



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

#### **MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

**Calibración de las Protecciones Eléctricas de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad  
mención Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autores:**

Caizapanta Tapia Freddy Estalin

Caizapanta Tapia Jefferson Alejandro

**Tutor:**

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, MSc

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022**

## AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**Calibración de las Protecciones Eléctricas de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón**” presentado por **CAIZAPANTA TAPIA FREDDY ESTALIN** y **CAIZAPANTA TAPIA JEFFERSON ALEJANDRO**, para optar por el título magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

## CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre 2022.



.....

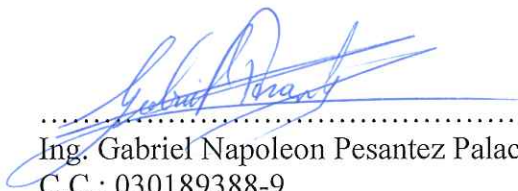
Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

CC. 050265642-4

## AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: **“Calibración de las Protecciones Eléctricas de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón”**., ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención en Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que los estudiantes puedan presentarse a la exposición y defensa.

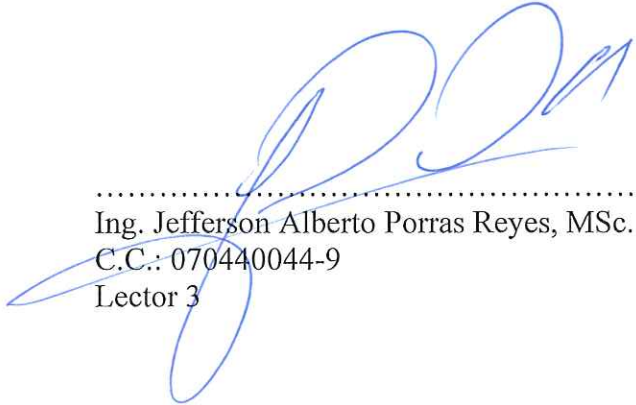
Latacunga, noviembre 2022



.....  
Ing. Gabriel Napoleon Pesantez Palacios, MSc.  
C.C.: 030189388-9  
Presidente del tribunal



.....  
Ing. Wilian Patricio Guaman Cuenca, MSc.  
C.C.: 060357895-6  
Lector 2



.....  
Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes, MSc.  
C.C.: 070440044-9  
Lector 3

## **DEDICATORIA**

La mejor herencia siempre será la preparación académica, este objetivo cumplido se lo dedicamos a DIOS, y a nuestros padres.

A nuestros amados padres Luis Caizapanta y Beatriz Tapia, quienes han sido ese pilar fundamental de apoyo constante e incondicional, siempre serán nuestro mayor orgullo y ejemplo de vida.

“Dedicado a mi familia, y a mis seres queridos. Mi hermano, colega y amigo Jefferson que por segunda ocasión cumplimos una nueva meta académica juntos, gracias por no dejarme atrás y empujarme a culminar este objetivo. A mi amada compañera Paola Muñoz, llegó en la etapa final de mi posgrado, pero siempre me alentó a finalizar lo que empecé, nunca dejar nada a medias”.

***FREDDY***

“Dedicado a mi familia, y a mis seres queridos. Mi hermano, colega y amigo Freddy que por segunda ocasión cumplimos una nueva meta académica juntos, esperemos seguir nuestra vida profesional de la mejor manera. A mi enamorada Sandry Yépez, quien me acompañó en este largo camino con su apoyo incondicional”.

***JEFFERSON***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por la vida, la salud y por todas las bendiciones que nos ha regalado cada día, por mantener a mi familia unida y poder celebrar este nuevo logro que hemos alcanzado juntos, haber alcanzado nuestros estudios de cuarto nivel.

Agradecimiento a la universidad, docentes y compañeros que formaron parte de esta meta, las enseñanzas y aprendizajes serán parte de nuestra vida profesional, que sean días mejores para todos.

***FREDDY Y JEFFERSON***

## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

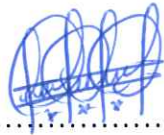
Quienes suscriben, declaran que asumen la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre 2022.



.....  
Ing. Freddy Estalin Caizapanta Tapia

C.C.: 171835890-4



.....  
Ing. Jefferson Alejandro Caizapanta Tapia

C.C.: 171835889-6

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quienes suscriben, ceden los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre 2022.



.....  
Ing. Freddy Estalin Caizapanta Tapia

171835890-4




.....  
Ing. Jefferson Alejandro Caizapanta Tapia

171835889-6

## AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **“Calibración de las Protecciones Eléctricas de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón”**, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre 2022.



.....

Ing. Gabriel Napoleon Pesantez Palacios, MSc.

C.C.: 030189388-9



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**  
**MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Título:** CALIBRACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LA SUBESTACIÓN SARAPULLO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO TOACHI – PILATÓN.

**Autores:**

Ing. Caizapanta Tapia Freddy Estalin  
Ing. Caizapanta Tapia Jefferson Alejandro

**Tutor:**

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, MSc

**RESUMEN**

Un sistema eléctrico que no cuente con un estudio de coordinación de protecciones eléctricas puede verse afectado y no garantizar un correcto funcionamiento, por tal razón en el proyecto de investigación se obtuvo la coordinación de las protecciones eléctricas de sobrecorriente de la S/E Sarapullo - PHTP, la cual se encuentra localizada entre las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi. La Subestación Sarapullo recibe la generación por medio de barras RIP, una potencia de 3 hidro generadores de 16,15 [MW] cada uno a nivel 13.8kV desde Casa de Máquinas Sarapullo, también entregara energía a la S/E La Palma y a un patio de maniobras donde existe un transformador elevador de 13.8/230 kV para entregar a una L/T de 230 kV que llegará a la S/E Alluriquín donde se conectara a las líneas Santa Rosa y Santo Domingo del Sistema Nacional Interconectado (SNI). Se consideraron las características eléctricas del sistema como punto de partida para la modelación y coordinación de las protecciones eléctricas de la S/E Sarapullo, para el cálculo de corriente de corto circuito se aplicó la norma IEC 60909. Utilizando la información entregada por el cliente, obtenemos el equivalente de red aguas arriba de la subestación Sarapullo para focalizar el tema de investigación sin dejar de lado todos los parámetros que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón y el SNI. La S/E Sarapullo trabaja a niveles de 13.8/230 kV para los cuales se obtuvo la corriente nominal en el que se encontrará operando los relés, para el ajuste de los relés de protección se consideró un 20% más de la corriente nominal. En la coordinación de las protecciones eléctricas se consideró corrientes de corto circuito máximas y mínimas para fallas monofásicas y trifásicas. Los relés empleados en el proyecto son numéricos RED670, REL650, RET670 y REF615, el margen de tiempo de discriminación entre curvas fue de 250 ms con una tolerancia de +/- 50ms. En su mayoría se utilizaron curvas IEC Inverse para el ajuste de fallas monofásicas y trifásicas, para la protección del transformador de potencia se usó protecciones bidireccionales. Se cumple con la hipótesis planteada y se entregan los resultados para que sean implementados en S/E Sarapullo previo a la puesta en servicio.

**PALABRAS CLAVE:** Coordinación, Subestación, Protecciones, Sobrecorriente, Falla Monofásica, Falla Trifásica, PowerFactory.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**POSTGRADUATES MANAGEMENT**  
**MASTER IN ELECTRICITY**  
**MENTION ELECTRICAL POWER SYSTEMS**

**Title:** “CALIBRATION OF THE ELECTRICAL PROTECTIONS OF THE SARAPULLO SUBSTATION OF THE TOACHI - PILATÓN HYDROELECTRIC PROJECT”.

**Author:**

Ing. Caizapanta Tapia Freddy Estalin  
Ing. Caizapanta Tapia Jefferson Alejandro

**Tutor:**

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, MSc

**ABSTRACT**

An electrical system that does not have a coordination study of electrical protections can be affected and may not guarantee a correct operation. For this reason, in this research project, the coordination of the overcurrent electrical protections of the S/E Sarapullo - PHTP was overcurrent electrical protections of the S/E Sarapullo - PHTP, which is in the provinces of located between the provinces of Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas and Cotopaxi. The Sarapullo Substation receives generation through RIP bars, a power of 3 hydro generators of 16.15 [MW] each at 13.8kV level from the Sarapullo Power House, the Sarapullo Powerhouse will also deliver power to the La Palma S/E and to a switchyard where there is a transformer switchyard where there is a 13.8/230 kV step-up transformer to deliver power to a 230 kV L/T, that will reach the Alluriquín substation where it will be connected to the Santa Rosa and Santo Domingo lines of the National Interconnected System (SNI). The electrical characteristics of the system were considered at the electrical characteristics of the system were considered as a starting point for modeling and coordinating the modeling and coordination of the electrical protections of the Sarapullo substation. calculation of short circuit current, the IEC 60909 standard was applied. Using the information provided by the client, we obtained the network equivalent upstream of the Sarapullo substation for the Sarapullo substation to focus the research topic without leaving aside all the parameters of the parameters that make up the Toachi Pilatón Hydroelectric Project and the SNI. The Sarapullo S/E works at 13.8/230 kV levels for which the nominal current at which it will be operating was obtained. A nominal current at which the relays will be operating was obtained. Relays, 20% more than the nominal current was considered for the adjustment of the protection relays. The coordination of the electrical protections considered maximum, and minimum short-circuit currents for, and minimum short-circuit currents for single-phase and three-phase faults. The relays used in the project are numerical relays RED670, REL650, RET670, and REF615. discrimination time between curves was 250ms with a tolerance of +/- 50ms. Most of the IEC Inverse curves were mostly used for single-phase and three-phase fault settings for the three-phase faults; for power transformer protection, bidirectional protections were used. bidirectional protections were used for power transformer protection.

The hypothesis is fulfilled, and the results are delivered to be implemented in S/E Sarapullo before commissioning.

**KEYWORD:** Coordination, Substation, Protections, Overcurrent, Single Phase default, Three Phase default, Power Factory.

Mg. Jairo Patricio Galarza Pucha con cédula de identidad número **1720657921** Licenciado en: **Ciencias de la Educación Mención Inglés** con número de registro de la SENESCYT: **1005-2016-1780835**; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“CALIBRACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LA SUBESTACIÓN SARAPULLO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO TOACHI – PILATÓN”**, de **Caizapanta Tapia Freddy Estalin** y **Caizapanta Tapia Jefferson Alejandro**, aspirante a magister en **Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia**.

Latacunga, noviembre 2022.



Firmado electrónicamente por:  
**JAIRO  
PATRICIO  
GALARZA PUCHA**

.....  
Mg. Jairo Patricio Galarza Pucha  
C.I.: 1720657921

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Antecedentes: .....	1
Planteamiento del problema: .....	2
Formulación del problema: .....	2
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis.....	4
CAPÍTULO I.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA METODOLÓGICA .....	5
1.1. Antecedentes de la investigación. ....	5
1.2. Fundamentación Teórica.....	7
1.2.1. Subestación Eléctrica .....	7
1.2.1.1. Tipos de subestaciones.....	8
1.2.1.2. Esquemas de barras.....	8
1.2.1.3. Transformador de Potencia.....	11
1.2.1.4. Medición de la corriente de INRUSH.....	12
1.2.1.5. Transformadores de corriente .....	12
1.2.1.6. Transformador de potencial.....	12
1.2.2. Filosofía de las protecciones eléctricas .....	12
1.2.2.1. Sensibilidad.....	13
1.2.2.2. Selectividad.....	13
1.2.2.3. Rapidez .....	13
1.2.2.4. Fiabilidad .....	14
1.2.3. Protecciones de sobrecorriente .....	14
1.2.3.1. Funciones 50/51 – 50N/51N.....	14
1.2.3.2. Funciones 67 – 67N .....	15
1.2.4. PowerFactory.....	16
1.3. Fundamentación metodológica .....	16
1.4. Conclusiones .....	17
CAPÍTULO II. PROPUESTA .....	18
2.1. Título del proyecto .....	18

2.2.	Objetivo del proyecto .....	18
2.2.1.	Objetivo General .....	18
2.2.2.	Objetivos específicos .....	18
2.3.	Descripción de la propuesta. ....	18
2.4.	Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.....	19
2.4.1.	Descripción del Sistema. ....	19
2.4.2.	Características del Sistema .....	20
2.4.3.	Características del Sitio .....	21
2.4.4.	Criterios específicos de la subestación Sarapullo.....	22
2.4.4.1.	Equipos de Patio .....	22
2.4.4.2.	Interruptores.....	22
2.4.4.3.	Interruptores en Media Tensión.....	23
2.4.4.4.	Seccionadores .....	23
2.4.4.5.	Transformadores de corriente .....	23
2.4.4.6.	Transformadores de Tensión .....	24
2.4.4.7.	Pararrayos .....	24
2.4.4.8.	Cajas de Conexión y Gabinetes Concentradores .....	24
2.4.4.9.	Sistema Digital de Supervisión y Control (SC) de la Subestación .....	24
2.4.4.10.	Sistema de Comunicaciones .....	25
2.5	Conclusiones Capítulo II.....	26
	CAPÍTULO III.....	27
	APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA .....	27
3.1.	Parámetros del sistema.....	27
3.2.	Cálculo de corriente de corto circuito año 2021 .....	29
3.3.	Diagrama unifilar del PHTP .....	31
3.4.	Diagrama unifilar del caso de estudio – S/E Sarapullo.....	32
3.5.	Corto circuitos aplicados para la coordinación de los relés de la S/E Sarapullo general.....	33
3.6.	Identificación de relés de sobrecorriente utilizados .....	34
3.7.	Identificación de zonas de protección .....	35
3.8.	Cálculo de corrientes nominales .....	36
3.9.	Equivalente de red del caso de estudio .....	38

3.9.1.	Valores de red equivalente – PowerFactory .....	39
3.10.	Coordinación de protecciones de sobrecorriente.....	40
3.11.	Coordinación de fallas monofásicas .....	42
3.11.1.	Falla Monofásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	42
3.11.2.	Falla Monofásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	43
3.11.3.	Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes .....	44
3.11.4.	Falla Monofásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	45
3.11.5.	Falla Monofásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	46
3.11.7.	Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES, REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	48
3.11.8.	Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes.....	49
3.11.9.	Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	50
3.11.10.	Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes.....	52
3.11.11.	Falla Monofásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	53
3.11.12.	Falla Monofásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	54
3.11.13.	Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.....	55
3.11.14.	Falla Monofásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes .....	56
3.11.15.	Falla Monofásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes .....	57
3.11.16.	Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes.....	58
3.11.17.	Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	59
3.11.18.	Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.....	60

3.11.19. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	61
3.11.20. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corrientes.....	63
3.12. Coordinación de fallas trifásicas .....	64
3.12.1. Falla Trifásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	64
3.12.2. Falla Trifásico en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT, REL670_SES_TP y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	65
3.12.3. Falla Trifásico en Barra SES_230 – Relés coordinados: REL670_SES_TP y REL650_SES_TP y RED670_CMS_SES – Máximas Corrientes.....	66
3.12.4. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes .....	67
3.12.5. Falla Trifásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	68
3.12.6. Falla Trifásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS, REL650_SES_TP y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes.....	69
3.12.7. Falla Trifásica – Ramal: CMS/SEA – Máximas Corrientes .....	70
3.12.8. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Máximas Corrientes.....	72
3.12.9. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes.....	73
3.12.10. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Máximas Corrientes .....	75
3.12.11. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes.....	76
3.12.12. Falla Trifásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	78
3.12.13. Falla Trifásico en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT, REL670_SES_TP y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	79

3.12.14. Falla Trifásico en Barra SES_230 – Relés coordinados: REL670_SES_TP y REL650_SES_TP y RED670_CMS_SES – Mínimas Corrientes.....	80
3.12.15. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.....	81
3.12.16. Falla Trifásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes .....	82
3.12.17. Falla Trifásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS, REL650_SES_TP y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	83
3.12.18. Falla Trifásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes.....	84
3.12.19. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Mínimas Corrientes.....	85
3.12.20. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.....	87
3.12.21. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Mínimas Corrientes.....	88
3.12.22. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes.....	90
3.12. Resultados de los valores de ajuste de falla monofásica para las protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo .....	91
3.13. Resultados de los valores de ajuste de falla trifásica para las protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo .....	91
3.14. Resultados de los valores de ajuste de fusibles .....	92
3.15. Validación técnica de los resultados: .....	92
3.16. Conclusiones del III capítulo.....	93
3.17. Conclusiones generales .....	93
3.18. Recomendaciones .....	94
3.19. Referencias bibliográficas. ....	95



## ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Configuración Barra Simple .....	8
Fig. 2. Configuración Barra Simple con Bypass.....	9
Fig. 3. Configuración Barra Partida .....	9
Fig. 4. Configuración Barra de Transferencia.....	10
Fig. 5. Configuración Doble Barra.....	11
Fig. 6. Configuración Doble Barra más Barra de Transferencia.....	11
Fig. 7. Diagrama unifilar completo del PHTP .....	31
Fig. 8. Diagrama Unifilar S/E Sarapullo.....	32
Fig. 9. Diagrama unifilar con aplicación de fallas de corto circuito .....	33
Fig. 10. Diagrama unifilar con detalle de relés utilizados .....	34
Fig. 11. Diagrama unifilar detallando las zonas de protección .....	35
Fig. 12. Valores de máximas y mínimas demandas.....	40
Fig. 13. Falla Monofásica en barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	42
Fig. 14. Características de ajuste de curvas.....	42
Fig. 15. Falla Monofásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	43
Fig. 16. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes.....	44
Fig. 17. Falla Monofásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	45
Fig. 18. Características de ajuste de curvas.....	45
Fig. 19. Falla Monofásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	46
Fig. 20. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Máximas Corrientes.....	47
Fig. 21. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	48
Fig. 22. Características de ajuste de curvas.....	49
Fig. 23. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes. ....	49

Fig. 24. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	50
Fig. 25. Características de ajuste de curvas.....	51
Fig. 26. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes.....	52
Fig. 27. Falla Monofásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	53
Fig. 28. Características de ajuste de curvas.....	54
Fig. 29. Falla Monofásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	54
Fig. 30. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.....	55
Fig. 31. Falla Monofásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	56
Fig. 32. Características de ajuste de curvas.....	57
Fig. 33. Falla Monofásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	57
Fig. 34. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes.....	58
Fig. 35. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	59
Fig. 36. Características de ajuste de curvas.....	60
Fig. 37. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.....	60
Fig. 38. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	61
Fig. 39. Características de ajuste de curvas.....	62
Fig. 40. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corrientes.....	63
Fig. 41. Falla Trifásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes.....	64
Fig. 42. Características de ajuste de curvas.....	65

Fig. 43. Falla Trifásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT, REL670_SES_TP y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	65
Fig. 44. Características de ajuste de curvas.....	66
Fig. 45. Falla Trifásico en Barra SES_230 – Relés coordinados: REL670_SES_TP y REL650_SES_TP y RED670_CMS_SES – Máximas Corrientes.....	66
Fig. 46. Características de ajuste de curvas.....	67
Fig. 47. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes.....	67
Fig. 48. Falla Trifásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Máximas Corrientes.....	68
Fig. 49. Características de ajuste de curvas.....	69
Fig. 50. Falla Trifásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS, REL650_SES_TP y REL670_SES_TP – Máximas Corrientes. ....	69
Fig. 51. Características de ajuste de curvas.....	70
Fig. 52. Curvas de Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes...	70
Fig. 53. Características de ajuste de curvas.....	71
Fig. 54. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Máximas Corrientes. ....	72
Fig. 55. Características de ajuste de curvas.....	73
Fig. 56. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes. ....	73
Fig. 57. Características de ajuste de curvas.....	74
Fig. 58. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Máximas Corrientes .....	75
Fig. 59. Características de ajuste de curvas.....	76
Fig. 60. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes.....	76
Fig. 61. Características de ajuste de curvas.....	77
Fig. 62. Falla Trifásica en Barra SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	78
Fig. 63. Características de ajuste de curvas.....	78

Fig. 64. Falla Trifásica en L/T_SES_SEA_230 – Relés coordinados: RED670_SES_LT, REL670_SES_TP y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes.....	79
Fig. 65. Características de ajuste de curvas.....	79
Fig. 66. Falla Trifásico en Barra SES_230 – Relés coordinados: REL670_SES_TP y REL650_SES_TP y RED670_CMS_SES – Mínimas Corrientes. ....	80
Fig. 67. Características de ajuste de curvas.....	81
Fig. 68. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.....	81
Fig. 69. Falla Trifásica en Barra CMS_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS y REL650_SES_TP – Mínimas Corrientes .....	82
Fig. 70. Características de ajuste de curvas.....	83
Fig. 71. Falla Trifásica en L/T CMS_SES_13.8 – Relés coordinados: RED670_SES_CMS, REL650_SES_TP y REL670_SES_TP – Mínimas Corrientes. ....	83
Fig. 72. Características de ajuste de curvas.....	84
Fig. 73. Curvas de Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes....	84
Fig. 74. Características de ajuste de curvas.....	85
Fig. 75. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615_SES_SA, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Mínimas Corrientes. ....	85
Fig. 76. Características de ajuste de curvas.....	86
Fig. 77. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes. ....	87
Fig. 78. Características de ajuste de curvas.....	88
Fig. 79. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615_SES_CP, RED670_CMS_SES y REL650_SES_TP y Fusible F_SA_SES – Mínima Corrientes .....	88
Fig. 80. Características de ajuste de curvas.....	89
Fig. 81. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corriente.....	90
Fig. 82. Características de ajuste de curvas.....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1. Ecuación de la Ley de Watt.....	36
Ec. 2. Ecuación de la Ley de Ohm.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Actividades desarrolladas.....	3
Tabla II. Características Eléctricas del Sistema – Subestación Sarapullo 230kV – Nivel 230 kV.....	20
Tabla III. Características Eléctricas del Sistema – Subestación Sarapullo 230kV – Nivel 13.8kV.....	21
Tabla IV. Características del Sitio – Subestación Sarapullo 13.8/230 kV.....	22
Tabla V. Equivalentes de red en la Barra Alluriquín 230 kV.....	27
Tabla VI. Máximas corrientes de corto circuito en la Barra Alluriquín 230Kv – Año 2021.....	27
Tabla VII. Mínimas corrientes de corto circuito en la Barra Alluriquín 230kV – Año 2021.....	27
Tabla VIII. Parámetros técnicos de los transformadores de potencia.....	28
Tabla IX. Parámetros técnicos de los cables y línea de transmisión – Sistema de transmisión 230 kV.....	28
Tabla X. Parámetros técnicos de los cables y barras – Alimentadores sistema 13,8 kV.....	28
Tabla XI. Máximas corrientes de cortocircuito -Año 2021.....	29
Tabla XII. Mínimas corrientes de cortocircuito -Año 2021.....	29
Tabla XIII. Mínimas corrientes de cortocircuito sin proyecto - Año 2021.....	30
Tabla XIV. Datos de máxima corriente de corto circuito Monofásico.....	38
Tabla XV. Datos de mínima corriente de corto circuito – Monofásico.....	39
Tabla XVI. Valores de ajuste de falla monofásica de los relés de protecciones eléctricas de sobrecorriente de la S/E Sarapullo.....	91
Tabla XVII. Valores de ajuste de falla trifásica de los relés de protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo.....	92
Tabla XVIII. Valores de ajuste de los fusibles – S/E Sarapullo.....	92

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrollará en la subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón, localizado entre las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, está enfocado en la calibración de las protecciones eléctricas de sobrecorriente para garantizar la vida útil de los elementos y/o equipos los mismo que reducirán el tiempo de reconexión al Sistema Nacional Interconectado. La central hidroeléctrica Sarapullo tiene 3 hidro generadores de 16,15 [MW] cada uno.

**Antecedentes:** La propuesta tecnológica se enmarca dentro de la línea de investigación de Energías alternativas y renovables, sub línea explotación y diseño de Sistemas de Potencia; al no contar con un estudio previo de coordinación se propone realizar la coordinación de las protecciones eléctricas de sobrecorriente para la subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi - Pilatón, la cual nos permitirá garantizar la vida útil de los equipos, pues de esta manera se busca asegurar un correcto funcionamiento.

Debido a la creciente demanda energética en nuestro medio, el gobierno nacional, está empeñado en satisfacer dicha demanda por medio de varios proyectos hidroeléctricos para evitar en el futuro posibles cortes y fallas de energía, tratando de reducir el costo de la energía y uso de derivados de petróleo.

Generar energía barata y amigable con el ambiente, reduciendo las importaciones anuales de diésel y la correspondiente reducción del valor reconocido por subsidio a los combustibles.

Las subestaciones eléctricas son parte importante en los Sistemas Eléctricos de Potencia, se encargan de la transformación de energía que conectan a las líneas eléctricas de alta tensión con las de media tensión o viceversa, esto depende del tipo de subestación que se esté analizando. Teniendo en cuenta que las subestaciones son un conjunto de aparatos de maniobra y circuitos instalados, cuya función es la modificación de los parámetros de potencia eléctrica (tensión – corriente).

Es muy importante que las protecciones eléctricas de sobrecorriente en una subestación se encuentren bien coordinadas ya que cada elemento se encuentra expuesto a una falla, corto circuito u otros eventos que pueden afectar el funcionamiento de la subestación. Para eso se utiliza relés numéricos que detectaran las fallas presentadas y darán inicio o activaran los dispositivos de interrupción en los circuitos, y aislar los equipos o elementos con falla, de esta manera se busca reducir el tiempo de la continuidad del servicio eléctrico en el sistema.

Para cumplir con la meta de evitar daños prolongados de desconexiones, es necesario coordinar las protecciones eléctricas de sobrecorriente para que puedan actuar de manera inmediata ante un evento adverso ajenos al funcionamiento habitual.

**Planteamiento del problema:** Un sistema eléctrico que no cuenten con un estudio de coordinación de protecciones eléctricas, basándose en los parámetros existentes; pueden causar daños graves al conjunto de equipos de la subestación. Los mismos que como efecto tendrá la prolongación de tiempos de reconexión al Sistema Nacional Interconectado, provocando así considerables pérdidas económicas al país y reduciendo las garantías de la calidad de servicio.

**Formulación del problema:** ¿Cuál será la mejor calibración de los relés de sobrecorriente que garantice una correcta coordinación entre ellas? Considerando las características eléctricas del sistema como punto de partida para la modelación y coordinación de las protecciones eléctricas de sobrecorriente de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón.

### **Objetivo General**

Calibrar las protecciones eléctricas de sobrecorriente de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación bibliográfica referente a las protecciones eléctricas de sobrecorriente en las subestaciones eléctricas.

- Determinar las máximas y mínimas corrientes de corto circuito en los escenarios de máximas y mínima demandas.
- Definir los parámetros de calibración de las protecciones eléctricas de sobrecorriente mediante la modelación en el programa computacional PowerFactory para garantizar una coordinación adecuada en sistema de protecciones en la S/E Sarapullo.

TABLA 1  
Actividades desarrolladas

Objetivos específicos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
1	- Realizar una investigación bibliográfica referente a las protecciones eléctricas de sobrecorriente en las subestaciones eléctricas.	- Se conoció los tipos de protecciones de sobrecorrientes que se implementan a las S/E. - Se definió las curvas características empleadas en las protecciones de sobrecorriente.	- Recopilar información actual de los tipos de protecciones de sobrecorriente existentes y que se encuentren en el mercado local.
2	- Determinar las máximas y mínimas corrientes de corto circuito en los escenarios de máximas y mínimas demandas.	- Se ingresó los parámetros para obtener el equivalente de red. - Se encontró la corriente nominal en la que se encuentra operando los relés de sobrecorriente.	- Los datos de las características eléctricas del sistema, es el punto de partida para el estudio de coordinación de protecciones.
3	- Definir los valores de las protecciones eléctricas de sobrecorriente mediante la modelación en el programa computacional PowerFactory para garantizar una coordinación adecuada en sistema de protecciones en la S/E Sarapullo.	- Se encontró los valores que aseguran el correcto funcionamiento de nuestro sistema de protecciones de sobrecorriente. - Se estableció un margen de tiempo de discriminación entre curvas de 250 ms con una tolerancia de +/- 50 ms.	- Mediante el programa computacional PowerFactory se consiguió coordinar todas las protecciones que forman parte del tema de estudio, trabajando de manera secuencial y acorde a la falla presentada en el sistema.

Fuente: Los autores

**Justificación:** Al no contar con un estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Sarapullo, da lugar al tema del proyecto de investigación. Con esto, el proyecto hidroeléctrico Toachi – Pilatón busca garantizar la continuidad y calidad del servicio para los usuarios. Se plantea realizar un estudio de coordinación de protecciones sobrecorriente con la finalidad de evitar daños en los equipos que conforma la S/E Sarapullo, los cuales son costosos e implica transportar equipos, herramientas y personal humano por su ubicación geográfica del mismo, para ejecutar el trabajo de mantenimiento y/o arreglo de



algún daño provocado por alguna falla eléctrica; lo cual demanda una cantidad significativa de recursos.

La calibración del sistema de protecciones eléctricas de sobrecorriente de la Subestación Sarapullo permite que el beneficio sea mutuo, tanto para el Proyecto de Generación Toachi – Pilatón como para el consumidor, pues se mejoran y optimizan tiempos de trabajo.

La aplicación de este sistema de protecciones eléctricas de sobrecorriente en la Subestación Sarapullo genera un gran impacto económico, ya que este proyecto tendrá una aportación de 1100 GWh/año, de tal forma el tiempo de recuperación de la inversión es aceptable, en relación a las referencias financieras de proyectos similares que frecuentan fallas por mal diseño.

Aplicar este diseño de sistemas de protecciones eléctricas de sobrecorriente para la Subestación Sarapullo a nivel de 230 kV es garantizar la vida útil de los equipos y las propiedades de cada componente perteneciente a la subestación.

### **Hipótesis**

El análisis de los flujos de potencia y corrientes de corto circuito permitirán garantizar una correcta coordinación de las protecciones de sobrecorriente de la Subestación Sarapullo.

## **CAPÍTULO I.**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA METODOLÓGICA**

#### **1.1. Antecedentes de la investigación.**

En el trabajo [1], se realizó un estudio de coordinación de protecciones por métodos computacionales aplicados a una subestación, propone la utilización de herramientas (programas) para realizar estudios de flujo de potencia, análisis de corto circuito, así como para analizar y mejorar el sistema de protección de una subestación y sus alimentadores. Asegura que emplear estas herramientas garantiza la confiabilidad de la red, ya que los resultados de la coordinación respaldan los expuesto.

En la investigación [2], se propone obtener una guía de selección de equipos para protección contra sobretensiones en subestaciones de sistemas eléctricos de distribución. Mediante análisis de cada sistema, y teniendo en cuenta las características de trabajo se realizó la comparación de equipos con el fin de escoger la mejor opción que se adapte al sistema requerido. Para la investigación se pudo definir los equipos de protección apropiados para un sistema eléctrico de distribución hasta 57.5 kV.

Para el estudio [3], trata acerca de la coordinación de protecciones en la subestación de Dolorespata acorde a la nueva topología en alta y media tensión para el año 2018, en la investigación se realiza la evaluación operativa de la situación actual de la S/E Dolorespata, con su respectivo sistema de protección y proponer un nuevo ajuste en la coordinación de protecciones acorde a los nuevos cambios de topología. Se entrega los resultados obtenidos de la coordinación para ser considerados en la subestación de estudio.

En el trabajo [4], se propone plantear un diseño de sistema de protecciones para la subestación antigua Guatemala 69 kV, el estudio se realizó identificando las deficiencias con las cuales cuenta actualmente el sistema de protecciones. Por tal razón la solución consiste en diseñar y proponer un sistema de protecciones más completo al transportista dueño de la subestación con el objetivo de ganar mayor confiabilidad, selectividad y sobre todo la continuidad del servicio eléctrico.

En el trabajo [5], se revisa las protecciones eléctricas de la Subestación Cayo Santa María, en vista que durante el año 2013 ocurrieron un grupo de averías que afectaron el servicio eléctrico brindado a la red hotelera. Por tal razón se analizan los resultados de los cálculos de los parámetros de ajuste de las protecciones MiCOM P142 y P143 de Areva T&D de la nueva subestación, de una tecnología muy moderna, que garantizarán la estabilidad y fiabilidad del sistema. Como resultado se presenta el nuevo estudio para que pueda ser implementado y garantizar la calidad de servicio.

En la investigación [6], se revisan la ingeniería de control y protección de subestaciones eléctricas, iniciando por una introducción general de las subestaciones y sus funciones dentro del sistema de energía eléctrica, posteriormente se analizan los resultados de diferentes proyectos identificando los aspectos a tener en cuenta para la realización de un buen proyecto de ingeniería. Concluyendo con un análisis de la evolución futura de la ingeniería de control de estas instalaciones.

En el trabajo [7], estudios de coordinación de las protecciones en base a herramientas computacionales aplicables a la S/E Alborada 2, el objetivo principal de este trabajo es coordinar el sistema de protecciones por métodos computarizados, para lo cual fue necesario realizar análisis de flujos de carga y análisis de corto circuito empleando el software CYMTCC. Además, se pudo conocer las características de una subestación, su funcionamiento y avances tecnológicos que se siguen mejorando. En cuanto al flujo de carga, la S/E trabaja sin sobrecargas, con sus capacidades dentro de los rangos permitidos.

El trabajo de investigación [8], se presenta una propuesta para la optimización de la protección del sistema Eléctrico Tierra Colorada (Paita-Piura), considerando el sistema de subtransmisión en 60 kV y las redes de distribución en 10.5kV. Se elaboró un sistema eléctrico con la ayuda del programa computacional PowerFactory donde contempla el transformador de potencia, las redes de distribución, así como las protecciones existentes. Finalmente se proponen los ajustes de protección considerando la implementación indicada.

En el estudio [9], el objetivo de la investigación es realizar un estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software Digsilent PowerFactory. La obtención de datos se realizó mediante la aplicación de fórmulas matemáticas y para la descripción de los resultados se utilizó la metodología de análisis. Se concluyó que el software Digsilent PowerFactory es una herramienta muy valiosa que presta mucha facilidad al momento de realizar modelaciones y plantear casos de estudios permitiendo reducir los tiempos en la obtención de cálculo y de entregar resultados al instante, incorporando las normativas ANSI, IEEE y IEC.

En el trabajo de [10], estudio de Coordinación de Protecciones en el Sistema de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito considerando la conexión de la Línea Vicentina – Santa Rosa 138 kV, realiza el estudio de coordinación de protecciones en el sistema de subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), el cual es modelado en el programa PowerFactory bajo cuatro escenarios operativos considerando la conexión de la línea Vicentina-Santa Rosa 138 kV. Sobre dicho sistema se delimitó la zona de influencia del cambio topológico, para lo cual se llevó a cabo un estudio de cortocircuitos en barras, fundamentándose en las nuevas potencias de cortocircuito de aquellas subestaciones que resultaron afectadas. Los resultados obtenidos de dicho estudio fueron utilizados para el dimensionamiento de las relaciones de transformación de los transformadores de corriente y de potenciales localizados dentro de dicha zona, así como para la verificación de la capacidad operativa de los equipos de corte y seccionamiento ante los nuevos requerimientos de corriente.

## **1.2. Fundamentación Teórica**

### **1.2.1. Subestación Eléctrica**

Las subestaciones eléctricas son el conjunto, situado en un mismo emplazamiento, de una serie de aparata y edificios necesarios para realizar funciones como: transformar la tensión, la frecuencia, el número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia o conexión de varios circuitos [11].

### 1.2.1.1. Tipos de subestaciones

Los tipos de Subestaciones eléctricas se clasifican dependiendo del nivel de voltaje, la potencia que manejan, los objetivos y el tipo de servicio que pueden prestar:

- Subestaciones Eléctricas Elevadoras
- Subestaciones Eléctricas Reductoras
- Subestaciones Eléctricas de Enlace
- Subestaciones Eléctricas de Anillo
- Subestaciones Eléctricas de Suicheo

Los tipos de subestaciones dependen según: la función, el emplazamiento, el aislamiento eléctrico, adicional los elementos que constituyen una subestación eléctrica [12].

### 1.2.1.2. Esquemas de barras

Se detalla a continuación las configuraciones de barras más comunes, dispuestas desde menor a mayor coste y confiabilidad [11]:

- Barra Simple (Interruptor sencillo)
  - Distintas líneas o transformadores conectados a un nudo, que es la barra.
  - Se utiliza en instalaciones pequeñas y de poca potencia.
  - Instalación simple y maniobra sencilla.
  - El suministro puede ser interrumpido fácilmente.
  - No existe separación de salidas al ser una única barra.

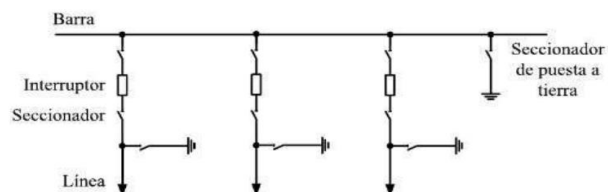


Fig. 1. Configuración Barra Simple  
Fuente: [11]

- Barra Simple con Bypass

Se puede colocar un seccionador by-pass en paralelo en cada módulo de salida. Permite realizar operaciones de mantenimiento en los tramos sin interrumpir el servicio en esa línea. Presenta el inconveniente de que, mientras esté en servicio el seccionador by-pass y en caso de perturbación, la línea se queda sin protección disparando los interruptores adyacentes a los de cabecera.

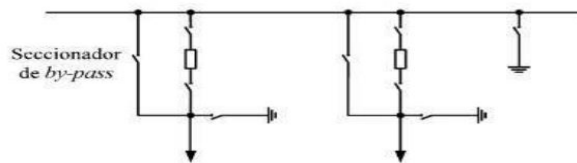


Fig. 2. Configuración Barra Simple con Bypass

Fuente: [11]

- Barra Partida (Interruptor Sencillo)

La barra principal se divide en dos por medio de seccionadores. Así, en caso de avería de una de las secciones de la barra, la otra puede seguir en funcionamiento.

- Mayor flexibilidad en el funcionamiento de la subestación.
- Mayor continuidad de servicio.
- Se facilita el mantenimiento de los tramos conectados a la barra.
- El sistema puede funcionar con dos fuentes de alimentación.
- No se puede transferir una salida de una a otra sección de la barra.
- La revisión del seccionador de barra deja fuera de servicio a la sección.

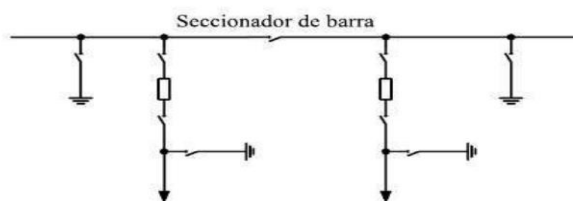


Fig. 3. Configuración Barra Partida

Fuente: [11]

- Barra de transferencia (Interruptor Simple)
  - Las líneas de salida se conectan a la barra principal, y esta a su vez se conecta a una barra de transferencia a través de un interruptor de acoplamiento.
  - Si hubiese seccionador by-pass se conectaría a la barra de transferencia.
  - Permite la continuidad del servicio por mantenimiento de la barra o interruptores, alimentando a través de la otra barra.
  - No permite la continuidad del servicio ante fallos en el interruptor de acoplamiento.

