definir la operación de los elementos de protección para detectar las fallas, el funcionamiento anormal del sistema y las condiciones indeseadas de los equipos” (10).

El ajuste y la coordinación de protección deben tener en cuenta lo siguiente:

2.2.4.1. Selectividad

La selectividad del sistema de protección requiere el ajuste necesario para detectar las fallas en sus respectivas zonas de protección. “La función objetivo del ajuste y la coordinación de la protección, será la total selectividad con la máxima sensibilidad y velocidad. [...] Estas características no pueden ser todas maximizadas de manera independiente, ya que están relacionadas entre sí” (10).

2.2.4.2. Sensibilidad

En una protección individual dentro de una zona de protección “la sensibilidad, como límite, debe distinguir la operación normal de la condición de falla. En cambio, en una protección graduada [...], que se produce con la mínima generación en el extremo de las zonas vecinas a la zona protegida” (10).

2.2.4.3. Fiabilidad

COES indica que “la finalidad de asegurar una buena fiabilidad de la protección se recomienda que la protección principal sea redundante; es decir, se deben tener dos relés de protección [...]. Estas protecciones actuarán en paralelo; es decir, cualquiera de ellas efectuará la acción de disparo de los interruptores” (10).

2.2.4.4. Rapidez

La rapidez de un sistema de protección al detectar la falla despejándolo es muy importante, porque cuanto más rápido menos

perjuicio o consecuencia: como la inestabilidad, la reparación o mantenimiento correctivo, el daño a los equipos y al personal.

2.2.4.5. Simplicidad

La simplicidad en un sistema protección eléctrica es muy importante, porque se debe evitar la complejidad innecesaria a la protección.

2.2.4.6. Económica

No solo la parte técnica debe ser justificada en los equipos de protección sino también lo económico, esta valoración económica no debe restringirse a lo más barato sino a proteger el sistema adecuadamente.

2.2.5. Elementos de protección

Brokering indica que “en principio, cada equipo o elemento del sistema de potencia debiera estar vigilado por un sistema de protección. En tal sentido, es de la mayor importancia que las protecciones se traslapen, de manera que no existan zonas sin protección, por pequeñas que ellas sean. Este traslape, que debe ser pequeño, se establece ubicando transformadores de medida alrededor del interruptor común a ambas zonas” (11).

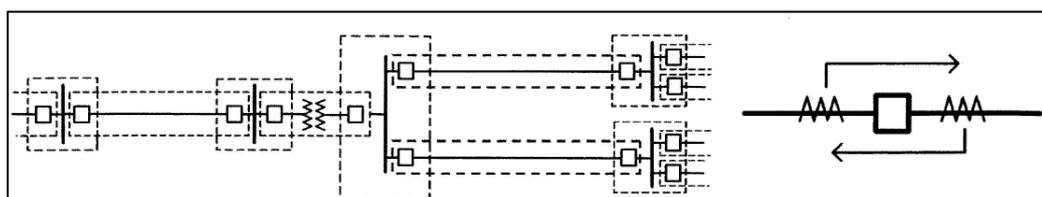


Figura 2. Traslape de protecciones

2.2.5.1. Relé de protección

Estos elementos son importantes en el sistema de protección porque al recibir información del comportamiento del sistema eléctrico, a la vez detectan ocurrencias anormales y deciden intervenir o no, de acuerdo a la decisión dan la orden de operar al interruptor.

A continuación, se presentan las variables más usadas en la detección:

Detector	Variable	Ejemplos
Magnitudes eléctricas	Corriente	Detector sobrecorriente
	Tensión	Detector bajatensión Detector sobretensión
	Combinación V e I	Detector sobrecorriente con retención de tensión
Comparación de magnitudes eléctricas	Comparación serie	Protecciones unitarias Detector diferencial Hilo piloto
	Comparación paralelo	Detector de corrientes balanceadas
	Comparación V e I	Detector de distancia
	Comparación ángulo de fase	Detector direccional
Magnitudes de secuencia	Corriente secuencia cero	Detector sobrecorriente residual
	Tensión secuencia cero	Detector sobretensión residual
	Corriente secuencia negativa	Detector sobrecorriente sec. negativa
Velocidad de variación	Corriente	Detector bloqueo contra oscilaciones

Figura 3. Tipos de detectores



Figura 4. Relé de protección de sobrecorriente

2.2.5.2. Fusible

Brokering conceptualiza “el fusible es medidor, detector (de sobrecorriente) e interruptor en uno. Los fusibles de distribución, que

son normalmente del tipo expulsión, consisten en un cilindro de fibra aislante, en cuyo interior va un segundo tubo, que contiene el hilo fusible, y que es cambiable” (11). Existen en el mercado los tipos de fusibles K o rápidos y del tipo L o lentos.

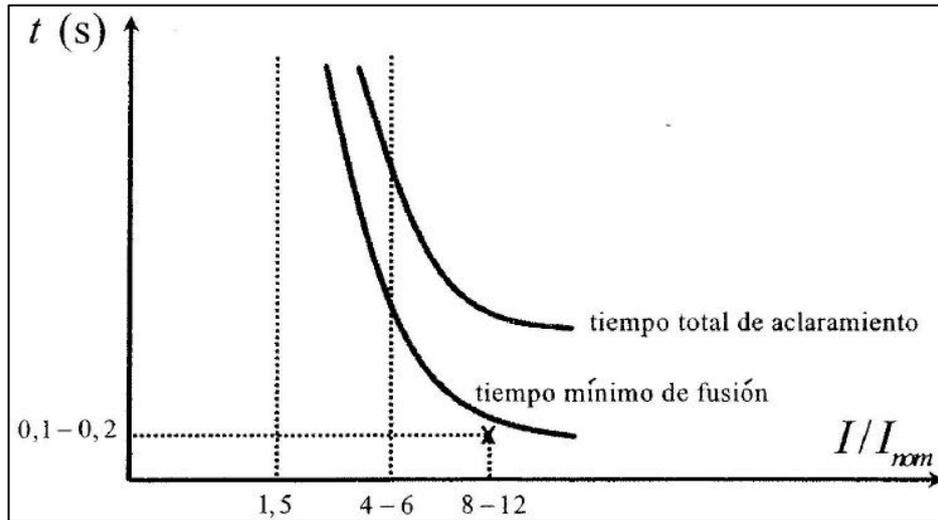


Figura 5. Curvas de operación del fusible (11)

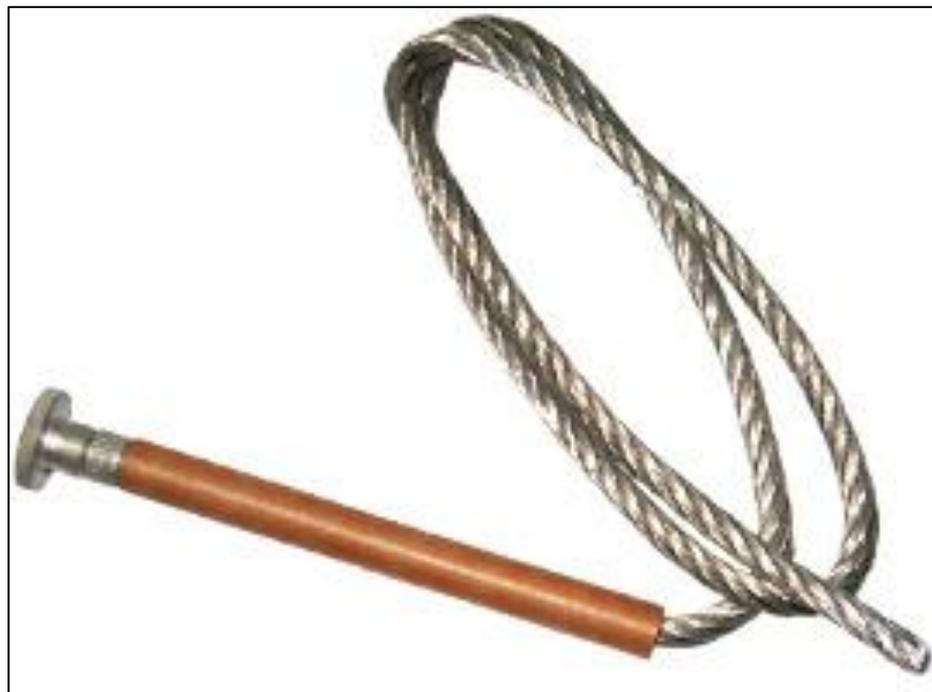


Figura 6. Fusible tipo K

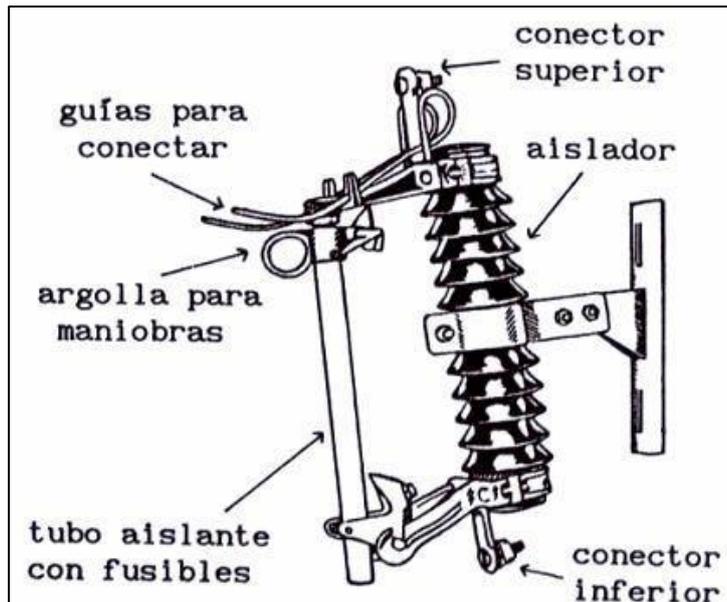


Figura 7. Seccionador tipo cut out

2.2.5.3. Reconectores

“Los reconectores son equipos más caros que los fusibles, al incluir un interruptor. Su gran ventaja radica en la posibilidad de reconectar en forma automática, con lo que se evita la necesidad de que alguien acuda a reponer el hilo fusible. Por ello, son de un uso bastante extendido, sobre todo en la distribución rural, donde, además, muchas de las fallas son fugaces” (11).

También dice que “normalmente poseen protección de sobrecorriente de fase (tipo muy inverso) y residual (muy inverso y tiempo definido). Permiten hasta tres reconexiones (o cuatro aperturas, según se quiera mirar), con un tiempo muerto entre ellas de entre 1 y 2 segundos” (11).



Figura 8. Reconectador

2.2.5.4. Interruptores de poder

Estos elementos son destinados a interrumpir la continuidad del suministro eléctrico en un sistema, cuando ocurre una falla o cuando necesita ser desenergizado por motivo de mantenimiento. Las interrupciones ante los cortocircuitos se pueden lograr mediante la acción de los llamados contactos principales que están destinados a apagar el arco producido. Además, hay que tener en cuenta que están presentes los contactos auxiliares que ayudan a reflejar las señales al centro de control guía.

Existen varios tipos de interruptores entre los que se pueden mencionar: los interruptores en aceite, de aire comprimido, hexafluoruro de azufre e interruptores en vacío.

Se pueden mencionar algunas características de los interruptores:

- La tensión máxima normal
- La corriente nominal
- La corriente nominal del cortocircuito

- La capacidad de ruptura simétrica
- El tiempo nominal de interrupción

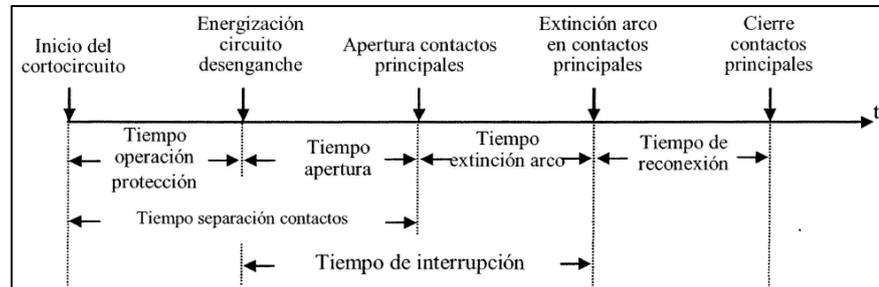


Figura 9. Tiempos en un sistema de protección



Figura 10. Interruptores en media tensión

2.2.6. Esquemas de protección

Los esquemas de protección son conocidos comúnmente en electricidad y sobre todo en los diagramas unifilares con números y símbolos que fueron establecidos en la norma IEEE Std. 37.2 e IEC 60617.7. Y estos son:

Número	Función
12	Detector por relé de sobrevelocidad
14	Detector de baja velocidad
21	Detector de distancia
23	Relé de control de temperatura
25	Relé verificador de sincronismo
27	Detector de subtensión
32	Detector de dirección de potencia activa
37	Detector de baja corriente o potencia baja
40	Detector de baja corriente de campo de una máquina
46	Relé de secuencia negativa o desbalance de corriente
47	Detector de secuencia de fases
49	Detector térmico
50	Detector de sobrecorriente instantáneo
51	Detector de sobrecorriente con tiempo diferido
52	Interruptor
55	Detector de factor de potencia
59	Detector de sobretensión
67	Detector de sobretensión direccional
74	Alarma
79	Reconexión
81	Detector de frecuencia
85	Carrier o hilo piloto
87	Detector por diferencia
94	Desenganche o disparo (trip)

Figura 11. Numeración de los esquemas de protección según IEEE

2.2.7. Calidad del servicio eléctrico

La calidad del servicio eléctrico se refiere al conjunto de características técnicas y comerciales que están inherentes al suministro eléctrico que sirve para determinar la calidad del servicio eléctrico existente en un sistema, para ello existen normas técnicas y legales que deben cumplir las empresas concesionarias.

En el Perú, actualmente se cuenta con la norma técnica de calidad de servicios eléctricos aprobado con el Decreto Supremo número 020-97-EM, que contempla los aspectos de calidad del servicio eléctrico que deben cumplir las empresas eléctricas estableciéndoles niveles mínimos de calidad.

Los aspectos tomados en consideración por la norma técnica de calidad de servicios eléctricos son la calidad de producto, calidad de suministro, calidad de servicio comercial y calidad de alumbrado público.

2.2.7.1. Calidad de producto eléctrico

De acuerdo a la NTCSE “La calidad de producto suministrado al cliente se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega. El control de la calidad de producto se lleva a cabo en períodos mensuales, denominados "períodos de control" (11).

Los aspectos tomados en consideración para la calidad de producto eléctrico son: la tensión, la frecuencia y las perturbaciones.

A) La tensión

Tiene como indicador “para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince [15] minutos de duración, es la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) del mismo punto. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto” (11).

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N \cdot 100\%;$$

B) La frecuencia

La frecuencia tiene como “el indicador principal para evaluar la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince [15] minutos de duración, es la diferencia (Δf_k) entre la Media (f_k) de los valores instantáneos de la frecuencia, medidos en un punto cualquiera de la red de corriente alterna no aislado del punto de entrega en cuestión, [...], está expresado como un porcentaje de la frecuencia nominal del sistema” (11).

$$\Delta f_k (\%) = (f_k - f_N) / f_N \cdot 100\%; \quad (\text{expresada en: \%})$$

C) Las perturbaciones

Las perturbaciones que se analiza de acuerdo a la norma son las tensiones armónicas y los *flickers*. Estos se miden en los PAC.

a) Para los armónicos se tiene como indicador las tensiones armónicas individuales (V_i) y el factor de distorsión total por armónica (THD).

$$THD = \left(\sqrt{\sum_{i=2...40} (V_i^2 / V_N^2)} \right) \cdot 100\%$$

Donde:

V_i .- Es el Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" (para $i=2 \dots 40$) expresada en Voltios

V_N .-Es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIA V_i ó THD' (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	$0.1 + 2.5/n$	$0.2 + 12.5/n$
(Armónicas Impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8"

Figura 12. Tolerancia para los armónicos

b) Para los *flickers* se tiene como indicador el índice por *flickers* de corta duración (P_{st}) no debe superar la unidad en todos los niveles de tensión.

2.2.7.2. Calidad suministro

Según la NTCSE (1997) “La calidad de suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio” (11).

La calidad de suministro eléctrico se determina con dos indicadores:

A) El número de interrupciones por semestre (N)

N = Número de Interrupciones; (*expresada en: interrupciones / semestre*).

Número de interrupciones por cliente.

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

B) La duración total pondera interrupciones por cliente (D).

$$D = \sum(k_i \cdot d_i); \text{ (*expresada en: horas*)}$$

Duración total ponderada de interrupciones por cliente.

Cientes en Muy Alta y Alta Tensión	: 4 horas/semestre
Cientes en Media Tensión	: 7 horas/semestre
Cientes en Baja Tensión	: 10 horas/semestre

2.2.7.3. Calidad de servicio comercial

La calidad de servicio comercial se evalúa de acuerdo a tres subaspectos como son:

El trato al cliente, medios a disposición del cliente y precisión en la medida de la energía facturada.

2.2.7.4. Calidad de alumbrado público

En referencia a la calidad de alumbrado público “El indicador principal para evaluar la calidad del alumbrado público es la longitud de aquellos tramos de las vías públicas que no cumplen con los niveles de

iluminación especificados en la Norma Técnica DGE-016-T-2/1996 o la que la sustituya” (11).

Este indicador denominado Longitud Porcentual de Vías con Alumbrado Deficiente, 1%, está expresado como un porcentaje de la Longitud Total de las Vías con Alumbrado (L) cuyo responsable es el suministrador, y está definido como (11):

$$I(\%) = (I/L) \cdot 100\%; \text{ (expresada en: \%)}.$$

I: es la suma de la longitud real de los tramos de la vía pública con deficiente alumbrado.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Protección

Sistemas de equipos eléctricos que tiene como fin aislar las fallas ante cualquier evento anormal.

2.3.2. Protección principal

La función principal de estos sistemas de protección es proteger los elementos más importantes del sistema eléctrico.

2.3.3. Protección de respaldo

Este sistema de protección actúa como respaldo cuando la protección principal falla y actúa en presencia de cortocircuitos.

2.3.4. NTCSE

Norma técnica de calidad de servicio eléctricos.

2.3.5. PAC

Puntos de Acoplamiento Común

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

El método de investigación de la tesis es el analítico, que consiste en analizar las partes de un todo teniendo como objetivo estudiarlas y examinar por separado, “[...] es decir, es un método de investigación, que consiste en descomponer el todo en sus partes, con el único fin de observar la naturaleza y los efectos del fenómeno. Sin duda, este método puede explicar y comprender mejor el fenómeno de estudio, además de establecer nuevas teorías” (12).

El alcance de la investigación es aplicativo, que mediante el método de la investigación se obtiene el mejoramiento de las protecciones del sistema eléctrico en estudio.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque tiene como objetivo resolver un determinado problema enfocado en su aplicación, también se puede definir indicando que “busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática y está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal” (13).

3.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación de la tesis es preexperimental. “Los diseños cuasiexperimentales son aquellos donde el investigador ejerce poco o ningún control sobre las variables extrañas, los sujetos participantes de la investigación se pueden asignar aleatoriamente a los grupos y algunas veces se tiene grupo control” (14).

