



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**APLICACIÓN DE ARCHIVOS COMTRADE EN LA MEJORA DE LA
PRECISIÓN Y EFICIENCIA DEL ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITOS
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: JULIO MARLON ALAVA VÉLEZ

ÁNGEL NILO ZAMBRANO LARA

TUTOR: Ing. CARLOS FERNANDO CHÁVEZ CORDOVA, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Julio Marlon Alava Vélez con documento de identificación N° 0930487350 y Ángel Nilo Zambrano Lara con documento de identificación N° 0923560668; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, septiembre del 2024.

Atentamente,



Julio Marlon Alava Vélez

0930487350



Ángel Nilo Zambrano Lara

0923560668

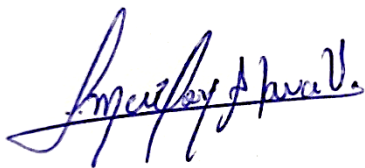
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Julio Marlon Alava Vélez con documento de identificación N° 0930487350 y Ángel Nilo Zambrano Lara con documento de identificación N° 0923560668, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “APLICACIÓN DE ARCHIVOS COMTRADE EN LA MEJORA DE LA PRECISIÓN Y EFICIENCIA DEL ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITOS EN SISTEMAS DE POTENCIA”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, septiembre del 2024.

Atentamente,



Julio Marlon Alava Vélez

0930487350



Ángel Nilo Zambrano Lara

0923560668

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Fernando Chávez Córdova con documento de identificación N° 0919553438, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “APLICACIÓN DE ARCHIVOS COMTRADE EN LA MEJORA DE LA PRECISIÓN Y EFICIENCIA DEL ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITOS EN SISTEMAS DE POTENCIA”, realizado por Julio Marlon Alava Vélez con documento de identificación N° 0930487350 y Ángel Nilo Zambrano Lara con documento de identificación N° 0923560668, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, septiembre del 2024.

Atentamente,



Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, MSc.

0959623422

DEDICATORIAS

Con profundo agradecimiento, dedico esta tesis a mi hermana, a mi padre, a mi madre, Soraya Vélez Vergara, de manera especial a Betina Blanco Saavedra. Su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de inspiración y el pilar que me ha sostenido a lo largo de este arduo camino. Su constante aliento y respaldo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Asimismo, dedico este logro a la memoria de mi abuela, Petra Vergara Manrique, quien siempre fue mi guía espiritual y una motivación constante. Aunque la vida no le permitió ver este sueño realizado de verme convertido en un profesional.

Este logro no es solo mío, sino también de todas las personas que, de una u otra manera, me brindaron su apoyo. Agradezco de todo corazón a cada uno de ellos.

Julio Marlon Alava Vélez.

Dedico esta tesis a mi madre, cuya paciencia, comprensión y apoyo inquebrantable me han permitido alcanzar esta meta. Tu amor y tus palabras de aliento han sido mi guía en los momentos difíciles. Este logro es tanto tuyo como mío. Te amo y te agradezco de todo corazón.

Ángel Nilo Zambrano Lara.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por Su guía y fortaleza a lo largo de este proceso; Su apoyo espiritual ha sido mi ancla y mi fuente de inspiración en cada paso del camino. Extiendo mis más sinceros agradecimientos a mis abuelos maternos, quienes siempre han estado pendientes de mí en todo momento, y a la familia Lindao Vélez, mis tíos, a quienes agradezco de todo corazón, así como a todos mis familiares, quienes comparten mi emoción por este acontecimiento. Mil gracias.

Quisiera también expresar mi profundo agradecimiento a nuestro tutor de tesis, el Ingeniero Carlos Chávez, por su invaluable orientación y apoyo durante todo el proceso; su dedicación y experiencia han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco igualmente al Ingeniero Ervin Solano, quien nos proporcionó el tema de esta tesis y nos condujo hacia una investigación de gran interés; su aportación ha sido fundamental para la realización de este proyecto. Mi gratitud se extiende al Ingeniero Julio Silva, cuyo apoyo en un momento clave del proceso fue de gran ayuda; su asistencia y consejo fueron esenciales para superar importantes desafíos.

No puedo dejar de reconocer el valioso esfuerzo de todos nuestros profesores, cuya dedicación y entusiasmo al compartir sus conocimientos y herramientas han sido invaluable y seguirán siendo útiles a lo largo de nuestra vida profesional. Asimismo, agradezco profundamente a mis compañeros de aula y a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron al éxito de este trabajo; cada gesto de apoyo ha sido significativo y apreciado.

Julio Marlon Alava Vélez.

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos los que hicieron posible esta tesis.

A mi director de tesis, el ingeniero Carlos Chávez, por su valiosa orientación, paciencia y aliento para continuar en momentos difíciles. Su sabiduría y consejos fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al ingeniero Ervin Solano, cuya visión y conocimiento nos brindaron un tema de investigación clave y de gran interés. Su propuesta fue aceptada con entusiasmo, y nos permitió embarcarnos inmediatamente en un trabajo que nos ha enriquecido profundamente.

Asimismo, extendiendo mi gratitud al ingeniero Julio Silva, quien, con su invaluable apoyo en temas logísticos, facilitó que pudiéramos concluir la tesis de manera exitosa en sus etapas finales. Su ayuda fue fundamental para superar los desafíos que encontramos en el camino.

A mi madre, que ha sido mi pilar de apoyo todos estos años. Gracias por su amor incondicional, apoyo moral y por estar siempre ahí para mí.

A mis amigos por su constante apoyo, palabras de aliento y confianza en mis habilidades. A los compañeros de clase por la cooperación y el intercambio de conocimientos.

A la Universidad Politécnica Salesiana, la cual me brindó herramientas y un ambiente para el crecimiento profesional y personal.

Ángel Nilo Zambrano Lara.

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se centra en la aplicación de archivos COMTRADE para mejorar la precisión y eficiencia en el análisis de cortocircuitos en sistemas de potencia. Se modeló un sistema eléctrico de potencia (SEP) utilizando PowerFactory DIgSILENT y se configuraron los relés de protección SEL-751, con la finalidad de evaluar su capacidad de respuesta ante eventos de cortocircuito simulados. Los datos de eventos generados se reprodujeron en la caja OMICRON para inyectar señales analógicas y así verificar la actuación del relé en diferentes escenarios de falla. Se llevaron a cabo cinco escenarios de cortocircuito, cuyos tiempos de actuación fueron medidos. En el escenario de corto trifásico en la barra del generador, el tiempo real de actuación fue de 31.6 milisegundos, mientras que en el corto trifásico en la línea de transmisión, se observó el menor tiempo de actuación, con 27.8 milisegundos. Por otro lado, el corto monofásico en la barra de la carga presentó un tiempo de actuación de 32.7 milisegundos, siendo el mayor registrado. Estos tiempos de actuación se encuentran dentro de los rangos aceptables de 50 milisegundos, con el fin de presentar una correcta fiabilidad en la coordinación de protecciones del sistema eléctrico de potencia. Los resultados obtenidos demuestran que, a pesar de las variaciones en los tiempos de actuación, el relé SEL-751 respondió de manera consistente a las diferentes condiciones de falla simuladas, cumpliendo con los objetivos específicos planteados. Se concluye que los archivos COMTRADE son efectivos para mejorar la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos, permitiendo una evaluación detallada del comportamiento de los sistemas de protección. Para futuros trabajos, se recomienda optimizar las configuraciones de los relés, realizar pruebas adicionales, y mantener un monitoreo continuo del sistema, además de actualizar las herramientas tecnológicas utilizadas y ofrecer capacitación constante al personal técnico.

Palabras claves:

COMTRADE, SEP, OMICRON, SEL-751, PowerFactory DIgSILENT, software y hardware.

ABSTRACT

This thesis focuses on the application of COMTRADE files to improve the accuracy and efficiency of short-circuit analysis in power systems. A power system (PSS) was modeled using PowerFactory DIgSILENT and the SEL-751 protection relays were configured to assess their response capacity to simulated short-circuit events. The generated event data was reproduced in the OMICRON box to inject analog signals and thus verify the relay's performance in different fault scenarios. Five short-circuit scenarios were carried out, whose actuation times were measured. In the three-phase short-circuit scenario on the generator bus, the actual actuation time was 31.6 milliseconds, while in the three-phase short-circuit scenario on the transmission line, the shortest actuation time was observed, with 27.8 milliseconds. On the other hand, the single-phase short-circuit on the load bus presented an actuation time of 32.7 milliseconds, being the longest recorded. These trip times are within the acceptable ranges of 50 milliseconds, to present a correct reliability in the coordination of protections of the electrical power system. The results obtained demonstrate that, despite the variations in the trip times, the SEL-751 relay responded consistently to the different simulated fault conditions, meeting the specific objectives set. It is concluded that COMTRADE files are effective in improving the accuracy and efficiency of short-circuit analysis, allowing a detailed evaluation of the behavior of protection systems. For future work, it is recommended to optimize the relay settings, perform additional tests, and maintain continuous monitoring of the system, in addition to updating the technological tools used and offering constant training to technical staff.

Keywords:

COMTRADE, SEP, OMICRON, SEL-751, PowerFactory DIgSILENT, software and hardware.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIAS	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
INDICE DE TABLAS	xxiii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	xxiv
GLOSARIO DE SIMBOLOGIA	xxvi
GLOSARIO DE UNIDADES	xxvii
INTRODUCCIÓN.....	1
I. PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del problema.	3
1.2. Antecedentes.	4
1.3. Importancia y alcances:	6
1.3.1. Importancia.....	6
1.3.2. Alcances.	6

1.4. Delimitación:	6
1.4.1. Geográfica (espacial).	6
1.4.2. Temporal.	7
1.4.3. Institucionalmente.....	7
II. BENEFICIARIOS	8
III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	9
2.1. Objetivo general	9
2.2. Objetivos específicos:	9
IV. MARCO TEÓRICO	9
3.1. Revisión de la literatura	9
3.2. Fundamentos teóricos	18
3.2.1. Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica:.....	18
3.2.1.1. Descripción:.....	18
3.2.1.2. Componentes:	19
3.2.1.3. Funcionamiento y Operación:	20
3.2.1.4. Importancia en el Sistema Eléctrico:	21
3.2.2. Fallas en Sistemas de Transmisión Eléctrica:	21
3.2.2.1. Tipos de Fallas:.....	21
3.2.2.2. Causas Comunes de Fallas:	23
3.2.2.3. Efectos de las Fallas en la Red Eléctrica:	23
3.2.3. Estudio de Cortocircuitos:.....	23
3.2.3.1. Concepto y Definición:	24
3.2.3.2. Métodos de Análisis de Cortocircuitos:	25

3.2.3.3.	Herramientas y Equipos Utilizados en el Estudio:	26
3.2.4.	Archivos COMTRADE:.....	27
3.2.4.1.	Introducción y Definición:	27
3.2.4.2.	Formato y Estructura de los Archivos:	28
3.2.4.3.	Aplicaciones en el Análisis de Sistemas de Potencia:	28
3.2.5.	Uso de la Maleta de Inyección OMICRON CMC-356:.....	29
3.2.5.1.	Características y Funcionalidades:	29
3.2.5.2.	Procedimientos de Uso:	30
3.2.5.3.	Ventajas en el Estudio de Cortocircuitos:	31
3.2.6.	Beneficios de la Implementación de Archivos COMTRADE:	32
3.2.6.1.	Mejoras en la Precisión del Análisis:.....	33
3.2.6.2.	Eficiencia en la Identificación y Resolución de Fallas:	34
3.2.6.3.	Impacto en la Operación y Mantenimiento del Sistema de Transmisión:	35
V.	MARCO METODOLÓGICO	36
4.1.	Diagrama unifilar base.	36
4.1.1.	Generador de 30 MVA.....	38
4.1.2.	Barra 1.....	38
4.1.3.	Transformador Elevador de 30 MVA.	39
4.1.4.	Barra 2.....	39
4.1.5.	Línea de Transmisión.....	40
4.1.6.	Barra 3.....	40
4.1.7.	Transformador Reductor de 30 MVA.....	41
4.1.8.	Barra 4.....	42
4.1.9.	Carga.....	42

4.2. Metodología y diseño de los transformadores de corriente.	43
4.2.1. Dimensionamiento de los CTs previo a la Carga {General Load 15 MVA}.....	43
4.2.2. Dimensionamiento de los CTs de la Línea de Transmisión.....	45
4.2.3. Dimensionamiento de los CTs del Generador {30 MVA}.	46
4.3. Metodología y diseño de los relés.	48
4.4. Escenario 1: Corto 3ϕ en la carga {falla en la barra 4}.	49
4.4.1. Configuración de la Falla.	49
4.4.2. Especificación de Parámetros de Falla.....	49
4.4.3. Ejecución de la Simulación.	50
4.4.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.	51
4.4.5. Generación de Archivos COMTRADE.	56
4.5. Escenario 2: Corto 3ϕ al 50% de la línea de transmisión.	57
4.5.1. Configuración de la Falla.	57
4.5.2. Especificación de Parámetros de Falla.....	58
4.5.3. Ejecución de la Simulación.	59
4.5.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.	59
4.5.5. Generación de Archivos COMTRADE.	63
4.6. Escenario 3: Corto 1ϕ al 50% de la línea de transmisión.	63
4.6.1. Configuración de la Falla.	64
4.6.2. Especificación de Parámetros de Falla.....	64
4.6.3. Ejecución de la Simulación.	65
4.6.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.	66
4.6.5. Generación de Archivos COMTRADE.	69
4.7. Escenario 4: Corto 3ϕ en la barra 1 del generador.	70

4.7.1.	Configuración de la Falla.	70
4.7.2.	Especificación de Parámetros de Falla.....	71
4.7.3.	Ejecución de la Simulación.	72
4.7.4.	Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.	72
4.7.5.	Generación de Archivos COMTRADE.	76
4.8.	Escenario 5: Corto 1ø en la barra de carga.	77
4.8.1.	Configuración de la Falla.	77
4.8.2.	Especificación de Parámetros de Falla.....	77
4.8.3.	Ejecución de la Simulación.	78
4.8.4.	Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.	79
4.8.5.	Generación de Archivos COMTRADE.	82
4.9.	Curvas de protección generadas a partir de simulaciones en DIGSILENT	83
4.10.	Cálculos para ajustes de los Relés.....	84
4.10.1.	Parámetro 50P.....	84
4.10.2.	Parámetro 51P.....	84
4.10.3.	Parámetro 50N	85
4.10.4.	Parámetro 51N	85
4.10.4.1.	RELÉ 1.....	85
4.10.4.2.	RELÉ 2.....	85
4.10.4.3.	RELÉ 3.....	86
4.10.4.4.	RELÉ 4.....	86
4.10.4.5.	RELÉ 5.....	86
4.11.	Configuración de los Relés con el Software AcSELerator®.	87
4.11.1.	Configuración del Relé N°1.....	88

4.11.2.	Configuración del Relé N°3.....	91
4.11.3.	Configuración del Relé N°5.....	94
VI.	RESULTADOS	97
5.1.	Corto trifásico en la barra del generador.	98
5.2.	Corto monofásico en la barra de la carga.	102
5.3.	Corto trifásico en la barra de la carga.	105
5.4.	Corto monofásico de la línea de transmisión.	107
5.5.	Corto trifásico de la línea de transmisión.	110
VII.	CONCLUSIONES	113
VIII.	RECOMENDACIONES	114
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
X.	ANEXOS	120
9.1.	Reporte de flujo de carga.....	120
9.2.	Reporte del corto trifásico en la barra del generador.	122
9.3.	Reporte del corto monofásico en la barra de la carga.	124
9.4.	Reporte del corto trifásico en la barra de la carga.	126
9.5.	Reporte del corto monofásico de la línea de transmisión.	128
9.6.	Reporte del corto trifásico de la línea de transmisión.	130
9.7.	Registro fotográfico de la ejecución del proyecto de titulación.	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. OMICRON CMC 356.....	5
Figura 2. Relé de protección de alimentador SEL-751.	5
Figura 3. UPS, Sede GYE, Campus Centenario.	7
Figura 4. Agencia de Regulación y Control de Electricidad.	8
Figura 5. Software Test Universe 4.10.	10
Figura 6. Pantalla inicial del software DIGSI 5.	11
Figura 7. Pantalla inicial del software AcSELeator®.....	12
Figura 8. Relé SEL-551 de la UPS, GYE, Campus Centenario.....	12
Figura 9. Lógica de disparo para la función 27 del relé SEL-751.	13
Figura 10. Diagrama del relé SEL-387E.	14
Figura 11. Diagrama de flujo con sus 4 etapas de la metodología propuesta de la IEC 61850.	15
Figura 12. Diagrama unifilar de la subestación Durán Sur en DIgSILENT PowerFactory. ...	15
Figura 13. Curvas del estudio de la coordinación de protecciones de la configuración Relé- Relé sin coordinar en fase.	16
Figura 14. Captura resaltando ambas líneas de transmisión en el software Aspen Oneliner. .	17
Figura 15. Dispositivos de topología del banco de pruebas.	18
Figura 16. Líneas de transmisión de energía eléctrica.	19
Figura 17. Monitoreo de las líneas de transmisión de energía eléctrica.....	20
Figura 18. Conductores de alta tensión transportando energía eléctrica.	21
Figura 19. Cortocircuito entre dos conductores.	24
Figura 20. Cortocircuito entre dos conductores.	24
Figura 21. Esquema para una coordinación de protecciones.	25
Figura 22. Ondas de la corriente de falla o de cortocircuito.....	26
Figura 23. Ondas analógicas de corriente y tensión en TransPlay.....	29

Figura 24. Ventajas ofrecidas por OMICRON CMC-356.....	32
Figura 25. Interfaz gráfica en visual GUIDE.....	33
Figura 26. Resultados de una estimación de distancia en una falla en las redes eléctricas.	34
Figura 27. Conjunto de datos de entrenamiento, verificación y validación VS. la salida deseada.	35
Figura 28. Diagrama Unifilar Base para la obtención de archivos COMTRADE.....	37
Figura 29. Datos técnicos del Generador de 30 MVA.	38
Figura 30. Características técnicas de la Barra 1.	38
Figura 31. Datos técnicos del Transformador Elevador de 30 MVA.....	39
Figura 32. Características técnicas de la Barra 2.	39
Figura 33. Características técnicas de la Línea de Transmisión.	40
Figura 34. Características técnicas de la Barra 3.	41
Figura 35. Datos técnicos del Transformador Elevador de 30 MVA.....	41
Figura 36. Características técnicas de la Barra 4.	42
Figura 37. Características técnicas de la Carga.....	43
Figura 38. Corriente del lado de baja del transformador reductor al realizar el flujo de carga.	44
Figura 39. CTs agregados en la Carga de 15MVA.	45
Figura 40. Corriente del lado de alta del transformador reductor al realizar el flujo de carga.	45
Figura 41. CTs agregados en la Línea de Transmisión.	46
Figura 42. Evento de cortocircuito monofásico en la BARRA 1.....	47
Figura 43. CTs agregados en el Generador de 30 MVA.	48
Figura 44. Configuración de la falla en la Barra 4.	49
Figura 45. Especificación de la falla en la Barra 4.....	50
Figura 46. Simulación de la falla en la Barra 4.....	50

Figura 47. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla en la Barra 4.	51
Figura 48. Ingreso del transformador de corriente en la Barra 4.	51
Figura 49. Simulación de la falla en la Barra 4.....	52
Figura 50. Definición de las variables de voltaje de la falla en la Barra 4.	52
Figura 51. Definición de las variables de corriente en el TC ubicado antes de la Barra 4.....	53
Figura 52. Ejecución del evento de falla en la Barra 4.....	53
Figura 53. Registro de los gráficos de la falla en la Barra 4.....	54
Figura 54. Definición de variables de corriente a graficar durante la falla en la Barra 4.....	54
Figura 55. Curvas de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4.....	55
Figura 56. Definición de variables de voltaje durante la falla en la Barra 4.	55
Figura 57. Curvas de las variables de corriente y variables de voltaje durante la falla en la Barra 4.	56
Figura 58. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4. .56	
Figura 59. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4.....	57
Figura 60. Configuración de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	58
Figura 61. Especificación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.	58
Figura 62. Simulación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.	59
Figura 63. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.	60
Figura 64. Ingreso del transformador de corriente entre las Barras 2 y 3.	60
Figura 65. Simulación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.	61
Figura 66. Ejecución del evento de falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	61
Figura 67. Registro de los gráficos de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%...62	
Figura 68. Curvas de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	62

Figura 69. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	63
Figura 70. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión.	63
Figura 71. Configuración de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	64
Figura 72. Especificación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	65
Figura 73. Simulación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	65
Figura 74. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	66
Figura 75. Ingreso del transformador de corriente entre las Barras 2 y 3.	67
Figura 76. Simulación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	67
Figura 77. Ejecución del evento de falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	68
Figura 78. Registro de los gráficos de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.	68
Figura 79. Curvas de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	69
Figura 80. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.....	69
Figura 81. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión.....	70
Figura 82. Configuración de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.	71
Figura 83. Especificación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.....	71
Figura 84. Simulación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.....	72
Figura 85. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.....	73
Figura 86. Ingreso del transformador de corriente antes de la Barra 1.	73
Figura 87. Simulación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.....	74

Figura 88. Ejecución del evento de falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.....	74
Figura 89. Registro de los gráficos de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.	75
Figura 90. Curvas de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.	75
Figura 91. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.	76
Figura 92. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.	76
Figura 93. Configuración de la falla monofásica en la Barra 4.	77
Figura 94. Especificación de la falla monofásica en la Barra 4.	78
Figura 95. Simulación de la falla monofásica en la Barra 4.	78
Figura 96. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla monofásica en la Barra 4.	79
Figura 97. Ingreso del transformador de corriente antes de la Barra 4.	80
Figura 98. Simulación de la falla monofásica en la Barra 4.	80
Figura 99. Ejecución del evento de falla monofásica en la Barra 4.	81
Figura 100. Registro de los gráficos de la falla monofásica en la Barra 4.	81
Figura 101. Curvas de las variables de corriente durante falla monofásica en la Barra 4.	82
Figura 102. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásico en la Barra 4.	82
Figura 103. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Barra 4.	83
Figura 104. Coordinación de las protecciones 50 / 51P en el software DIgSILENT.	83
Figura 105. Coordinación de las protecciones 50 / 51N en el software DIgSILENT.	84
Figura 106. Ajustes de la protección 50 / 51.	87
Figura 107. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°1.	88

Figura 108. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°1.	89
Figura 109. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°1.	89
Figura 110. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°1.	90
Figura 111. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°1.	90
Figura 112. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°3.	91
Figura 113. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°3.	92
Figura 114. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°3.	92
Figura 115. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°3.	93
Figura 116. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°3.	93
Figura 117. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°5.	94
Figura 118. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°5.	95
Figura 119. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°5.	95
Figura 120. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°5.	96
Figura 121. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°5.	96
Figura 122. Módulo de Prueba Advanced TransPlay.	99
Figura 123. Importación de archivos COMTRADE del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	99
Figura 124. Ejecución y apertura de archivos COMTRADE del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	100
Figura 125. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	100
Figura 126. Asignación del valor del tiempo a analizar al comienzo del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	101
Figura 127. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	101

Figura 128. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.....	102
Figura 129. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.	103
Figura 130. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.	104
Figura 131. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.....	105
Figura 132. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.	106
Figura 133. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.....	106
Figura 134. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.	107
Figura 135. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.....	108
Figura 136. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.....	109
Figura 137. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.	110
Figura 138. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.....	111
Figura 139. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.....	111
Figura 140. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Delimitación temporal del proyecto técnico del trabajo de titulación.	7
Tabla 2. Componentes básicos del sistema de transmisión de energía eléctrica.....	19
Tabla 3. Características de las fallas simétricas.	22
Tabla 4. Características de las fallas asimétricas.	22
Tabla 5. Extensiones de los archivos COMTRADE.	28
Tabla 6. Características de la Maleta de Inyección OMICRON CMC-356.	30
Tabla 7. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.	102
Tabla 8. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.....	104
Tabla 9. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.....	107
Tabla 10. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.....	109
Tabla 11. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.	112

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ANSI:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.
ARCONEL:	Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
AcSELerator:	Software desarrollada por la empresa Schweitzer Engineering Laboratories.
CMC:	“Calibrador de Medidores Computarizado” o “Calibrador Multifunción Computarizado”
CNEL EP:	Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública.
COMTRADE:	Archivo para almacenar oscilografías y datos de estado.
CT:	Transformador de Corriente.
DIGSI:	Red Digital Siemens.
DIgSILENT PowerFactory:	Software de simulación de Sistemas Eléctricos de Potencia,
EMTP:	Programa Transitorio Electromagnético.
EP:	Equipo(s) Primario(s).
ETAP:	Programa de analizador de transitorios eléctricos.
et al:	Y Otros.
f(t):	Función con respecto al tiempo.
GOOSE:	Evento Genérico Orientado a Objetos de Subestación
GNSS:	Sistema Global de Navegación por Satélite.
GUIDE:	Entorno de Desarrollo de Interfaces Gráficas de Usuario
GYE:	Guayaquil.
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
Ing.:	Ingeniero(a).
MSc.:	Master en Ciencias de Ingeniería.
OMICRON:	Empresa especializada en equipos de prueba y medición para la protección y automatización en sistemas eléctricos de potencia.
PSS/E:	Simulador de Sistemas de Energía Para Ingeniería.
PTP:	Protocolo de Tiempo de Precisión.
RTAC:	Controlador Avanzado de Unidad Terminal Remota

SE:	Subestación Eléctrica.
Sec.:	Segundo(s).
SEL:	Laboratorios de Ingeniería Schweitzer.
SEP:	Sistema Eléctrico de Potencia.
SKM:	Análisis de sistemas, Inc.
SV:	Valores Muestreados.
UPS:	Universidad Politécnica Salesiana.
USA:	Estados Unidos de América.

GLOSARIO DE SIMBOLOGÍA

%:	Porcentaje.
©:	Marca de Copyright.
®:	Marca Registrada.
™:	Trademark, Marca Comercial.
Ω:	Ohmio(s).

GLOSARIO DE UNIDADES

A:	Amperio(s).
Hz:	Hercio(s) o Hertz.
k:	Kilo(s).
kA:	Kilo(s) Amperio(s).
km:	Kilometro(s).
kV:	Kilo voltio(s).
mH:	Mili Henrio(s).
M:	Mega(s).
MVA:	Mega voltio(s) Amperio(s).
MVAR:	Mega voltio(s) Amperio(s) Reactivo(s).
MW:	Megavatio(s).
p.u.:	Por Unidad.
s:	Segundo(s).

INTRODUCCIÓN

Hoy en día en el sector eléctrico, se debe garantizar un suministro continuo y confiable de energía dado que es primordial para el funcionamiento de la sociedad moderna, la estabilidad de la red eléctrica es muy importante para la operación de infraestructuras críticas, industrias, y hogares, por ende, para asegurar esta estabilidad, es crucial realizar un análisis detallado del comportamiento de la red eléctrica antes, durante y después de eventos transitorios, tales como fallas (simétricas y/o asimétricas) o fluctuaciones de carga. Este análisis permite identificar y mitigar inconvenientes potenciales antes de que se conviertan en fallas significativa [1]. Los relés y dispositivos de protección son vitales en este proceso, ya que están diseñados para detectar y responder rápidamente a condiciones anormales como fallas, sobrecargas y cortocircuitos, su capacidad para actuar en el momento preciso con un tiempo de respuesta inmediato es esencial para mantener la integridad y confiabilidad del sistema eléctrico de potencia (SEP).

El estudio de las corrientes de fallas simétricas y asimétricas durante estos eventos transitorios proporciona información valiosa y detallada sobre la naturaleza y localización de las fallas en el SEP, con esto se logra mediante la observación cuidadosa de los patrones de corriente y voltaje, donde las características específicas de las señales pueden revelar mucho sobre la naturaleza del problema, como por ejemplo, una corriente de cortocircuito suele mostrar una amplitud significativamente mayor que la corriente nominal, y esta característica distintiva puede ser identificada y analizada utilizando los datos proporcionados por los archivos COMTRADE, aquellos archivos contienen registros detallados de las variaciones de corriente y voltaje durante los eventos transitorios, ofreciendo una ventana crucial para el análisis y diagnóstico de las condiciones del sistema.

La capacidad de reproducir oscilografías precisas a partir de los archivos COMTRADE es una herramienta esencial para el análisis detallado de los voltajes y corrientes en función del tiempo $\{f(t)\}$. Estas oscilografías permiten a los ingenieros de campo y técnicos eléctricos inspeccionar las características específicas de las señales eléctricas durante estos eventos transitorios, identificando así posibles puntos de mejora en el desempeño de los relés y otros dispositivos de protección.

La investigación en esta área se centra en desarrollar métodos robustos para el análisis de datos, diseñando algoritmos o funciones de procesamiento precisos y realizando validaciones experimentales rigurosas, con estos métodos se busca garantizar la precisión y confiabilidad en el funcionamiento de los relés, partiendo del uso íntegro y análisis detallado de los datos contenidos en los archivos COMTRADE. A través de estos avances, es posible mejorar significativamente la resiliencia, viabilidad y eficiencia de los SEP actuales y modernos.

La aplicación y uso de los archivos COMTRADE en la mejora de la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos en los SEP representa una evolución significativa en la gestión y protección de las redes eléctricas, dado que estos archivos COMTRADE, al proporcionar un registro detallado y exacto de las variaciones de corriente y voltaje durante eventos transitorios, permiten una comprensión profunda y precisa de las condiciones del sistema en momentos críticos. Este nivel de detalle no solo facilita la identificación y localización de fallas con una alta precisión, sino que también mejora la capacidad de respuesta y la efectividad de los dispositivos de protección (Relés).

Al implementar métodos avanzados de análisis basados en estos archivos, es posible optimizar el desempeño de los relés y otros dispositivos, reduciendo tiempos de interrupción y mejorando la resiliencia del SEP. La investigación y desarrollo en esta área prometen aportar mejoras sustanciales en la coordinación y gestión de las redes eléctricas, asegurando un suministro de energía más estable, viable, confiable y eficiente para satisfacer las crecientes demandas dadas hoy en día.

El desarrollo del documento del trabajo de titulación está compuesto por los siguientes ítems, en los cuales se detalla una breve reseña de lo que contiene cada uno:

Problema: Detalla la descripción del problema de cómo lograr mitigar eventos no fortuitos como son las fallas eléctricas.

Beneficiarios: Muestra los beneficiarios directos e indirectos del trabajo de titulación.

Objetivos: Detalla los objetivos y el alcance que tiene el trabajo de titulación.

Revisión de la literatura y fundamentación teórica: Muestra información relevante de trabajos de otros autores, así como también los significados teóricos de algunos elementos, equipos, y software que son aplicados en el trabajo de titulación.

Marco Teórico: Muestra el desarrollo del trabajo de titulación.

Resultados: Recalca los resultados obtenidos mediante el desarrollo del trabajo de titulación.

Cronograma: Muestra de forma concisa las actividades que se realizaron en el transcurso del trabajo de titulación.

Presupuesto: Detalla un breve presupuesto que tomó realizar el trabajo de titulación.

Conclusiones: Se muestran las conclusiones del trabajo de titulación.

Recomendaciones: Se dan a conocer las recomendaciones que emiten los autores del trabajo de titulación.

Referencias Bibliográficas: Muestra las referencias bibliográficas de diversos autores que han desarrollado artículos de alto nivel, así como estudiantes que optan para la titulación de grado y posgrado, así como también diversas páginas web autorizadas y con registro de marca autorizada.

Anexos: Se detallan diversos anexos como son; fotografías, fichas técnicas, textos de normativas y entre otros.

I. PROBLEMA

1.1. Descripción del problema.

Un análisis de cortocircuito insuficiente, junto con la falta de información precisa y detallada, puede tener problemas profundos en la confiabilidad, viabilidad y estabilidad de los SEP. Esta deficiencia hace que los sistemas sean más vulnerables a nuevas fallas, aumentando la probabilidad de que estas se repitan con frecuencia, esta situación se agrava al desencadenar consecuencias graves como cortes de energía extensos y daños a equipos críticos, que son vitales para el funcionamiento continuo de la red eléctrica. Este problema suele originarse en la falta de datos exactos necesarios para calibrar adecuadamente los relés y dispositivos de protección.

Para detectar y mitigar estos eventos de manera correcta, es esencial un ajuste preciso y correcto de los dispositivos de protección en la red eléctrica, si este ajuste no se realiza

de manera adecuada, los relés pueden fallar en su operación selectiva, lo que puede llevar a respuestas no deseadas o tardías ante eventos transitorios como cortocircuitos. Esto significa que los relés podrían no activarse cuando sea necesario o, por el contrario, podrían activarse de manera innecesaria, interrumpiendo partes de la red que no deberían verse afectadas, con esta activación incorrecta no solo genera perturbaciones innecesarias, sino que también compromete la integridad del SEP, dificultando la identificación y resolución de fallas reales.

La falta de un análisis de cortocircuitos preciso no solo pone en riesgo la eficiencia operativa de la red, sino que también expone a los SEP a un ciclo vicioso de fallas recurrentes y daños colaterales a los equipos primarios (EP) de una subestación eléctrica (SE), resaltando la necesidad inminente de perfeccionar los métodos de análisis y calibración de los dispositivos de protección y más que todo los relés [2].

1.2. Antecedentes.

El suministro de energía eléctrica ha sido históricamente una prioridad fundamental para el desarrollo integral de cualquier país, la continuidad en el suministro eléctrico es crucial para el funcionamiento adecuado de sectores esenciales como la salud, la industria, la tecnología, la informática y entre otros. Con el incremento de la demanda industrial y el incremento de la actividad económica, la demanda de energía eléctrica ha experimentado un aumento significativo, haciendo indispensable garantizar su satisfacción para un correcto progreso.

Con esta índole es necesario la creación y uso de archivos COMTRADE, dado que han surgido como una innovación clave, estos archivos proporcionan datos precisos de corriente y voltaje durante eventos transitorios reales, permitiendo un análisis detallado y preciso del comportamiento de la red eléctrica. La reproducción de estos archivos mediante herramientas avanzadas como la caja de pruebas OMICRON CMC 356 [3] mostrado en la figura 1, esta caja permite la realización de pruebas exhaustivas en entornos controlados, sin necesidad de interrumpir el funcionamiento normal del SEP. Esta capacidad de simular condiciones reales facilita la identificación temprana de posibles problemas y la implementación de soluciones proactivas, mejorando así la confiabilidad y eficiencia del sistema de transmisión eléctrica.



Figura 1. OMICRON CMC 356.

Fuente: [3].

Un aspecto crucial de la investigación en este campo ha sido el estudio exhaustivo de los archivos COMTRADE que contienen datos de corrientes de falla, y con estos datos se han investigado la respuesta que brindan los relés SEL-751 [4], mostrados en la figura 2, dado que facilitan el despeje de estas fallas en sistemas de transmisión eléctrica. Este enfoque no solo permite una comprensión más profunda de cómo estos dispositivos de protección responden en situaciones críticas, sino que también ayuda a optimizar su desempeño para mejorar la estabilidad y seguridad del suministro eléctrico.



Figura 2. Relé de protección de alimentador SEL-751.

Fuente: [4].

La investigación en el uso de archivos COMTRADE para mejorar la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos está alineada con los avances en la ingeniería eléctrica. Este campo promueve el progreso continuo en la ejecución y el mantenimiento de los SEP, asegurando que las redes de energía sean más resilientes y capaces de satisfacer las crecientes demandas de una sociedad en constante evolución [2].

1.3. Importancia y alcances:

1.3.1. Importancia.

Esta investigación se enfoca en un análisis detallado de archivos COMTRADE y en la respuesta del relé SEL-751 [4] al despejar fallas, específicamente en sistemas de transmisión eléctrica. La importancia de este estudio radica en su capacidad para mejorar la fiabilidad y la seguridad de la infraestructura eléctrica, ya que permite entender y optimizar el comportamiento de los relés de protección ante situaciones críticas como cortocircuitos y sobretensiones. Para realizar con éxito esta investigación, se emplea la caja de pruebas OMICRON CMC 356 [3], que permitirá simular y reproducir los datos generados por el software DIgSILENT PowerFactory en un entorno controlado. Este enfoque garantiza que las pruebas sean precisas y replicables, lo que es crucial para validar las capacidades del relé SEL-751 en la detección y manejo de fallas.

1.3.2. Alcances.

El alcance del proyecto se enfoca únicamente en la aplicación de los archivos COMTRADE los cuales se obtienen de las simulaciones realizadas con el software Power Factory DIgSILENT con el fin de realizar la evaluación de las respuestas del relé SEL-751 [4] ante diferentes escenarios de fallas para verificar la mejora en la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuito en los sistemas eléctricos de potencia.

1.4. Delimitación:

1.4.1. Geográfica (espacial).

En la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Sede Guayaquil (GYE), Campus Centenario [5], en el cual se llevó a cabo el

proceso de trabajo de titulación, utilizando la maleta de inyección OMICRON CMC-356, para la aplicación de archivos COMTRADE en la mejora de la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos en SEP.

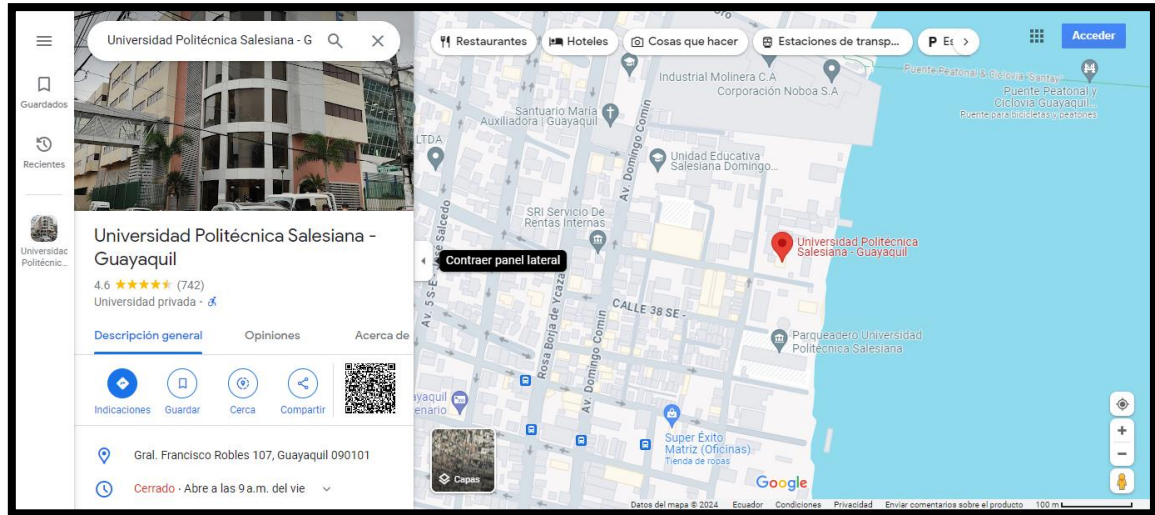


Figura 3. UPS, Sede GYE, Campus Centenario.

Fuente: [5].

1.4.2. Temporal.

El trabajo de titulación se desarrollará en el período percibido entre abril y septiembre de 2024, tal como se detalla en la Tabla 1. Durante estos seis meses, se llevará a cabo la implementación de archivos COMTRADE para mejorar la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos en SEP, utilizando la maleta de inyección OMICRON CMC-356 en la UPS, Sede GYE, Campus Centenario.

Tabla 1. Delimitación temporal del proyecto técnico del trabajo de titulación.

Fuente: Los Autores.

Materia	Periodo
Trabajo de Titulación 2	Periodo 64. Va desde Abril 2024 a Septiembre 2024

1.4.3. Institucionalmente.

El proyecto contempla una delimitación institucional, la cual se enmarca en la formación académica impartida en la UPS, Sede GYE, Campus Centenario. Durante el desarrollo

del programa de estudios, se han cursado asignaturas relevantes como Circuitos Eléctricos, Alta Tensión, Automatización en Sistemas Eléctricos Industriales, Fundamentos del Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Protecciones Eléctricas, Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia y Análisis de Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia. Además, se han recibido capacitaciones especializadas a través de cursos ofrecidos por OMICRON [6], lo que proporciona una base sólida para la aplicación de archivos COMTRADE en la mejora de la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos en sistemas de potencia.

II. BENEFICIARIOS

El desarrollo de este trabajo de titulación beneficiará principalmente a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Campus Centenario, dado que es un proyecto basado en practicas con eventos reales, con el fin de brindar una solución óptima en la aplicación de archivos COMTRADE para mejorar la precisión y eficiencia en la actuación del relé SEL-751. Además, tiene un impacto significativo en diversos actores del sector eléctrico, cada uno beneficiándose de manera particular. Podrían utilizar los resultados del estudio para crear directrices y regulaciones más efectivas, optimizando la protección de los sistemas de transmisión de energía en Ecuador, como por ejemplo ARCONEL [7]. Los datos precisos obtenidos mediante la metodología aplicada en este proyecto proporcionarán una base sólida para el desarrollo de políticas que aumenten la seguridad y la eficiencia del sistema eléctrico nacional.



Figura 4. Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

Fuente: [7].

III. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

2.1. Objetivo general.

Simular eventos de cortocircuitos en un sistema eléctrico de potencia mediante el uso de archivos COMTRADE para una evaluación del comportamiento del sistema y la efectividad de los dispositivos de protección.

2.2. Objetivos específicos:

1. Generar datos de oscilo-grafías y eventos de cortocircuitos con el software de simulación especializado para reproducirlos en la caja OMICRON.
2. Cargar archivos de transitorios a la caja OMICRON para la inyección de señales analógicas en el relé SEL-751.
3. Evaluar la capacidad de respuesta del relé de protección SEL-751 durante eventos de cortocircuito para detección de fallas en el sistema de potencia mediante la inyección de corrientes, voltajes y la posterior verificación de los datos haciendo uso de archivos COMTRADE.