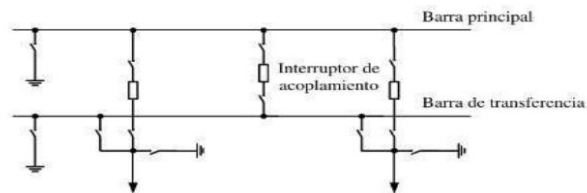


Fig. 4. Configuración Barra de Transferencia  
Fuente: [11]

- Doble Barra (Interruptor Simple)
  - Dos barras con igual importancia (ninguna es la principal). Las líneas pueden conectarse a cada una de ellas a través de seccionadores.
  - Mayor seguridad de servicio, se puede pasar de una barra a otra sin corte.
  - Las operaciones de mantenimiento se pueden realizar sin interrumpir el servicio.
  - El mantenimiento de un interruptor requiere de la salida de esa línea en ambas barras.
  - Existe la posibilidad de doble barra con by-pass. Permite el reparto de cargas, flexibilidad en las maniobras y asegura el servicio, aunque las maniobras son más complicadas.

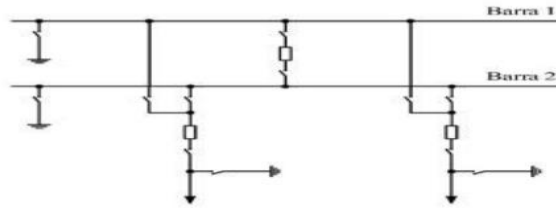


Fig. 5. Configuración Doble Barra  
Fuente: [11]

- Doble barra más barra de transferencia
  - Consta de doble juego de barras donde se conectan las líneas, y los seccionadores by-pass a la barra de transferencia, que sirve para unir los dos módulos eléctricamente.
  - Se emplea en subestaciones de muy alta tensión (MAT), de 220 o 400 kV.

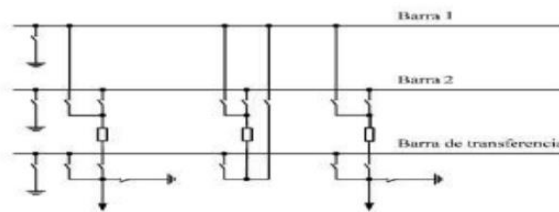


Fig. 6. Configuración Doble Barra más Barra de Transferencia  
Fuente: [11]

### 1.2.1.3. Transformador de Potencia

El transformador de potencia es una máquina eléctrica que opera bajo principios de inducción magnética, enlazando circuitos magnéticos. Su función principal es de cambiar el nivel de la tensión eléctrica, transferir energía eléctrica de un circuito a otro manteniendo constante su frecuencia de operación. Los transformadores de potencia se utilizan para transmitir o distribuir la potencia eléctrica en capacidades mayores que los transformadores de distribución (por lo general más de 1 MVA). Regularmente operan con una temperatura promedio de 40° C, y una temperatura de operación límite de 65° C, asumiendo que el transformador recibe un adecuado mantenimiento [13].



#### **1.2.1.4. Medición de la corriente de INRUSH**

El fenómeno de la corriente de inrush es probablemente el proceso transitorio más común asociado a la explotación de los transformadores, debido a la habitual realización de maniobras de conexión y desconexión. Los valores elevados de corriente de inrush, pueden causar una serie de efectos nocivos tanto para el sistema eléctrico que lo alimenta como para el propio transformador, tales como caídas momentáneas de tensión, sobretensiones armónicas temporales, estrés electromecánico en los devanados, deterioro del aislamiento, etc. La característica “corriente de inrush – tiempo” de los transformadores es una información que los fabricantes deben brindar a los clientes, por lo que su medición es necesaria [14].

#### **1.2.1.5. Transformadores de corriente**

Un transformador de corriente o “TC”, es el dispositivo de medida en los que la intensidad secundaria es, en las condiciones normales de empleo, prácticamente proporcional a la intensidad primaria y desfasada con relación a esta un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones. El devanado primario se conecta en serie con el circuito donde se realiza la medida, por el circuito primario circula la intensidad de línea [15].

#### **1.2.1.6. Transformador de potencial**

Los transformadores de potencial (TP) son dispositivos en los que la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria. Tienen la función tanto de transformar la tensión, como de aislar los instrumentos de protección y medición conectados en circuitos de alta tensión. El transformador primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los instrumentos que se requiere energizar [16].

### **1.2.2. Filosofía de las protecciones eléctricas**

Para los términos del presente proyecto se deben aclarar las siguientes reglas generales en cuanto a la lógica de disparo de las protecciones. Mismas que se aclararan en la solución de un ejercicio ilustrativo [17].

- Al ocurrir una falla en una zona de protección deben operar todos los interruptores de dicha zona.
- Al ocurrir una falla en una zona de superposición deben operar todos los interruptores de ambas zonas.
- La protección de respaldo debe encontrarse en una estación diferente o distante.
- El respaldo aplica únicamente para fallas de cortocircuito.
- En todo caso se considerará un solo respaldo, es decir el respaldo siempre operará oportunamente para respaldar a la protección primaria que falló.

#### **1.2.2.1. Sensibilidad**

La protección debe saber distinguir inequívocamente las situaciones de falla de aquellas que no lo son. Para dotar a un sistema de protección de esta característica es necesario:

- Establecer para cada tipo de protección las magnitudes mínimas necesarias que permiten distinguir las situaciones de falla de las situaciones normales de operación.
- Establecer para cada una de las magnitudes necesarias las condiciones límite que separan las situaciones de falla de las situaciones normales de operación.

#### **1.2.2.2. Selectividad**

La selectividad es la capacidad que debe tener la protección para, una vez detectada la existencia de falla, discernir si la misma se ha producido dentro o fuera de su área de vigilancia y, en consecuencia, dar orden de disparar los interruptores automáticos que controla, cuando así sea necesario para despejar la falla.

#### **1.2.2.3. Rapidez**

Tras haber sido detectada, una falla debe ser despejada lo más rápidamente posible. Cuanto menos tiempo se tarde en aislar la falla, menos se extenderán sus efectos y menores daños y alteraciones se producirán al reducirse el tiempo de permanencia bajo condiciones anómalas en los diferentes elementos. Todo ello redundará en una

disminución de los costes y tiempos de restablecimiento de las condiciones normales de operación, así como de reparación o reposición de equipos dañados, y, por tanto, en un menor tiempo de indisponibilidad de las instalaciones afectadas por la falla, lo que posibilita un mayor y mejor aprovechamiento de los recursos ofrecidos por el SEP.

#### **1.2.2.4. Fiabilidad**

Una protección fiable es aquella que responde siempre correctamente. Esto significa que la protección debe responder con seguridad y efectividad ante cualquier situación que se produzca.

No debe confundirse la respuesta de la protección con su actuación u operación. La protección está vigilando continuamente lo que pasa en el sistema y, por tanto, está respondiendo en cada instante en función de las condiciones que se producen. En consecuencia, la respuesta de la protección puede ser tanto de actuación como de no actuación. Seguridad significa que no deben producirse actuaciones innecesarias ni omitirse actuaciones necesarias.

#### **1.2.3. Protecciones de sobrecorriente**

Este relé se utiliza como protección de respaldo de la protección diferencial en el transformador de potencia, como para fallas externas, los diferentes tipos son [18]:

- Sobrecorriente de Fase Instantánea.
- Protección de Falla a Tierra.
- Protección de Sobrecorriente para el Devanado Terciario.
- Protección del Transformador de Puesta a Tierra.

##### **1.2.3.1. Funciones 50/51 – 50N/51N**

La protección de corriente mide permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las sobrecorrientes que se pueden producir en un cortocircuito. El tiempo de actuación de esta protección es una función del valor de la corriente y puede ser [19]:

- De tiempo definido cuando se supera un umbral previamente calibrado. En este caso su operación puede ser instantánea (función 50) o temporizada (función 51)
- De tiempo inverso cuya operación depende del tiempo según una función exponencial establecida.

### **1.2.3.2. Funciones 67 – 67N**

Protección 67, la protección de sobrecorriente direccional es similar a la de sobrecorriente no direccional; pero, además, se debe especificar la dirección del flujo de corriente para la que se aplica la protección. Para la evaluación numérica del relé se requiere una referencia o polarización con la que se efectúa el cálculo. Se debe usar la tensión porque su ángulo se mantiene relativamente constante durante una falla y usualmente se aplica lo siguiente:

- Corriente fase R: Tensión ST
- Corriente fase S: Tensión TR
- Corriente fase T: Tensión RS

Se debe notar que el ángulo de fase entre las corrientes y las tensiones mencionadas es aproximadamente de  $90^\circ$  de manera que para el cálculo se considera el valor en cuadratura. Sin embargo, su valor dependerá de la relación X/R del circuito de falla, por tanto, se debe verificar que el ángulo de operación del relé es apropiado para obtener la máxima sensibilidad. Por otro lado, es importante consultar el manual del fabricante del relé para los ajustes del ángulo, debido a que no todos los fabricantes aplican el mismo criterio de ajuste.

Protección 67N, la protección de sobrecorriente direccional a tierra es similar a la de sobrecorriente no direccional; pero, además, se debe especificar la dirección del flujo de corriente de secuencia cero o secuencia negativa para la que se aplica la protección. Para su evaluación numérica por el relé se requiere una referencia o polarización con la que se efectúa el cálculo. Para la determinación de la direccionalidad se prefiere usar la secuencia negativa. En caso de considerar la

tensión homopolar se debe ajustar el ángulo de máxima sensibilidad según el sistema de puesta a tierra [19].

#### **1.2.4. PowerFactory**

La herramienta PowerFactory es una aplicación líder de software de análisis de sistemas de energía para su uso en el análisis de generación, transmisión, distribución y sistemas industriales. Cubre la gama completa de funcionalidades, desde características estándar hasta aplicaciones altamente sofisticadas y avanzadas que incluyen energía eólica, generación distribuida, simulación en tiempo real y monitoreo del rendimiento para pruebas y supervisión del sistema. PowerFactory es fácil de usar, totalmente compatible con Windows y combina capacidades de modelado de sistemas confiables y flexibles con algoritmos de vanguardia y un concepto de base de datos único. Además, con su flexibilidad para la creación de scripts y la interfaz, PowerFactory se adapta perfectamente a soluciones altamente automatizadas e integradas en sus aplicaciones comerciales [20].

### **1.3. Fundamentación metodológica**

La metodología implementada en este proyecto de investigación abarca la calibración de las protecciones eléctricas de sobre corriente que formará parte de las S/E Sarapullo, la misma fue dividida en tres etapas:

En la primera etapa, se realiza un levantamiento del sistema para identificar los parámetros a los que estarán sometidos los equipos, elementos o partes de la subestación.

En la segunda etapa, se define todas las protecciones de sobrecorriente a emplearse en base a la necesidad del equipo a proteger, y teniendo en cuenta las nuevas tecnologías.

En la tercera etapa, una vez definidas las protecciones para el sistema se realiza una simulación en el programa PowerFactory para someterlas a los eventos necesarios para un correcto funcionamiento, y determinar los parámetros de calibración.

#### **1.4. Conclusiones**

- Se pudo conocer diferentes estudios relacionados con el proyecto de investigación, mostrando en común que el uso de herramientas computacionales garantiza un correcto estudio de coordinación de protecciones eléctricas.
- Según lo indicado en la fundamentación teórica, las protecciones de sobrecorriente son las únicas que se modelan para obtener una operación sincronizada entre sí.

## **CAPÍTULO II. PROPUESTA**

### **2.1. Título del proyecto**

Calibración de las Protecciones Eléctricas de la Subestación Sarapullo del Proyecto Hidroeléctrico Toachi – Pilatón.

### **2.2. Objetivo del proyecto**

#### **2.2.1. Objetivo General**

Obtener los parámetros finales para que las protecciones eléctricas de sobrecorriente actúen de manera coordinada, seguro y confiable con el fin de garantizar la vida útil y el correcto funcionamiento de los equipos y/o elementos.

#### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Obtener el equivalente de red y parámetros eléctricos de los equipos y líneas de conexión.
- Determinar las relaciones de transformación de instrumentos de corriente y voltaje.
- Analizar las corrientes de corto circuito en las barras del proyecto a nivel de 13.8 kV y 230 kV.
- Ajustar las protecciones de sobrecorriente modeladas en el programa computacional PowerFactory.

### **2.3. Descripción de la propuesta.**

El proyecto hidroeléctrico Toachi – Pilatón, tiene por objeto la generación y transmisión de energía eléctrica al SNI (Sistema Nacional Interconectado); enmarcado en este contexto la calibración de las protecciones eléctricas de sobrecorriente en la Subestación Sarapullo busca garantizar la confiabilidad y seguridad del sistema para evitar largos tiempos de reconexión por fallos o daños en los equipos asociados.

Las protecciones eléctricas de sobrecorriente seleccionadas por los diseñadores son los relés RED670, REL650, RET670 y REF615; así mismo los parámetros iniciales para la obtención de los equivalentes de la red en la barra de conexión de la subestación Alluriquin está dada por el SNI y para el equivalente de red de la subestación Sarapullo está dada por la contratista de CELEC EP Hidrotoapi.

Mediante la modelación en el programa computacional PowerFactory se define los valores que las protecciones de sobrecorriente deben ingresar para tener un funcionamiento coordinado y tiempos de apertura de manera progresiva según la falla.

#### **2.4. Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.**

Primero, se iniciará describiendo el área de ubicación del proyecto hidroeléctrico Toachi – Pilatón, se definirá el área de estudio enfocado en la subestación Sarapullo para nuestro proyecto de investigación.

Segundo, se realizará un análisis del sistema basados en los parámetros definidos para este proyecto. Se obtendrán los equivalentes de red en la barra de conexión de la Subestación Alluriquin basados en los parámetros del SNI.

Tercero, cálculo de corrientes de corto circuito para máximas y mínimas corrientes en nivel de 13.8 kV y 230kV.

Cuarto, modelar las fallas monofásicas y trifásicas en las barras, transformador de potencia, transformadores auxiliares y líneas de transmisión.

Quinto, definir los valores de las protecciones eléctricas para sobrecorriente basados en el programa computacional PowerFactory DIgSILENT 15.1.

##### **2.4.1. Descripción del Sistema.**

Esta subestación será de tipo convencional y está compuesta por los siguientes equipos principales:

- Una bahía de 230 kV tipo exterior.



- Un transformador elevador trifásico de 60 MVA, 13,8/230 kV de conexión Delta - Estrella.
- Celdas de conexión de 13.8 kV, a los cuales, llega la generación de la CH Sarapullo, además, la salida al transformador de potencia de 60 MVA y la alimentación de servicios auxiliares de la subestación.
- Un sistema de auxiliares de corriente alterna y uno de continua.
- Un sistema de supervisión, protección, control y medida, el cual, puede ser controlado desde la casa de control, la sala de control en la casa de máquinas de la CH Sarapullo y el COS de La Palma.
- Un patio para los equipos de 230 kV y el transformador de potencia.
- Una casa de control que alojara: los equipos de protección control y medida, los servicios auxiliares y las celdas de media tensión.

La función principal de esta instalación es la de evacuar la generación de la CH Sarapullo, hacia la subestación Alluriquín GIS 230 kV.

#### 2.4.2. Características del Sistema

Las características eléctricas de la Subestación Sarapullo 13,8/230 kV se muestran en la tabla siguiente:

TABLA II  
Características Eléctricas del Sistema – Subestación Sarapullo 230kV – Nivel 230kV

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Tensión Nominal del Sistema	kV	230
Tensión Máxima del Sistema	kV	245
Frecuencia Nominal	Hz	60
Número de fases	-	3
Tensión Máxima Asignada al Impulso Tipo Rayo	kV <sub>PP</sub>	1050
Tensión Máxima Asignada Soportada de corta duración a Frecuencia Industrial	kV	460

PARTE I

TABLA II  
Características Eléctricas del Sistema – Subestación Sarapullo 230kV – Nivel 230kV

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Nivel de Contaminación Ambiental (IEC 60815)	-	Medio
Distancia de Fuga Mínima Nominal Ambiente Ligero	mm/Kv	20
Distancia de Fuga Mínima entre Fase y Tierra	mm	4900
Máxima Corriente de Cortocircuito	kA	31.5
Máxima Corriente de funcionamiento continuo	A	1600
Sistema Sólidamente Puesto a Tierra	-	En Y
Tensiones Auxiliares de Control	$V_{CC}$	$125 \pm 15\%$ 48
Tensiones Auxiliares de Fuerza	$V_{CA}$	220/127 480

PARTE II

TABLA III  
Características Eléctricas del Sistema – Subestación Sarapullo 230kV – Nivel 13.8kV

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Tensión Nominal del Sistema	kV	13.8
Tensión Máxima del Sistema	kV	17.5
Frecuencia Nominal	Hz	60
Tensión Máxima Asignada al Impulso Tipo Rayo	$kV_{PP}$	110
Tensión Máxima Asignada Soportada de corta duración a Frecuencia Industrial	kV	35
Nivel de Contaminación Ambiental (IEC 60815)	-	Medio
Máxima Corriente de Cortocircuito	kA	40
Máxima Corriente de funcionamiento continuo	A	4000/3150
Sistema Sólidamente Puesto a Tierra	-	En Y
Tensiones Auxiliares de Control	$V_{CC}$	$125 \pm 15\%$ 48
Tensiones Auxiliares de Fuerza	$V_{CA}$	220/127 - 480

### 2.4.3. Características del Sitio

Las características del sitio fueron tomadas de la topografía en la central y de los datos disponibles en la página web del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), tal como, se muestra a continuación:

TABLA IV  
Características del Sitio – Subestación Sarapullo 13.8/230kV

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR
Ubicación		Ubicada a 70 km al sur-oeste de la ciudad de Quito – Ecuador, cerca de la unión del río Sarapullo y el río Toachi, en la provincia de Pichincha
Altura Sobre el Nivel del Mar	msnm	953.5
Temperatura Ambiente Promedio	°C	19
Máxima	°C	26.5
Mínima	°C	12.5
Humedad Relativa Media	%	80
Máxima	%	100
Mínima	%	38
Requisito Antisísmico	Aa	0.3
Velocidad del Viento Mayor Observada	m/s	18
Nivel Cerámico	días/año	40
Nivel de Irradiación Solar	kWh/m <sup>2</sup>	4 – 4.5

#### **2.4.4. Criterios específicos de la subestación Sarapullo**

##### **2.4.4.1. Equipos de Patio**

###### **Características de Aislamiento**

En forma preliminar se estima un nivel básico de aislamiento al impulso de 1050 kVp-p para la Subestación en el nivel de 230 kV, y de 110 kVp-p para el nivel de 13,8 kV; sin embargo, los niveles de aislamiento definitivos de los equipos de patio se seleccionarán de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de coordinación de aislamiento.

##### **2.4.4.2. Interruptores**

###### **Interruptor de Potencia**

Los interruptores de potencia tendrán una corriente nominal de 1250 A, el poder de corte será de 40 kA. Su mecanismo de accionamiento será monopolar mediante

resorte, con caja concentradora para mando tripolar y re-cierre automático tripolar. Contará con mando sincronizado a corrientes cero, con el fin, de atenuar los transitorios en el sistema. El mecanismo deberá ser capaz de efectuar por lo menos tres operaciones de apertura - cierre sin recarga del resorte.

#### **2.4.4.3. Interruptores en Media Tensión**

Todos los interruptores en el nivel de 13,8 kV, tendrán una corriente nominal de 3150 A, con poder de corte de 40 kA, serán del tipo extraíble e intercambiables entre celdas del mismo tren. Su mecanismo de accionamiento será mediante resorte, tripolares, el medio de extinción será gas SF<sub>6</sub>. Lo anterior con el fin de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de la subestación.

#### **2.4.4.4. Seccionadores**

El seccionador principal con cuchilla de puesta a tierra en el nivel de 230 kV, será del tipo tripolar con una corriente nominal a régimen continuo de 1250 A y deberán poder resistir una corriente de corto de 40 kA.

En la disposición física horizontal se utilizarán seccionadores de columna giratoria central o de tres (3) columnas por polo.

Serán de accionamiento tripolar motorizado, adicionalmente contarán con mando manual, el cual, no debe requerir de corriente continua ni corriente alterna para su operación ya que será completamente manual.

#### **2.4.4.5. Transformadores de corriente**

Estos equipos tendrán una corriente asignada de 200 A para 230 kV y 3000 A para 13,8 kV, y contarán con núcleos de medida clase 0,2 y de protección 5P. Las relaciones de transformación más convenientes se seleccionarán de acuerdo con los flujos de carga esperados y el esquema de protecciones de los pliegos.

Se realizarán los cálculos para determinar la cargabilidad en VA requerida, teniendo en cuenta los tipos de cables utilizados para las conexiones, la longitud de éstos y

el consumo propio de los diferentes equipos. Se tendrán secundarios de transformadores de corriente para uso exclusivo de los contadores de energía.

#### **2.4.4.6. Transformadores de Tensión**

Los transformadores de tensión para la línea de 230 kV serán del tipo capacitivo y los de 13.8 kV serán inductivos. Los devanados secundarios tendrán la clase de precisión y carga de precisión solicitada, 0,2 para medida y 3P para protección. El número de devanados secundarios y su utilización se definirán de acuerdo con el esquema de protecciones de los pliegos, se dispondrá de secundarios para uso exclusivo de los contadores de energía. Se realizarán los cálculos para determinar cargabilidad en VA requerida de acuerdo con el consumo de los equipos que estarán conectados y la saturación de los transformadores.

#### **2.4.4.7. Pararrayos**

Los pararrayos serán tipo exteriores para 230 kV e interiores para el nivel de 13.8 kV, y serán de ZnO. La tensión de operación continua COV, así como la energía se seleccionarán de acuerdo con los resultados de los estudios de coordinación de aislamiento.

#### **2.4.4.8. Cajas de Conexión y Gabinetes Concentradores**

De acuerdo con los diseños, se utilizarán cajas de agrupamiento para las conexiones de los transformadores de tensión y de corriente cuando se considere conveniente. También se podrán utilizar gabinetes concentradores para recoger señales de equipos, de tal forma, que se facilite el cableado de estas señales a los gabinetes en el edificio de control.

#### **2.4.4.9. Sistema Digital de Supervisión y Control (SC) de la Subestación**

En esta actividad se diseñarán las principales características y funciones del sistema de control, a través de diagramas lógicos y descripciones detalladas de funciones. Se buscará la compatibilidad con el control proyectado en los pliegos para las Centrales Hidroeléctricas Sarapullo, y el Centro de Operación y Supervisión, a ser ubicado en el cuarto de control de la CH Sarapullo.

El sistema de control será diseñado de tal forma que se garanticen los enclavamientos necesarios, de acuerdo, con la configuración de la subestación.

Se elaborará el respectivo diagrama de principio de control donde se mostrarán los diagramas lógicos de los enclavamientos necesarios y diagramas de flujo de las diferentes maniobras.

El sistema de control se diseñará para tener cuatro niveles de operación:

- El primero, Nivel 0, corresponde al nivel de campo en los equipos.
- El segundo, Nivel 1, corresponde al nivel de los relés o controladores de bahía, en los tableros de protección, control y medida.
- El tercero, Nivel 2, corresponde a la interface hombre máquina - IHM ubicada en la sala de control de la subestación, el cual, residirá en la UCPSE.
- El cuarto, Nivel 3, corresponde al centro de control ubicado en la sala de control de la CH Sarapullo.
- El quinto, Nivel 4, corresponde al control general en el COS La Palma.

#### **2.4.4.10. Sistema de Comunicaciones**

El sistema de comunicaciones de la subestación estará diseñado para ofrecer los siguientes servicios:

- Red en anillo de fibra óptica en protocolo TCP/IP IEC 61850 que comunicara: Los relés, Las unidades de control, Los contadores, Los Registradores, etc. entre sí y con la IHM.
- Red serial para la comunicación de los contadores de energía.
- Dos enlaces de fibra óptica para la tele protección en cada línea.

En la subestación se instalarán dos gabinetes metálicos, en los cuales se alojarán los equipos de comunicación.

Para asegurar la continuidad del servicio en caso de falla o corte del enlace, se implementará un sistema opcional de comunicaciones a definir.

## **2.5 Conclusiones Capítulo II.**

- Los parámetros existentes son la referencia principal para poder obtener los equivalentes, para todo estudio de coordinación de protecciones eléctricas se debe contar con la información del SNI.
- Los equivalentes de red pueden facilitar el estudio de protecciones, es indispensable obtener los valores de máximas y mínimas corrientes.
- Las fallas monofásicas generan el valor de máxima y mínima corrientes de corto circuito de nuestro proyecto. Las fallas bifásicas no se consideran por estar dentro de los valores obtenidos.

## CAPÍTULO III.

### APLICACIÓN Y/O VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

#### 3.1. Parámetros del sistema

Con base en los “Estudios eléctricos de conexión del Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón al SNT” se obtienen los equivalentes de red en la barra de conexión del proyecto Alluriquín 230kV, para las condiciones de máxima y mínima corriente de corto circuito, evaluadas para el año 2021, los cuales se presentan a continuación:

TABLA V  
Equivalentes de red en la Barra Alluriquín 230kV

DATOS (Ohm)	Impedancias de secuencia - Máxima corriente de corto circuito	Impedancias de secuencia - Mínima corriente de corto circuito
R0	3,378	3,378
X0	20,042	20,058
Z0	20,325	20,340
R1	1,395	1,490
X1	15,191	19,183
Z1	15,255	16,251
R2	1,807	1,948
X2	14,599	15,513
Z2	14,711	15,635

TABLA VI  
Máximas corrientes de corto circuito en la Barra Alluriquín 230Kv – Año 2021

DATOS	Monofásica	Trifásica
kA	8,73	10,55
MVA	1159,17	4202,07

TABLA VII  
Mínimas corrientes de corto circuito en la Barra Alluriquín 230kV – Año 2021

DATOS	Monofásica	Trifásica
kA	8,39	9,33
MVA	1114,73	3716,0



TABLA VIII  
Parámetros técnicos de los transformadores de potencia

Descripción	Unidad	Sarapullo
Potencial Nominal	MVA	40/60
Voltaje primario	kV	230
Voltaje secundario	kV	13,8
Grupo de conexión	-	YNd1
Tipo de enfriamiento	-	ONAN/ONAF
Impedancia	%	11,87
Pérdidas en el cobre	kW	187,43
Pérdidas en el núcleo	kW	48,18
Corrientes de excitación	%	0,25
Taps	-	+3x2,5%/-1x2,5%

TABLA IX  
Parámetros técnicos de los cables y línea de transmisión Sistema de transmisión 230kV

Nombre	SES_SEA_230
Tipo	Torre SC ACAR 750MCM 230kV
Longitud (km)	9,70
Vnom (kV)	230
R1 (Ohm)	0,821
X1 (Ohm)	4,840
B1 (μS)	31,960
R0 (Ohm)	3,159
X0 (Ohm)	12,324
B0 (Ohm)	31,960

TABLA X  
Parámetros técnicos de los cables y barras – Alimentadores sistema 13,8 kV

Descripción	CMS_TRSA	SES_CP_13.8	SES_TRSA	SES_TR00_13.8	CMS_SES_13.8
	Cable aislado	Cable aislado	Cable aislado	Barra RIP	Barra RIP
Tipo	350MCM	350MCM	350MCM	3150A	3150A
	25kV	25kV	25kV		
Longitud	0,030	0,040	0,010	0,035	0,0330
Vnom kV	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8
R1 Ohm	0,003	0,004	0,0010	0,00028	0,00264
X1 Ohm	0,008	0,011	0,003	0,005	0,048

PARTE I

TABLA X  
Parámetros técnicos de los cables y barras – Alimentadores sistema 13,8 kV

Descripción	CMS_TRSA	SES_CP_13.8	SES_TRSA	SES_TR00_13.8	CMS_SES_13.8
B1 Ohm	2,375	3,167	0,792	26,355	248,490
R0 Ohm	0,035	0,047	0,012	0,007	0,061
X0 Ohm	0,031	0,042	0,010	0,095	0,893
B0 Ohm	2,375	3,167	0,792	26,355	248,490

PARTE II

### 3.2. Cálculo de corriente de corto circuito año 2021

A continuación, se presenta los valores obtenidos para las diferentes fallas en los escenarios de máximas y mínimas corrientes del año 2021.

TABLA XI  
Máximas corrientes de cortocircuito -Año 2021

Barra	Trifásica		Monofásica		Bifásica		Bifásica a tierra	
	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA
CMS_13.8	31,74	758,77	1,51	12,01	27,24	217,00	27,47	218,88
CMS_TRSA_13.8	30,83	736,88	1,50	11,97	26,46	210,78	26,69	212,63
SEA_230	13,30	5299,77	16,89	2243,21	11,68	1551,37	15,97	2120,12
SES_13.8	32,96	787,91	1,56	12,47	28,33	225,74	28,57	227,60
SES_230	9,46	3767,87	10,67	1416,74	8,27	1097,70	10,21	1356,20
SES_TRSA_13.8	32,63	779,90	1,56	12,45	28,05	223,46	28,28	225,31

TABLA XII  
Mínimas corrientes de cortocircuito -Año 2021

Barra	Trifásica		Monofásica		Bifásica		Bifásica a tierra	
	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA	I <sub>k</sub> ” kA	S <sub>k</sub> ” MVA
CMS_13.8	20,63	493,04	1,08	8,63	17,81	141,89	17,88	142,44
CMS_TRSA_13.8	20,19	482,60	1,08	8,60	17,43	138,89	17,50	139,41
SEA_230	10,13	4035,17	12,66	1680,73	8,93	1185,24	11,92	1582,71
SES_13.8	22,39	535,21	1,13	8,99	19,35	154,15	19,42	154,70
SES_230	7,46	2973,44	8,60	1141,93	6,54	869,01	8,18	1086,6
SES_TRSA_13.8	22,22	531,07	1,13	8,98	19,20	152,96	19,27	153,49

TABLA XIII  
Mínimas corrientes de cortocircuito sin proyecto - Año 2021

Barra	Trifásica		Monofásica		Bifásica		Bifásica a tierra	
	Ik” kA	Sk” MVA	Ik” kA	Sk” MVA	Ik” kA	Sk” MVA	Ik” kA	Sk” MVA
CMS_13.8	16,28	389,08	0,38	3,03	14,13	112,54	14,12	112,51
CMS_TRSA_13.8	16,00	382,53	0,38	3,03	13,89	110,64	13,88	110,60
SEA_230	9,33	3716,00	11,89	1578,54	8,23	1093,4 4	11,21	1488,59
SES_13.8	18,05	431,50	0,39	3,08	15,67	124,84	15,66	124,81
SES_230	6,93	2761,31	8,15	1081,81	6,09	808,50	7,72	1025,22
SES_TRSA_13.8	17,94	428,79	0,39	3,08	15,57	124,05	15,57	124,02

Como se observa en las tablas XI y XIII, existe una variación importante de las corrientes de cortocircuito si se compara el escenario de corriente máxima con proyecto y el de corriente mínima sin proyecto, especialmente a nivel de 13,8kV en las instalaciones de la central Sarapullo. Las corrientes trifásicas tienen un incremento de 51% en la barra de 13,8kV de CMS. En la barra de Subestación Sarapullo también existe un incremento significativo de las corrientes de falla trifásicas y monofásicas entre los dos casos. Las corrientes monofásicas a nivel de 230kV son las más elevadas, llegando a 10,67kA en la barra de la en S/E Sarapullo, con variaciones entre los casos de corrientes máximas con proyecto y corrientes mínimas sin proyecto de 42% y 31% respectivamente.

### 3.3. Diagrama unifilar del PHTP

En el siguiente diagrama de flujo se puede observar el PROYECTO HIDROELÉCTRICO TOACHI PILATÓN, todo lo que abarca el proyecto antes mencionado.

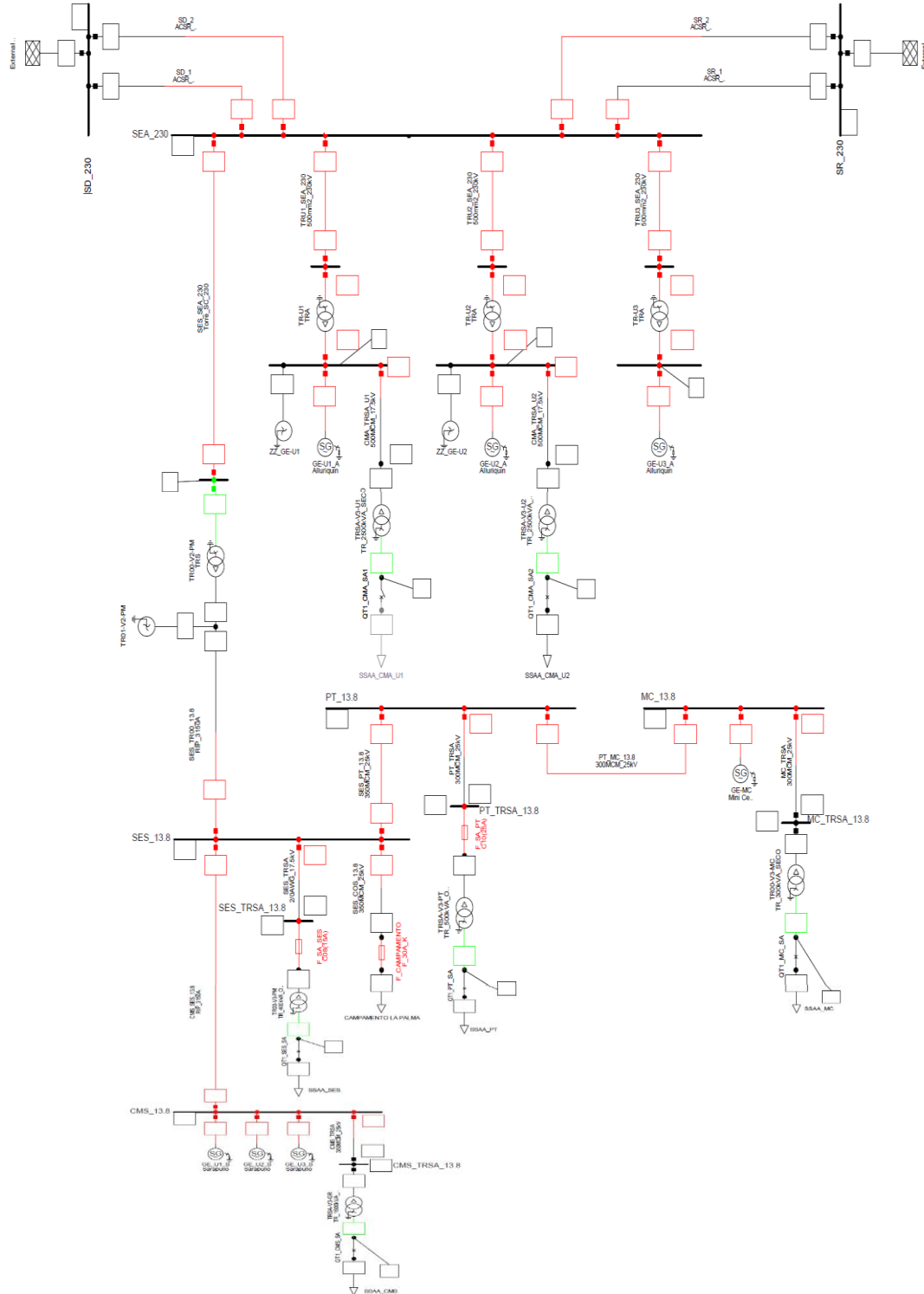


Fig. 7. Diagrama unifilar completo del PHTP

### 3.4. Diagrama unifilar del caso de estudio – S/E Sarapullo

En el siguiente diagrama unifilar, se enfoca el proyecto de estudio que abarca la Subestación Sarapullo con todos sus elementos asociados al mismo.

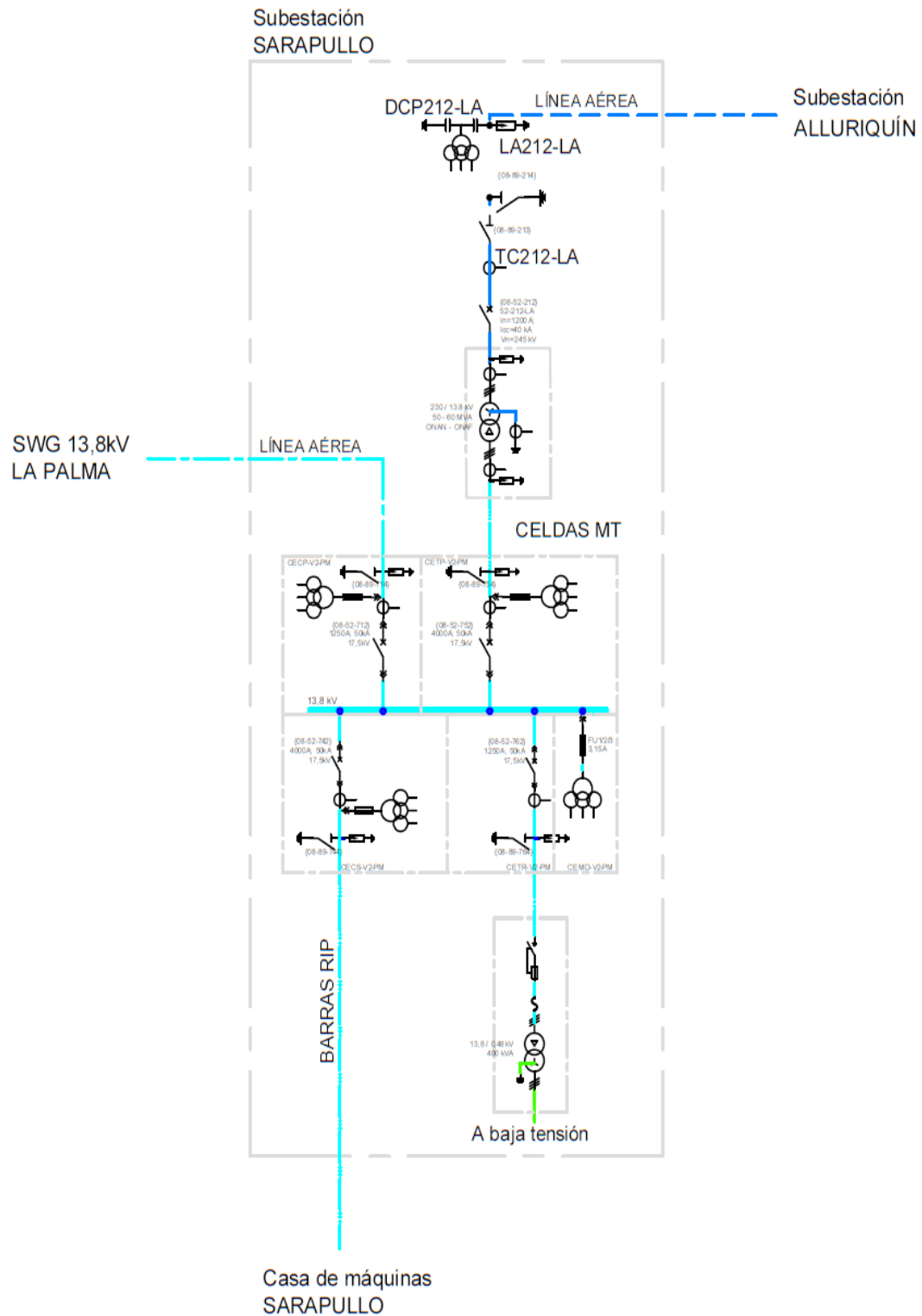


Fig. 8. Diagrama Unifilar S/E Sarapullo

### 3.5. Corto circuitos aplicados para la coordinación de los relés de la S/E Sarapullo general.

A continuación, se muestra los puntos específicos donde se realizaron los corto circuitos para realizar el estudio de coordinación de las protecciones de sobrecorriente para los escenarios de máximas y mínimas demandas.