El diseño de la investigación es preexperimental, porque se realizó la medición de la variable dependiente antes y después de aplicar el estímulo (variable independiente) al objeto de estudio.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de la investigación son las protecciones eléctricas del sistema eléctrico Machacuay.

3.4.2. Muestra

La muestra de la investigación son las protecciones eléctricas de los circuitos eléctricos del sistema eléctrico Machacuay.

3.5. Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos es la ficha de registro de datos con los cuales se llegó a tener toda la información de forma ordenada para el estudio.

3.6. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos es la documental, porque se recolectaron datos de las fuentes como informes, estudios y libros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del sistema eléctrico Machacuay

A continuación, se muestra el diagrama unifilar de la SET y la distribución de los 3 alimentadores A4013, A4017, A4022 desde la SET Machacuay.

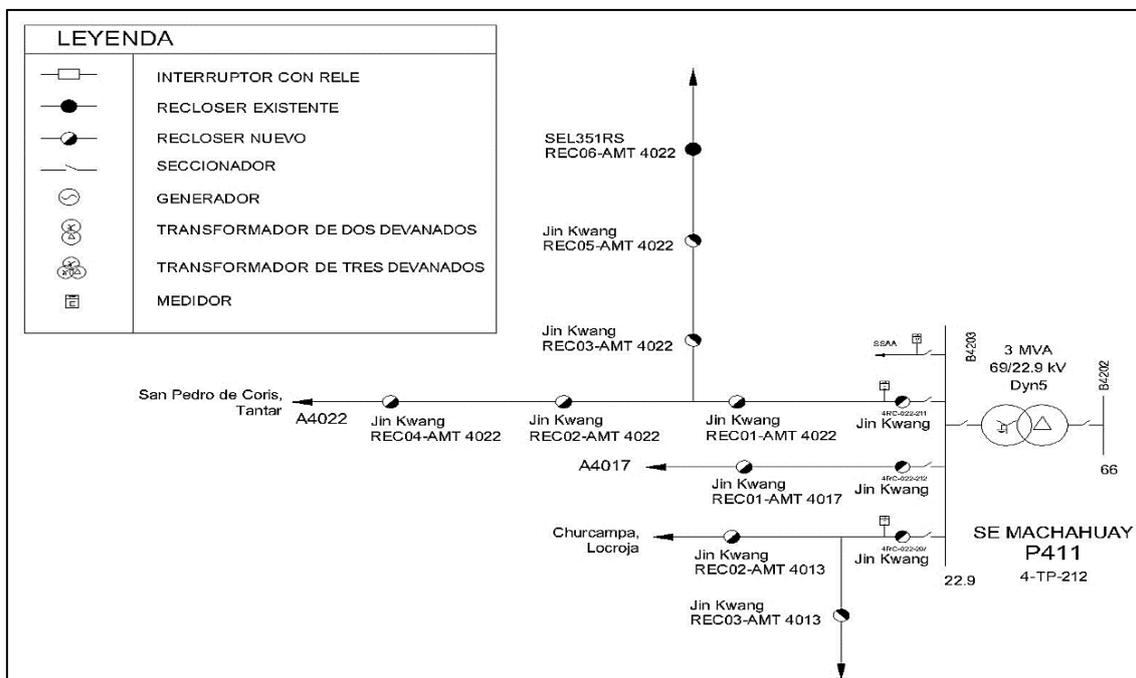


Figura 13. Diagrama unifilar SET Machacuay

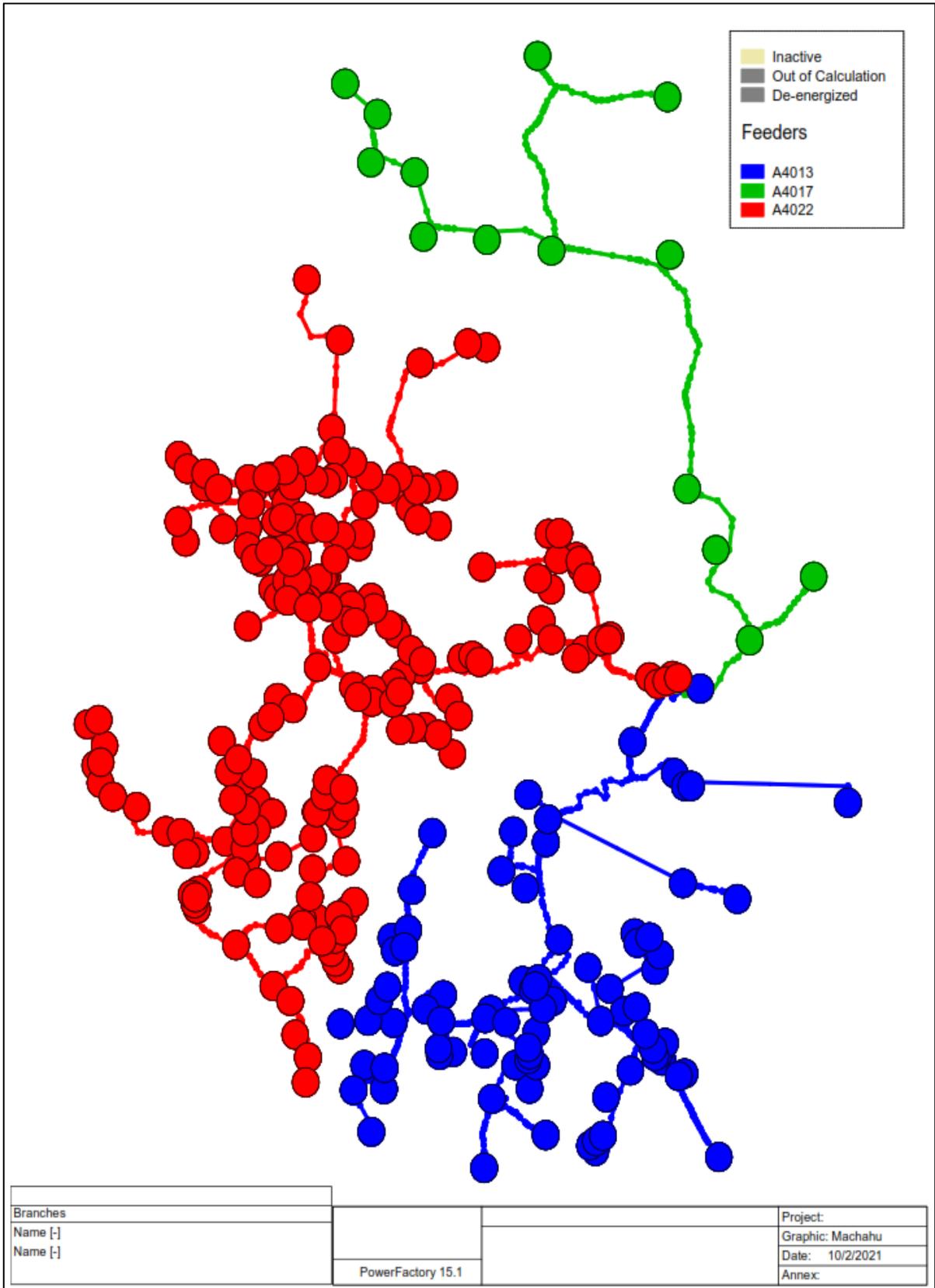


Figura 14. Distribución de alimentadores A4013, A4017, A4022 de la SET Machacuay

4.1.1. Descripción de equipos de protección actuales

Dispositivo de protección de respaldo ubicado en la barra 22.9 kV de la SET Machacuay.

Tabla 2. Dispositivo de protección de respaldo de SET

Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RELE SET SEL751_SEMACHY_AA	Schweitzer	SEL 751-5A	100A/5A

Dispositivos de protección en el alimentador A4013.

Tabla 3. Dispositivos de protección del alimentador A4013

Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RELE 01 AMT4013 CHK_A4013_AA	ENTEC	ENTEC EVRC2A	600A/1A
RELE 02 AMT4013 EVRC2A_REC-02_AA	ENTEC	ENTEC EVRC2A	400A/1A
RELE 03 AMT4013 EVRC2A_REC-03_AA	ENTEC	ENTEC EVRC2A	400A/1A

Dispositivos de protección en el alimentador A4017.

Tabla 4. Dispositivos de protección del alimentador A4017

Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RELE 04 AMT4017 EVRC2A_A4017_AA	ENTEC	ENTEC EVRC2A	1000A/1A

Dispositivos de protección en el alimentador A4022.

Tabla 5. Dispositivos de protección del alimentador A4022

Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RELE 05 AMT4022 CHK_A4022_AA	ENTEC	ENTEC EVRC2A	600A/1A
RELE 06 AMT4022 SEL351_REC-05_AP	SEL	SEL 351-1A-150V	100A/1A

4.1.2. Descripción de equipos de protección propuestos

Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4013.

Tabla 6. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4013

Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RECLOSER 01 AMT4013 FTUR200_A4013_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 02 AMT4013 FTUR200_REC-02_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 03 AMT4013 FTUR200_REC-03_AP	-	FTUR200	1A/1A

Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4017.

Tabla 7. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4017

	Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RECLOSER 04 AMT4017	FTUR200_A4017_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 05 AMT4017	FUTUR200_REC01_AP	-	FTUR200	1A/1A

Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4022.

Tabla 8. Dispositivos de protección propuestos en el alimentador A4022

	Protection Device	Manufacturer	Model	CT
RECLOSER 06 AMT4022	FTUR200_A4022_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 07 AMT4022	FTUR200_REC-01_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 08 AMT4022	FTUR200_REC-02_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 09 AMT4022	FTUR200_REC-03_AP	-	FTUR200	1A/1A
RECLOSER 10 AMT4022	FTUR200_REC-04_AP	-	FTUR200	1A/1A

4.2. Resultados y discusión

4.2.1. Resultados de flujo de carga

4.2.1.1. Perfil de tensión alimentador A4013

A continuación, se muestra el perfil de tensión en el AMT A4013, cumpliendo los estándares de calidad de tensión en todos sus nodos y elementos.

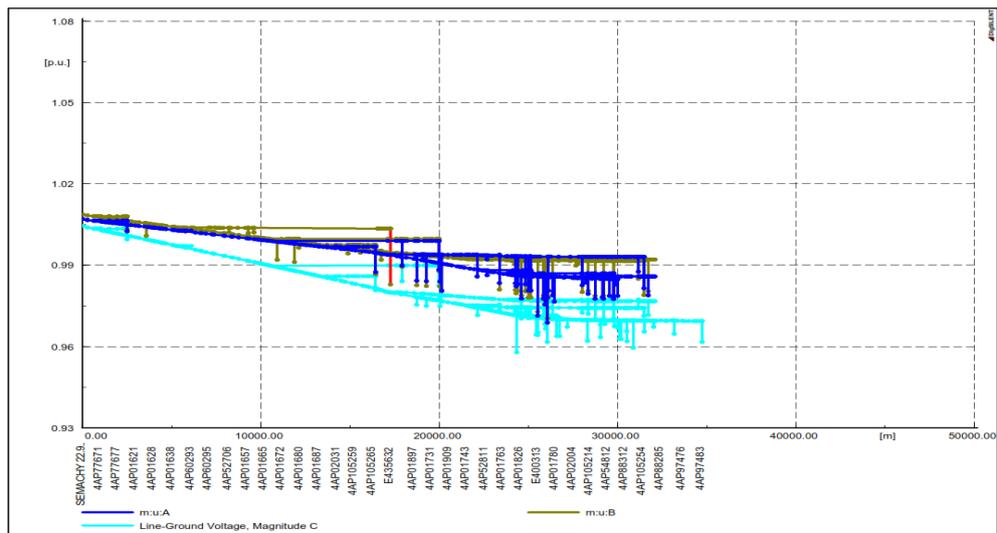


Figura 15. Perfil de tensión del alimentador A4013

4.2.1.2. Perfil de tensión alimentador A4017

A continuación, se muestra el perfil de tensión en el AMT A4017, cumpliendo los estándares de calidad de tensión en todos sus nodos y elementos.

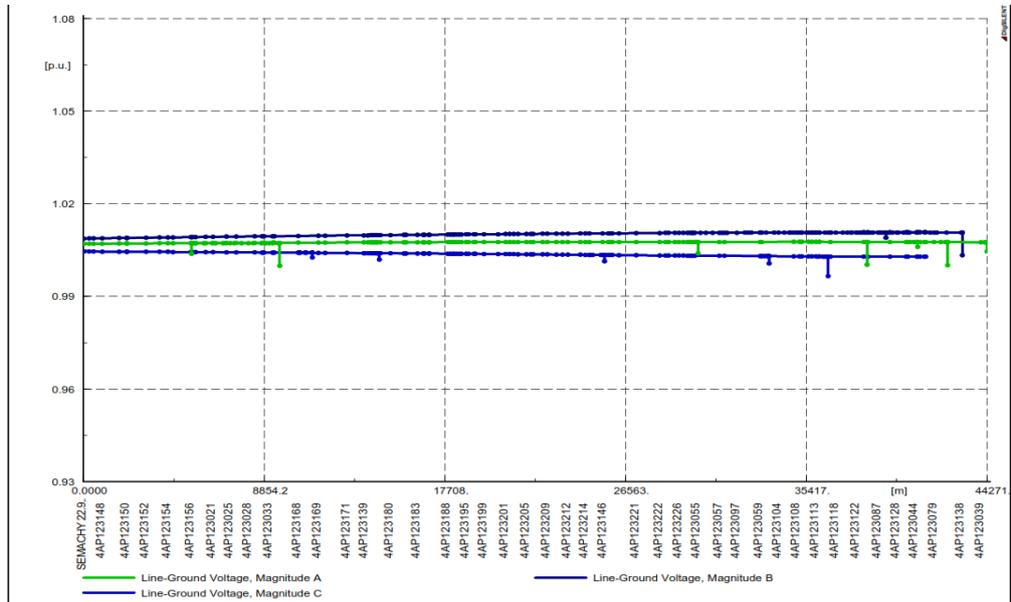


Figura 16. Perfil de tensión del alimentador A4017

4.2.1.3. Perfil de tensión alimentador A4022

A continuación, se muestra el perfil de tensión en el AMT A4022, cumpliendo los estándares de calidad de tensión en todos sus nodos y elementos.

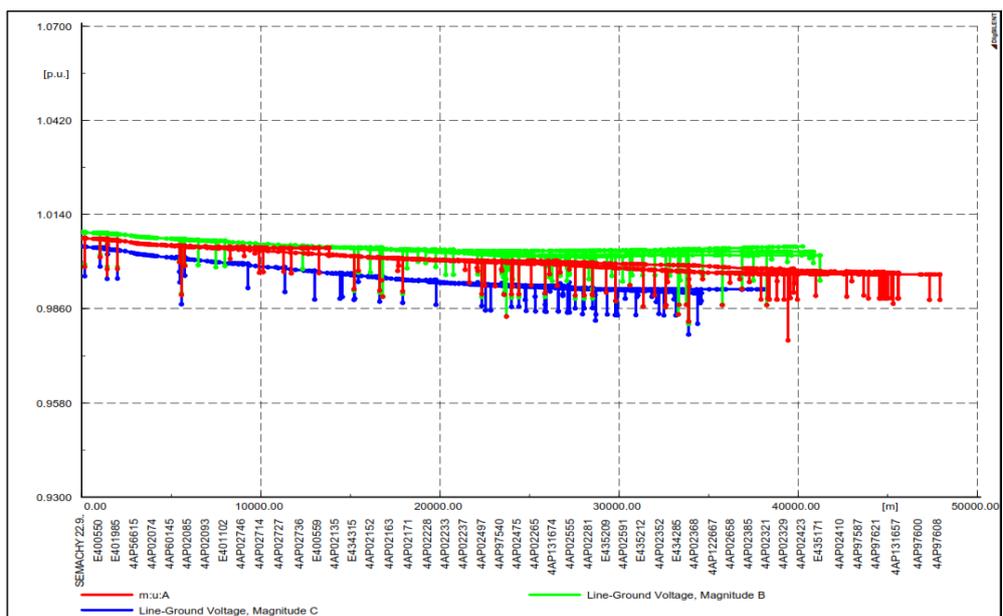


Figura 17. Perfil de tensión del alimentador A4022

4.2.1.4. Cargabilidad de transformadores de tensión A4013

A continuación, se muestra la cargabilidad en el AMT A4013, cumpliendo los estándares de calidad de servicio en los elementos de transformación del sistema eléctrico.

Tabla 9. Cargabilidad de SED en alimentador A4013

Item	Name	Feeder	In Folder	Loading %
1	TR_E400289	A4013	E400289	32.30467
2	TR_E400303	A4013	E400303	22.53543
3	TR_E400304	A4013	E400304	14.35015
4	TR_E400305	A4013	E400305	13.24145
5	TR_E400306	A4013	E400306	16.87914
6	TR_E400307	A4013	E400307	9.136167
7	TR_E400308	A4013	E400308	5.86522
8	TR_E400311	A4013	E400311	8.004407
9	TR_E400312	A4013	E400312	16.7723
10	TR_E400313	A4013	E400313	63.87631
11	TR_E400314	A4013	E400314	73.8387
12	TR_E400315	A4013	E400315	45.1088
13	TR_E400316	A4013	E400316	46.5606
14	TR_E400317	A4013	E400317	9.638442
15	TR_E400318	A4013	E400318	6.211731
16	TR_E400319	A4013	E400319	8.195161
17	TR_E400320	A4013	E400320	32.25571
18	TR_E400321	A4013	E400321	8.828394
19	TR_E400322	A4013	E400322	71.92019
20	TR_E400323	A4013	E400323	32.59112
21	TR_E400324	A4013	E400324	32.3247
22	TR_E400325	A4013	E400325	32.25895
23	TR_E400326	A4013	E400326	32.13992
24	TR_E400327	A4013	E400327	32.19577
25	TR_E400328	A4013	E400328	32.1965
26	TR_E400408	A4013	E400408	11.84974
27	TR_E400409	A4013	E400409	6.592716
28	TR_E400438	A4013	E400438	6.73885
29	TR_E400439	A4013	E400439	32.60118
30	TR_E400440	A4013	E400440	32.6629
31	TR_E400503	A4013	E400503	32.64931
32	TR_E400639	A4013	E400639	8.226992
33	TR_E400640	A4013	E400640	6.856231
34	TR_E400641	A4013	E400641	7.038115

35	TR_E401197	A4013	E401197	32.69745
36	TR_E401198	A4013	E401198	9.122133
37	TR_E401242	A4013	E401242	32.19822
38	TR_E401380	A4013	E401380	32.92108
39	TR_E401381	A4013	E401381	6.655015
40	TR_E401382	A4013	E401382	32.69304
41	TR_E401386	A4013	E401386	12.0238
42	TR_E401614	A4013	E401614	32.57814
43	TR_E401727	A4013	E401727	17.76857
44	TR_E434001	A4013	E434001	20.04092
45	TR_E434002	A4013	E434002	40.7652
46	TR_E434003	A4013	E434003	20.24996
47	TR_E434004	A4013	E434004	17.01364
48	TR_E434005	A4013	E434005	11.91748
49	TR_E434006	A4013	E434006	17.93484
50	TR_E434007	A4013	E434007	12.10755
51	TR_E434008	A4013	E434008	9.443466
52	TR_E434277	A4013	E434277	32.33097
53	TR_E434296	A4013	E434296	32.24289
54	TR_E434297	A4013	E434297	32.11661
55	TR_E434298	A4013	E434298	32.58032
56	TR_E434299	A4013	E434299	32.58028
57	TR_E434300	A4013	E434300	32.58032
58	TR_E434301	A4013	E434301	32.5801
59	TR_E434302	A4013	E434302	32.57884
60	TR_E434303	A4013	E434303	32.54809
61	TR_E434304	A4013	E434304	32.46895
62	TR_E434305	A4013	E434305	32.32676
63	TR_E434306	A4013	E434306	32.93349
64	TR_E434307	A4013	E434307	32.34823
65	TR_E434308	A4013	E434308	32.55308
66	TR_E434309	A4013	E434309	32.55313
67	TR_E434310	A4013	E434310	32.55171
68	TR_E434384	A4013	E434384	32.18429
69	TR_E434385	A4013	E434385	32.1939
70	TR_E434386	A4013	E434386	31.9764
71	TR_E434387	A4013	E434387	32.00109
72	TR_E434388	A4013	E434388	32.22383
73	TR_E434518	A4013	E434518	9.508533
74	TR_E434519	A4013	E434519	32.4739
75	TR_E434520	A4013	E434520	32.10405
76	TR_E435175	A4013	E435175	33.00533
77	TR_E435176	A4013	E435176	33.06301
78	TR_E435441	A4013	E435441	6.170585

79	TR_E435632	A4013	E435632	89.03246
80	TR_E454040	A4013	E454040	32.14046
81	TR_E454041	A4013	E454041	8.523823
82	TR_E454042	A4013	E454042	32.14173

4.2.1.5. Cargabilidad de transformadores de tensión A4017

A continuación, se muestra la cargabilidad en el AMT A4017, cumpliendo los estándares de calidad de servicio en los elementos de transformación del sistema eléctrico.