IV. MARCO TEÓRICO

3.1. Revisión de la literatura.

A inicios del 2020 los autores Oñate et al [8], realizaron un estudio cuyo propósito fue llevar a cabo pruebas eléctricas con el fin de inyectar corriente en los dispositivos de protección integrados en los módulos de sistemas de generación, transmisión y distribución del laboratorio de protecciones, utilizando la maleta de OMICRON CMC 356 y en conjunto el software de Test Universe 4.10 mostrado en la figura 5, aquel proyecto tuvo como objetivo proporcionar prácticas que evalúen las funciones de los relés SEL; 751, 421, 387, y 700G, beneficiando así a los estudiantes. Asimismo, se desarrollaron prácticas didácticas para docentes y alumnos con el fin de familiarizarlos con las herramientas y programas comúnmente utilizados en el ámbito profesional, permitiéndoles aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos en el aula y prepararse para el entorno laboral.

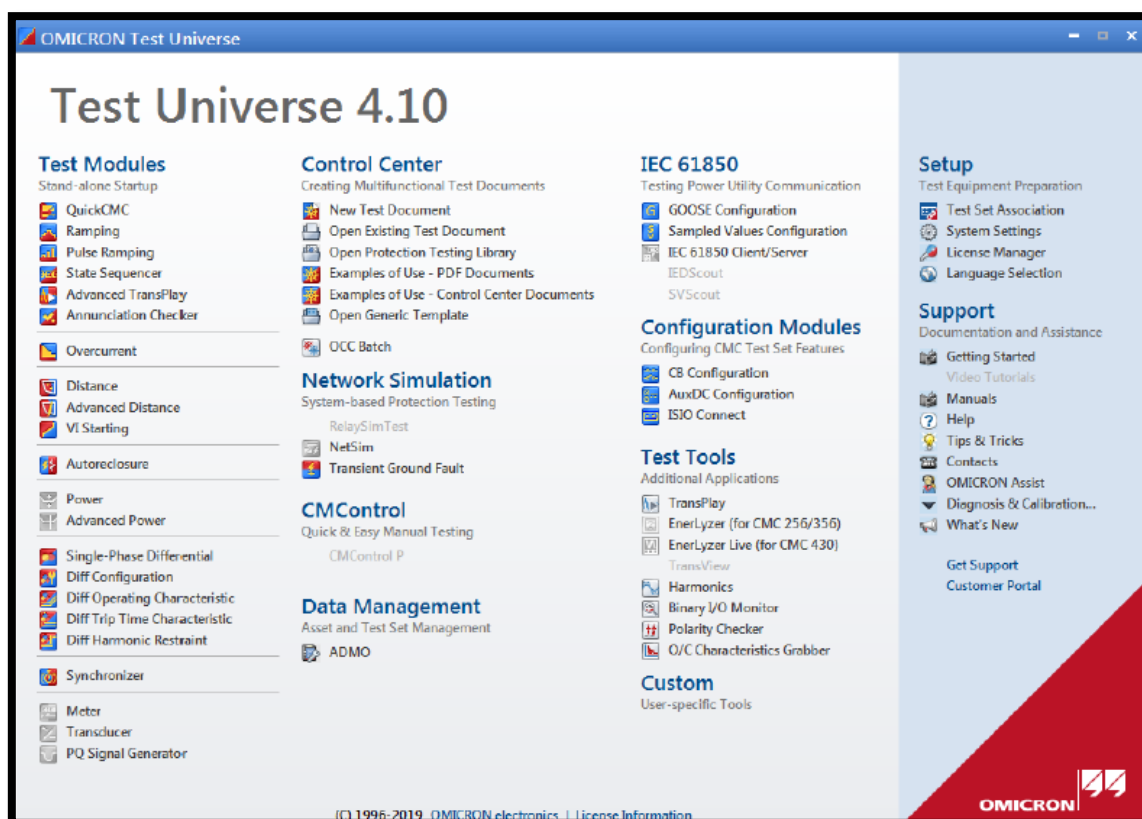


Figura 5. Software Test Universe 4.10.

Fuente: [8].

En febrero del 2021 el autor Guapucal [9], realizó un trabajo cuyo objetivo principal fue diseñar un módulo didáctico de coordinación de protecciones eléctricas en un SEP para un nuevo laboratorio, aquel diseño incluye los conceptos fundamentales de protecciones eléctricas en el SEP y el uso futuro de relés de protección disponibles en el laboratorio, empleando el dispositivo de pruebas OMICRON CMC 356, el RTAC 3055, equipos de medición fasorial y el software correspondiente para estos dispositivos, que en este caso el que más se empleó fue el DIGSI 5 cuya pantalla de bienvenida se muestra en la figura 6. La propuesta de diseño de Guapucal toma en cuenta factores como el espacio disponible y la interoperabilidad del operador en el nuevo laboratorio. Además, se desarrollará un manual de procedimientos para las prácticas necesarias, que apoyará tanto el aprendizaje teórico como práctico de los estudiantes, impulsando la investigación científica de fenómenos eléctricos en los SEP asociados con protecciones eléctricas.

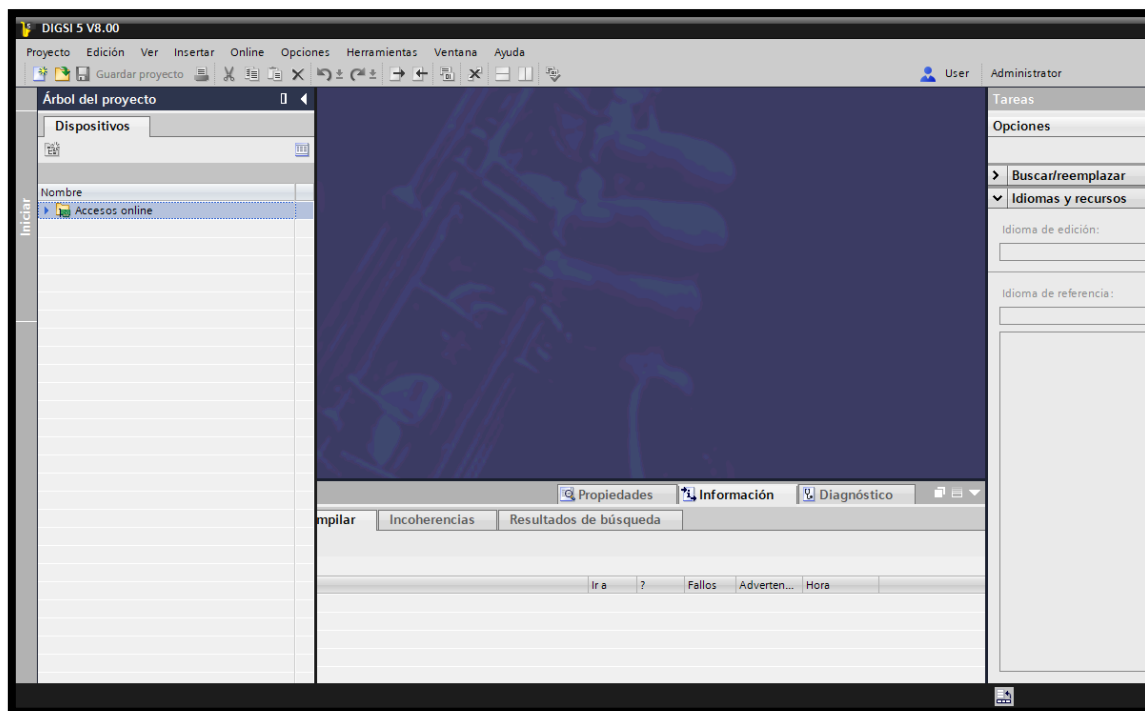


Figura 6. Pantalla inicial del software DIGSI 5.

Fuente: [9].

A mediados de agosto del 2021, los autores Morales et al [10], realizaron un proyecto técnico cuyo objetivo fue implementar pruebas de fallas en sistemas de generación utilizando el CMC 356 OMICRON y el SEL-751, bajo la normativa IEC 61850 GOOSE, aquel proyecto permitió desarrollar prácticas de laboratorio en el módulo de generación de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UPS, sede GYE, Campus Centenario, mediante el uso del equipo CMC 356 OMICRON, se llevaron a cabo prácticas que validaron los parámetros necesarios para una comunicación efectiva entre los relés de protección y se exploraron la funcionalidad de la normativa IEC 61850 y sus protocolos GOOSE, empleando los softwares Test Universe y AcSELeRator®, éste ultimo ilustrado en la figura 7, además, se elaboró una guía de prácticas destinada a los docentes y estudiantes de la UPS.

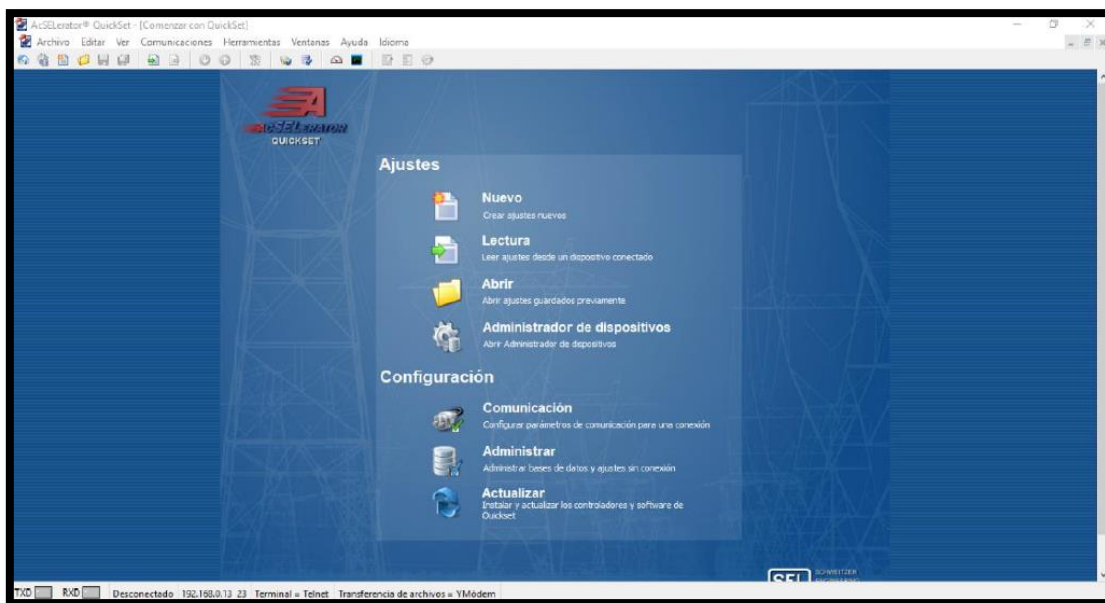


Figura 7. Pantalla inicial del software AcSELerator®.

Fuente: [10].

Durante ese mismo año del 2021, en el mes de septiembre, los autores Alarcón et al [11], llevaron a cabo un proyecto en el cual se implementó una protección de sobre corriente utilizando el relé SEL-551 y el equipo de pruebas OMICRON CMC 356 para una red de media tensión, para ese proyecto aplicaron el "Módulo de protecciones de sobreintensidad para alimentadores de media tensión" de la UPS, sede GYE, Campus Centenario. El desarrollo de diversas prácticas benefició tanto a estudiantes como a profesionales de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UPS, proporcionándoles información crucial para la coordinación de protección mediante el uso del relé SEL-551 mostrado en la figura 8.



Figura 8. Relé SEL-551 de la UPS, GYE, Campus Centenario.

Fuente: [11].

En octubre del 2021, los autores Limones et al [12], desarrollaron un proyecto con el objetivo de crear una guía práctica sobre los principios de operación del equipo OMICRON CMC 356 y el relé SEL-751, garantizando su correcto funcionamiento. El documento incluye una explicación detallada de los ajustes necesarios para el equipo de inyección y el relé, utilizando software como Test Universe y AcSELeRator QuickSET. También se añadieron una serie de prácticas específicas que pueden realizarse tanto en el laboratorio de protecciones como en el entorno laboral, facilitando la comprensión y aplicación de estos conocimientos en contextos académicos y profesionales. Una de esa práctica es la configuración de la protección 27 cuyo esquemático con su lógica se detalla en la figura 9, con esta lógica lograron realizar una práctica para identificar en que valores de bajo voltaje dispara el relé SEL-751.

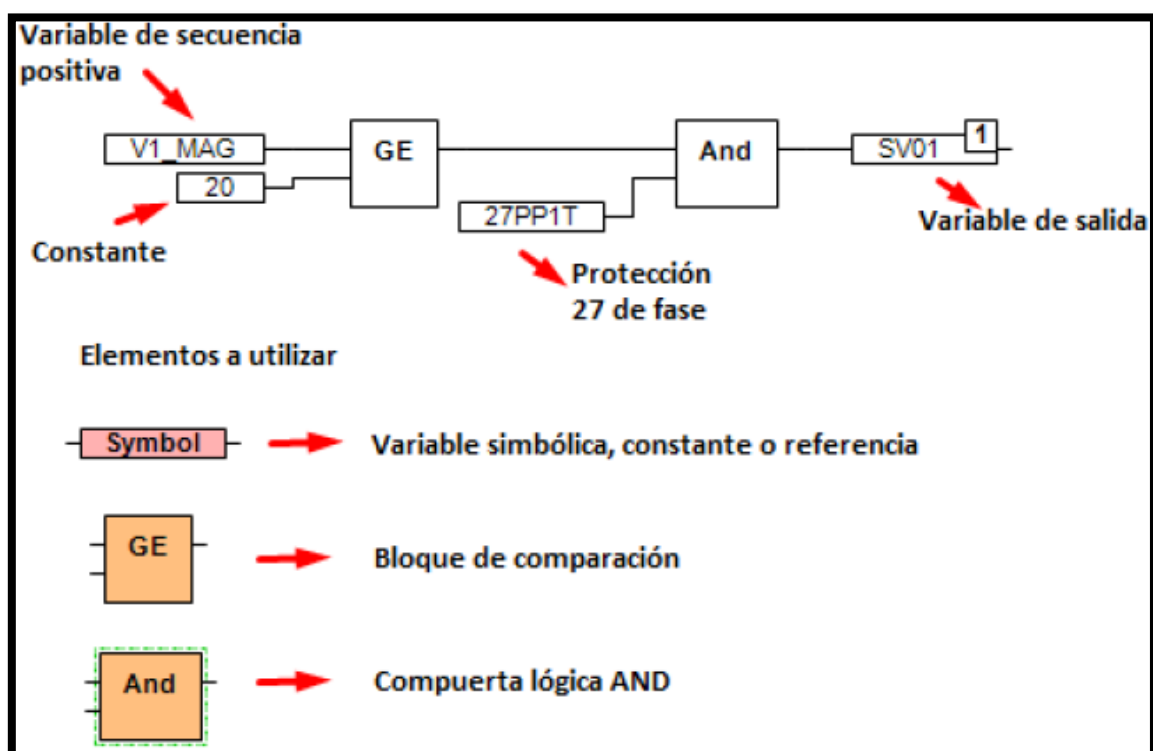


Figura 9. Lógica de disparo para la función 27 del relé SEL-751.

Fuente: [12].

En ese mismo mes de octubre del 2021, los autores Parrales et al [13], realizaron un proyecto técnico enfocado en la implementación de prácticas para la protección diferencial de transformadores, para ello emplearon el relé SEL 387-E cuyo diagrama se

presenta en la figura 10, además emplearon el equipo de inyección de corriente OMICRON CMC 356. Las pruebas de estas configuraciones se realizaron utilizando el equipo de inyección de corriente, proporcionando así una visión exhaustiva y práctica de los procesos involucrados en la protección diferencial de transformadores.

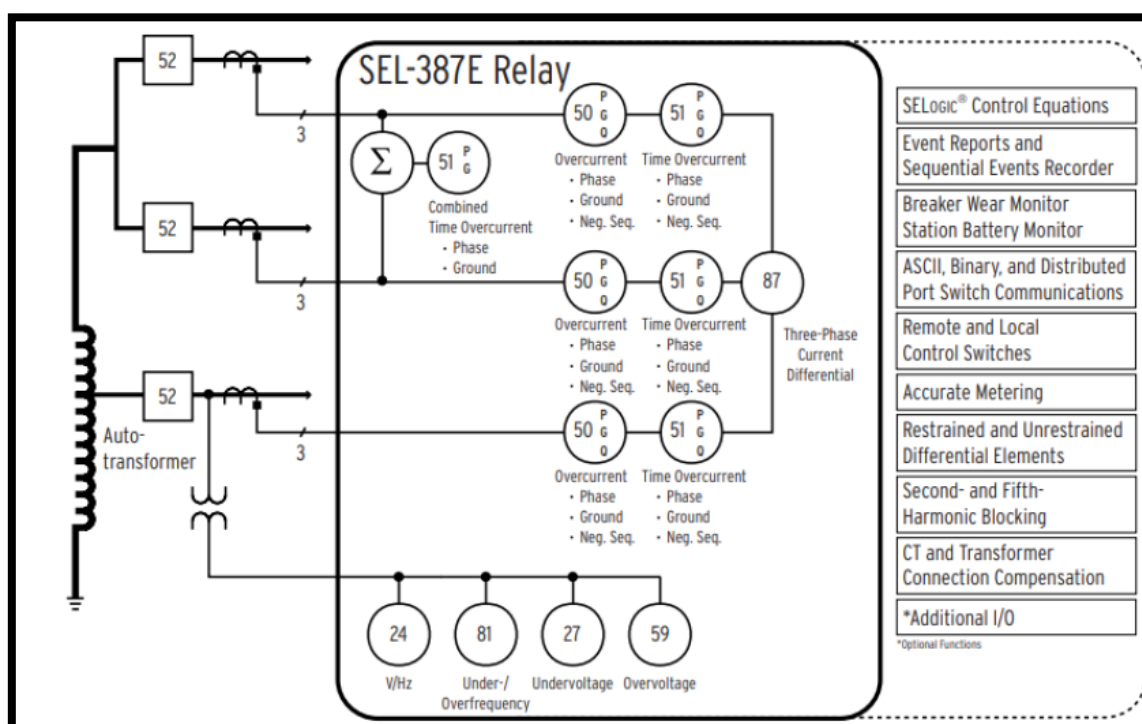


Figura 10. Diagrama del relé SEL-387E.

Fuente: [13].

A inicios del 2023, los autores Silva et al [14], llevaron a cabo un proyecto de desarrollo centrado en la aplicación de procedimientos para la protección y monitoreo de transformadores de potencia. El objetivo fue integrar dos áreas fundamentales de la ingeniería, como las protecciones eléctricas y las comunicaciones, utilizando la normativa IEC 61850. Para ello, los parámetros del transformador de potencia se ingresaron en el equipo de prueba universal OMICRON CMC 356, lo que permitió simular el comportamiento del transformador y asegurar una comprensión profunda de su protección y monitoreo, siguiendo las cuatro etapas del proceso metodológico presentadas en la figura 11.

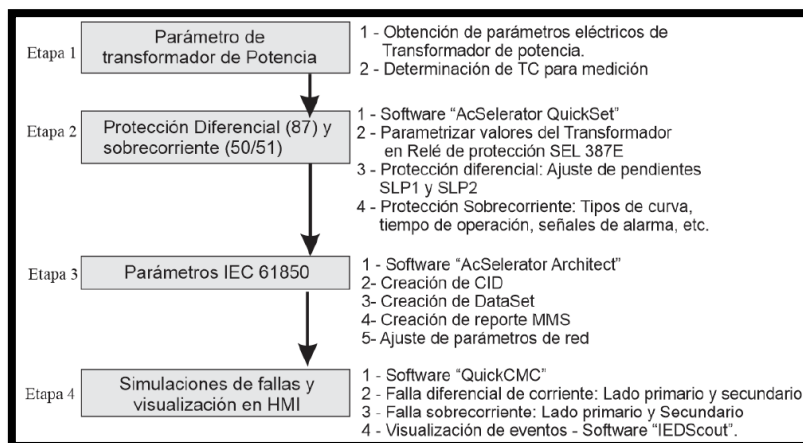


Figura 11. Diagrama de flujo con sus 4 etapas de la metodología propuesta de la IEC 61850.

Fuente: [14].

En marzo del 2023, los autores Navas et al [15], presentaron su proyecto de grado, el cual enfatizaron la importancia de una adecuada configuración de las protecciones en las subestaciones de distribución para que puedan actuar de manera inmediata ante cualquier falla, ese proyecto propone actualizar las protecciones de la subestación Durán Sur ubicada en el cantón de Guayas – Ecuador, iniciando con un modelado de la subestación en el programa DIgSILENT PowerFactory cuya representación se detalla en la figura 12, aquel modelado permitió comparar los valores obtenidos con los reflejados en el sistema actual de CNEL EP para dicha subestación, identificando así las áreas donde se pueden sugerir actualizaciones.

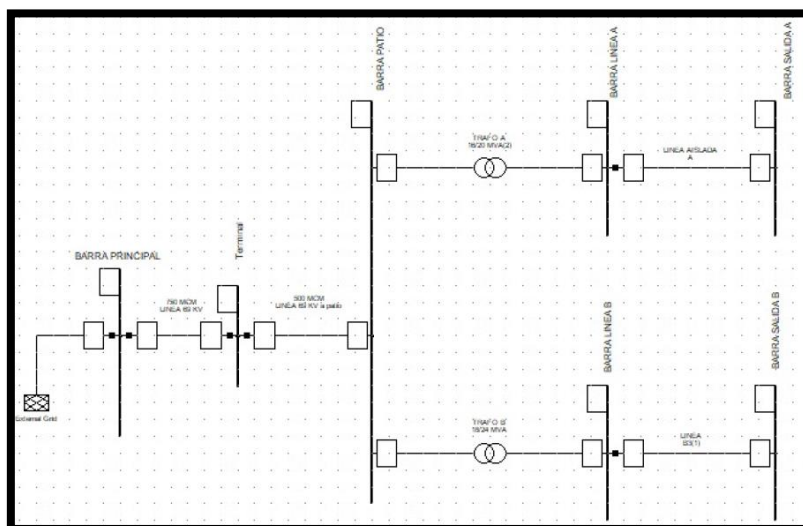


Figura 12. Diagrama unifilar de la subestación Durán Sur en DIgSILENT PowerFactory.

Fuente: [15].

En ese mismo mes de marzo del 2023, las investigadoras Encalada et al [16], presentaron su proyecto de grado, el cual abarcaron un estudio donde abordaron la vulnerabilidad del SEP de distribución ante fallas eléctricas y subrayaron la importancia de la coordinación de protección para que dichas fallas puedan ser despejadas eficazmente mediante diversas configuraciones como pueden ser; Relé-Relé, Fusible-Fusible y Relé-Fusible, emplearon el uso del software de ETAP para determinar las curvas del estudio de la coordinación de protecciones tal como se presenta en el ejemplo de la figura 13, y así poder identificar de manera eficaz los tiempos de actuación de los relés y con ello permitiendo una evaluación detallada y precisa de las respuestas de dichas protecciones.

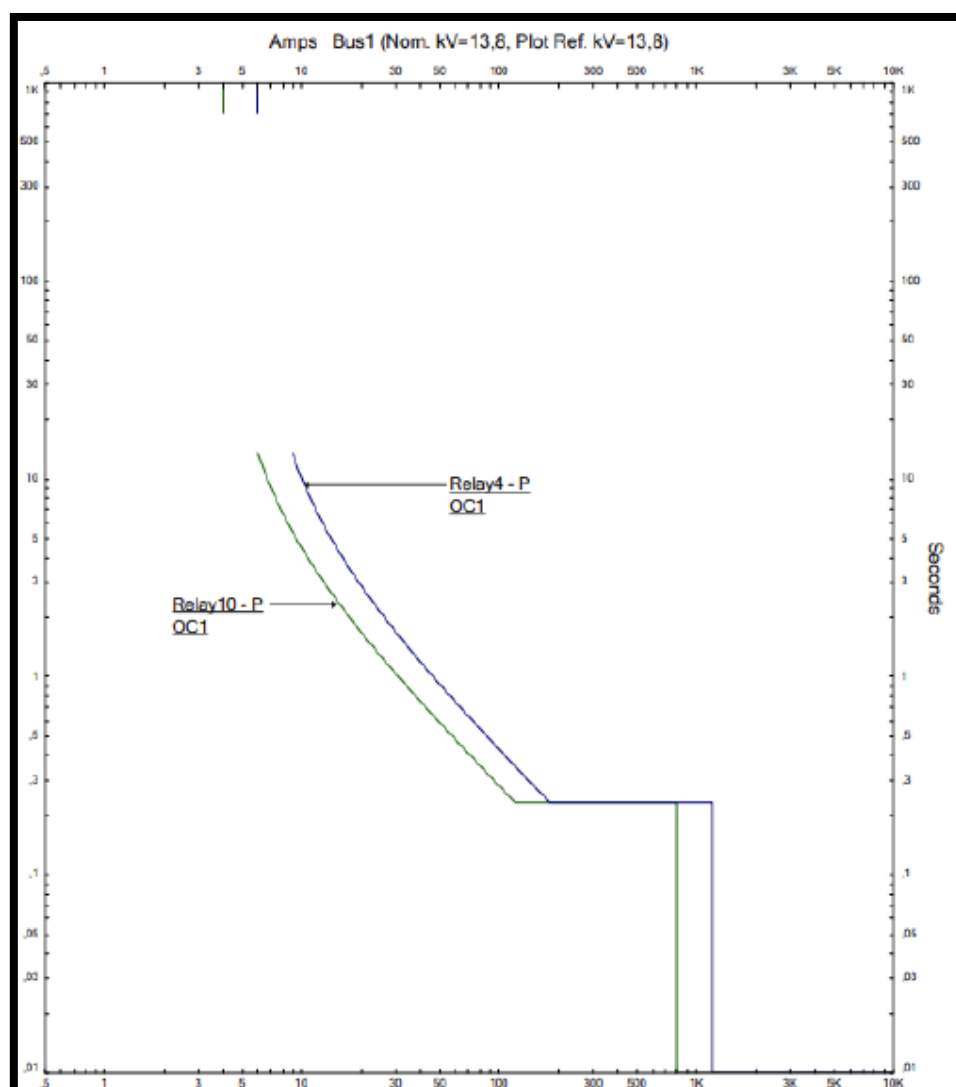


Figura 13. Curvas del estudio de la coordinación de protecciones de la configuración Relé-Relé sin coordinar en fase.

Fuente: [16].

A inicios del 2024, los autores Ayello et al [17], realizaron un artículo denominado "Uso de valores muestreados en protección diferencial de línea: análisis de la viabilidad del esquema y el rendimiento de la protección en escenarios de tensión de comunicación" en la emblemática revista de ScienceDirect®, aquel artículo se enfocó en la protección diferencial de línea, conocida por su alta selectividad para aislar equipos durante fallas, no obstante, esta técnica enfrenta limitaciones debido a factores como la longitud de la línea de transmisión, el retraso en la red de comunicación, el uso de protocolos y la vulnerabilidad a fallas en las líneas de transmisión, la norma IEC 61850 facilita la implementación de subestaciones digitales, mejorando la confiabilidad y eficiencia del SEP, con este contexto, propusieron un nuevo esquema de protección diferencial para líneas de transmisión basado en mensajes SV según la norma IEC 61850, y para esto evaluaron la viabilidad de esta protección en dos líneas de transmisión de 500 kV del sistema interconectado brasileño utilizando el software Aspen Oneliner el cual se detalla en la figura 14.

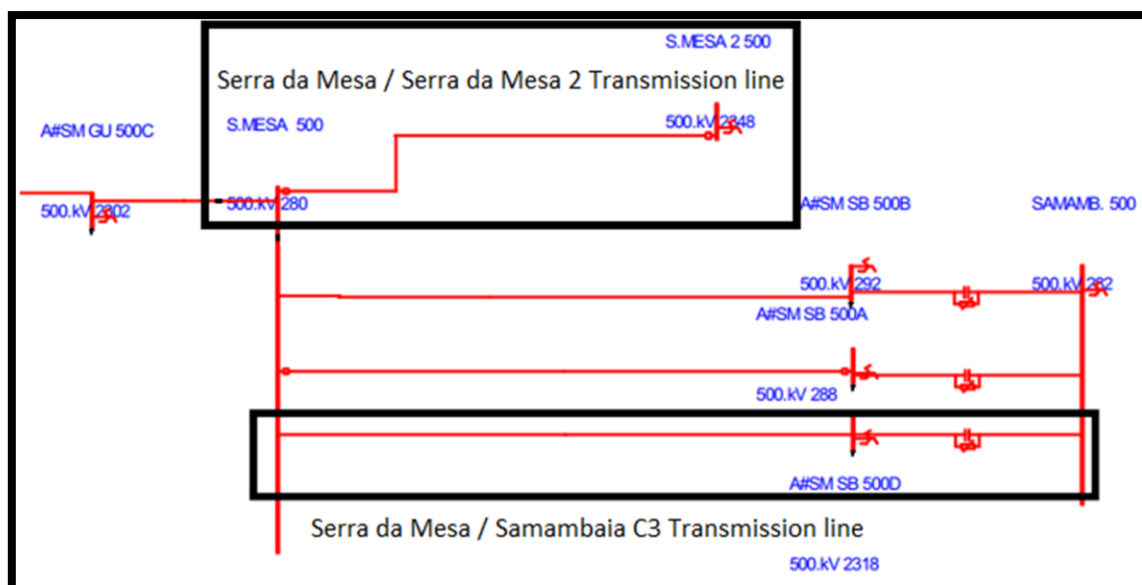


Figura 14. Captura resaltando ambas líneas de transmisión en el software Aspen Oneliner.

Fuente: [17].

Otra indicación que dan Ayello y sus colaboradores es el desempeño de la comunicación que fue evaluado en un banco de pruebas que incluyó dos relés de protección SEL 421–

7, un equipo de pruebas OMICRON CMC 356, un distribuidor de señal PTP SEL-2488, una antena SEL-9524/GNSS, conmutadores para formar bucles de comunicación, y hardware para emular la longitud del canal de comunicación de la línea de transmisión, generar tráfico concurrente y simular escenarios de pérdida de paquetes para los mensajes SV tal como se observa en la figura 15, y los resultados obtenidos fueron prometedores, indicando la viabilidad y validando el esquema propuesto.

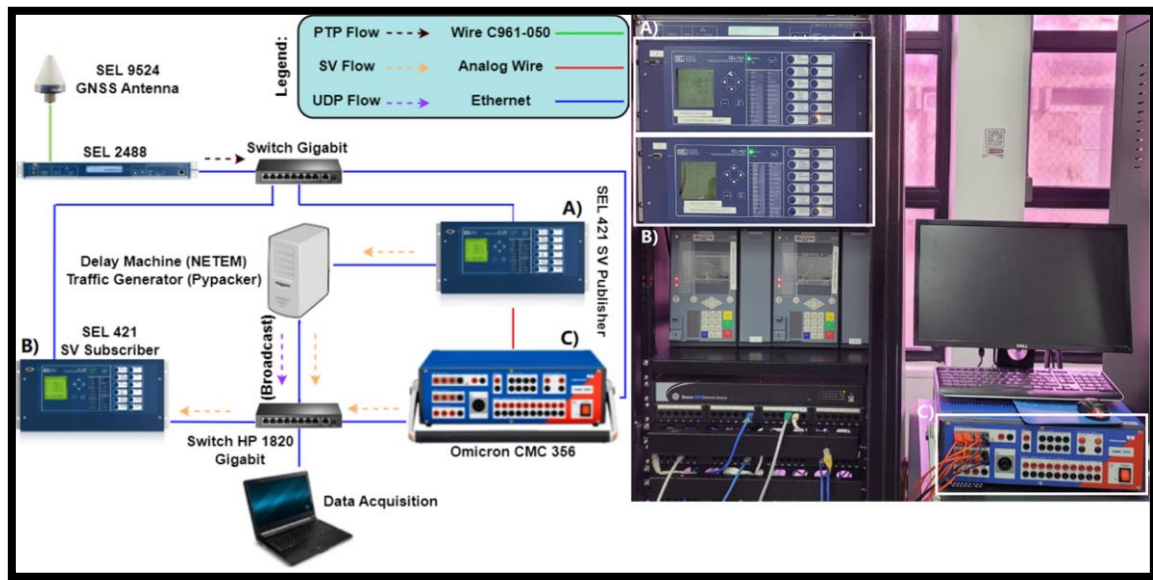


Figura 15. Dispositivos de topología del banco de pruebas.

Fuente: [17].

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1. Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica:

3.2.1.1. Descripción:

Los sistemas de transmisión de energía eléctrica son fundamentales, aquellos sistemas transportan la energía desde los lugares de generación hasta los usuarios finales. Una falla en estos sistemas puede causar interrupciones en el suministro de electricidad, afectando tanto la vida diaria de las personas como el funcionamiento de industrias que dependen de la energía eléctrica.

Conecta [18] menciona que es vital garantiza la calidad de la energía y asegura que las condiciones de operación de todas las líneas de transmisión como la que se muestra en la figura 16 deben mantener sus condiciones óptimas para que la energía llegue a los consumidores finales sin ningún inconveniente



Figura 16. Líneas de transmisión de energía eléctrica.

Fuente: [18].

3.2.1.2. Componentes:

La electricidad es esencial en la vida diaria de todos, por ende, el sistema de transmisión juega un papel crucial, ya que entrega la electricidad a un voltaje adecuado para el consumo. Reducir la tensión de 230 a 138 kV o de 138 a 69 kV evita muchos problemas y riesgos para los usuarios finales tal como lo afirma Conecta [18], y además especifica los componentes esenciales los cuales se dan a conocer en la tabla 2.

Tabla 2. Componentes básicos del sistema de transmisión de energía eléctrica.

Fuente: [18].

Tipo de componente	Significado y función
Torres de transmisión	En las líneas aéreas, los cables deben elevarse a una altura segura para evitar contacto con personas, vegetación o vehículos. Para ello, se construyen torres de alta tensión que soportan los cables, teniendo en cuenta factores como el tipo de cable, el viento en la zona y la actividad sísmica.
Aisladores	Los cables deben ser sostenidos por las torres utilizando varios aisladores, que evitan que la energía se disperse a través de la estructura. Estos soportes, hechos de cerámica,

	vidrio o polímeros, deben ser rígidos y capaces de soportar el peso de los cables.
Subestaciones	Las líneas de transmisión están conectadas a subestaciones, que son esenciales para el sistema. Estas subestaciones forman parte del sistema de protección, control, transmisión y distribución de energía de alta potencia, desde la fuente generadora hasta la unidad consumidora. Además, pueden transformar y almacenar la tensión generada, actuando como puntos de entrega para satisfacer las demandas energéticas.

3.2.1.3. Funcionamiento y Operación:

El funcionamiento del SEP es esencial y debe incluir actividades para asegurar la seguridad y continuidad del sistema, así como la adecuada coordinación entre la producción y las líneas de transmisión. Esto garantiza que la energía generada se transporte a las redes de distribución cumpliendo con los estándares de calidad exigidos por la normativa vigente. Este proceso implica la monitorización continua del flujo de electricidad para prevenir y responder rápidamente a cualquier interrupción o fallo en la red, tal como el ejemplo mostrado en la figura 17. Además, se coordina el despacho de generación para asegurarse de que las plantas de energía están produciendo de acuerdo con la demanda, evitando tanto déficits como excesos de generación que puedan comprometer la estabilidad del sistema [19].

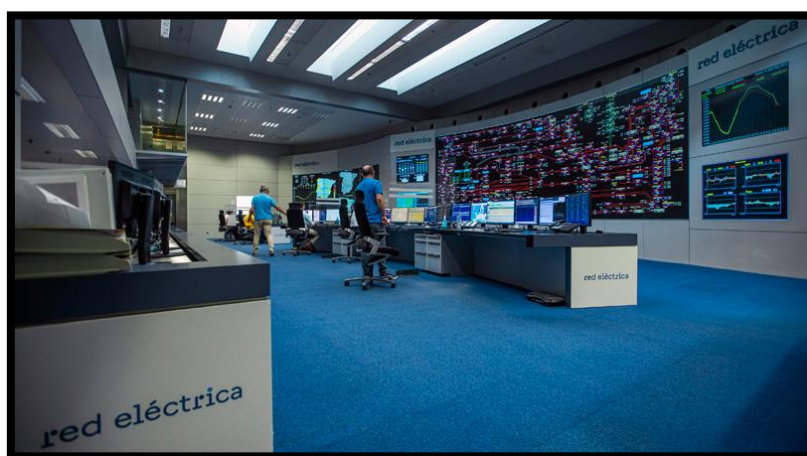


Figura 17. Monitoreo de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Fuente: [19].

3.2.1.4. Importancia en el Sistema Eléctrico:

El autor Morillo W. [20], en su blog recalca y menciona la importancia de las líneas de transmisión en nuestro sistema de energía. La transmisión de energía eléctrica es fundamental, ya que estas líneas de alta tensión y subestaciones eléctricas son las encargadas de transportar la electricidad. Al pasar del tiempo, la transmisión de energía ha evolucionado significativamente, influyendo enormemente en nuestra sociedad y en nuestra forma de utilizar la energía.

La transmisión se realiza mediante cables conductores que llevan la electricidad desde las centrales eléctricas hasta los puntos de consumo como el ejemplo ilustrado en la figura 18. Estos cables, fabricados con materiales conductores como cobre, aluminio y acero, son esenciales porque permiten el flujo eficiente de la electricidad.



Figura 18. Conductores de alta tensión transportando energía eléctrica.

Fuente: [20].

Los sistemas de transmisión de energía eléctrica constan de tres partes principales: generación, transmisión y distribución. La generación ocurre en las centrales eléctricas, que pueden ser térmicas, hidroeléctricas, solares o eólicas. La transmisión transporta la electricidad desde las centrales hasta las subestaciones, y la distribución lleva esa electricidad desde las subestaciones hasta hogares, empresas e industrias.

3.2.2. Fallas en Sistemas de Transmisión Eléctrica:

3.2.2.1. Tipos de Fallas:

Las fallas en las líneas de transmisión de energía eléctrica pueden clasificarse en dos categorías principales: fallas simétricas y fallas asimétricas. Ambas tienen diferentes

características y efectos en el SEP, y requieren diferentes métodos de análisis y mitigación tal como lo afirma la investigadora Navarrete V. [21].

Las fallas simétricas, también conocidas como fallas balanceadas, son aquellas en las que todas las fases del SEP se ven afectadas de manera similar. La más común es la falla trifásica, y sus características se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Características de las fallas simétricas.

Fuente: [21].

Característica	Definición
Falla Trifásica	Ocurre cuando las tres fases (A, B y C) están cortocircuitadas entre sí y a tierra.
Simetría	Las corrientes de falla son iguales en magnitud y están desfasadas 120 grados entre sí.
Impacto en el Sistema	Esta falla produce una condición balanceada en el sistema, y aunque es severa, es relativamente más fácil de analizar y mitigar debido a la simetría de las corrientes y tensiones.

Las fallas asimétricas, o desbalanceadas, son aquellas en las que solo una o dos fases se ven afectadas. Existen tres tipos principales: falla de fase a tierra, falla de fase a fase y falla doble fase a tierra, y sus características se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Características de las fallas asimétricas.

Fuente: [21].

Característica	Definición
Falla de Fase a Tierra	Una fase entra en contacto con el suelo.
Falla de Fase a Fase	Dos fases entran en contacto entre sí.
Falla Doble Fase a Tierra	Dos fases entran en contacto con el suelo.

3.2.2.2. Causas Comunes de Fallas:

El autor Rivera Ricardo [22], recalca las causas comunes que existen en las líneas de transmisión, destacando que muchas de las fallas en los SEP se deben al desgaste o daño de los componentes utilizados en su construcción. Las fallas en estos sistemas pueden ser vistas como eventos anormales que provocan un mal funcionamiento en el circuito. Entre las más comunes en las líneas de transmisión se encuentran las fallas de fase a tierra, donde una fase entra en contacto con el suelo; fallas de fase a fase, donde dos fases se cortocircuitan entre sí; y fallas trifásicas, donde las tres fases se ven afectadas simultáneamente. Estos incidentes pueden causar daños significativos a la instalación y a los componentes que la integran, afectando la continuidad y calidad del suministro eléctrico.

3.2.2.3. Efectos de las Fallas en la Red Eléctrica:

ENEL [23] da a conocer como los efectos de las fallas eléctricas impactan el suministro de energía, causando interrupciones que pueden generar cortocircuitos, sobrecargas, fugas de energía y entre otras. Los efectos de estas fallas pueden ser significativos, provocando no solo daños a la infraestructura eléctrica, sino también interrupciones en los procesos industriales y pérdidas económicas.

3.2.3. Estudio de Cortocircuitos:

En el blog de TECSA [24], una empresa experta en electricidad se explica que un estudio de cortocircuito es un análisis del SEP que identifica la magnitud de las corrientes que circulan durante una falla eléctrica, como se muestra en la figura 19, donde se visualiza una falla provocada por dos conductores. Comparar estos valores con las clasificaciones de los equipos es crucial para asegurar que el sistema esté bien protegido. Una vez determinadas las corrientes de cortocircuito esperadas, se realiza un estudio de coordinación de protecciones para definir las características, clasificaciones y configuraciones óptimas de los dispositivos de protección.

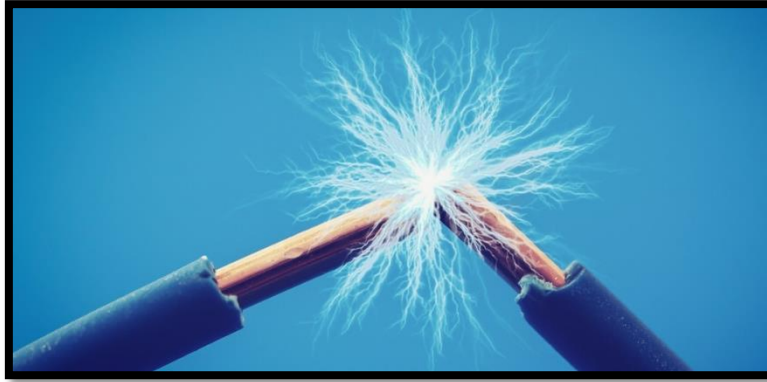


Figura 19. Cortocircuito entre dos conductores.