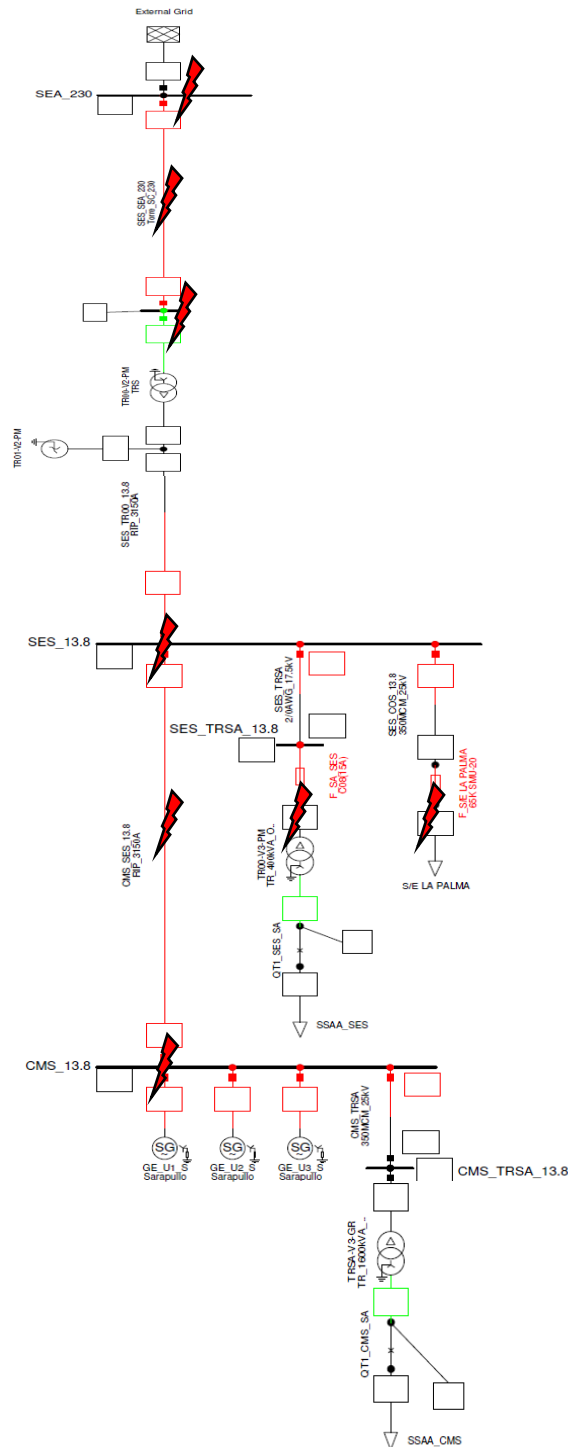


Fig. 9. Diagrama unifilar con aplicación de fallas de corto circuito

### 3.6. Identificación de relés de sobrecorriente utilizados

Se identifican los relés de protección de sobrecorriente que han sido empleados en la subestación Sarapullo para el estudio de coordinación de protecciones.

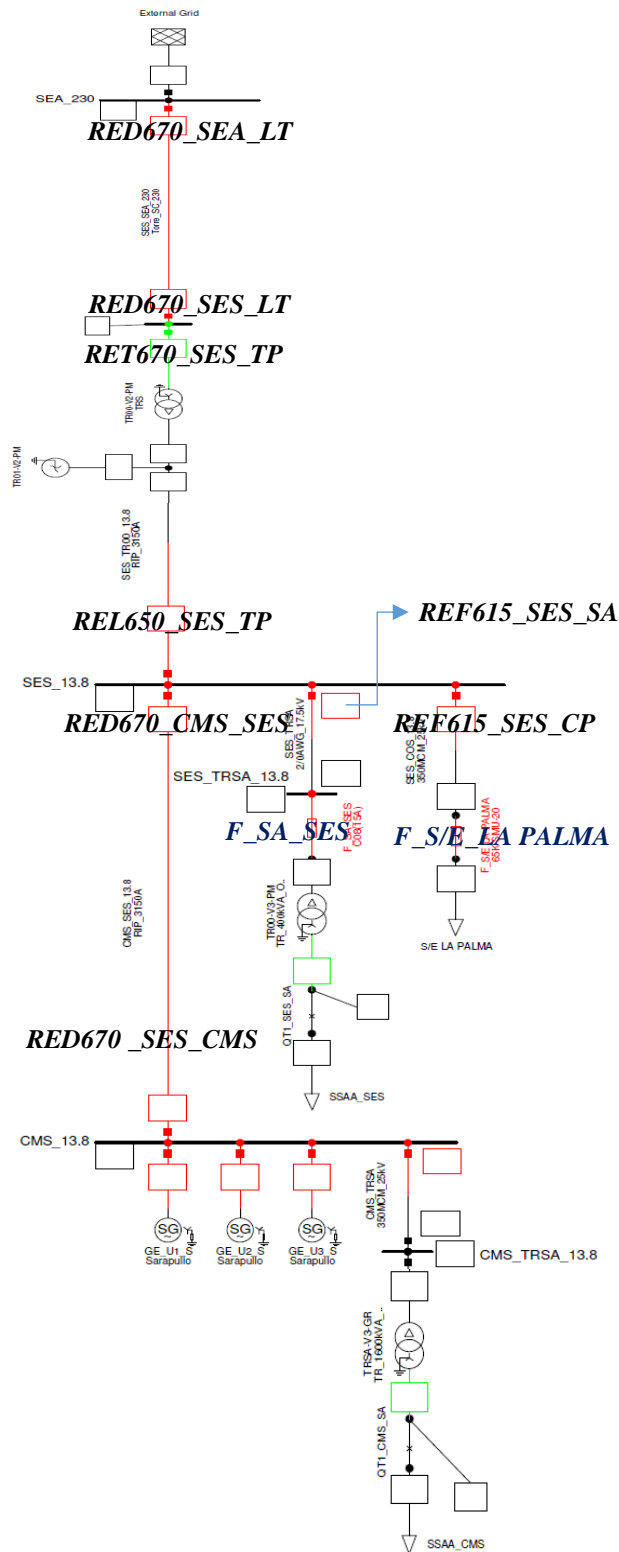


Fig. 10. Diagrama unifilar con detalle de relés utilizados

### 3.7. Identificación de zonas de protección

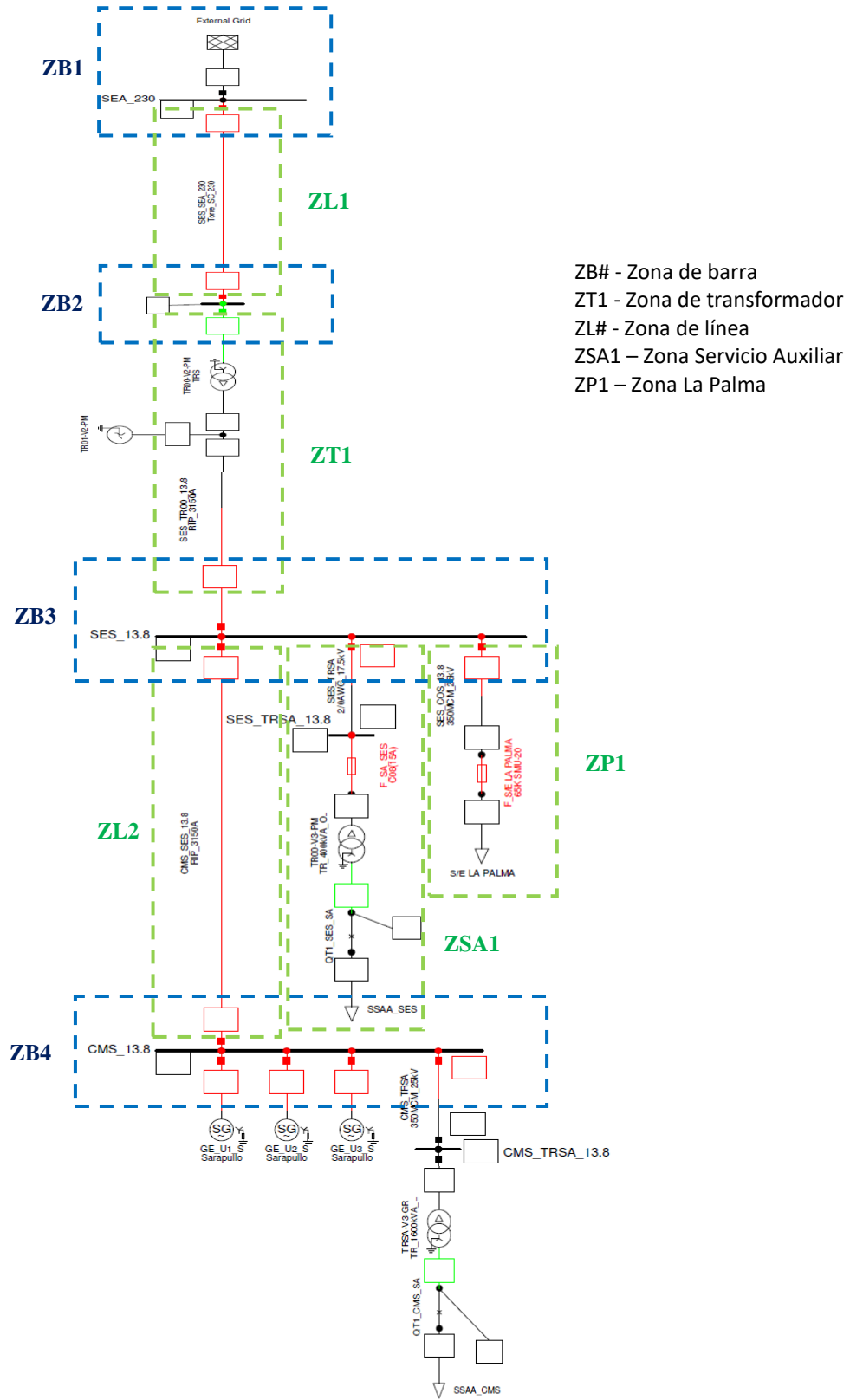


Fig. 11. Diagrama unifilar detallando las zonas de protección



### 3.8. Cálculo de corrientes nominales

Se identifica los niveles de tensión del proyecto, y se realiza el cálculo de las corrientes nominales para definir la corriente a la que se encuentra sometido los relés de protección.

$$\text{Fórmulas} \quad \rightarrow S = V \cdot I \quad \text{Ec. 1}$$

$$\rightarrow V = I \cdot R \quad \text{Ec. 2}$$

#### Transformador de elevación 13.8 kV / 230 kV:

$$\text{Datos} \rightarrow S = 60 \text{ MVA}$$

$$\text{Primario} = 13.8 \text{ kV}$$

$$\text{Secundario} = 230 \text{ kV}$$

$$\text{Lado } 230 \text{ kV} \rightarrow I_{\text{nominal}}$$

$$I = \frac{S}{V} \rightarrow I = \frac{60 \text{ MVA}}{230 \text{ kV}}$$

$$I = \frac{260.8 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I = 150.79 \text{ A}$$

Cálculo de corriente nominal + 20 %

$$150.79 \text{ A} \leftrightarrow 100 \%$$

$$I_{20\%} \leftrightarrow 20 \%$$

$$I_{\text{nominal}+20\%} = \frac{150.79 \text{ A} \times 20\%}{100\%}$$

$$I_{20\%} = 30.15 \text{ A}$$

$$I_{\text{nominal}+20\%} = 180.94 \text{ A}$$

Lado 13.8 kV  $\rightarrow I_{nominal}$

$$I = \frac{S}{V} \rightarrow I = \frac{60 \text{ MVA}}{13.8 \text{ kV}}$$

$$I = \frac{4347.8 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I = 2513.19 \text{ A}$$

Cálculo de corriente nominal + 20 %

$$2513.19 \text{ A} \leftrightarrow 100 \%$$

$$I_{20\%} \leftrightarrow 20 \%$$

$$I_{nominal+20\%} = \frac{2513.19 \text{ A} \times 20\%}{100\%}$$

$$I_{20\%} = 502.64 \text{ A}$$

$$I_{nominal+20\%} = 3015.8 \text{ A}$$

**Transformador sistemas auxiliares de S/E Sarapullo:**

Datos  $\rightarrow$  S = 400 kVA

Primario = 13.8 kV

$$I = \frac{S}{V} \rightarrow I = \frac{400 \text{ kVA}}{13.8 \text{ kV}}$$

$$I = \frac{28.9 \text{ A}}{\sqrt{3}}$$

$$I = 16.7 \text{ A}$$

Cálculo de corriente nominal + 20 %

$$16.7 \text{ A} \leftrightarrow 100 \%$$

$$I_{20\%} \leftrightarrow 20 \%$$

$$I_{nominal+20\%} = \frac{16.7 \text{ A} \times 20\%}{100\%}$$

$$I_{20\%} = 3.35 \text{ A}$$

$$I_{nominal+20\%} = 20 \text{ A}$$

### 3.9. Equivalente de red del caso de estudio

Los valores mostrados a continuación, son parámetros proporcionados por la contratista de CELEC EP Hidrotoapi, los mismos han sido obtenidos por el método de equivalente de Ward. Al utilizar estos datos obtenemos una simplificación del Proyecto Hidroeléctrico Toachi Pilatón y se enfoca en el análisis de estudio de este proyecto de investigación.

Para lograr esta investigación se empleó el programa computacional PowerFactory DIGSILENT 15.1, el cual es el software más utilizado para este tipo de estudios de coordinación, a continuación:

TABLA XIV  
Datos de máxima corriente de corto circuito Monofásico

DESCRIPCIÓN	DATOS
Sitio	SEA 230 kV
$I_k''$	19.95 kA
$S_k''$	2650.11 MVA
$I_p$	49.93 kA
$R_0$	0.2576 $\Omega$
$X_0$	4.7035 $\Omega$
$R_1$	0.7348 $\Omega$
$X_1$	8.6881 $\Omega$
$R_2$	0.7488 $\Omega$
$X_2$	8.4967 $\Omega$

NOTA: Los valores mostrados, es información exclusiva del cliente CELEC – TRANSELECTRIC

- Cálculo de impedancias de máximas corrientes.

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{X_2}{X_1} = \frac{8.496 \Omega}{8.688 \Omega} = 0.97797$$

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{0.2576 \Omega}{4.7035 \Omega} = 0.05477$$

$$\frac{X_0}{X_1} = \frac{4.703 \Omega}{8.688 \Omega} = 0.54137$$

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{8.6881 \Omega}{0.7348 \Omega} = 11.8232$$

TABLA XV  
Datos de mínima corriente de corto circuito - Monofásico

DESCRIPCIÓN	DATOS
<b>Sitio</b>	SEA 230 kV
<b><i>I<sub>k</sub></i></b>	12.65 kA
<b><i>S<sub>k</sub></i></b>	1679.57 MVA
<b><i>I<sub>p</sub></i></b>	30.69 kA
<b><i>R<sub>0</sub></i></b>	1.24 Ω
<b><i>X<sub>0</sub></i></b>	11.33 Ω
<b><i>R<sub>1</sub></i></b>	1.14 Ω
<b><i>X<sub>1</sub></i></b>	10.15 Ω
<b><i>R<sub>2</sub></i></b>	1.12 Ω
<b><i>X<sub>2</sub></i></b>	9.83 Ω

NOTA: Los valores mostrados, es información exclusiva del cliente CELEC – TRANSELECTRIC

- Cálculo de impedancias de mínimas corrientes.

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \frac{X_2}{X_1} = \frac{9.083 \Omega}{10.15 \Omega} = 0.968$$

$$\frac{X_0}{X_1} = \frac{11.33 \Omega}{10.15 \Omega} = 1.115$$

$$\frac{R_0}{X_0} = \frac{1.24 \Omega}{11.33 \Omega} = 0.11$$

$$\frac{X_1}{R_1} = \frac{10.15 \Omega}{1.14 \Omega} = 8.89$$

### 3.9.1. Valores de red equivalente – PowerFactory

Se ingresa los valores calculados y obtenidos del sistema para poder realizar la modelación del caso de estudio de coordinación de corrientes de corto circuito S/E Sarapullo.

Max. Values		Min. Values	
Short-Circuit Power $S_k^{max}$	7950.304 MVA	Short-Circuit Power $S_k^{min}$	5038.605 MVA
Short-Circuit Current $I_k^{max}$	19.957 kA	Short-Circuit Current $I_k^{min}$	12.648 kA
c-Factor (max.)	1.1	c-Factor (min.)	1.
X/R Ratio (max.)	11.823	X/R Ratio (min.)	8.892
Impedance Ratio		Impedance Ratio	
Z2/Z1 max.	0.9779	Z2/Z1 min.	0.968
X0/X1 max.	0.5414	X0/X1 min.	1.115
R0/X0 max.	0.0547	R0/X0 min.	0.11

Fig. 12. Valores de máximas y mínimas demandas.

### 3.10. Coordinación de protecciones de sobrecorriente

Para lograr un mejor entendimiento de las coordinaciones y el análisis de estudio de las curvas; en el caso de máximas y mínimas corrientes de cortocircuito, se lo realizó por ramales, el cual nos ayuda a entender de una mejor manera el comportamiento de todos los relés ya coordinados de la S/E Sarapullo.

Para lograr esta coordinación de relés de protección de sobrecorriente, salvaguardando todos los equipos y componentes que conforma la S/E, es necesario ingresar los parámetros ya ajustados en el programa computacional PowerFactory DIgSILENT 15.1, a continuación, se describe los puntos de referencia más importantes para lograr los objetivos trasados en el proyecto de estudio.

- Se ajusta los valores de flujo de máxima y mínima corrientes de la red equivalente, minimizando el circuito unifilar y enfocándonos en el proyecto de la S/E Sarapullo.
- Se fijo las corrientes nominales para el caso de estudio de la coordinación, aumentando un 20% al valor calculado para ajustar los relés de protección.
- Se identificó los niveles de tensión de 13.8kV y 230kV en que se encuentra la S/E para determinar el flujo de corrientes nominales en que operaran los relés.
- En algunos casos de coordinación fue necesario ingresar un segundo paso, para ajustar los tiempos de actuación de los relés en el caso de estudio de

máxima y mínima corrientes, logrando así mantener las mismas curvas o gráficas, minimizar tiempos y poder determinar una buena coordinación de los relés.

- Fue necesario ajustar las características de las curvas acorde a la necesidad, para lograr el tiempo determinado de ajuste de las protecciones.
- Para poder lograr una mejor coordinación, se planteó un tiempo de 250ms para la activación de los relés en forma escalonada, con una tolerancia de +/- 50ms. Logrando cumplir con estos ajustes para los relés de protección de la S/E Sarapullo.
- Todas las coordinaciones de las protecciones de la S/E, se podrá observar cómo actúan los relés en las figuras de las fallas monofásicas a tierra y trifásicas, respetando el tiempo de apertura o activación dentro de los 250ms con una tolerancia +/- 50ms.
- En la modelación de falla monofásica en el caso de mínima corriente de corto circuito del ramal Transformador de servicios auxiliares y S/E La Palma, se puede observar en la Fig. 8 y 12, que el relé RED670\_CMS\_SES no opera, recordemos que la corriente nominal de falla es mucho mayor, porque es la suma con las 3 unidades y el relé RED670\_CMS\_SES no alcanza a ver la corriente de falla monofásica porque es muy baja.
- Las protecciones del transformador de potencia de 60 MVA, 230/13.8 kV; están ajustadas y coordinadas para operar al mismo tiempo de falla, para salvaguardar el transformador de potencia en fallas bidireccionales del sistema.
- Al modelar en el programa una falla monofásica, se puede observar que, en los ramales, los relés involucrados no operan, estos serían los relés que se encuentran aguas abajo del transformador de referencia a tierra (Zig-Zag) ubicado en el pateo de maniobras de la S/E, por la razón que se descarga la falla a tierra, ya que el transformador (Zig-Zag) aporta una corriente de falla cuando se presenta específicamente una falla monofásica.

### 3.11. Coordinación de fallas monofásicas

#### 3.11.1. Falla Monofásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

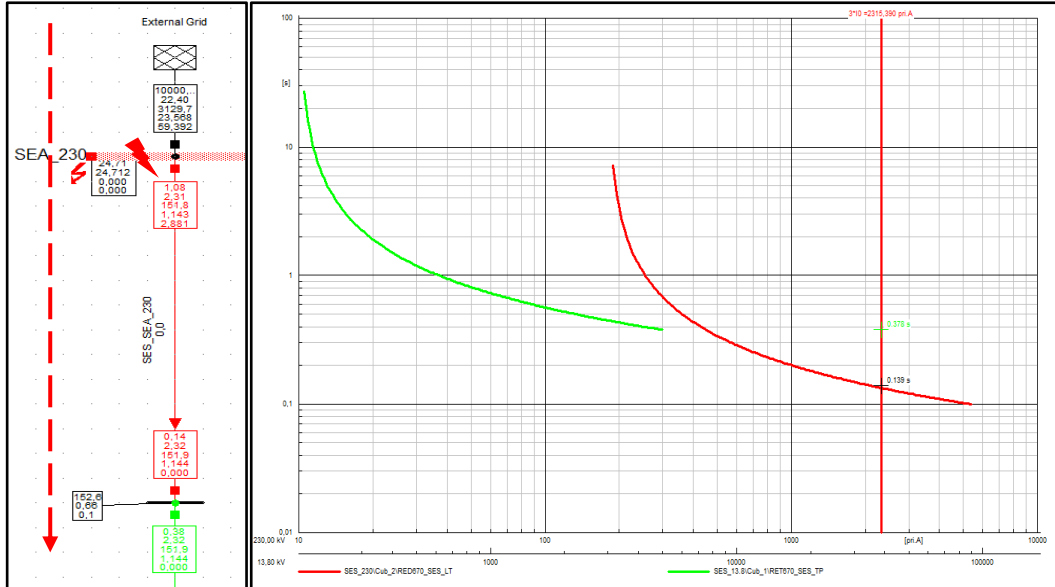


Fig. 13. Falla Monofásica en barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 13, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.139s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 14.

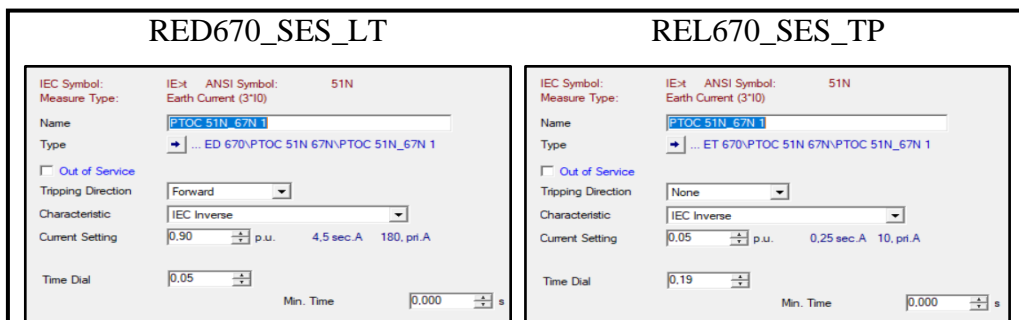


Fig. 14. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.2. Falla Monofásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

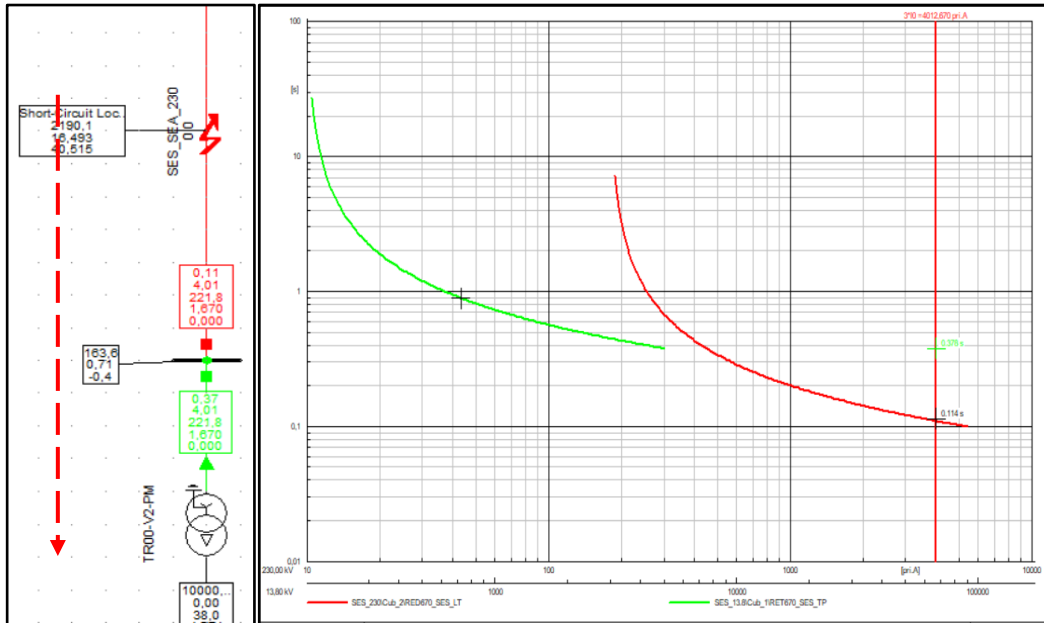


Fig. 15. Falla Monofásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 15, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la Línea de transmisión de 230kV (L/T\_SES\_SEA\_230) de 9.7 km, ubicada entre la S/E Sarapullo y S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.114s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 14.



### 3.11.3. Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes

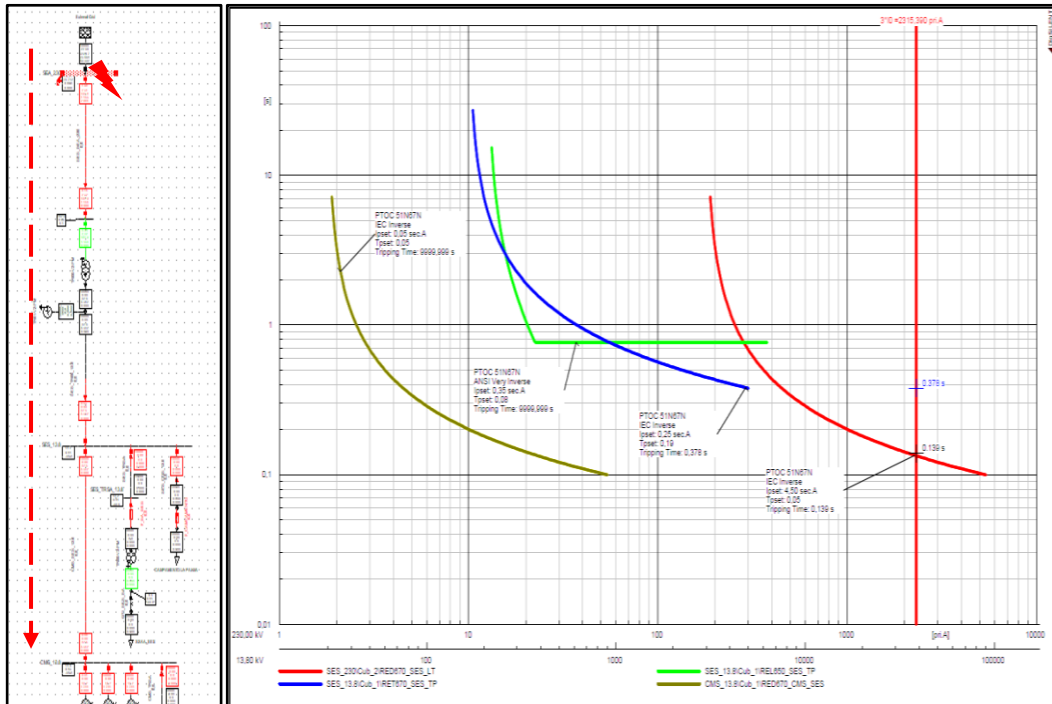


Fig. 16. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 16, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP, REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.139s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse, los relés REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 14.

### 3.11.4. Falla Monofásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

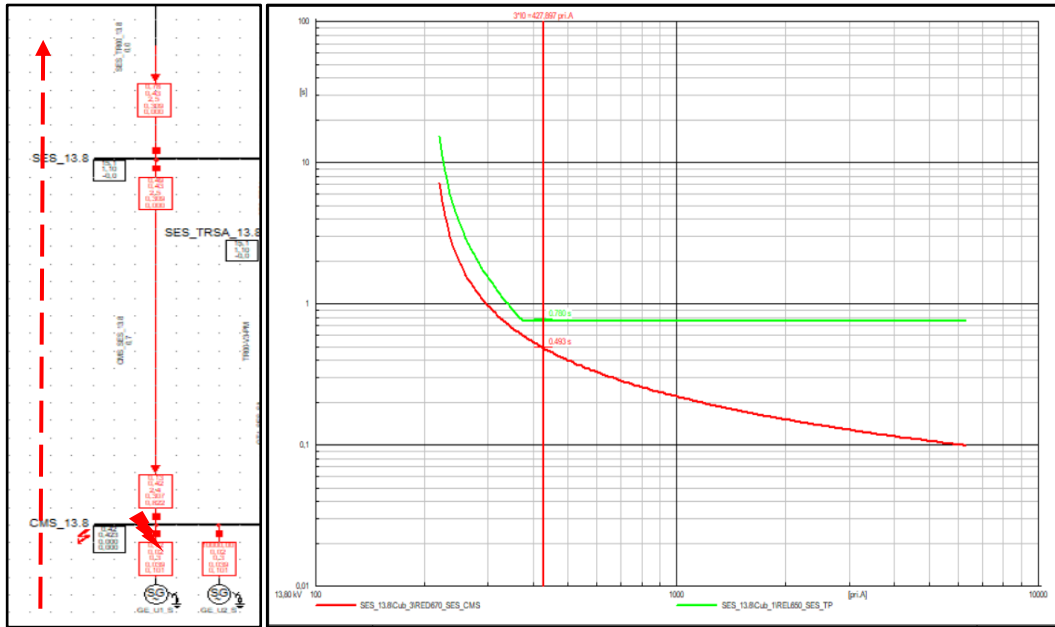


Fig. 17. Falla Monofásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 17, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.493s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08 y con una curva ANSI Very Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 18.

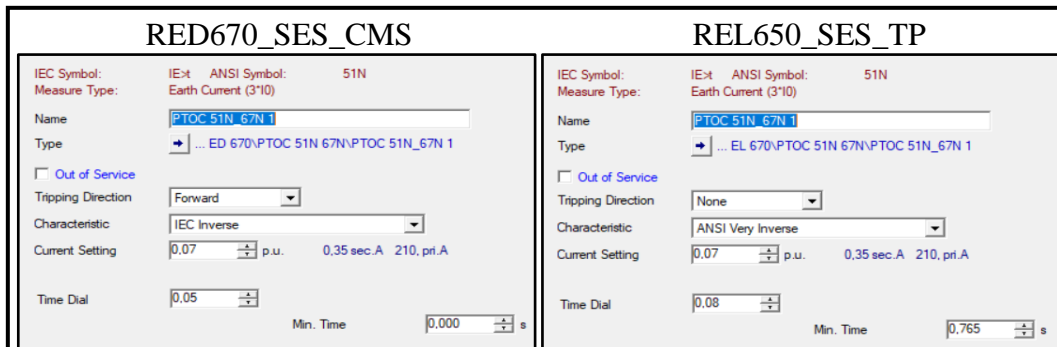


Fig. 18. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.5. Falla Monofásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

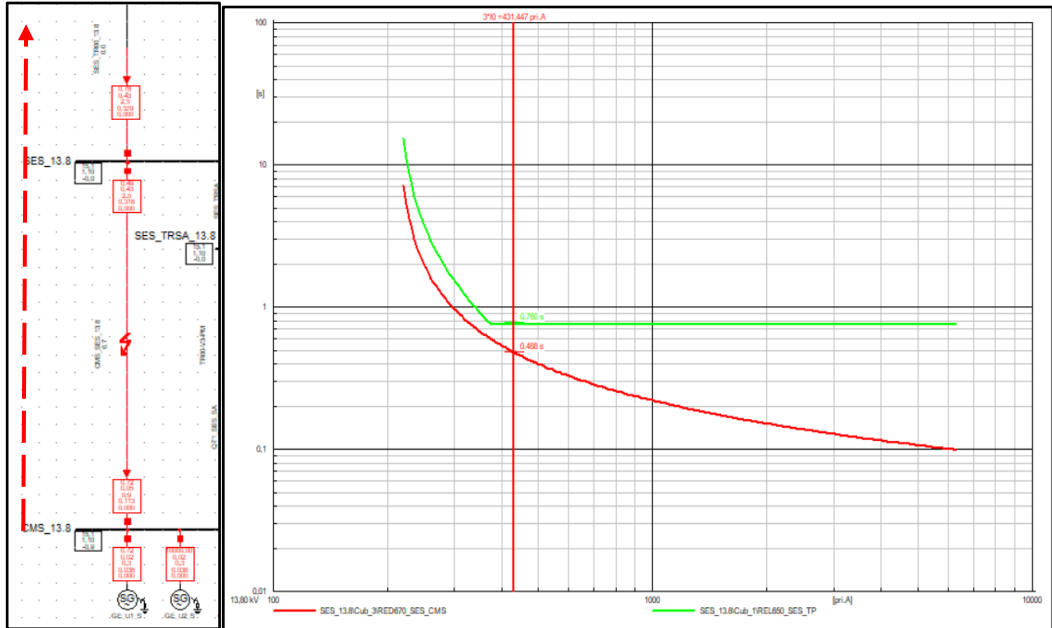


Fig. 19. Falla Monofásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 19, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la Línea de transmisión de 13.8 kV (L/T\_CMS\_SES\_13.8) de 0.37 km, ubicada entre CM Sarapullo y S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.488s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 18.

### 3.11.6. Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Máximas Corrientes

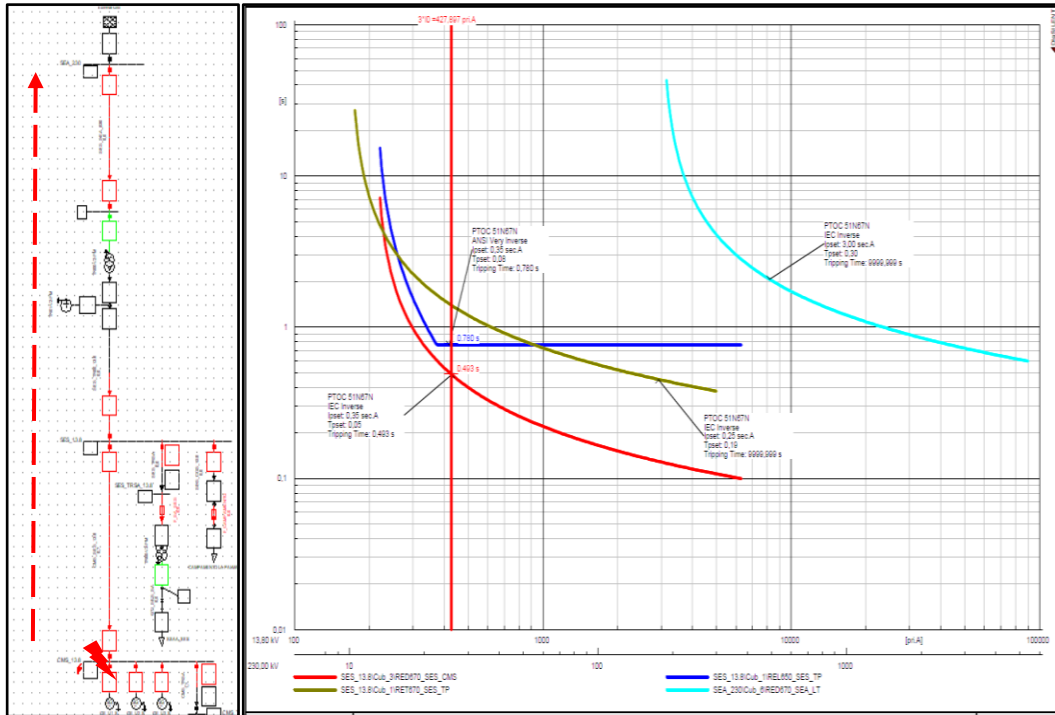


Fig. 20. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 20, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP, REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.493s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08 y con una curva ANSI Very Inverse, los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 18.

**3.11.7. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes**

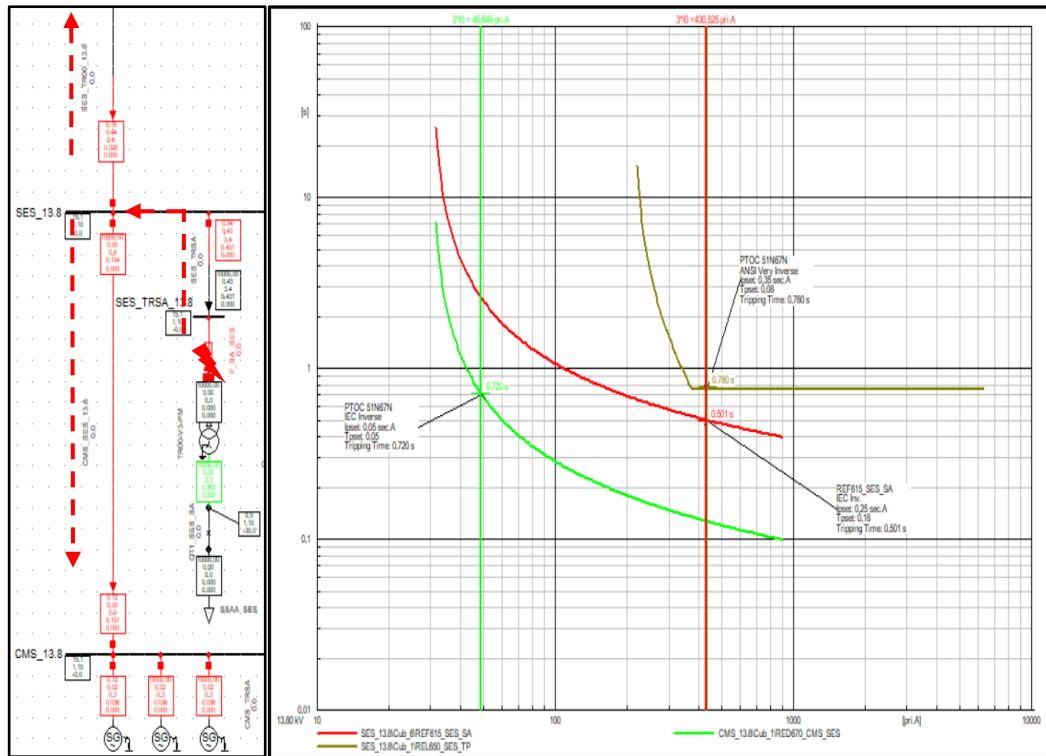


Fig. 21. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 21, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_SA / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.501s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.720s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, con una curva IEC Inverse y el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 7, 3, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 22.