Tabla 10. Cargabilidad de SED en alimentador A4017

Item	Name	Feeder	In Folder	Loading %
1	TR_E435184	A4017	E435184	30.39091
2	TR_E435185	A4017	E435185	8.958613
3	TR_E435186	A4017	E435186	10.88214
4	TR_E435187	A4017	E435187	6.368617
5	TR_E435188	A4017	E435188	14.47474
6	TR_E435189	A4017	E435189	31.87073
7	TR_E435190	A4017	E435190	15.15642
8	TR_E435191	A4017	E435191	8.698106
9	TR_E435192	A4017	E435192	31.78023
10	TR_E435193	A4017	E435193	12.58682
11	TR_E435194	A4017	E435194	31.73046
12	TR_E435195	A4017	E435195	31.8826
13	TR_E435196	A4017	E435196	7.089529
14	TR_E435919	A4017	E435919	6.242462

4.2.1.6. Cargabilidad de transformadores de tensión A4022

A continuación, se muestra la cargabilidad en el AMT A4022, cumpliendo los estándares de calidad de servicio en los elementos del sistema eléctrico.

Tabla 11. Cargabilidad de SED en alimentador A4022

Item	Name	Feeder	In Folder	Loading %
1	TR_E400329	A4022	E400329	27.27499
2	TR_E400549	A4022	E400549	178.6616
3	TR_E400550	A4022	E400550	17.84724
4	TR_E400551	A4022	E400551	6.557263
5	TR_E400552	A4022	E400552	13.12724
6	TR_E400553	A4022	E400553	9.960073
7	TR_E400554	A4022	E400554	6.633816
8	TR_E400555	A4022	E400555	27.26141
9	TR_E400556	A4022	E400556	27.43177
10	TR_E400557	A4022	E400557	27.20678
11	TR_E400558	A4022	E400558	6.609083
12	TR_E400559	A4022	E400559	27.43037
13	TR_E400560	A4022	E400560	8.677004
14	TR_E400561	A4022	E400561	20.17066
15	TR_E400562	A4022	E400562	47.5088
16	TR_E400563	A4022	E400563	16.66943
17	TR_E400564	A4022	E400564	27.34081
18	TR_E400565	A4022	E400565	27.30374
19	TR_E400566	A4022	E400566	28.97088
20	TR_E400567	A4022	E400567	26.74481
21	TR_E400568	A4022	E400568	27.18634
22	TR_E400569	A4022	E400569	31.73306
23	TR_E400570	A4022	E400570	27.4027
24	TR_E400571	A4022	E400571	10.28389
25	TR_E400572	A4022	E400572	27.35545
26	TR_E400573	A4022	E400573	9.071483
27	TR_E400574	A4022	E400574	20.62636
28	TR_E400575	A4022	E400575	13.94262
29	TR_E400576	A4022	E400576	19.1411
30	TR_E400577	A4022	E400577	8.341657
31	TR_E400578	A4022	E400578	14.05702
32	TR_E400579	A4022	E400579	24.45423
33	TR_E400580	A4022	E400580	10.24089
34	TR_E400581	A4022	E400581	8.143991
35	TR_E400582	A4022	E400582	9.589447
36	TR_E400583	A4022	E400583	8.212647
37	TR_E400584	A4022	E400584	15.90163
38	TR_E400585	A4022	E400585	12.20028
39	TR_E400586	A4022	E400586	8.62588
40	TR_E400587	A4022	E400587	25.87663
41	TR_E400588	A4022	E400588	17.674

42	TR_E400589	A4022	E400589	44.80417
43	TR_E400590	A4022	E400590	17.39363
44	TR_E400591	A4022	E400591	27.47845
45	TR_E400592	A4022	E400592	19.79671
46	TR_E400593	A4022	E400593	27.23244
47	TR_E400594	A4022	E400594	27.57622
48	TR_E400595	A4022	E400595	27.36152
49	TR_E400596	A4022	E400596	6.658436
50	TR_E400597	A4022	E400597	13.21789
51	TR_E400598	A4022	E400598	6.810359
52	TR_E400599	A4022	E400599	27.57506
53	TR_E400600	A4022	E400600	14.44599
54	TR_E400601	A4022	E400601	10.06182
55	TR_E400602	A4022	E400602	7.536246
56	TR_E400603	A4022	E400603	10.67335
57	TR_E400604	A4022	E400604	27.53316
58	TR_E400605	A4022	E400605	13.03491
59	TR_E400606	A4022	E400606	27.42798
60	TR_E400607	A4022	E400607	25.01663
61	TR_E400608	A4022	E400608	27.51681
62	TR_E400609	A4022	E400609	27.53406
63	TR_E400610	A4022	E400610	27.52179
64	TR_E400611	A4022	E400611	13.79745
65	TR_E400612	A4022	E400612	9.141989
66	TR_E400613	A4022	E400613	16.96154
67	TR_E400614	A4022	E400614	7.306026
68	TR_E400615	A4022	E400615	6.749489
69	TR_E400616	A4022	E400616	8.690805
70	TR_E400617	A4022	E400617	10.20116
71	TR_E400618	A4022	E400618	7.900253
72	TR_E400619	A4022	E400619	14.13557
73	TR_E400620	A4022	E400620	27.69018
74	TR_E400621	A4022	E400621	27.23138
75	TR_E400622	A4022	E400622	8.83766
76	TR_E400623	A4022	E400623	11.3331
77	TR_E400624	A4022	E400624	8.765772
78	TR_E400625	A4022	E400625	9.390648
79	TR_E400626	A4022	E400626	6.960339
80	TR_E400627	A4022	E400627	10.17078
81	TR_E400628	A4022	E400628	36.35164
82	TR_E400629	A4022	E400629	27.38519
83	TR_E400630	A4022	E400630	37.7362
84	TR_E400631	A4022	E400631	11.49297
85	TR_E400632	A4022	E400632	11.54362

86	TR_E400633	A4022	E400633	8.892907
87	TR_E400634	A4022	E400634	27.36765
88	TR_E400635	A4022	E400635	15.2288
89	TR_E400636	A4022	E400636	33.9709
90	TR_E400637	A4022	E400637	9.783263
91	TR_E400638	A4022	E400638	27.44282
92	TR_E401085	A4022	E401085	7.48247
93	TR_E401091	A4022	E401091	27.62661
94	TR_E401092	A4022	E401092	14.82468
95	TR_E401093	A4022	E401093	7.265892
96	TR_E401096	A4022	E401096	16.36444
97	TR_E401099	A4022	E401099	27.42568
98	TR_E401101	A4022	E401101	26.28417
99	TR_E401102	A4022	E401102	27.31005
100	TR_E401104	A4022	E401104	27.5681
101	TR_E401106	A4022	E401106	27.69012
102	TR_E401107	A4022	E401107	13.93769
103	TR_E401188	A4022	E401188	6.178652
104	TR_E401804	A4022	E401804	27.42606
105	TR_E401811	A4022	E401811	27.38338
106	TR_E401958	A4022	E401958	27.56817
107	TR_E401959	A4022	E401959	27.56814
108	TR_E401960	A4022	E401960	27.56728
109	TR_E401961	A4022	E401961	27.55889
110	TR_E401985	A4022	E401985	27.29306
111	TR_E434028	A4022	E434028	27.20316
112	TR_E434278	A4022	E434278	8.105422
113	TR_E434279	A4022	E434279	27.52888
114	TR_E434280	A4022	E434280	6.436542
115	TR_E434281	A4022	E434281	27.62703
116	TR_E434282	A4022	E434282	27.62526
117	TR_E434283	A4022	E434283	27.61272
118	TR_E434284	A4022	E434284	27.627
119	TR_E434285	A4022	E434285	38.13748
120	TR_E434289	A4022	E434289	47.29989
121	TR_E434290	A4022	E434290	27.6236
122	TR_E434291	A4022	E434291	27.5575
123	TR_E434292	A4022	E434292	27.61583
124	TR_E434294	A4022	E434294	1.003446
125	TR_E434295	A4022	E434295	27.57327
126	TR_E434311	A4022	E434311	27.58141
127	TR_E434312	A4022	E434312	27.72292
128	TR_E434313	A4022	E434313	27.72306
129	TR_E434314	A4022	E434314	12.61921

130	TR_E434315	A4022	E434315	27.56812
131	TR_E434316	A4022	E434316	27.44407
132	TR_E434317	A4022	E434317	7.065851
133	TR_E434318	A4022	E434318	35.33023
134	TR_E434319	A4022	E434319	9.62098
135	TR_E434320	A4022	E434320	27.73239
136	TR_E434321	A4022	E434321	27.62356
137	TR_E434322	A4022	E434322	7.129906
138	TR_E434323	A4022	E434323	11.88306
139	TR_E434324	A4022	E434324	27.58983
140	TR_E434325	A4022	E434325	15.05104
141	TR_E434326	A4022	E434326	27.6353
142	TR_E434327	A4022	E434327	27.63544
143	TR_E434328	A4022	E434328	72.19437
144	TR_E434329	A4022	E434329	11.35644
145	TR_E434330	A4022	E434330	27.62358
146	TR_E434331	A4022	E434331	27.61722
147	TR_E434637	A4022	E434637	27.52248
148	TR_E435165	A4022	E435165	27.48607
149	TR_E435166	A4022	E435166	27.42274
150	TR_E435167	A4022	E435167	6.237417
151	TR_E435168	A4022	E435168	27.68703
152	TR_E435169	A4022	E435169	27.7564
153	TR_E435170	A4022	E435170	27.49033
154	TR_E435171	A4022	E435171	27.48776
155	TR_E435172	A4022	E435172	27.68067
156	TR_E435173	A4022	E435173	6.236943
157	TR_E435174	A4022	E435174	27.51296
158	TR_E435177	A4022	E435177	27.61169
159	TR_E435202	A4022	E435202	27.37183
160	TR_E435203	A4022	E435203	27.50586
161	TR_E435204	A4022	E435204	5.960912
162	TR_E435205	A4022	E435205	27.62445
163	TR_E435206	A4022	E435206	27.53176
164	TR_E435207	A4022	E435207	27.75449
165	TR_E435208	A4022	E435208	27.74979
166	TR_E435209	A4022	E435209	27.75009
167	TR_E435210	A4022	E435210	27.44886
168	TR_E435211	A4022	E435211	27.44793
169	TR_E435212	A4022	E435212	27.44866
170	TR_E435213	A4022	E435213	27.32081
171	TR_E435214	A4022	E435214	27.62259
172	TR_E435215	A4022	E435215	27.62248
173	TR_E435216	A4022	E435216	27.6246

174	TR_E435217	A4022	E435217	27.62483
175	TR_E435218	A4022	E435218	27.46715
176	TR_E435219	A4022	E435219	27.57065
177	TR_E435220	A4022	E435220	27.57049
178	TR_E435221	A4022	E435221	27.55923
179	TR_E435222	A4022	E435222	27.44988
180	TR_E435424	A4022	E435424	27.37321
181	TR_E435425	A4022	E435425	27.53082
182	TR_E435426	A4022	E435426	9.046332
183	TR_E435440	A4022	E435440	6.441369
184	TR_E435454	A4022	E435454	27.62242
185	TR_E435455	A4022	E435455	27.57208
186	TR_E435456	A4022	E435456	12.32574
187	TR_E435457	A4022	E435457	27.62392
188	TR_E435458	A4022	E435458	27.62378
189	TR_E435459	A4022	E435459	27.62585
190	TR_E435460	A4022	E435460	27.47653
191	TR_E435461	A4022	E435461	27.72214
192	TR_E435462	A4022	E435462	6.138444
193	TR_E435463	A4022	E435463	27.72441
194	TR_E435464	A4022	E435464	27.72465
195	TR_E435465	A4022	E435465	27.71664
196	TR_E435466	A4022	E435466	27.71656
197	TR_E435467	A4022	E435467	27.47662
198	TR_E435468	A4022	E435468	27.724
199	TR_E435469	A4022	E435469	27.63225
200	TR_E435470	A4022	E435470	27.6326
201	TR_E435471	A4022	E435471	27.63279

4.2.2. Resultados de cortocircuito

Resultados de cortocircuito monofásico con falla franca en ubicación de los dispositivos de protección.

Tabla 12. Cálculo de cortocircuito trifásica máxima medidos en los dispositivos de protección

	Tensión nom.	Ph	Tension		angulo [deg]	Sk''		Ik'' [kA]	Ik' [kA]	ip [kA]
	[kV]		[kV]	[p.u.]		[MVA]	[kA]			
SEMACHY69	66	A	0	0	0	42.32	1.11	1.11	2.34	1.11
		B	44.72	1.17	-134.72	0	0	0	0	0
		C	46.53	1.22	132.57	0	0	0	0	0
SEMACHY 22.9	22.9	A	0	0	0	13.4	1.01	1.01	2.67	1.01
		B	13.13	0.99	93.02	0	0	0	0	0
		C	12.61	0.95	-34.52	0	0	0	0	0
IE-REC02 A4022	22.9	A	0	0	0	5.31	0.4	0.4	0.72	0.4
		B	15.73	1.19	79.85	0	0	0	0	0
		C	14.4	1.09	-19	0	0	0	0	0
IE-REC03 A4022	22.9	A	0	0	0	5.3	0.4	0.4	0.72	0.4
		B	15.74	1.19	79.84	0	0	0	0	0
		C	14.4	1.09	-18.98	0	0	0	0	0
IE-REC04 A4022	22.9	A	0	0	0	4.24	0.32	0.32	0.54	0.32
		B	16.19	1.22	79.46	0	0	0	0	0
		C	14.41	1.09	-17.11	0	0	0	0	0
IE-REC05 A4022	22.9	A	0	0	0	3.13	0.24	0.24	0.4	0.24
		B								
		C								
IE-REC A4017	22.9	A	0	0	0	4.03	0.3	0.3	0.47	0.3
		B	16.22	1.23	82.58	0	0	0	0	0
		C	13.76	1.04	-17.87	0	0	0	0	0
IE-SEC A4017	22.9	A	0	0	0	3.46	0.26	0.26	0.4	0.26
		B	16.46	1.25	82.44	0	0	0	0	0
		C	13.75	1.04	-16.89	0	0	0	0	0
IE-SEC A4013	22.9	A	0	0	0	3.95	0.3	0.3	0.45	0.3
		B	15.72	1.19	83.82	0	0	0	0	0
		C	13.04	0.99	-20	0	0	0	0	0
IE-REC A4013	22.9	A	0	0	0	4.75	0.36	0.36	0.55	0.36
		B	15.48	1.17	83.8	0	0	0	0	0
		C	13.19	1	-20.95	0	0	0	0	0

Resultados de cortocircuito trifásico con falla franca en ubicación de los dispositivos de protección.