Fuente: [24].

3.2.3.1. Concepto y Definición:

Un estudio de cortocircuitos es un análisis técnico que se lleva a cabo en un SEP para determinar la magnitud de las corrientes que fluyen cuando ocurre una falla, como un cortocircuito el cual se muestra un ejemplo en la figura 20. Este estudio es crucial para evaluar y garantizar la seguridad y protección del SEP, ya que permite comparar las corrientes calculadas con las clasificaciones de los equipos instalados. Mediante este análisis, se identifican las condiciones de operación más severas que los dispositivos de protección deberán manejar, asegurando así que el sistema pueda soportar las fallas sin sufrir daños catastróficos [25].

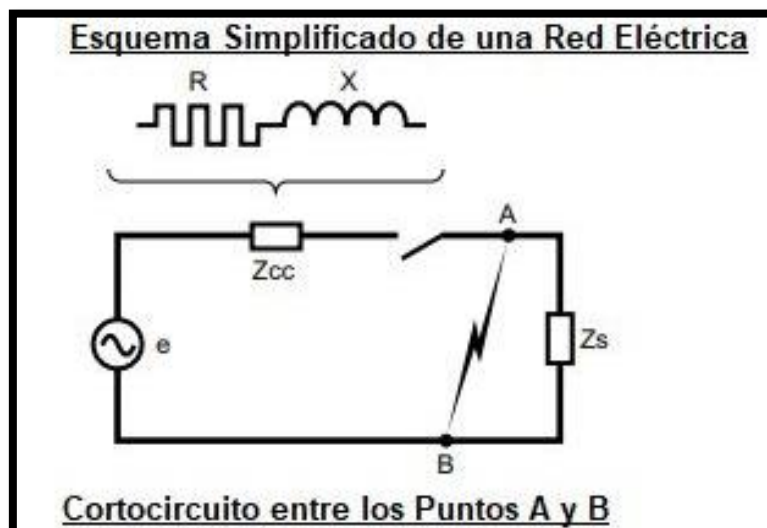


Figura 20. Cortocircuito entre dos conductores.

Fuente: [25].

Una vez establecidas las corrientes de cortocircuito, se procede a realizar un estudio de coordinación de protecciones como el ejemplo mostrado en la figura 21, con el fin de optimizar las características, clasificaciones y configuraciones de los dispositivos de protección, garantizando una operación eficiente y segura del SEP.



Figura 21. Esquema para una coordinación de protecciones.

Fuente: [24].

3.2.3.2. Métodos de Análisis de Cortocircuitos:

Los métodos de análisis de cortocircuitos se centran en calcular las corrientes de falla y determinar cómo cada componente del sistema contribuye a estas corrientes. Es esencial realizar estos cálculos para cada nivel de tensión del sistema, ya que las corrientes pueden provocar daños térmicos o mecánicos significativos. Por lo tanto, la detección y desconexión rápida de la falla a través de la apertura de los interruptores correspondientes es crucial para proteger el equipo eléctrico [26].

Desde un punto de vista eléctrico, un cortocircuito se define como la conexión inadvertida o intencionada de dos o más puntos de un circuito, generalmente a través de una resistencia o impedancia baja, mientras el circuito opera a diferentes voltajes nominales. Este evento causa aumentos abruptos en las corrientes circulantes, lo cual puede resultar en daños graves al equipamiento. Para asegurar que los dispositivos de interrupción de cortocircuitos cumplen con los estándares ANSI e IEC, es fundamental que ingenieros profesionales realicen un análisis exhaustivo de cada componente del sistema de distribución eléctrica. Esto incluye verificar los valores nominales de disyuntores y fusibles para garantizar que sean adecuados para la protección contra cortocircuitos según

las condiciones específicas de operación del sistema, y hay que tener en cuenta como se clasifica la corriente de falla o de cortocircuito cuyas clasificaciones se detallan en la figura 22 [27], conociendo que los picos de las primeras ondas son la corriente momentánea o también conocida como corriente Inrush [1], y las otras ondas dan énfasis a los periodos; sub transitorio, transitorio y estacionario.

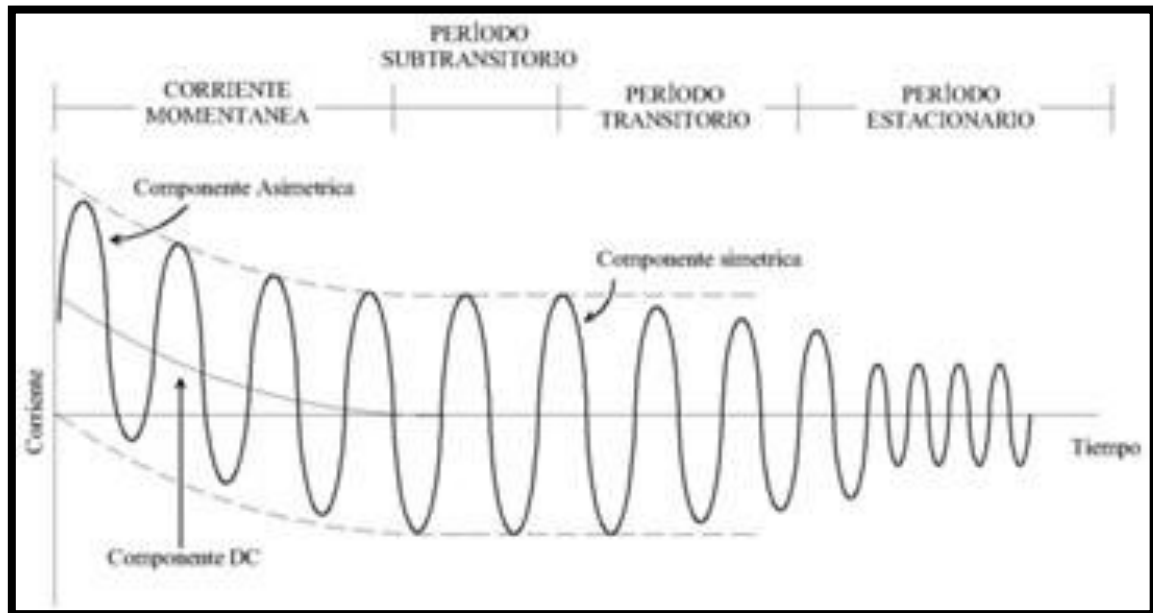


Figura 22. Ondas de la corriente de falla o de cortocircuito.

Fuente: [27].

3.2.3.3. Herramientas y Equipos Utilizados en el Estudio:

El estudio de cortocircuitos requiere el uso de diversas herramientas y equipos especializados para llevar a cabo análisis precisos y garantizar la protección efectiva del SEP. Algunos de los principales son:

- ✓ **Software de Simulación Eléctrica:** Herramientas como ETAP, PSS/E, DigSILENT PowerFactory y SKM PowerTools son utilizadas para modelar el SEP, calcular las corrientes de cortocircuito y simular diferentes escenarios de falla.

- ✓ **Analizadores de Red:** Dispositivos para medir y registrar parámetros eléctricos como corriente, voltaje, potencia y factor de potencia en diferentes puntos del sistema.
- ✓ **Medidores de Aislamiento:** Equipos para medir la resistencia de aislamiento de cables y equipos eléctricos, asegurando que cumplan con los estándares de seguridad eléctrica.
- ✓ **Equipos de Medición de Corriente y Voltaje:** Incluyen pinzas amperimétricas, multímetros digitales y analizadores de calidad de energía para realizar mediciones precisas durante el análisis de cortocircuitos.
- ✓ **Relés de Protección:** Dispositivos electrónicos que detectan anomalías eléctricas como cortocircuitos y activan los interruptores automáticos para aislar la falla y proteger el sistema.

3.2.4. Archivos COMTRADE:

3.2.4.1. Introducción y Definición:

De acuerdo con lo que menciona Schneider Electric [28] son una herramienta esencial en la gestión y análisis de datos sobre transitorios eléctricos. Este formato estandarizado facilita considerablemente la recuperación, el análisis y el intercambio de datos relativos a perturbaciones en los SEP. Los archivos COMTRADE permiten a los ingenieros y técnicos acceder a información crítica sobre eventos transitorios, tales como fallos de corta duración o interrupciones de corriente, de manera rápida y precisa, entre ellas fallas simétricas y/o asimétricas. Uno de los marcos normativos más relevantes que rigen el uso y manejo de estos archivos es la norma IEC 60255-24 [29], la cual establece las pautas para el formato y la estructura de los datos registrados. Además de la IEC 60255-24, la norma IEC 61850 [30] también desempeña un papel crucial, ya que regula la comunicación dentro de las subestaciones eléctricas y permite la interoperabilidad entre diversos dispositivos y sistemas. La capacidad de la IEC 61850 para interactuar con los archivos COMTRADE es especialmente significativa, ya que esta norma facilita la integración y el intercambio de información entre equipos de diferentes fabricantes, mejorando así la eficiencia y precisión del análisis de cortocircuitos y otros eventos transitorios en los SEP. Por este motivo, el uso de archivos COMTRADE, respaldado por las normas IEC 60255-24 e IEC 61850, representa un avance significativo en la capacidad

de los SEP para gestionar y mitigar los efectos de las perturbaciones, contribuyendo a la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

3.2.4.2. Formato y Estructura de los Archivos:

En los manuales de usuario que realiza Schneider Electric [31], se detalla exhaustivamente cómo son los formatos que manejan los archivos COMTRADE, cuyas extensiones se especifican en la tabla 5. Estos manuales proporcionan una guía clara y precisa sobre cómo utilizar y gestionar estos archivos, asegurando que los usuarios puedan maximizar su utilidad. Las extensiones típicas de los archivos COMTRADE incluyen .CFG para la configuración, .DAT para los datos de muestras, .INF para la información y .HDR para la cabecera, cada una cumpliendo una función específica en la estructuración y organización de los datos de transitorios. Esta estandarización no solo facilita la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos, sino que también simplifica el proceso de análisis de fallos, permitiendo una respuesta más rápida y eficaz ante perturbaciones en el SEP.

Tabla 5. Extensiones de los archivos COMTRADE.

Fuente: [31].

Extensión del nombre de archivo	Definición
.CFG	Configuración de datos de evento
.DAT	Registros de datos de eventos por archivo .cfg <ul style="list-style-type: none"> ➤ Muestras de datos de eventos. ➤ Muestras digitales con marca horaria. ➤ Número de entradas (depende de la velocidad de muestreo y la duración de la muestra).
.INF	Configura la información del archivo.
.HDR	Almacena la cabecera del archivo.

De igual forma la autora Correa María [32] describe que los registros COMTRADE están compuestos por cuatro archivos asociados, cada uno conteniendo información de diferente tipo, diferenciados por sus extensiones.

3.2.4.3. Aplicaciones en el Análisis de Sistemas de Potencia:

Hay aplicaciones que permiten realizar el análisis en los SEP, tal como se menciona en SERCONEL [33]. Es esencial modelar y simular las líneas de transmisión utilizando software especializado en ingeniería eléctrica, ya que esto es fundamental para la

configuración, parametrización y pruebas de las protecciones eléctricas. Los "ARCHIVOS COMTRADE" se generan a partir de estos análisis y modelaciones del sistema, y posteriormente se utilizan para realizar pruebas que aseguran el correcto funcionamiento de los esquemas de protección.

En OMICRON existe una aplicación denominada TransPlay [34] diseñada específicamente para cargar y reproducir archivos de transitorios que contienen formas de onda analógicas de corriente y tensión, tal como se muestra el ejemplo de la figura 23. Esta herramienta es especialmente útil para ingenieros y técnicos que trabajan en la protección y análisis de SEP. Los archivos COMTRADE, que contienen datos críticos sobre transitorios eléctricos, pueden reproducirse de manera automática con TransPlay. Esto permite inyectar estas señales en los relés de protección para probar su respuesta y comportamiento.

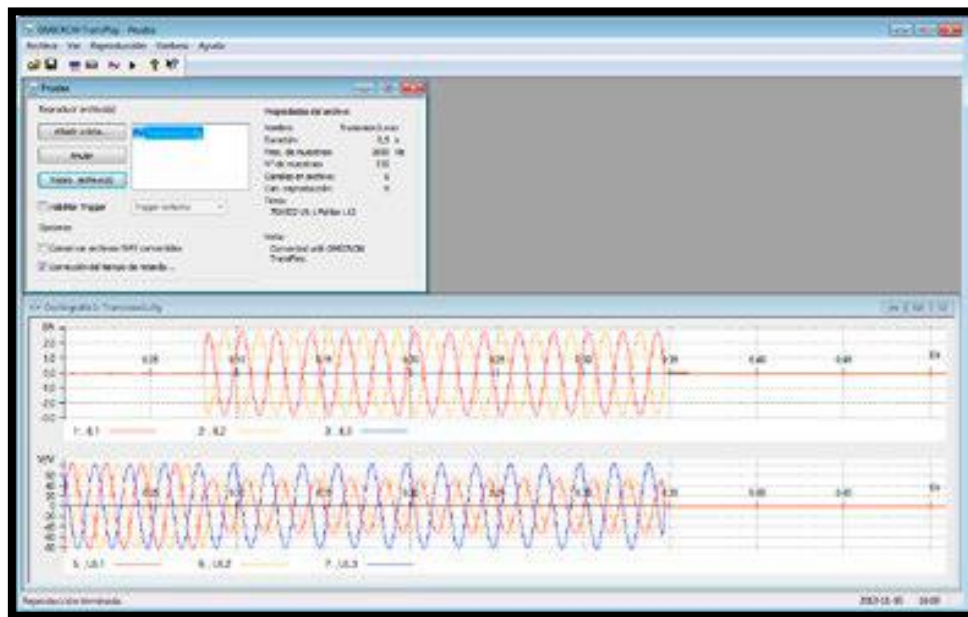


Figura 23. Ondas analógicas de corriente y tensión en TransPlay.

Fuente: [34].

3.2.5. Uso de la Maleta de Inyección OMICRON CMC-356:

3.2.5.1. Características y Funcionalidades:

La maleta de inyección OMICRON CMC-356 es un equipo multifuncional de prueba y calibración diseñado para aplicaciones en SEP, además es una opción ideal para aplicaciones que requieren la más alta versatilidad, amplitud y potencial, esta maleta de

inyección es conocida por su alta precisión y versatilidad, lo que lo hace ideal para una amplia gama de pruebas en relés de protección, medidores de energía, y transformadores. En la tabla 6 se detallan características más destacadas de la maleta de inyección [35].

Tabla 6. Características de la Maleta de Inyección OMICRON CMC-356.

Fuente: [35].

Característica	Definición
Generación de señales de alta precisión	Capaz de generar corrientes y tensiones con una exactitud excepcional, lo que garantiza resultados de prueba fiables.
Capacidad multicanal	Ofrece múltiples canales de salida de corriente y tensión, permitiendo pruebas simultáneas en varios dispositivos.
Interfaz de usuario avanzada	Equipado con un software intuitivo que facilita la configuración de pruebas complejas y la interpretación de resultados.
Portabilidad y robustez	Diseñado para ser portátil y robusto, lo que lo hace adecuado para uso en campo y en ambientes industriales exigentes.

3.2.5.2. Procedimientos de Uso:

De acuerdo con el manual del OMICRON CMC-356 [36] se debe ser riguroso con el procedimiento de uso y se debe de seguir procedimientos bien definidos para asegurar la precisión y eficiencia en las pruebas. Estos procedimientos generalmente incluyen los siguientes pasos:

- Configuración inicial: Conectar el equipo a las fuentes de alimentación y a los dispositivos que se van a probar. Configurar los parámetros iniciales utilizando el software asociado.
- Programación de pruebas: Seleccionar y programar las pruebas específicas que se desean realizar, ya sea pruebas de relés, verificaciones de medidores, o simulaciones de transitorios.
- Ejecución de pruebas: Iniciar las pruebas programadas. El equipo inyecta las señales de prueba y monitoriza las respuestas de los dispositivos bajo prueba.
- Recolección y análisis de datos: Recoger los datos generados durante las pruebas y utilizarlos para analizar el desempeño de los dispositivos. El software proporciona herramientas para el análisis detallado y la generación de informes.

- Validación y ajuste: Basado en los resultados, realizar los ajustes necesarios en los dispositivos probados para asegurar su correcto funcionamiento.

3.2.5.3. Ventajas en el Estudio de Cortocircuitos:

La OMICRON CMC-356 [37] ofrece varias ventajas significativas en el estudio y análisis de cortocircuitos en SEP:

- Simulación precisa de fallas: Permite simular condiciones de cortocircuito con alta precisión, lo que ayuda a evaluar cómo los dispositivos de protección responden a estas condiciones.
- Asistencia Técnica: Ofrece una asistencia técnica a nivel mundial de alta calidad.
- Evaluación integral de protecciones: Facilita la evaluación de esquemas de protección, asegurando que los relés y otros dispositivos de protección funcionen correctamente durante eventos de cortocircuito.
- Cursos: Cursos de formación pensado para los técnicos, especialistas e ingenieros que se desarrollan en el ámbito de la ingeniería eléctrica.
- Mejora de la confiabilidad del sistema: Ayuda a identificar e increpar posibles fallos en el sistema de protección antes de que ocurran eventos reales, mejorando la confiabilidad y estabilidad del SEP.
- Plataformas: Sirve para el intercambio internacional de conocimientos.



Figura 24. Ventajas ofrecidas por OMICRON CMC-356.

Fuente: [37].

3.2.6. Beneficios de la Implementación de Archivos COMTRADE:

La implementación de archivos COMTRADE en SEP ofrece múltiples beneficios, incluyendo una mayor precisión en el análisis de transitorios. Al proporcionar un formato común para registrar y analizar eventos transitorios, los archivos COMTRADE facilitan la interoperabilidad entre diferentes equipos y sistemas, permiten realizar análisis detallados y precisos, y optimizan la toma de decisiones para el mantenimiento y la operación del SEP.

La estandarización y facilidad de intercambio de datos, y una mejora en la capacidad de diagnóstico de fallas, tal lo afirma Correa María [32], además tuvo gran beneficio realizar una herramienta intuitiva realizada en MATLAB® cuyo entorno fue el de visual GUIDE con el fin de tener una visión general de la herramienta y como está ayuda en la localización de fallas en líneas áreas de transmisión mediante los archivos COMTRADE, esta aplicación se muestra ejemplificada en la figura 25.

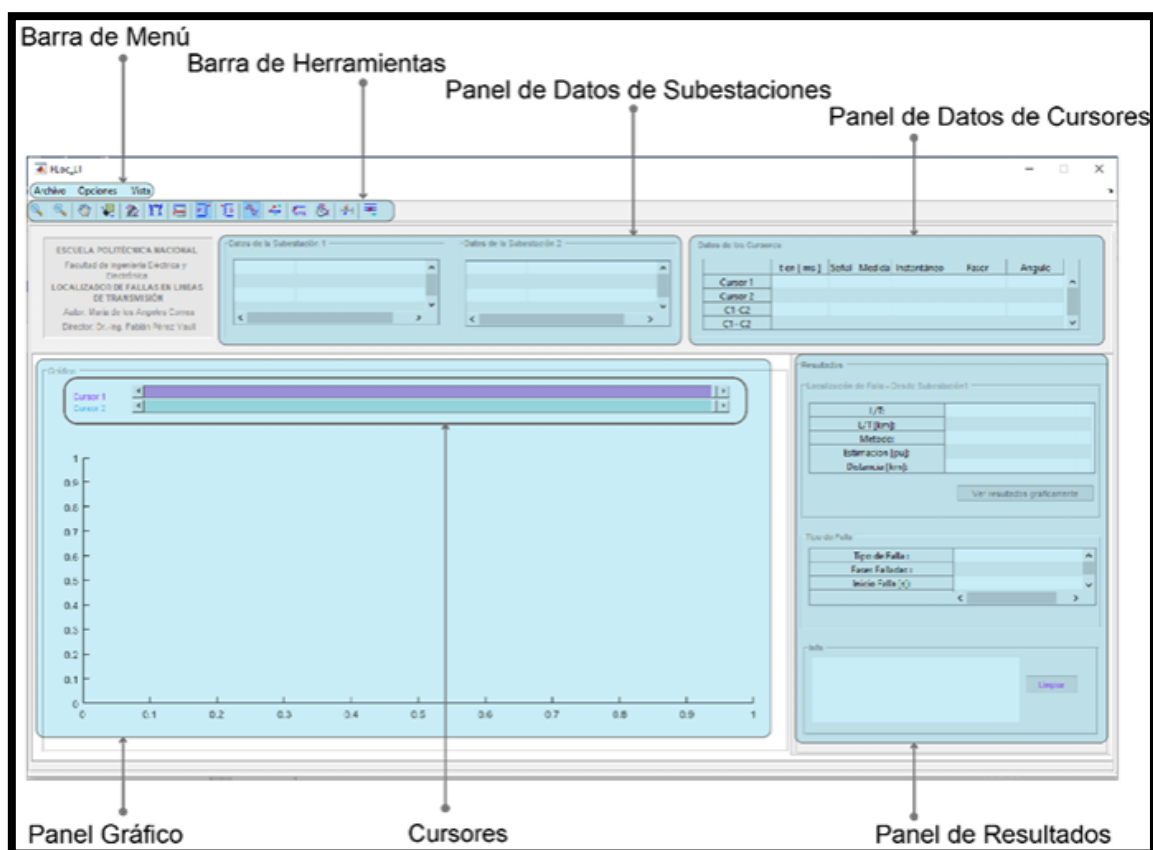


Figura 25. Interfaz gráfica en visual GUIDE.

Fuente: [32].

3.2.6.1. Mejoras en la Precisión del Análisis:

Los archivos COMTRADE mejoran significativamente la precisión del análisis de eventos transitorios al proporcionar datos detallados y de alta calidad sobre las perturbaciones en el SEP. Esto permite a los ingenieros realizar análisis más exactos y profundos, identificando las causas de los eventos con mayor claridad y exactitud. La disponibilidad de datos precisos es crucial para ajustar y calibrar dispositivos de protección y otros componentes del sistema, asegurando un rendimiento óptimo y confiable, tal como se menciona el trabajo de grado de Díaz Diego [38], además porque estos archivos COMTRADE logran ser de gran ayuda cuando se analizan en herramientas gráficas como la que desarrolló en MATLAB® con el fin de detectar la estimación de la distancia de las fallas cuando se analiza un caso en específico tal como la curva que se detalla en la figura 26.

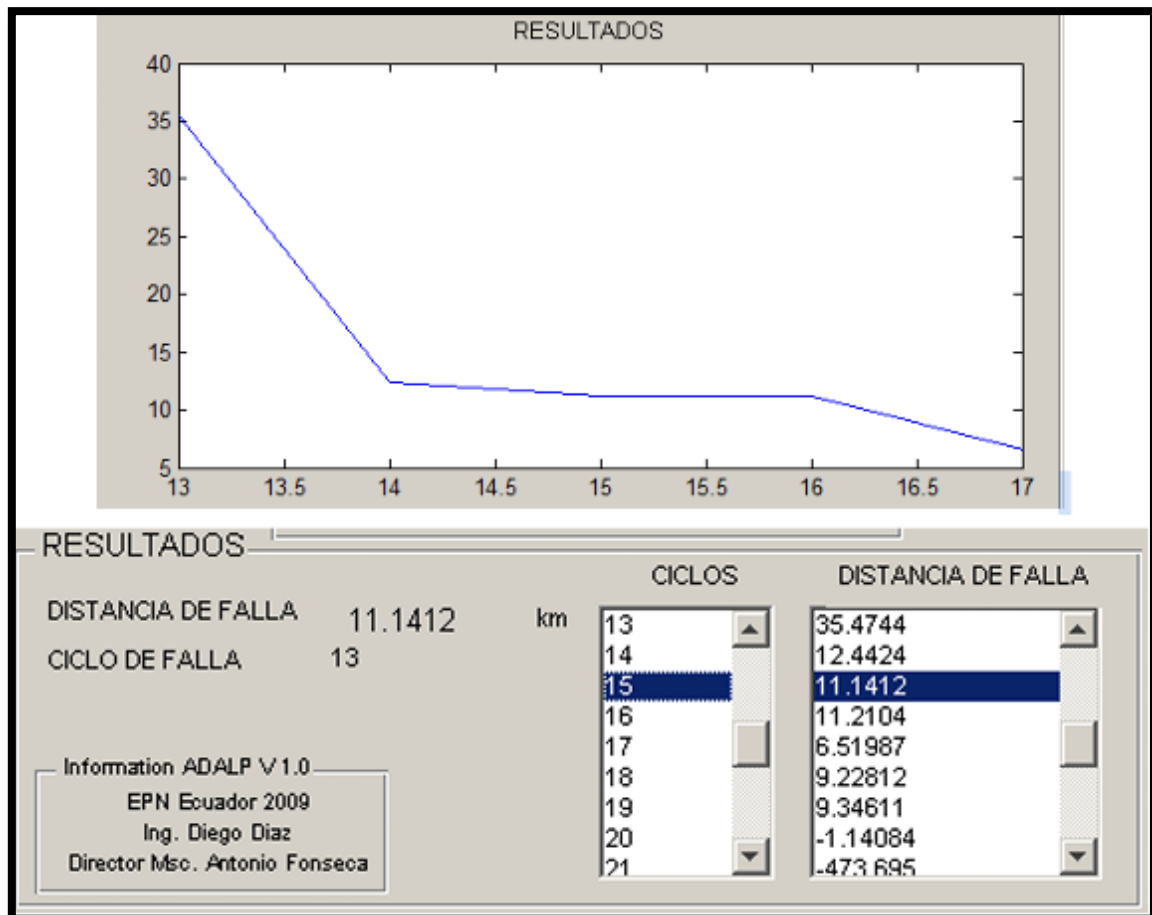


Figura 26. Resultados de una estimación de distancia en una falla en las redes eléctricas.

Fuente: [38].

3.2.6.2. Eficiencia en la Identificación y Resolución de Fallas:

La utilización de archivos COMTRADE facilita una identificación y resolución de fallas más eficiente al permitir un acceso rápido a los datos relevantes de los eventos transitorios. Los ingenieros pueden analizar rápidamente las secuencias de eventos y determinar las causas raíz de las fallas, reduciendo significativamente el tiempo de inactividad y mejorando la capacidad de respuesta ante problemas. Esta eficiencia se traduce en una mayor disponibilidad y estabilidad del SEP, minimizando los impactos negativos de las interrupciones. El autor Alvarado Efrén [39] demostró en su trabajo de posgrado que la detección e identificación eficiente de fallas en líneas de transmisión eléctrica es crucial para su rápida resolución y mantenimiento de la estabilidad del SEP. Utilizando simulaciones avanzadas y datos de registros de fallos, Alvarado logró demostrar cómo estos métodos pueden optimizar el despeje de fallas. Además, subrayó

la importancia de clasificar estos datos de manera adecuada para garantizar una resolución óptima y efectiva de los problemas, este enfoque metodológico no solo mejora la precisión en la identificación de fallas, sino que también facilita la implementación de medidas correctivas más rápidas y precisas. Un ejemplo ilustrativo de este proceso se da a conocer en la figura 27.

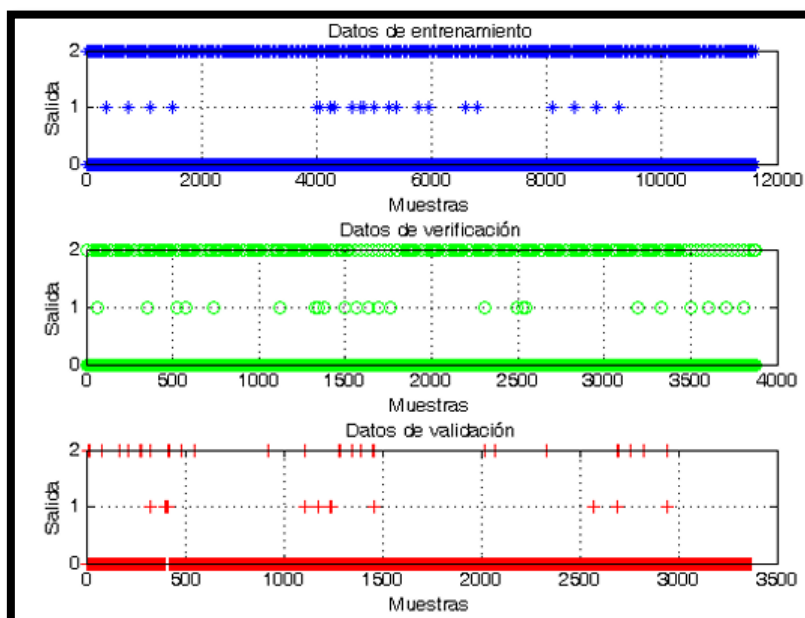


Figura 27. Conjunto de datos de entrenamiento, verificación y validación VS. la salida deseada.

Fuente: [39].

3.2.6.3. Impacto en la Operación y Mantenimiento del Sistema de Transmisión:

La implementación de archivos COMTRADE tiene un impacto positivo en la operación y mantenimiento del sistema de transmisión al proporcionar una base sólida para el monitoreo y análisis continuo del rendimiento del sistema. Los datos registrados permiten realizar mantenimiento predictivo y basado en condiciones, en lugar de mantenimiento correctivo, lo que reduce costos y mejora la fiabilidad del SEP, tal como el caso de la autora Correa María [32], destaca que la diferencia entre la distancia real de una falla y la distancia calculada por el relé de protección puede ser de hasta 10 km, lo que dificulta la inspección posterior realizada por el equipo de operación y mantenimiento. Sin embargo, aclara que la función principal del relé no es localizar el punto de falla, sino actuar ante perturbaciones en la línea protegida. Además, un análisis detallado de los eventos transitorios ayuda a mejorar las estrategias de operación, asegurando una respuesta rápida y efectiva a cualquier anomalía o falla.

V. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de titulación se centra en la implementación y análisis de archivos COMTRADE para mejorar la precisión y eficiencia del análisis de cortocircuitos en los SEP. Para llevar a cabo este trabajo de titulación, se ha utilizado el programa Power Factory DIgSILENT 2021®, una herramienta sofisticada y ampliamente reconocida en la industria de la Ingeniería Eléctrica. Inicialmente, se ha modelado un SEP Básico, el cual servirá como base para la simulación y análisis de eventos transitorios y cortocircuitos. Este modelo se ha desarrollado tomando en cuenta referencias de otros autores que se describen en el ítem de Revisión de la Literatura, garantizando así un enfoque metodológico sólido y altamente fundamentado.

Los conceptos teóricos subyacentes a los estudios de cortocircuitos, las fallas en SEP y la utilización de archivos COMTRADE, están detalladamente explicados en el ítem de Fundamentos Teóricos. Estos conceptos proporcionan el marco necesario para entender la relevancia y aplicabilidad de las técnicas empleadas en este trabajo de titulación. La combinación de estos fundamentos teóricos con las prácticas recomendadas por la literatura asegura que el análisis y las simulaciones realizadas sean precisas y pertinentes para el objetivo del trabajo.

A continuación, se detallan los componentes y la estructura del SEP modelado, proporcionando una visión clara del sistema que se empleará en este trabajo de titulación. El diseño y modelado de este sistema no solo permiten la evaluación de las técnicas de análisis de cortocircuitos, sino que también facilitan la validación de la eficiencia de los archivos COMTRADE en condiciones simuladas que reflejan escenarios reales de operación y fallas en sistemas eléctricos de potencia.

4.1. Diagrama unifilar base.

El SEP modelado en Power Factory DIgSILENT 2021® está compuesto por un generador, dos transformadores (elevador y reductor), una línea de transmisión y una carga que simula el consumo energético. Estos elementos se encuentran descritos en la figura 28.

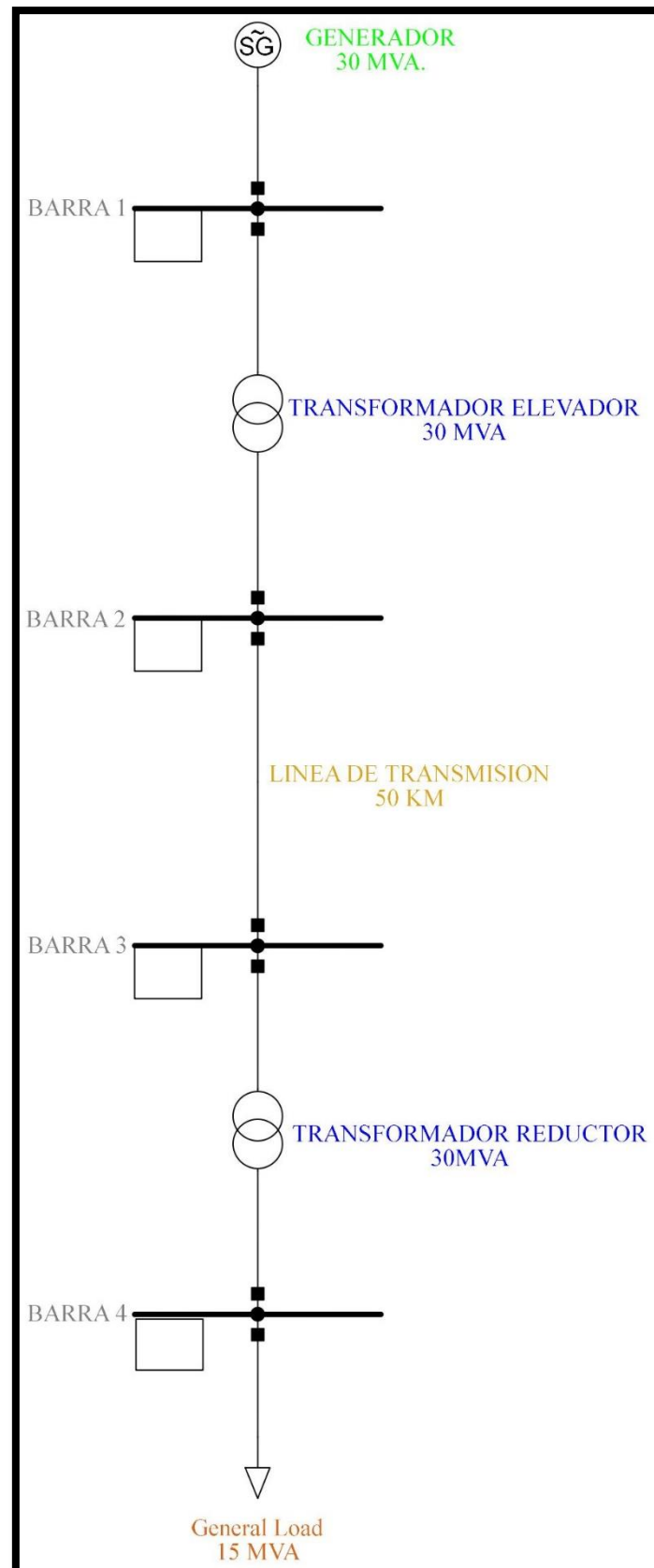
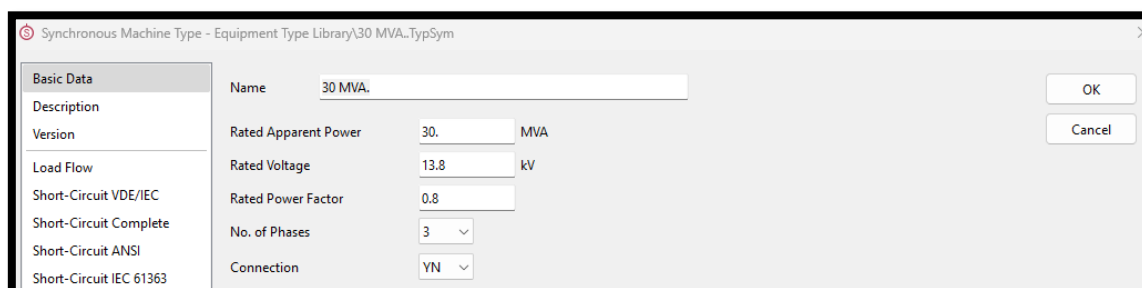


Figura 28. Diagrama Unifilar Base para la obtención de archivos COMTRADE.

Fuente: Los Autores.

4.1.1. Generador de 30 MVA.

Este generador está conectado inicialmente a la Barra 1, proporcionando una fuente de energía estable y potente para el SEP con el fin de solventar la carga al final del diagrama. Los datos técnicos del Generador se encuentran detallados en la figura 29.



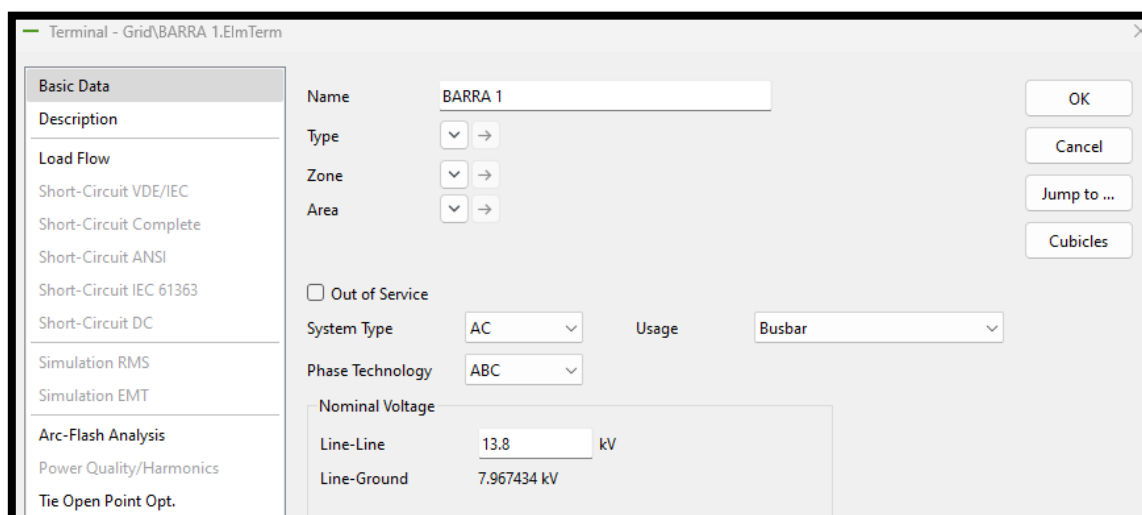
Parameter	Value	Unit
Name	30 MVA.	
Rated Apparent Power	30.	MVA
Rated Voltage	13.8	kV
Rated Power Factor	0.8	
No. of Phases	3	
Connection	YN	

Figura 29. Datos técnicos del Generador de 30 MVA.

Fuente: Los Autores.

4.1.2. Barra 1.

Las características técnicas de la Barra 1 se detallan en la figura 30, dicha Barra recibe la conexión del Generador y esté conecta al transformador elevador de 30 MVA.



Parameter	Value	Unit
Name	BARRA 1	
Type		
Zone		
Area		
Out of Service	<input type="checkbox"/>	
System Type	AC	
Usage	Busbar	
Phase Technology	ABC	
Nominal Voltage		
Line-Line	13.8	kV
Line-Ground	7.967434	kV

Figura 30. Características técnicas de la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

4.1.3. Transformador Elevador de 30 MVA.

Conectado a la Barra 1, este transformador eleva la tensión para su transmisión eficiente, y su salida está conectada a la Barra 2. Los datos técnicos del Transformador Elevador se encuentran detallados en la figura 31.

The screenshot shows the configuration window for a 2-Winding Transformer Type. The parameters are as follows:

Parameter	Value
Name	30 MVA
Technology	Three Phase Transformer
Rated Power	30. MVA
Nominal Frequency	60. Hz
Rated Voltage - HV-Side	138. kV
Rated Voltage - LV-Side	13.8 kV
Vector Group - HV-Side	YN
Vector Group - LV-Side	YN
Phase Shift	0. *30deg
Positive Sequence Impedance - Reactance x1	0.1 p.u.
Positive Sequence Impedance - Resistance r1	0.01 p.u.
Zero Sequence Impedance - Reactance x0	0.1 p.u.
Zero Sequence Impedance - Resistance r0	0.01 p.u.

Figura 31. Datos técnicos del Transformador Elevador de 30 MVA.

Fuente: Los Autores.

4.1.4. Barra 2.

Las características técnicas de la Barra 2 se detallan en la figura 32, esta Barra actúa como punto de enlace entre el transformador elevador y la línea de transmisión. Esta barra asegura la correcta distribución de la energía transformada hacia la línea de transmisión.

The screenshot shows the configuration window for a Terminal - Grid\BARRA 2.ElmTerm. The parameters are as follows:

Parameter	Value
Name	BARRA 2
Type	[Dropdown]
Zone	[Dropdown]
Area	[Dropdown]
System Type	AC
Usage	Busbar
Phase Technology	ABC
Nominal Voltage - Line-Line	138. kV
Nominal Voltage - Line-Ground	79.67434 kV

Figura 32. Características técnicas de la Barra 2.

Fuente: Los Autores.

4.1.5. Línea de Transmisión.

Esta línea conecta la Barra 2 con la Barra 3 facilita la transmisión de energía a largas distancias con mínimas pérdidas y sus características técnicas se especifican en la figura 33. Es crucial destacar que la transmisión de energía a altos niveles de voltaje es fundamental para reducir las pérdidas de voltaje debidas a la resistencia del material conductor. Al aumentar el voltaje y reducir la corriente, las pérdidas por efecto Joule (calor generado en el conductor) disminuyen significativamente, lo que hace que la transmisión de energía sea más eficiente y económica en largas distancias.