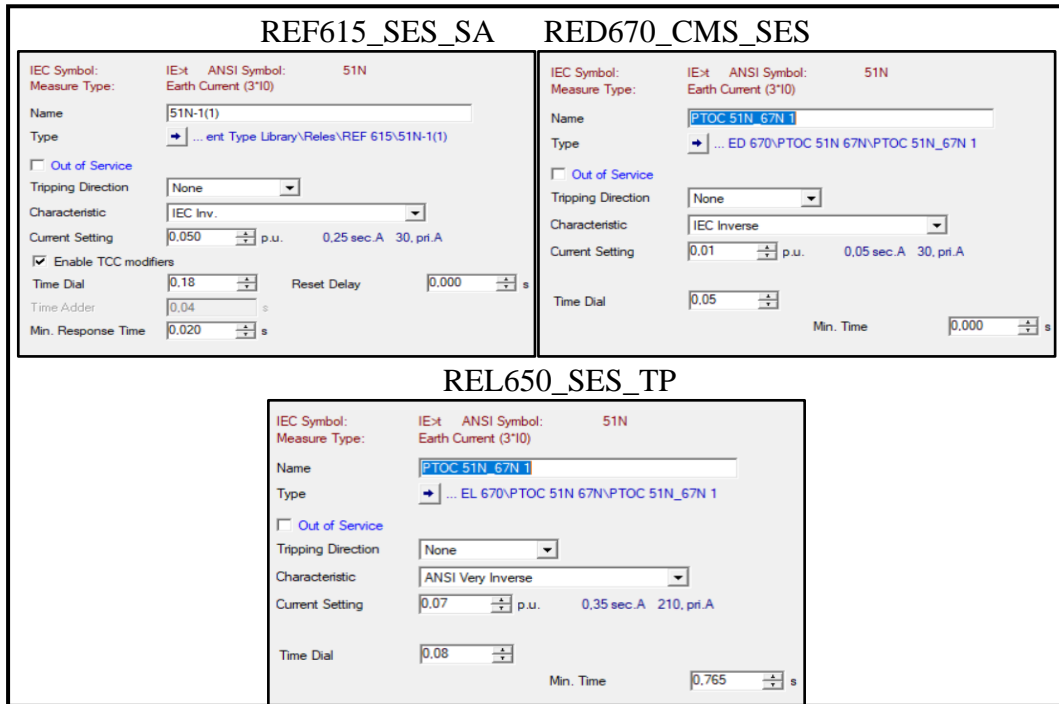


Fig. 22. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.8. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes.

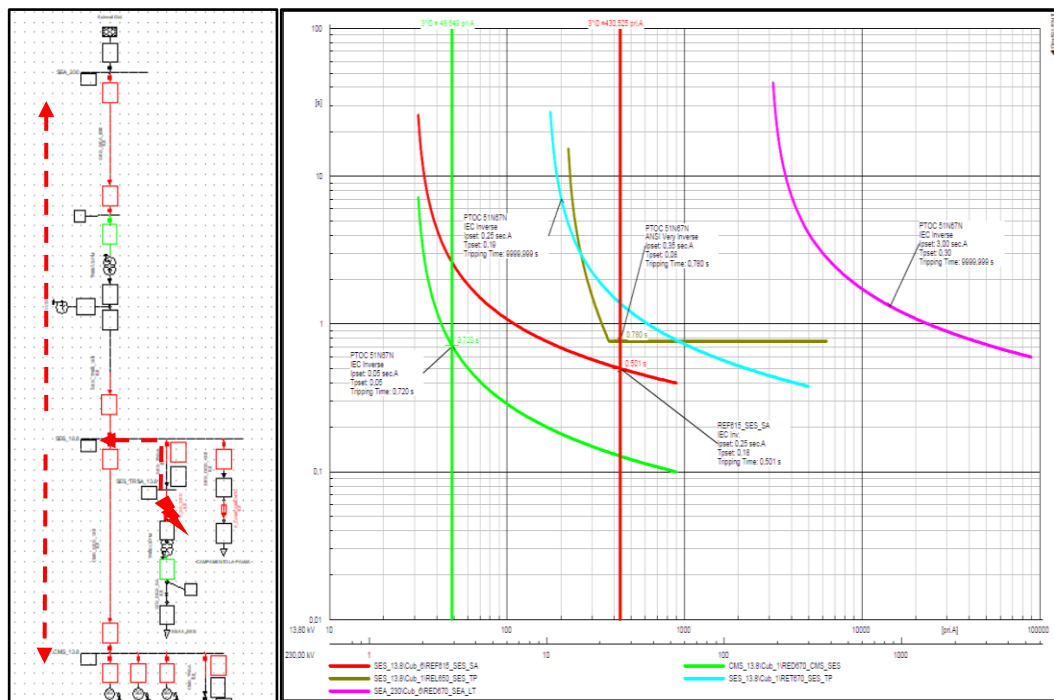


Fig. 23. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 23, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT,

aplicando una falla de cortocircuito monofásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_SA / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.501s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.720s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, con una curva IEC Inverse, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 7, 5, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 22.

### 3.11.9. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

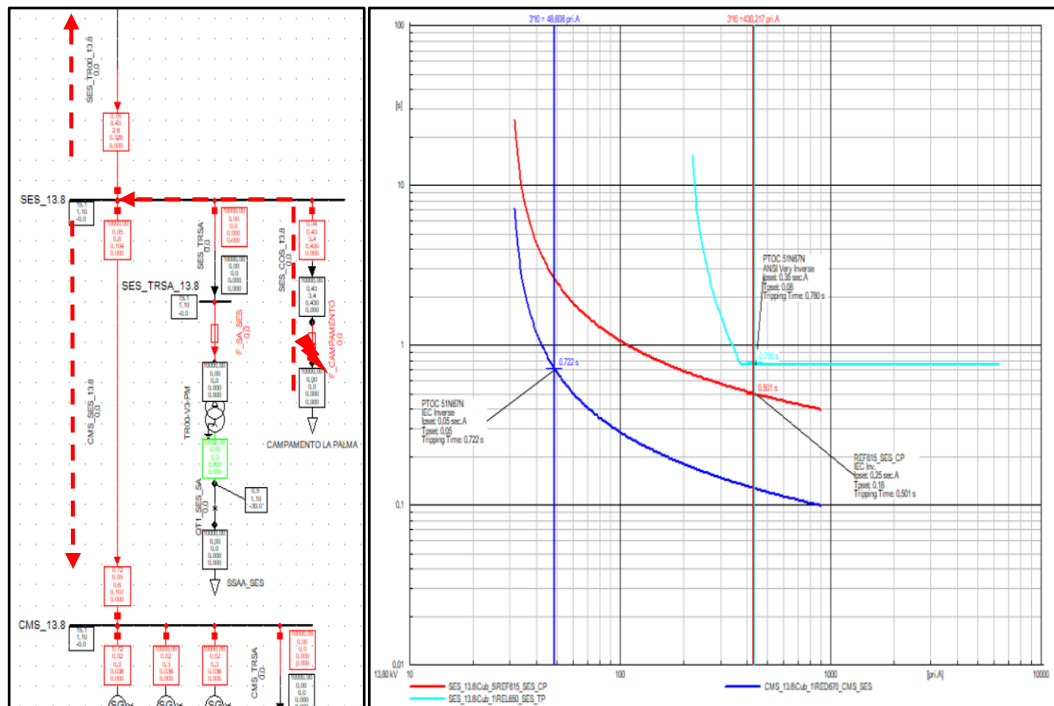


Fig. 24. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 24, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.501s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.722s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, con una curva IEC Inverse y el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 8, 5, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 25.

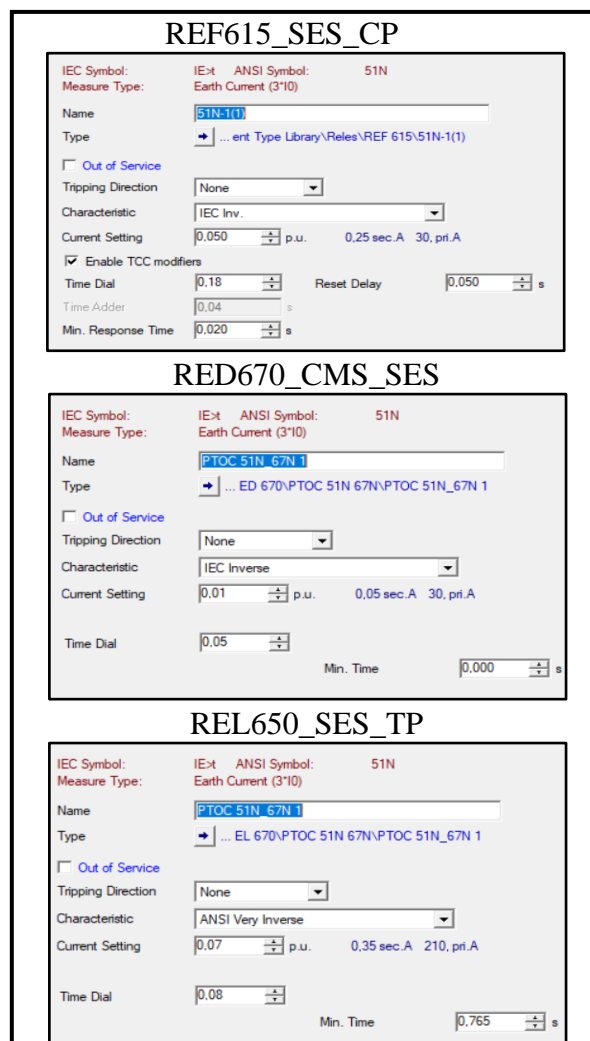


Fig. 25. Características de ajuste de curvas.



### 3.11.10. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes

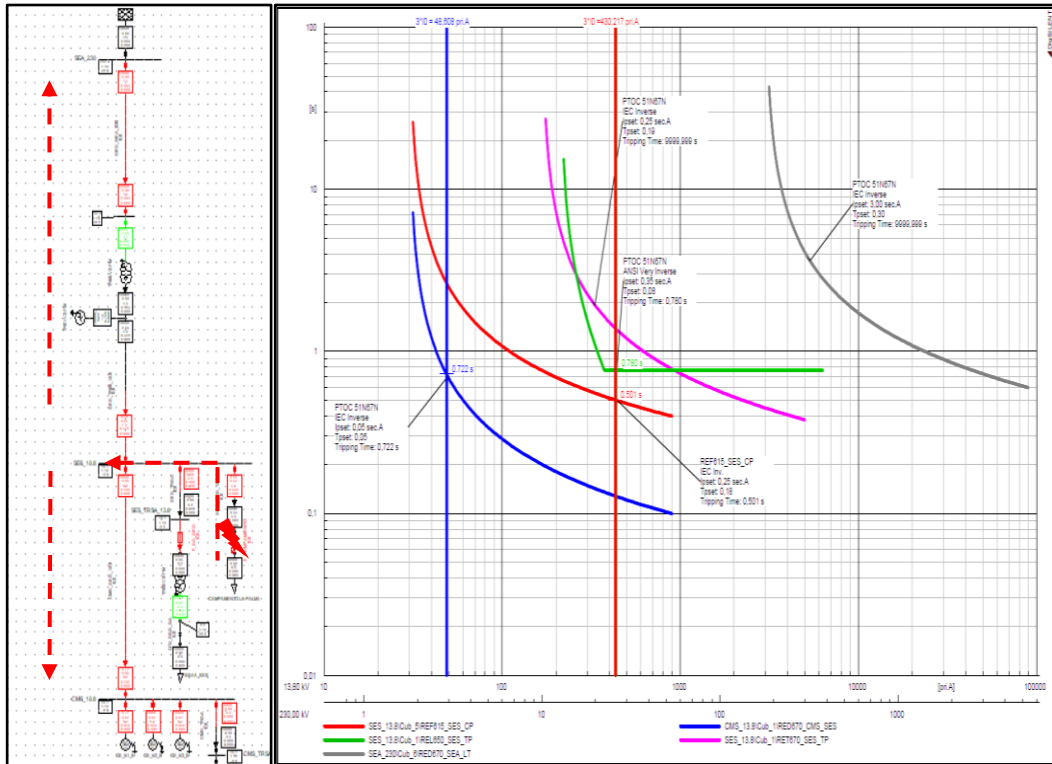


Fig. 26. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 26, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_CP / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.501s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.722s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, con una curva IEC Inverse, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla

a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 8, 5, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 25.

**3.11.11. Falla Monofásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes**

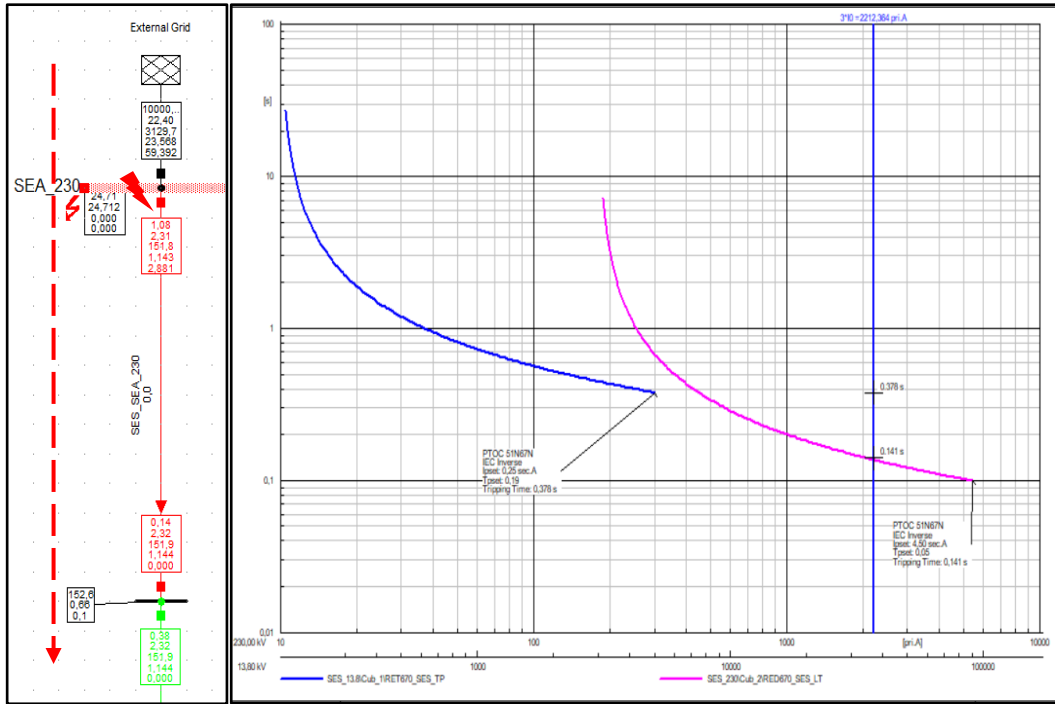


Fig. 27. Falla Monofásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 27, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.141s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 28.

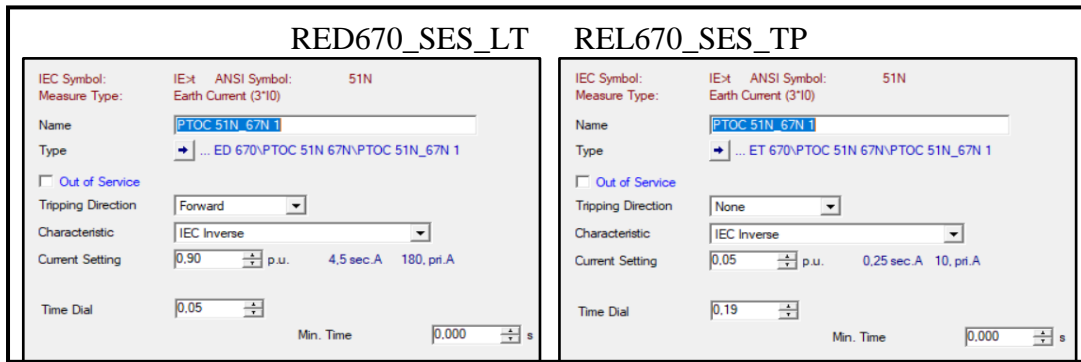


Fig. 28. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.12. Falla Monofásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

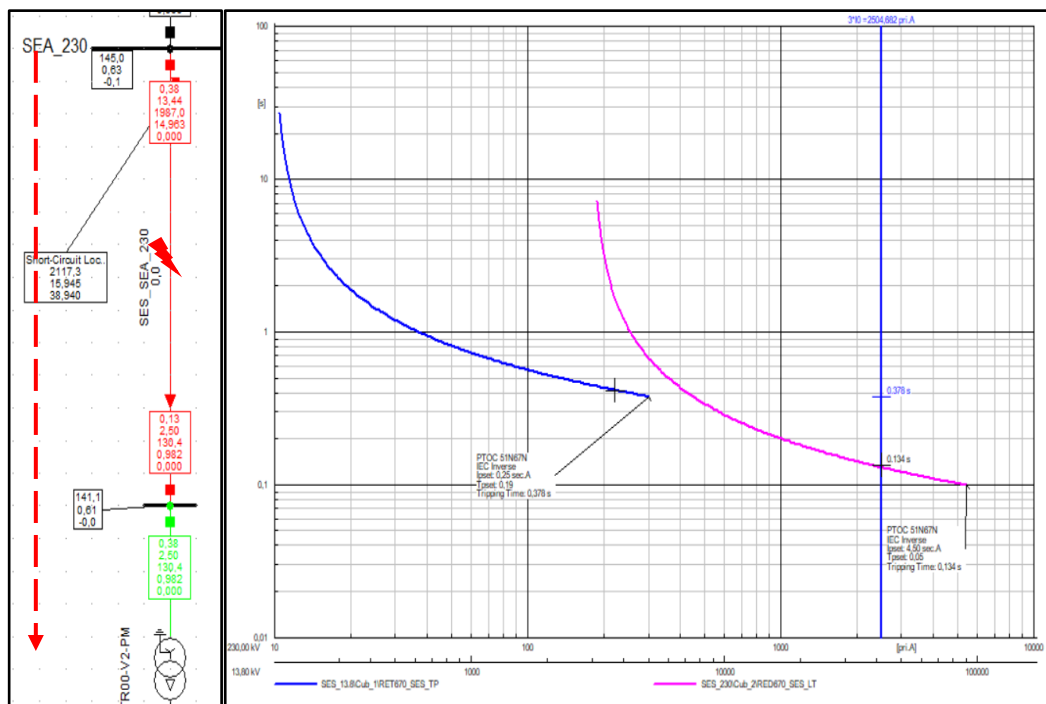


Fig. 29. Falla Monofásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 29, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la Línea de transmisión de 230kV (L/T\_SES\_SEA\_230) de 9.7 km, ubicada entre la S/E Sarapullo y S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.134s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional

(None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 28.

### 3.11.13. Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes

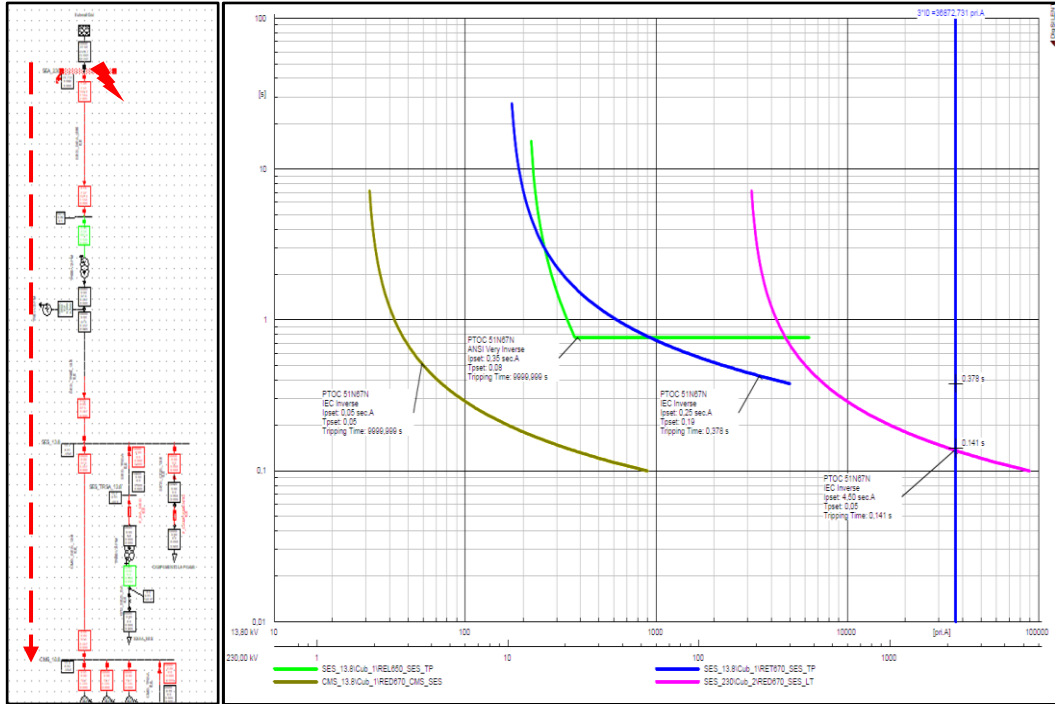


Fig. 30. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 30, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP, REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.141s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.19 y con una curva IEC Inverse, los relés REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de

falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 2, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 28.

### 3.11.14. Falla Monofásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

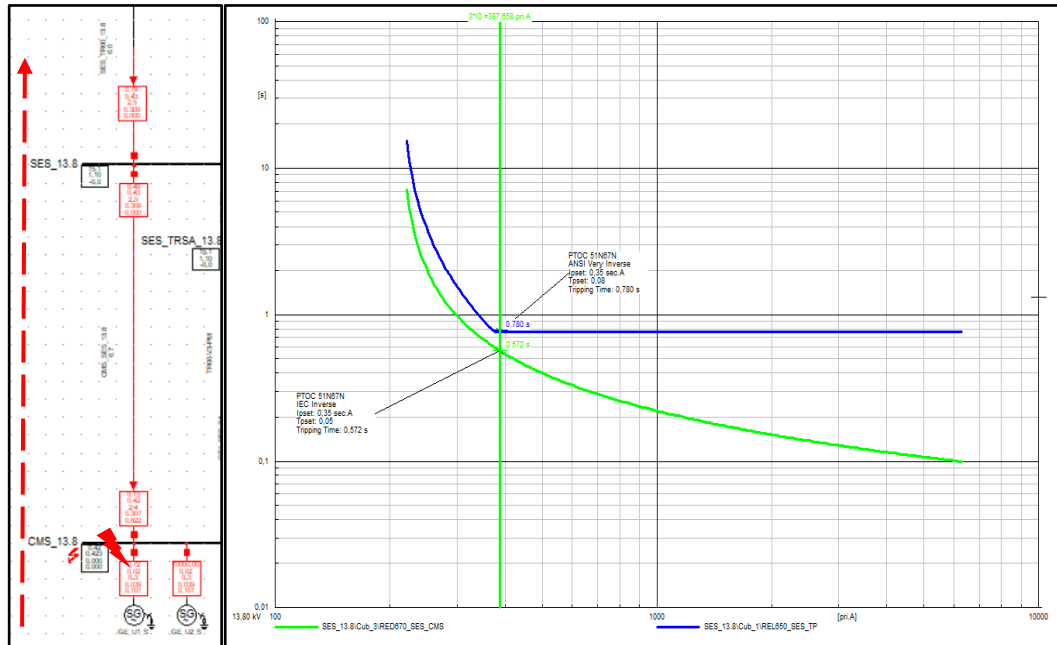


Fig. 31. Falla Monofásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

Se observa en la Fig. 31, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.572s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08 y con una curva ANSI Very Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 32.

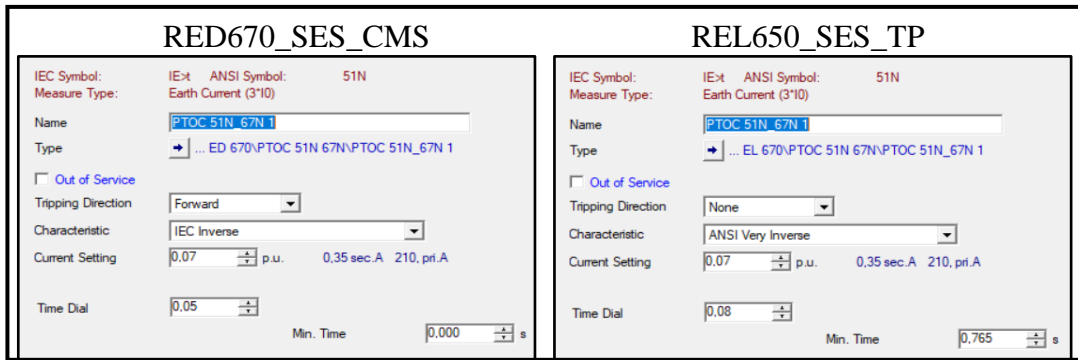


Fig. 32. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.15. Falla Monofásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

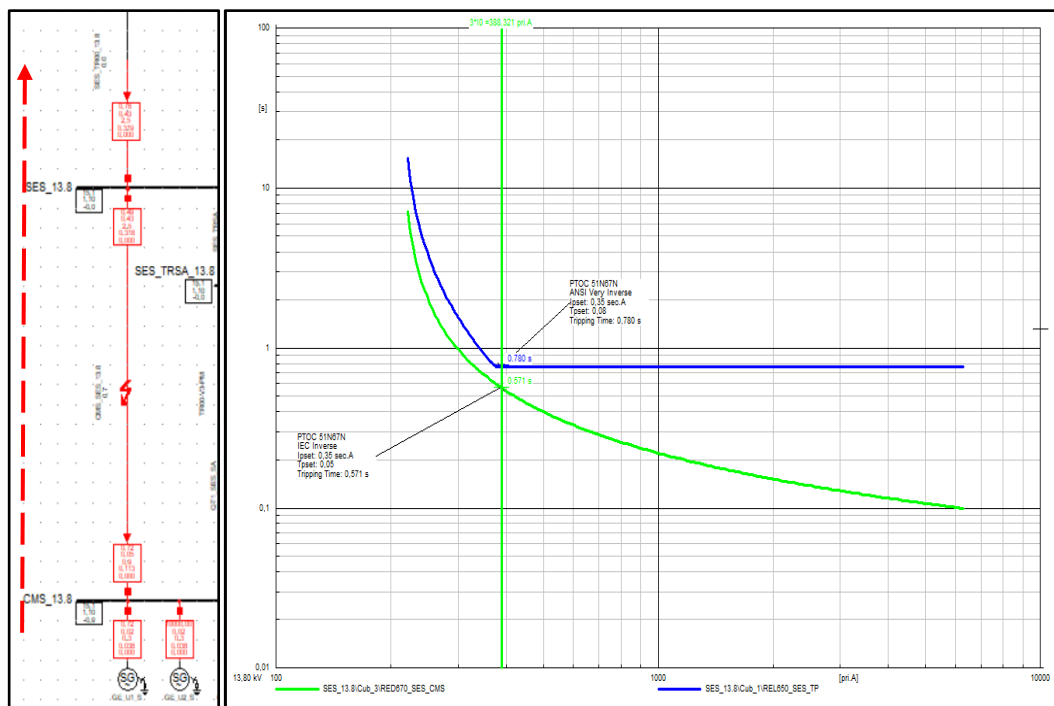


Fig. 33. Falla Monofásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 33, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la Línea de transmisión de 13.8 kV (L/T\_CMS\_SES\_13.8) de 0.37 km, ubicada entre CM Sarapullo y S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.571s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional

(None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 32.

### 3.11.16. Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes

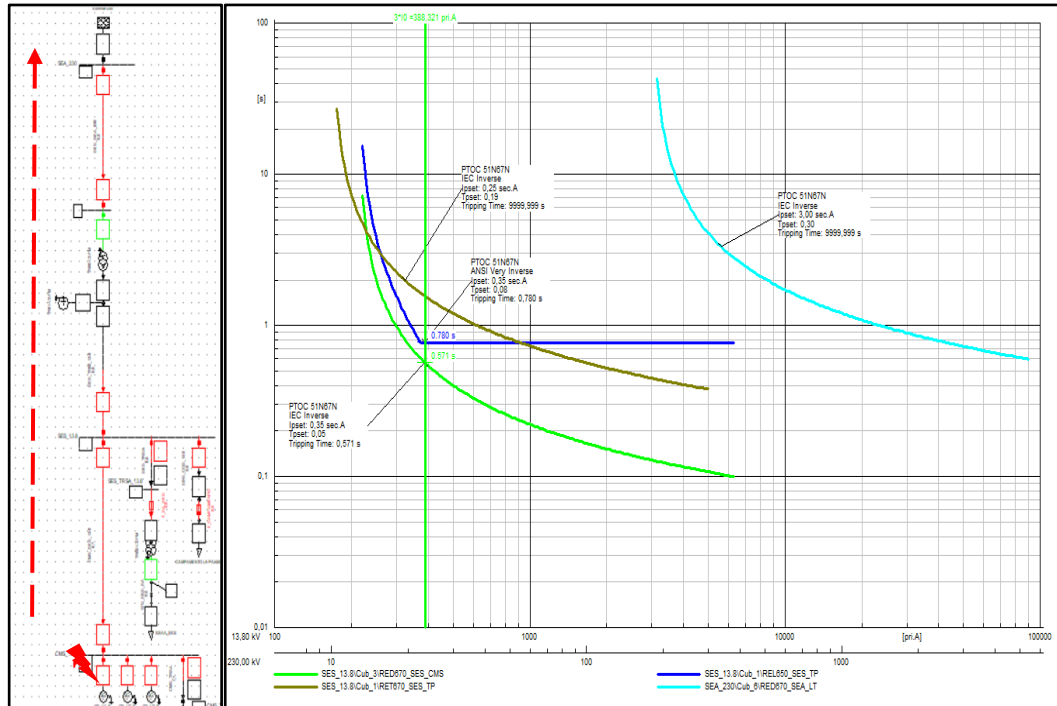


Fig. 34. Curvas de Falla Monofásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 34, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP, REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51N\_67N 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.571s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08 y con una curva ANSI Very Inverse, los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 6, 3 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 32.

**3.11.17. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes**

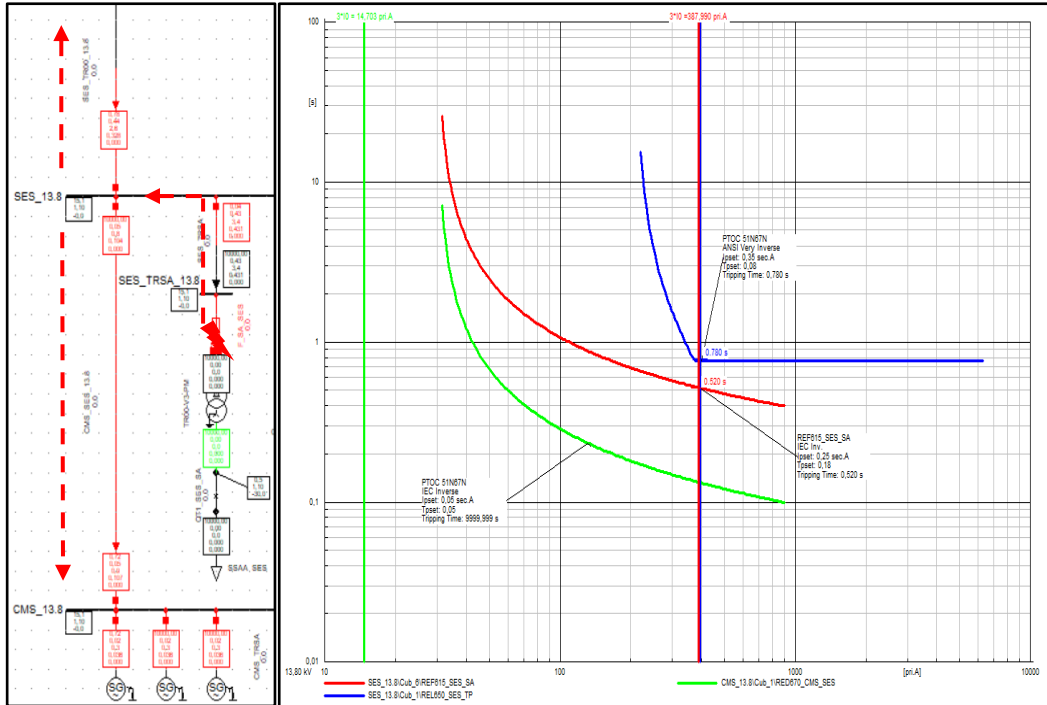


Fig. 35. Falla Monofásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 35, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_SA / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.520s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 no alcanza a ver la corriente de falla monofásica porque es muy baja. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 7, 3, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 36.



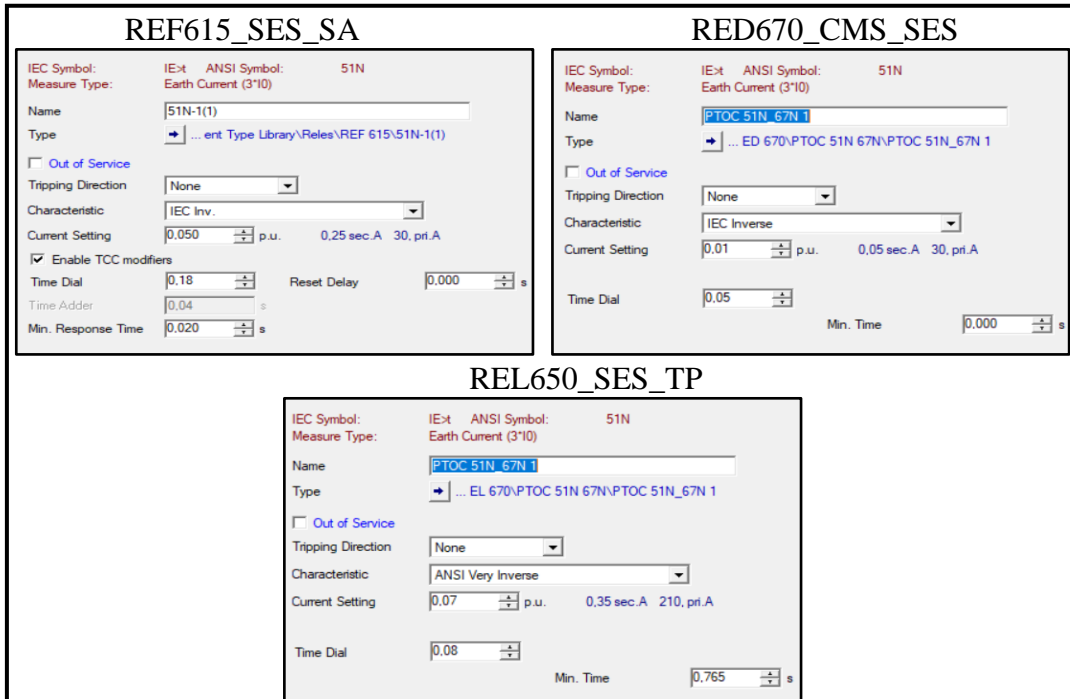


Fig. 36. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.18. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.

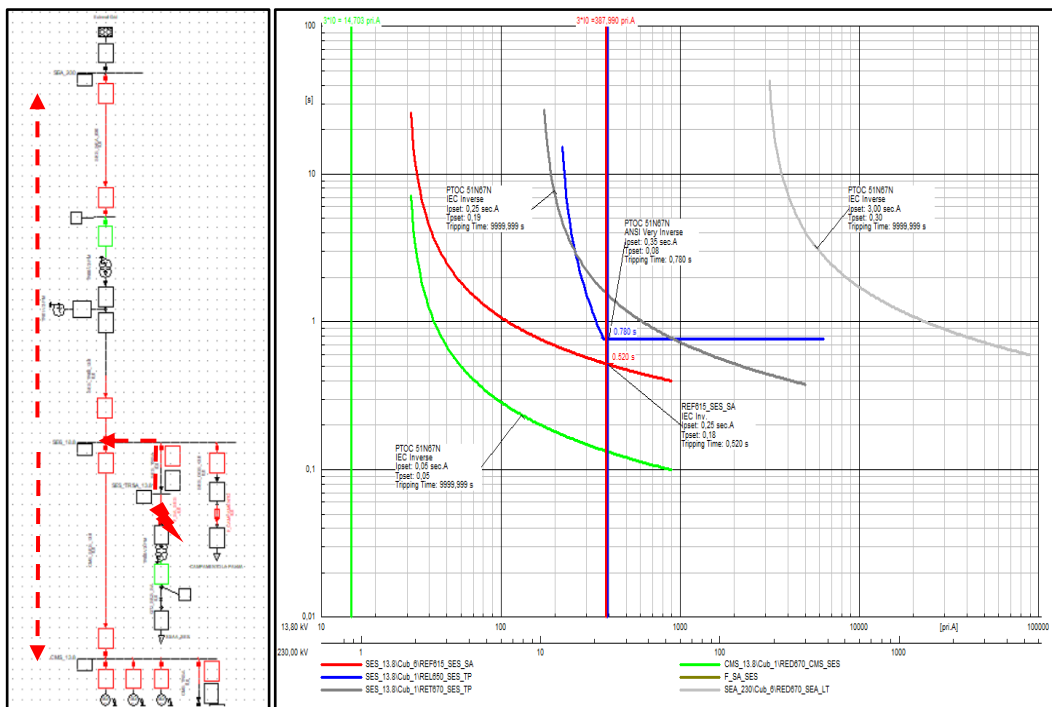


Fig. 37. Falla Monofásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 37, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en el transformador Auxiliar de

400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_SA / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.520s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 no alcanza a ver la corriente de falla monofásica porque es muy baja y los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 7, 3, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 36.