Tabla 13. Cálculo de cortocircuito monofásico máximo, medidos en los dispositivos de protección

	rtd.	Sk''	Ik''	Ik'	ip	Ith
	[kV]	[MVA]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
E-REC03	22.9	20.92	0.53	0.53	0.94	0.53
E-REC02	22.9	20.95	0.53	0.53	0.94	0.53
E-REC A4017	22.9	15.32	0.39	0.39	0.59	0.39
E-SEC A4013	22.9	14.33	0.36	0.36	0.54	0.36
E-REC A4013	22.9	17.07	0.43	0.43	0.66	0.43
E-SEC A4017	22.9	13.36	0.34	0.34	0.51	0.34
SEMACHY69	66	188.14	1.65	1.65	3.46	1.66
E-REC04	22.9	17.33	0.44	0.44	0.73	0.44

4.2.3. Resultados de protección actual

4.2.3.1. Protección de fases 50/51

A) Coordinación A4013 – Ramal CHK_A4013 y SEL751 SEMACHY

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

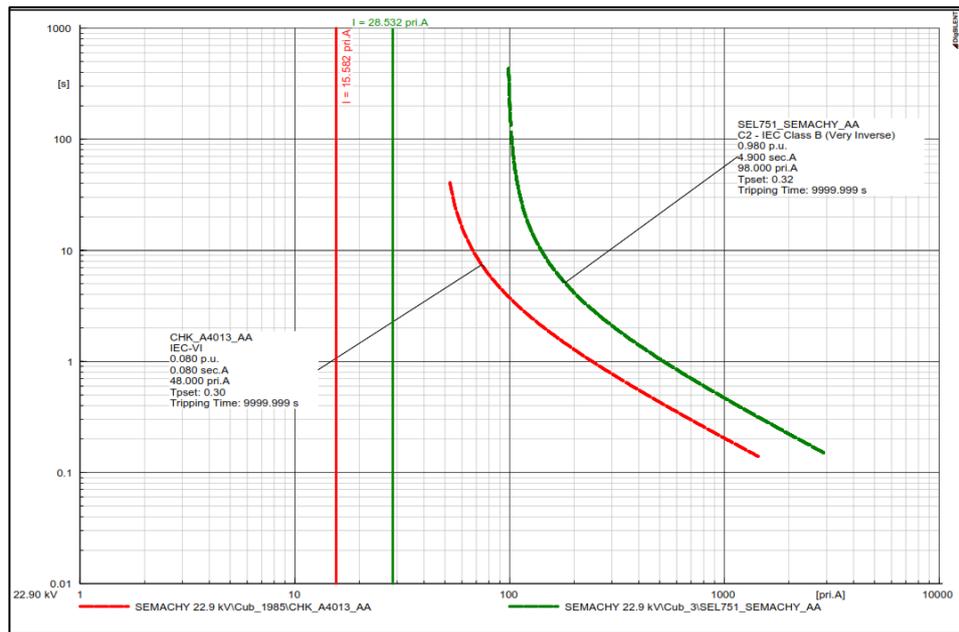


Figura 18. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 1)

B) Coordinación A4013 – Ramal CHK_A4013, SEL751 SEMACHY y EVR2A_REC-02

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual, EVR2A_REC-02 y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

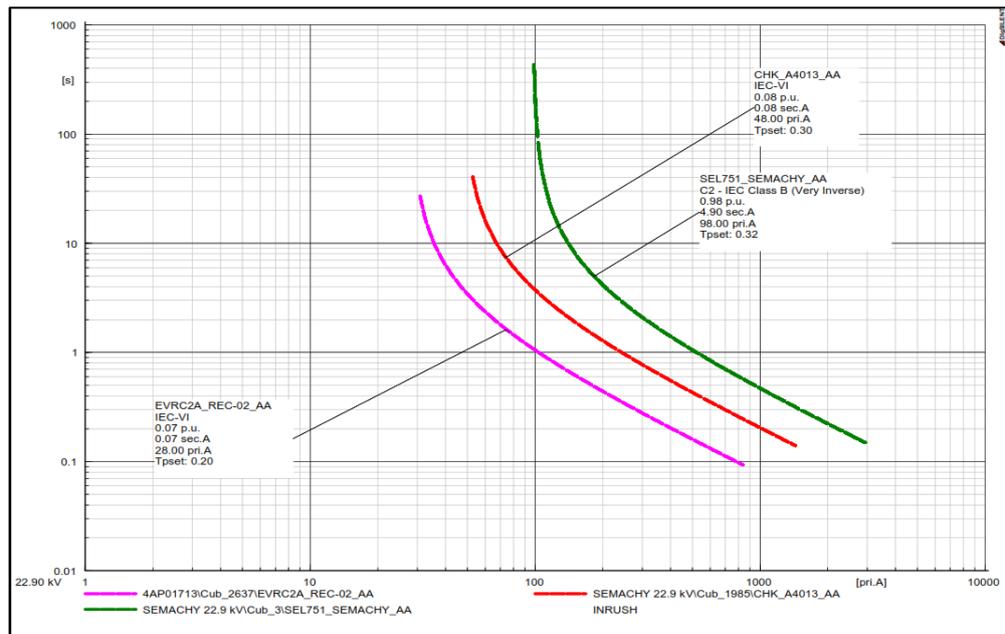


Figura 19. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 2)

C) Coordinación A4013 – Ramal CHK_A4013, SEL751 SEMACHY y EVR2A_REC-03

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual, EVR2A_REC-03 y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

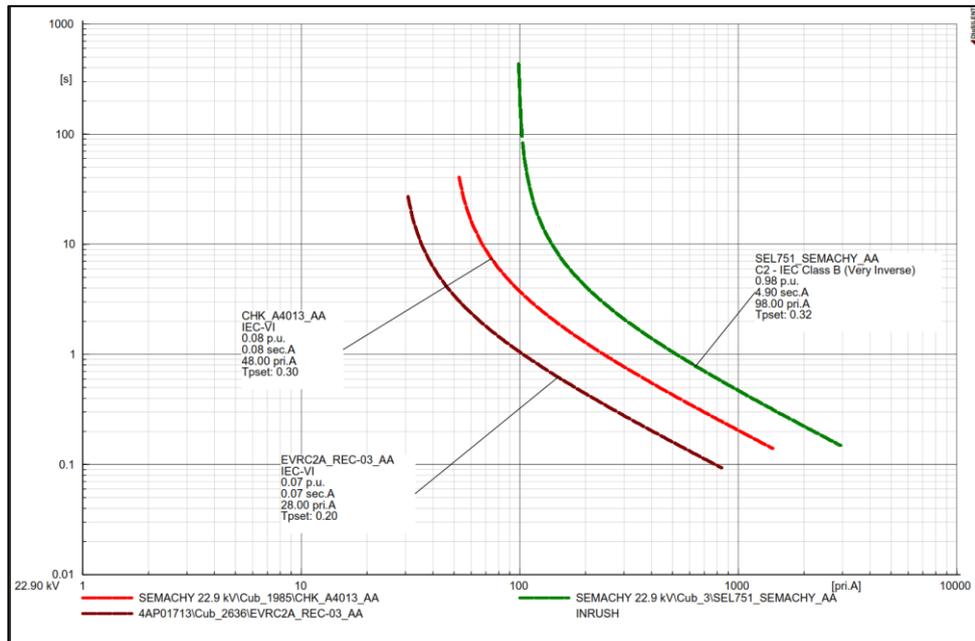


Figura 20. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 3)

D) Coordinación A4017 – Ramal EVRC2A_A4017 Y SEL751 SEMACHY

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección EVR2A_A4017 y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

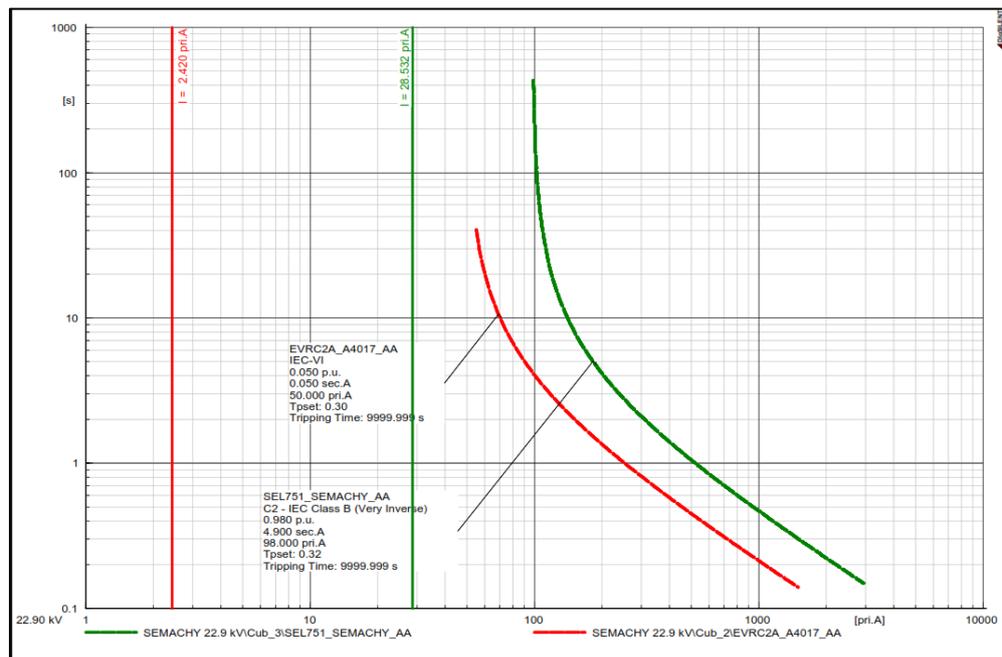


Figura 21. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4017 (ramal 1)

E) Coordinación A4017 – Ramal EVRC2A_A4017 Y SEL751 SEMACHY

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección EVR2A_A4017 y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

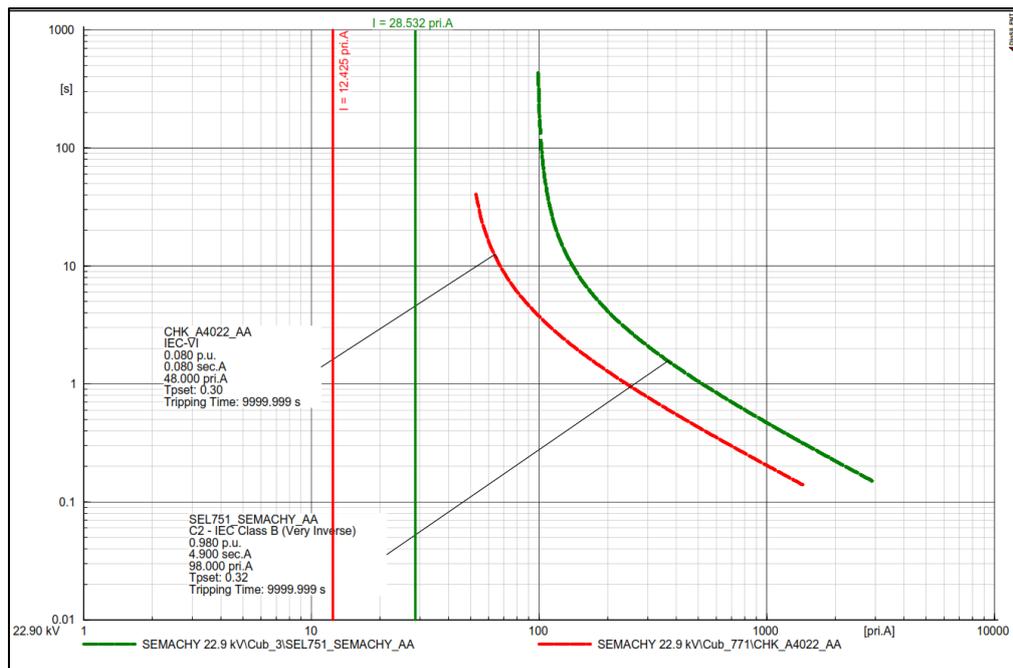


Figura 22. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4013 (ramal 2)

F) Coordinación A4022 – Ramal EVRC2A_A4022 Y SEL751 SEMACHY

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección EVR2A_A4022 y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

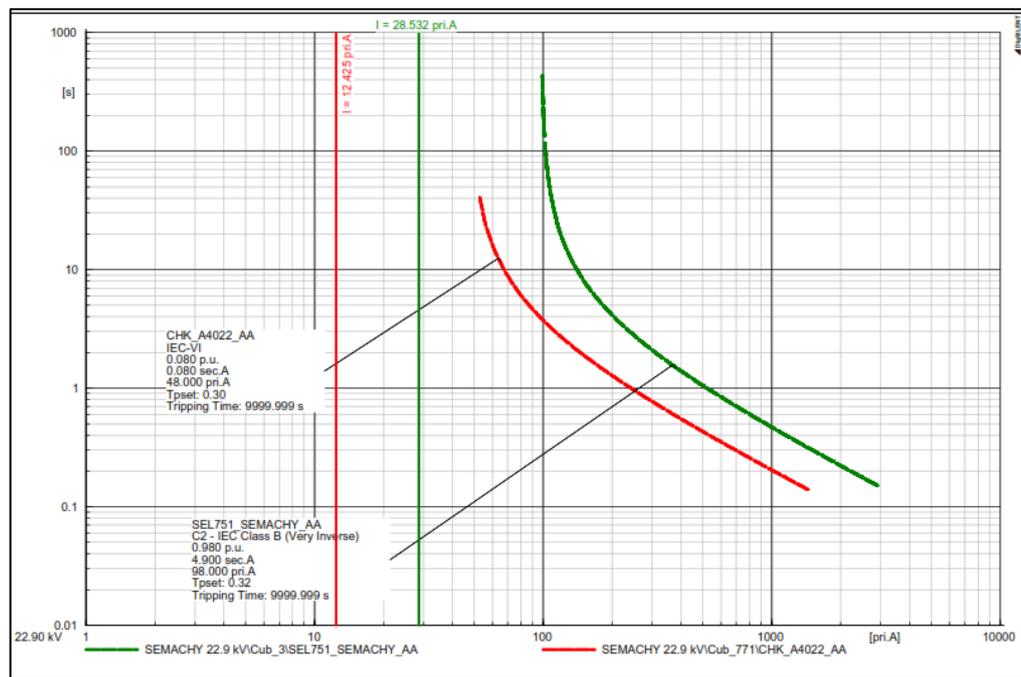


Figura 23. Ajuste de los dispositivos de protección de fases del A4022 (ramal 1)

4.2.3.2. Protección de tierra 50N/51N

A) Coordinación de tierra en A4013 – Ramal CHK_A4013 y SEL751 SEMACHY

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

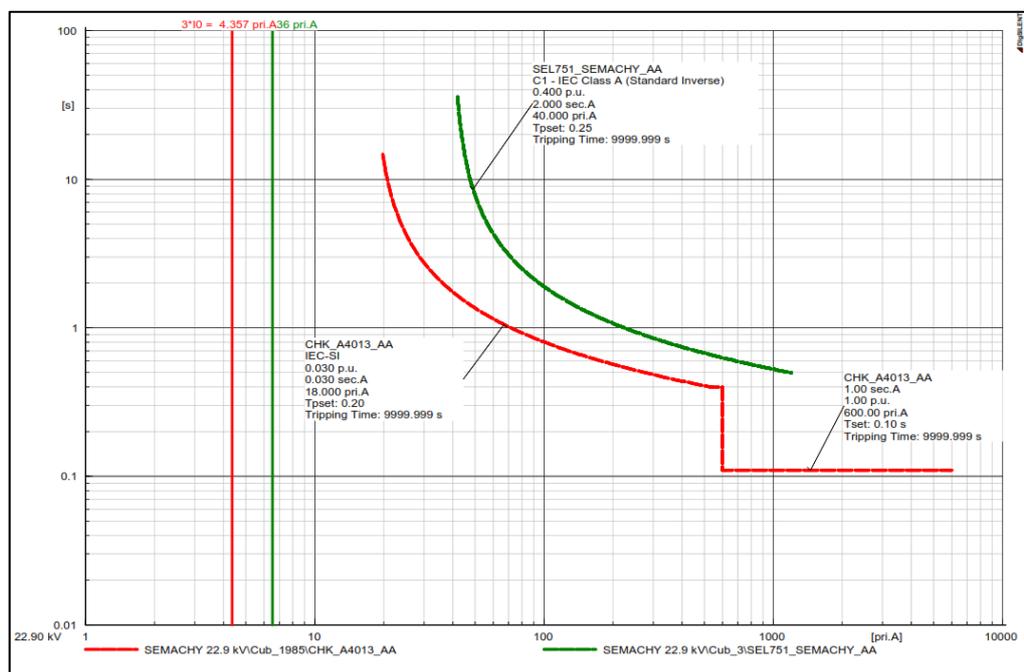


Figura 24. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 1)

B) Coordinación de tierra en A4013 – Ramal CHK_A4013, SEL751 SEMACHY y EVRC2A_REC-02

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual, EVRC2A_REC-02 Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

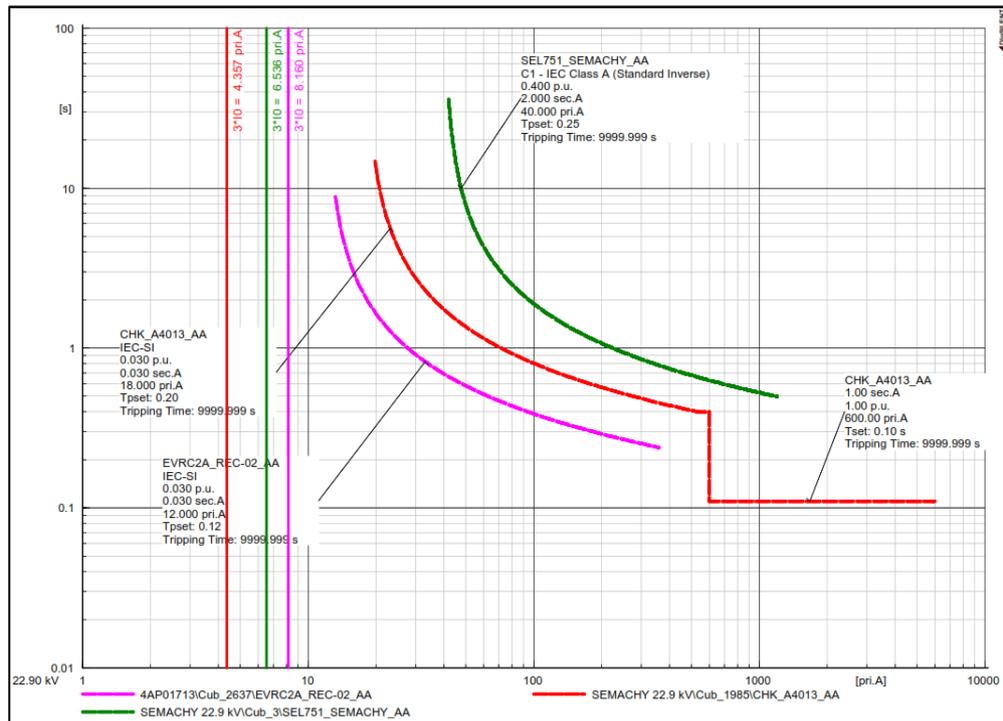


Figura 25. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 2)

C) Coordinación de tierra en A4013 – Ramal CHK_A4013, SEL751 SEMACHY y EVRC2A_REC-03

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4013_Actual, EVRC2A_REC-02 Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

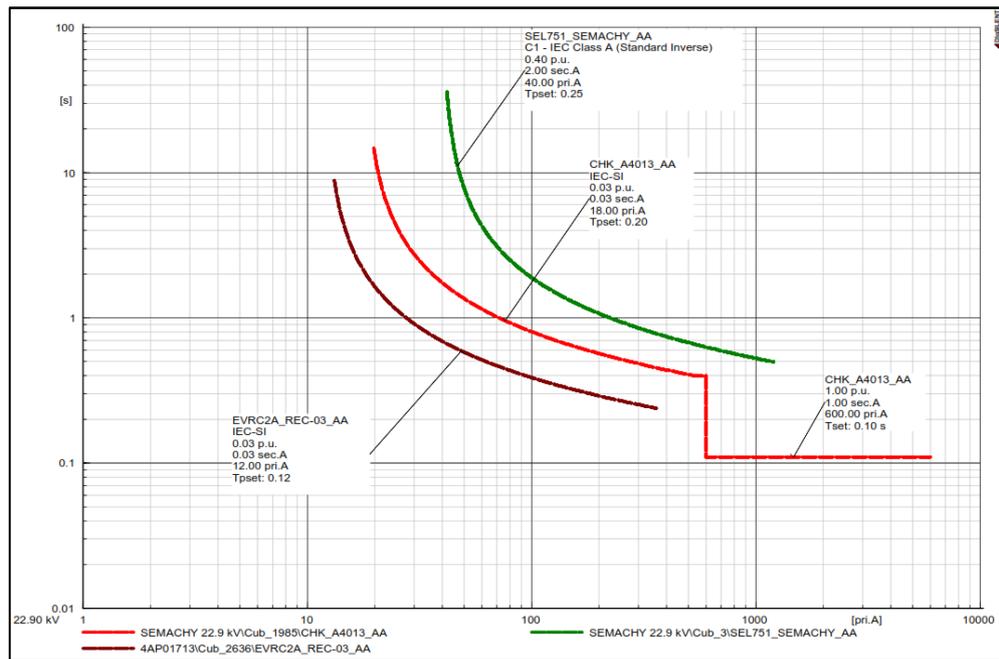


Figura 26. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4013 (ramal 3)

D) Coordinación de tierra en A4017 – Ramal SEL751 SEMACHY y EVRC2A_A4017

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección EVRC2A_A4017 Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

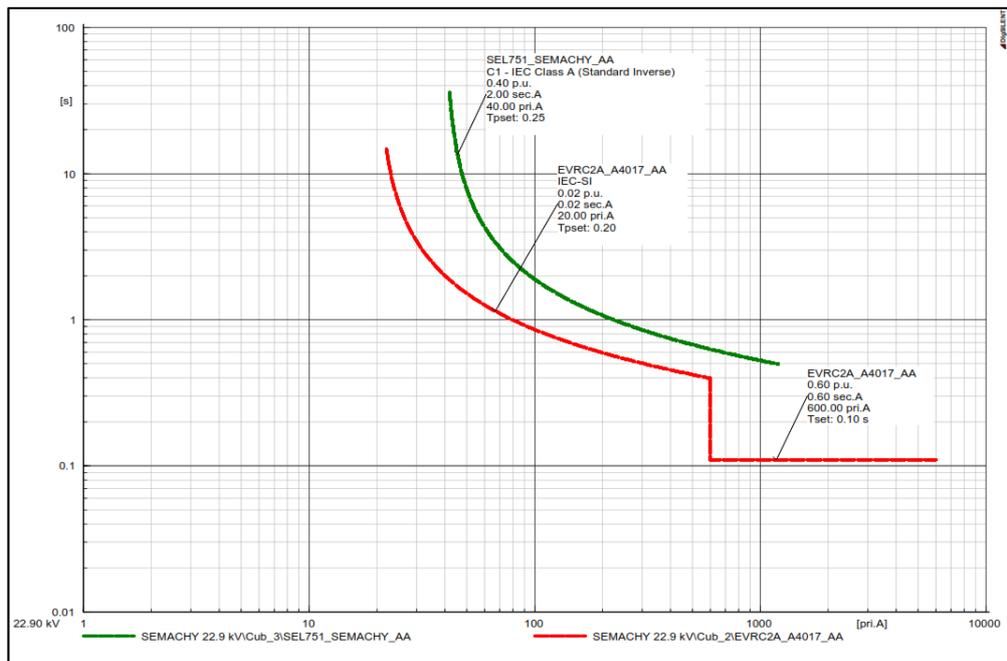


Figura 27. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4017 (ramal 1)

E) Coordinación de tierra en A4022 – Ramal SEL751 SEMACHY y CHK_A4022

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección CHK_A4022 Actual y el dispositivo de respaldo SEMACHY_Actual en la SET Machacuay.