Figura 33. Características técnicas de la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

4.1.6. Barra 3.

Las características técnicas de la Barra 3 se detallan en la figura 34, esta Barra recibe la energía transmitida desde la Barra 2 y la dirige hacia el transformador reductor. La Barra 3 actúa como un nodo crucial en el sistema de transmisión, asegurando que la energía elevada en tensión llegue de manera eficiente y sin interrupciones a los siguientes componentes del sistema. La importancia de mantener altos niveles de voltaje hasta este punto es clave para minimizar las pérdidas y garantizar una entrega de energía fiable.

The screenshot shows a software interface for configuring a terminal. The window title is "Terminal - Grid\BARRA 3.ElmTerm". On the left, there is a sidebar with various analysis options: Basic Data (selected), Description, Load Flow, Short-Circuit VDE/IEC, Short-Circuit Complete, Short-Circuit ANSI, Short-Circuit IEC 61363, Short-Circuit DC, Simulation RMS, Simulation EMT, Arc-Flash Analysis, Power Quality/Harmonics, and Tie Open Point Opt. The main area contains the following fields:

- Name: BARRA 3
- Type: [Dropdown]
- Zone: [Dropdown]
- Area: [Dropdown]
- Out of Service:
- System Type: AC
- Usage: Busbar
- Phase Technology: ABC
- Nominal Voltage:
 - Line-Line: 138. kV
 - Line-Ground: 79.67434 kV

Buttons on the right include OK, Cancel, Jump to ..., and Cubicles.

Figura 34. Características técnicas de la Barra 3.

Fuente: Los Autores.

4.1.7. Transformador Reductor de 30 MVA.

Conectado a la Barra 3, este transformador reduce la tensión de transmisión para su distribución final, cuyos datos técnicos se describen en la figura 35. La transformación a un nivel de voltaje más bajo es esencial para la distribución segura y efectiva de la energía eléctrica a usuarios finales. Al reducir la tensión, el transformador permite que la energía sea utilizada de manera segura por equipos y aparatos que operan a voltajes más bajos. La salida secundaria de este transformador se conecta a la Barra 4, asegurando que la energía transformada esté lista para ser distribuida.

The screenshot shows a software interface for configuring a transformer. The window title is "2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\30MVA.TypeTr2". On the left, there is a sidebar with various analysis options: Basic Data (selected), Description, Version, Load Flow, Short-Circuit VDE/IEC, Short-Circuit Complete, Short-Circuit ANSI, Short-Circuit IEC 61363, Short-Circuit DC, Simulation RMS, Simulation EMT, Protection, Power Quality/Harmonics, Reliability, Hosting Capacity Analysis, and Optimal Power Flow. The main area contains the following fields:

- Name: 30MVA
- Technology: Three Phase Transformer
- Rated Power: 30. MVA
- Nominal Frequency: 60. Hz
- Rated Voltage:
 - HV-Side: 138. kV
 - LV-Side: 13.8 kV
- Vector Group:
 - HV-Side: YN
 - LV-Side: YN
 - Internal Delta Winding:
 - Phase Shift: 0. *30deg
 - Name: YNyn0
- Positive Sequence Impedance:
 - Reactance x1: 0.1 p.u.
 - Resistance r1: 0.01 p.u.
- Zero Sequence Impedance:
 - Reactance x0: 0.1 p.u.
 - Resistance r0: 0.01 p.u.

Buttons on the right include OK and Cancel.

Figura 35. Datos técnicos del Transformador Elevador de 30 MVA.

Fuente: Los Autores.

4.1.8. Barra 4.

Las características técnicas de la Barra 4 se detallan en la figura 36, esta barra es el punto de conexión final en el SEP, donde la energía reducida es distribuida a una carga conectada directamente a esta barra. La Barra 4 facilita la distribución de la energía a los niveles de voltaje adecuados para el consumo final, garantizando que la energía entregada sea segura y eficaz para su uso en aplicaciones residenciales, comerciales o industriales. La correcta gestión de la tensión en este punto es esencial para la estabilidad y fiabilidad del suministro eléctrico.

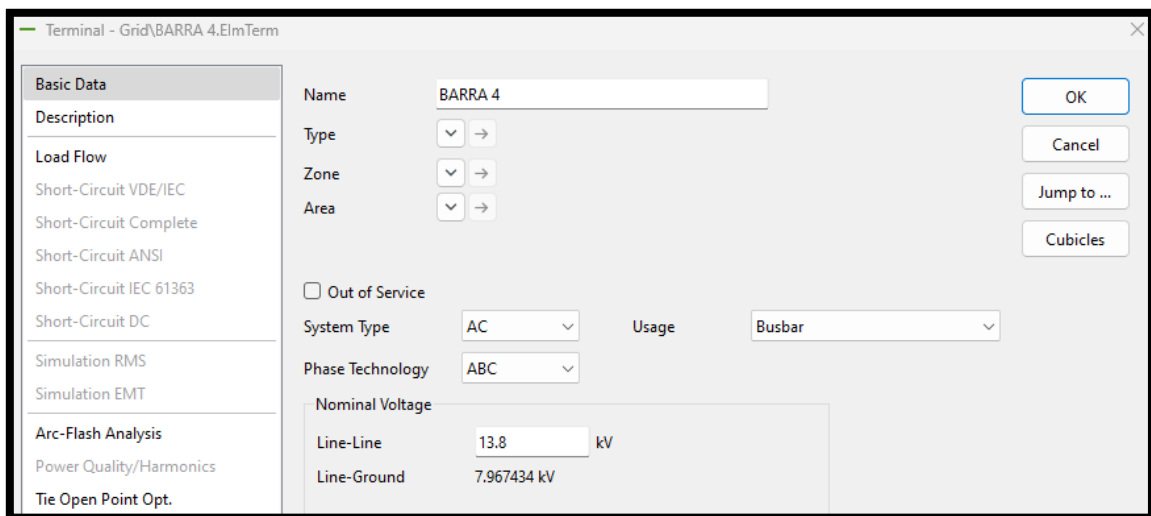


Figura 36. Características técnicas de la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.1.9. Carga.

En la Figura 37 se muestran las características técnicas de la carga, la cual está conectada al final del SEP Base. Esta carga representa el consumo energético final del sistema y es crucial para la evaluación de la demanda y el comportamiento del SEP bajo diversas condiciones de operación. La carga se modela con parámetros específicos que incluyen la potencia aparente y factor potencia, estos parámetros permiten simular de manera precisa cómo se comporta el sistema ante diferentes escenarios de consumo, facilitando el análisis de estabilidad y eficiencia del SEP.

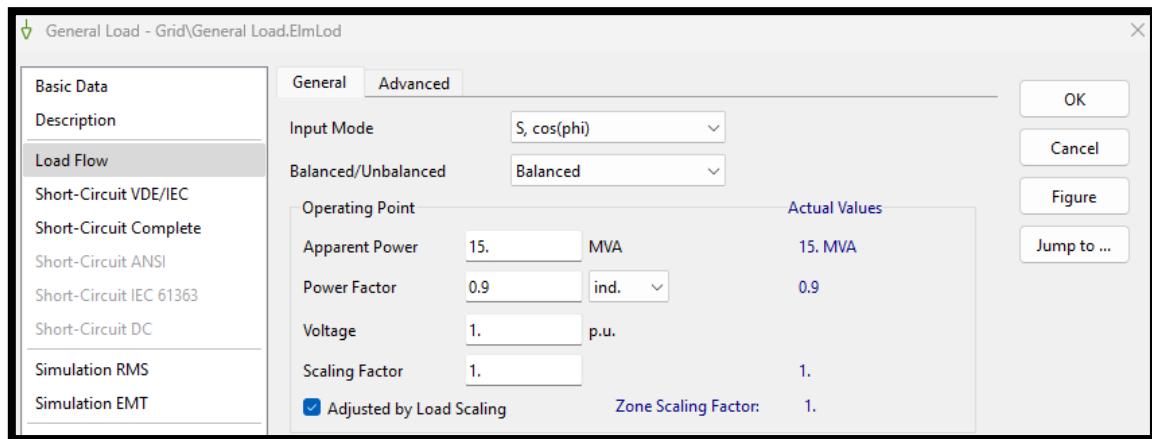


Figura 37. Características técnicas de la Carga.
Fuente: Los Autores.

Cada uno de estos componentes juega un papel crucial en la estructura y operación del sistema, y su correcta modelación es fundamental para los análisis de cortocircuitos y la aplicación de archivos COMTRADE que se realizarán en las secciones siguientes.

4.2. Metodología y diseño de los transformadores de corriente.

En el presente trabajo, se llevará a cabo el dimensionamiento y diseño de los transformadores de corriente (CTs) en diferentes puntos clave del sistema eléctrico de potencia (SEP). Este proceso es fundamental para asegurar una correcta medición y protección del sistema, garantizando que los CTs seleccionados cumplan con los requisitos operativos y de seguridad necesarios. En cada ítem de dimensionamiento, se presentarán los cálculos matemáticos detallados y se especificará la clase de los CTs, que en este caso es 5P20. Estos CTs serán integrados en el modelo del SEP en el software Power Factory DIgSILENT 2021® para realizar las simulaciones correspondientes.

4.2.1. Dimensionamiento de los CTs previo a la Carga {General Load 15 MVA}.

El dimensionamiento de los transformadores de corriente antes de la carga general de 15 MVA es crucial para asegurar la precisión en la medición de las corrientes y la correcta actuación de los sistemas de protección. En este ítem, se calcula la relación de transformación adecuada, considerando la potencia de la carga, la tensión de operación y los requisitos de seguridad. Se procede a escoger los CTs con la clase de 5P20, dado que son robustos y confiables en los SEP. Para definir la relación de transformación de los

CTs es necesario realizar un flujo de carga y verificar el valor de corriente, tal como se aprecia en la figura 38.

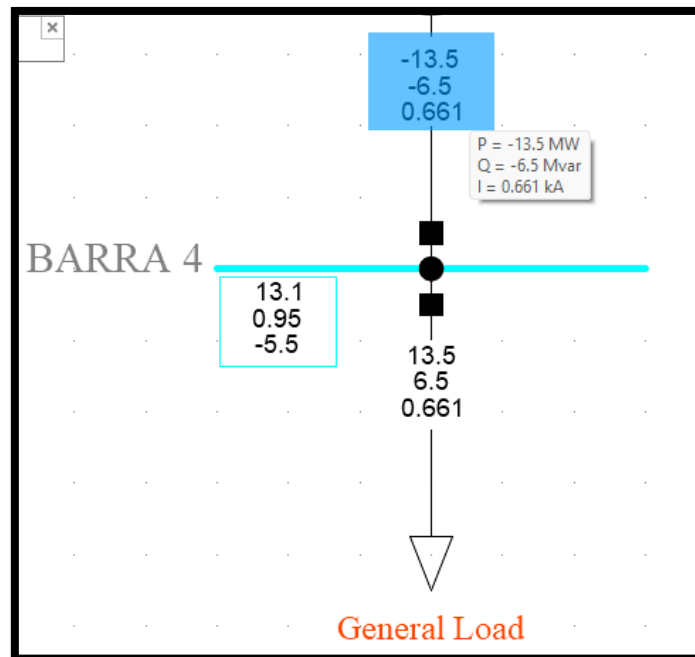


Figura 38. Corriente del lado de baja del transformador reductor al realizar el flujo de carga.

Fuente: Los Autores.

Una vez generador el flujo de carga, se procede a realizar los cálculos matemáticos correspondientes para definir la relación de transformación que se deberá escoger, esto cálculos se detallan en la ecuación (1).

Ecuación 1. Cálculos para determinar el conjunto de CTs en la Carga de 15 MVA.

$$I_{nominal} = 661 \text{ A} \quad \text{Factor de sobrecarga} = 1.20$$

$$661 \cdot 1.20 = 793.2 \approx 800 \rightarrow \left\{ CT: \frac{800}{5} [A] \right\} \quad (1)$$

Una vez definido el valor del conjunto de CTs en la Carga de 15 MVA, se procede agregar estos CTs como dispositivos en el diagrama unifilar tal como se muestra en la figura 39.

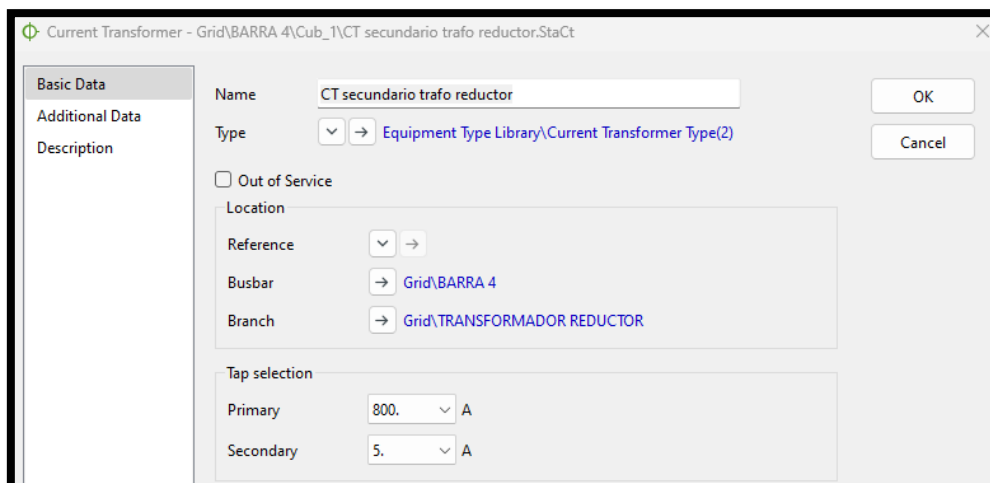


Figura 39. CTs agregados en la Carga de 15MVA.
Fuente: Los Autores.

4.2.2. Dimensionamiento de los CTs de la Línea de Transmisión.

El correcto dimensionamiento de los CTs en la línea de transmisión es esencial para monitorear y proteger las corrientes que fluyen a lo largo de la misma. En este apartado, se analizarán las características de la línea de transmisión, incluyendo su longitud, capacidad de carga y la tensión nominal. En este ítem, se calcula la relación de transformación adecuada, considerando la potencia de la carga, la tensión de operación y los requisitos de seguridad. Se procede a escoger los CTs con la clase de 5P20, dado que son robustos y confiables en los SEP. Para definir la relación de transformación de los CTs es necesario realizar un flujo de carga y verificar el valor de corriente, tal como se aprecia en la figura 40.

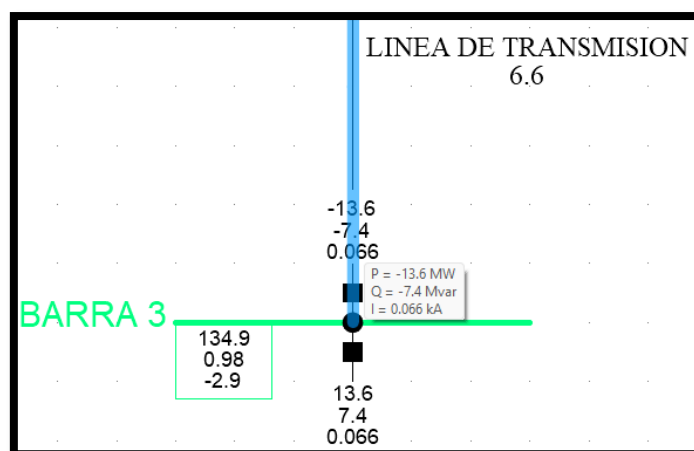


Figura 40. Corriente del lado de alta del transformador reductor al realizar el flujo de carga.

Fuente: Los Autores.

Una vez generador el flujo de carga, se procede a realizar los cálculos matemáticos correspondientes para definir la relación de transformación que se deberá escoger, esto cálculos se detallan en la ecuación (2).

Ecuación 2. Cálculos para determinar el conjunto de CTs en la Línea de Transmisión.

$$I_{nominal} = 66 \text{ A} \quad \text{Factor de sobrecarga} = 1.20$$

$$66 \cdot 1.20 = 79.2 \approx 100 \rightarrow \left\{ CT: \frac{100}{5} [A] \right\} \quad (2)$$

Una vez definido el valor del conjunto de CTs en la Línea de Transmisión, se procede a agregar estos CTs como dispositivos en el diagrama unifilar tal como se muestra en la figura 41.

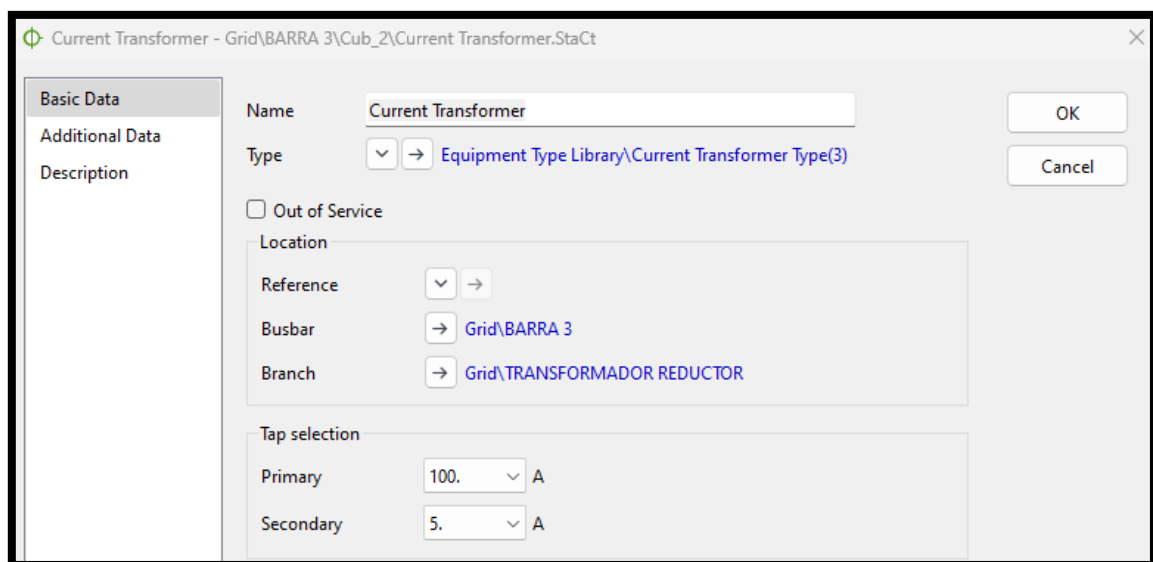


Figura 41. CTs agregados en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

4.2.3. Dimensionamiento de los CTs del Generador {30 MVA}.

El generador de 30 MVA es una fuente crítica de energía en el SEP, y el dimensionamiento de sus CTs es vital para la protección y medición precisas de la corriente generada. En este ítem, se determina la relación de transformación adecuada, considerando la potencia de la carga, la tensión de operación y los requisitos de seguridad. Se procede a escoger los CTs con la clase de 5P20, dado que son robustos y confiables

en los SEP. Para definir la relación de transformación de los CTs es necesario realizar un flujo de carga y verificar el valor de corriente, tal como se aprecia en la figura 42.

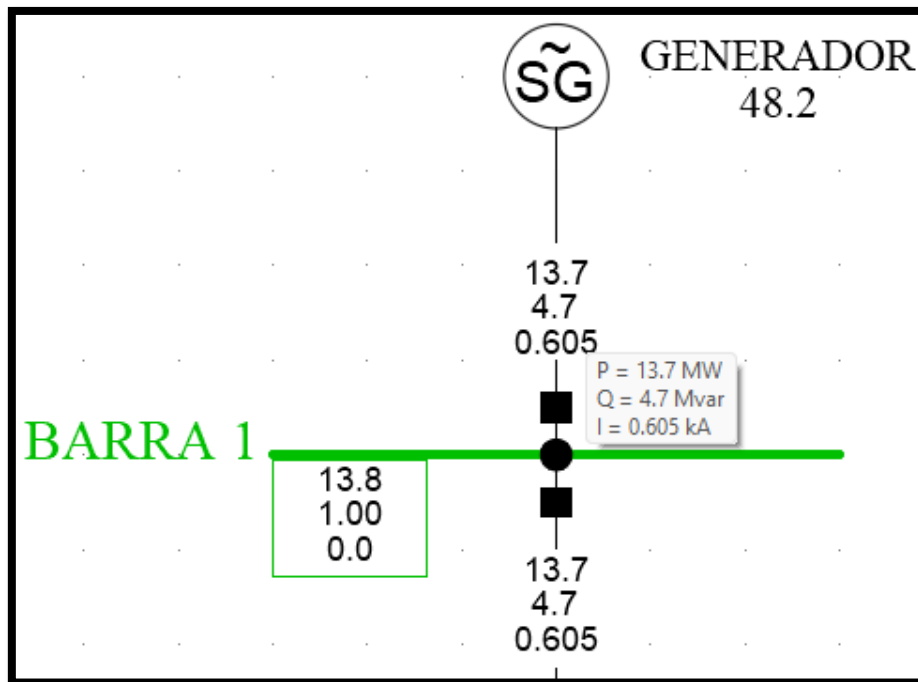


Figura 42. Evento de cortocircuito monofásico en la BARRA 1.

Fuente: Los Autores.

Una vez generador el flujo de carga, se procede a realizar los cálculos matemáticos correspondientes para definir la relación de transformación que se deberá escoger, esto cálculos se detallan en la ecuación (3).

Ecuación 3. Cálculos para determinar el conjunto de CTs del Generador de 30 MVA.

$$I_{nominal} = 605 \text{ A} \quad \text{Factor de sobrecarga} = 1.20$$

$$605 \cdot 1.20 = 726 \approx 800 \rightarrow \left\{ CT: \frac{800}{5} [A] \right\} \quad (3)$$

Una vez definido el valor del conjunto de CTs del Generador de 30 MVA, se procede a agregar estos CTs como dispositivos en el diagrama unifilar tal como se muestra en la figura 43.

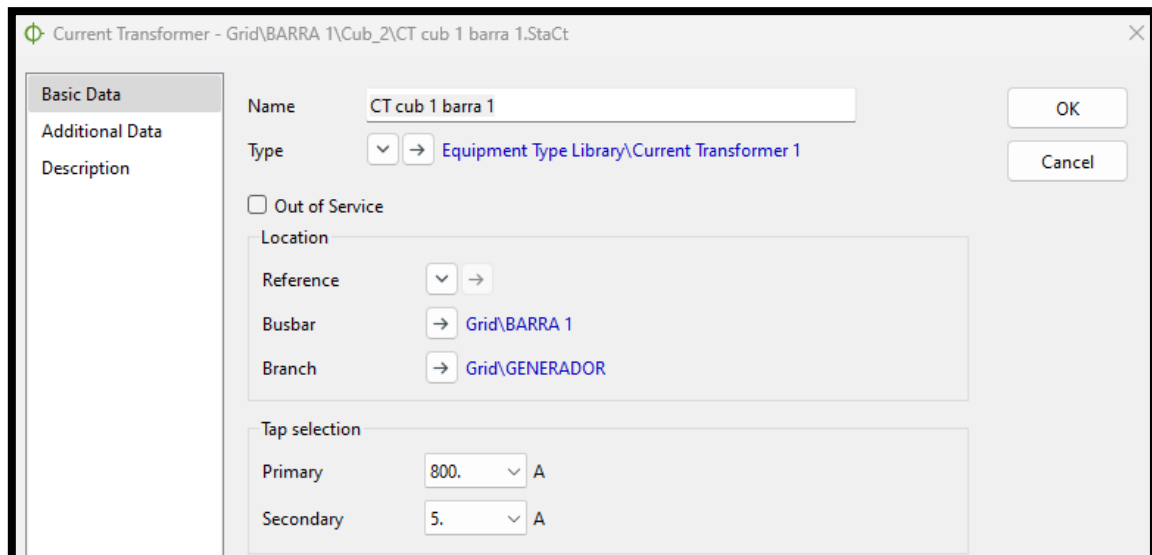


Figura 43. CTs agregados en el Generador de 30 MVA.
Fuente: Los Autores.

Garantizando que estos puedan soportar condiciones de sobrecarga sin comprometer la precisión. Estos transformadores se agregarán en el modelo de DIgSILENT para validar su desempeño bajo condiciones de operación reales.

4.3. Metodología y diseño de los relés.

El diseño y configuración de los relés de protección es un paso crucial en la implementación de un sistema eléctrico de potencia (SEP) eficiente y seguro. En este trabajo, se llevará a cabo el diseño y la parametrización de cinco relés de protección, utilizando un enfoque riguroso que incluye cálculos matemáticos detallados y la simulación de su comportamiento en el software Power Factory DIgSILENT 2021®. Los relés seleccionados serán estratégicamente ubicados en puntos críticos del SEP para garantizar una rápida y precisa detección y actuación ante fallas. A continuación, se describen los pasos metodológicos que guiarán el diseño de estos relés.

Cada relé será seleccionado de acuerdo con las características específicas del equipo o línea que protege, tomando en cuenta factores como la capacidad de corriente, el nivel de voltaje, y las posibles condiciones de falla.

Se identificarán las ubicaciones críticas dentro del SEP donde la instalación de relés es esencial para la protección y estabilidad del sistema. Los cinco relés serán asignados a las siguientes zonas clave:

4.4. Escenario 1: Corto 3 ϕ en la carga {falla en la barra 4}.

En el Escenario 1 se simula una falla en la Barra 4 para analizar el comportamiento del SEP bajo condiciones de cortocircuito y obtener los valores de corriente correspondientes. Para llevar a cabo esta simulación y generar los archivos COMTRADE, se deben seguir los siguientes pasos:

4.4.1. Configuración de la Falla.

Se ingresa al módulo de simulación de fallas en Power Factory DIgSILENT 2021®, y se selecciona la Barra 4 como el punto de falla y se configura el tipo de falla (por ejemplo, cortocircuito trifásico, bifásico, o monofásico), tal como se muestra en la figura 44.

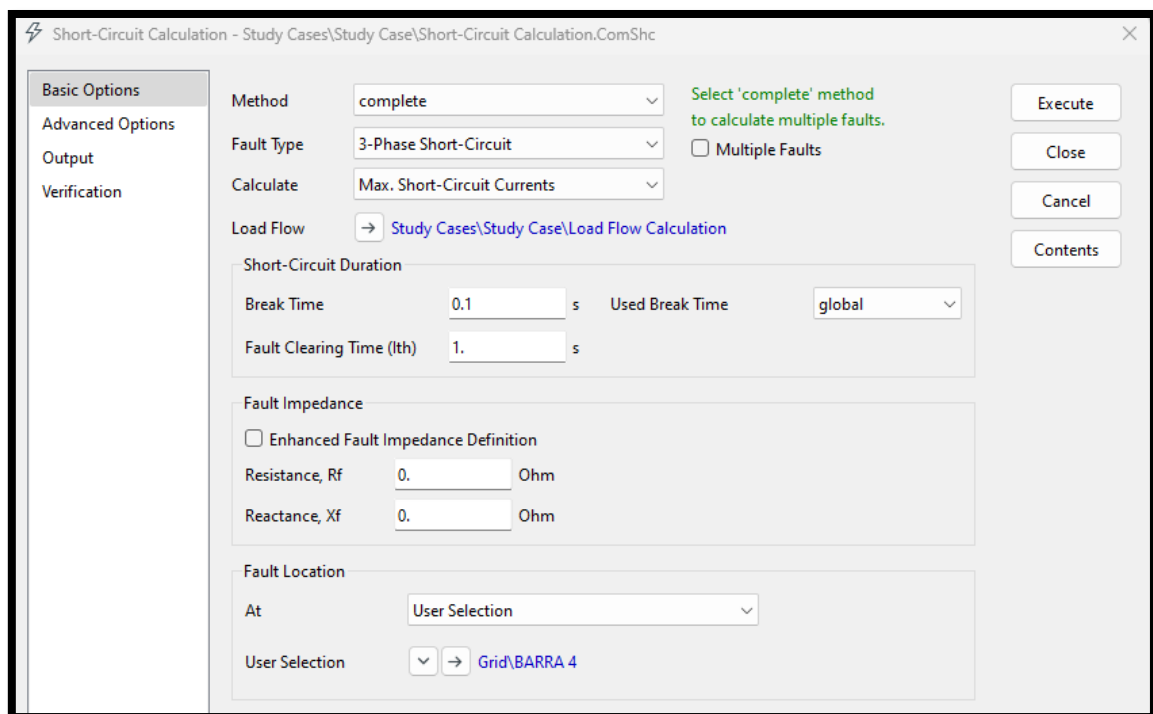


Figura 44. Configuración de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.4.2. Especificación de Parámetros de Falla.

Se define los parámetros específicos de la falla, como la duración del evento, la resistencia de la falla, y otros parámetros relevantes que puedan influir en los resultados de la simulación tal como se presenta en la figura 45.

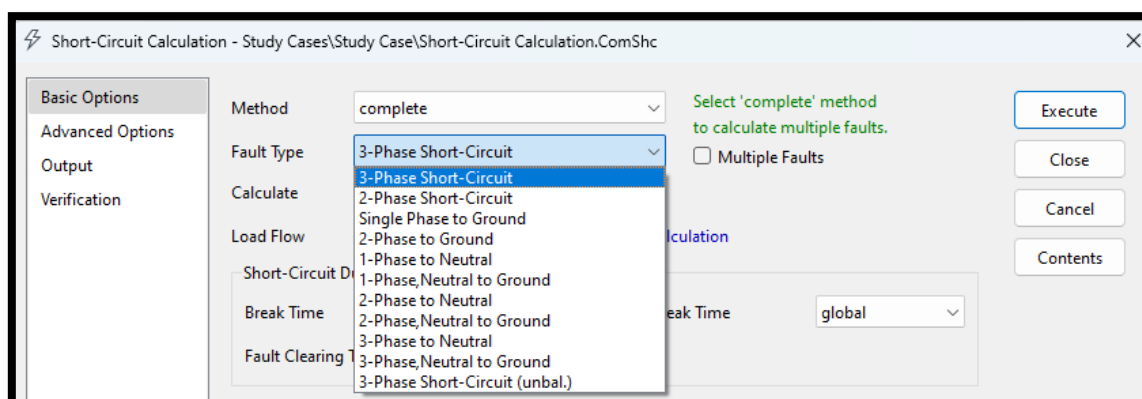


Figura 45. Especificación de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.4.3. Ejecución de la Simulación.

Se procede a iniciar la simulación del escenario de falla. El software calculará los valores de corriente y otros parámetros eléctricos en todos los elementos del SEP afectados por la falla, tal como se muestra en la figura 46.

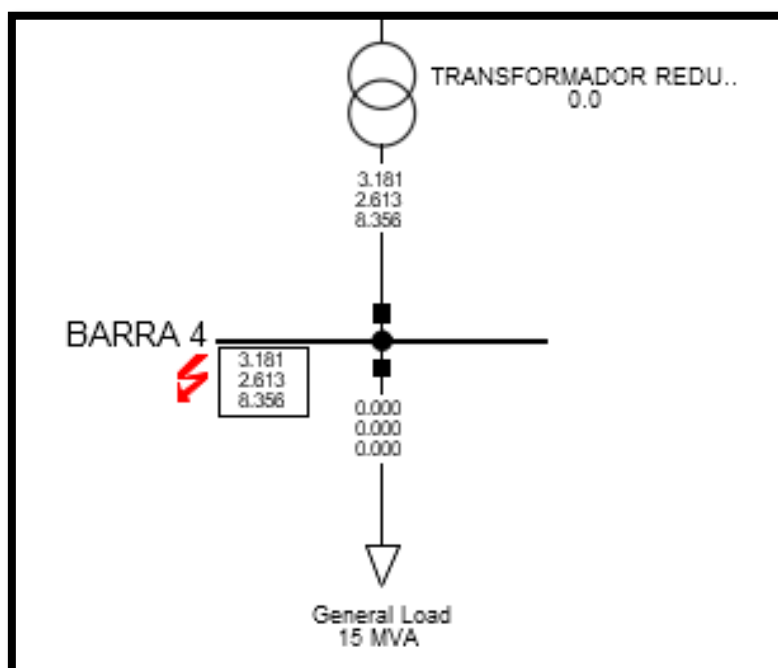


Figura 46. Simulación de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.4.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.

Se debe confirmar que el sistema está configurado para registrar los datos de corriente durante la simulación, se debe establecer los registradores de eventos para capturar los valores instantáneos de corriente en las barras y líneas afectadas. Previamente se debe definir el cortocircuito tal como se presenta en la figura 47.

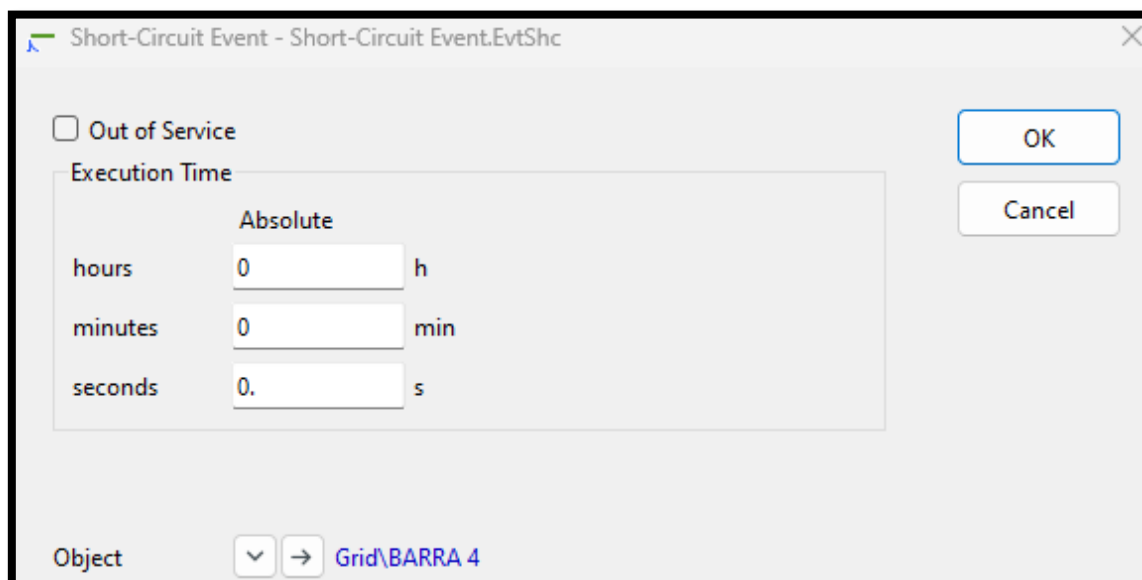


Figura 47. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Luego es necesario que ante de la Barra 4 se agregue un transformador de corriente tal como se indica en la figura 48.

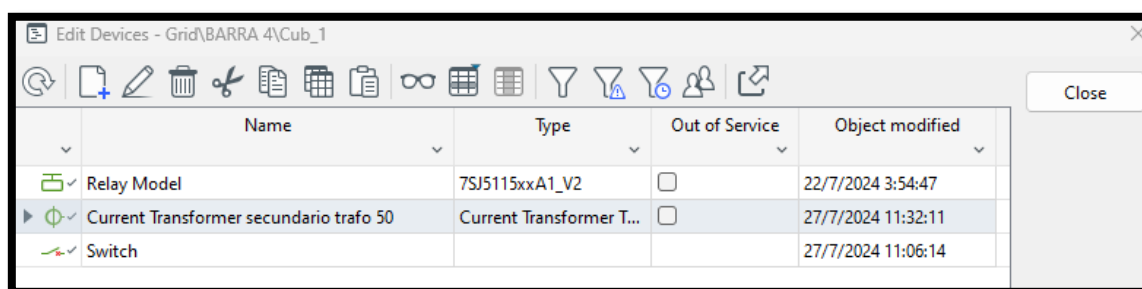


Figura 48. Ingreso del transformador de corriente en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Posterior al agregar el transformador de corriente, se procede a crear el evento de cortocircuito tal como se presenta en la figura 49.

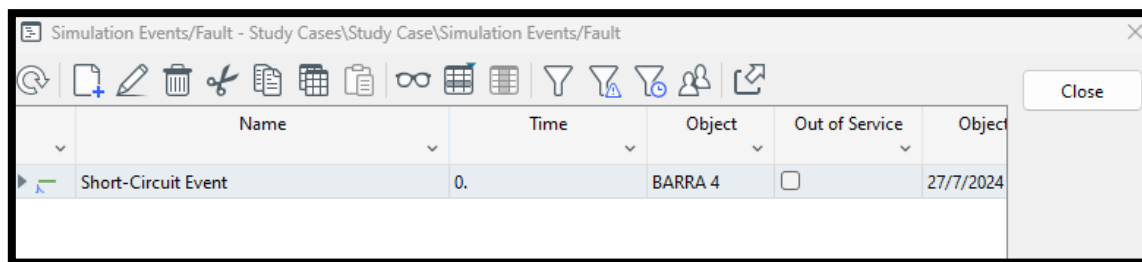


Figura 49. Simulación de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Luego se deben definir las variables de voltaje que se presentan durante la falla en la barra 4 tal como se da a conocer en la figura 50.

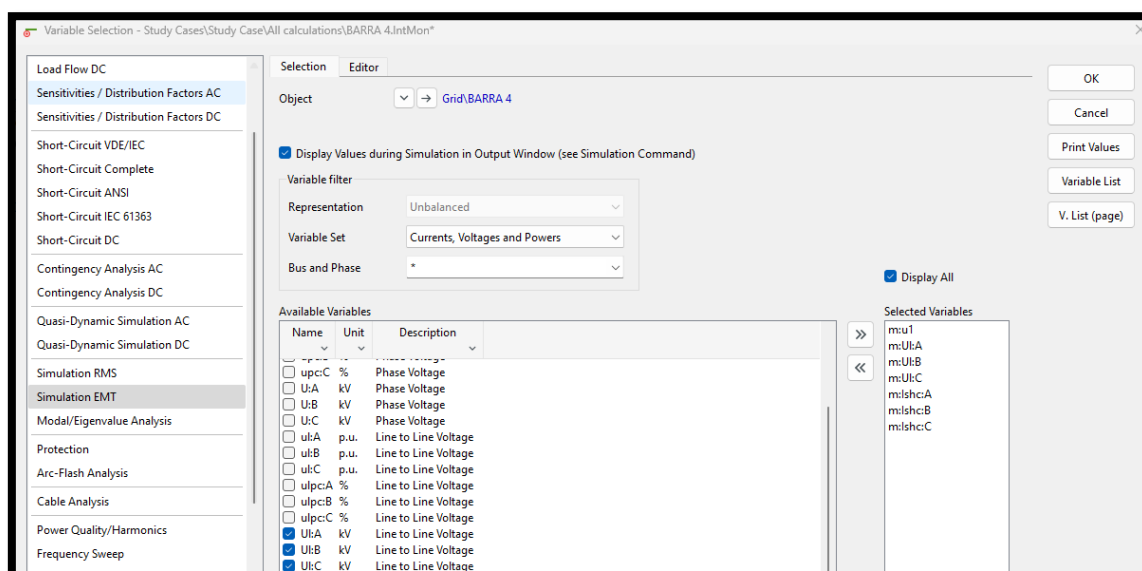


Figura 50. Definición de las variables de voltaje de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez definida las variables de voltaje en la Barra 4, se procede a definir las variables de corriente que visualiza el transformador de corriente (TC) ubicado en el lado secundario del transformador reductor tal como se presenta en la figura 51.

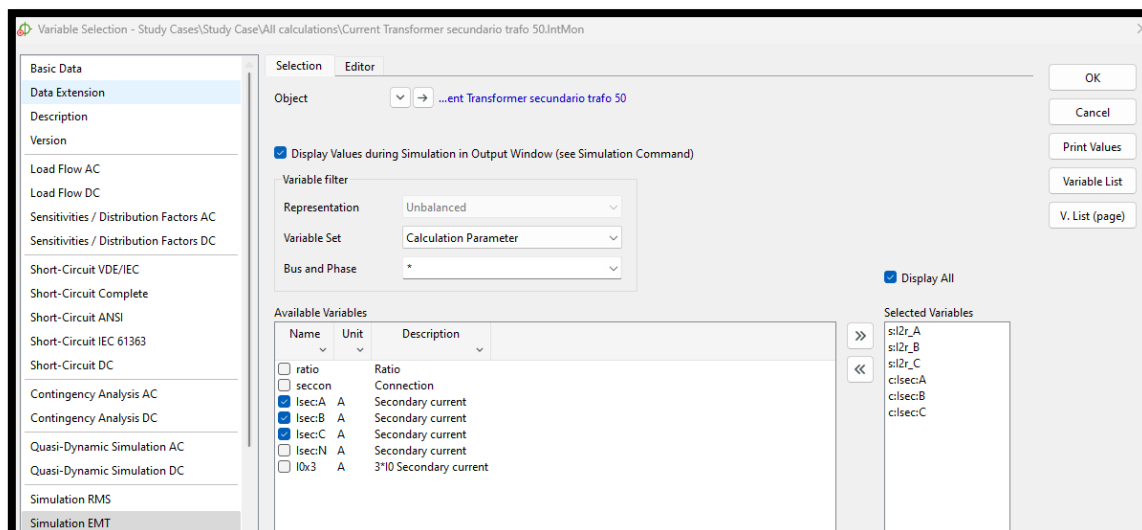


Figura 51. Definición de las variables de corriente en el TC ubicado antes de la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Una vez se haya definido las variables se procede a realizar la simulación con los cálculos de las condiciones iniciales dando clic en ejecutar tal como se presenta en la figura 52.