**3.11.19. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes**

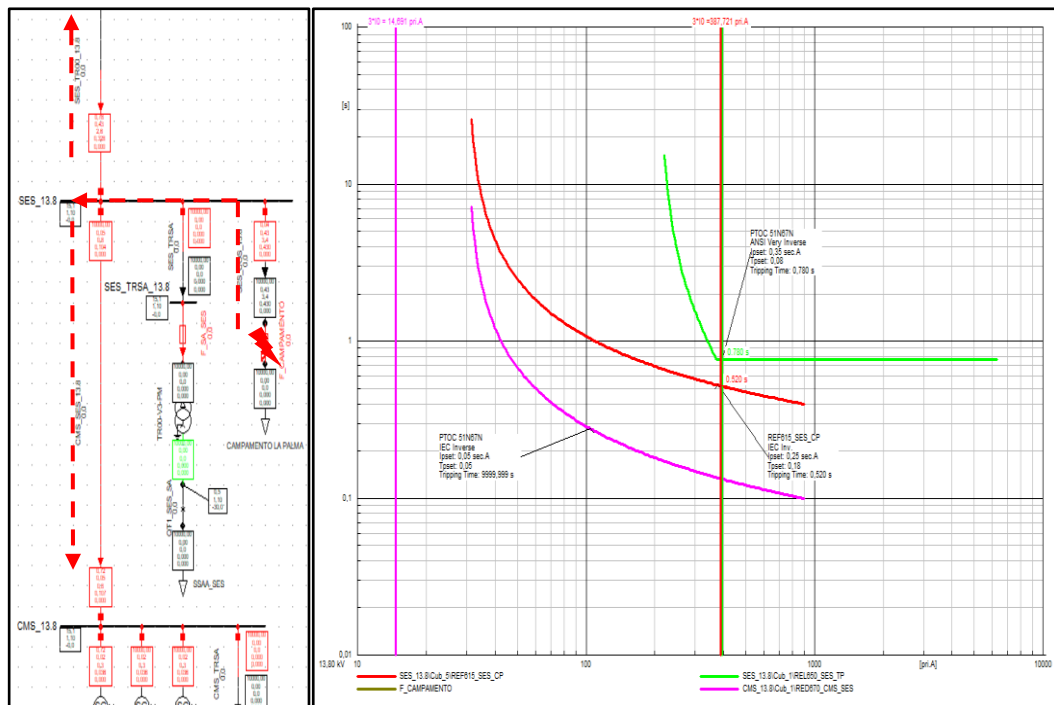


Fig. 38. Falla Monofásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 38, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.520s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 no alcanza a ver la corriente de falla monofásica porque es muy baja. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 8, 3, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 39.

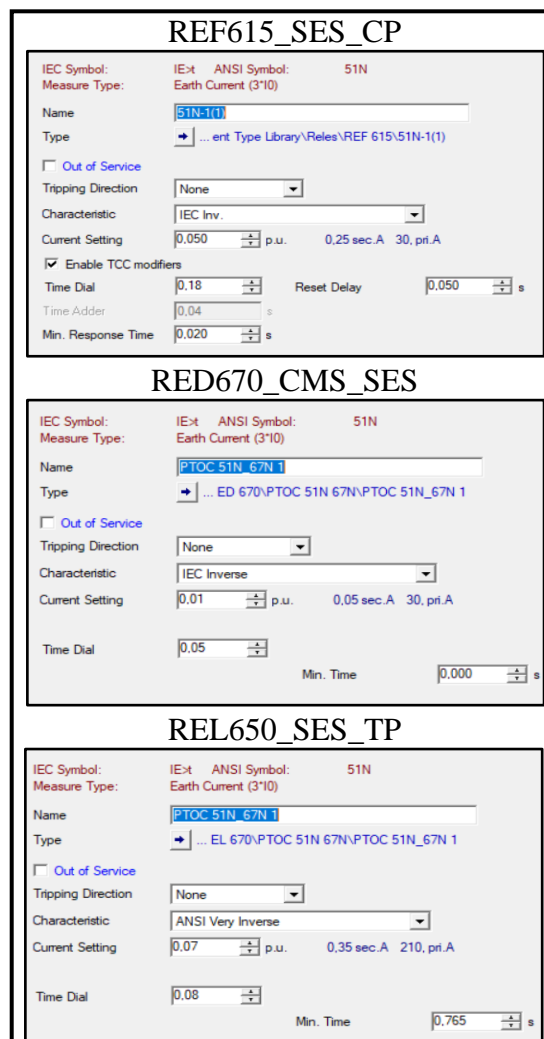


Fig. 39. Características de ajuste de curvas.

### 3.11.20. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corrientes

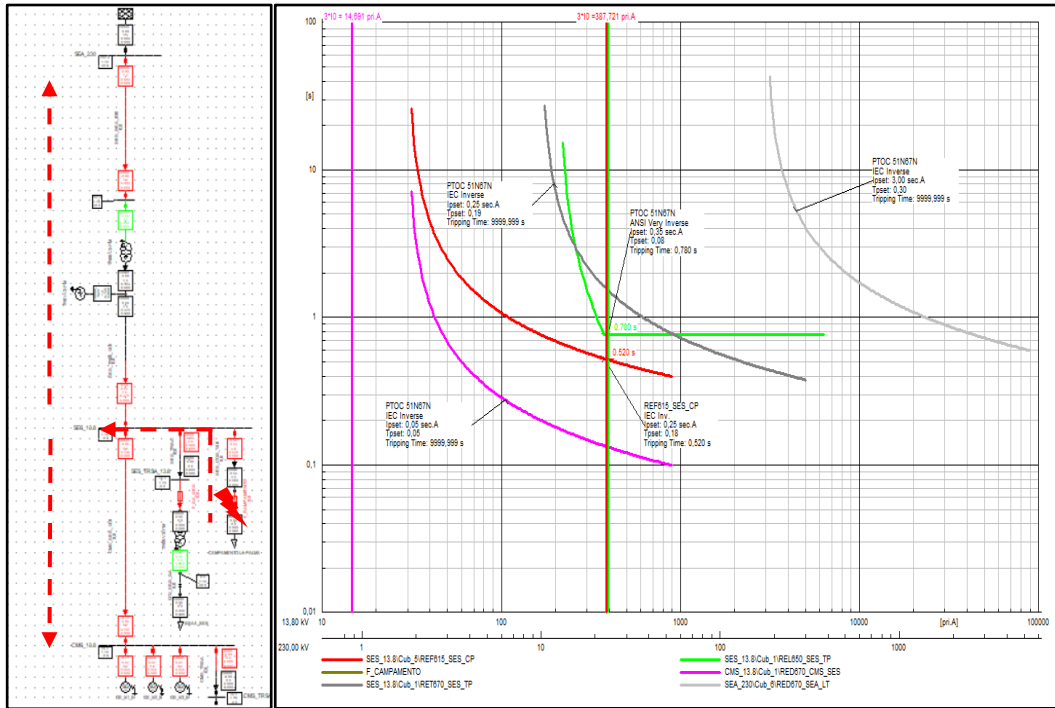


Fig. 40. Falla Monofásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corrientes

Se observa en la Fig. 40, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito monofásica en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el REF615\_SES\_CP / 51N-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.520s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.18, una curva IEC Inverse y un tiempo mínimo de 0.02s; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51N\_67N 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.780s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.08, con una curva ANSI Very Inverse y un tiempo mínimo de 0.765s, el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51N\_67N 1 no alcanza a ver la corriente de falla monofásica porque es muy baja y los relés REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT involucrados en el ramal no actúan por que se encuentran aguas abajo del transformador de potencia de 13.8/230 kV en el pateo de maniobras de la S/E Sarapullo el cual descarga la falla a tierra por el aporte de corriente de falla del

transformador Zig-Zag. Ver ajustes de relés en la tabla XVI, en los ítems 8, 3, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 39.

### 3.12. Coordinación de fallas trifásicas

#### 3.12.1. Falla Trifásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

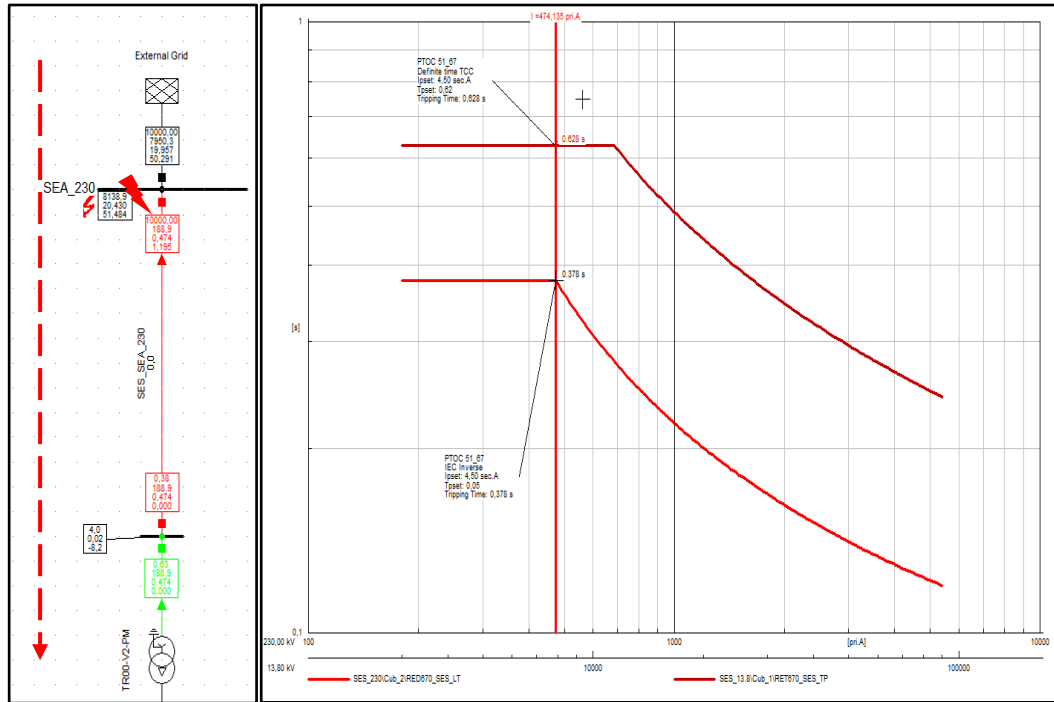


Fig. 41. Falla Trifásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 41, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 2, 7 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 42.

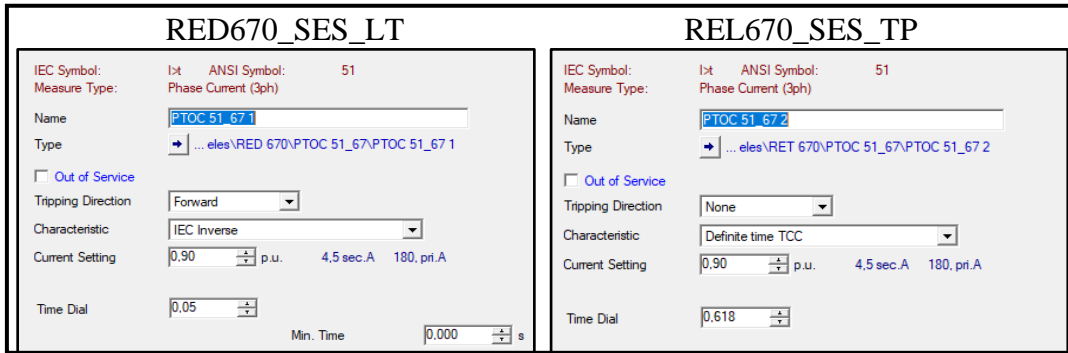


Fig. 42. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.2. Falla Trifásico en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

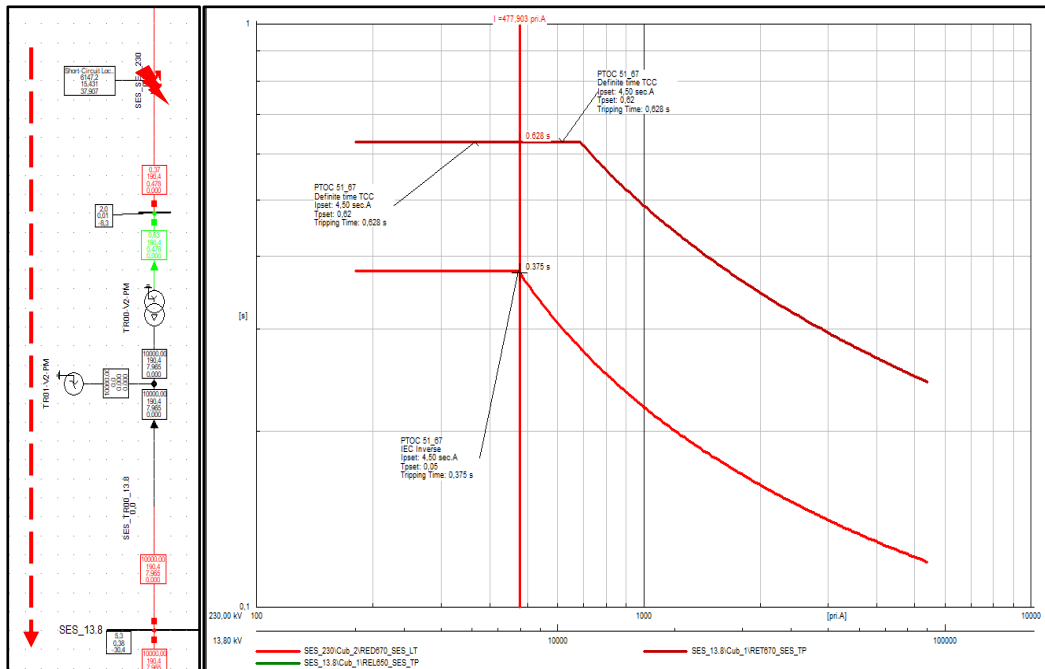


Fig. 43. Falla Trifásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 43, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la Línea de transmisión de 230kV (L/T\_SES\_SEA\_230) de 9.7 km, ubicada entre la S/E Sarapullo y S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.375s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67

2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC, esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 2, 7, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 42 y 44.

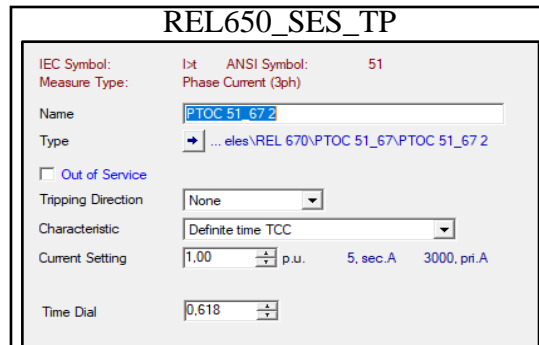


Fig. 44. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.3. Falla Trifásico en Barra SES\_230 – Relés coordinados: REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES – Máximas Corrientes

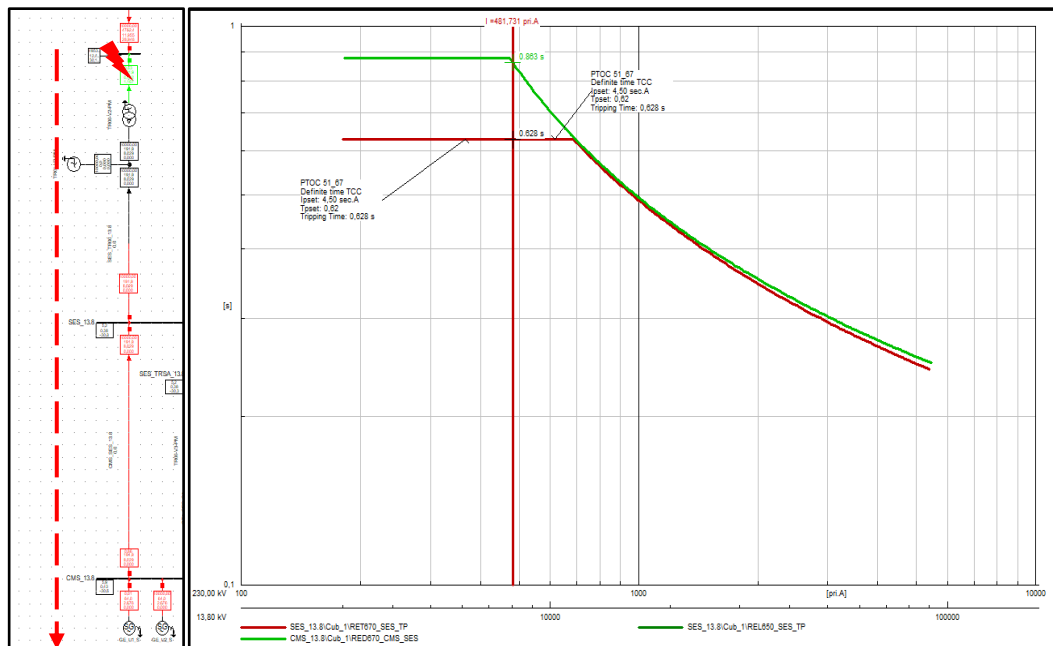


Fig. 45. Falla Trifásico en Barra SES\_230 – Relés coordinados: REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 45, la coordinación de los relés REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra SES\_230 ubicada en la S/E Sarapullo, podemos observar el

comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC, esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Continúa el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.863s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67 y con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 7, 5, 8 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 42, 44 y 46.

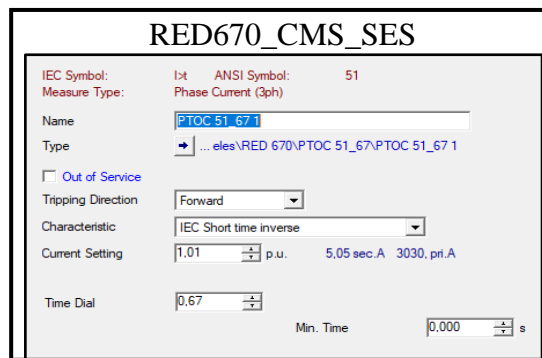


Fig. 46. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.4. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes

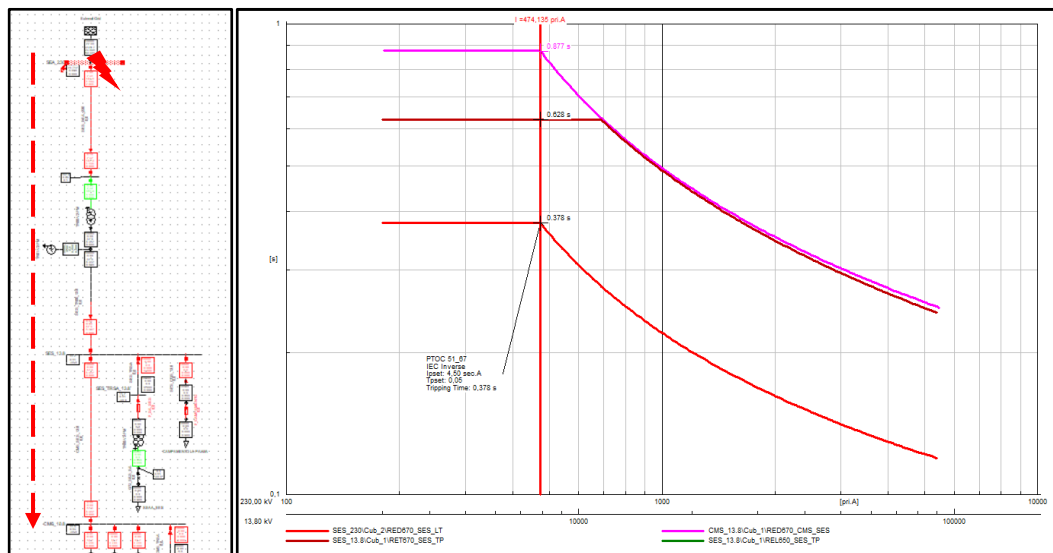


Fig. 47. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 47, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP, REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla



de cortocircuito trifásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC, esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados; el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.877s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67 y con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 2, 7, 5, 8 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 42, 44 y 46.

### 3.12.5. Falla Trifásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

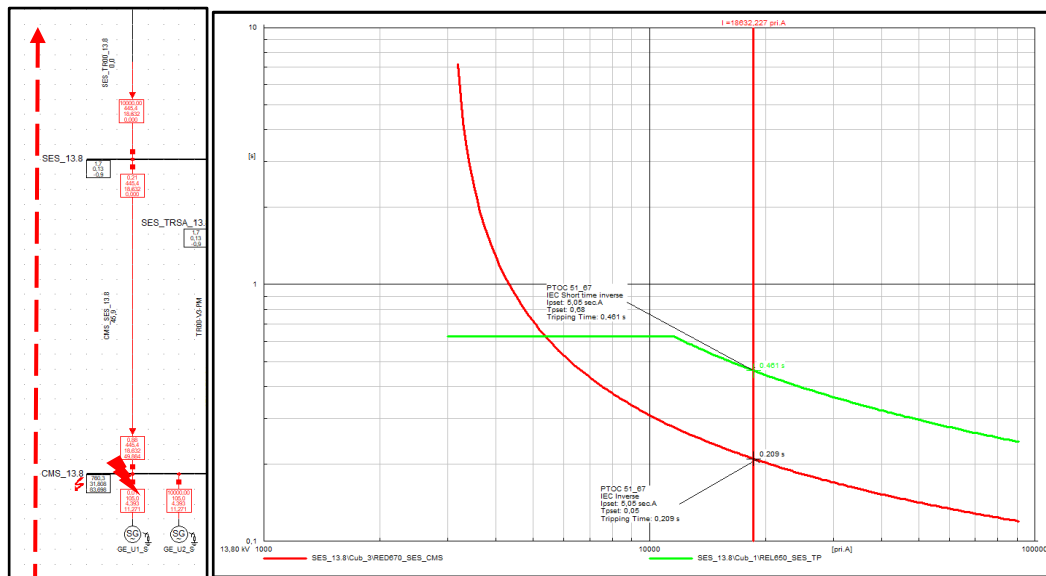


Fig. 48. Falla Trifásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 48, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS /

PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.209s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.461s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 49.

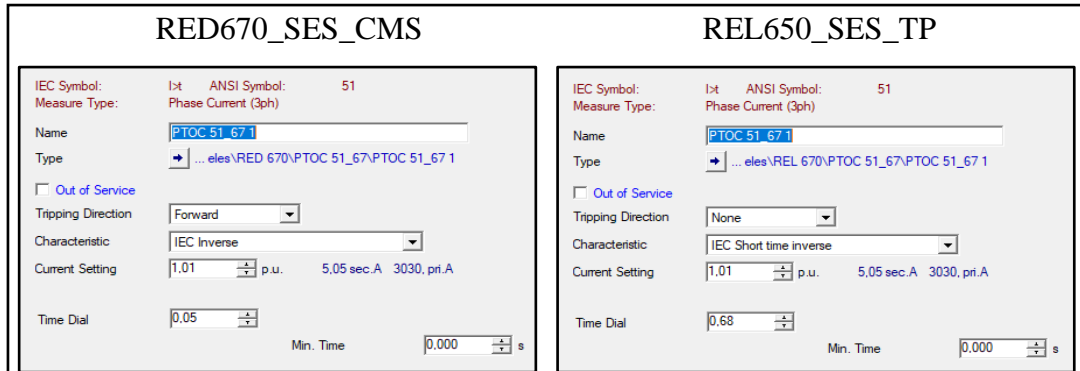


Fig. 49. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.6. Falla Trifásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes

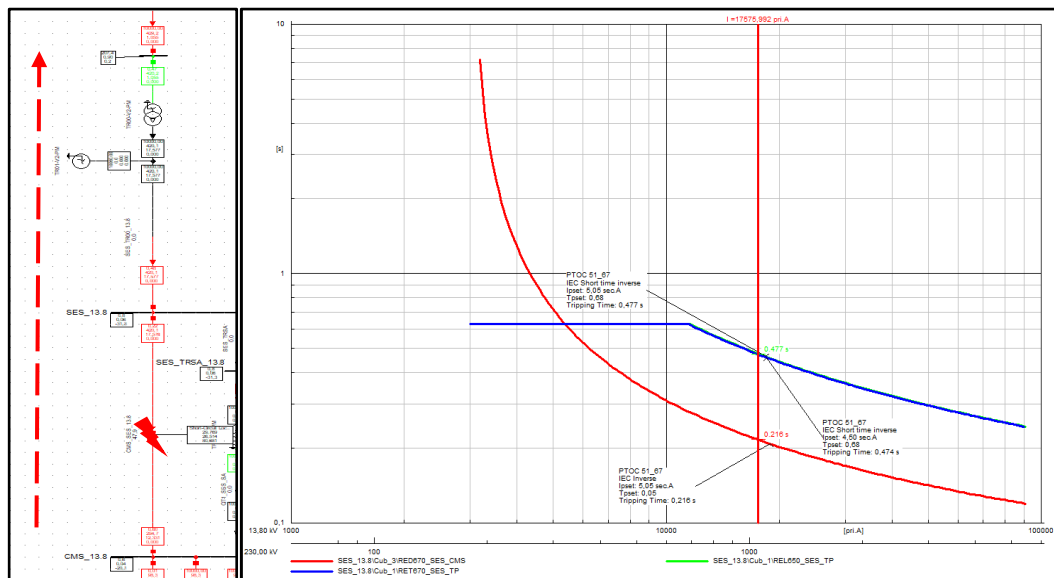


Fig. 50. Falla Trifásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 50, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la Línea de transmisión de 13.8 kV (L/T\_CMS\_SES\_13.8) de 0.37 km,

ubicada entre CM Sarapullo y S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.216s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.477s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4, 6 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 49 y 51.

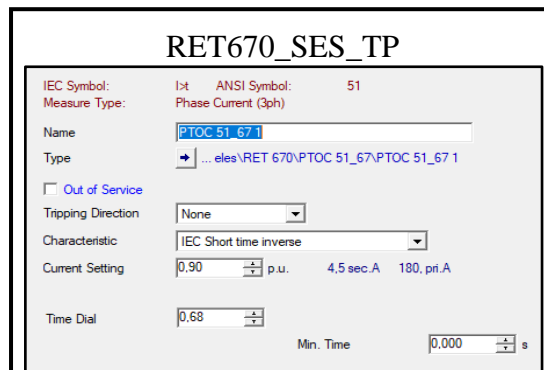


Fig. 51. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.7. Falla Trifásica – Ramal: CMS/SEA – Máximas Corrientes

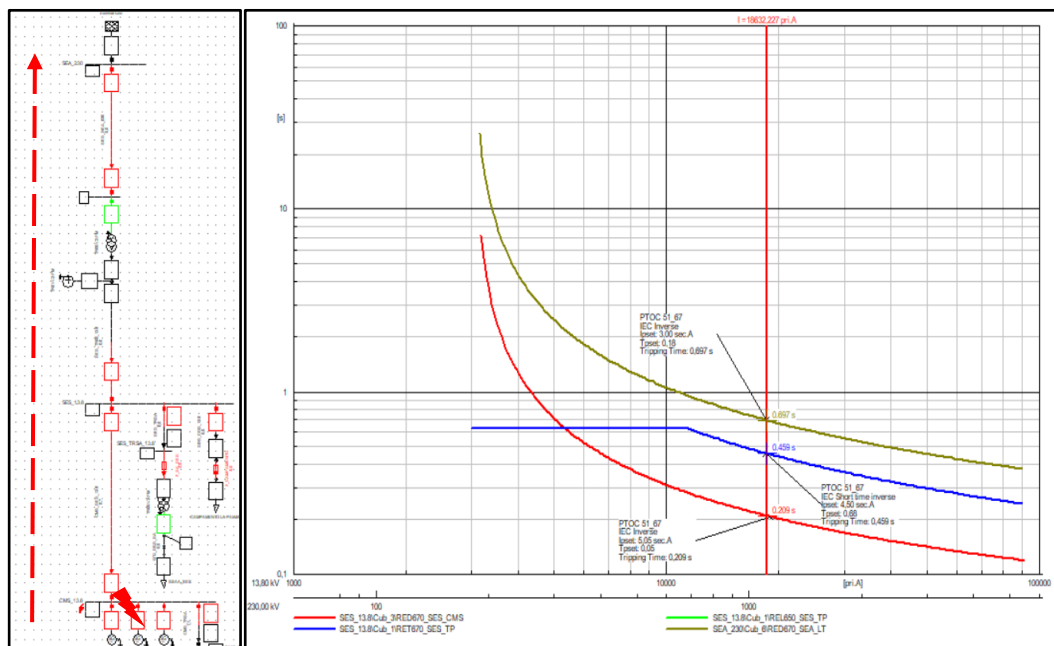


Fig. 52. Curvas de Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 52, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP, REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito trifásico en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.209s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse, continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.459, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.697s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4, 6 y 1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 49, 51 y 53.

The image shows a configuration window for the relay RED670\_SEA\_LT. The settings are as follows:

Parameter	Value
IEC Symbol	Ist
ANSI Symbol	51
Measure Type	Phase Current (3ph)
Name	PTOC 51_67 1
Type	... eles\RED 670\PTOC 51_67\PTOC 51_67 1
Out of Service	<input type="checkbox"/>
Tripping Direction	Forward
Characteristic	IEC Inverse
Current Setting	0.60 p.u., 3. sec.A, 180. pr.A
Time Dial	0.18
Min. Time	0.000 s

Fig. 53. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.8. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Máximas Corrientes

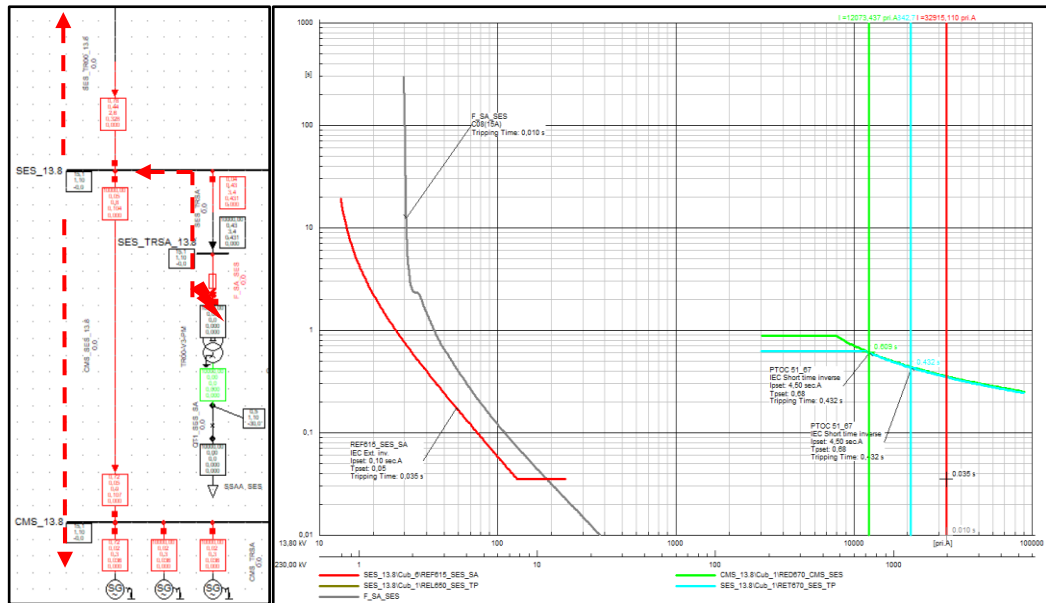


Fig. 54. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 54, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_SA\_SES tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 13.8kV con un radio de corriente de 15A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_SA / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.035s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, una curva IEC Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.609s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67, con una curva IEC Short Time Inverse y el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.432s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 1 y XVII en los ítems 11, 8, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 55.

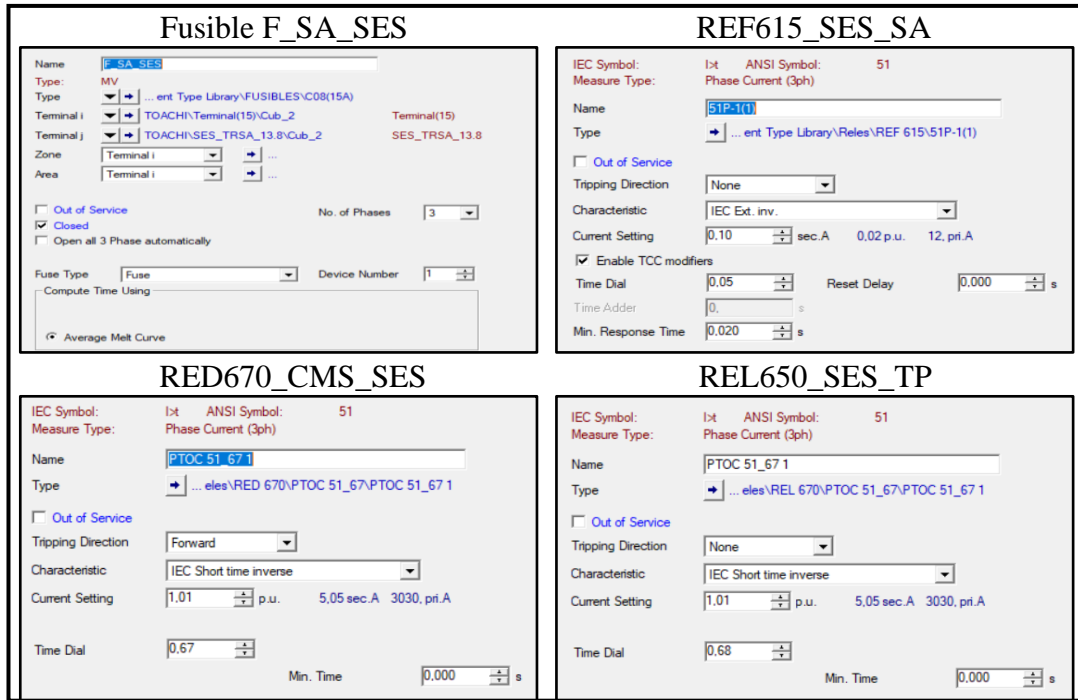


Fig. 55. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.9. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes

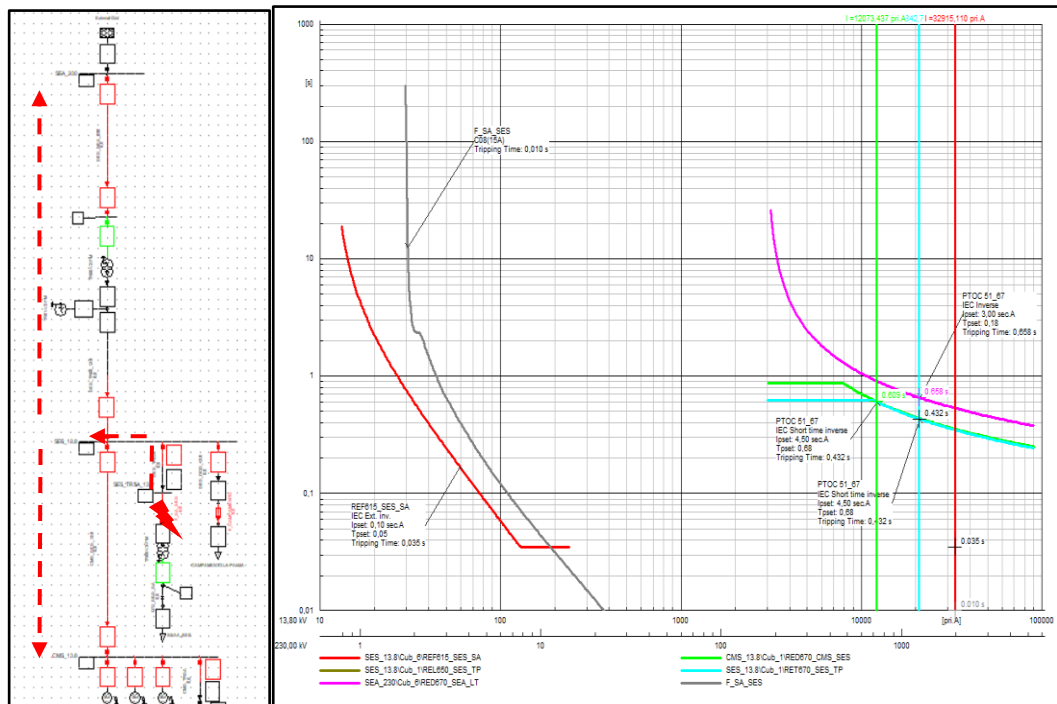


Fig. 56. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Máximas Corrientes.

Se observa en la Fig. 56, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP, RED670\_SEA\_LT y Fusible F\_SA\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en el

transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_SA\_SES tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 13.8kV con un radio de corriente de 15A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_SA / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.035s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, una curva IEC Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.609s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67, con una curva IEC Short Time Inverse, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.432s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.658s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18, con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 1 y XVII en los ítems 11, 8, 4,1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 55 y 57.

### RET670\_SES\_TP

IEC Symbol:	I>t	ANSI Symbol:	51
Measure Type:	Phase Current (3ph)		
Name	PTOC 51_67 1		
Type	... eles\RET 670\PTOC 51_67\PTOC 51_67 1		
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Tripping Direction	None		
Characteristic	IEC Short time inverse		
Current Setting	0.90 p.u. 4.5 sec.A 180, pri.A		
Time Dial	0.68		
	Min. Time	0.000 s	

### RED670\_SEA\_LT

IEC Symbol:	I>t	ANSI Symbol:	51
Measure Type:	Phase Current (3ph)		
Name	PTOC 51_67 1		
Type	... eles\RED 670\PTOC 51_67\PTOC 51_67 1		
<input type="checkbox"/> Out of Service			
Tripping Direction	Forward		
Characteristic	IEC Inverse		
Current Setting	0.60 p.u. 3, sec.A 180, pri.A		
Time Dial	0.18		
	Min. Time	0.000 s	

Fig. 57. Características de ajuste de curvas.

**3.12.10. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Máximas Corrientes**

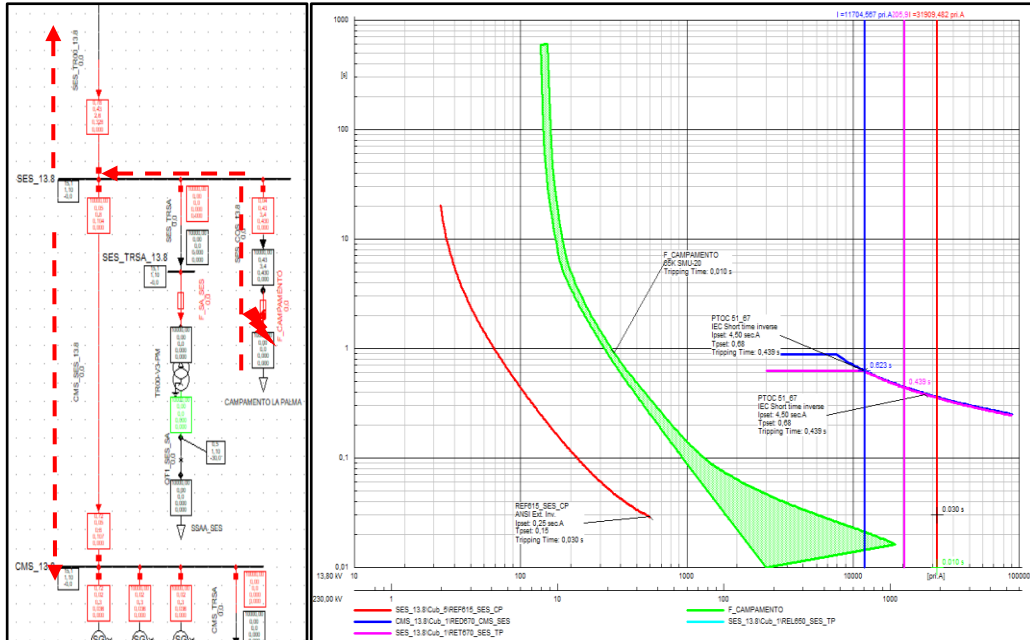


Fig. 58. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 58, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP y Fusible F\_S/E\_LA PALMA, aplicando una falla de cortocircuito trifásico en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_S/E\_LA PALMA / 65K SMU-20 tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 14.4kV con un radio de corriente de 65A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.030s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.15, una curva ANSI Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.623s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67, con una curva IEC Short Time Inverse, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.439s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 2 y XVII en los ítems 12, 8, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 59.