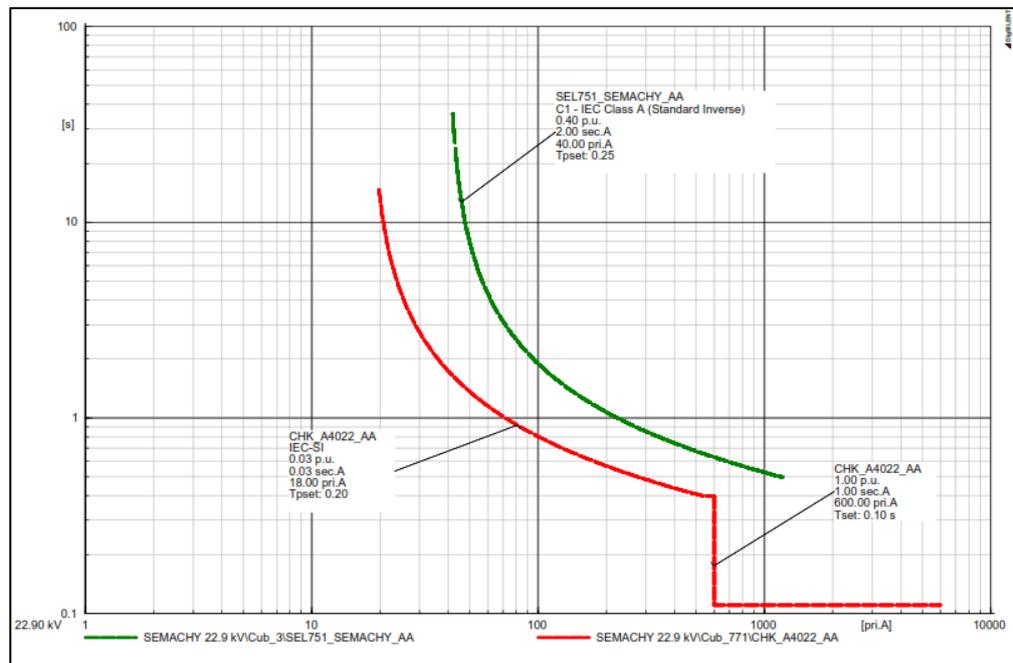


Figura 28. Ajuste de los dispositivos de protección de tierra del A4022 (ramal 1)

4.2.4. Resultados de propuesta protección

4.2.4.1. Protección de fases 50/51

A) Coordinación de fase en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY y FTUR200_A4013

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

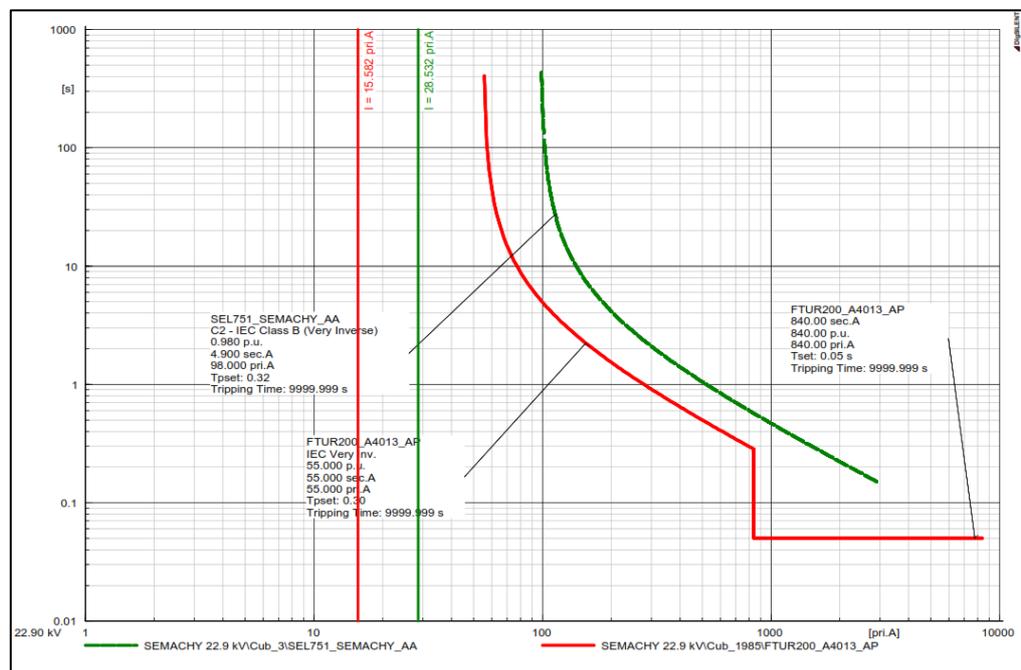


Figura 29. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 1)

B) Coordinación de fase en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4013, FTUR200_REC-02 y seccionamiento I400130 habilitado para coordinación

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto, FTUR200_REC-02, respaldo SEMACHY propuesto y seccionamiento I400130 habilitado.

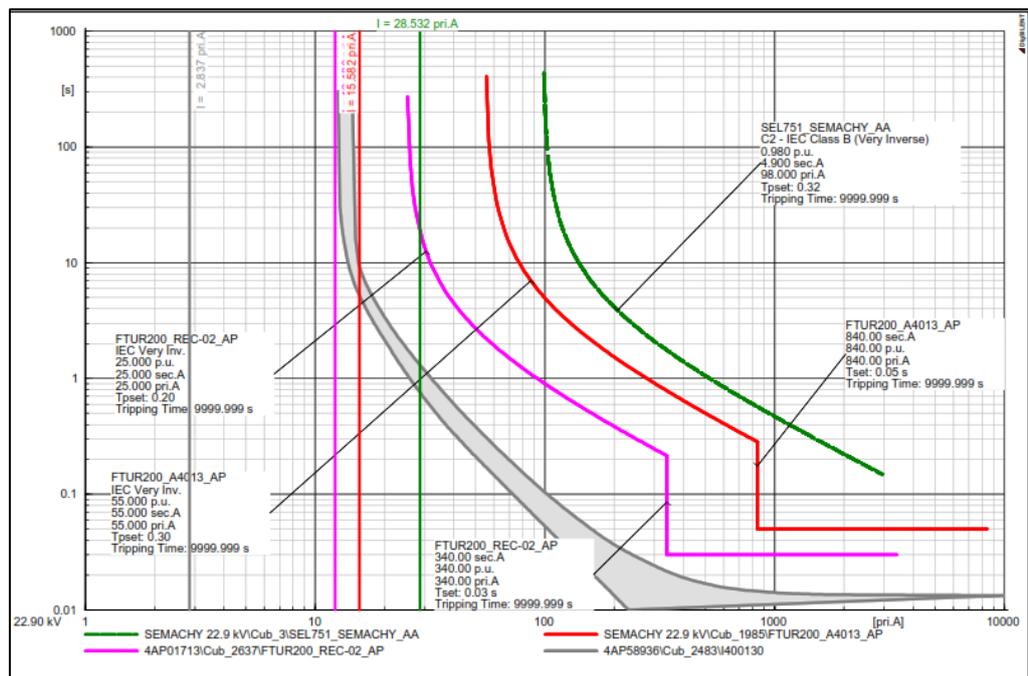


Figura 30. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 2)

C) Coordinación de fase en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4013 y FTUR200_REC-03

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto, FTUR200_REC-03 y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

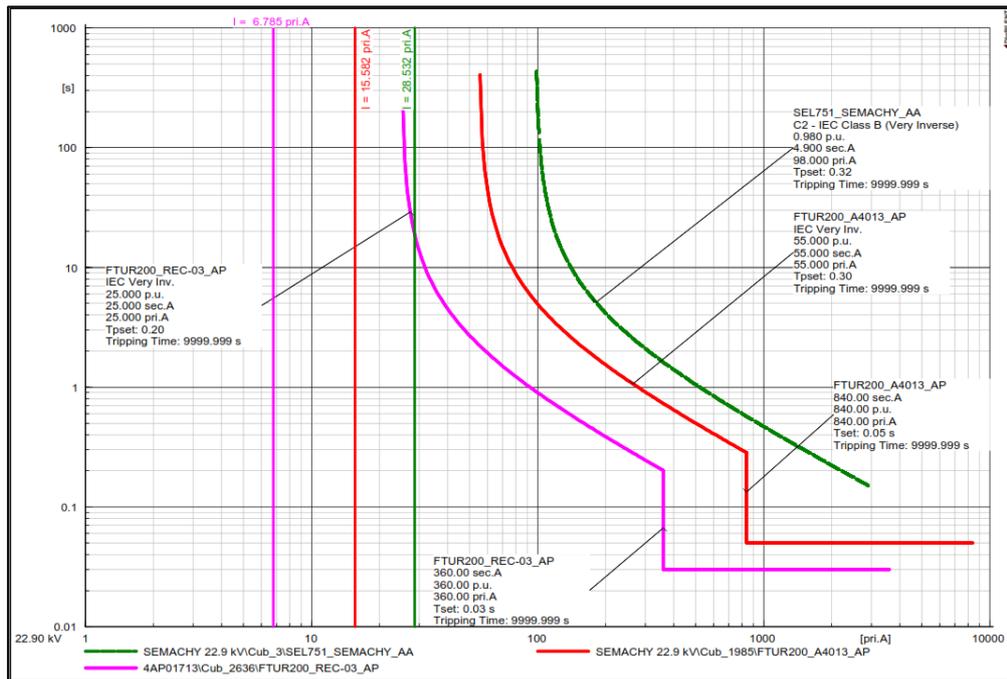


Figura 31. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 3)

D) Coordinación de fase en A4017 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4017

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4017 propuesto y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

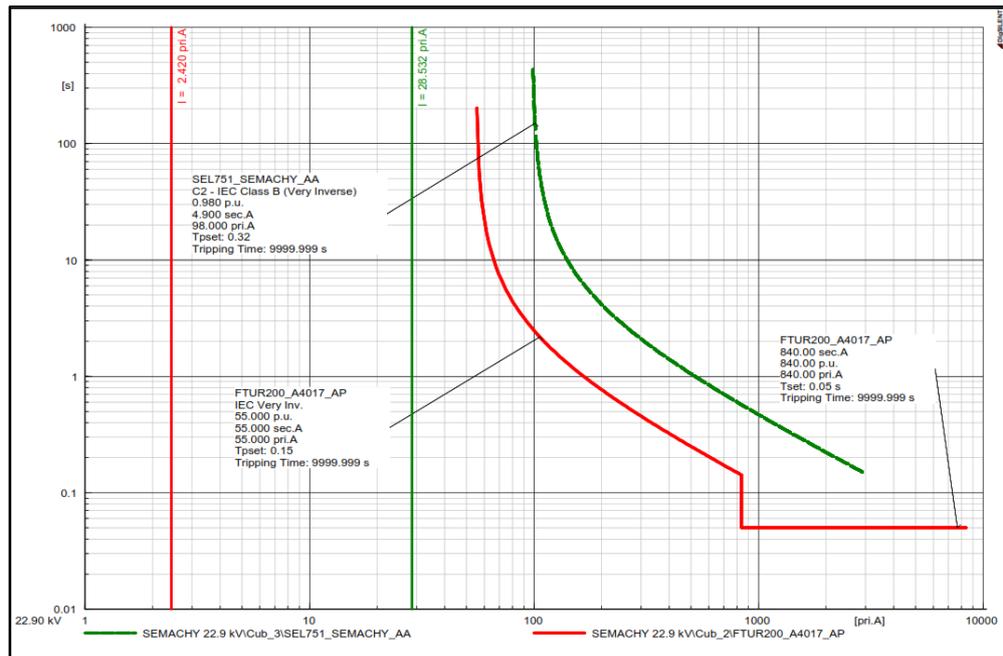


Figura 32. Coordinación de protección de fases A4017 (ramal 1)

E) Coordinación de fase en A4017 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4017 y FTUR200_REC01 y el seccionamiento I410235.

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4017 propuesto, FTUR200_REC01 y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

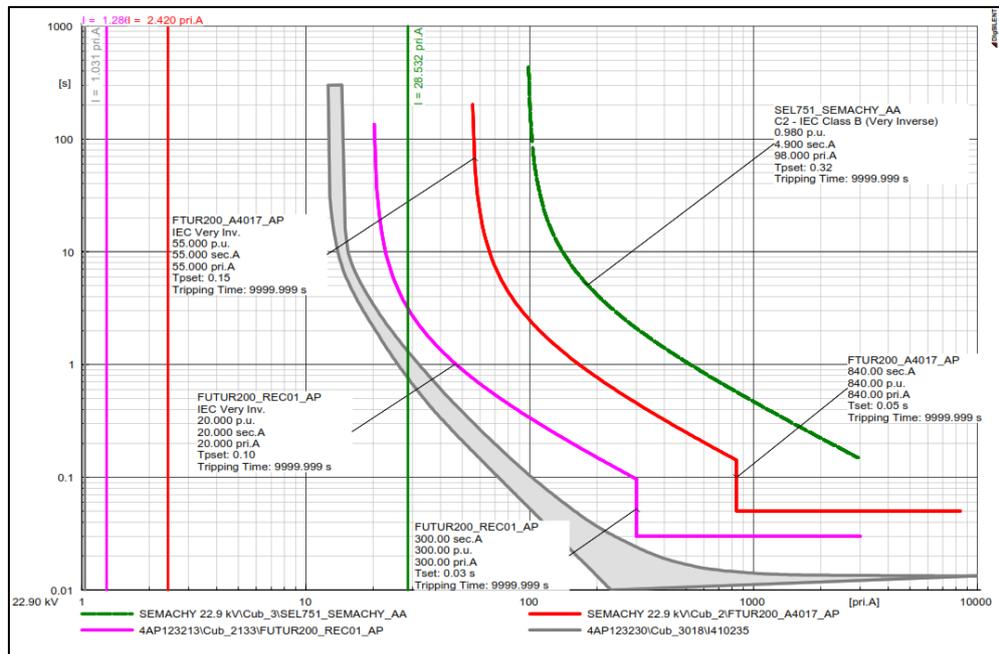


Figura 33. Coordinación de protección de fases A4013 (ramal 2)

F) Coordinación de fase en A4022 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY y FTUR200_A4022

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4022 propuesto, y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

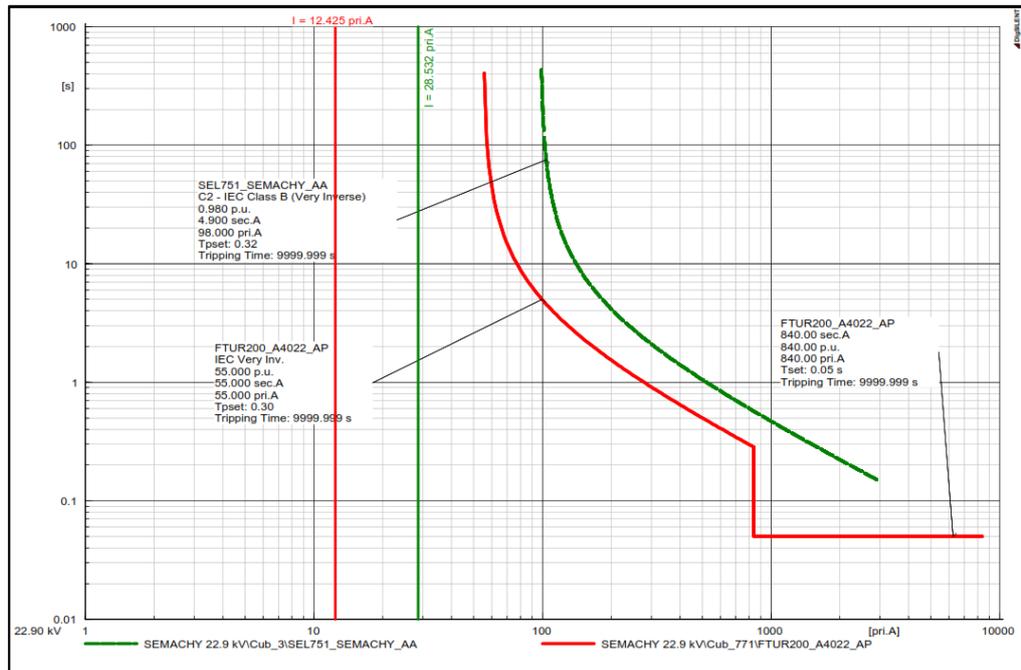


Figura 34. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 1)

G) Coordinación de fase en A4022 propuesta– Ramal FTUR200_A4022 y FTUR200_REC01, FTUR200_REC02 y seccionamiento I400454 habilitado para coordinación

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4022 propuesto, FTUR200_REC01, FTUR200_REC02 y el seccionamiento I400454 propuesto para coordinación.