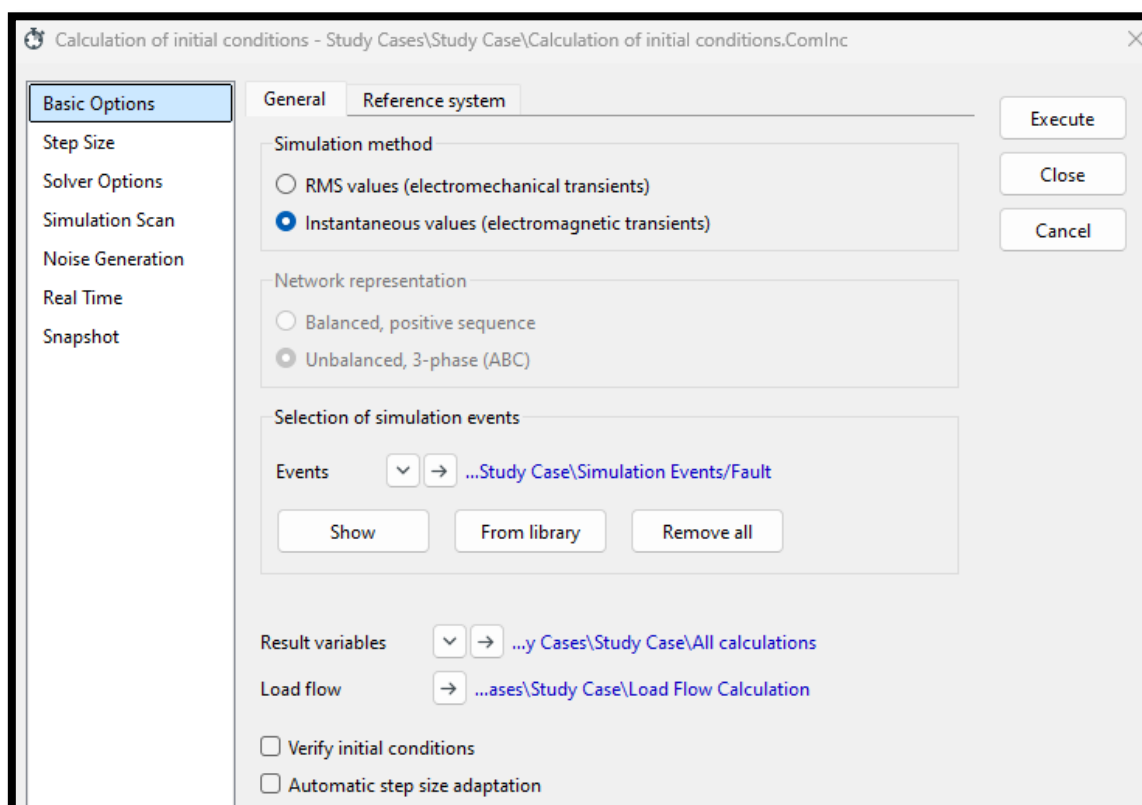


Figura 52. Ejecución del evento de falla en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la ejecución del evento se procede a generar los gráficos con la opción Curve Plot, tal como se presenta en la figura 53.

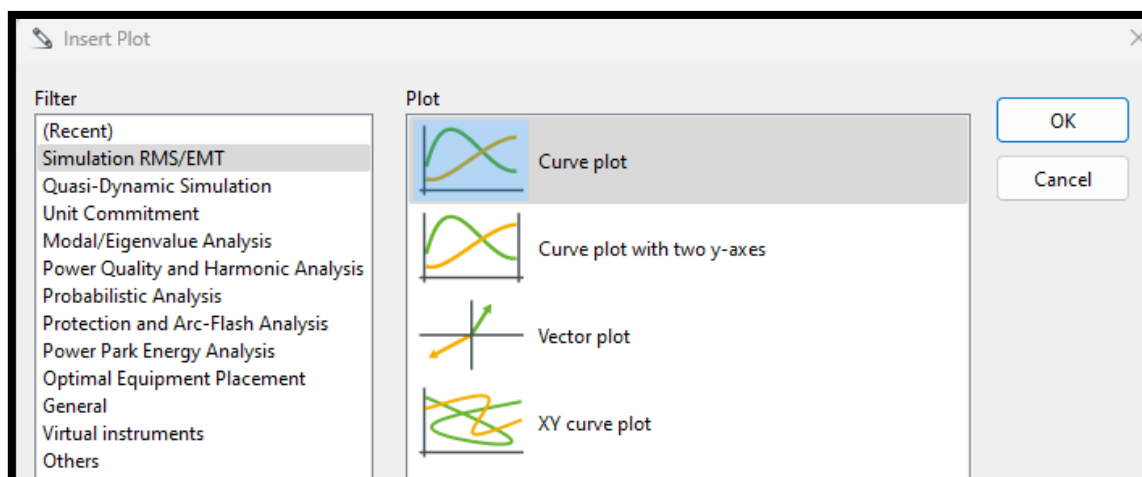


Figura 53. Registro de los gráficos de la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez realizado el registro de gráficos se procede a definir las variables que se desean graficar tal como se presenta en la figura 54.

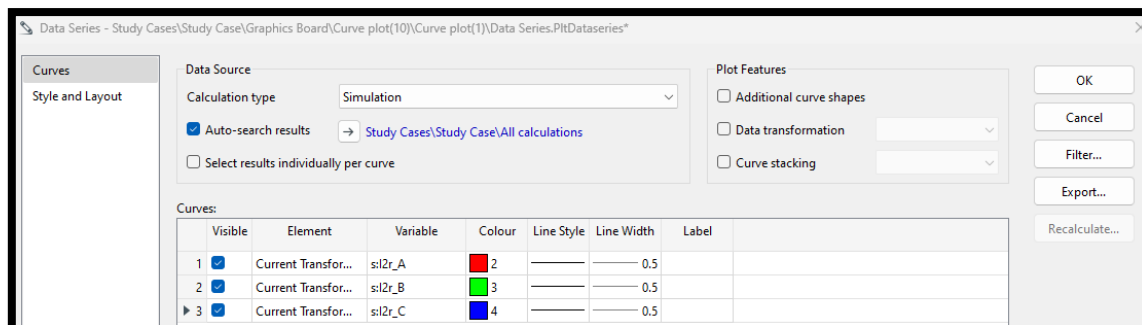


Figura 54. Definición de variables de corriente a graficar durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables que se desean graficar, se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de las curvas de corriente de las 3 fases, y este comportamiento se presenta en la figura 55.

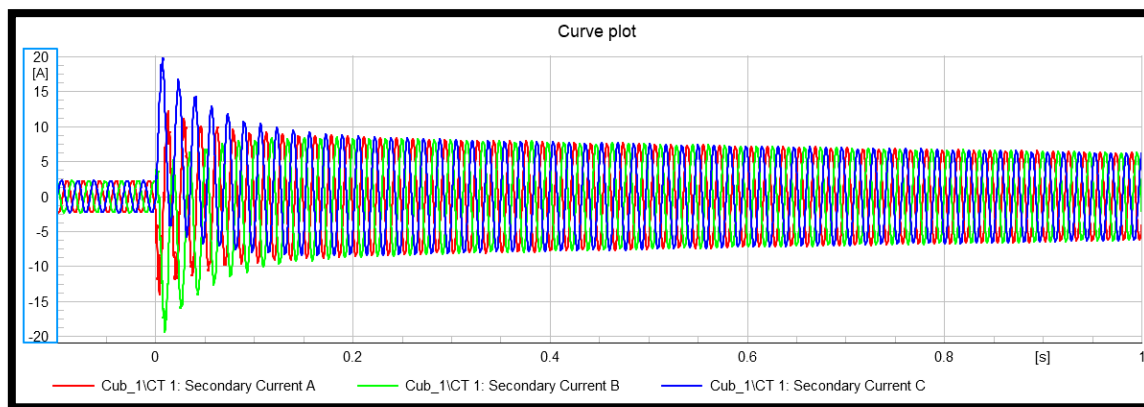


Figura 55. Curvas de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Para lograr visualizar el comportamiento del voltaje se procede agregar las variables de voltaje, tal como se presenta en la figura 56.

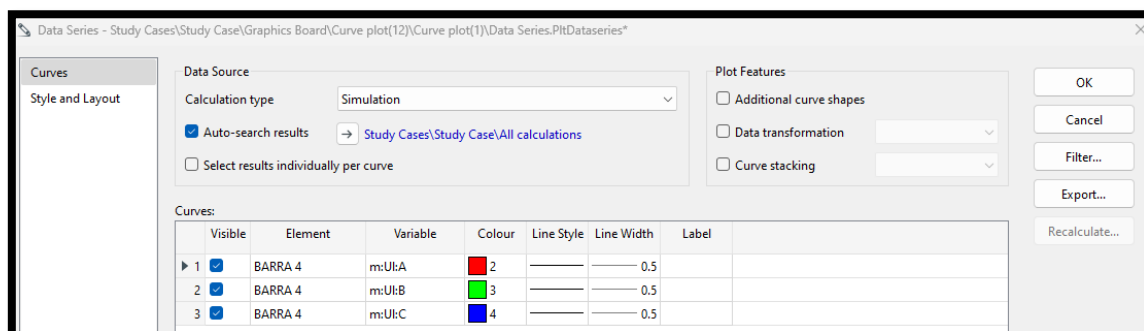


Figura 56. Definición de variables de voltaje durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables de voltaje se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de los voltajes de la Barra 4 durante la falla, y este comportamiento se presenta en la figura 57.

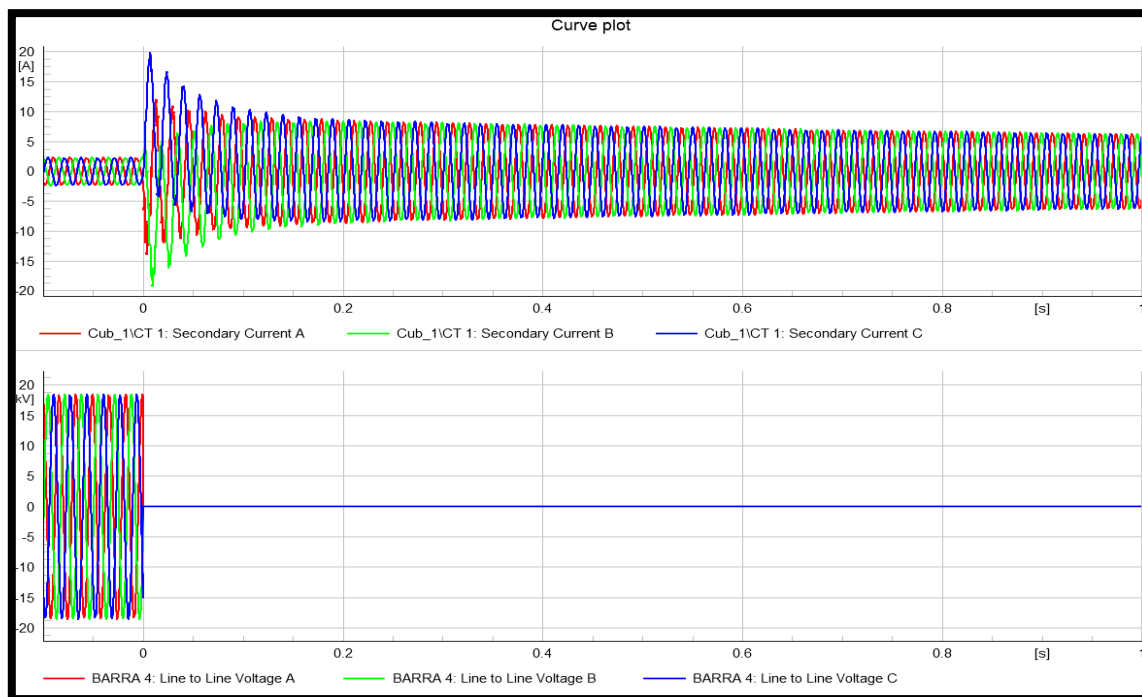


Figura 57. Curvas de las variables de corriente y variables de voltaje durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.4.5. Generación de Archivos COMTRADE.

Una vez finalizada la simulación, se procede a exportar los datos de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4, tal como se presenta en la figura 58.

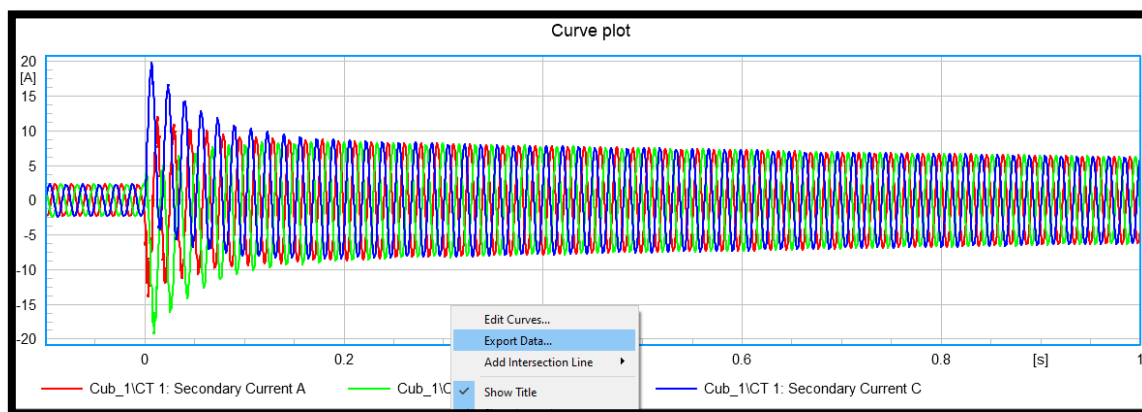


Figura 58. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez definido la exportación de datos de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4, se procede a seleccionar el formato que en este caso sería archivos COMTRADE, tal como se presenta en la figura 59.

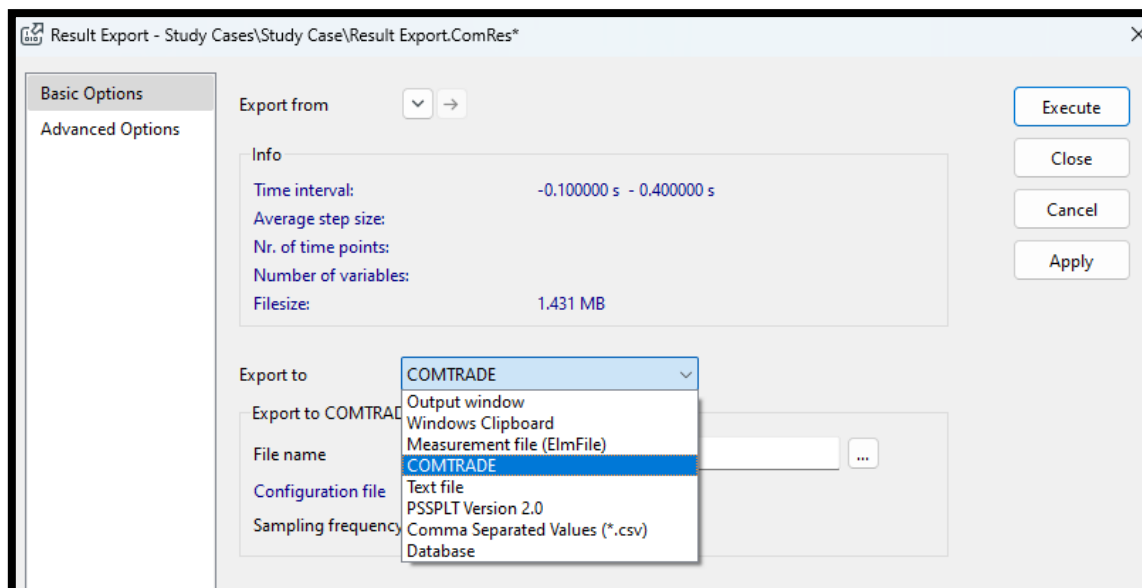


Figura 59. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.5. Escenario 2: Corto 3 ϕ al 50% de la línea de transmisión.

En el Escenario 2 se simula una falla trifásica al 50% de la Línea de Transmisión con el fin de analizar el comportamiento del SEP bajo condiciones de cortocircuito y obtener los valores de corriente correspondientes. Para llevar a cabo esta simulación y generar los archivos COMTRADE, se deben seguir los siguientes pasos:

4.5.1. Configuración de la Falla.

Se ingresa al módulo de simulación de fallas en Power Factory DIgSILENT 2021®, y se selecciona la Línea de Transmisión al 50% como el punto de falla y se configura el tipo de falla (por ejemplo, cortocircuito trifásico, bifásico, o monofásico), tal como se muestra en la figura 60.

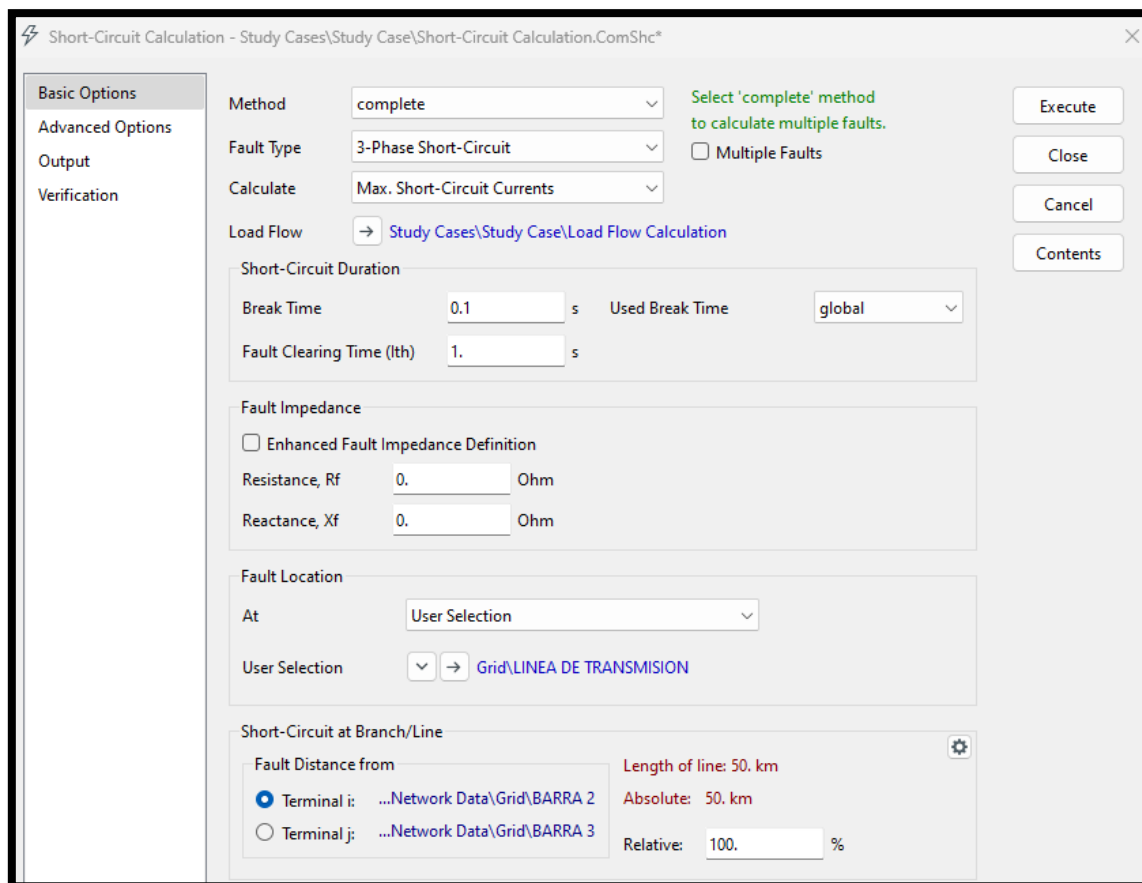


Figura 60. Configuración de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.
Fuente: Los Autores.

4.5.2. Especificación de Parámetros de Falla.

Se define los parámetros específicos de la falla, como la duración del evento, la resistencia de la falla, y otros parámetros relevantes que puedan influir en los resultados de la simulación tal como se presenta en la figura 61.

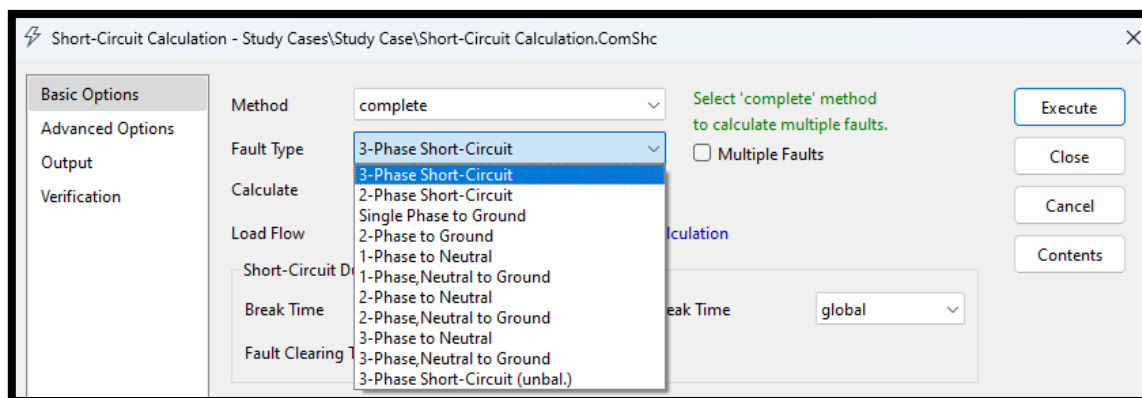


Figura 61. Especificación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.
Fuente: Los Autores.

4.5.3. Ejecución de la Simulación.

Se procede a iniciar la simulación del escenario de falla. El software calculará los valores de corriente y otros parámetros eléctricos en todos los elementos del SEP afectados por la falla, tal como se muestra en la figura 62.

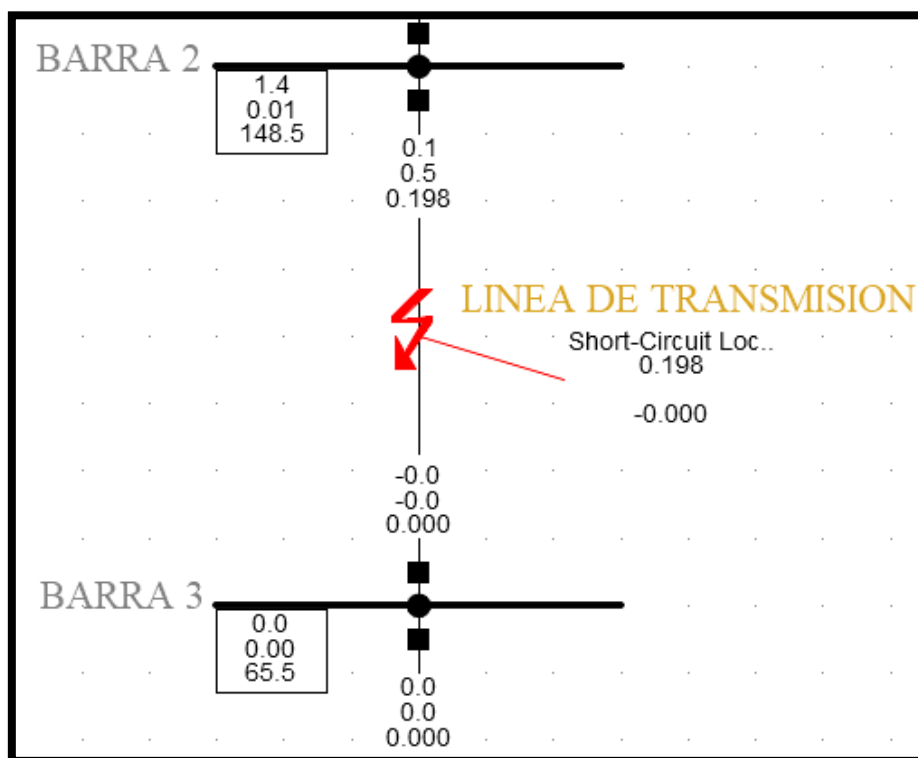


Figura 62. Simulación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.5.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.

Se debe confirmar que el sistema está configurado para registrar los datos de corriente durante la simulación, se debe establecer los registradores de eventos para capturar los valores instantáneos de corriente en las barras y líneas afectadas. Previamente se debe definir el cortocircuito tal como se presenta en la figura 63.

Short-Circuit Event - ...ault\corto trifasico en línea de transmisión.EvtShc

Out of Service Read Only

Execution Time

	Absolute	Relative	Now
hours	0 h	0. h	0. h
minutes	0 min	0 min	0 min
seconds	0. s	-1. s	1. s

Object: → Grid\LINEA DE TRANSMISION

Fault Location: 50.0 %

Fault Type: 3-Phase Short-Circuit

Fault Impedance

Input: Resistance, Reactance

Resistance: 0.0 Ohm Reactance: 0.0 Ohm

Figura 63. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Luego es necesario que entre las Barras 2 y 3 se agregue un transformador de corriente tal como se detalla en la figura 64.

Name	In Folder	Type	Out of Service	
Relay Overcurrent 2	Cub_2	7SJ5115xxA1_V3.2	<input checked="" type="checkbox"/>	4/8/2
CT cub 2 barra 2	Cub_2	Current Transformer T...	<input type="checkbox"/>	4/8/2
Switch	Cub_2			5/8/2
Switch	Cub_1			21/7/

Figura 64. Ingreso del transformador de corriente entre las Barras 2 y 3.

Fuente: Los Autores.

Posterior al agregar el transformador de corriente, se procede a crear el evento de cortocircuito tal como se presenta en la figura 65.

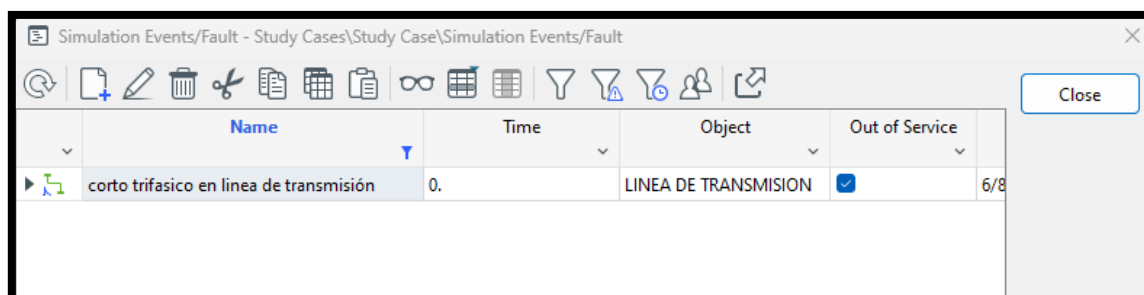


Figura 65. Simulación de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.
Fuente: Los Autores.

Una vez se haya definido las variables se procede a realizar la simulación con los cálculos de las condiciones iniciales dando clic en ejecutar tal como se presenta en la figura 66.

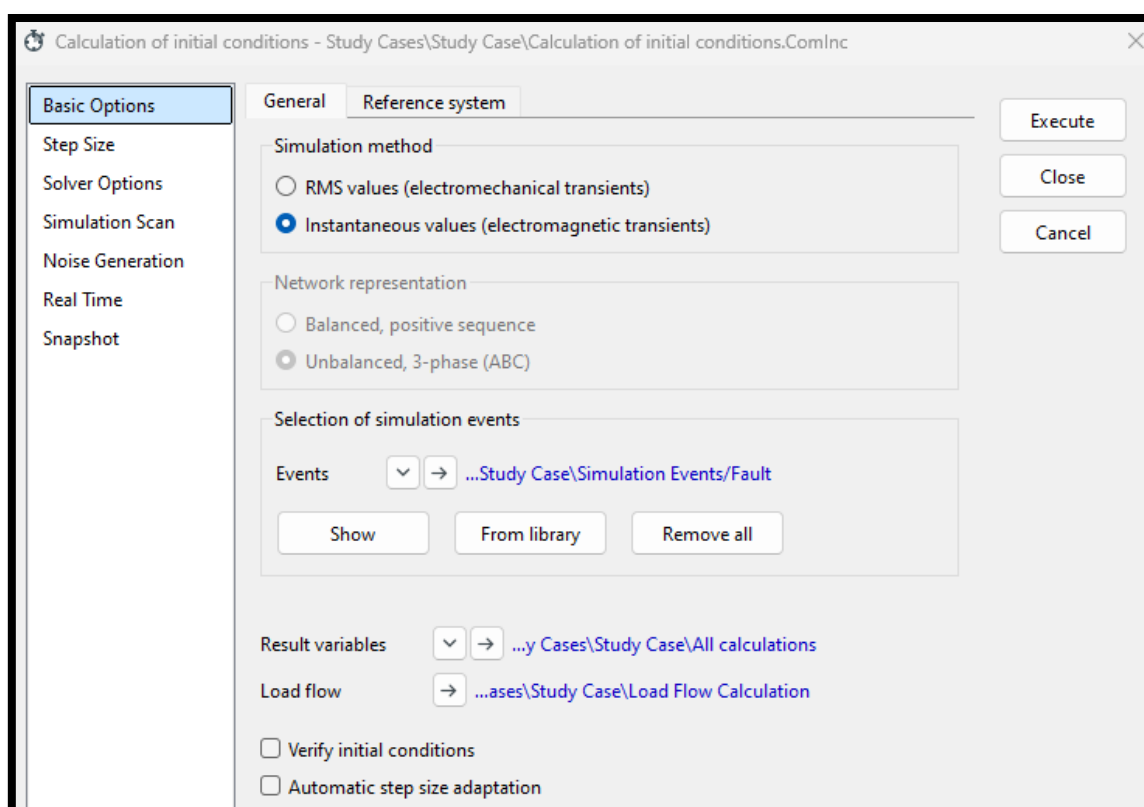


Figura 66. Ejecución del evento de falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.
Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la ejecución del evento se procede a generar los gráficos con la opción Curve Plot, tal como se presenta en la figura 67.

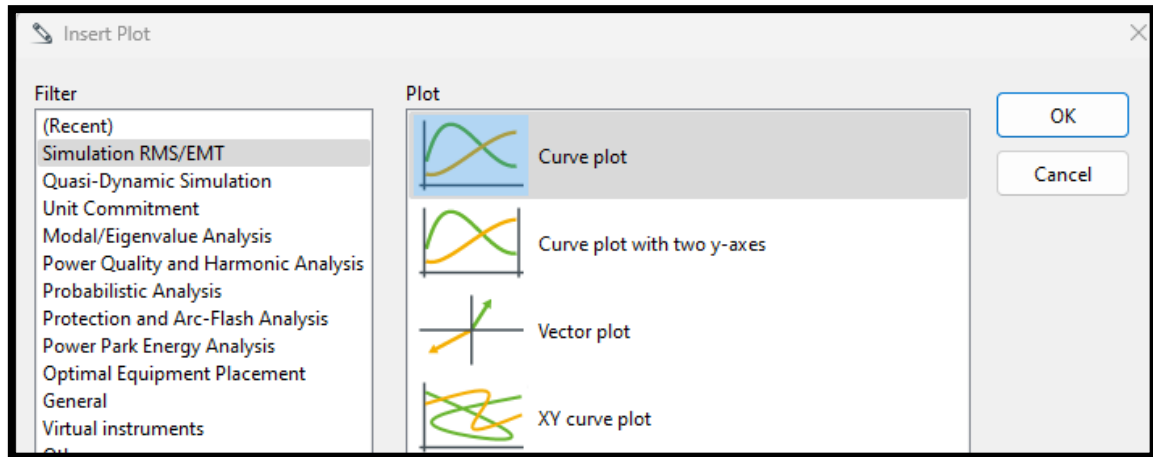


Figura 67. Registro de los gráficos de la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables que se desean graficar, se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de las curvas de corriente de las 3 fases, y este comportamiento se presenta en la figura 68.

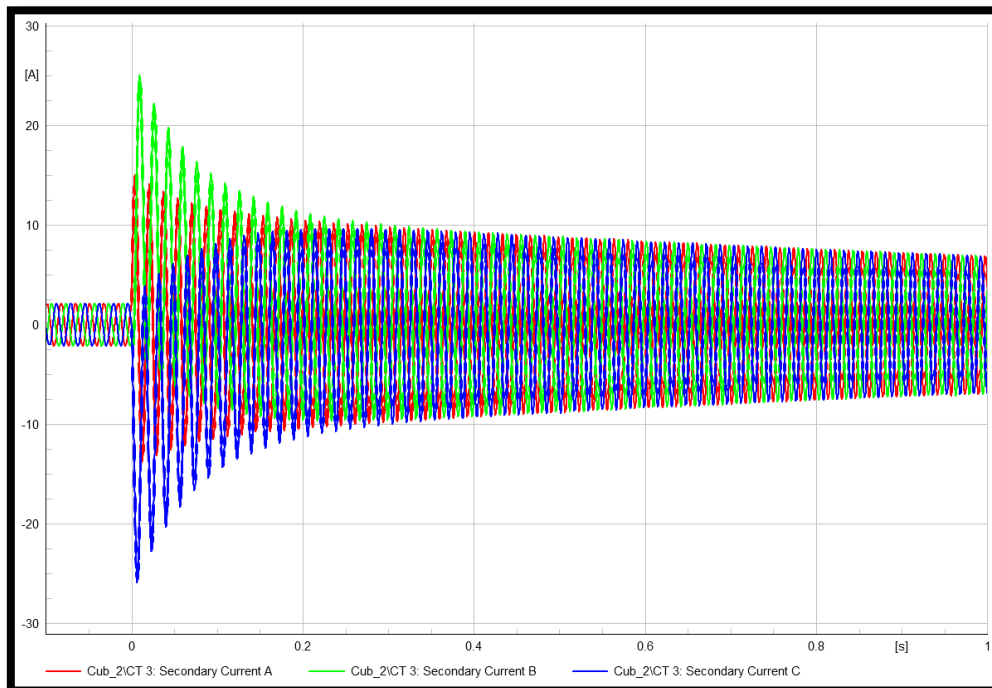


Figura 68. Curvas de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.5.5. Generación de Archivos COMTRADE.

Una vez finalizada la simulación, se procede a exportar los datos de las variables de corriente durante la falla en la Barra 4, tal como se presenta en la figura 69.

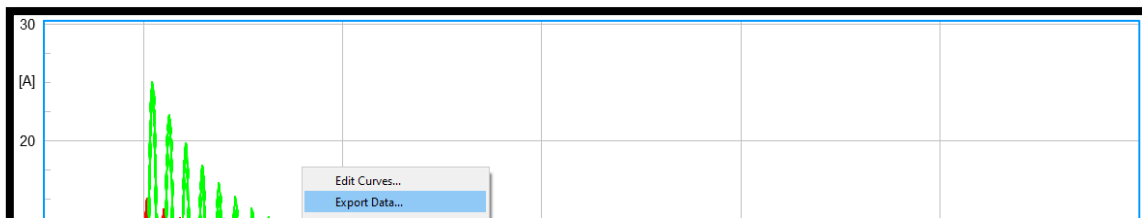


Figura 69. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez definido la exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión, se procede a seleccionar el formato que en este caso sería archivos COMTRADE, tal como se presenta en la figura 70.

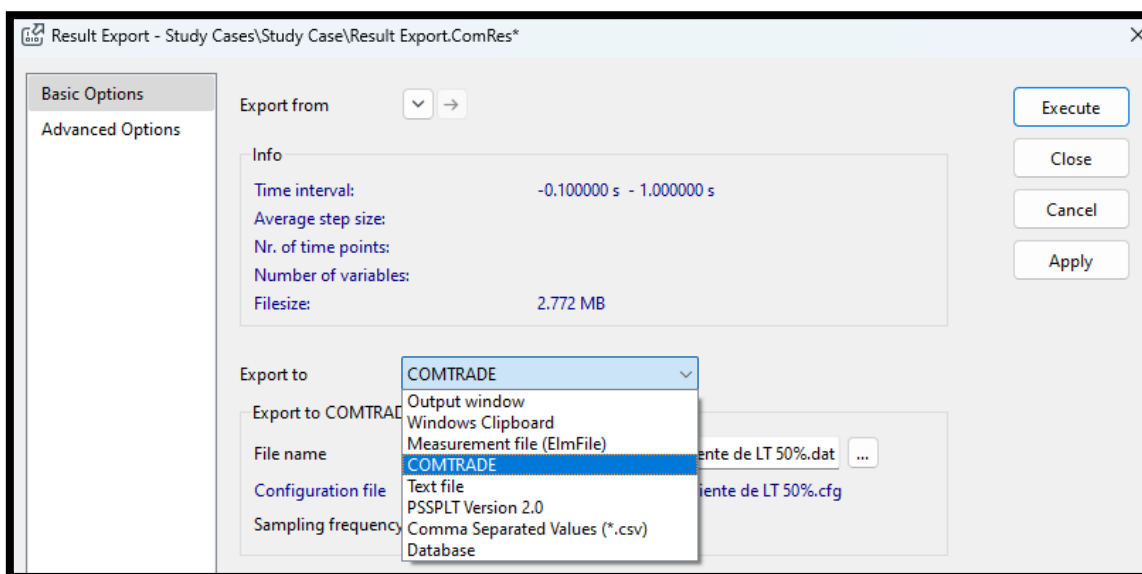


Figura 70. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla trifásica en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

4.6. Escenario 3: Corto 1 ϕ al 50% de la línea de transmisión.

En el Escenario 3 se simula una falla monofásica al 50% de la Línea de Transmisión con el fin de analizar el comportamiento del SEP bajo condiciones de cortocircuito y obtener

los valores de corriente correspondientes. Para llevar a cabo esta simulación y generar los archivos COMTRADE, se deben seguir los siguientes pasos:

4.6.1. Configuración de la Falla.

Se ingresa al módulo de simulación de fallas en Power Factory DIGSILENT 2021®, y se selecciona la Línea de Transmisión al 50% como el punto de falla y se configura el tipo de falla (por ejemplo, cortocircuito trifásico, bifásico, o monofásico), tal como se muestra en la figura 71.

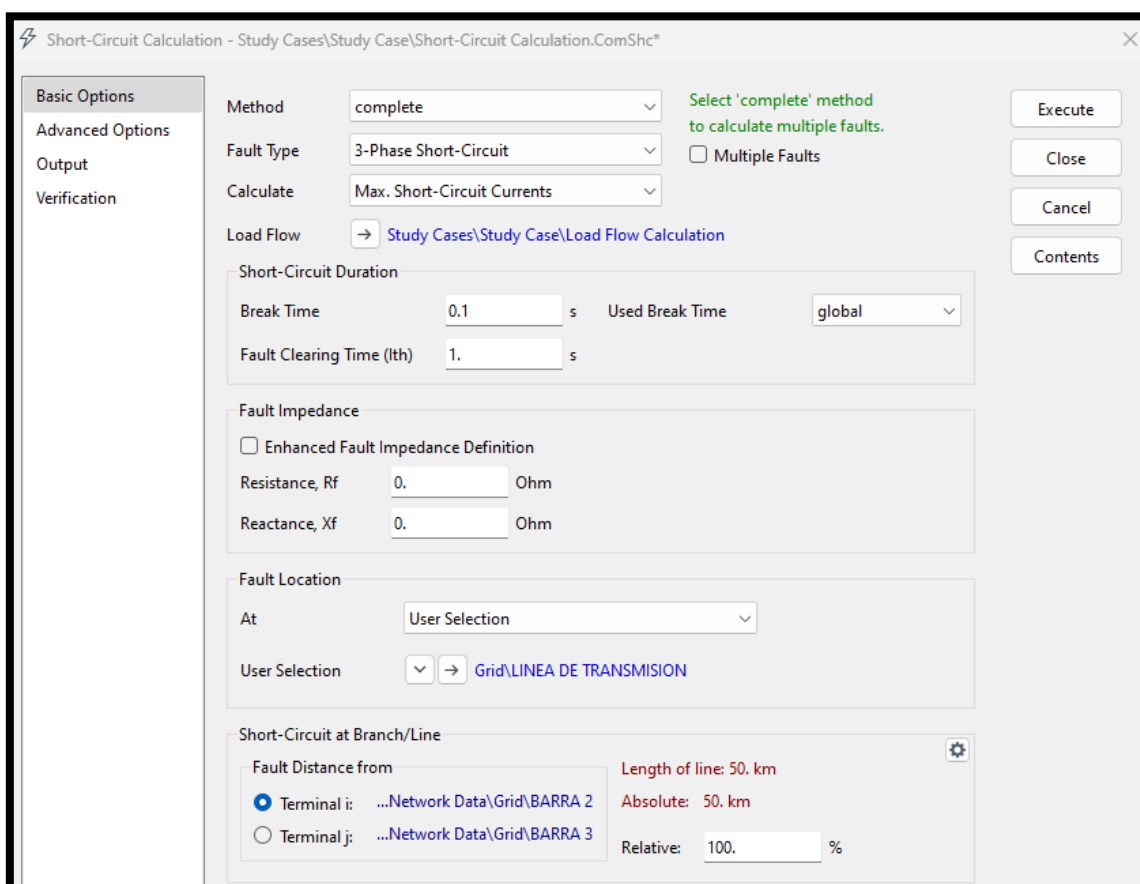


Figura 71. Configuración de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.6.2. Especificación de Parámetros de Falla.

Se define los parámetros específicos de la falla, como la duración del evento, la resistencia de la falla, y otros parámetros relevantes que puedan influir en los resultados de la simulación tal como se presenta en la figura 72.

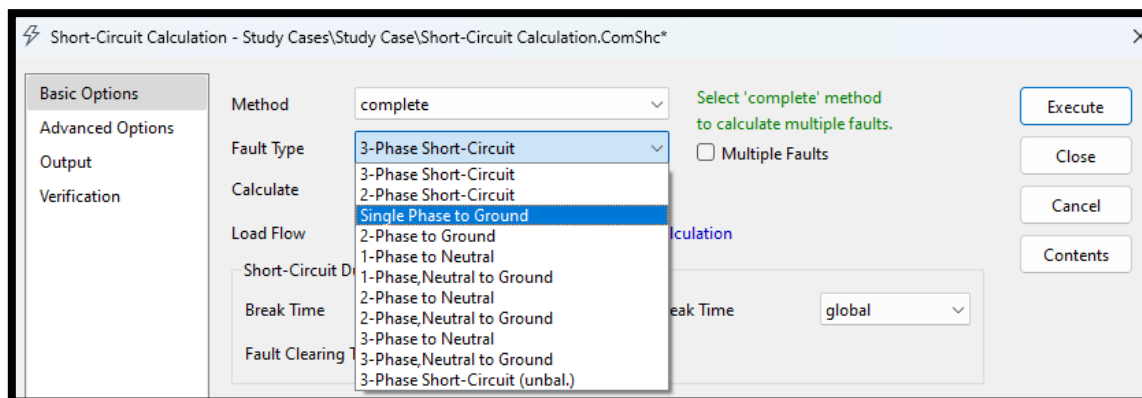


Figura 72. Especificación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.6.3. Ejecución de la Simulación.