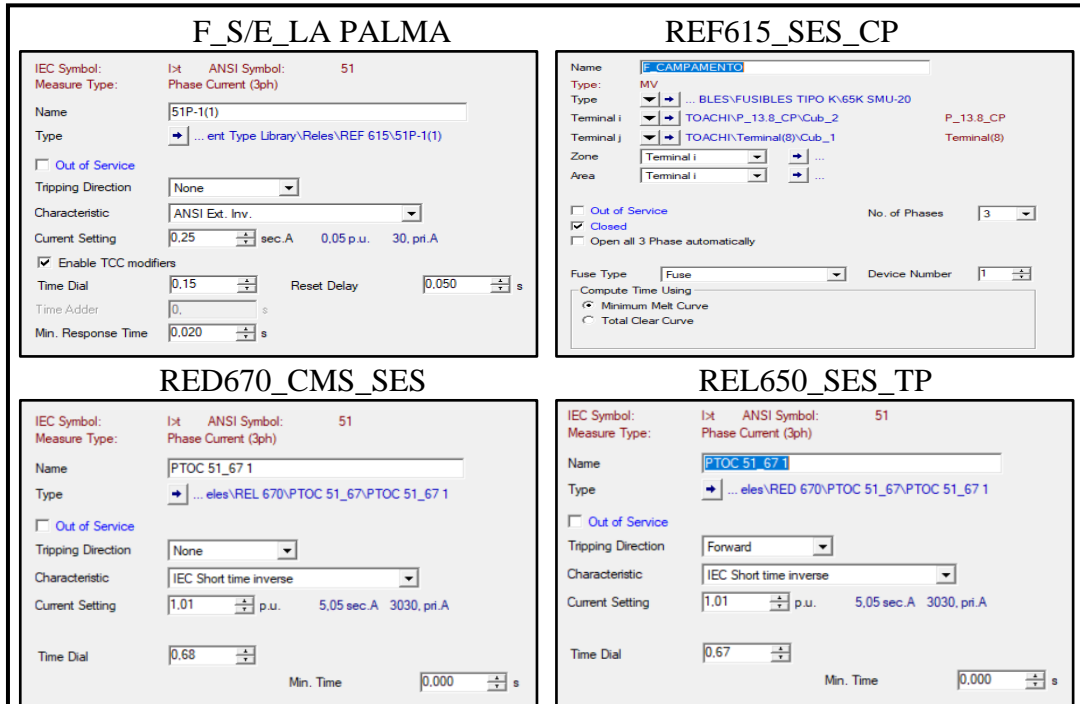


Fig. 59. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.11. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes

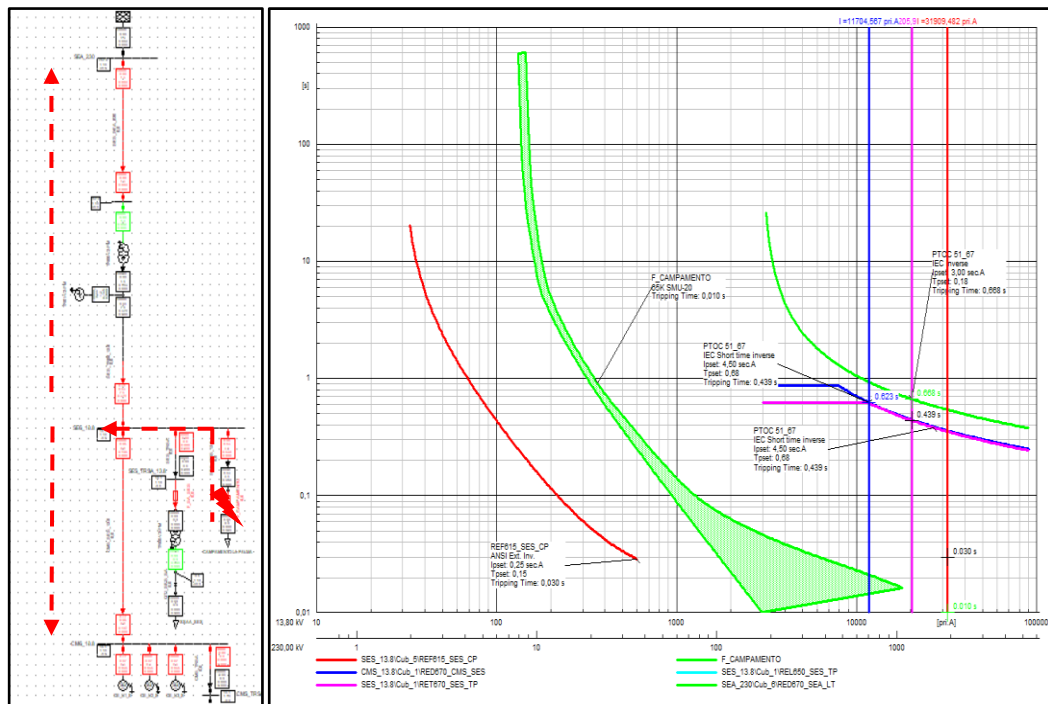


Fig. 60. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes

Se observa en la Fig. 60, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP, RED670\_SEA\_LT y Fusible F\_S/E\_LA PALMA, aplicando una falla de cortocircuito trifásico en la

línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_S/E\_LA PALMA / 65K SMU-20 tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 14.4kV con un radio de corriente de 65A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.030s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.15, una curva ANSI Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.623s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.67, con una curva IEC Short Time Inverse, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.439s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.668s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18, con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 2 y XVII en los ítems 12, 8, 4, 6, 1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 59 y 61.

The image shows a configuration window for a relay named RED670\_SEA\_LT. The window contains the following fields and values:

- IEC Symbol:** I>t
- ANSI Symbol:** 51
- Measure Type:** Phase Current (3ph)
- Name:** PTOC 51\_67 1
- Type:** ...eles\RED 670\PTOC 51\_67\PTOC 51\_67 1
- Out of Service**
- Tripping Direction:** Forward
- Characteristic:** IEC Inverse
- Current Setting:** 0.60 p.u., 3, sec.A, 180, pri.A
- Time Dial:** 0.18
- Min. Time:** 0.000 s

Fig. 61. Características de ajuste de curvas.

**3.12.12. Falla Trifásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.**

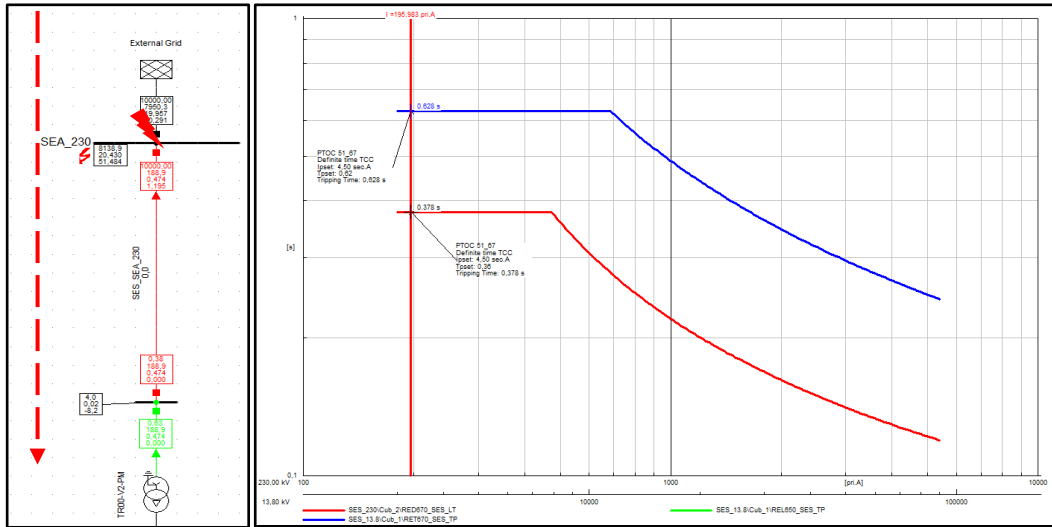


Fig. 62. Falla Trifásica en Barra SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 62, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 2 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.358 y con una curva Definite Time TCC; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 3, 7 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 63.

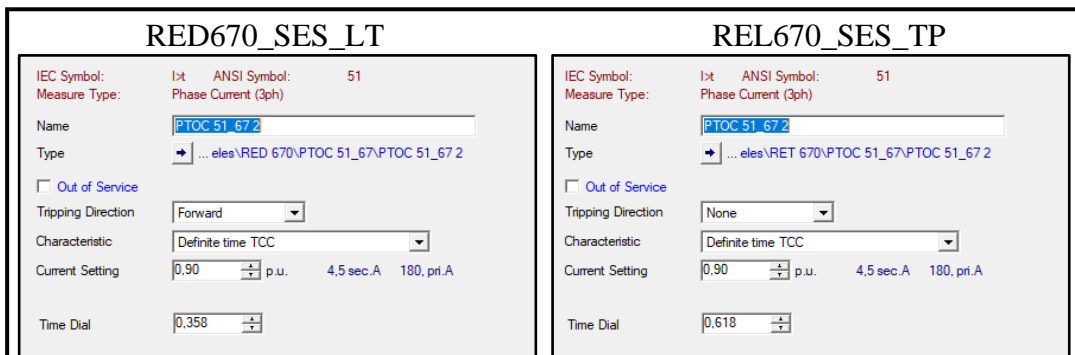


Fig. 63. Características de ajuste de curvas.

**3.12.13. Falla Trifásico en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.**

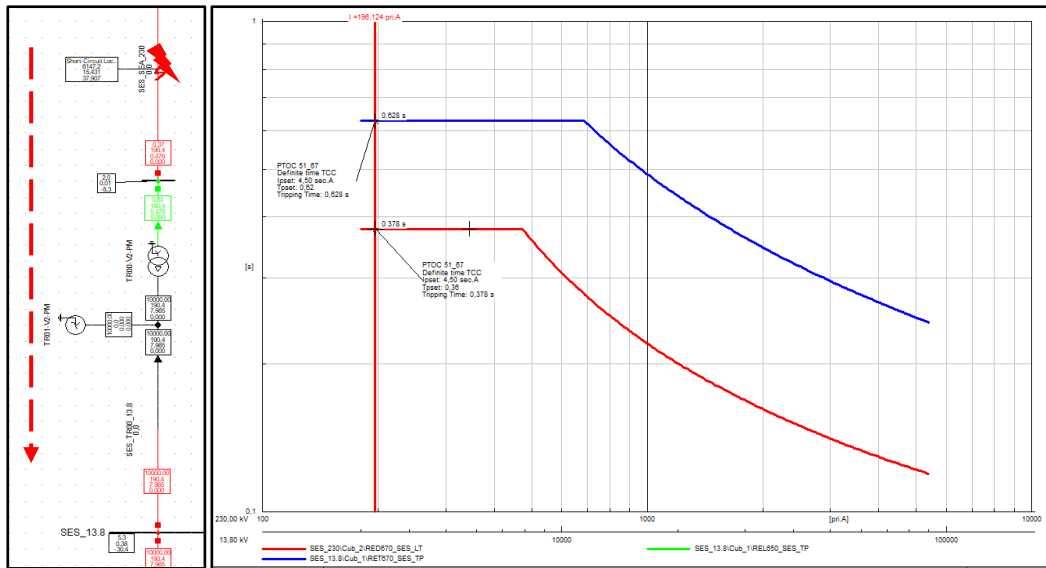


Fig. 64. Falla Trifásica en L/T\_SES\_SEA\_230 – Relés coordinados: RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 64, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la Línea de transmisión de 230kV (L/T\_SES\_SEA\_230) de 9.7 km, ubicada entre la S/E Sarapullo y S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 2 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.358 y con una curva Definite Time TCC; continúa el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC; REL670\_SES\_TP. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 3, 7, 5 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 63 y 65.

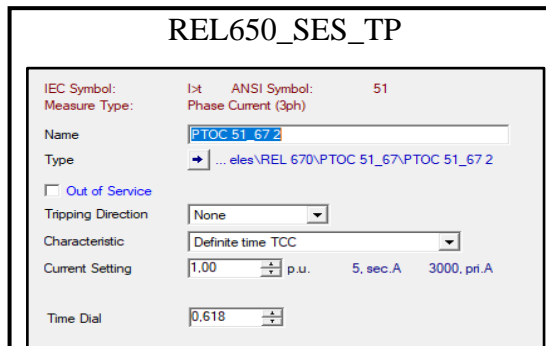


Fig. 65. Características de ajuste de curvas.

**3.12.14. Falla Trifásico en Barra SES\_230 – Relés coordinados: REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES – Mínimas Corrientes**

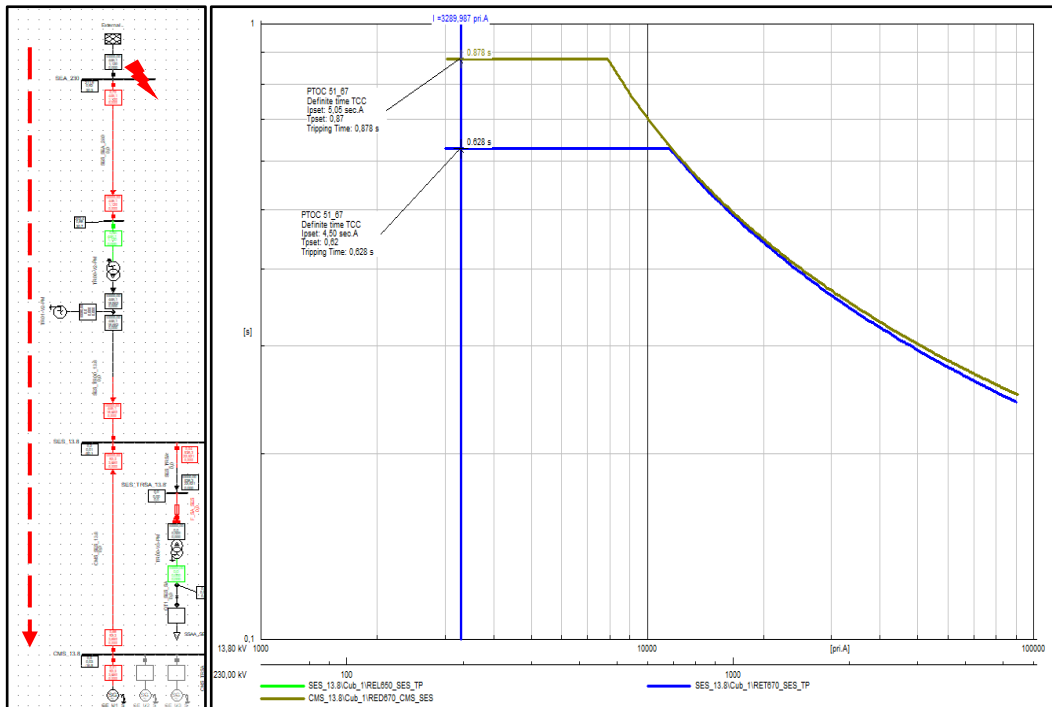


Fig. 66. Falla Trifásico en Barra SES\_230 – Relés coordinados: REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 66, la coordinación de los relés REL670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra SES\_230 ubicada en la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC, esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.878s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868 y con una curva Definite Time TCC. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 7, 5, 9 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 63, 65 y 67.

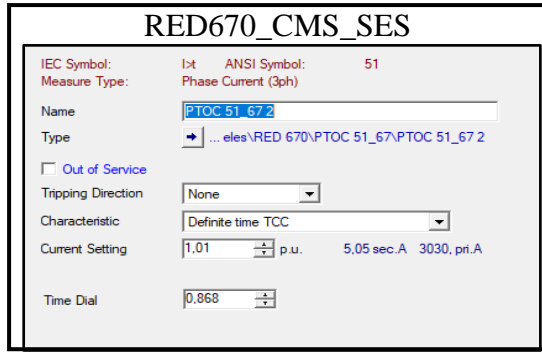


Fig. 67. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.15. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes

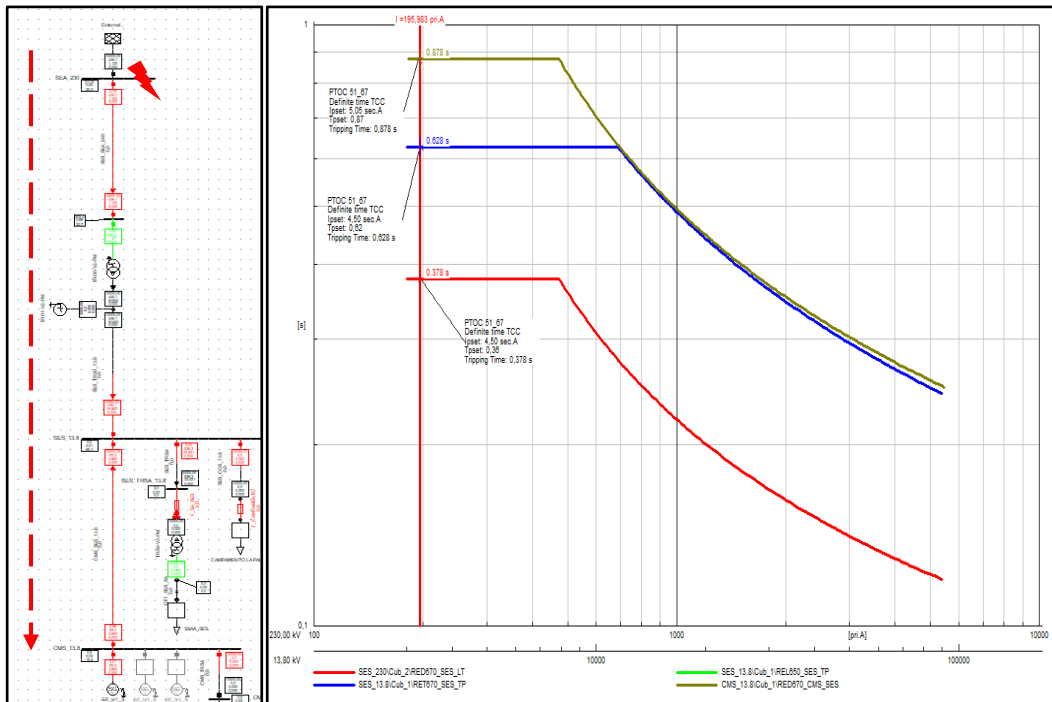


Fig. 68. Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes

Se observa en la Fig. 68, la coordinación de los relés RED670\_SES\_LT, REL670\_SES\_TP, REL650\_SES\_TP y RED670\_CMS\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra SEA\_230 ubicada en la S/E Alluriquín, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_LT / PTOC 51\_67 2 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.378s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.358 y con una curva Definite Time TCC; continua el RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 y REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 2 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.628s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.618 y con una curva Definite Time TCC, esta similitud se debe a que los dos

relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.878s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868 y con una curva Definite Time TCC. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 3, 7, 5, 9 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 63, 65 y 67.

### 3.12.16. Falla Trifásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

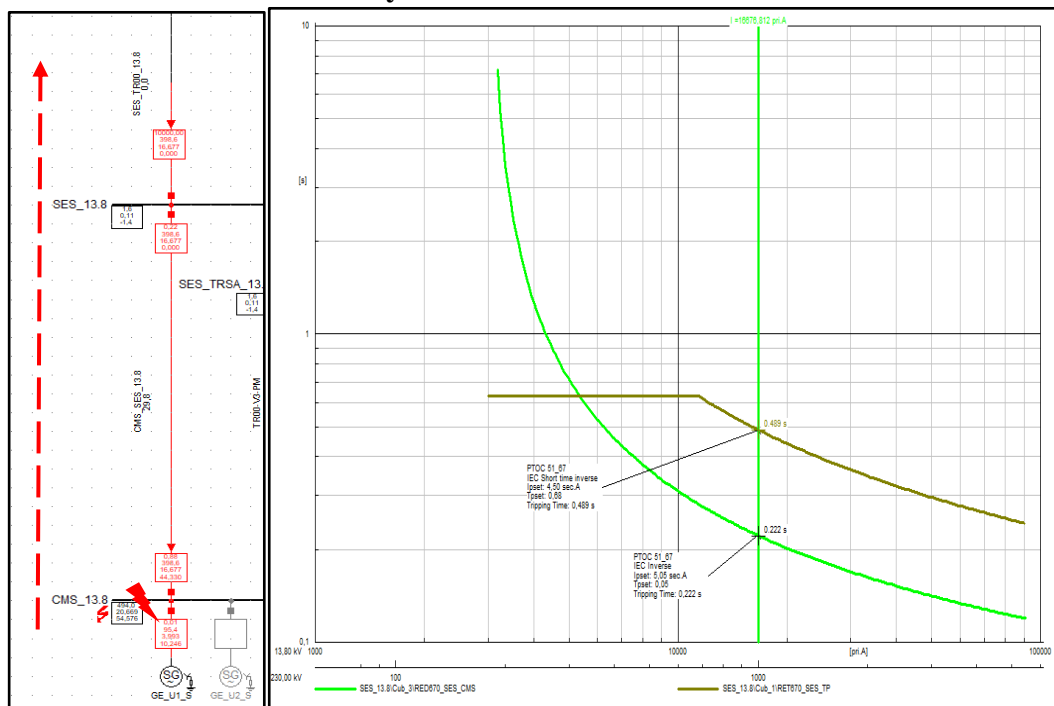


Fig. 69. Falla Trifásica en Barra CMS\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

Se observa en la Fig. 69, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS y REL650\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.222s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.489s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 70.

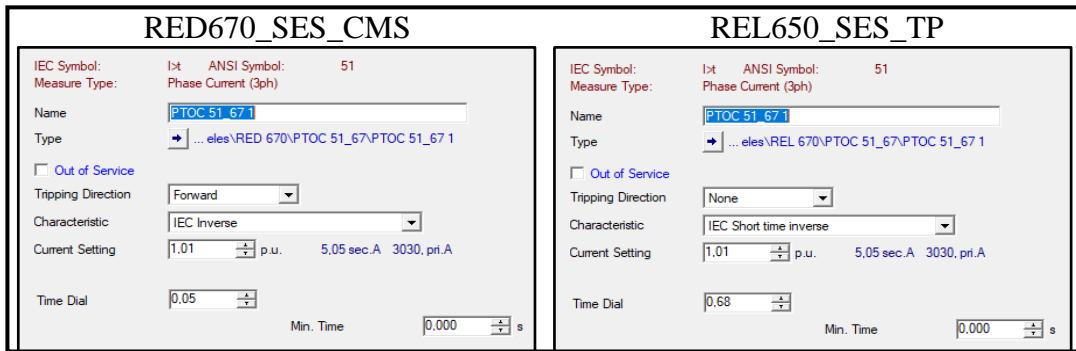


Fig. 70. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.17. Falla Trifásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes

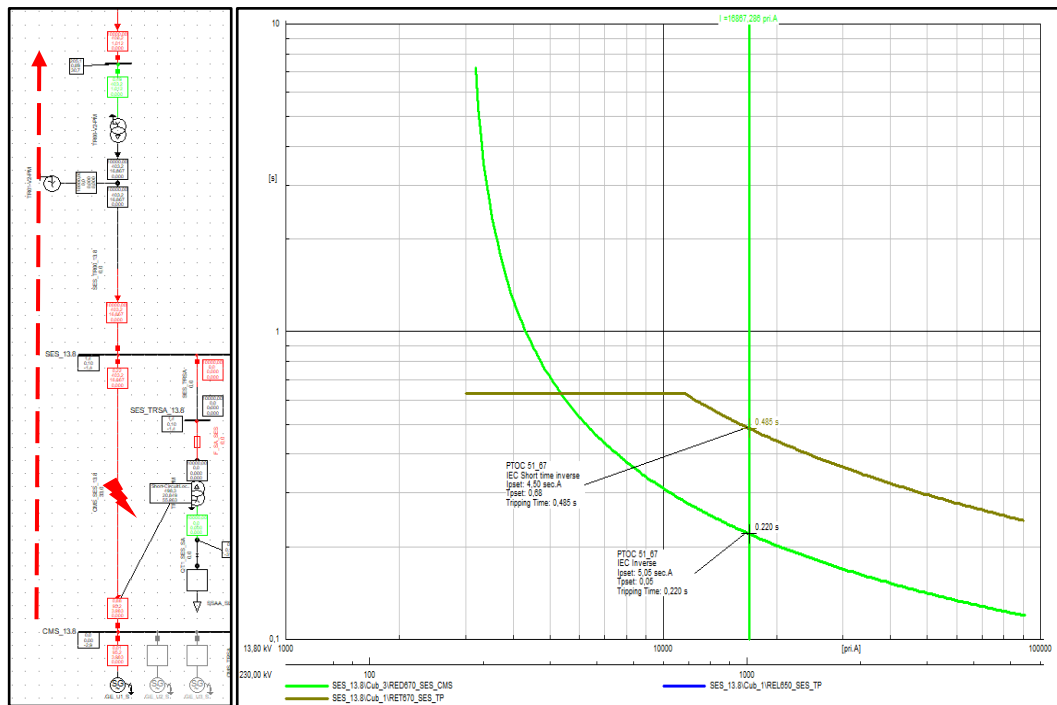


Fig. 71. Falla Trifásica en L/T CMS\_SES\_13.8 – Relés coordinados: RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 71, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP y REL670\_SES\_TP, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en la Línea de transmisión de 13.8 kV (L/T\_CMS\_SES\_13.8) de 0.37 km, ubicada entre CM Sarapullo y S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.220s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse; continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos



relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.485s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4, 6 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 70 y 72.

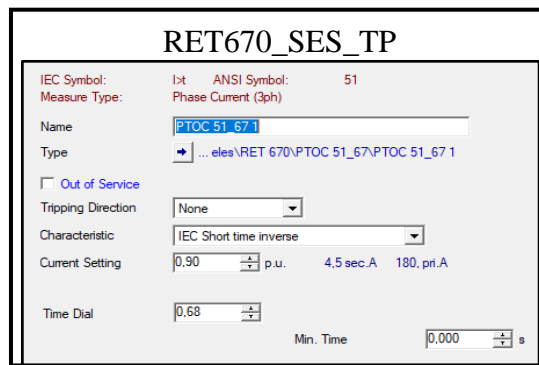


Fig. 72. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.18. Falla Trifásica – Ramal: CMS/SEA – Mínimas Corrientes

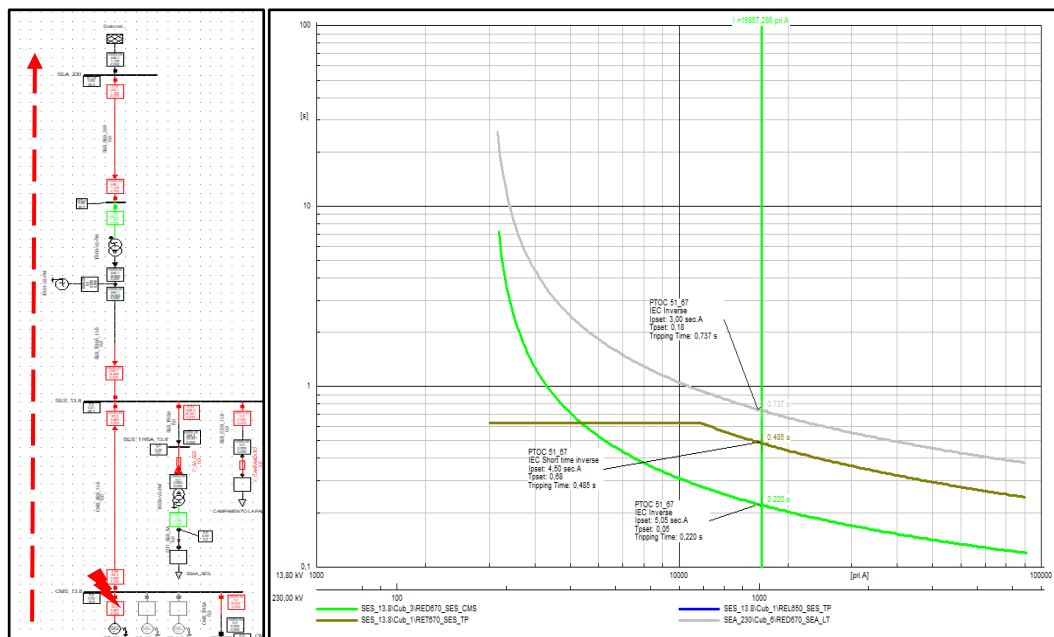


Fig. 73. Curvas de Falla Trifásica – Ramal: SEA/CMS – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 73, la coordinación de los relés RED670\_SES\_CMS, REL650\_SES\_TP, REL670\_SES\_TP y RED670\_SEA\_LT, aplicando una falla de cortocircuito trifásico en la barra CMS\_13.8 ubicada en CM Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados;

donde el RED670\_SES\_CMS / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.220s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.05 y con una curva IEC Inverse, continua el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.485s, son bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68 y con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.737s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18 y con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVII, en los ítems 10, 4, 6 y 1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 70, 72 y 74.

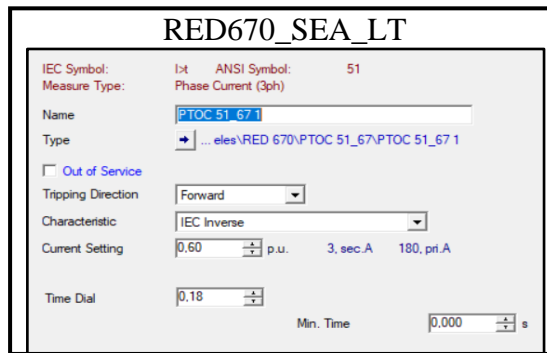


Fig. 74. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.19. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Mínimas Corrientes

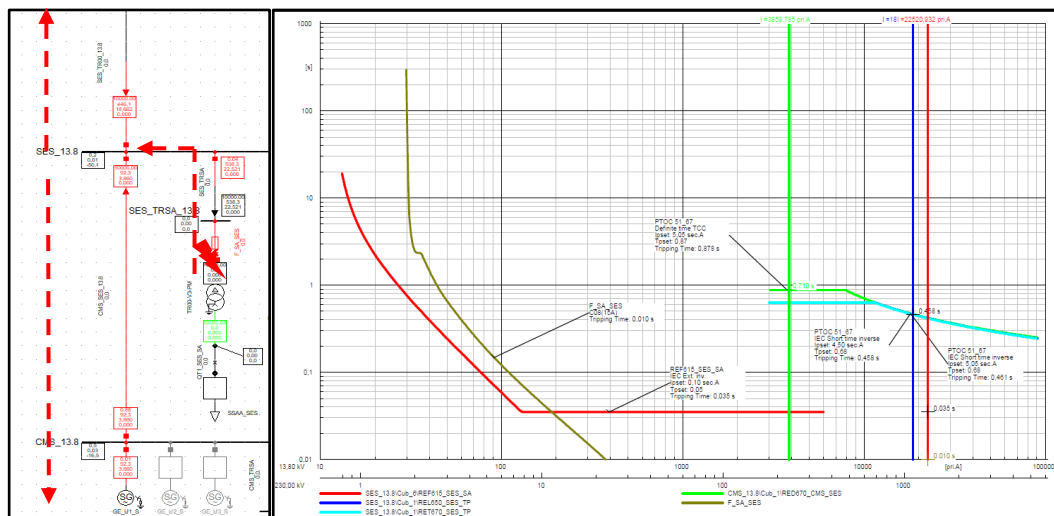


Fig. 75. Falla Trifásica en TR00-V3-PM – Relés coordinados: REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 75, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_SA\_SES / C08 (15A) tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 13.8kV con un radio de corriente de 15A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_SA / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.035s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, una curva IEC Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.458s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse y el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.710s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868, con una curva Definite Time TCC. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 1 y XVII en los ítems 11, 9, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 76.

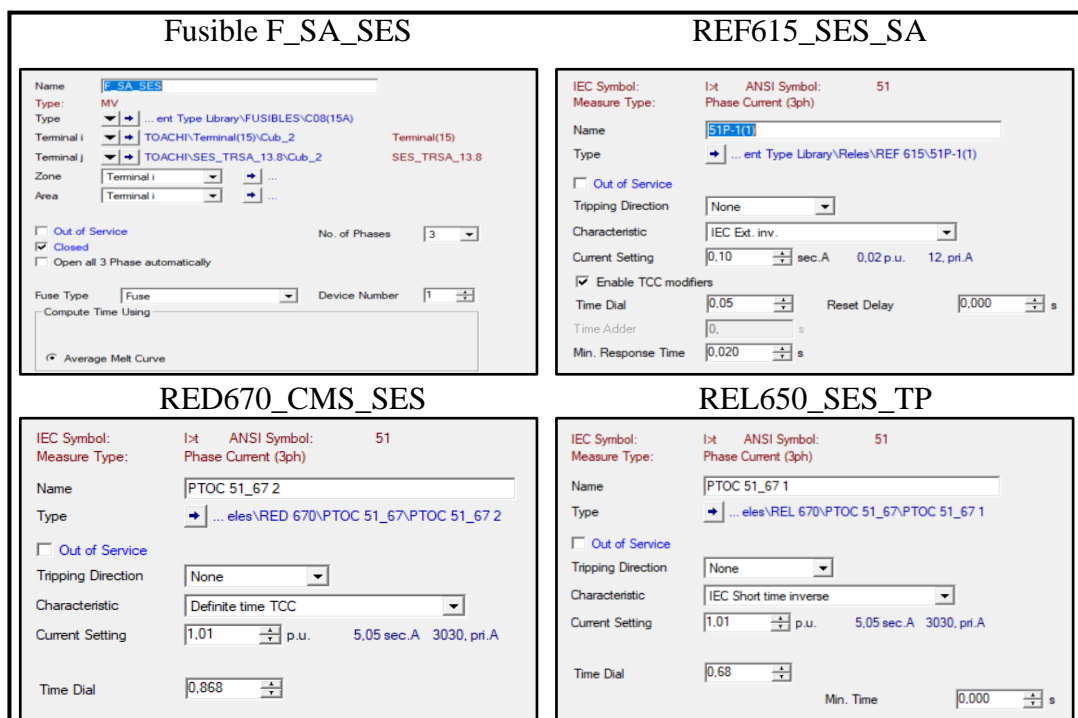


Fig. 76. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.20. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes

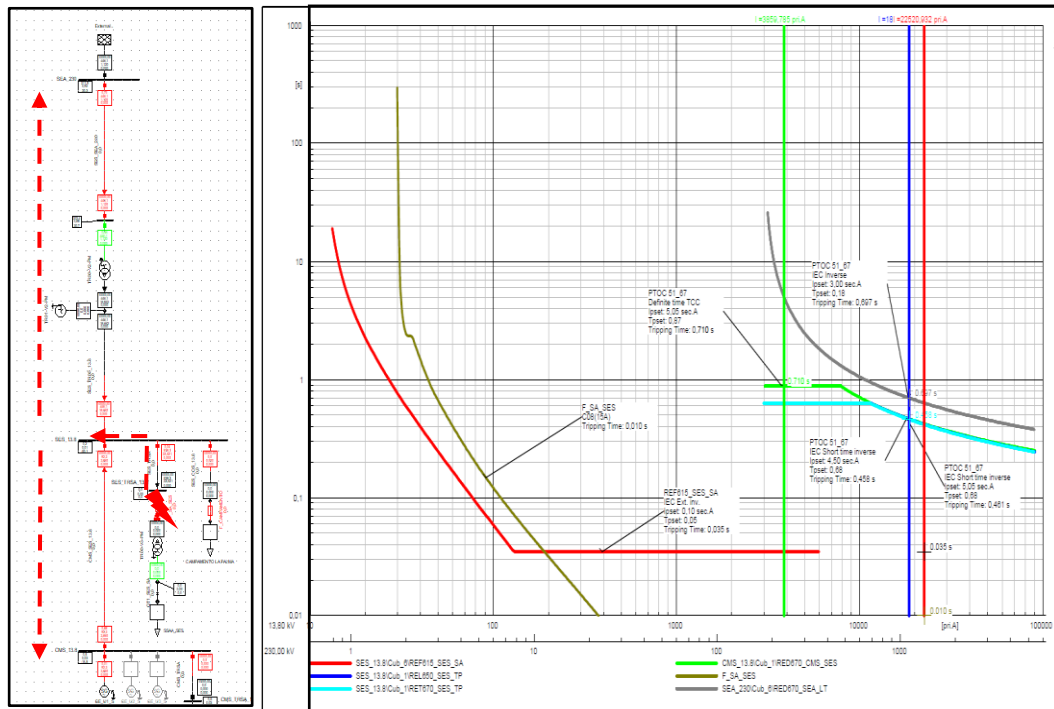


Fig. 77. Falla Trifásica – Ramal: Transformador Servicios Auxiliares – Mínimas Corrientes.

Se observa en la Fig. 77, la coordinación de los relés REF615\_SES\_SA, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP, RED670\_SEA\_LT y Fusible F\_SA\_SES, aplicando una falla de cortocircuito trifásica en el transformador Auxiliar de 400kVA ubicado dentro del cuarto de control de la S/E Sarapullo, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_SA\_SES / C08 (15A) tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 13.8kV con un radio de corriente de 15A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_SA / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.035s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.05, una curva IEC Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.710s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868, con una curva Definite Time TCC, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y RET670\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.458s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por tal razón al coordinar los mismos,

evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.697s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18, con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 1 y XVII en los ítems 11, 9, 4, 6, 1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 76 y 78.

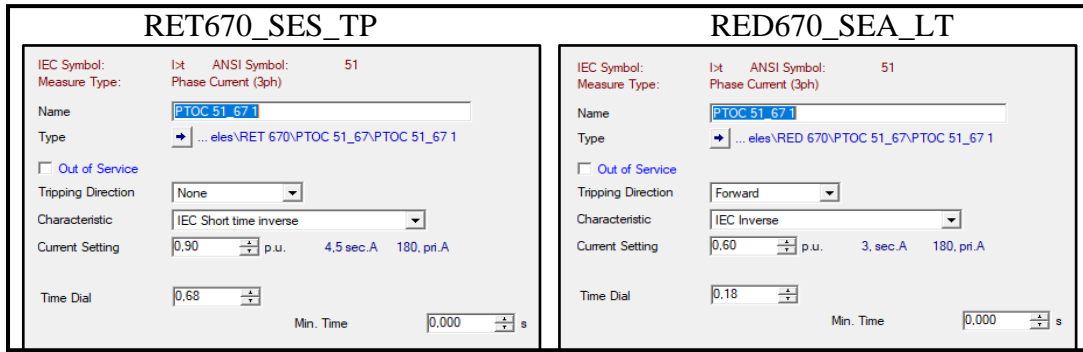


Fig. 78. Características de ajuste de curvas.