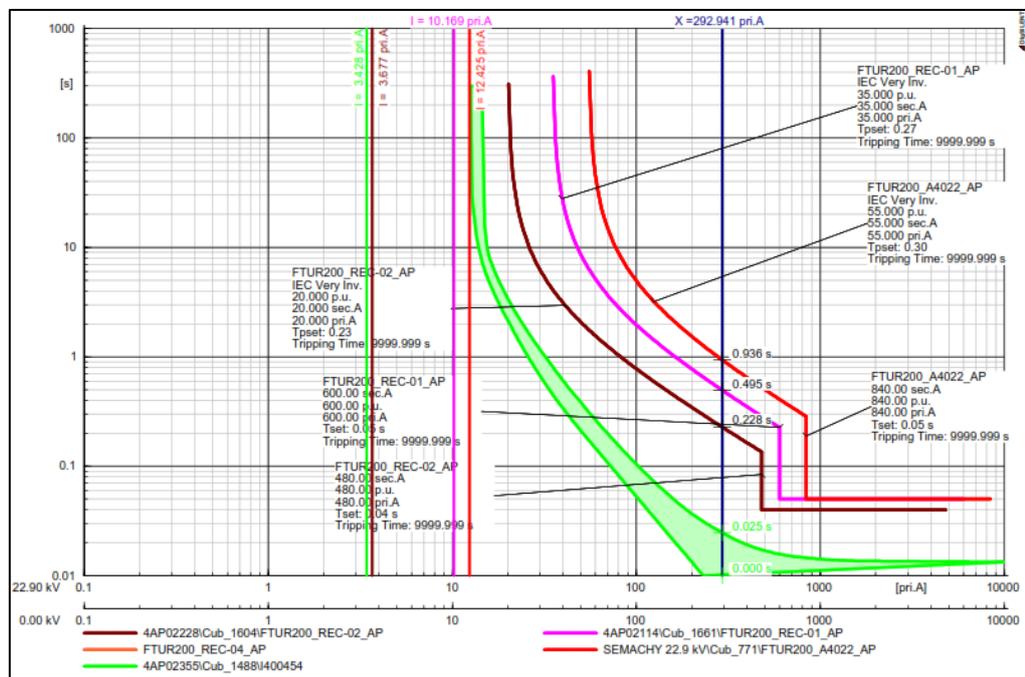


Figura 35. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 2)

H) Coordinación de fase en A4022 propuesta– Ramal FTUR200_A4022 y FTUR200_REC01, FTUR200_REC03, FTUR200_REC04 Y FTUR200_REC05

Ajustes de protección de fases de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4022 propuesto, FTUR200_REC01, FTUR200_REC03, FTUR200_REC04 Y FTUR200_REC05.

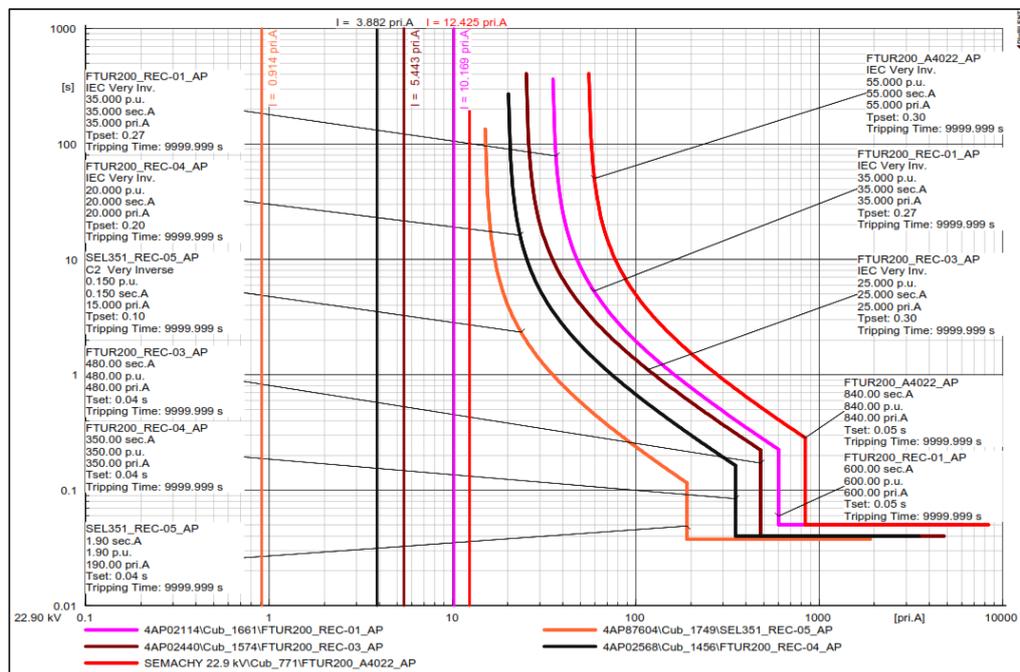


Figura 36. Coordinación de protección de fases A4022 (ramal 3)

4.2.4.2. Protección de tierra 50N/51N

A) Coordinación de tierra en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY y FTUR200_A4013

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

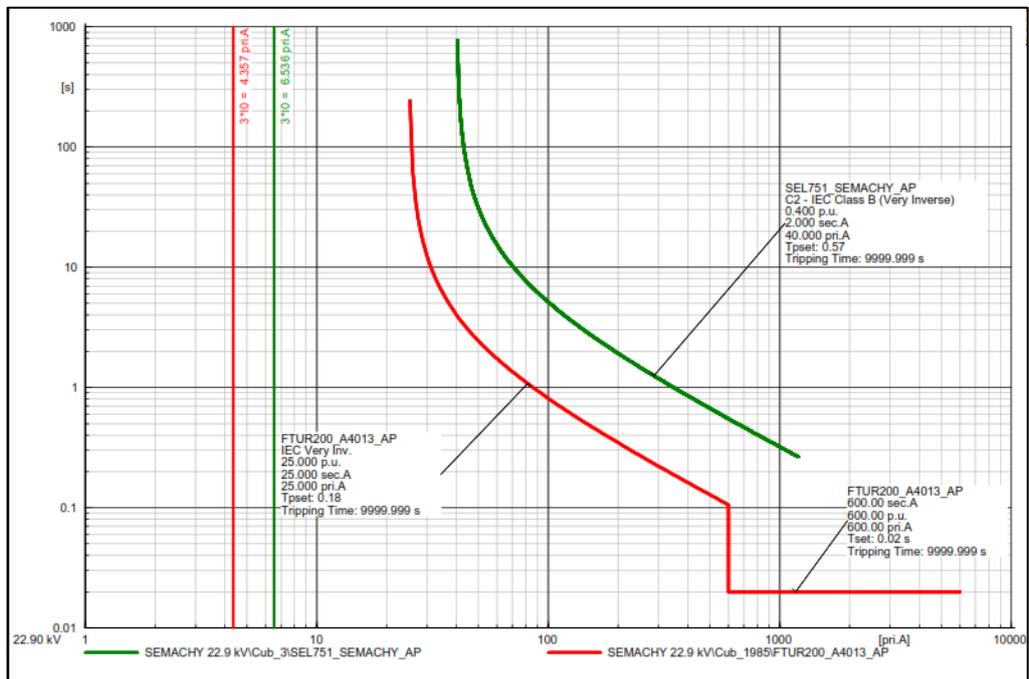


Figura 37. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 1)

B) Coordinación de tierra en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4013 y FTUR200_REC-02

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto, FTUR200_REC-02 y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

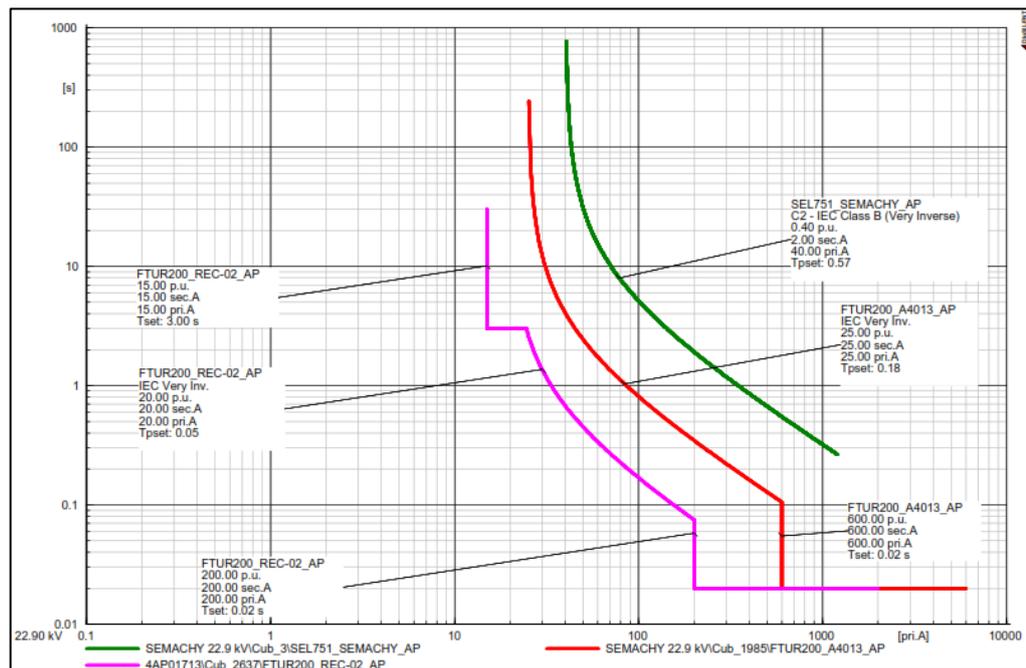


Figura 38. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 2)

C) Coordinación de tierra en A4013 propuesta– Ramal SEL751 SEMACHY, FTUR200_A4013 y FTUR200_REC-03

Ajustes de protección de tierra de los dispositivos de protección del alimentador A4013, indicando la corriente nominal medida en el dispositivo de protección, la siguiente figura muestra la coordinación del equipo de protección FTUR200_A4013 propuesto, FTUR200_REC-03 y el dispositivo de respaldo SEMACHY propuesto en la SET Machacuay.

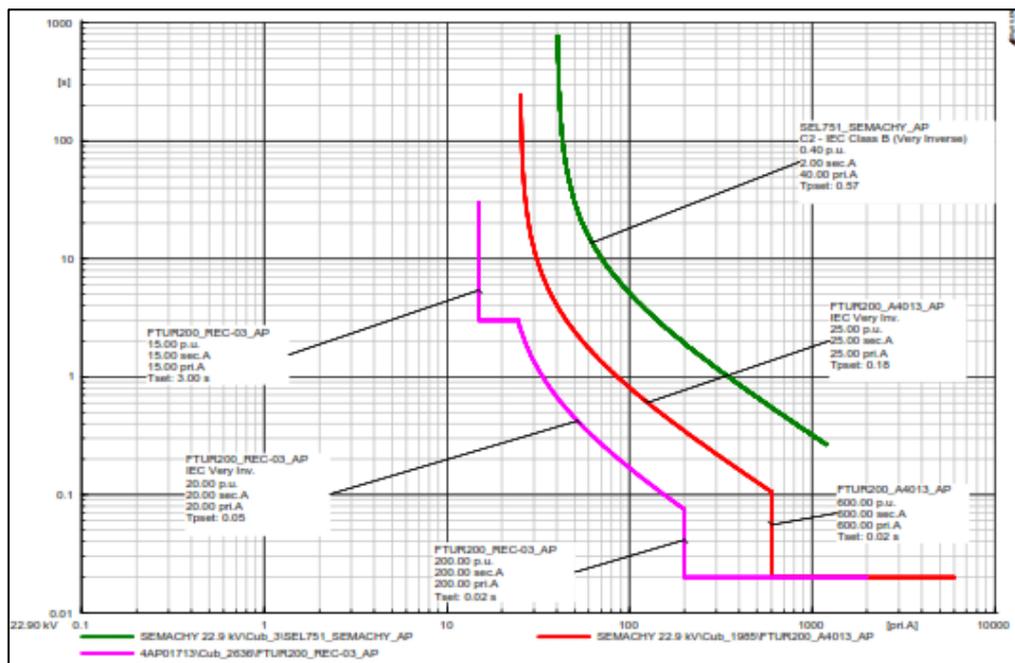


Figura 39. Coordinación de protección de tierra A4013 (ramal 3)

4.2.5. Ajustes de protección actual y propuesta

A continuación, se muestran los ajustes de protección de fases de los dispositivos actuales y propuestos.

Tabla 14. Ajustes de protección de fases de los dispositivos actuales y propuestos

AMT/SET	Protection Device	Model	CT	Stage	Current	Current	Current	Time	Characteristic
				(Phase)	[p.u.]	[pri.A]	[sec.A]		
RELE EN BARRA 22.9KV	SEL751_SEMACHY_AA	SEL 751-5A	100A/5A	[51]	0.98	98	4.9	0.32	IEC-VI
	SEL751_SEMACHY_AP	SEL 751-5A	100A/5A	[51]	0.98	98	4.9	0.3	IEC-VI
RELE EN A4013	CHK_A4013_AA	ENTEC EVRC2A	600A/1A	[51]	0.08	48	0.08	0.3	IEC-VI
	EVRC2A_REC-02_AA	ENTEC EVRC2A	400A/1A	[51]	0.07	28	0.07	0.2	IEC-VI
RECLOSERS EN A4013 (PROPUESTO)	EVRC2A_REC-03_AA	ENTEC EVRC2A	400A/1A	[51]	0.07	28	0.07	0.2	IEC-VI
	FTUR200_A4013_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	55	55	55	0.3	IEC-VI
			1A/1A	[50]	840	840	840	0.05	Definite
	FTUR200_REC-02_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	25	25	25	0.2	IEC-VI
			1A/1A	[50]	340	340	340	0.03	Definite
	FTUR200_REC-03_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	25	25	25	0.2	IEC-VI
RELE EN A4017	EVRC2A_A4017_AA	ENTEC EVRC2A	1000A/1A	[51]	0.05	50	0.05	0.3	IEC-VI
	FTUR200_A4017_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	55	55	55	0.15	IEC-VI
RECLOSERS EN A4017 (PROPUESTO)			1A/1A	[50]	840	840	840	0.05	Definite
	FUTUR200_REC01_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	20	20	20	0.1	IEC-VI
			1A/1A	[50]	300	300	300	0.03	Definite
RELE EN A4022	CHK_A4022_AA	ENTEC EVRC2A	600A/1A	[51]	0.08	48	0.08	0.3	IEC-VI
RECLOSERS EN A4022 (PROPUESTO)	FTUR200_A4022_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	55	55	55	0.34	IEC-VI
			1A/1A	[50]	840	840	840	0.05	Definite
	FTUR200_REC-01_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	35	35	35	0.27	IEC-VI
			1A/1A	[50]	600	600	600	0.05	Definite
	FTUR200_REC-02_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	20	20	20	0.23	IEC-VI
			1A/1A	[50]	480	480	480	0.04	Definite
	FTUR200_REC-03_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	25	25	25	0.3	IEC-VI
			1A/1A	[50]	480	480	480	0.04	Definite
	FTUR200_REC-04_AP	FTUR200	1A/1A	[51]	20	20	20	0.2	IEC-VI
			1A/1A	[50]	350	350	350	0.04	Definite
	SEL351_REC-05_AP	SEL 351-1A-150V	100A/1A	[51]	15	0.15	0.15	0.1	IEC-VI
			100A/1A	[50]	190	1.9	1.9	0.04	Definite

A continuación, se muestran los ajustes de protección de tierra de los dispositivos actuales y propuestos.

Tabla 15. Ajustes de protección de tierra de los dispositivos actuales y propuestos

AMT/SET	Protection Device	Model	CT	Stage (Earth)	Current [p.u.]	Current [pri.A]	Current [sec.A]	Time	Characteristic
RELE EN BARRA 22.9KV	SEL751_SEMACHY_AA	SEL 751-5A	100A/5A	[51N]	0.4	40	2	0.25	IEC-SI
	SEL751_SEMACHY_AP	SEL 751-5A	100A/5A	[51N]	0.4	40	2	0.57	IEC-VI
RELE EN A4013	CHK_A4013_AA	ENTEC EVRC2A	600A/1A	[51N]	0.03	18	0.03	0.2	IEC-SI
				[50N]	1	600	1	0.1	Definite
	EVRC2A_REC-02_AA	ENTEC EVRC2A	400A/1A	[51N]	0.03	12	0.03	0.12	IEC-SI
	EVRC2A_REC-03_AA	ENTEC EVRC2A	400A/1A	[51N]	0.03	12	0.03	0.12	IEC-SI
RECLOSERS EN A4013 (PROPUESTO)	FTUR200_A4013_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	25	25	25	0.18	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	600	600	600	0.02	Definite
	FTUR200_REC-02_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	20	20	20	0.05	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	200	200	200	0.02	Definite
	FTUR200_REC-03_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	20	20	20	0.05	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	200	200	200	0.02	Definite
				[50]	15	15	15	3	Definite
RELE EN A4017	EVRC2A_A4017_AA	ENTEC EVRC2A	1000A/1A	[51N]	0.02	20	0.02	0.2	IEC-SI
				[50N]	0.6	600	0.6	0.1	Definite
RECLOSERS EN A4017 (PROPUESTO)	FTUR200_A4017_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	25	25	25	0.2	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	600	600	600	0.02	Definite
	FUTUR200_REC01_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	20	20	20	0.05	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	200	200	200	0.02	Definite
				[50N]	15	15	15	3	Definite
RELE EN A40122	CHK_A4022_AA	ENTEC EVRC2A	600A/1A	[51N]	0.03	18	0.03	0.2	IEC-SI
				[50N]	1	600	1	0.1	Definite
RECLOSERS EN A4022 (PROPUESTO)	FTUR200_A4022_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	35	35	35	0.4	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	630	630	630	0.03	Definite
	FTUR200_REC-01_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	30	30	30	0.32	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	440	440	440	0.03	Definite
				[50N]	20	20	20	3.2	Definite
				[50N]	15	15	15	3	Definite
	FTUR200_REC-02_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	25	25	25	0.2	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	350	350	350	0.03	Definite
				[50N]	15	15	15	2.5	Definite
	FTUR200_REC-03_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	25	25	25	0.25	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	340	340	340	0.03	Definite
				[50]	15	15	15	2.8	Definite
	FTUR200_REC-04_AP	FTUR200	1A/1A	[51N]	20	20	20	0.18	IEC-VI
			1A/1A	[50N]	255	255	255	0.03	Definite
				[50]	13	13	13	2.4	Definite
SEL351_REC-05_AP	SEL 351-1A- 150V	100A/1A	[51N]	10	0.1	0.1	0.08	IEC-VI	
		100A/1A	[50N]	150	1.5	1.5	0.03	Definite	
			[50N]	10	0.1	0.1	2	Definite	

4.3. Prueba de hipótesis

El diseño de la investigación planteada permitió comprobar la hipótesis de investigación y para ello se plantean dos hipótesis:

Hipótesis de la investigación:

H1: al mejorar las protecciones, sí se garantiza la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Hipótesis nula

H1: al mejorar las protecciones, no se garantiza la continuidad del servicio eléctrico en media tensión del sistema eléctrico Machacuay.

Los resultados permiten aceptar la hipótesis de la investigación.

4.4. Discusión de resultados

A continuación, se muestra los tiempos de actuación de los dispositivos de protección de acuerdo con los ajustes propuestos y los equipos nuevos propuestos.