Se procede a iniciar la simulación del escenario de falla. El software calculará los valores de corriente y otros parámetros eléctricos en todos los elementos del SEP afectados por la falla, tal como se muestra en la figura 73.

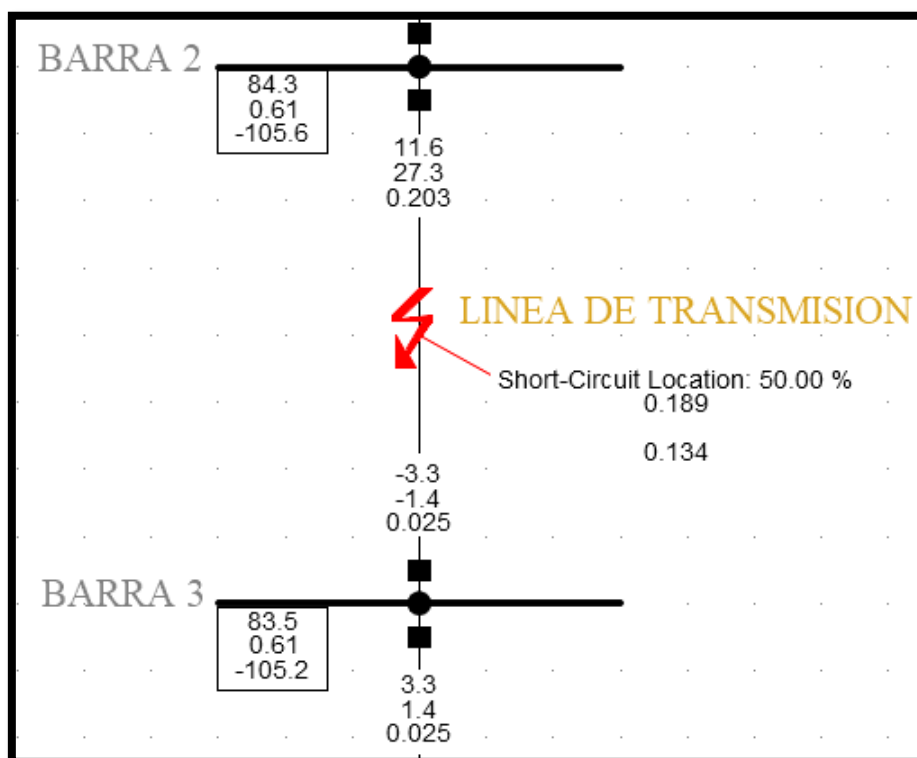


Figura 73. Simulación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.6.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.

Se debe confirmar que el sistema está configurado para registrar los datos de corriente durante la simulación, se debe establecer los registradores de eventos para capturar los valores instantáneos de corriente en las barras y líneas afectadas. Previamente se debe definir el cortocircuito tal como se presenta en la figura 74.

Short-Circuit Event - ...orto monofasico en linea de transmisión.EvtShc*

Out of Service

Execution Time

Absolute

hours 0 h

minutes 0 min

seconds 0. s

Object Grid\LÍNEA DE TRANSMISION

Fault Location 50.0 %

Fault Type Single Phase to Ground Fault

Phase a

Fault Impedance

Input Resistance, Reactance

Resistance 0. Ohm Reactance 0. Ohm

OK

Cancel

Figura 74. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.
Fuente: Los Autores.

Luego es necesario que entre las Barras 2 y 3 se agregue un transformador de corriente tal como se detalla en la figura 75.

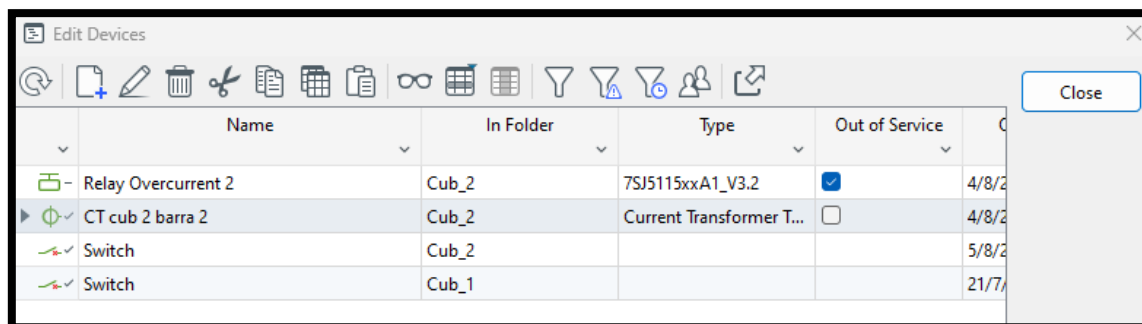


Figura 75. Ingreso del transformador de corriente entre las Barras 2 y 3.

Fuente: Los Autores.

Posterior al agregar el transformador de corriente, se procede a crear el evento de cortocircuito tal como se presenta en la figura 76.

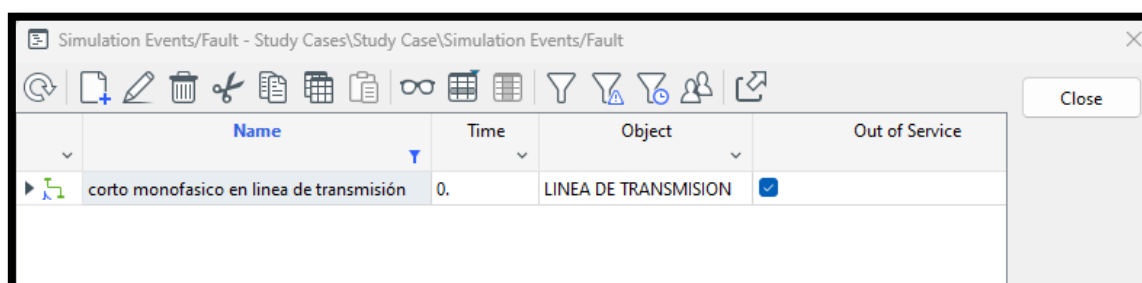


Figura 76. Simulación de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez se haya definido las variables se procede a realizar la simulación con los cálculos de las condiciones iniciales dando clic en ejecutar tal como se presenta en la figura 77.

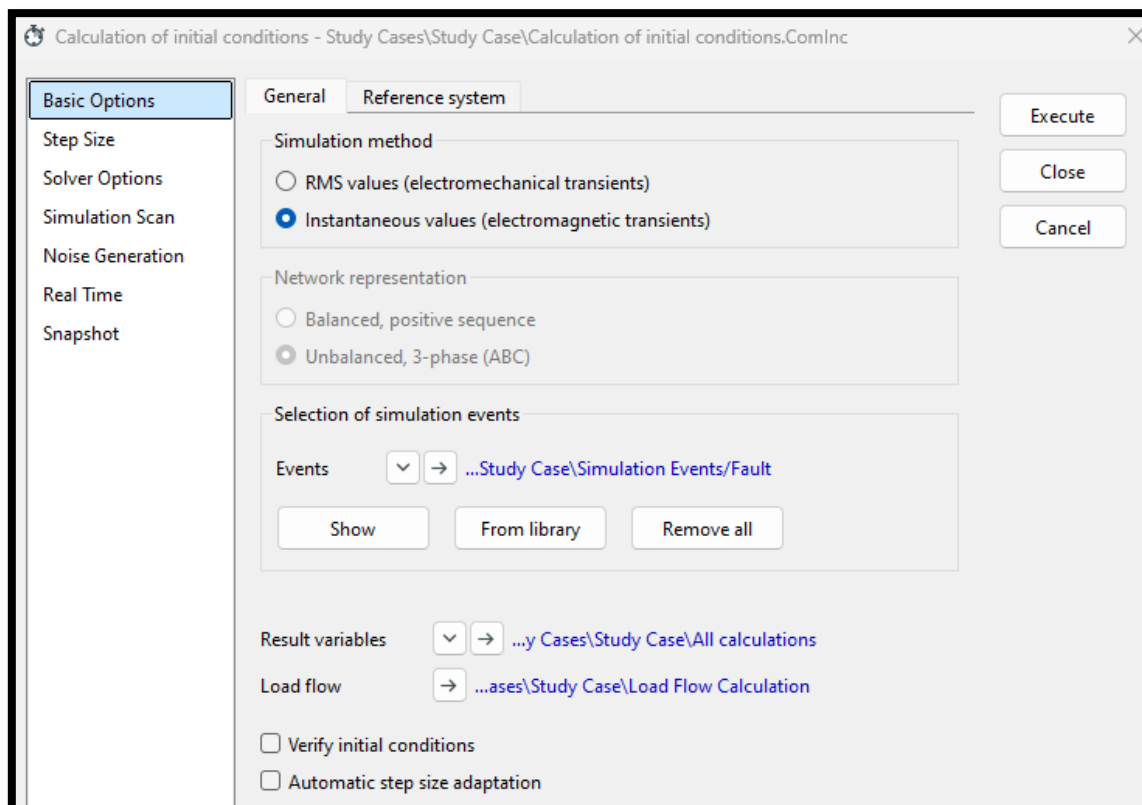


Figura 77. Ejecución del evento de falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la ejecución del evento se procede a generar los gráficos con la opción Curve Plot, tal como se presenta en la figura 78.

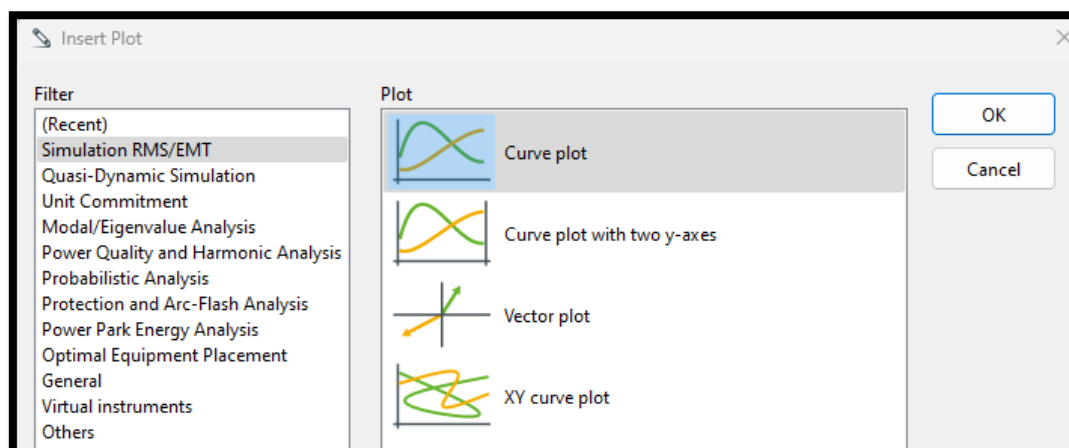


Figura 78. Registro de los gráficos de la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables que se desean graficar, se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de las curvas de corriente de las 3 fases {Fase A donde ocurre la falla monofásica}, y este comportamiento se presenta en la figura 79.

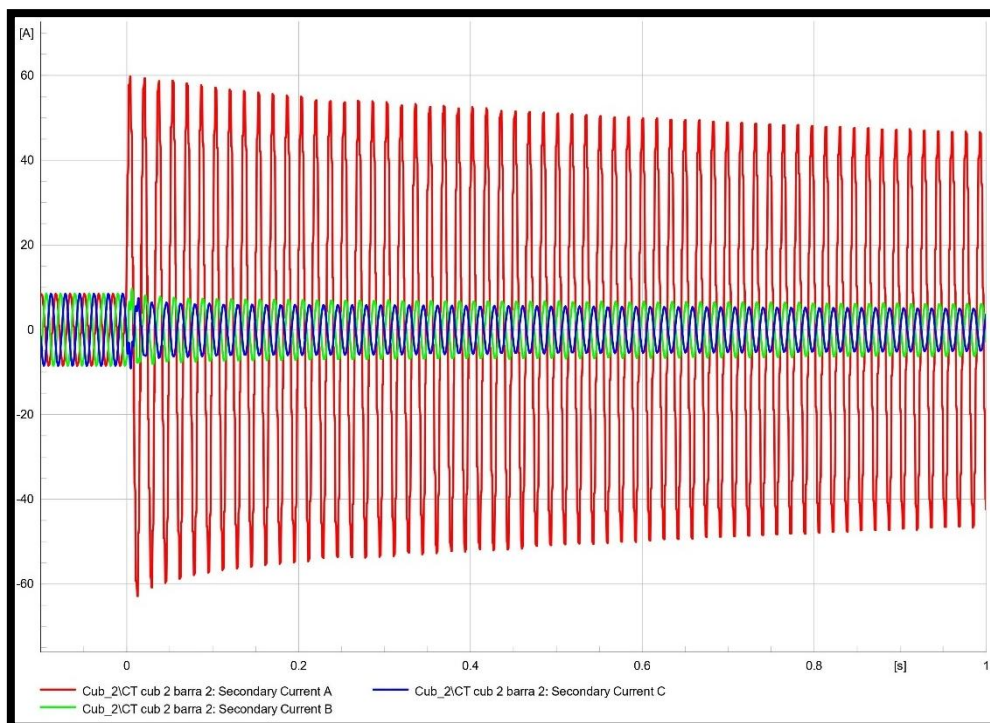


Figura 79. Curvas de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

4.6.5. Generación de Archivos COMTRADE.

Una vez finalizada la simulación, se procede a exportar los datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión, tal como se presenta en la figura 80.

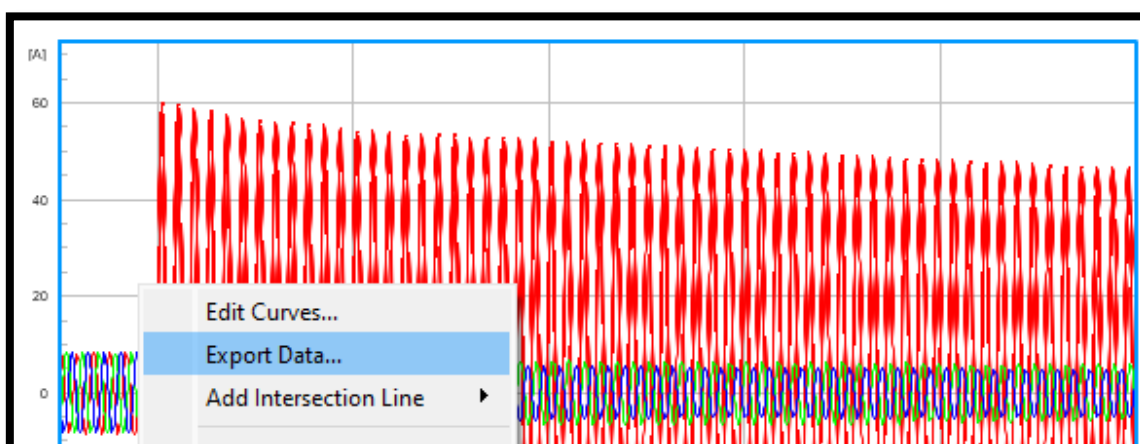


Figura 80. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión al 50%.

Fuente: Los Autores.

Una vez definido la exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión, se procede a seleccionar el formato que en este caso sería archivos COMTRADE, tal como se presenta en la figura 81.

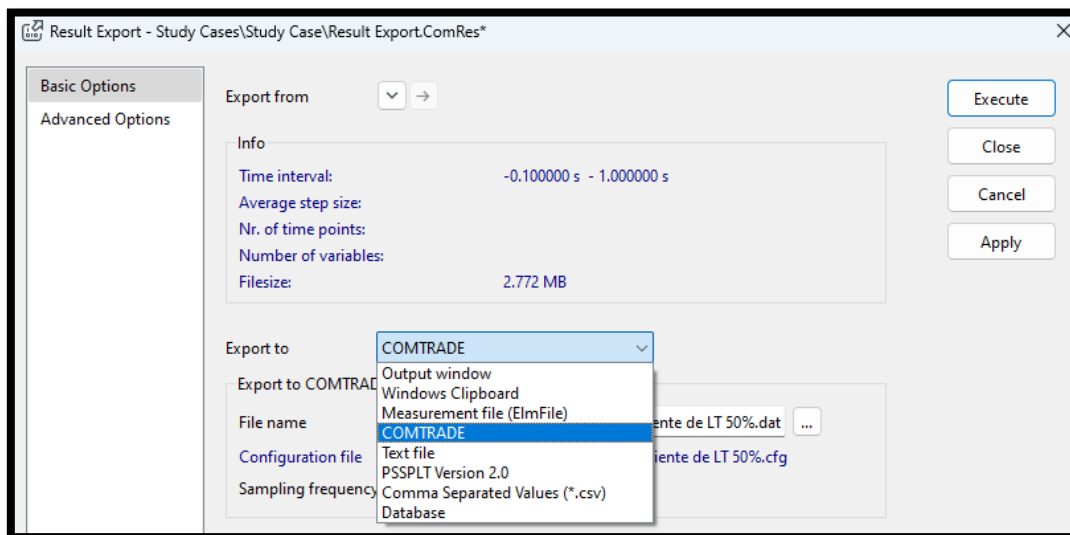


Figura 81. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

4.7. Escenario 4: Corto 3 ϕ en la barra 1 del generador.

En el Escenario 4 se simula una falla trifásica en la Barra 1 donde está el Generador con el fin de analizar el comportamiento del SEP bajo condiciones de cortocircuito y obtener los valores de corriente correspondientes. Para llevar a cabo esta simulación y generar los archivos COMTRADE, se deben seguir los siguientes pasos:

4.7.1. Configuración de la Falla.

Se ingresa al módulo de simulación de fallas en Power Factory DIgSILENT 2021®, y se selecciona el Generador ubicado en la Barra 1 como el punto de falla y se configura el tipo de falla (por ejemplo, cortocircuito trifásico, bifásico, o monofásico), tal como se muestra en la figura 82.

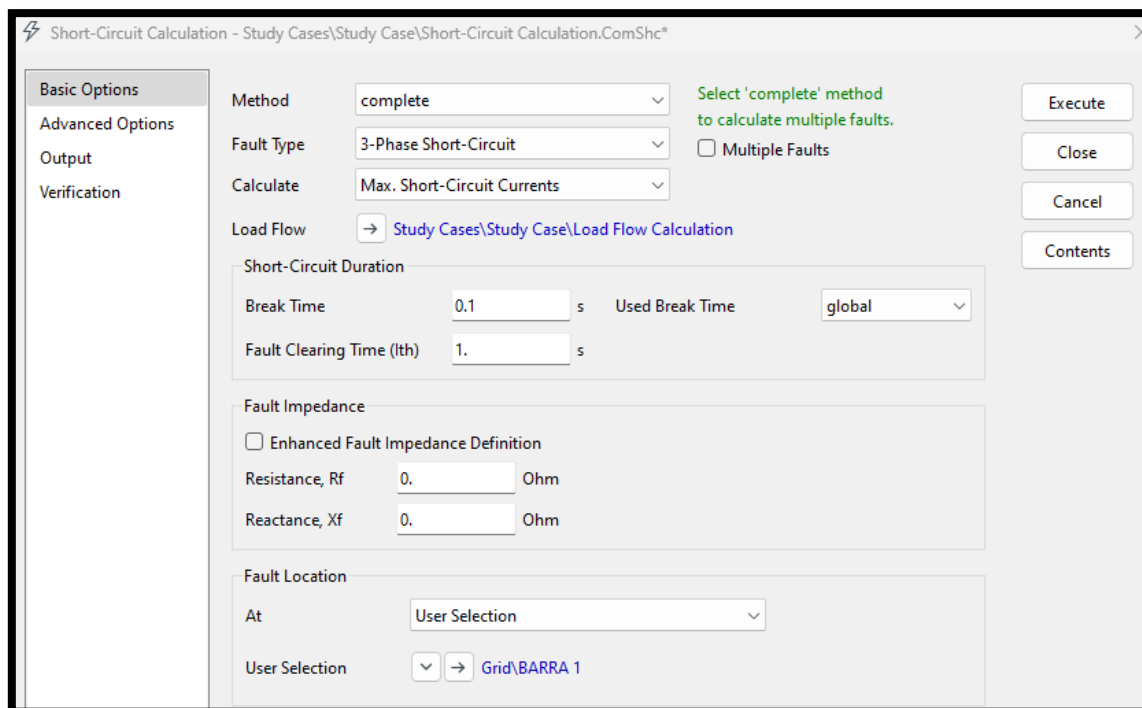


Figura 82. Configuración de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

4.7.2. Especificación de Parámetros de Falla.

Se define los parámetros específicos de la falla, como la duración del evento, la resistencia de la falla, y otros parámetros relevantes que puedan influir en los resultados de la simulación tal como se presenta en la figura 83.

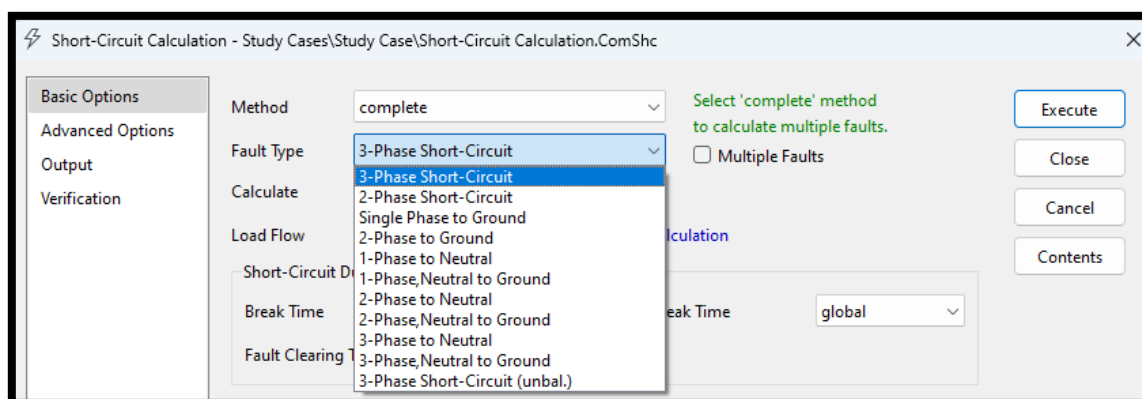


Figura 83. Especificación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

4.7.3. Ejecución de la Simulación.

Se procede a iniciar la simulación del escenario de falla. El software calculará los valores de corriente y otros parámetros eléctricos en todos los elementos del SEP afectados por la falla, tal como se muestra en la figura 84.

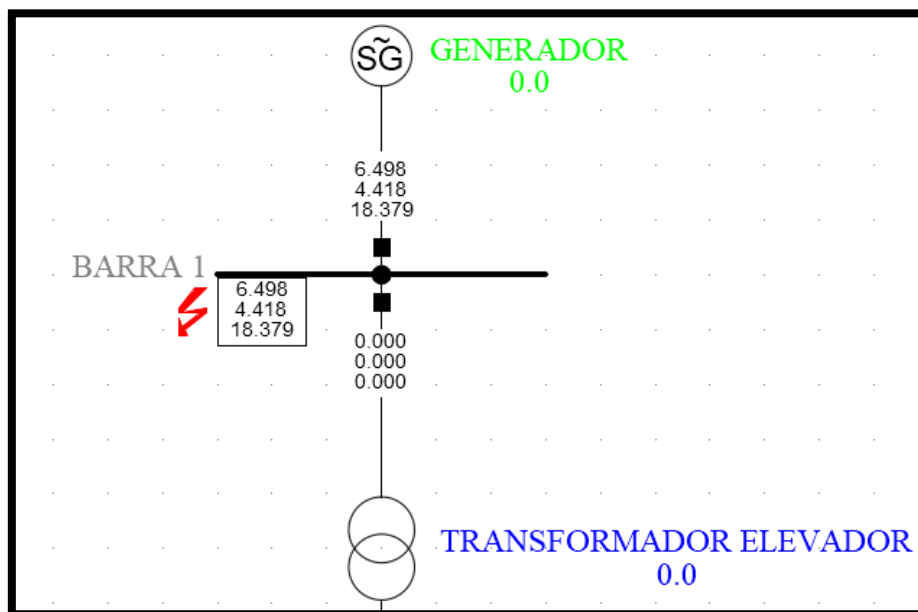


Figura 84. Simulación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

4.7.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.

Se debe confirmar que el sistema está configurado para registrar los datos de corriente durante la simulación, se debe establecer los registradores de eventos para capturar los valores instantáneos de corriente en las barras y líneas afectadas. Previamente se debe definir el cortocircuito tal como se presenta en la figura 85.

Short-Circuit Event - Short-Circuit Event.EvtShc

Out of Service

Execution Time

Absolute

hours: 0 h

minutes: 0 min

seconds: 0. s

Object: Grid\BARRA 1

Fault Type: 3-Phase Short-Circuit

Fault Impedance

Input: Resistance, Reactance

Resistance: 0. Ohm Reactance: 0. Ohm

OK

Cancel

Figura 85. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

Luego es necesario agregar un transformador de corriente antes de la Barra 1 tal como se detalla en la figura 86.

Name	Type	Out of Service
Relay Overcurrent 1	7SJ5115xxA1_V2	<input checked="" type="checkbox"/>
CT cub 1 barra 1	Current Transformer 1	<input type="checkbox"/>
Switch		<input type="checkbox"/>

Figura 86. Ingreso del transformador de corriente antes de la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

Posterior al agregar el transformador de corriente, se procede a crear el evento de cortocircuito tal como se presenta en la figura 87.

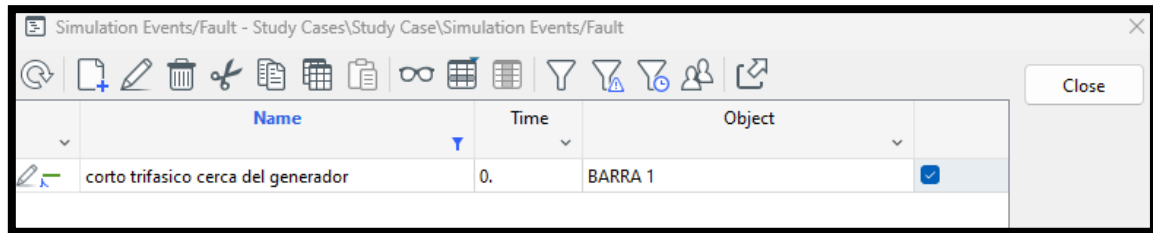


Figura 87. Simulación de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

Una vez se haya definido las variables se procede a realizar la simulación con los cálculos de las condiciones iniciales dando clic en ejecutar tal como se presenta en la figura 88.

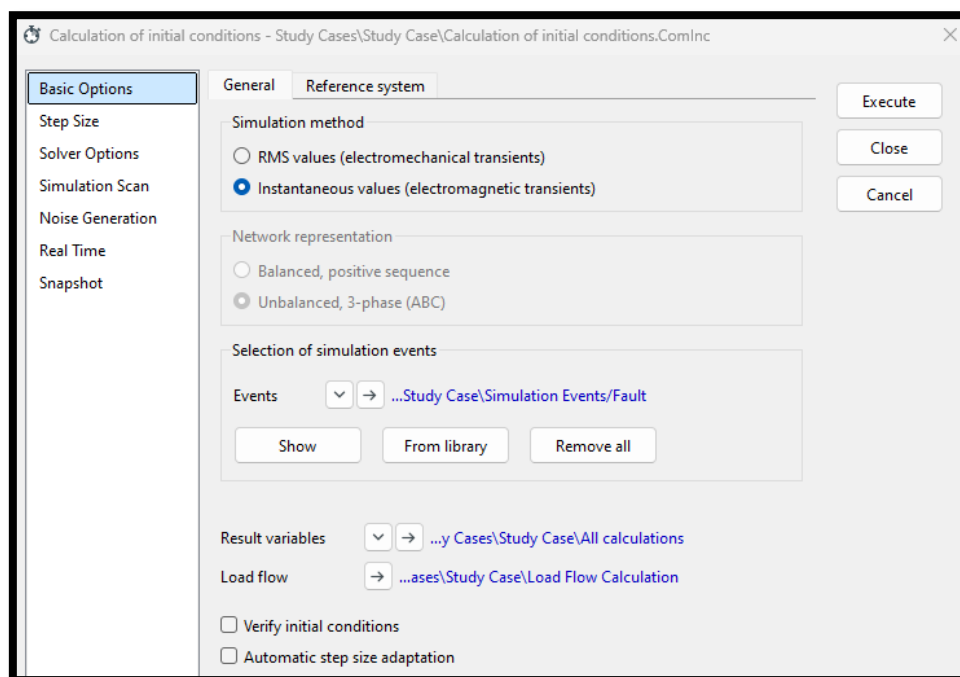


Figura 88. Ejecución del evento de falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.
Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la ejecución del evento se procede a generar los gráficos con la opción Curve Plot, tal como se presenta en la figura 89.

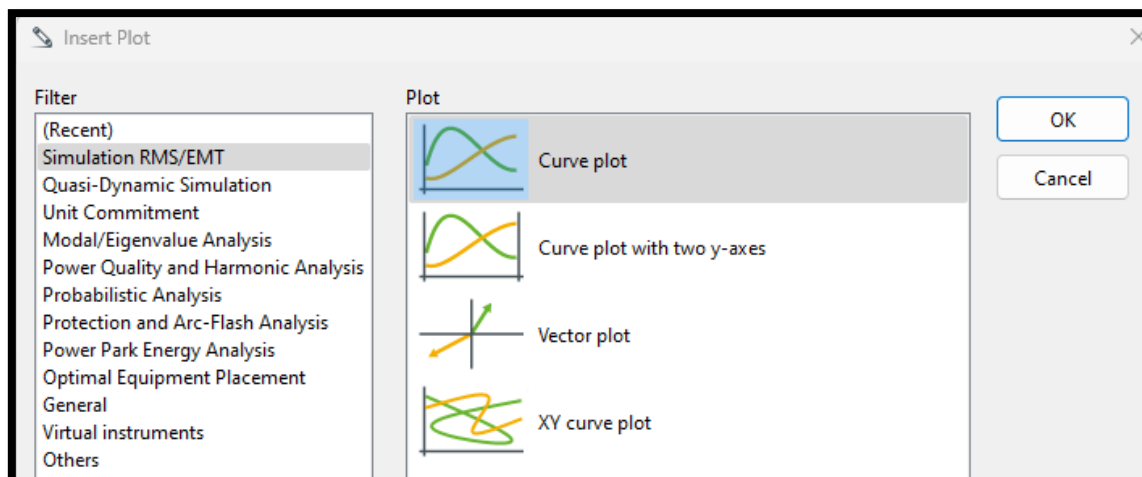


Figura 89. Registro de los gráficos de la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables que se desean graficar, se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de las curvas de corriente de las 3 fases, y este comportamiento se presenta en la figura 90.

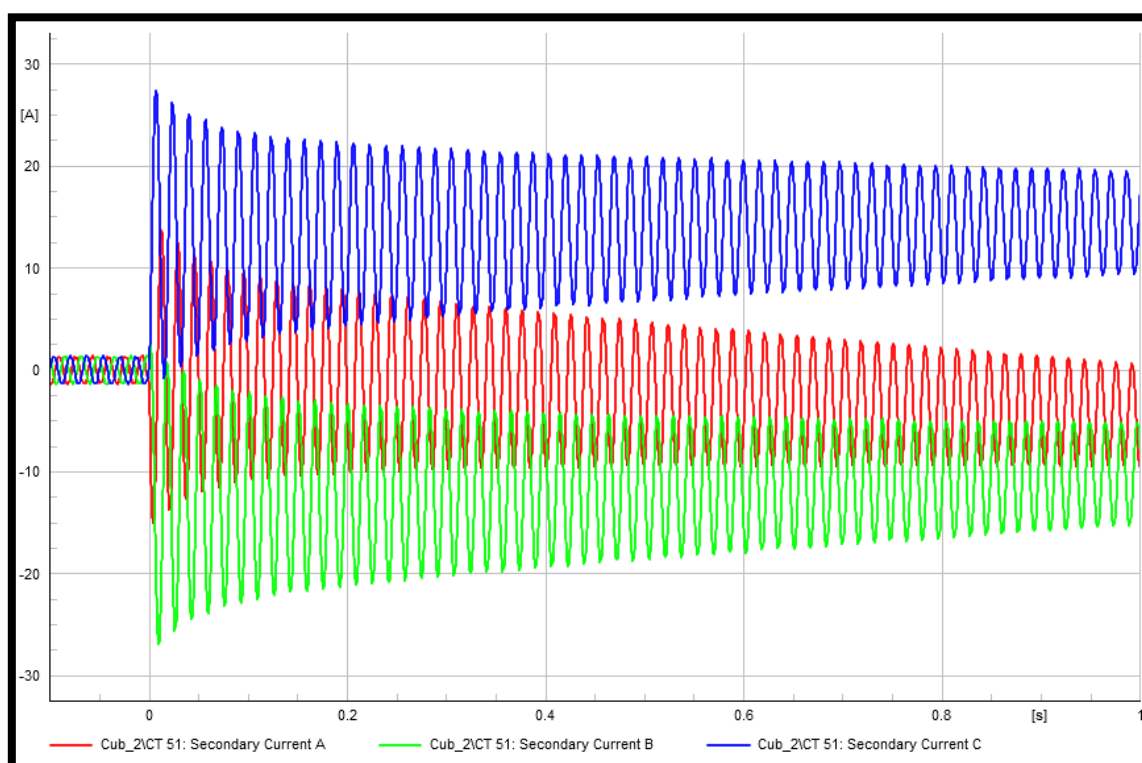


Figura 90. Curvas de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

4.7.5. Generación de Archivos COMTRADE.

Una vez finalizada la simulación, se procede a exportar los datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1, tal como se presenta en la figura 91.

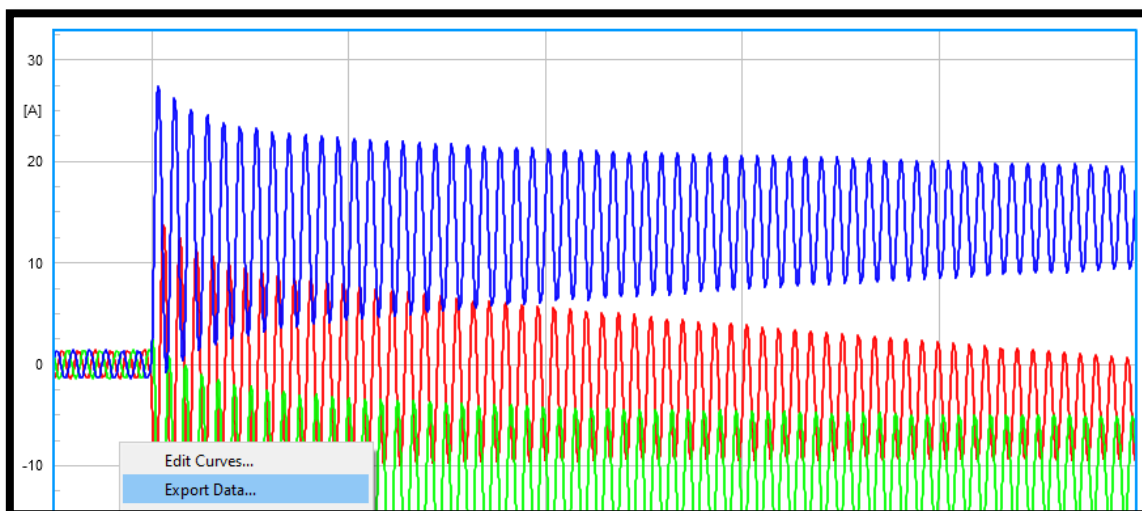


Figura 91. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

Una vez definido la exportación de datos de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1, se procede a seleccionar el formato que en este caso sería archivos COMTRADE, tal como se presenta en la figura 92.

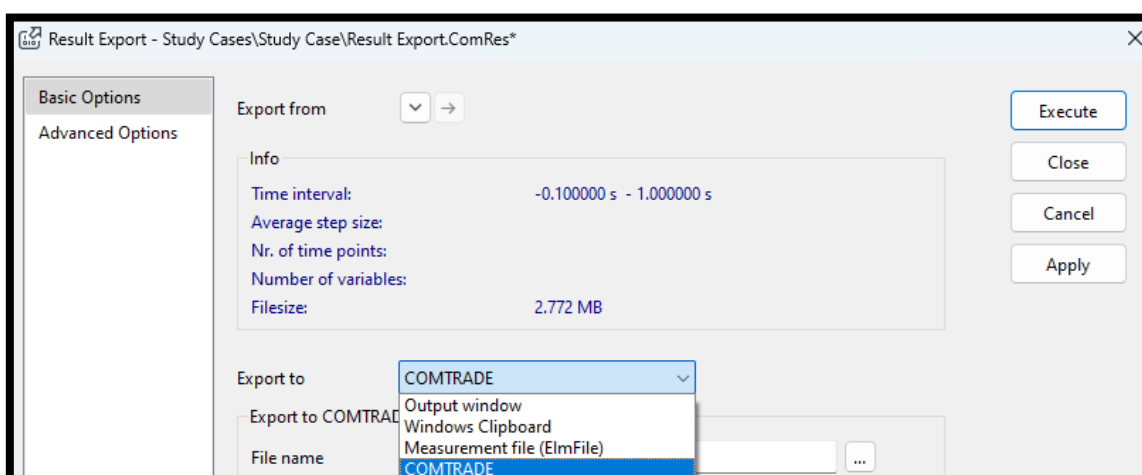


Figura 92. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla trifásica en el Generador ubicado en la Barra 1.

Fuente: Los Autores.

4.8. Escenario 5: Corto 1 ϕ en la barra de carga.

En el Escenario 5 se simula una falla monofásica en la Barra 4 donde está la carga con el fin de analizar el comportamiento del SEP bajo condiciones de cortocircuito y obtener los valores de corriente correspondientes. Para llevar a cabo esta simulación y generar los archivos COMTRADE, se deben seguir los siguientes pasos:

4.8.1. Configuración de la Falla.

Se ingresa al módulo de simulación de fallas en Power Factory DIgSILENT 2021®, y se selecciona la Barra 4 como el punto de falla y se configura el tipo de falla (por ejemplo, cortocircuito trifásico, bifásico, o monofásico), tal como se muestra en la figura 93.

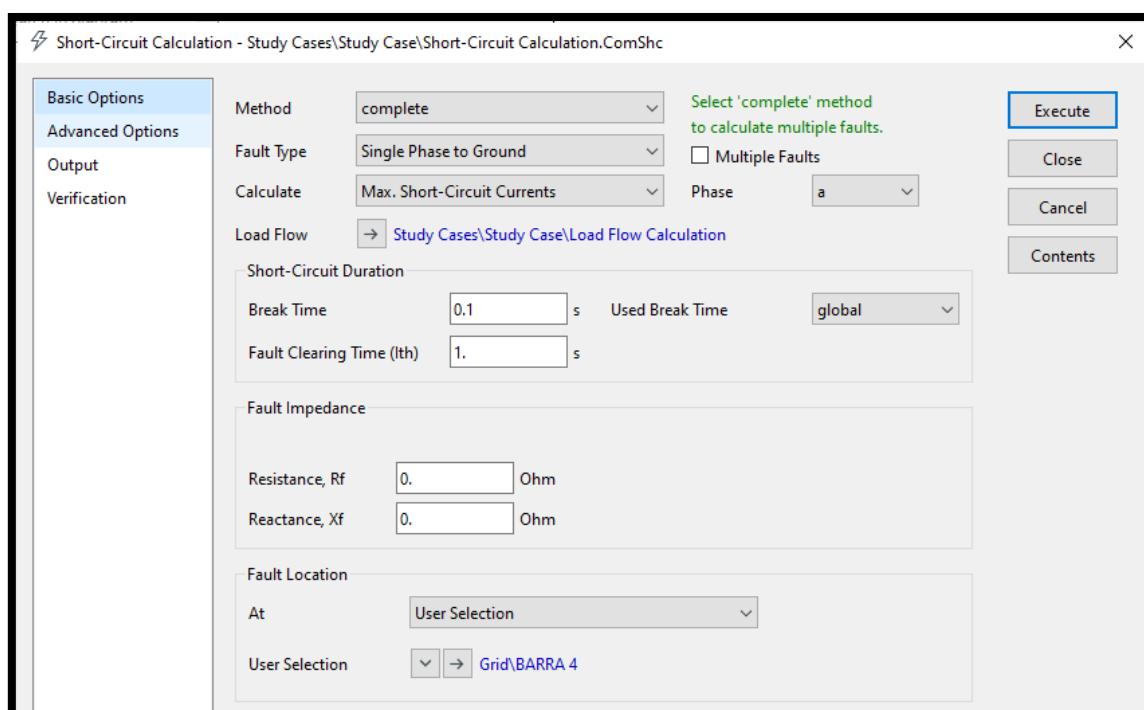


Figura 93. Configuración de la falla monofásica en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.8.2. Especificación de Parámetros de Falla.

Se define los parámetros específicos de la falla, como la duración del evento, la resistencia de la falla, y otros parámetros relevantes que puedan influir en los resultados de la simulación tal como se presenta en la figura 94.