**3.12.21. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Mínimas Corrientes**

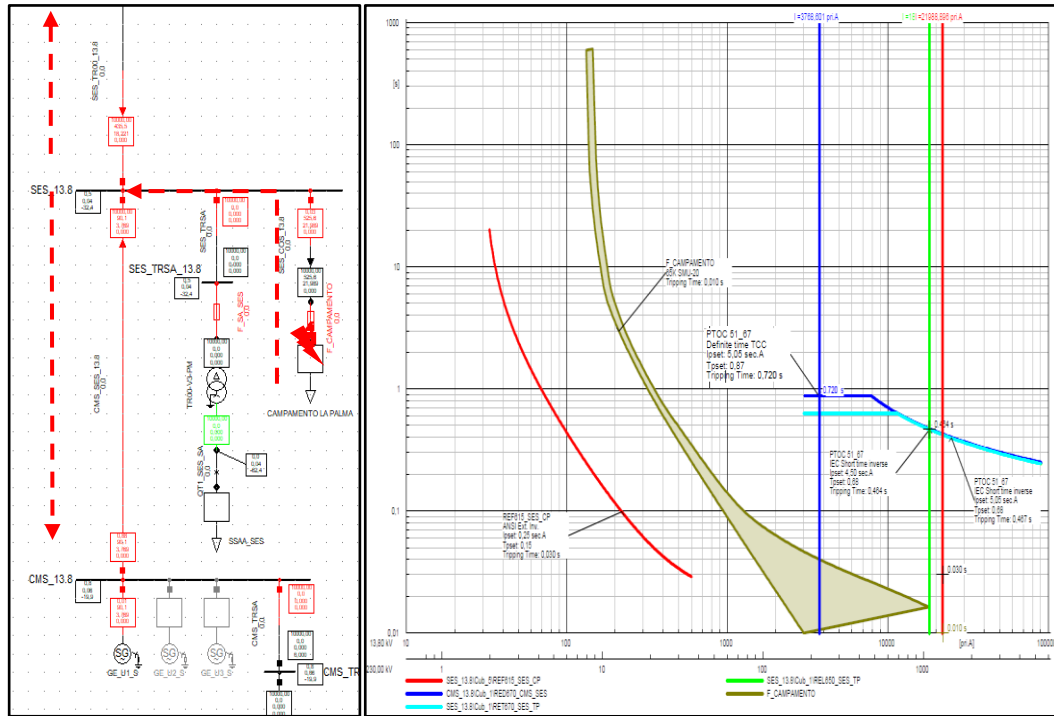


Fig. 79. Falla Trifásica en L/T Campamento la Palma – Relés coordinados: REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES y REL650\_SES\_TP y Fusible F\_SA\_SES – Mínima Corrientes

Se observa en la Fig. 79, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP y Fusible F\_S/E\_LA PALMA, aplicando

una falla de cortocircuito trifásico en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_S/E\_LA PALMA / 65K SMU-20 tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 14.4kV con un radio de corriente de 65A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.030s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.15, una curva ANSI Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.720s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868, con una curva Definite Time TCC, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.464s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 2 y XVII en los ítems 12, 9, 4 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 80.

F_S/E_LA PALMA		REF615_SES_CP	
<p>Name: F_CAMPAMENTO</p> <p>Type: MV</p> <p>Type: ... BLES\FUSIBLES TIPO K\65K SMU-20</p> <p>Terminal i: ... TOACHIN_P_13.8_CP\Cub_2 P_13.8_CP</p> <p>Terminal j: ... TOACHIN_Terminal(8)\Cub_1 Terminal(8)</p> <p>Zone: Terminal i</p> <p>Area: Terminal i</p> <p><input type="checkbox"/> Out of Service</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Closed</p> <p><input type="checkbox"/> Open all 3 Phase automatically</p> <p>Fuse Type: Fuse Device Number: 1</p> <p>Compute Time Using:</p> <p><input checked="" type="radio"/> Minimum Melt Curve</p> <p><input type="radio"/> Total Clear Curve</p>	<p>IEC Symbol: Ixt ANSI Symbol: 51</p> <p>Measure Type: Phase Current (3ph)</p> <p>Name: 51P-1(1)</p> <p>Type: ... ent Type Library\Relés\REF 615\51P-1(1)</p> <p><input type="checkbox"/> Out of Service</p> <p>Tripping Direction: None</p> <p>Characteristic: ANSI Ext. Inv.</p> <p>Current Setting: 0.25 sec.A 0.05 p.u. 30, pri.A</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Enable TCC modifiers</p> <p>Time Dial: 0.15 Reset Delay: 0.050 s</p> <p>Time Adder: 0 s</p> <p>Min. Response Time: 0.020 s</p>		
RED670_CMS_SES		REL650_SES_TP	
<p>IEC Symbol: Ixt ANSI Symbol: 51</p> <p>Measure Type: Phase Current (3ph)</p> <p>Name: PTOC 51_67 1</p> <p>Type: ... eles\REL 670\PTOC 51_67\PTOC 51_67 1</p> <p><input type="checkbox"/> Out of Service</p> <p>Tripping Direction: None</p> <p>Characteristic: IEC Short time inverse</p> <p>Current Setting: 1.01 p.u. 5.05 sec.A 3030, pri.A</p> <p>Time Dial: 0.68</p> <p>Min. Time: 0.000 s</p>	<p>IEC Symbol: Ixt ANSI Symbol: 51</p> <p>Measure Type: Phase Current (3ph)</p> <p>Name: PTOC 51_67 2</p> <p>Type: ... eles\RED 670\PTOC 51_67\PTOC 51_67 2</p> <p><input type="checkbox"/> Out of Service</p> <p>Tripping Direction: None</p> <p>Characteristic: Definite time TCC</p> <p>Current Setting: 1.01 p.u. 5.05 sec.A 3030, pri.A</p> <p>Time Dial: 0.868</p>		

Fig. 80. Características de ajuste de curvas.

### 3.12.22. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Máximas Corrientes

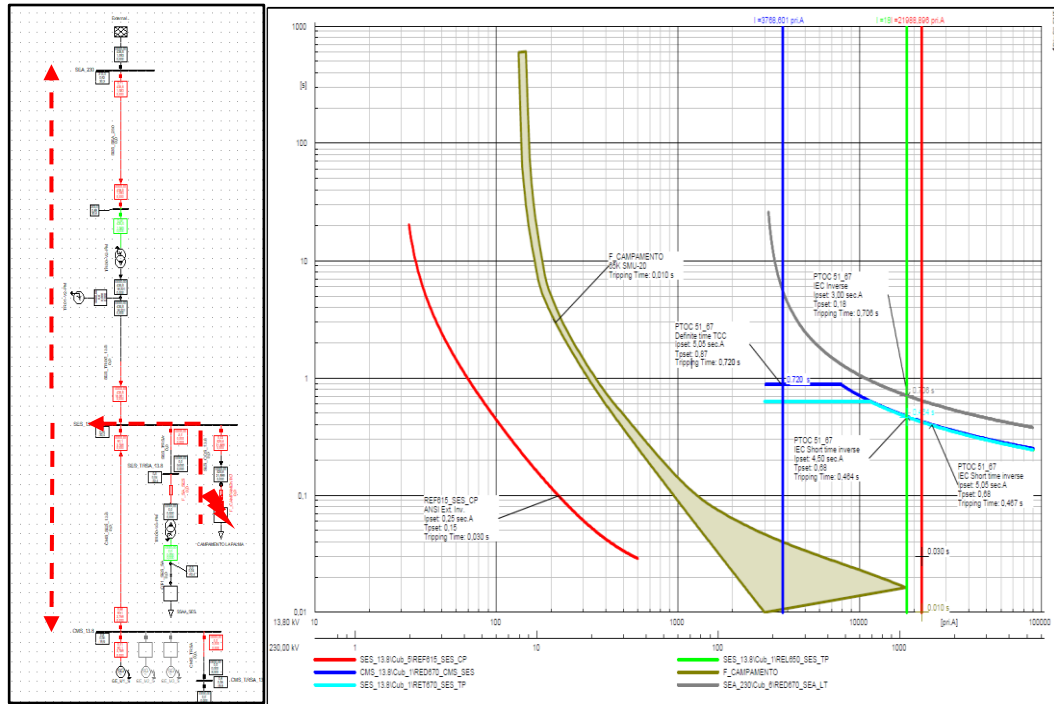


Fig. 81. Falla Trifásica – Ramal: L/T Campamento La Palma – Mínimas Corrientes

Se observa en la Fig. 81, la coordinación de los relés REF615\_SES\_CP, RED670\_CMS\_SES, REL650\_SES\_TP, RET670\_SES\_TP, RED670\_SEA\_LT y Fusible F\_S/E LA PALMA, aplicando una falla de cortocircuito trifásico en la línea de transmisión del Campamento la Palma ubicado entre la S/E Sarapullo y S/E Campamento la Palma, podemos observar el comportamiento de las curvas de protección de los relés involucrados; donde actúa primero el Fusible F\_S/E LA PALMA / 65K SMU-20 tiene un tiempo de actuación de 0.010s, es tipo K-Nº, nivel de voltaje de 14.4kV con un radio de corriente de 65A y radio de frecuencia de 60Hz, continua el REF615\_SES\_CP / 51P-1 tiene un tiempo de despeje de falla de 0.030s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.15, una curva ANSI Exc. Inverse y un tiempo mínimo de 0.020s; continua el RED670\_CMS\_SES / PTOC 51\_67 2 con un tiempo de despeje de falla de 0.720s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.868, con una curva Definite Time TCC, el REL650\_SES\_TP / PTOC 51\_67 1 y el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 estos dos relés tienen los mismos ajustes, con un tiempo de despeje de falla de 0.464s, es bidireccional (None), con tiempo Dial de 0.68, con una curva IEC Short Time Inverse; esta similitud se debe a que los dos relés mencionados protegen al mismo equipo, por

tal razón al coordinar los mismos, evita desplazar el tiempo de apertura del resto de relés coordinados. Para el RED670\_SEA\_LT / PTOC 51\_67 1 con un tiempo de despeje de falla de 0.706s, es direccional (Forward), con tiempo Dial de 0.18, con una curva IEC Inverse. Ver ajustes de relés en la tabla XVIII en el ítem 2 y XVII en los ítems 12, 9, 4, 6, 1 y las características de ajuste de las curvas en la Fig. 80 y 82.

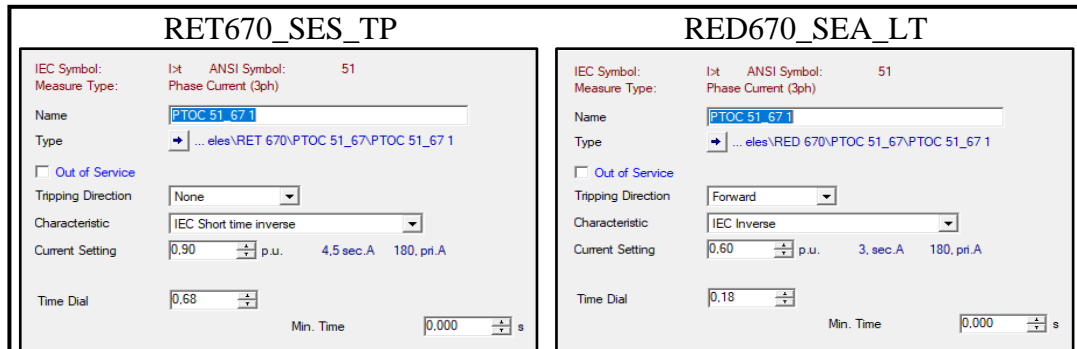


Fig. 82. Características de ajuste de curvas.

### 3.12. Resultados de los valores de ajuste de falla monofásica para las protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo

Observar en la siguiente tabla los valores de ajuste de los relés de protecciones eléctricas de sobrecorriente de la Subestación Sarapullo:

TABLA XVI  
Valores de ajuste de falla monofásica de los relés de protecciones de sobrecorriente de S/E Sarapullo

Ítem	Relé	Nombre	Dirección Disparo	Característica Curva	Ajuste Actual $I_{p_{set}}$	Tiempo Dial	Tiempo Mínimo (seg)
1	RED670_SEA_LT	PTOC 51N67N	Forward	IEC Inverse	0.60 p.u.	0.30	0.00
2	RED670_SES_LT	PTOC 51N_67N 1	Forward	IEC Inverse	0.90 p.u.	0.05	0.00
3	REL650_SES_TP	PTOC 51N67N 1	None	ANSI Very Inverse	0.07 p.u.	0.08	0.765
4	RET670_SES_TP	PTOC 51N_67N 1	None	IEC Inverse	0.05 p.u.	0.19	0.00
5	RED670_CMS_SES	PTOC 51N_67N 1	None	IEC Inverse	0.01 p.u.	0.05	0.00
6	RED670_SES_CMS	PTOC 51N_67N 1	Forward	IEC Inverse	0.07 p.u.	0.05	0.00
7	REF615_SES_SA	51N-1	None	IEC Inverse	0.05 p.u.	0.18	0.02
8	REF615_SES_CP	51N-1	None	IEC Inverse	0.05 p.u.	0.18	0.02

### 3.13. Resultados de los valores de ajuste de falla trifásica para las protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo

Observar en la siguiente tabla los valores de ajuste de los relés de protecciones eléctricas de sobre corriente de la Subestación Sarapullo:



**TABLA XVII**  
Valores de ajuste de falla trifásica de los relés de protecciones de sobrecorriente de la S/E Sarapullo

Ítem	Relé	Nombre	Dirección Disparo	Característica Curva	Ajuste Actual $I_{p_{set}}$	Tiempo Dial	Tiempo Mínimo (seg)
1	RED670_SEA_LT	PTOC 51_67 1	Forward	IEC Inverse	0.60 p.u.	0.18	0.00
2	RED670_SES_LT	PTOC 51_67 1	Forward	IEC Inverse	0.90 p.u.	0.05	0.00
3	RED670_SES_LT	PTOC 51_67 2	Forward	Definite Time TCC	0.90 p.u.	0.358	0.00
4	REL650_SES_TP	PTOC 51_67 1	None	IEC Short Time Inverse	1.01 p.u.	0.68	0.00
5	REL650_SES_TP	PTOC 51_67 2	None	Definite Time TCC	1.0 p.u.	0.618	0.00
6	RET670_SES_TP	PTOC 51_67 1	None	IEC Short Time Inverse	0.90 p.u.	0.68	0.00
7	RET670_SES_TP	PTOC 51_67 2	None	Definite Time TCC	0.90 p.u.	0.618	0.00
8	RED670_CMS_SES	PTOC 51_67 1	Forward	IEC Short Time Inverse	1.01 p.u.	0.67	0.00
9	RED670_CMS_SES	PTOC 51_67 2	None	Definite Time TCC	1.01 p.u.	0.868	0.00
10	RED670_SES_CMS	PTOC 51_67 1	Forward	IEC Inverse	1.01 p.u.	0.05	0.00
11	REF615_SES_SA	51P-1	None	IEC Exc. Inverse	0.02 p.u.	0.05	0.020
12	REF615_SES_CP	51P-1	None	ANSI Exc. Inverse	0.05 p.u.	0.15	0.020

### 3.14. Resultados de los valores de ajuste de fusibles

Observar en la siguiente tabla los valores de ajuste de los fusibles:

**TABLA XVIII**  
Valores de ajuste de los fusibles - S/E Sarapullo

Ítem	Fusible	Nombre	Tipo	Radio Voltaje	Radio Corriente	Radio Frecuencia
1	F_SA_SES	C08 (15A)	K – N° Fases 3	13.8 kV	15 A	60 Hz
2	F_S/E_LA PALMA	65K SMU-20	K – N° Fases 3	14.4 kV	65 A	60 Hz

### 3.15. Validación técnica de los resultados:

Los resultados de la calibración de las protecciones eléctricas de sobrecorriente de equipos y/o dispositivos asociados al sistema de la Subestación Sarapullo realizados como propuestas para la factibilidad de puesta en servicio de la misma, van acorde al planteamiento del problema y a los objetivos planteados en el presente trabajo,

los valores obtenidos de la coordinación realizada en este caso de estudio (ver Fig. XVI, XVII y XVIII) han sido verificados y funcionan correctamente según la modelación realizada en el programa computacional PowerFactory DIgSILENT 15.1, dando solución a los problemas planteados y sobre todo al manejo y desarrollo de la calibración de las protecciones eléctricas de sobrecorriente.

### **3.16. Conclusiones del III capítulo**

- Se ha podido comprobar en el programa computacional PowerFactory DIgSILENT 15.1; todos los tiempos de despeje de falla en las líneas de 13.8kV y 230kV, para la condición de estudio de máxima y mínima corriente de cortocircuito, las protecciones de la S/E Sarapullo, operan dentro del margen de 200ms a 300ms.
- Para la operación de las protecciones de sobrecorriente RET670\_SES\_TP y REL650\_SES\_TP, se ajustó con dirección bidireccional (NONE), esto quiere decir que reconocerá las fallas de sobrecorriente en ambos sentidos en los dos tipos de estudio ya sea en máximas y mínimas corrientes de cortocircuito.
- Al reconocer una falla de sobrecorriente que involucre la S/E Sarapullo, ya sea en el sistema de nivel 13.8 kV y 230 kV, los relés de protecciones se encuentran calibrados, garantizando una confiabilidad de operación de los mismos, activándose el relé más cercano a la falla localizada y posteriormente los demás relés de forma escalonada con el margen de coordinación y calibración antes mencionado de 250ms con una tolerancia de +/-50ms.
- La curva de los fusibles solo se podrá observar como operan en la plantilla de curvas de fases.

### **3.17. Conclusiones generales**

- El estudio de coordinación de protecciones eléctricas de sobrecorriente presentado garantiza que los relés de protección actúen con un intervalo de

activación de 250ms +/- 50ms, según los requerimientos solicitados.

- Se concluyó que el software DIgSILENT Power Factory es una herramienta que presta mucha facilidad al momento de realizar modelaciones y plantear casos de estudios permitiendo reducir los tiempos en la obtención de cálculo y de entrega de resultados, incorporando las normativas ANSI, IEEE e IEC. Siendo la IEC 60909, la norma empleada en el estudio de coordinación de protecciones de sobrecorriente del presente proyecto de investigación.
- Se definió las zonas de protección donde van a operar los relés (ver Fig. 11), tener en cuenta que los relés de protección del transformador de elevación 13.8/230 kV queda configurado de forma bidireccional con el objetivo de proteger tanto en el lado de baja como de alta.
- Los valores obtenidos en las tablas XVI y XVII producto de la modelación en el programa computacional PowerFactory cumplen con el objetivo general, los parámetros están definidos para ser ingresados a los relés de protección de sobre corriente previo a la puesta en servicio de la S/E Sarapullo.

### **3.18. Recomendaciones**

- Durante la puesta en servicio se debe verificar la polarización de las funciones de sobrecorriente direccional y baja impedancia de las protecciones.
- Utilizar fusibles del mismo tipo según las especificaciones del sistema en el que se está trabajando, asegura una correcta coordinación en las protecciones, ya que si se mezclan podría provocar problemas de selectividad.
- Modelar todos los eventos posibles en diferentes zonas, con el objetivo de verificar que la coordinación se activa de manera secuencial dependiendo de la falla que se presente.

- Dada la limitación del alcance de nuestro proyecto no se incluye las protecciones de línea 21P/21N, sin embargo; es importante considerar esta protección para investigaciones futuras.

### 3.19. Referencias bibliográficas.

- [1] C. Palacios, «Estudio de Coordinación de Protecciones por Métodos Computacionales Aplicados a una Subestación.,» *Revista Técnica Energía.*, pp. 159-166, 2014.
- [2] J. Álvarez y D. Beltrán, «Guía de selección de equipos para protección contra sobretensiones en subestaciones de sistemas eléctricos de distribución hasta 57,5 kV.,» Universidad Industrial Santander, Bucaramanga, 2017.
- [3] M. Vilca y J. Quisiyupanqui, «Estudio de coordinación de protecciones en la subestación de Dolorespata acorde a la nueva topología en alta y media tensión para el año 2018,» Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 2015.
- [4] I. Argueta, «Diseño de sistema de protecciones para la subestación antigua Guatemala 69 kV.,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2016.
- [5] M. Bravo, A. Pérez, A. Piñeiro y Á. Osvady, «Protecciones Eléctricas de la Subestación Cayo Santa María,» *Ingeniería Energética*, vol. 39, nº 3, 2018.
- [6] J. Orejas y S. Martínez, «Ingeniería de control y protecciones de subestaciones eléctricas,» *DYNA Ingeniería e Industria*, vol. 86, pp. 273-280, 2013.
- [7] J. Cabrera, G. León y A. Suárez, «Estudios de coordinación de las protecciones en base a herramientas computacionales aplicables a la subestación alborada 2,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2015.
- [8] J. Noriega, «Optimización de la protección eléctrica de la subestación Tierra Colorada,» Repositorio Institucional PIRHUA, Piura, 2015.

- [9] J. Anchundia y B. Chere, «Estudio de coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Tachina aplicando el software digsilent PowerFactory,» *Dominio de las ciencias*, vol. 5, nº 1, 2019.
- [10 J. Castillo y F. Pérez, «Estudio de Coordinación de Protecciones en el Sistema ]  
] de Subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito considerando la conexión de la Línea Vicentina – Santa Rosa 138 kV,» *REVISTA CIENCIA E INVESTIGACIÓN*, vol. 3, nº JIEE2018, pp. 17-25, 2018.
- [11 L. M. F. Bravo, Diseño del Sistema de Control y Protección de una posición ]  
] de Línea de 220 kV., Sevilla, España: Autora, 2018.
- [12 V. Villagran, «Suministro de materiales eléctricos,» Agencia de marketing ]  
] DIGITAL BÚHO, 29 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://jdelectricos.com.co/tipos-de-subestaciones-electricas/>. [Último acceso: 05 Julio 2022].
- [13 Rodriguez, Jorge, «Diseño de un sistema contra incendio para una subestación ]  
] eléctrica con transformador de potencia,» UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2017.
- [14 O. H. Areu., «Medición de la corriente de inrush en transformadores de ]  
] distribución,» *Revista Científica*, Enero 2017.
- [15 Trashorras, Jesús, Subestaciones eléctricas, Madrid: Ediciones PARANINFO, ]  
] SA, 2015.
- [16 A. Del Ángel Hernández y A. Hernández, Elementos de una subestación ]  
] eléctrica, México: CONACYT-SENER.
- [17 R. A. Ing. Margil S., Protección de sistemas eléctricos de potencia, Nuevo ]  
] León, 2005.
- [18 I. A. B. I. Richard Zambrano, «SISTEMA DE PROTECCIONES ]  
] ELÉCTRICAS A NIVEL DE 500 kV APLICACIÓN SUBESTACIÓN PIFO,» *Biblioteca Digital EPN*, p. 12 páginas, 2009.

- [19 Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional,  
] CRITERIOS DE AJUSTE Y COORDINACIÓN DE LOS SISTEMAS DE  
] PROTECCIÓN DEL SEIN, COES SINAC, 2014.
- [20 DIgSILENT, «DIgSILENT | PowerFactory,» [En línea]. Available:  
] <https://www.digsilent.de/fr/powerfactory.html>. [Último acceso: 27 Febrero  
] 2020].
- [21 Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, «Proyecto  
] Hidroeléctrico Toachi Pilatón,» 15 Febrero 2020. [En línea]. Available:  
] <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-toachi-pilatón/>.
- [22 André Rhon D., «Proyecto hidroeléctrico Toachi – Pilatón,»  
] *INTERCONEXIONES*, vol. XC, n° 90, pp. 7-9, 2017.
- [23 D. Martínez, «CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO DE  
] DESCARGADORES DE SOBRETENSIÓN EN LAS TENSIONES  
] INDUCIDAS POR RAYOS SOBRE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN  
] UBICADAS EN ZONA MONTAÑOSA,» UNIVERSIDAD INDUSTRIAL  
] DE SANTANDER, Bucaramanga, 2017.
- [24 D. Viteri, C. Garzón y A. Narváez, «Análisis de confiabilidad en subestaciones  
] eléctricas tipo maniobra implementando el transformador de tensión con  
] núcleo de potencia.,» *Revista Ingeniería*, vol. XXII, n° 1, p. 67, 2017.
- [25 A. Cuadros, «UPGRADE DEL SISTEMA DE CONTROL DEL  
] GENERADOR DIESEL DE EMERGENCIA DE UNA CENTRAL  
] TÉRMICA DE GENERACIÓN,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
] AGUSTÍN, Arequipa, 2014.
- [26 E. Vilca, «PRUEBAS Y ENSAYOS CONSTRUCTIVOS EN CELDA DE  
] MEDIA TENSION TIPO 8DA10 AISLADAS EN SF6 CON  
] INTERRUPTORES DE POTENCIA DE HASTA 40,5 KV, ANTES DE  
] PUESTA EN SERVICIO EN LA MINERA TOQUEPALA,»  
] UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN, Arequipa, 2019.
- [27 J. Rodríguez, J. Gudiño y S. Ibarra, «Sistema de Monitoreo para un cargador  
] de baterías.,» 2018. [En línea]. Available:

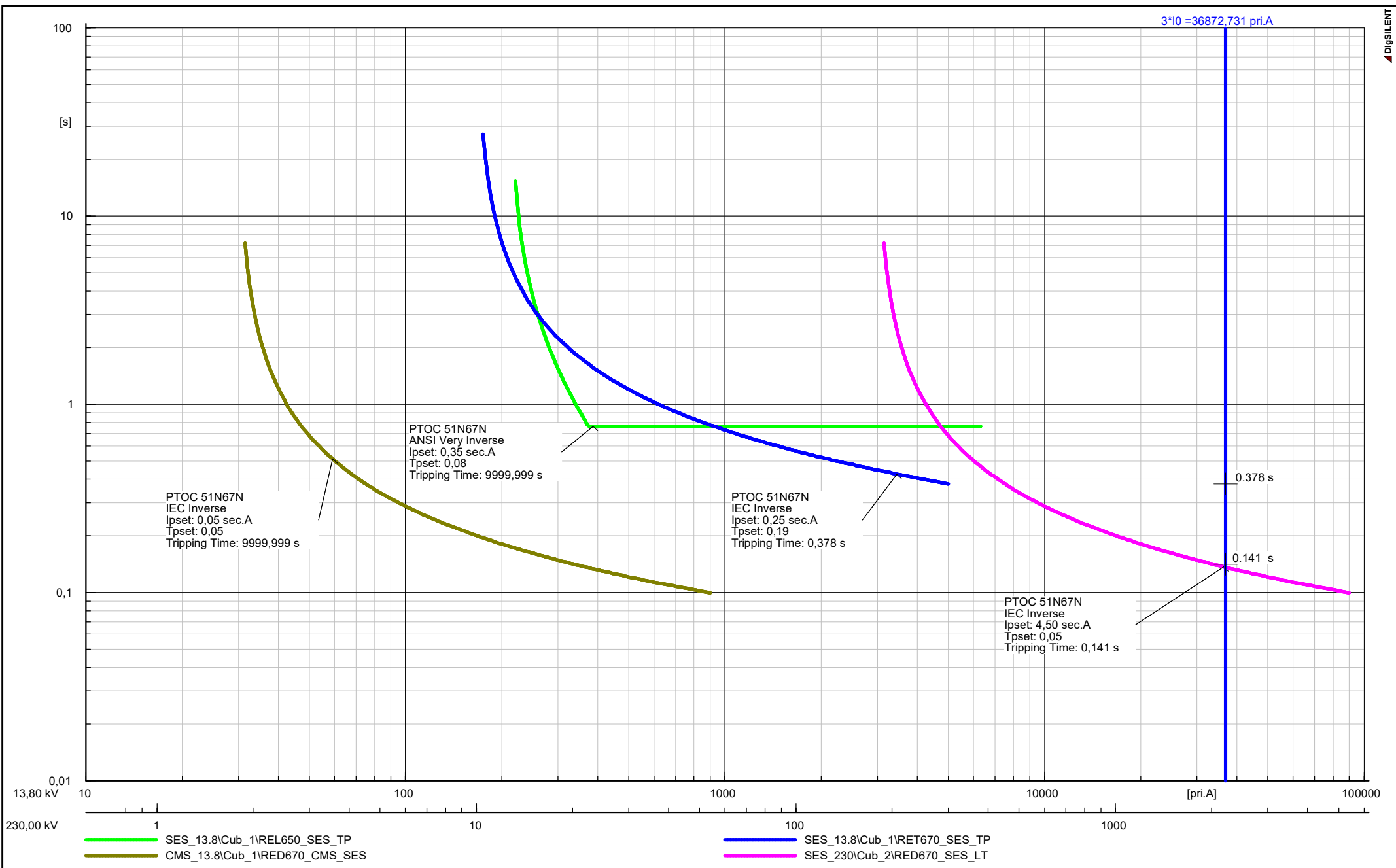
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xikua/article/download/2773/2796?inline=1>. [Último acceso: 27 Febrero 2020].

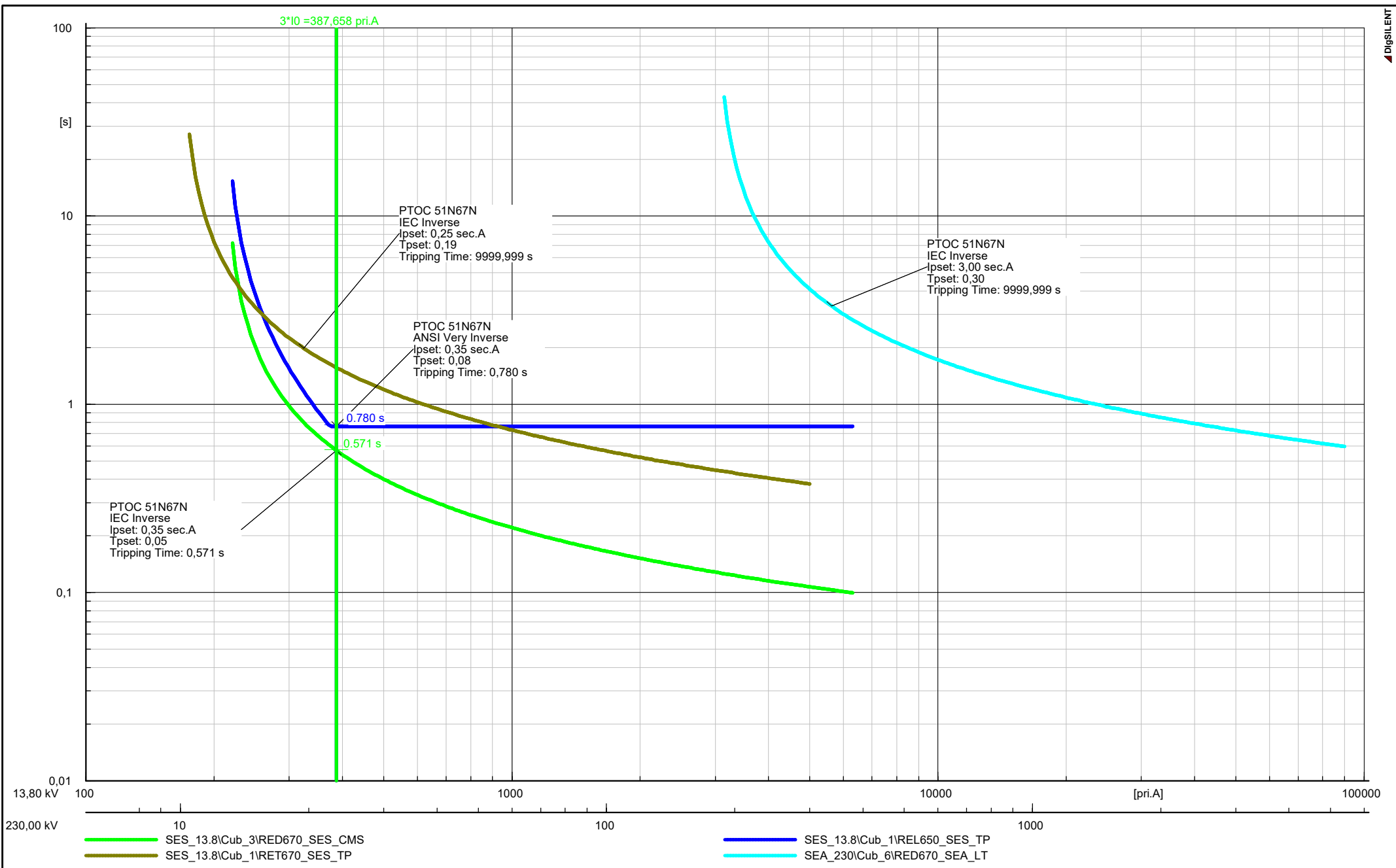
# **ANEXOS 1**

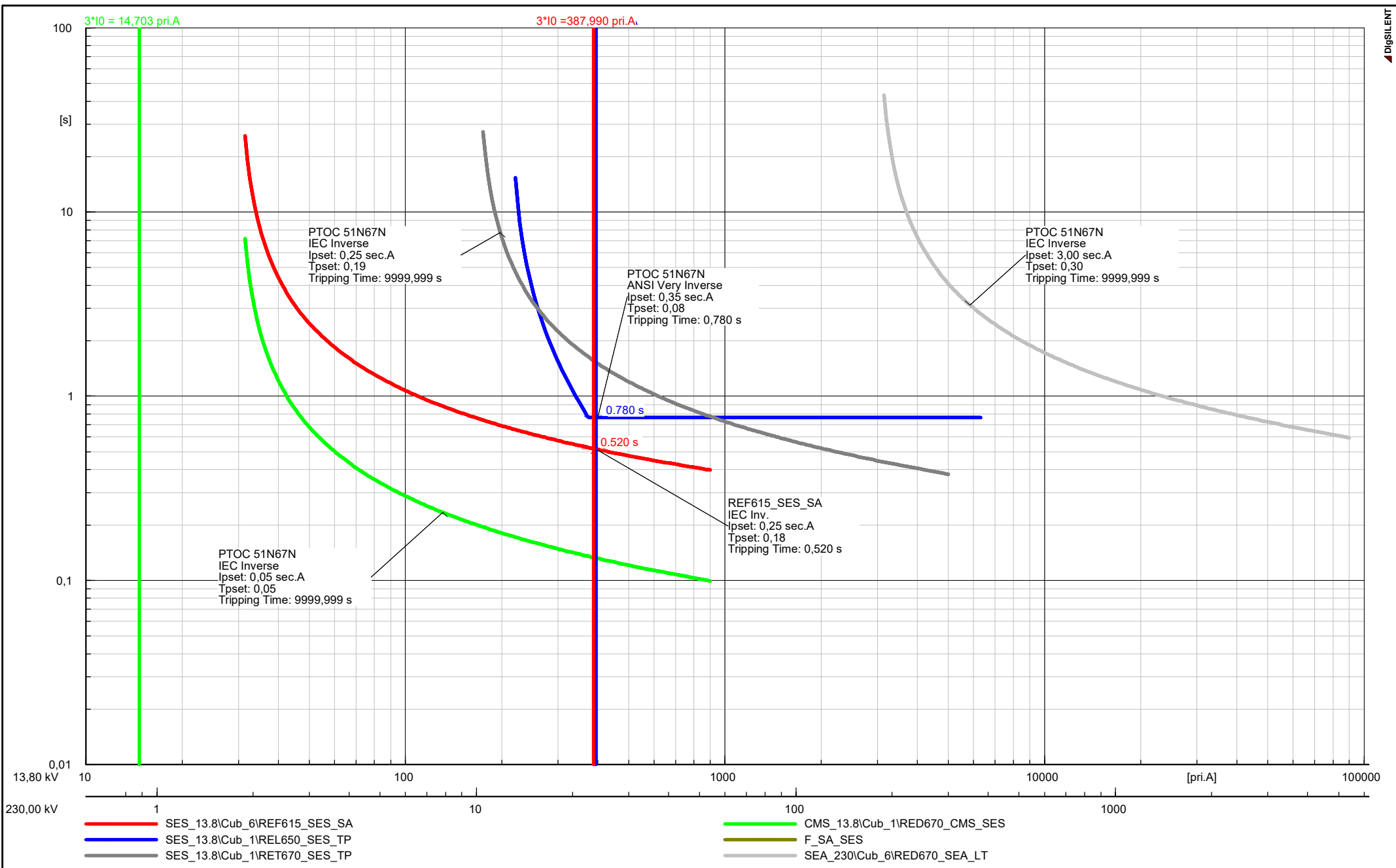
## **Falla Monofásica**

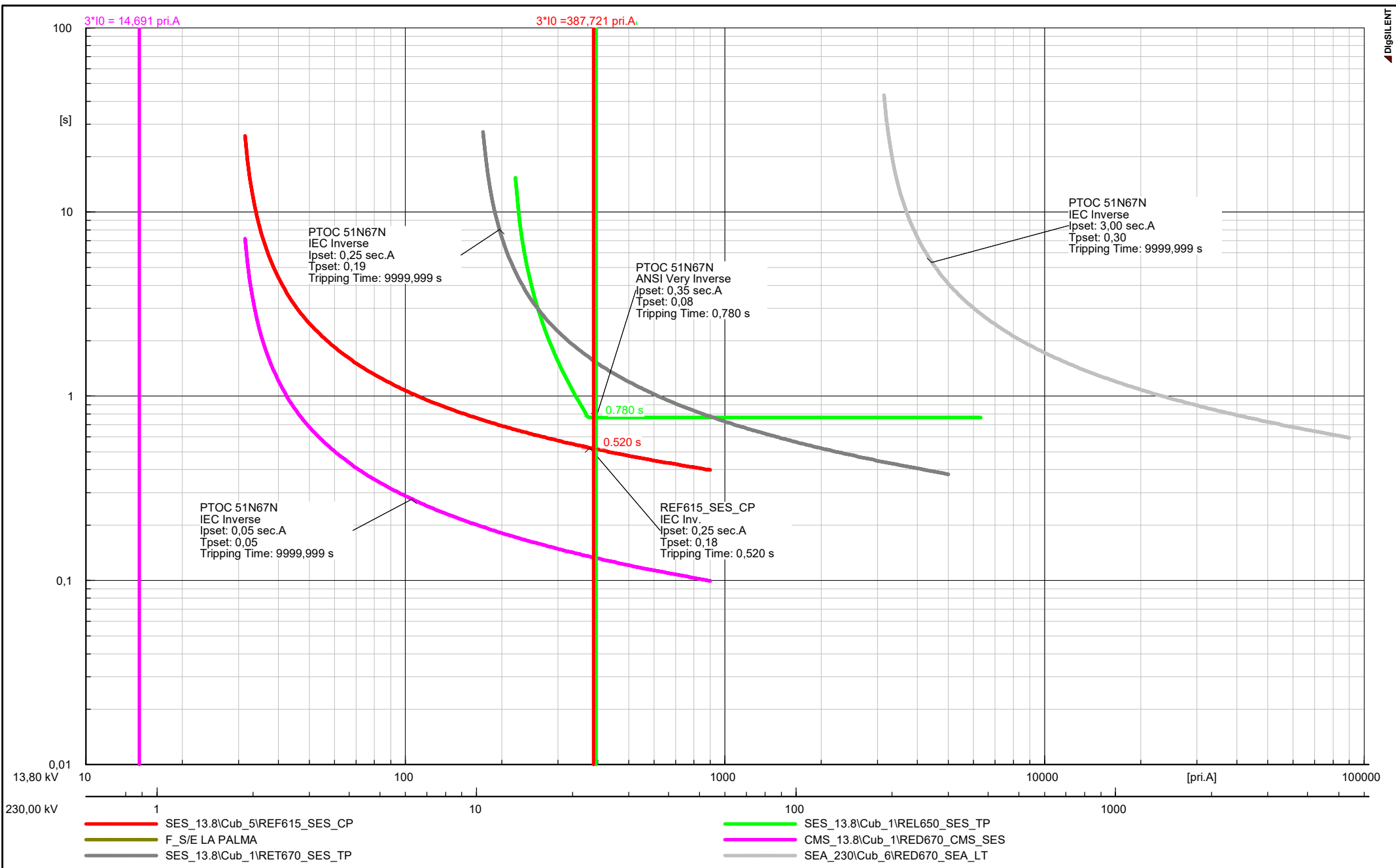
### **Curvas de mínimas corrientes de corto circuito**