4.4.1. Tiempo de actuación de fases A4013

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4013 y SEL751 SEMACHY es de 0.050 y 0.500 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

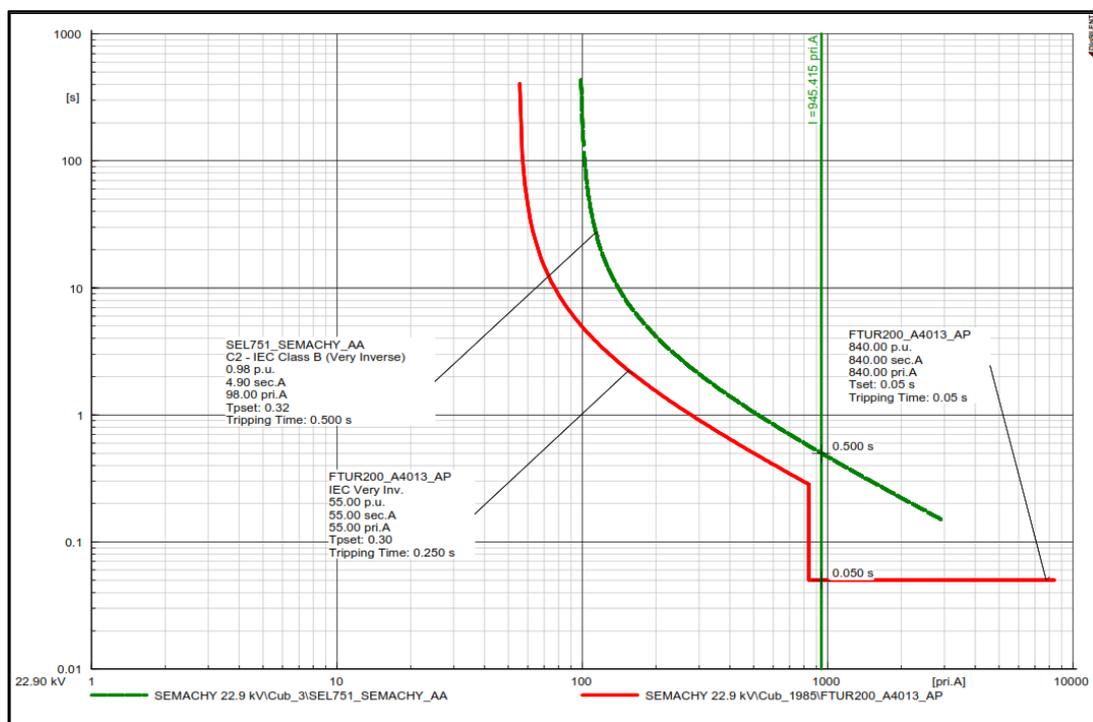


Figura 40. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 1)

Como se muestra en la figura, el tiempo de actuación entre el seccionamiento I400130, FTUR200_A4013, FTUR_REC02 y SEL751 SEMACHY es de 0.010, 0.30, 0.727 y 1.606 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

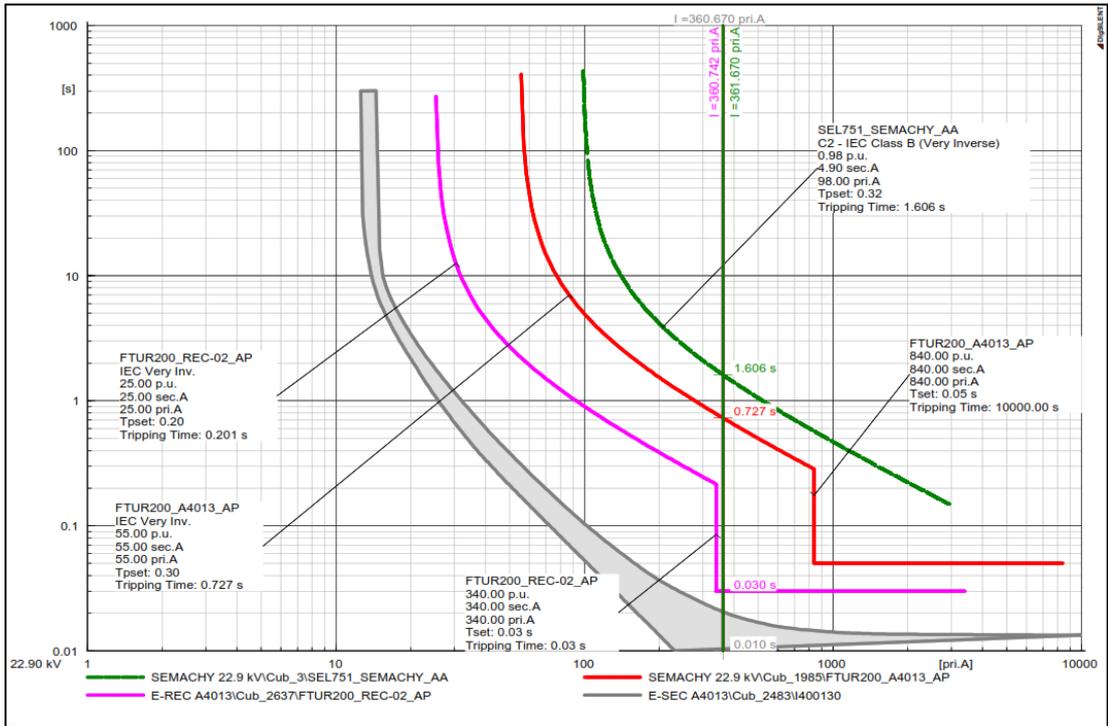


Figura 41. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 2)

Como se muestra en la figura, el tiempo de actuación entre los dispositivos FTUR_REC03, FTUR200_A4013 y SEL751 SEMACHY es de 0.030, 0.620 y 1.336 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

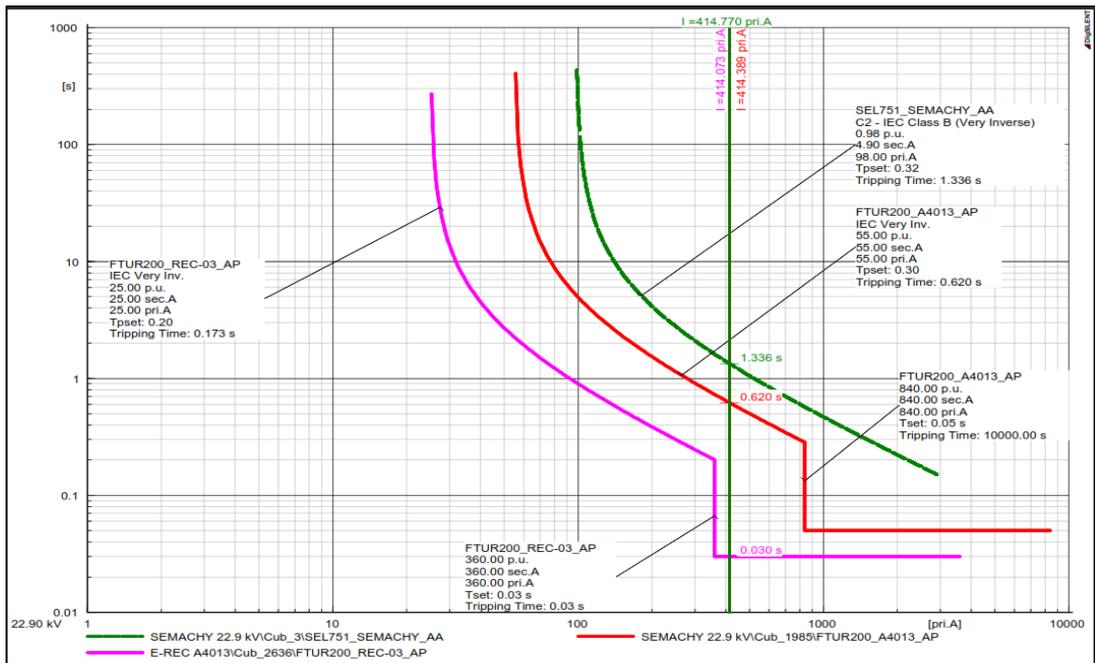


Figura 42. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4013 (ramal 3)

4.4.2. Tiempo de actuación de fases A4017

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre el seccionamiento I410235, FTUR200_A4017, FTUR200_REC01 y SEL751 SEMACHY es de 0.020, 0.243 y 1.186 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

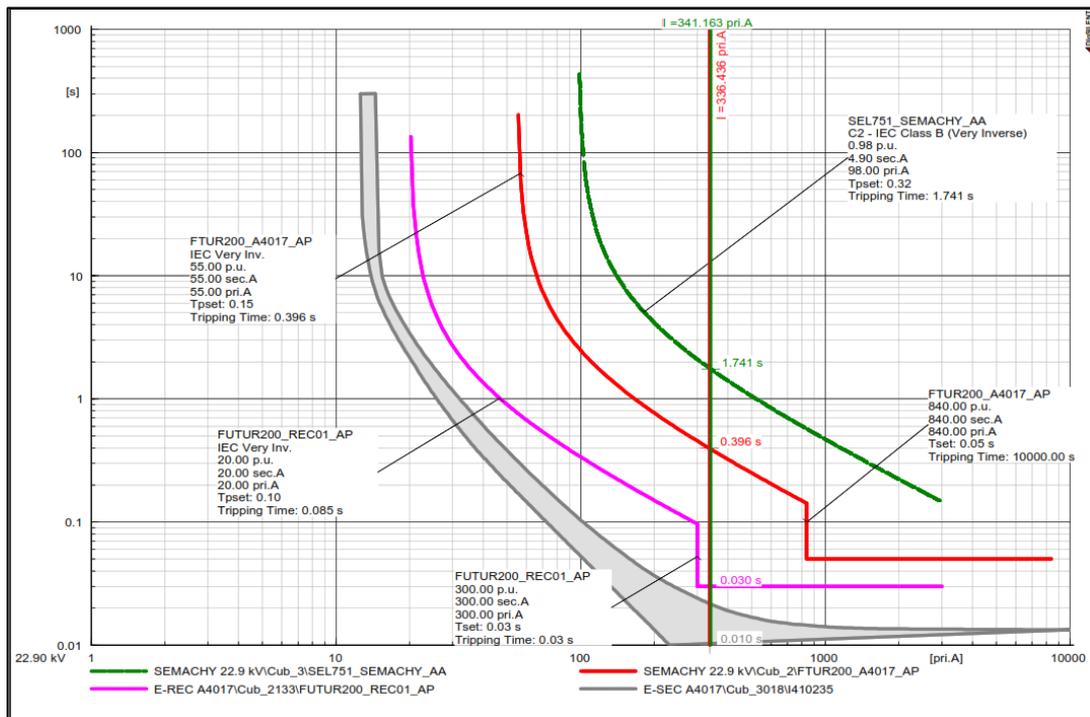


Figura 43. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4017 (ramal 1)

4.4.3. Tiempo de actuación de fases A4022

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4022, y SEL751 SEMACHY es de 0.050 y 0.500 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

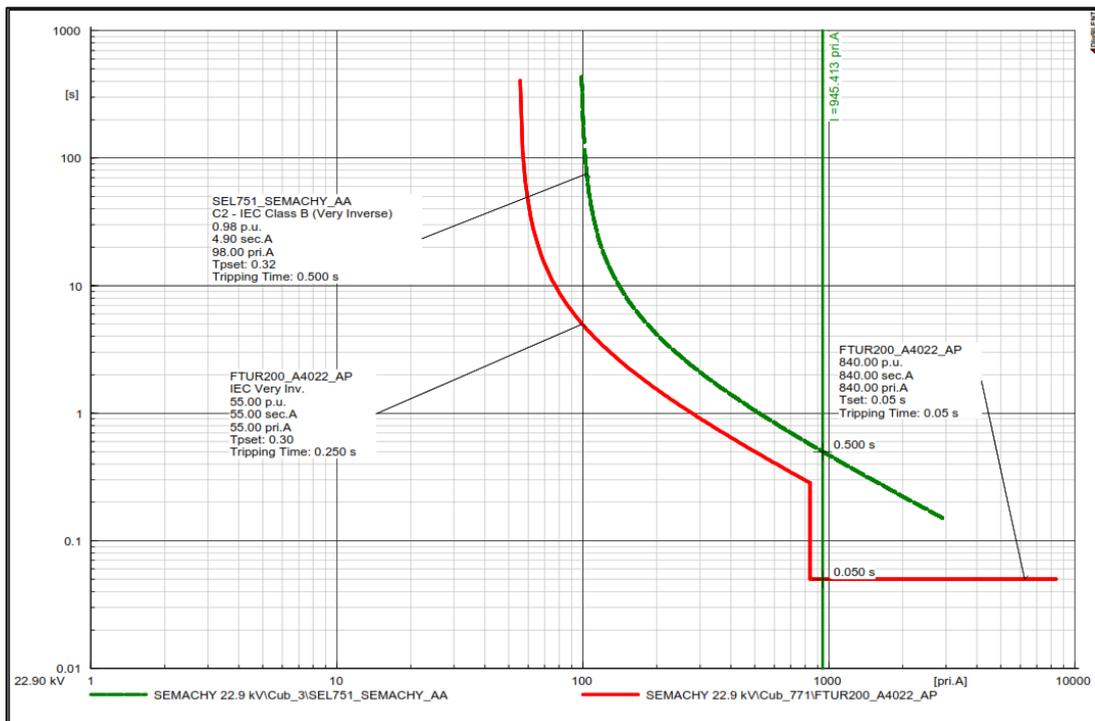


Figura 44. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4022 (ramal 1)

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre el seccionamiento I400454 FTUR200_REC02, FTUR200_REC01, FTUR200_A4022, y SEL751 SEMACHY es de 0.010, 0167, 0357 y 0.659 segundos respectivamente, ante la falla trifásica franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

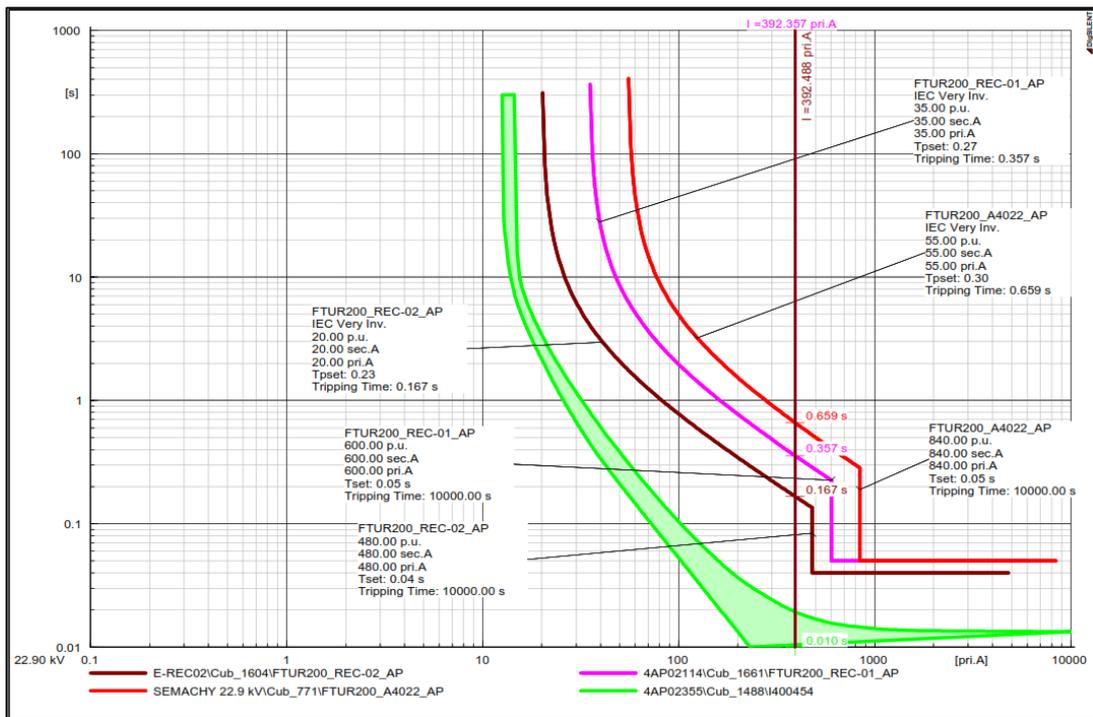


Figura 45. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas A4022 (ramal 2)

4.4.4. Tiempo de actuación de tierra A4013

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4013 y SEL751 SEMACHY es de 0.020 y 0.318 segundos respectivamente ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

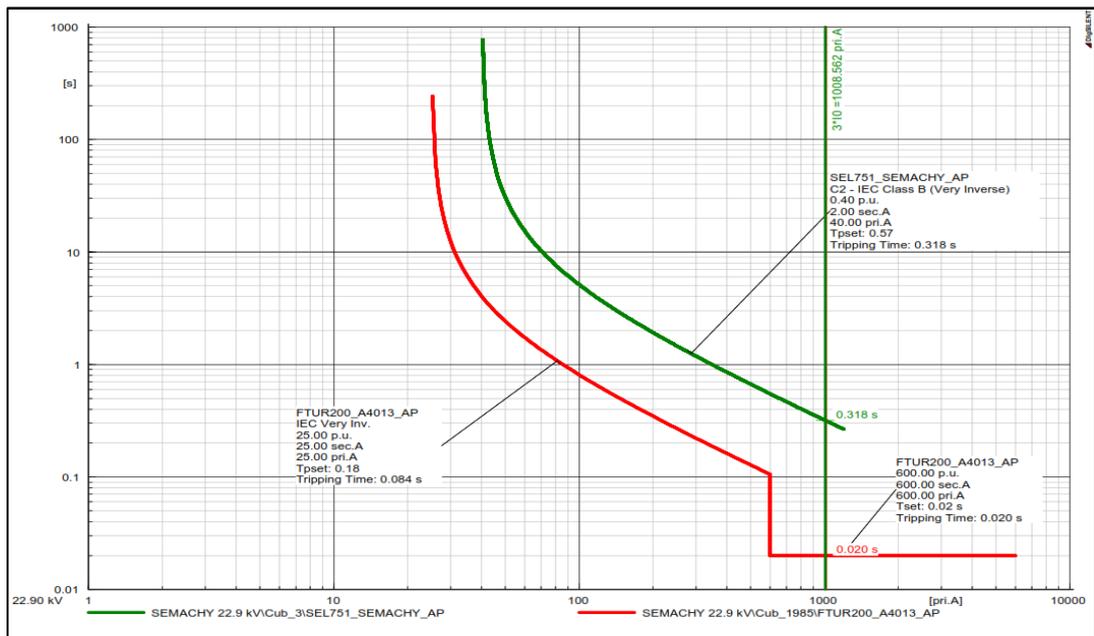


Figura 46. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 1)

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4013, FTUR_REC02 y SEL751 SEMACHY es de 0.020, 0.185 y 0.980 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