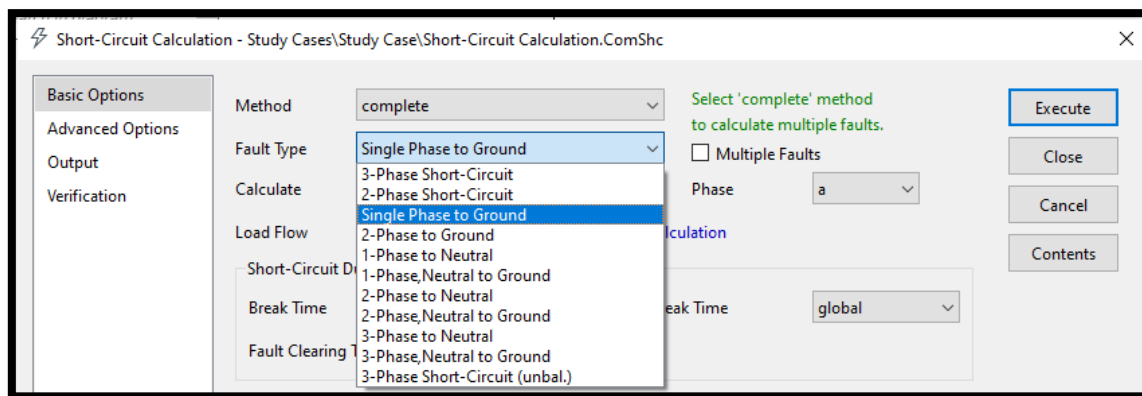


Figura 94. Especificación de la falla monofásica en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.8.3. Ejecución de la Simulación.

Se procede a iniciar la simulación del escenario de falla. El software calculará los valores de corriente y otros parámetros eléctricos en todos los elementos del SEP afectados por la falla, tal como se muestra en la figura 95.

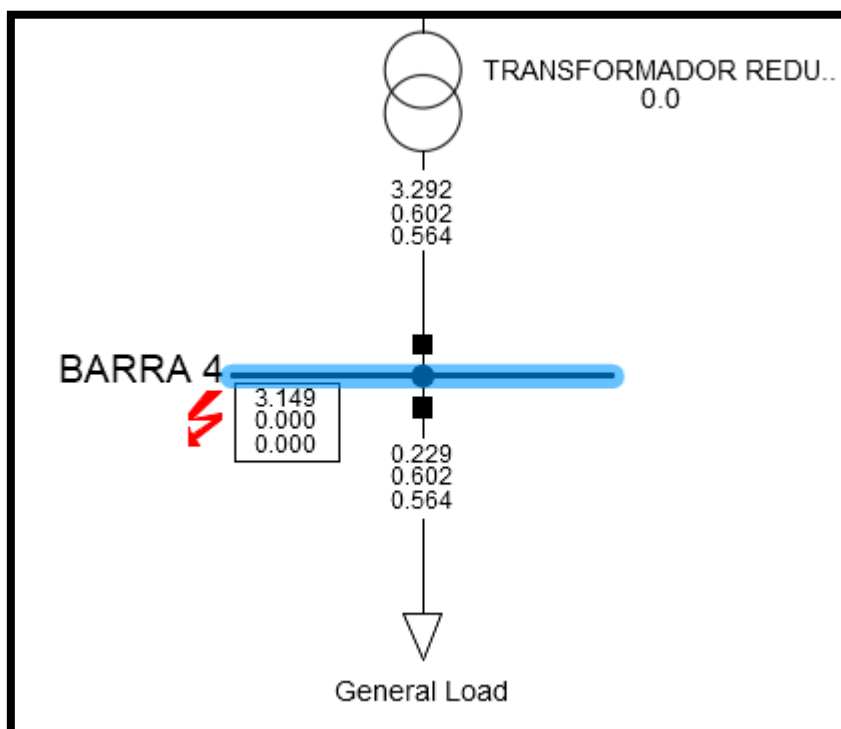


Figura 95. Simulación de la falla monofásica en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.8.4. Proceso del registro de datos para obtener archivos COMTRADE.

Se debe confirmar que el sistema está configurado para registrar los datos de corriente durante la simulación, se debe establecer los registradores de eventos para capturar los valores instantáneos de corriente en las barras y líneas afectadas. Previamente se debe definir el cortocircuito tal como se presenta en la figura 96.

Short-Circuit Event - Short-Circuit Event.EvtShc*

Out of Service

Execution Time

Absolute

hours h

minutes min

seconds s

Object Grid\BARRA 4

Fault Type v

Phase v

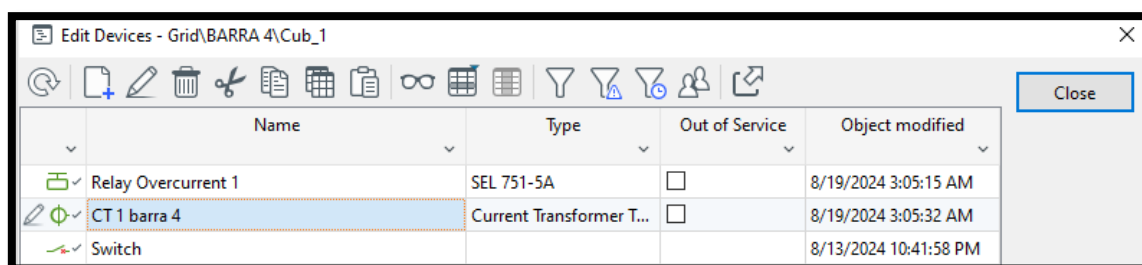
Fault Impedance

Input v

Resistance Ohm Reactance Ohm

Figura 96. Definir los tiempos del cortocircuito de la falla monofásica en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Luego es necesario agregar un transformador de corriente antes de la Barra 4 tal como se detalla en la figura 97.

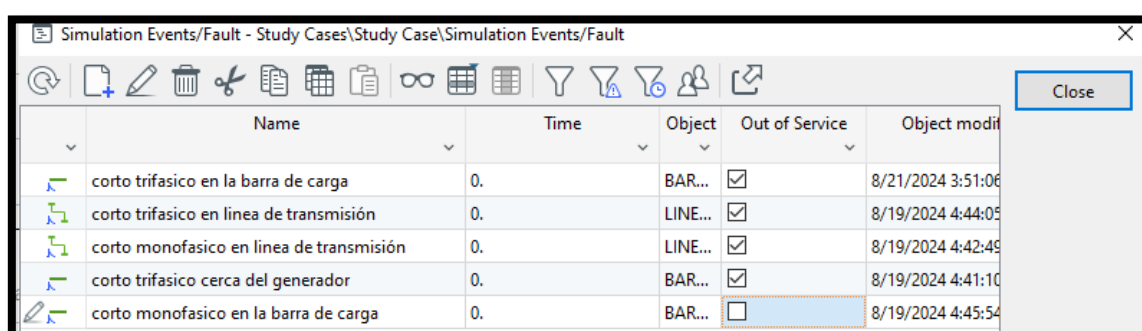


Name	Type	Out of Service	Object modified
Relay Overcurrent 1	SEL 751-5A	<input type="checkbox"/>	8/19/2024 3:05:15 AM
CT 1 barra 4	Current Transformer T...	<input type="checkbox"/>	8/19/2024 3:05:32 AM
Switch			8/13/2024 10:41:58 PM

Figura 97. Ingreso del transformador de corriente antes de la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Posterior al agregar el transformador de corriente, se procede a crear el evento de cortocircuito tal como se presenta en la figura 98.



Name	Time	Object	Out of Service	Object modified
corto trifasico en la barra de carga	0.	BAR...	<input checked="" type="checkbox"/>	8/21/2024 3:51:06
corto trifasico en linea de transmisi3n	0.	LINE...	<input checked="" type="checkbox"/>	8/19/2024 4:44:05
corto monofasico en linea de transmisi3n	0.	LINE...	<input checked="" type="checkbox"/>	8/19/2024 4:42:49
corto trifasico cerca del generador	0.	BAR...	<input checked="" type="checkbox"/>	8/19/2024 4:41:10
corto monofasico en la barra de carga	0.	BAR...	<input type="checkbox"/>	8/19/2024 4:45:54

Figura 98. Simulaci3n de la falla monof3sica en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

Una vez se haya definido las variables se procede a realizar la simulaci3n con los c3lculos de las condiciones iniciales dando clic en ejecutar tal como se presenta en la figura 99.

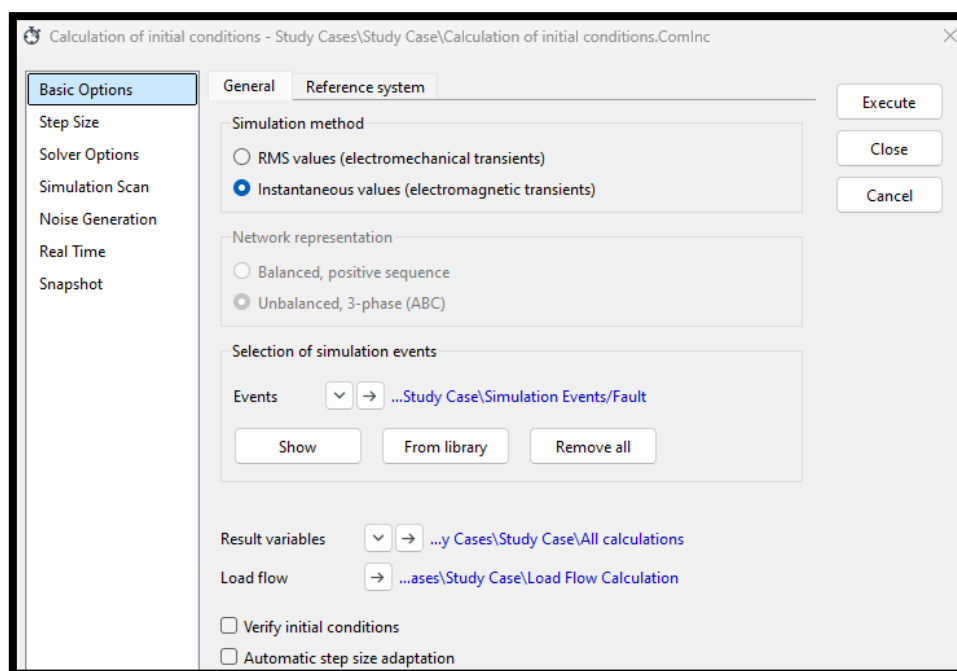


Figura 99. Ejecución del evento de falla monofásica en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la ejecución del evento se procede a generar los gráficos con la opción Curve Plot, tal como se presenta en la figura 100.

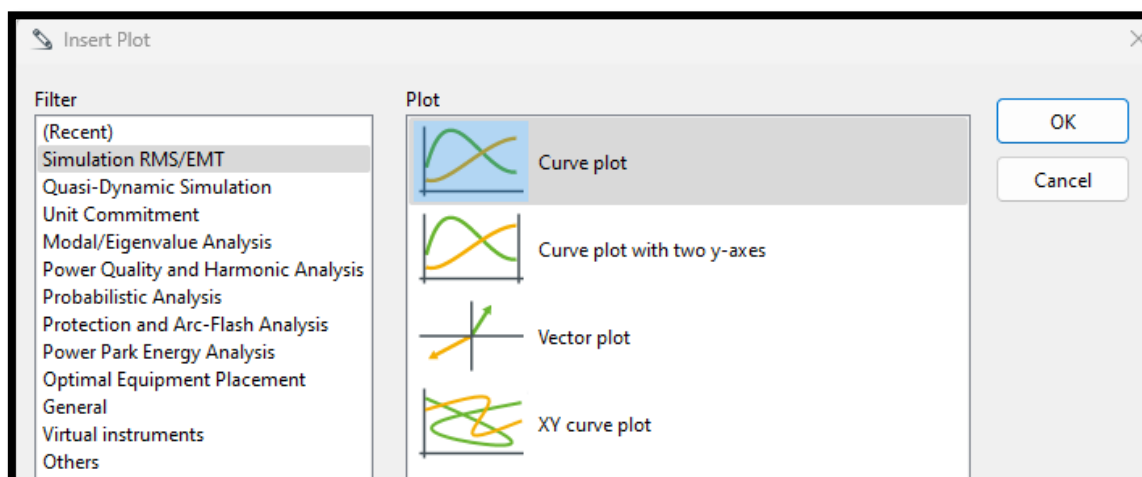


Figura 100. Registro de los gráficos de la falla monofásica en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Una vez agregadas las variables que se desean graficar, se procede a ejecutar para mostrar el comportamiento de las curvas de corriente de las 3 {Fase B donde ocurre la falla monofásica}, y este comportamiento se presenta en la figura 101.

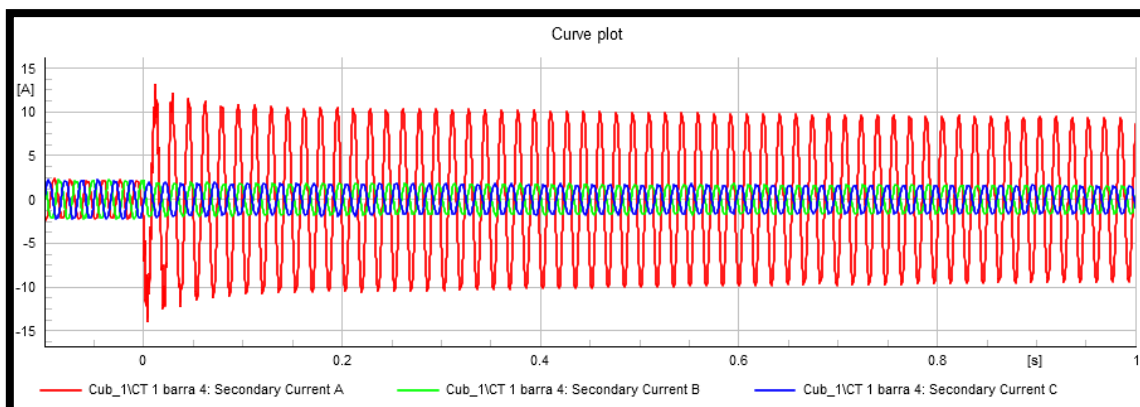


Figura 101. Curvas de las variables de corriente durante falla monofásica en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

4.8.5. Generación de Archivos COMTRADE.

Una vez finalizada la simulación, se procede a exportar los datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Barra 4, tal como se presenta en la figura 102.

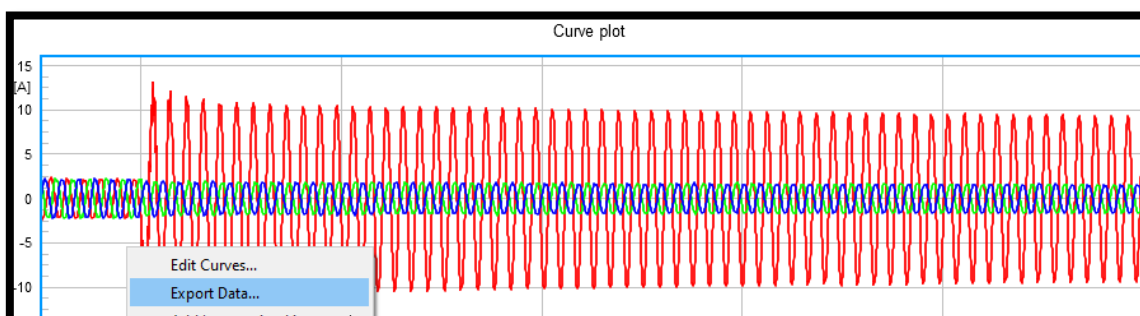


Figura 102. Exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásico en la Barra 4.
Fuente: Los Autores.

Una vez definido la exportación de datos de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Barra 4 se procede a seleccionar el formato que en este caso sería archivos COMTRADE, tal como se presenta en la figura 103.

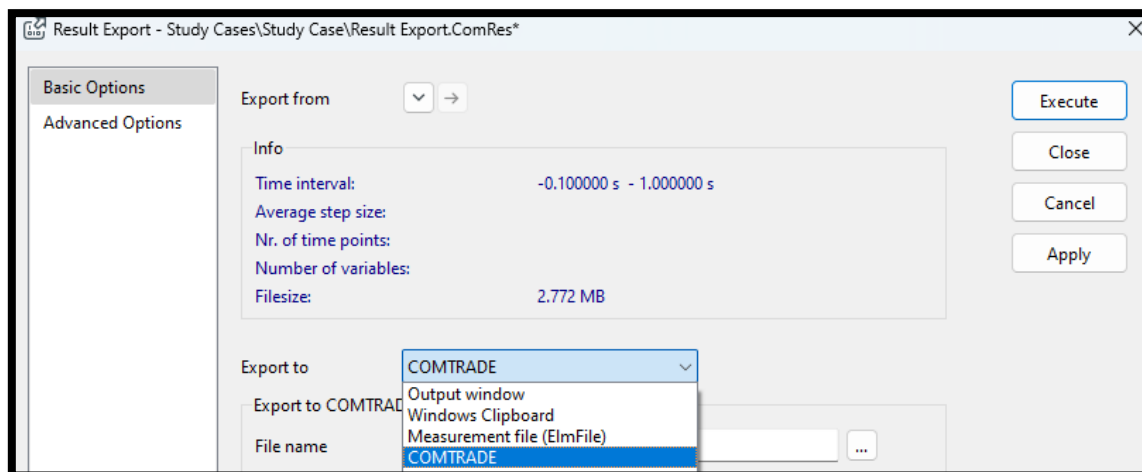


Figura 103. Exportación de datos en formato COMTRADE de las variables de corriente durante la falla monofásica en la Barra 4.

Fuente: Los Autores.

4.9. Curvas de protección generadas a partir de simulaciones en DIGSILENT

Las siguientes figuras muestran las curvas obtenidas durante la coordinación de protecciones, que fueron realizadas en el software Power Factory DIGSILENT.

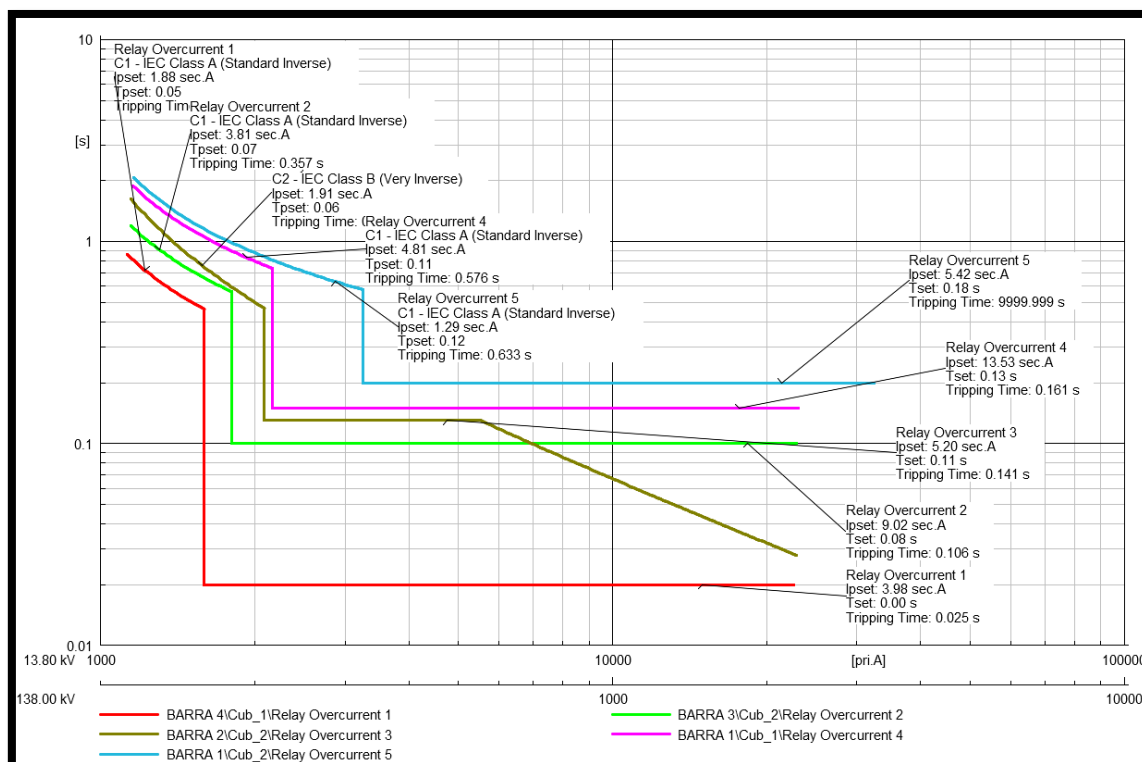


Figura 104. Coordinación de las protecciones 50 / 51P en el software DIGSILENT.

Fuente: Los Autores.

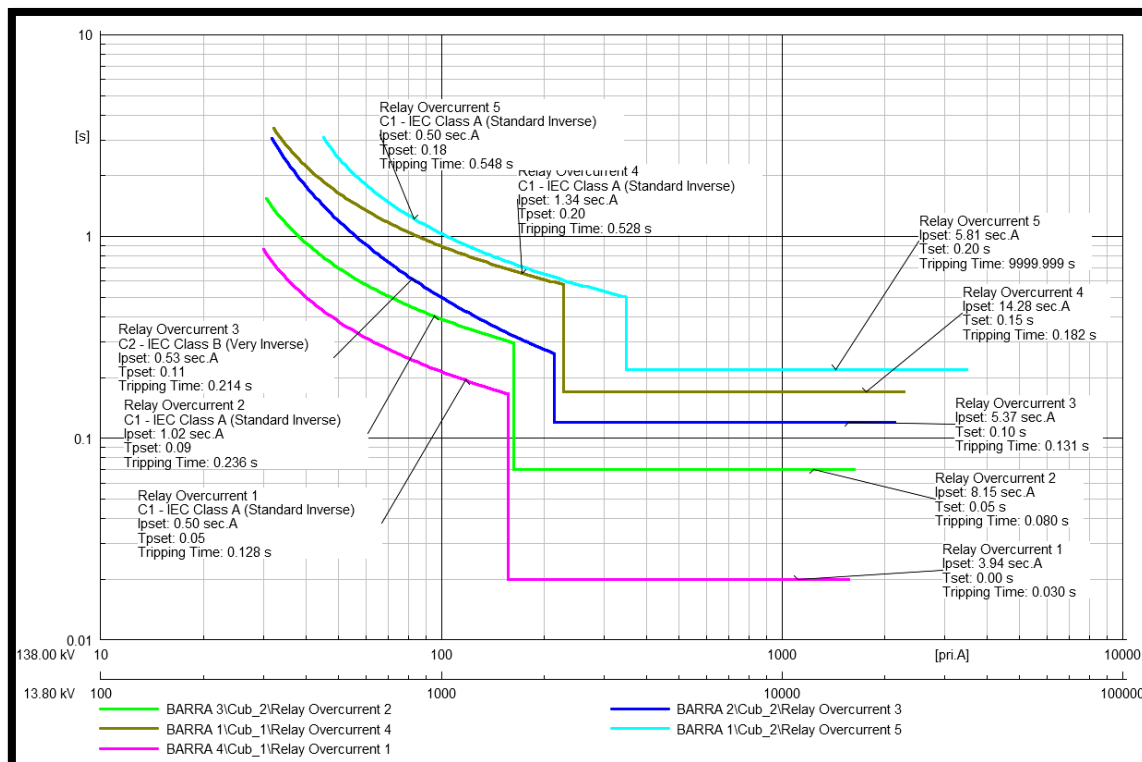


Figura 105. Coordinación de las protecciones 50 / 51N en el software DIGSILENT.

Fuente: Los Autores.

4.10. Cálculos para ajustes de los Relés.

Se llevan a cabo la realización de cálculos manuales para asegurar la correcta detección de fallas, minimizando el riesgo de disparos innecesarios y brindando protección a los equipos que conforman el S.E.P.

4.10.1. Parámetro 50P

La protección de sobrecorriente de fase máximo se ajusta al 50% de la corriente de cortocircuito trifásica asociada al elemento a proteger.

$$\text{Pick-up: } (0.5) * I_{\text{falla } 3\phi} * \frac{1}{RTC}$$

4.10.2. Parámetro 51P

La protección de sobrecorriente temporizada de fase máximo se ajusta al (125 – 200) % de la corriente nominal asociada al elemento a proteger.

$$\text{Pick-up: } (1.25) * I_{\text{nom}} * \frac{1}{RTC}$$

Time Dial: coordinado selectivamente con las protecciones aguas arriba.

4.10.3. Parámetro 50N

La protección de sobrecorriente de en el neutro se ajusta al 50% de la corriente de corto circuito monofásico asociada al elemento a proteger.

$$\text{Pick-up: } (0.5) * I_{falla\ 1\phi} * \frac{1}{RTC}$$

4.10.4. Parámetro 51N

La protección de sobrecorriente temporizada en el neutro se ajusta al (20 – 30) % de la corriente nominal asociada al elemento a proteger.

$$\text{Pick-up: } (0.30) * I_{nom} * \frac{1}{RTC}$$

Time Dial: coordinado selectivamente con las protecciones aguas arriba.

A continuación, se presentan los cálculos específicos para los ajustes de los parámetros de los relés de protección, aplicando las fórmulas previamente descritas. Estos cálculos permiten establecer los valores adecuados para cada uno de los ajustes, asegurando que los relés operen de manera óptima. A continuación, se detallan los resultados obtenidos para el

4.10.4.1. RELÉ 1.

$$50P > \text{Pick-up: } (0.5) * 3181 * \frac{1}{\frac{2000}{5}} = 3.98 \text{ A sec.}$$

$$50N > \text{Pick-up: } (0.5) * 3149 * \frac{1}{\frac{2000}{5}} = 3.94 \text{ A sec.}$$

$$51P > \text{Pick-up: } (1.25) * 601.6 * \frac{1}{\frac{2000}{5}} = 1.88 \text{ A sec.}$$

$$51N > \text{Pick-up: } (0.30) * 666.6 * \frac{1}{\frac{2000}{5}} = 0.5 \text{ A sec.}$$

4.10.4.2. RELÉ 2.

$$50P > \text{Pick-up: } (0.5) * 360.8 * \frac{1}{\frac{100}{5}} = 9.02 \text{ A sec.}$$

$$50N > \text{Pick-up: } (0.5) * 326 * \frac{1}{\frac{100}{5}} = 8.15 \text{ A sec.}$$

$$51P > \text{Pick-up: } (1.25) * 60.9 * \frac{1}{\frac{100}{5}} = 3.81 \text{ A sec.}$$

$$51N > \text{Pick-up: } (0.30) * 68 * \frac{1}{\frac{100}{5}} = 1.02 \text{ A sec.}$$

4.10.4.3. RELÉ 3.

$$50P > \text{Pick-up: } (0.5) * 416 * \frac{1}{\frac{200}{5}} = 5.2 \text{ A sec.}$$

$$50N > \text{Pick-up: } (0.5) * 429.6 * \frac{1}{\frac{200}{5}} = 5.37 \text{ A sec.}$$

$$51P > \text{Pick-up: } (1.25) * 61.1 * \frac{1}{\frac{200}{5}} = 1.91 \text{ A sec.}$$

$$51N > \text{Pick-up: } (0.30) * 70.6 * \frac{1}{\frac{200}{5}} = 0.53 \text{ A sec.}$$

4.10.4.4. RELÉ 4.

$$50P > \text{Pick-up: } (0.5) * 4329.6 * \frac{1}{\frac{800}{5}} = 13.53 \text{ A sec.}$$

$$50N > \text{Pick-up: } (0.5) * 4569.6 * \frac{1}{\frac{800}{5}} = 14.28 \text{ A sec.}$$

$$51P > \text{Pick-up: } (1.25) * 615.6 * \frac{1}{\frac{800}{5}} = 4.81 \text{ A sec.}$$

$$51N > \text{Pick-up: } (0.30) * 714.6 * \frac{1}{\frac{800}{5}} = 1.34 \text{ A sec.}$$

4.10.4.5. RELÉ 5.

$$50P > \text{Pick-up: } (0.5) * 6504 * \frac{1}{\frac{3000}{5}} = 5.42 \text{ A sec.}$$

$$50N > \text{Pick-up: } (0.5) * 6972 * \frac{1}{\frac{3000}{5}} = 5.81 \text{ A sec.}$$

$$51P > \text{Pick-up: } (1.25) * 619.2 * \frac{1}{\frac{3000}{5}} = 1.29 \text{ A sec.}$$

$$51N > \text{Pick-up: } (0.30) * 1000 * \frac{1}{\frac{3000}{5}} = 0.5 \text{ A sec.}$$

Nota: cabe mencionar que se sobredimensionaron los CT's 1, 3 y 5 debido a que estos están incluidos en nuestro tema de estudio e influyen directamente en las corrientes secundarias que se inyectan en la caja omicron CMC 356, con el objetivo de inyectar corriente de manera segura, no mas alla de los 30 amperios.

PROTECCION DE SOBRECORRIENTES 50 / 51					
PROTECCION 51P					
	Relay Overcurrent 1	Relay Overcurrent 2	Relay Overcurrent 3	Relay Overcurrent 4	Relay Overcurrent 5
TC	2000/5	100/5	200/5	800/5	3000/5
I pick up	PRI(752), SEC(1.88)	PRI(76.2), SEC(3.81)	PRI(76.4), SEC(1.91)	PRI(769.6), SEC(4.81)	PRI(774), SEC(1.29)
Time Dial	0.05	0.07	0.06	0.11	0.12
Curve	C1 IEC (estándar inverse)	C1 IEC (estándar inverse)	C2 IEC (very inverse)	C1 IEC (estándar inverse)	C1 IEC (estándar inverse)
PROTECCION 50P					
I pick up	PRI(1592), SEC(3.98)	PRI(163), SEC(8.15)	PRI(208), SEC(5.20)	PRI(2164.8), SEC(13.53)	PRI(3252), SEC(5.42)
Delay	0	0.05	0.1	0.15	0.2
PROTECCION 51N					
I pick up	PRI(200), SEC(0.5)	PRI(20.4), SEC(1.02)	PRI(21.2), SEC(0.53)	PRI(214.4), SEC(1.34)	PRI(300), SEC(0.5)
Time Dial	0.05	0.09	0.11	0.2	0.18
Curve	C1 IEC (estándar inverse)	C1 IEC (estándar inverse)	C2 IEC (very inverse)	C1 IEC (estándar inverse)	C1 IEC (estándar inverse)
PROTECCION 50N					
I pick up	PRI(1576), SEC(3.94)	PRI(163), SEC(8.15)	PRI(214.8), SEC(5.37)	PRI(2284.8), SEC(14.28)	PRI(3486), SEC(5.81)
Delay	0	0.05	0.1	0.15	0.2

Figura 106. Ajustes de la protección 50 / 51.

Fuente: Los Autores.

4.11. Configuración de los Relés con el Software AcSELerator®.

Para garantizar una respuesta efectiva del sistema de protección ante los diferentes escenarios de cortocircuito planteados, se ha procedido a la configuración detallada de los relés de protección utilizando el software AcSELerator®. Este software es una herramienta avanzada que permite la parametrización y ajuste preciso de los relés de protección fabricados por SEL (Schweitzer Engineering Laboratories). En este estudio, se han configurado tres relés principales: el Relé 5, encargado de la protección de la barra 1 a la salida del generador; el Relé 3, asignado a la protección de la línea de transmisión; y el Relé 1, que protege la Barra 4, la carga final en. Cada uno de estos relés ha sido ajustado para operar bajo las condiciones específicas de cortocircuito previstas en el sistema eléctrico de potencia (SEP) modelado.

Durante la configuración, se establecieron los parámetros de ajuste, tales como los valores de corriente de disparo, tiempo de operación, y las curvas de tiempo-inverso según las características de cada relé. El Relé 1 se configuró para responder rápidamente a cualquier anomalía en la salida del generador, garantizando que cualquier exceso de corriente sea aislado antes de causar daño significativo. El Relé 3 fue ajustado para proteger la línea de transmisión, asegurando que cualquier falla en la línea sea detectada y aislada con precisión, minimizando así las interrupciones en el sistema. Por último, el Relé 5 fue configurado para proteger la carga final en la Barra 4, asegurando una desconexión rápida y efectiva en caso de un cortocircuito que pueda comprometer la estabilidad de la carga conectada. Estos relés configurados en AcSELErator® serán fundamentales para validar la precisión y efectividad de los sistemas de protección del SEP modelado durante las simulaciones de fallas, y para garantizar que los archivos COMTRADE generados reflejen fielmente las condiciones de operación del sistema bajo análisis.

4.11.1. Configuración del Relé N°1.

El Relé N°1 está configurado para proteger la salida del generador de 30 MVA. Este relé ha sido ajustado para detectar corrientes de falla que superen los niveles normales de operación del generador. Se han configurado los parámetros de corriente de disparo y el tiempo de retardo para asegurar una desconexión rápida en caso de sobrecargas o cortocircuitos, minimizando el riesgo de daños al generador y asegurando la estabilidad del sistema. Se procede a configurar los parámetros del Relé N°1.

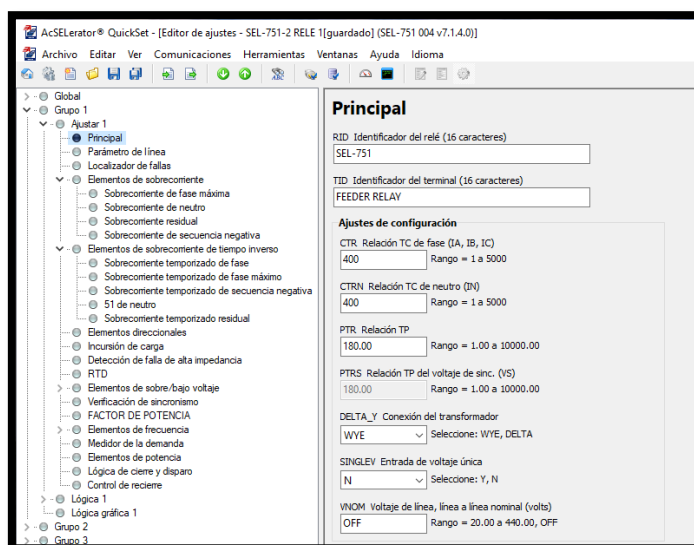


Figura 107. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°1.

Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 50P del Relé N°1.

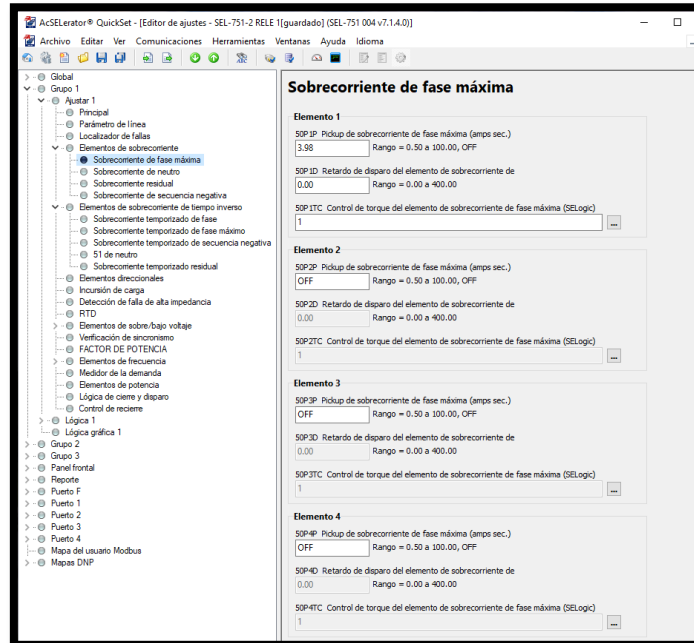


Figura 108. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°1.

Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 50N del Relé N°1.

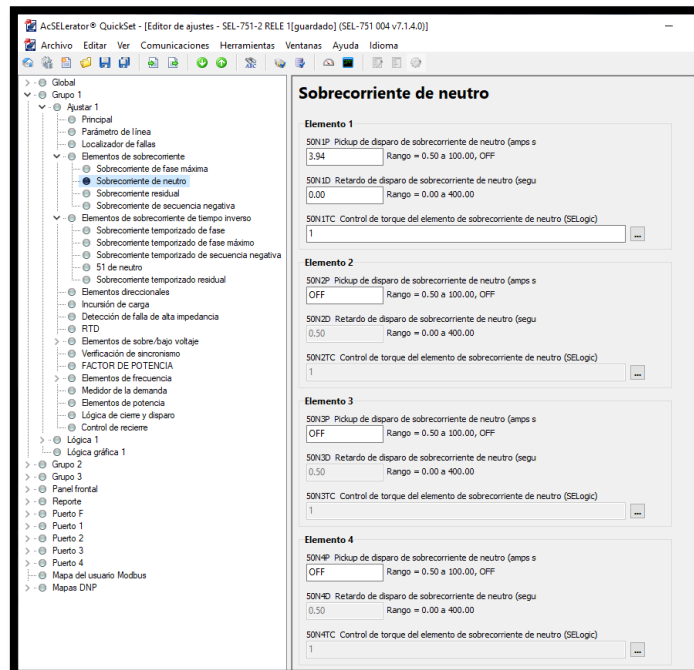


Figura 109. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°1.

Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 51P del Relé N°1.

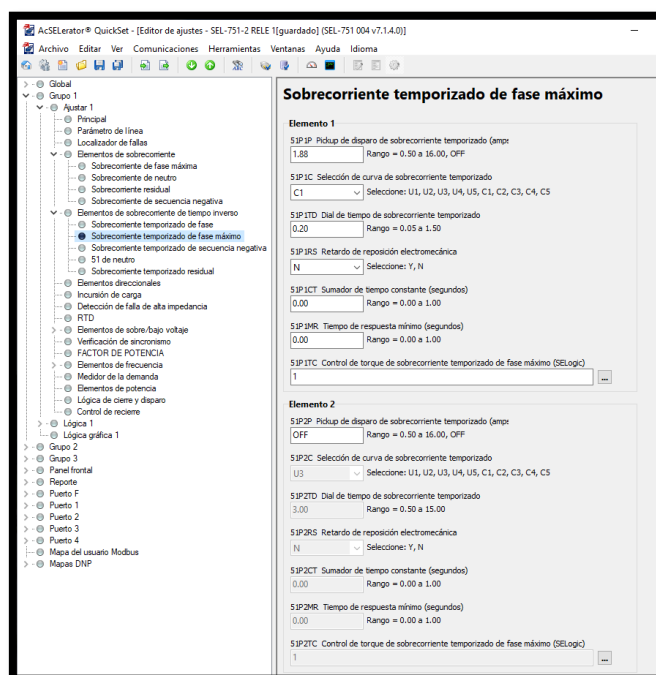


Figura 110. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°1.

Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 51N del Relé N°1.

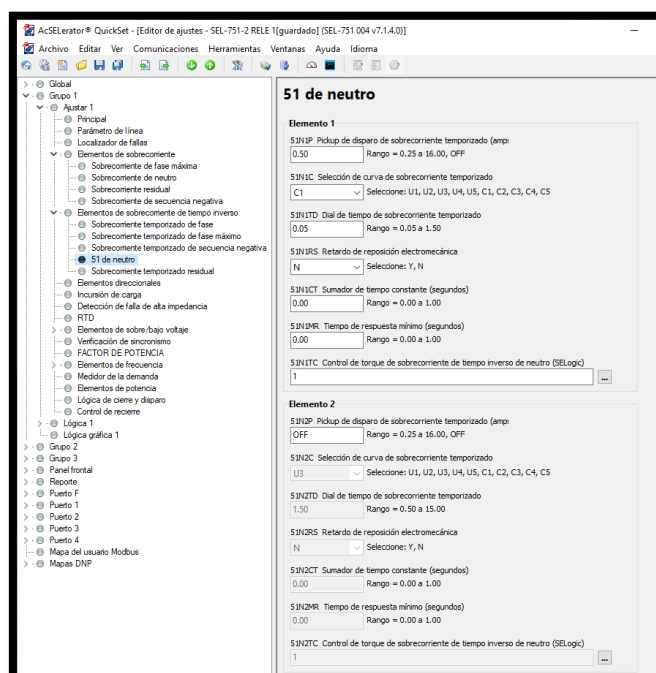


Figura 111. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°1.

Fuente: Los Autores.

4.11.2. Configuración del Relé N°3.

El Relé N°3 se encarga de la protección de la línea de transmisión que conecta la Barra 2 con la Barra 3. Este relé ha sido configurado para responder a fallas en la línea, como cortocircuitos trifásicos o monofásicos. Los ajustes incluyen la sensibilidad a las corrientes de falla y las curvas de tiempo-inverso, para garantizar que cualquier falla en la línea sea detectada y aislada rápidamente, evitando mayores daños o interrupciones en el sistema.

Se procede a configurar los parámetros del Relé N°3 tal como se demuestra en la siguiente figura.

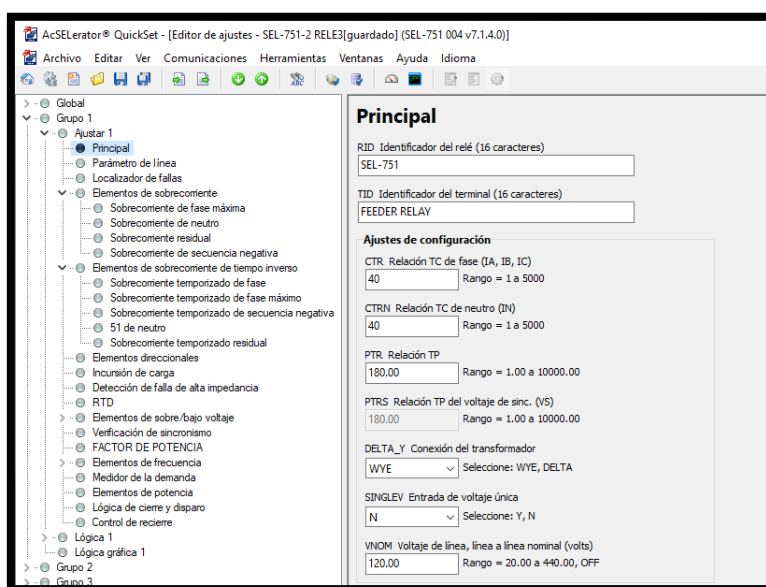


Figura 112. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°3.

Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 50P del Relé N°3.