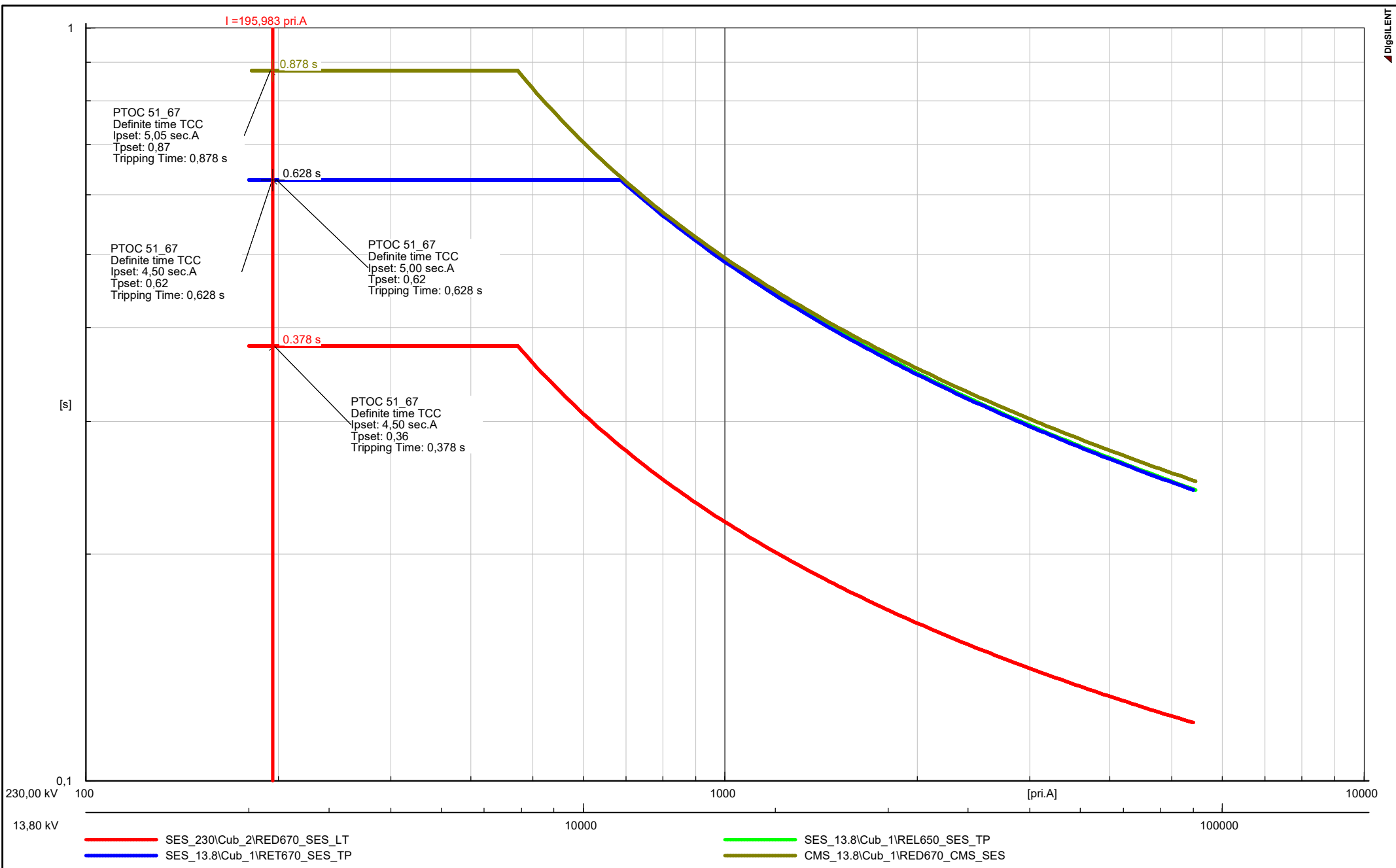




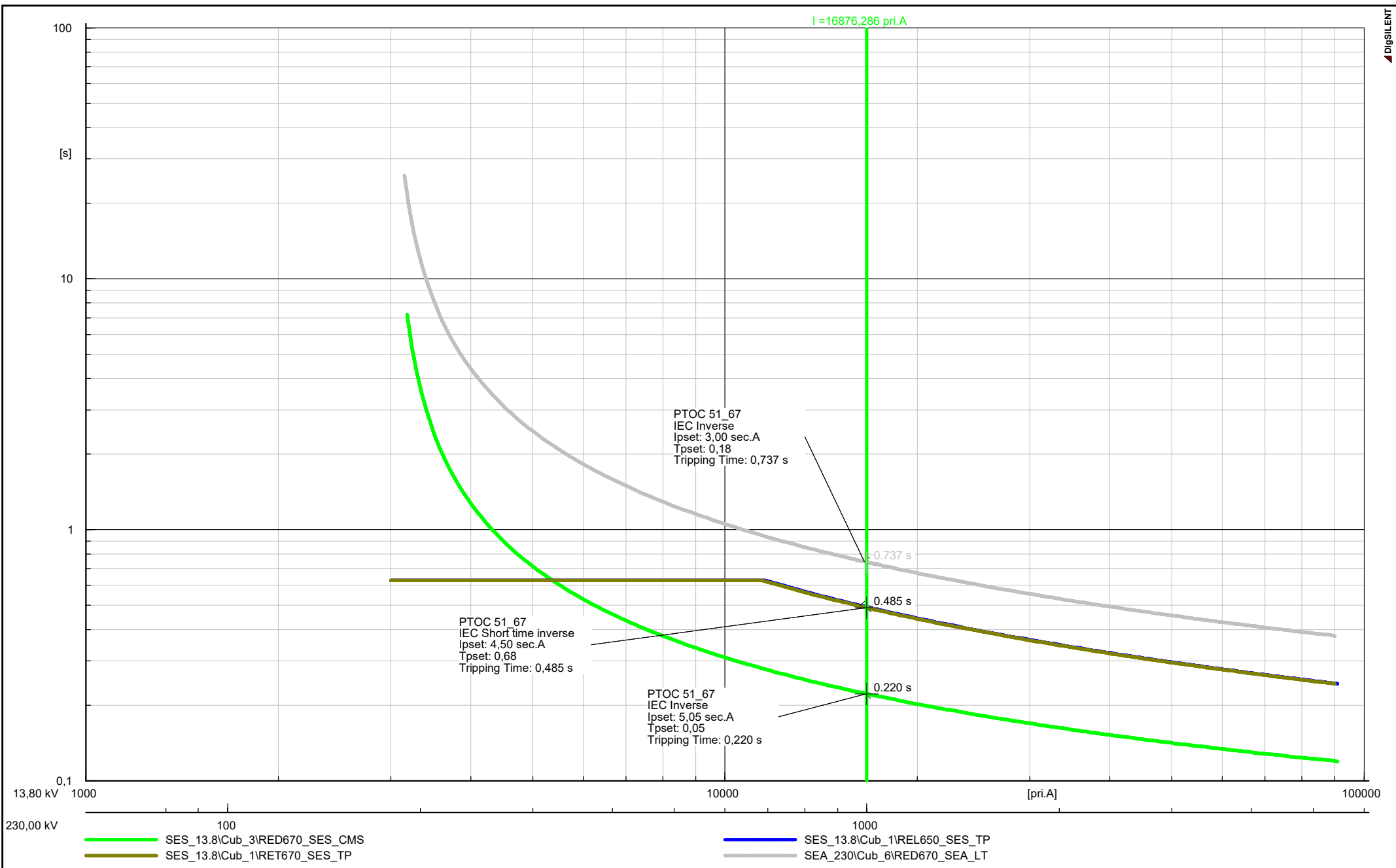
# **ANEXOS 2**

## **Falla Trifásica**

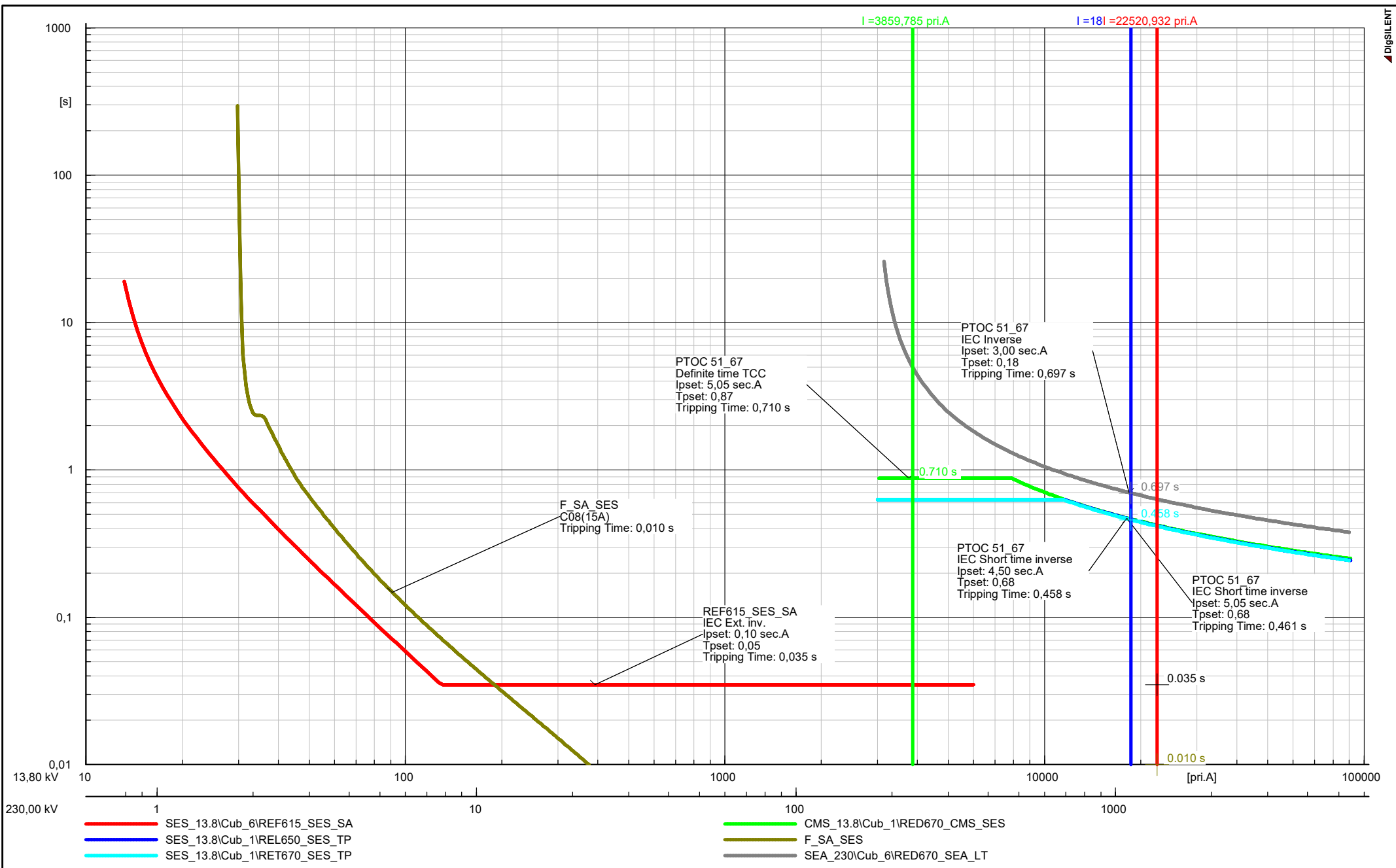
### **Curvas de mínimas corrientes de corto circuito**



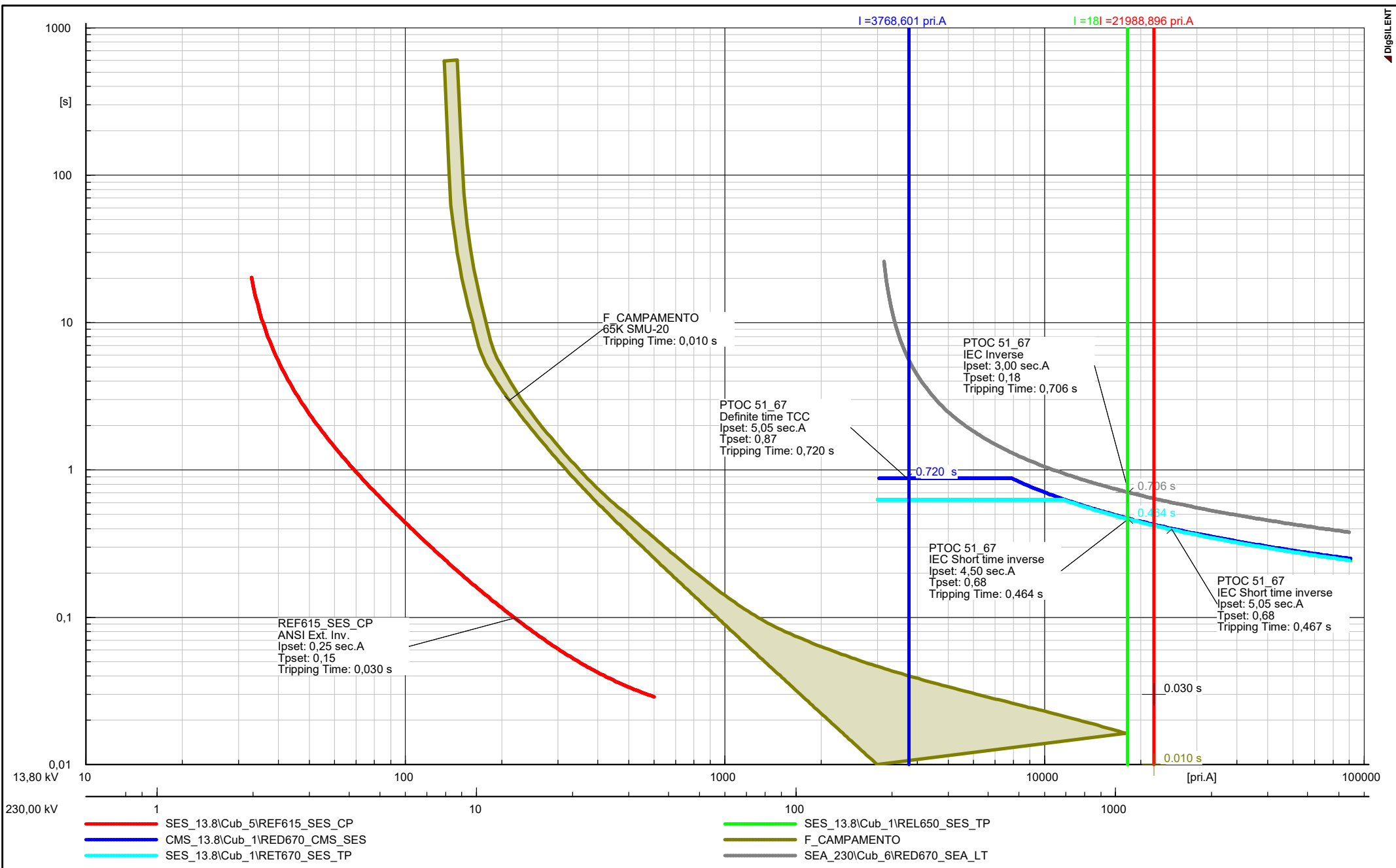
230,00 kV  
13,80 kV



13,80 kV  
230,00 kV



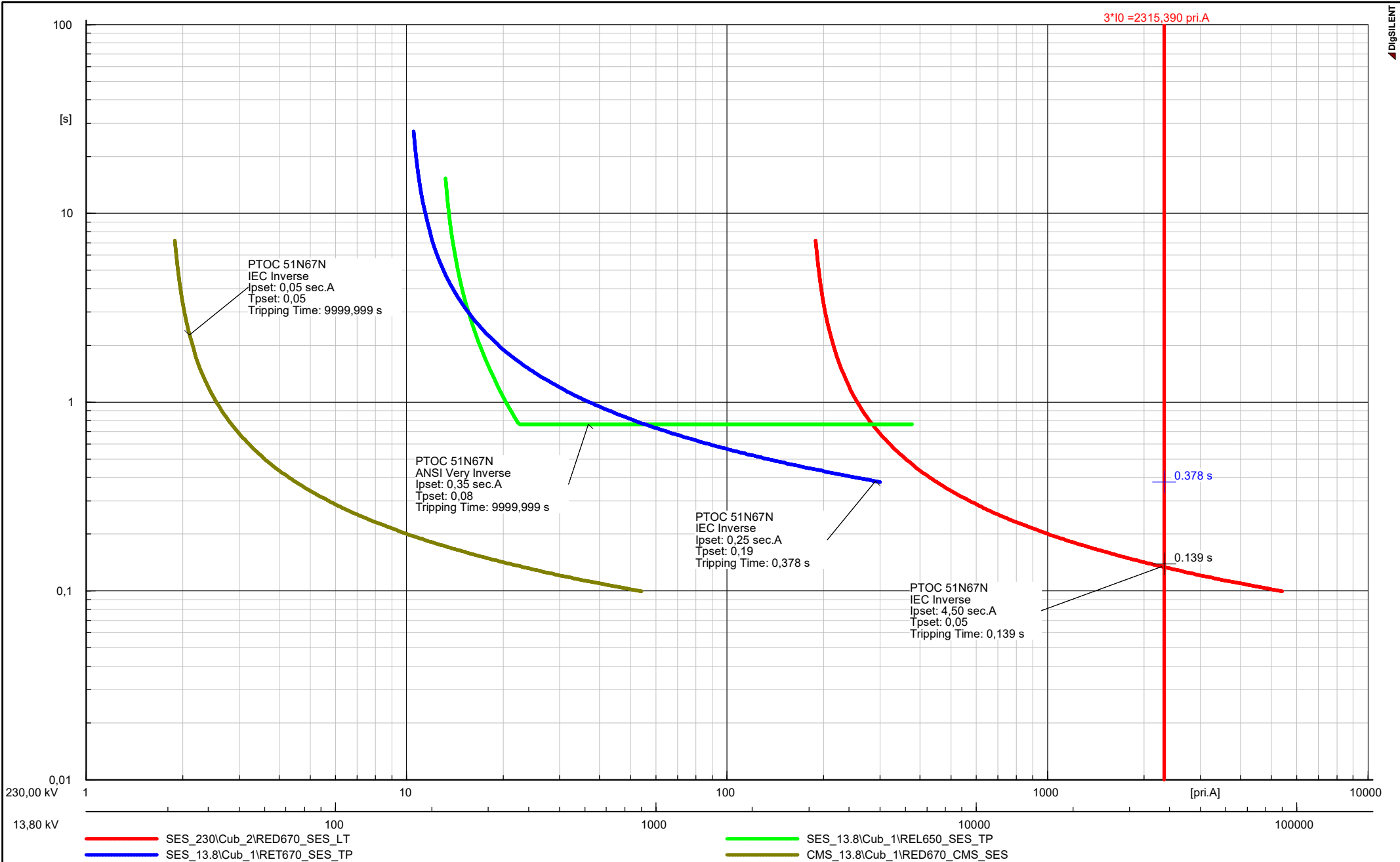


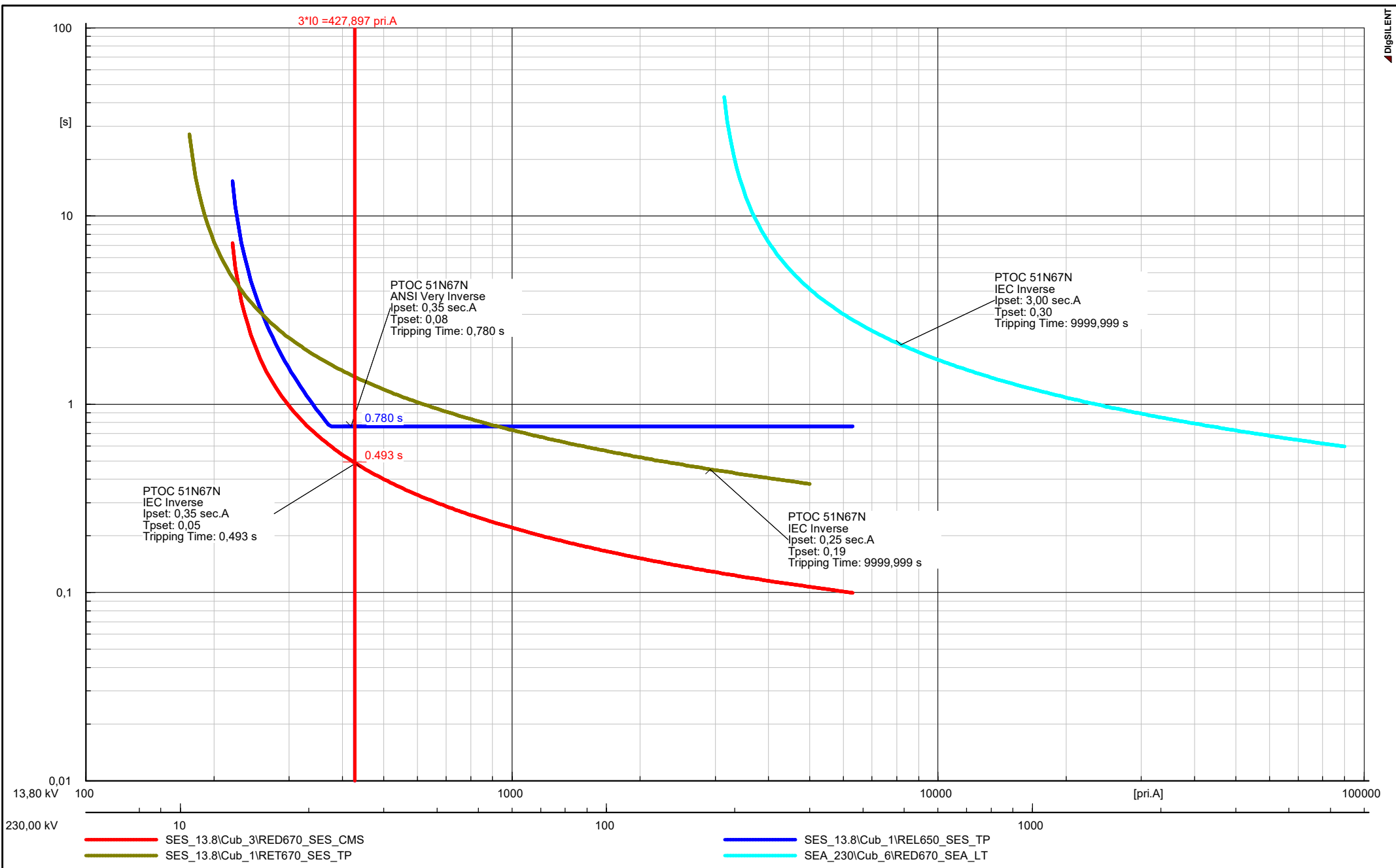


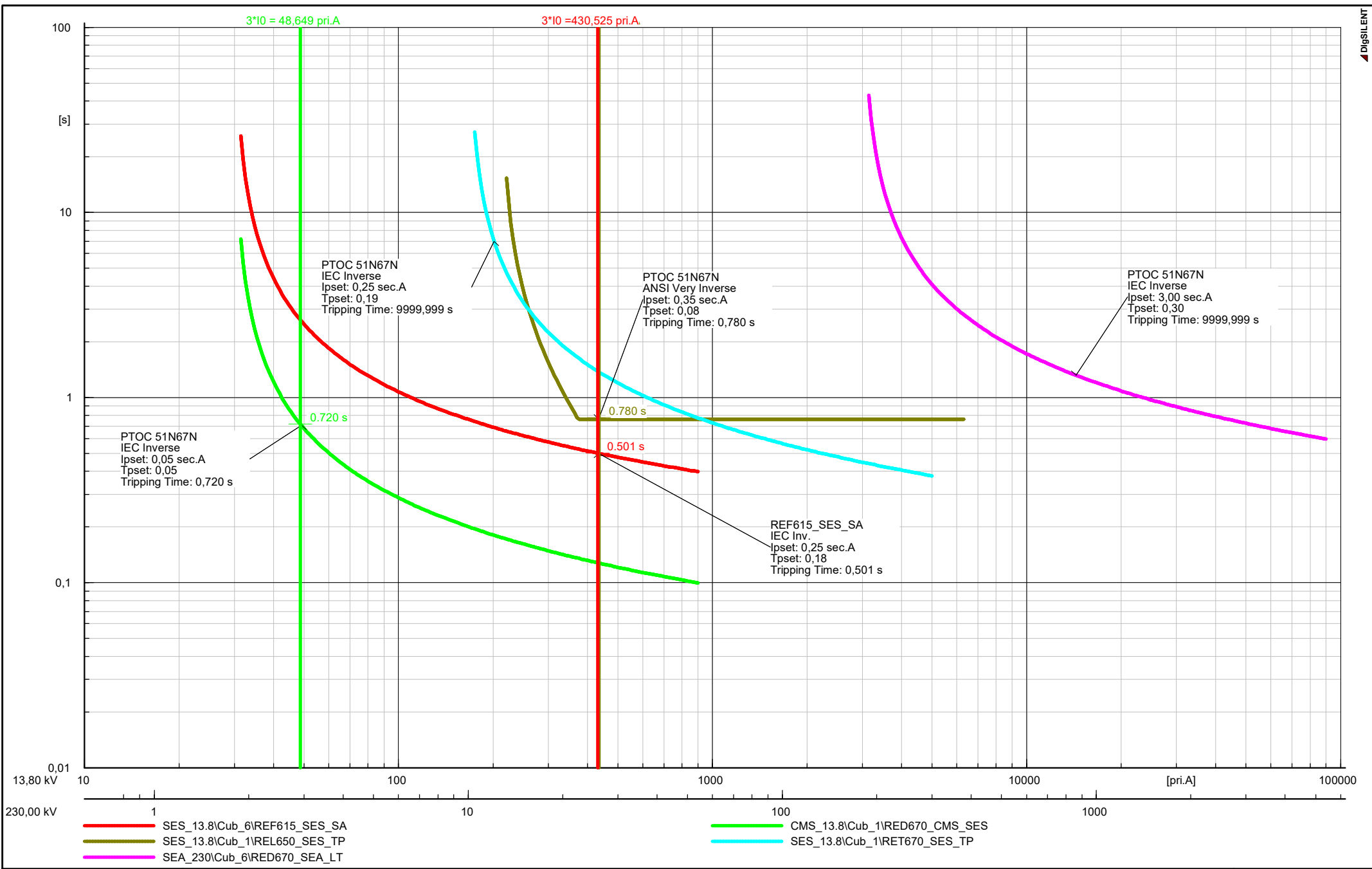
# **ANEXOS 3**

## **Falla Monofásica**

### **Curvas de máximas corrientes de corto circuito**

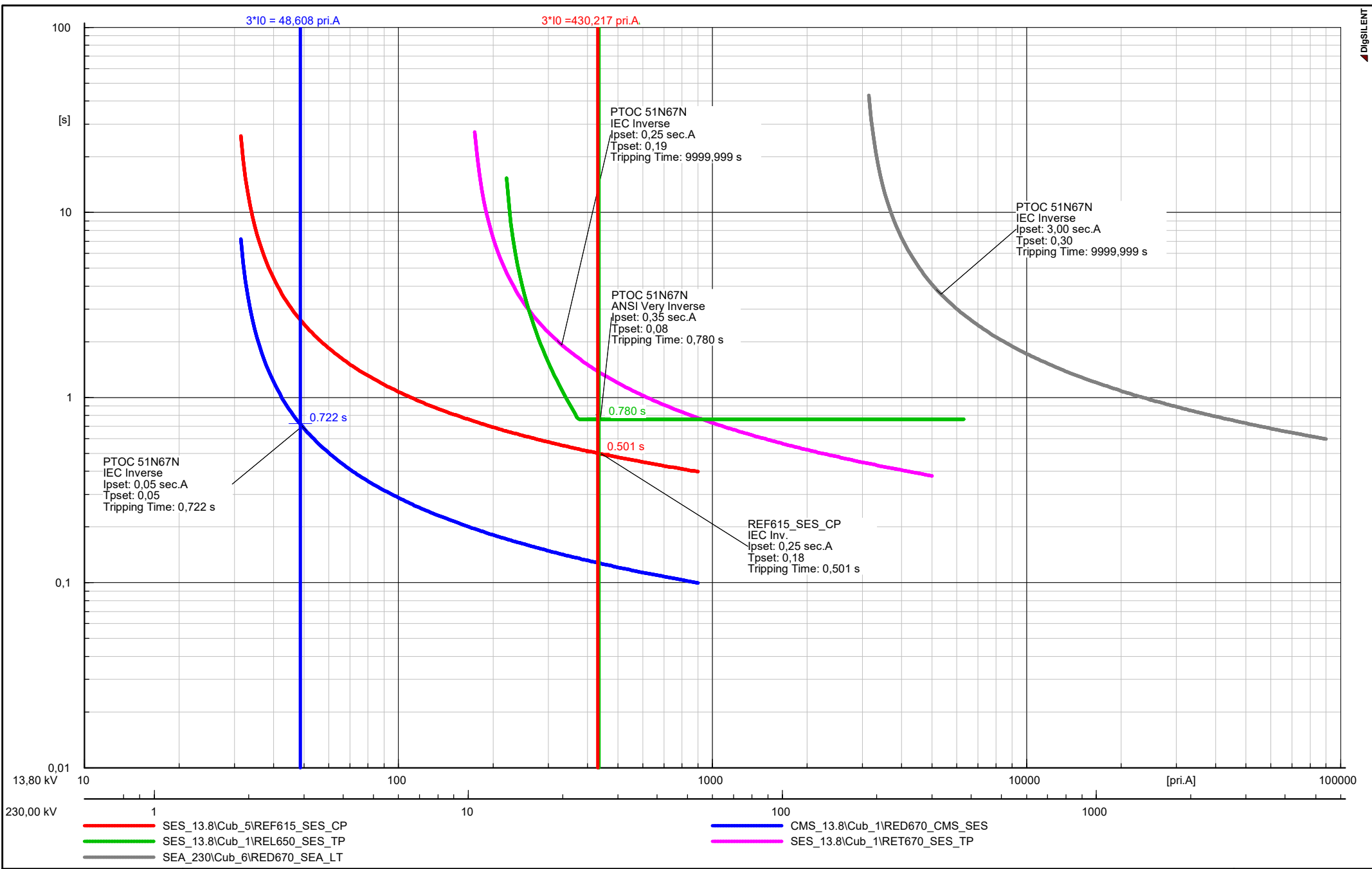






13,80 kV 230,00 kV 1 10 100 1000 10000 100000 [pri.A]

SES\_13.8\Cub\_6\REF615\_Ses\_SA      CMS\_13.8\Cub\_1\RED670\CMS\_Ses  
SES\_13.8\Cub\_1\REL650\_Ses\_TP      SES\_13.8\Cub\_1\RET670\_Ses\_TP  
SEA\_230\Cub\_6\RED670\_SEA\_LT



13,80 kV 10 100 1000 10000 100000 [pri.A]

230,00 kV 1 10 100 1000

SES\_13.8\Cub\_5\REF615\_SES\_CP      CMS\_13.8\Cub\_1\RED670\CMS\_SES

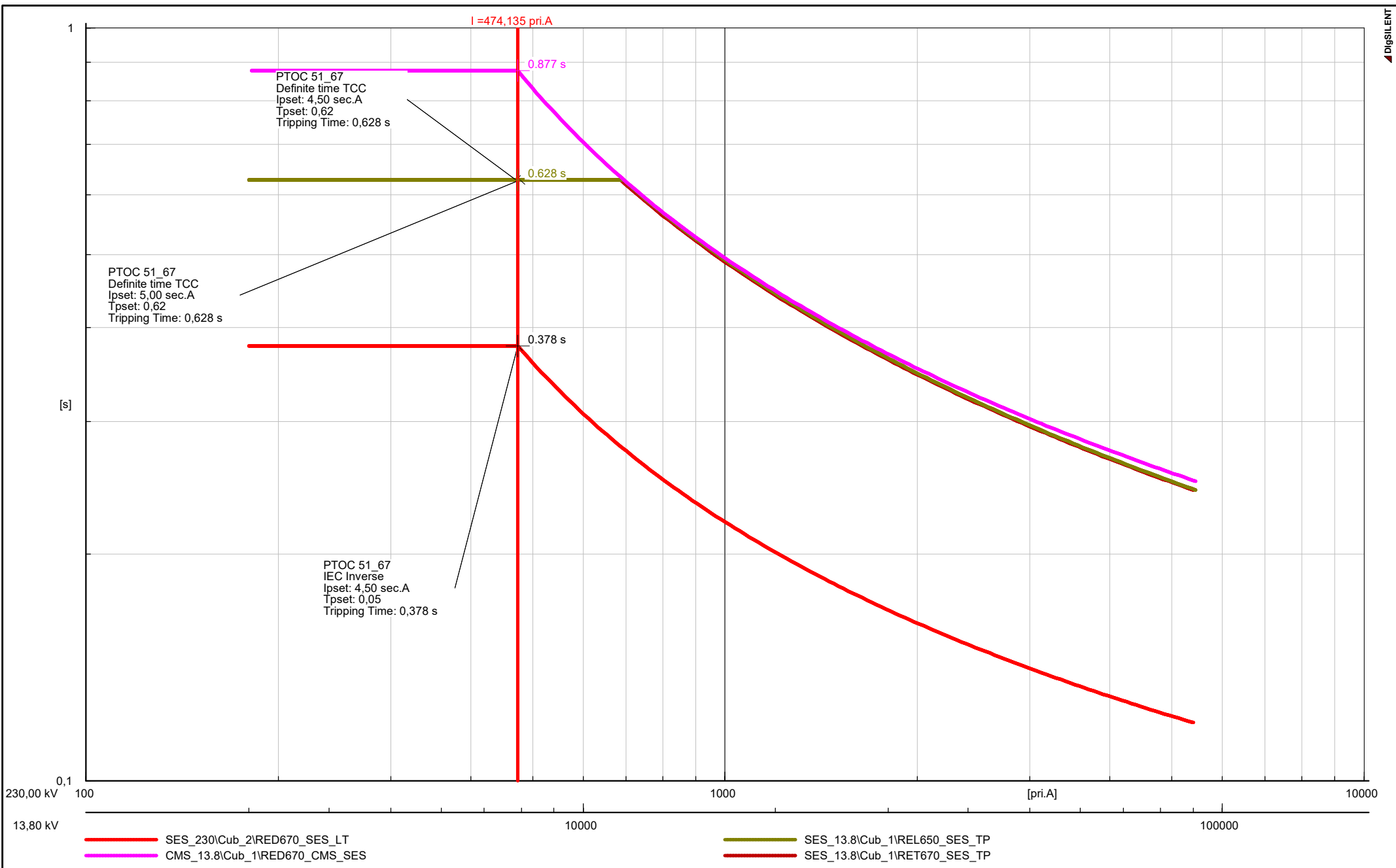
SES\_13.8\Cub\_1\REL650\_SES\_TP      SES\_13.8\Cub\_1\RET670\_SES\_TP

SEA\_230\Cub\_6\RED670\_SEA\_LT

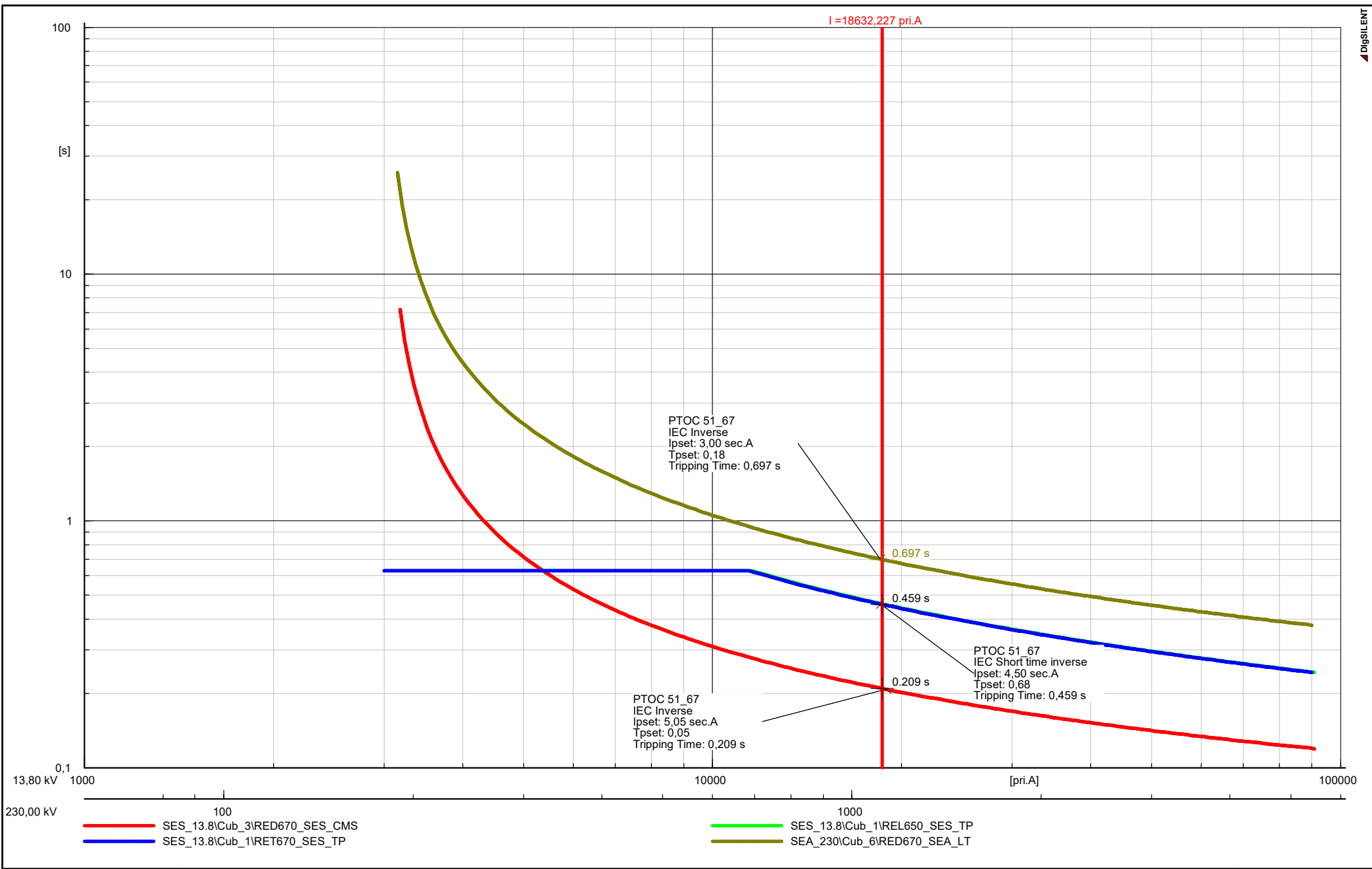
# **ANEXOS 4**

## **Falla Trifásica**

### **Curvas de máximas corrientes de corto circuito**







13,80 kV  
230,00 kV