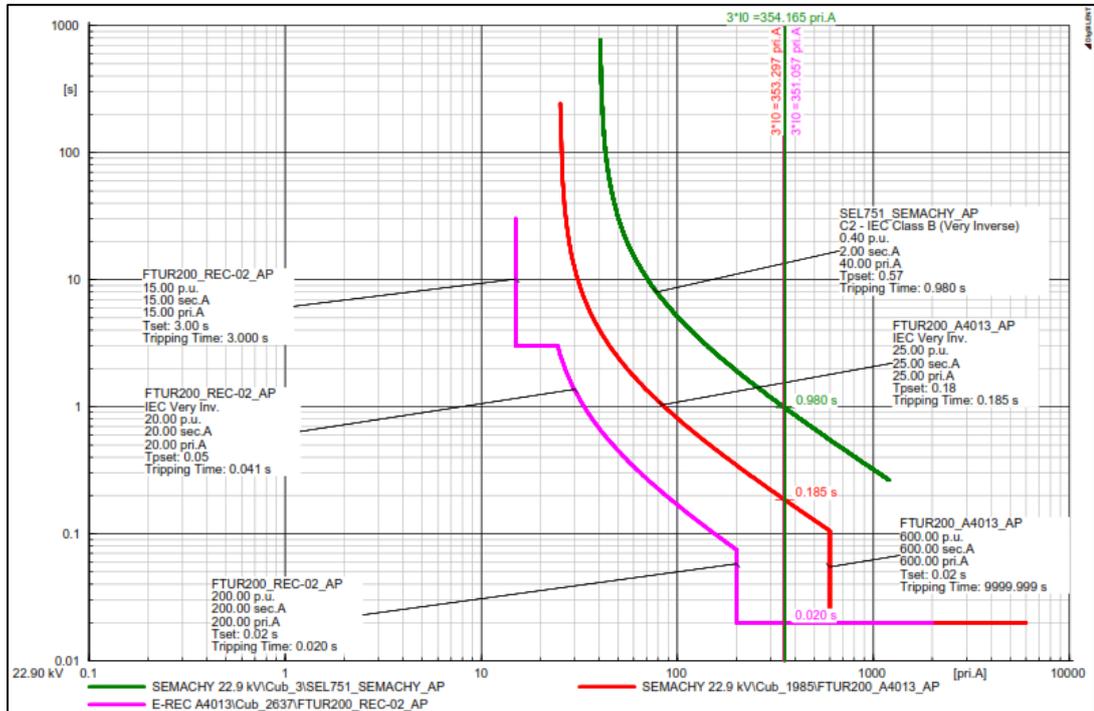


Figura 47. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 2)

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4013, FTUR_REC03 y SEL751 SEMACHY es de 0.020, 0.193 y 1.021 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

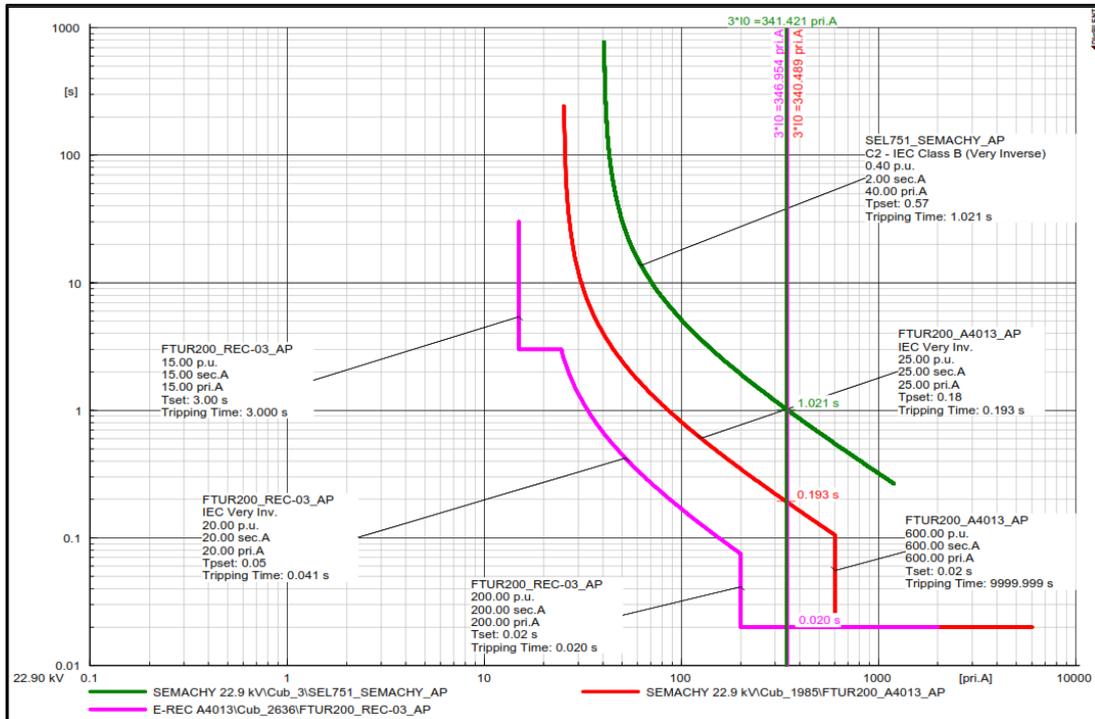


Figura 48. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4013 (ramal 3)

4.4.5. Tiempo de actuación de tierra A4017

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_REC01, FTUR200_A4017 y SEL751 SEMACHY es de 0.020, 0.243 y 1.186 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

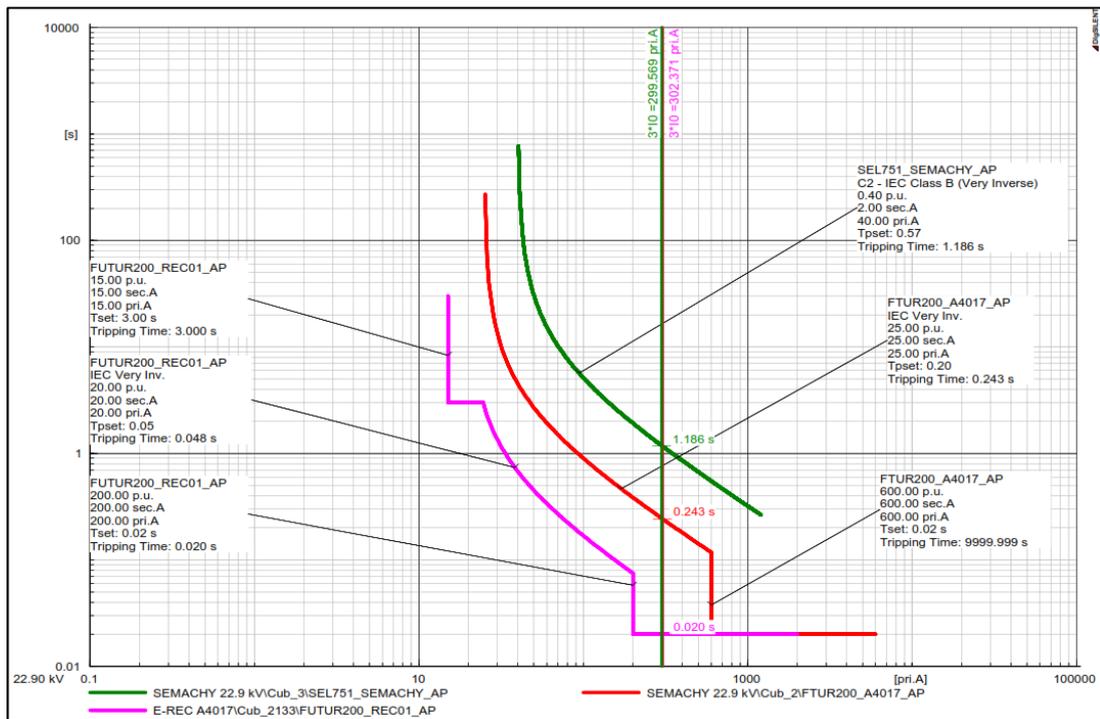


Figura 49. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4017 (ramal 1)

4.4.6. Tiempo de actuación de tierra A4022

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_A4022, y SEL751 SEMACHY es de 0.030 y 0.318 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

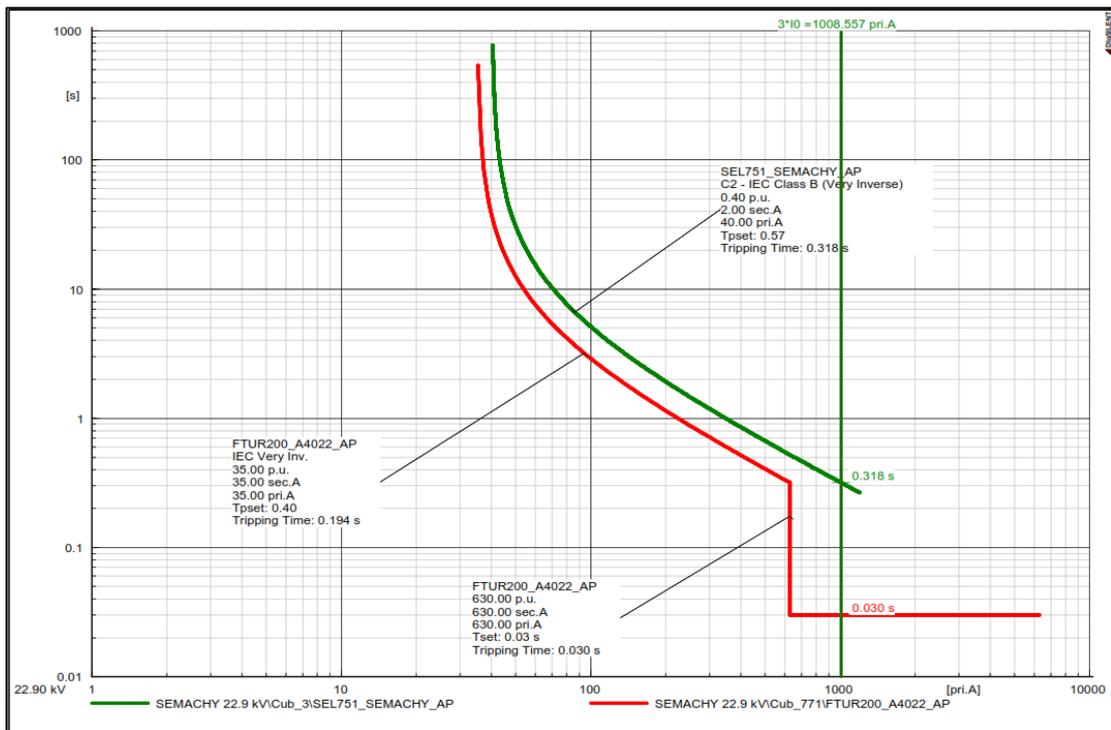


Figura 50. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4022 (ramal 1)

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_REC02, FTUR200_REC01, FTUR200_A4022, y SEL751 SEMACHY es de 0.030, 0362, 0535 y 0.894 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

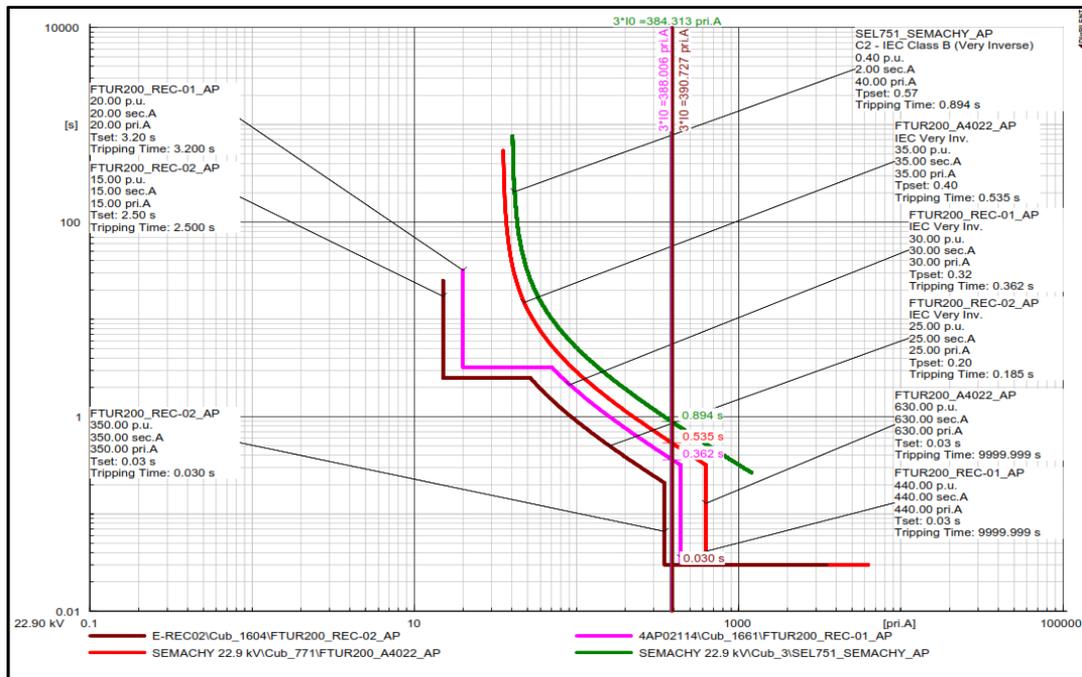


Figura 1. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4022 (ramal 2).

Como se muestra en la siguiente figura, el tiempo de actuación entre los equipos FTUR200_REC05, FTUR200_REC04, FTUR200_REC03 y FTUR200_A4022, y SEL751 SEMACHY es de 0.038, 0.251, 0.482 y 0.633 y 1.216 segundos respectivamente, ante la falla franca más crítica, actuando acorde a los nuevos ajustes.

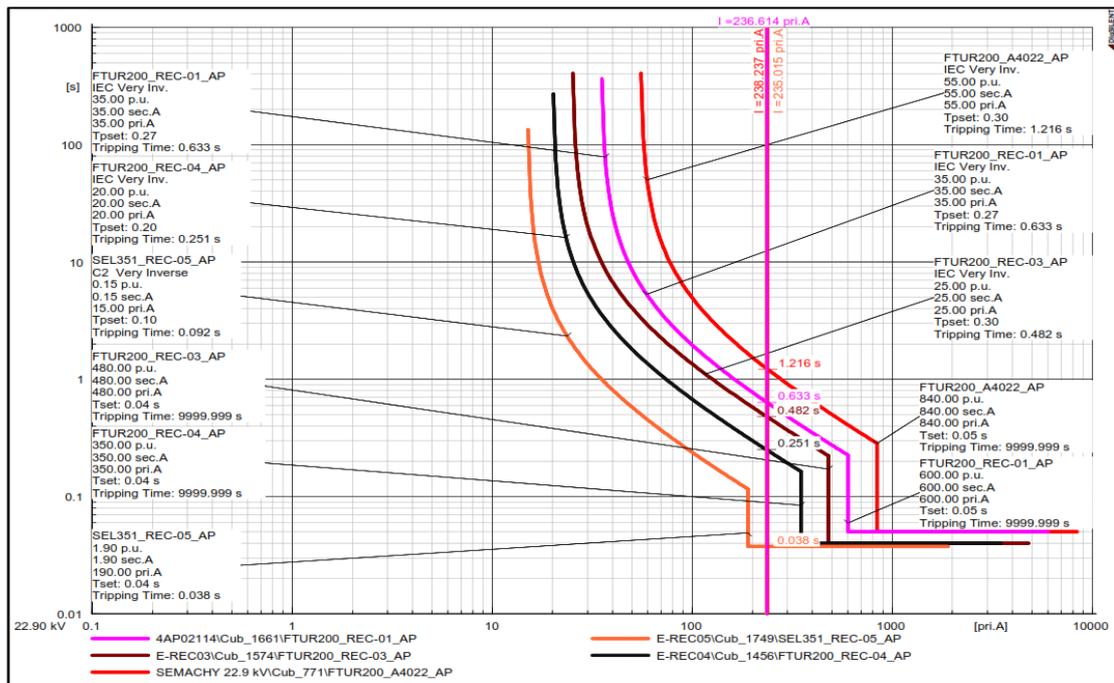


Figura 51. Tiempo de actuación de dispositivos de protección frente a fallas monofásicas A4022 (ramal 3)

CONCLUSIONES

Se concluye que, para mejorar los tiempos de protección de fases y tierra en los alimentadores A4013, A4017 y A4022 se tienen que instalar más equipos de protección como se muestran en las tablas 14 y 15.

La mejora de los tiempos de actuación de los equipos de protección tiene consecuencia directa de minimizar las interrupciones de servicio eléctrico garantizando la continuidad de servicio eléctrico.

Los resultados del flujo de carga evidencian la mejora de la calidad de voltaje eléctrico en el sistema eléctrico en estudio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, para la ubicación de los equipos de protección, realizar un algoritmo en el programa Digsilent y tener una solución óptima.

Se recomienda realizar un análisis de armónicos y barrido de frecuencia, para determinar la calidad de energía del sistema eléctrico.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **CORTÉS DIAZ, Katherine.** *Selección y coordinación de las protecciones eléctricas de los alimentadores primarios Norte, Sur y Juan de Salinas de la subestación San Cayetano.* s.l. : Universidad Nacional de Loja, 2015. Tesis de grado.
2. **MORALES MEJÍA, Miguel, CAMPOVERDE OLLAGUE, José y HOOVER, Andrés.** *Estudio para la coordinación de protecciones mediante selectividad lógica para los centros de fuerza de la central Molino, presa Daniel Palacios y central Mazar de la empresa Celec Hidr.* 2012.
3. **ZAPATA VERDEZOTO, Damián José.** *Óptima coordinación de protecciones en alimentadores con generación distribuida para maximizar la confiabilidad mediante MINLP.* 2018.
4. **HERRERA DOMÍNGUEZ, Alex.** *Estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador MT Hidrandina.* s.l. : La Libertad, 2015.
5. **ROQUE PAUCAR, Wilson Iván.** *Protección y coordinación del sistema eléctrico rural de media tensión en 22,9 kV, para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica del distrito de Ichuña – provincia General Sánchez Cerro – región Moquegua, año 2016.* 2018.
6. **RAMOS QUISPE, Félix Roy.** *Estudio de coordinación de la protección del sistema eléctrico Cerro Verde.* Universidad Nacional de Ingeniería. 2013.
7. **MAYTA, Alberto Carlos.** *Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro. Tesis.* 2019. 2019.
8. **QUINTANA QUINTANA, C.** *Optimización de la protección eléctrica para minimizar las interrupciones en el tramo del eje Matahuasi - Quebrada Honda.* 2021.
9. **MUCHA CANALES, José Rubén.** *Coordinación de protección para el sistema eléctrico Trujillo Sur, El Porvenir, Moche y Salaverry.* Universidad Nacional del Centro del Perú. 1995.
10. **COES SINAC.** *Criterios de ajuste y coordinación del SEIN.* 2014. págs. 1–87.
11. **BROKERING, Christie; PALMA BEHNKE, Walter; VARGAS DÍAZ, Luis Rodrigo.** *Sistemas Eléctricos de Potencia,* Chile : Ñom Lufke, 2008. ISBN 9781119130536.

12. **GÓMEZ BASTAR, Sergio.** *Metodología de la Investigación.* 2012. ISBN 9788578110796.
13. **BORJA SUÁREZ, Manuel.** *Metodología de la investigación para Ingeniería.* 2016.
14. **BERNAL TORR, Augusto Bernal.** *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* 2010. ISBN 9789586991285.