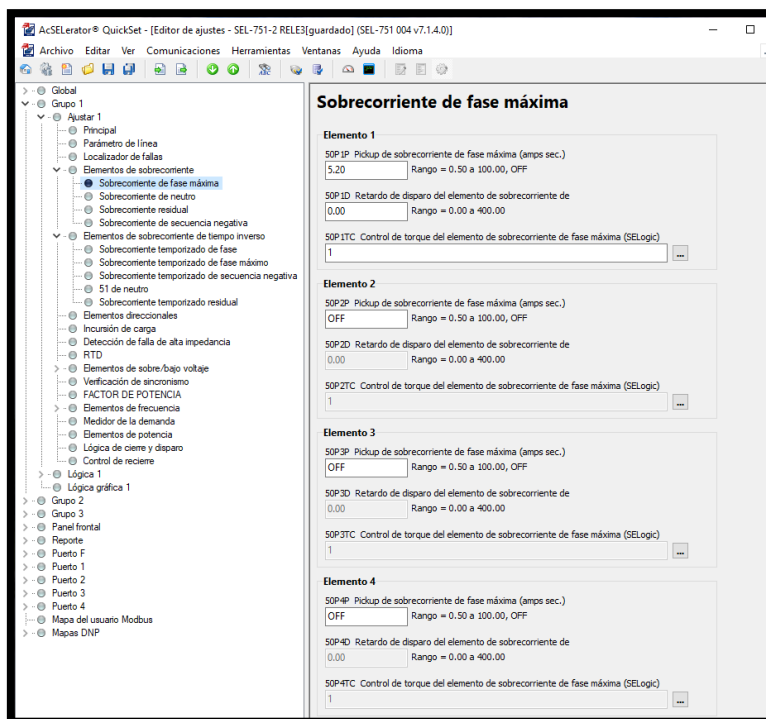


Figura 113. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°3.
Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 50N del Relé N°3.

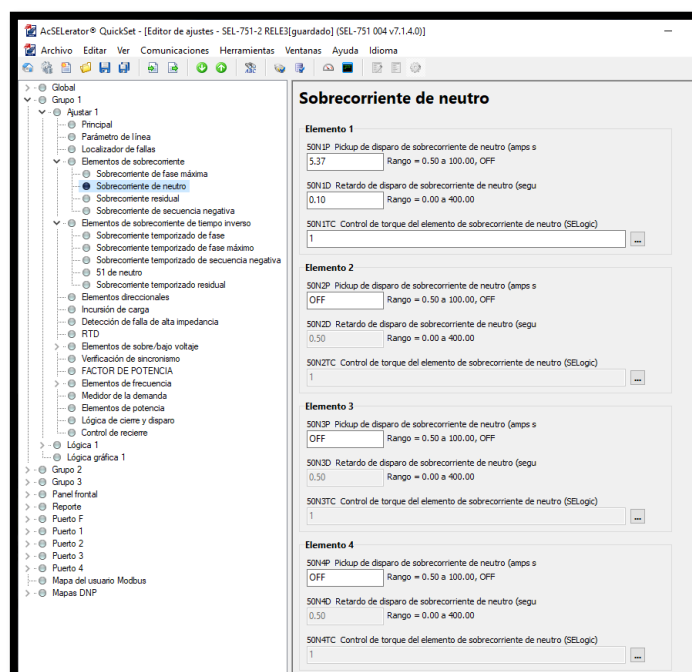


Figura 114. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°3.
Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 51P del Relé N°3.

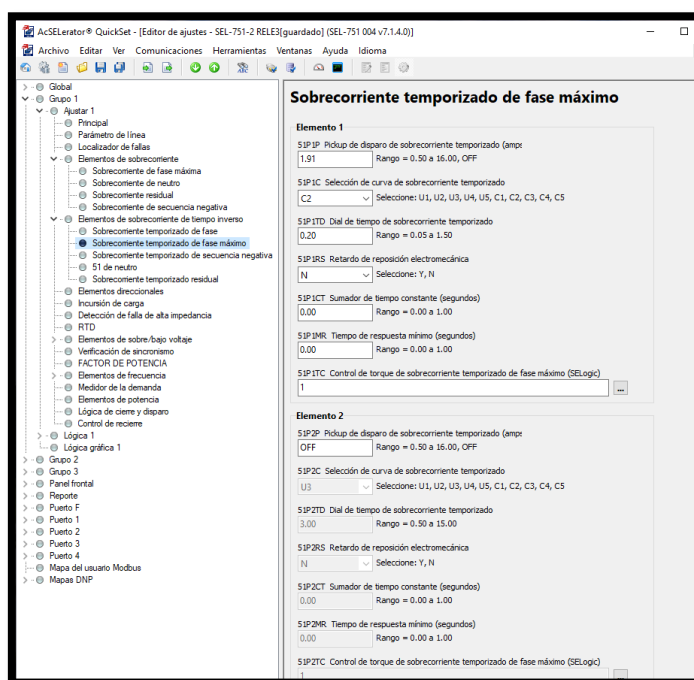


Figura 115. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°3.

Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 51N del Relé N°3.

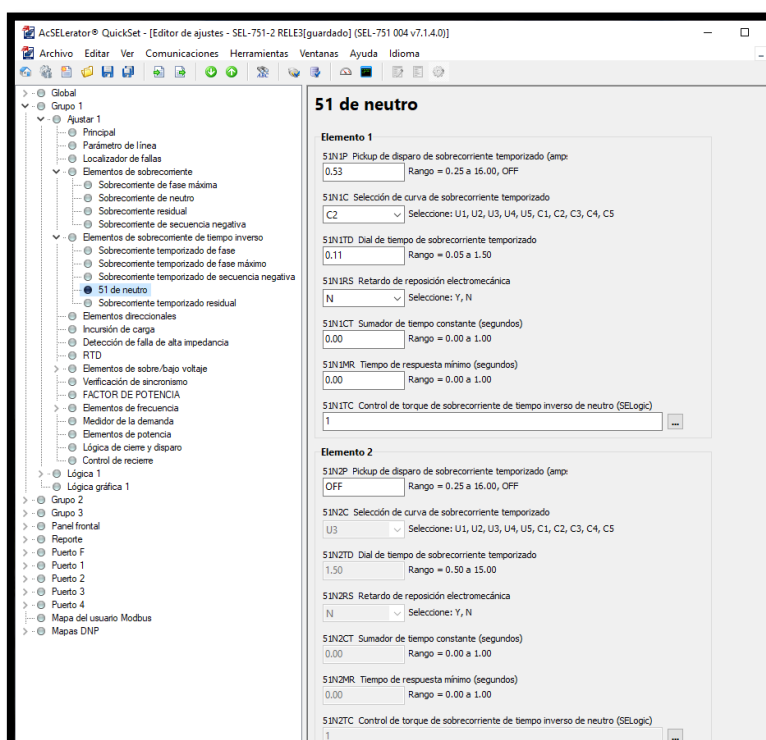


Figura 116. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°3.

Fuente: Los Autores.

4.11.3. Configuración del Relé N°5.

El Relé N°5 está configurado para proteger la carga final conectada a la Barra 4. Este relé ha sido ajustado para detectar condiciones de falla que puedan comprometer la integridad de la carga, como sobrecargas o cortocircuitos. Los parámetros configurados incluyen la corriente de disparo y el tiempo de operación, permitiendo una desconexión rápida y segura de la carga en situaciones de emergencia, protegiendo así tanto la carga como el resto del sistema.

Se procede a configurar los parámetros del Relé N°5 tal como se presenta en la siguiente figura.

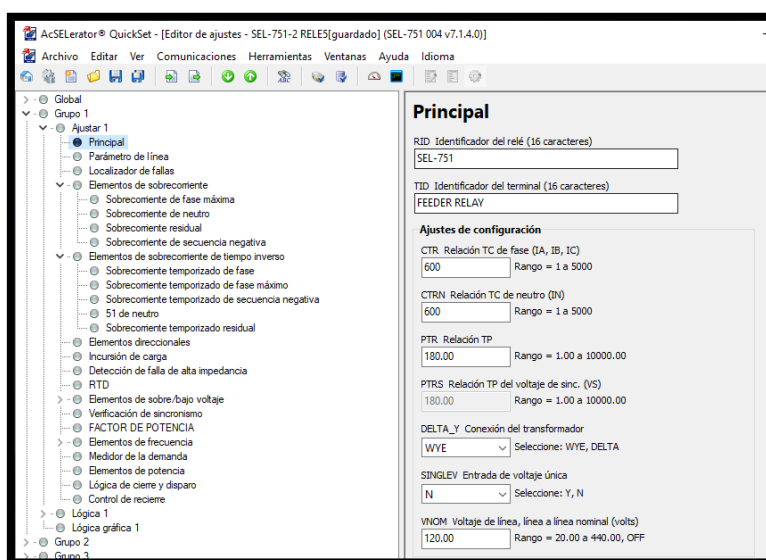


Figura 117. Pantalla Principal de la configuración del Relé N°5.
Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 50P del Relé N°5.

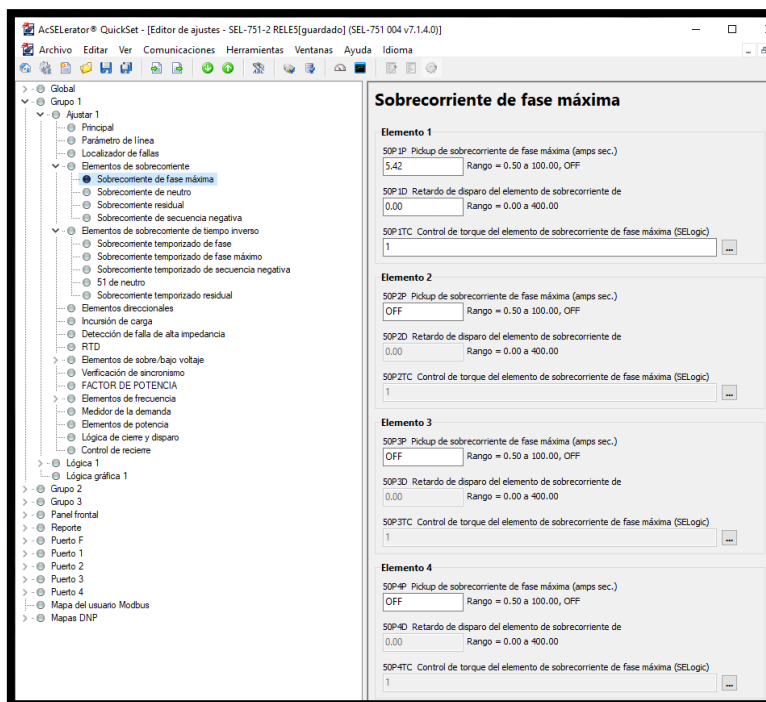


Figura 118. Configuración de los parámetros de la función 50P del Relé N°5.
Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 50N del Relé N°5.

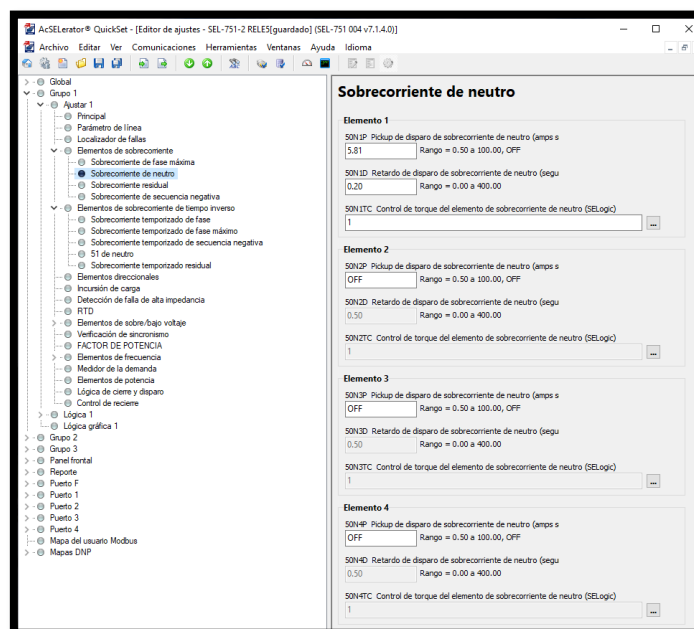


Figura 119. Configuración de los parámetros de la función 50N del Relé N°5.
Fuente: Los Autores.

Posterior, se configura los parámetros de la función 51P del Relé N°5.

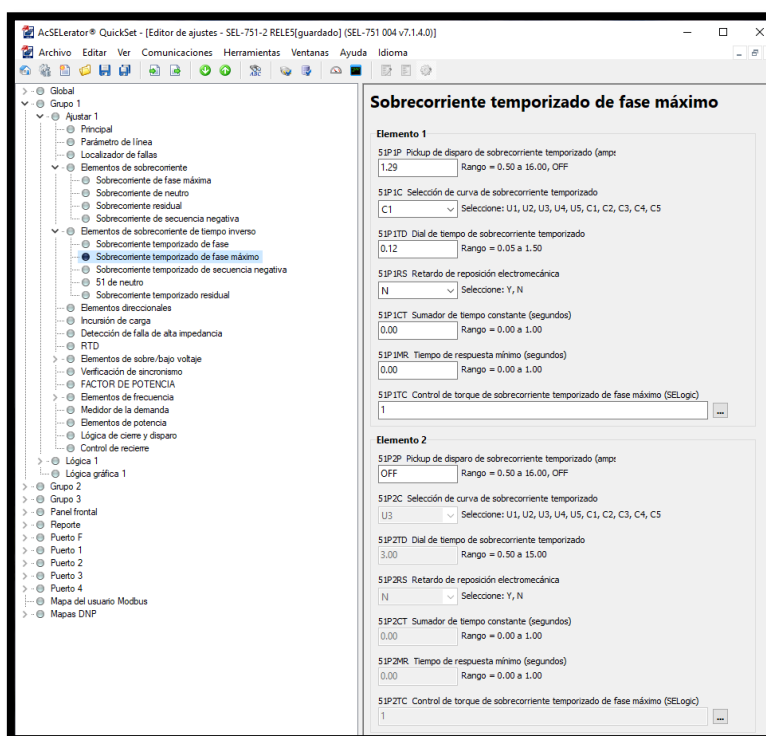


Figura 120. Configuración de los parámetros de la función 51P del Relé N°5.
Fuente: Los Autores.

Luego, se configura los parámetros de la función 51N del Relé N°5.

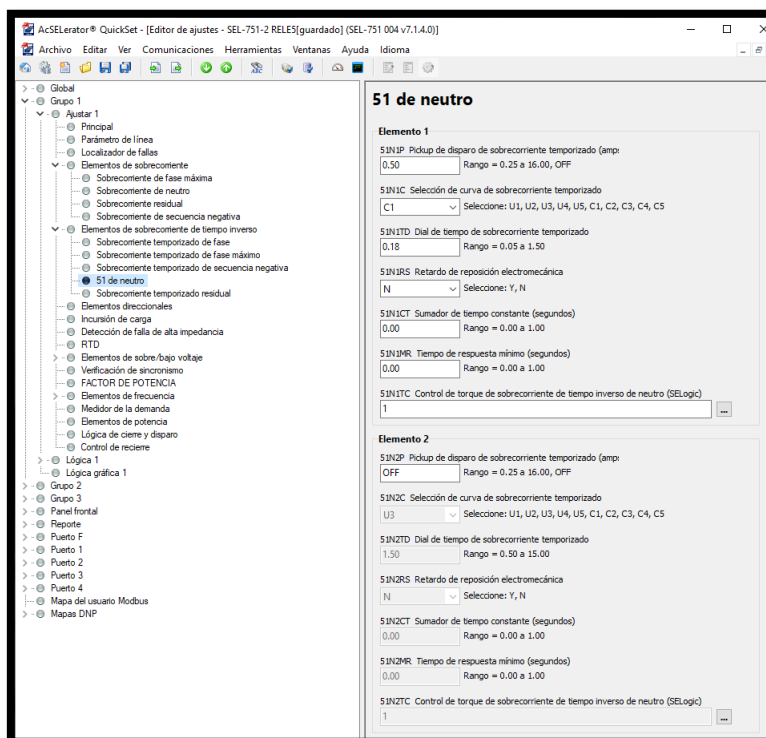


Figura 121. Configuración de los parámetros de la función 51N del Relé N°5.
Fuente: Los Autores.

VI. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos tras la ejecución de los escenarios de falla simulados en Power Factory DIgSILENT 2021® y posteriormente validados mediante pruebas físicas con la maleta de inyección OMICRON CMC-356. Cada uno de los cinco escenarios de cortocircuito definidos en el marco metodológico fue replicado utilizando la maleta de inyección, que se configuró para inyectar señales de corriente y voltaje, simulando las condiciones de falla descritas en los escenarios. A continuación, se detallan los pasos seguidos y los resultados obtenidos en cada fase del proceso.

La maleta de inyección OMICRON CMC-356 es una herramienta fundamental para la realización de pruebas y simulaciones de protección en sistemas eléctricos. Durante este estudio, la maleta se utilizó para reproducir los archivos COMTRADE generados en DIgSILENT, permitiendo la inyección de las señales de falla en los relés modelados.

Configuración de la Maleta OMICRON: Se configuraron los valores de corriente y tensión de acuerdo con los escenarios de falla previamente definidos en las simulaciones. Esto incluyó la selección de parámetros como el tipo de falla (monofásica o trifásica), la magnitud de las corrientes de falla y el tiempo de duración de cada evento.

Inyección de Señales: La maleta OMICRON CMC-356 permitió inyectar las señales de corriente y voltaje directamente en los relés bajo prueba. Esta inyección fue realizada de manera precisa, replicando fielmente las condiciones de los cortocircuitos simulados en DIgSILENT.

Registro de Respuestas: Durante la inyección de señales, se registraron las respuestas de los relés, incluyendo los tiempos de operación y la secuencia de desconexión de los componentes del SEP. Estos registros son fundamentales para validar la precisión y la efectividad de los relés de protección diseñados.

Programa TransPlay: El programa TransPlay, desarrollado por OMICRON, fue utilizado para analizar los archivos COMTRADE generados durante las simulaciones y las pruebas de inyección. Este software permite reproducir de manera detallada los transitorios capturados en los archivos COMTRADE y genera reportes exhaustivos sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones de falla.

Carga de Archivos COMTRADE en TransPlay: Los archivos COMTRADE obtenidos de las simulaciones en DIgSILENT y de las pruebas físicas con la maleta OMICRON

fueron cargados en TransPlay. Este proceso facilitó la visualización de las formas de onda de corriente y voltaje correspondientes a cada escenario de falla.

Reproducción y Análisis de Eventos: TransPlay permitió la reproducción automática de los eventos registrados, incluyendo las formas de onda armónicas y las fallas del sistema eléctrico. Esto facilitó el análisis detallado del desempeño de los relés de protección, destacando su tiempo de reacción y su capacidad para actuar ante distintas magnitudes de falla.

Generación de Reportes: A partir de la reproducción de los archivos COMTRADE, se generaron reportes que detallan las características de las fallas, la respuesta de los relés y la efectividad del sistema de protección. Estos reportes incluyen gráficos de las formas de onda, tiempos de operación y secuencias de desconexión, proporcionando una visión clara del comportamiento del sistema bajo condiciones de falla.

5.1. Corto trifásico en la barra del generador.

El cortocircuito trifásico en la barra del generador es uno de los escenarios más críticos que pueden ocurrir en un sistema eléctrico de potencia (SEP). Este tipo de falla implica que las tres fases del sistema se cortocircuitan simultáneamente, generando corrientes extremadamente altas que pueden dañar severamente el generador y otros equipos conectados a la barra. La simulación de este evento permite evaluar la capacidad de los sistemas de protección para detectar y aislar rápidamente la falla, evitando daños mayores y asegurando la continuidad del suministro eléctrico. En este contexto, se analizará el desempeño de los relés de protección instalados en la barra del generador, verificando su tiempo de respuesta y la precisión con la que operan bajo condiciones extremas, y el primer paso es abrir el módulo de prueba TransPlay que se muestra en la figura 122.

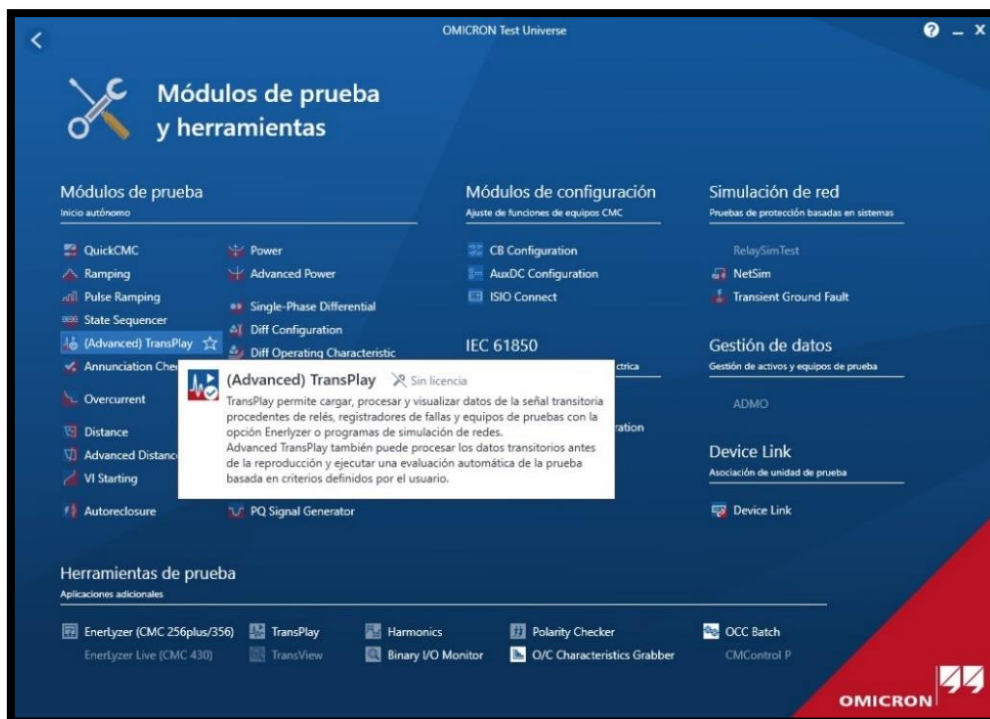


Figura 122. Módulo de Prueba Advanced TransPlay.
Fuente: Los Autores.

Luego de haber ejecutado y abierto el Módulo Advanced TransPlay se procede a importar el archivo de COMTRADE del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador tal como se observa en la figura 123.

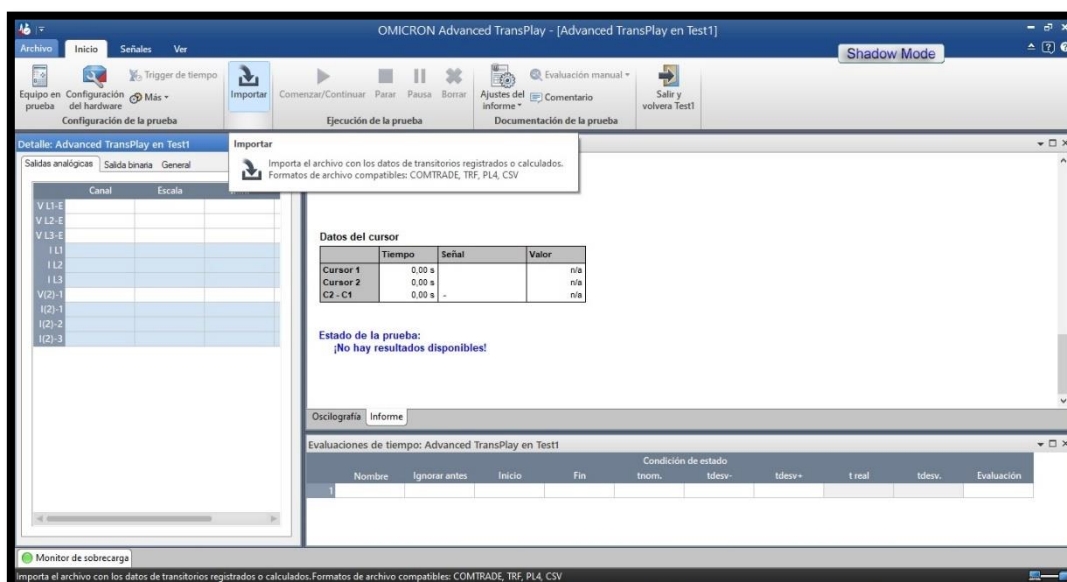


Figura 123. Importación de archivos COMTRADE del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.
Fuente: Los Autores.

Una vez importado los archivos COMTRADE se procede a abrir para lograr visualizar la información de los archivos COMTRADE, tal como se visualiza en la figura 124.

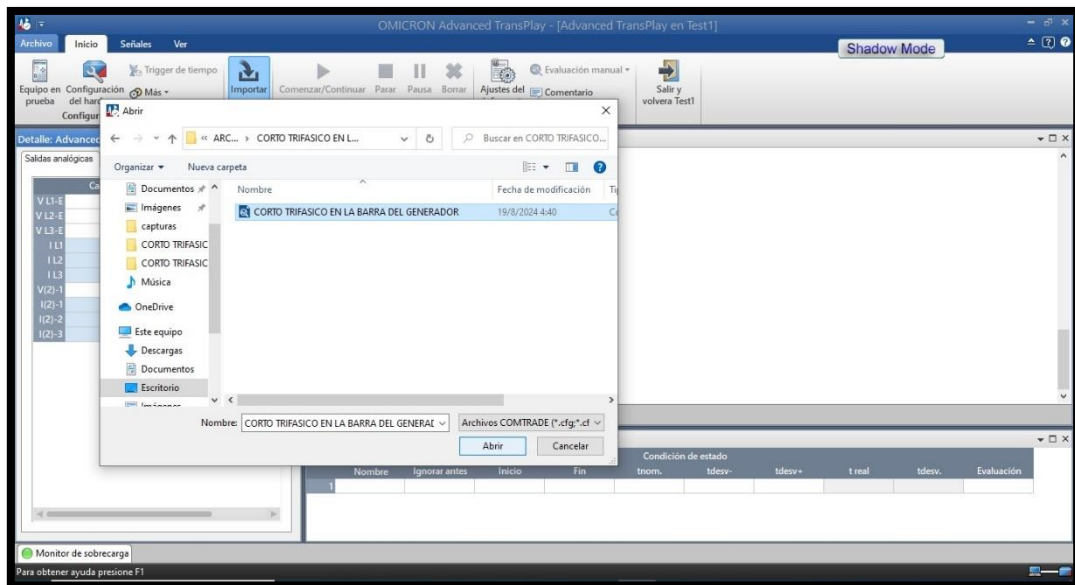


Figura 124. Ejecución y apertura de archivos COMTRADE del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.

Fuente: Los Autores.

Una vez abierto los archivos COMTRADE del Corto Trifásico en la Barra del Generador se procede a configurar el tiempo de inicio insertando marcador de estado, tal como se observa en la figura 125.

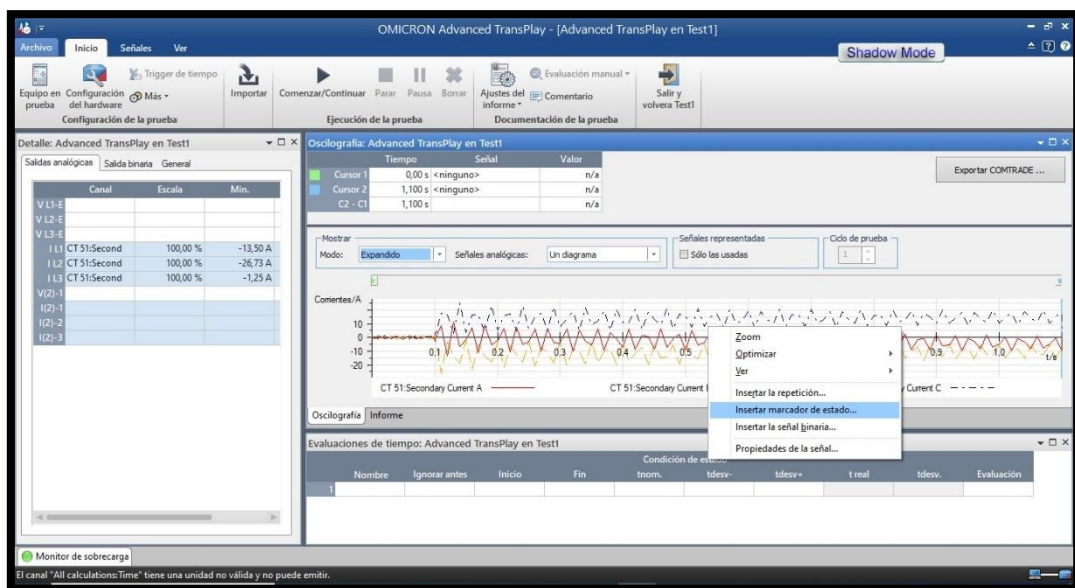


Figura 125. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.

Fuente: Los Autores.

Una vez realizada la configuración del tiempo de inicio y el marcador de estado, se procede a configurar el tiempo en 100 ms (Tiempo donde comienza el corto), y se le asigna un valor de $t=0$ segundos, tal como se detalla en la figura 126.

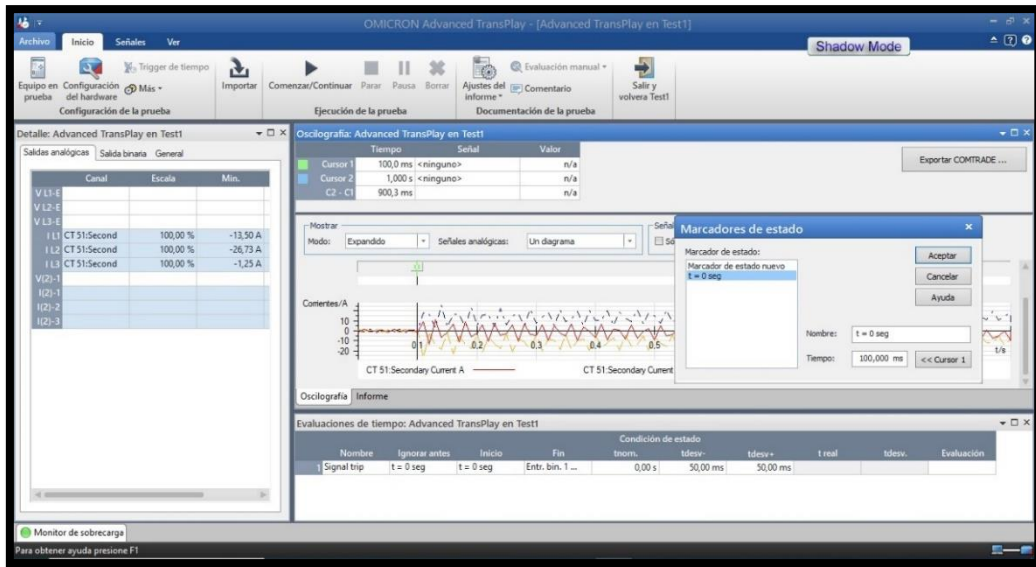


Figura 126. Asignación del valor del tiempo a analizar al comienzo del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.
Fuente: Los Autores.

Se configura los datos en condición de estado y procedemos a inyectar corriente dando clic en COMENZAR y CONTINUAR, para verificar el comportamiento del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador tal como se muestra en la figura 127.

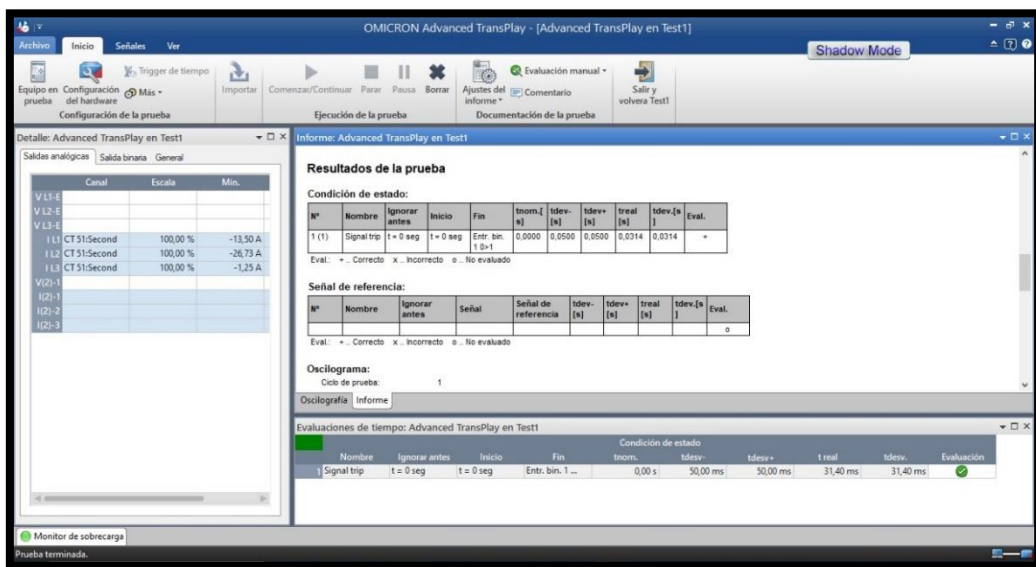


Figura 127. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.
Fuente: Los Autores.

El resultado obtenido de la condición de estado para el Corto Trifásico en la Barra del Generador se presenta en la tabla 7, y las Oscilografías que emite el Oscilograma se presentan en la figura 128.

Tabla 7. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.

Fuente: Los Autores.

Nº	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
1(1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0316	0.0316	+

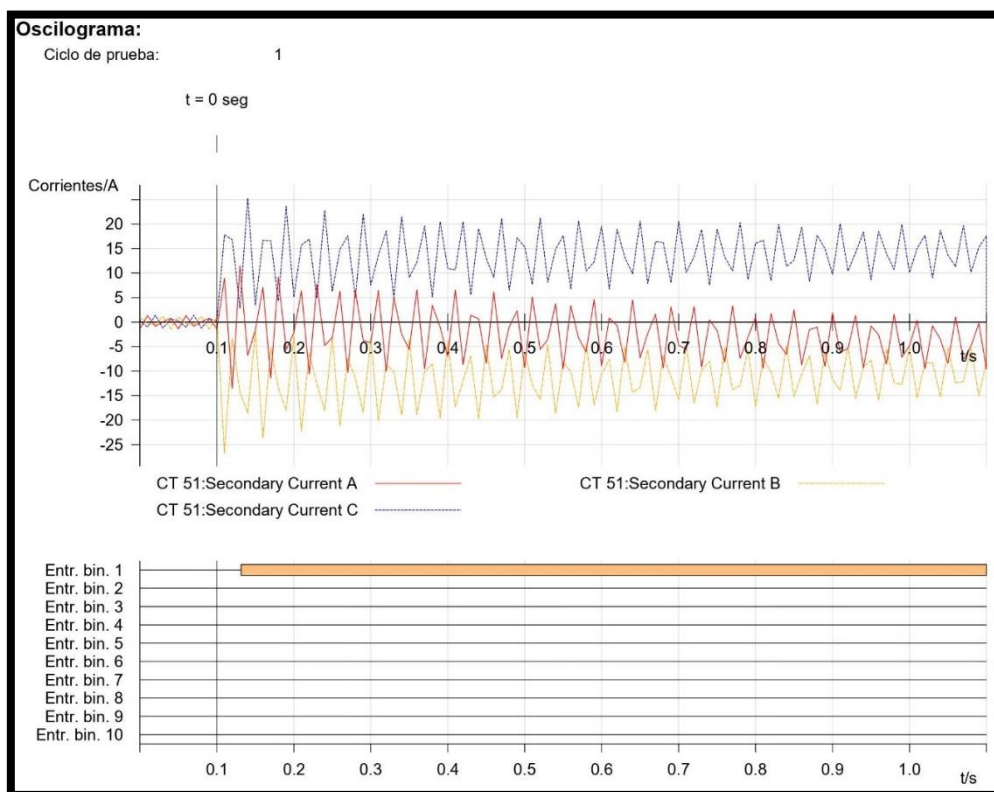


Figura 128. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador.

Fuente: Los Autores.

5.2. Corto monofásico en la barra de la carga.

Un cortocircuito monofásico en la barra de la carga es un evento común en los sistemas eléctricos, y aunque no es tan severo como un cortocircuito trifásico, puede causar

interrupciones significativas en el suministro de energía. Este tipo de falla ocurre cuando una de las fases se conecta directamente a tierra o a otra fase, lo que provoca un flujo de corriente anormalmente alto en una sola fase. En este escenario, es crucial que los dispositivos de protección, como los relés y transformadores de corriente, detecten y respondan adecuadamente para desconectar la carga afectada y minimizar el impacto en el resto del sistema. La simulación de este evento permitirá evaluar la sensibilidad y selectividad de los relés de protección ante una falla monofásica en la barra de carga.

Se procede a importar los archivos COMTRADE del Corto Monofásico en la Barra de la Carga y posterior a esto se configura el tiempo de inicio insertando marcador de estado, tal como se observa en la figura 129.

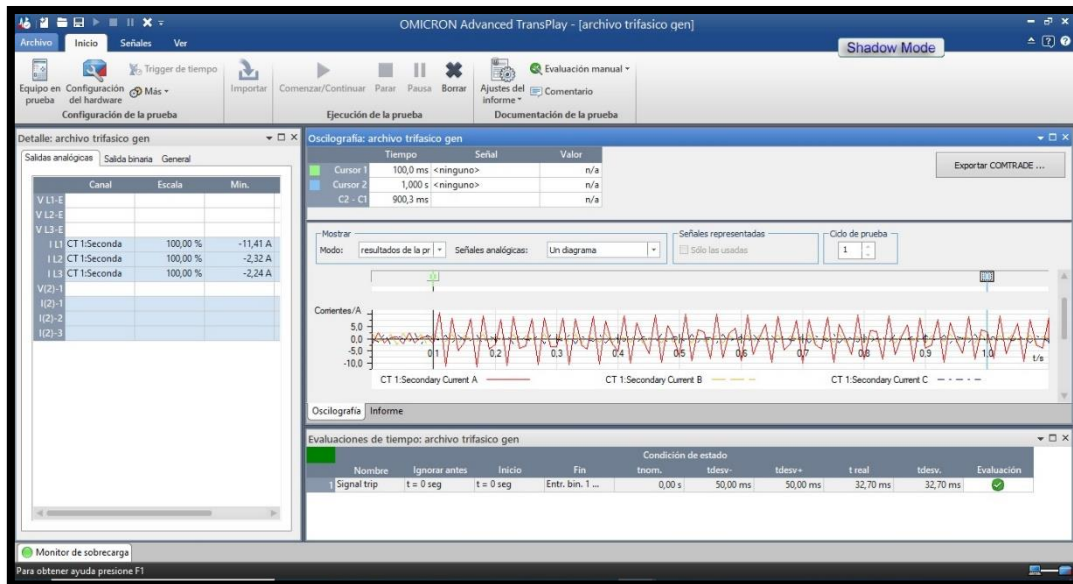


Figura 129. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

Se configura los datos en condición de estado y procedemos a inyectar corriente dando clic en COMENZAR y CONTINUAR, para verificar el comportamiento del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga tal como se detalla en la figura 130.

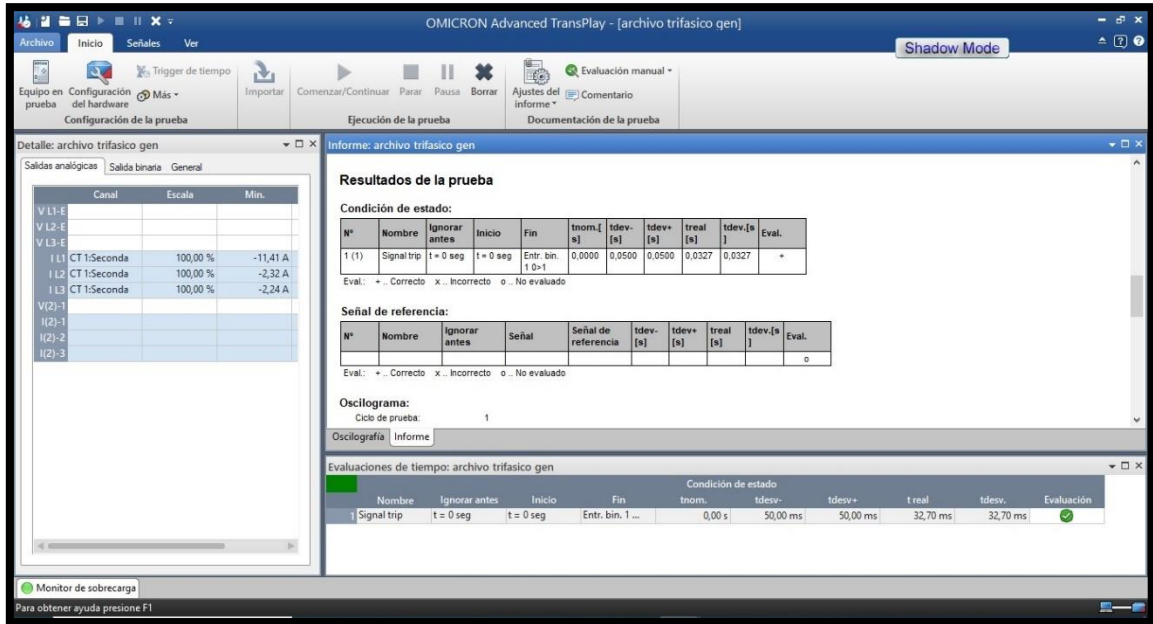


Figura 130. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

El resultado obtenido de la condición de estado para el Corto Monofásico en la Barra de la Carga se presenta en la tabla 8, y las Oscilogramas que emite el Oscilograma se presentan en la figura 131.

Tabla 8. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
1(1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0327	0.0327	+

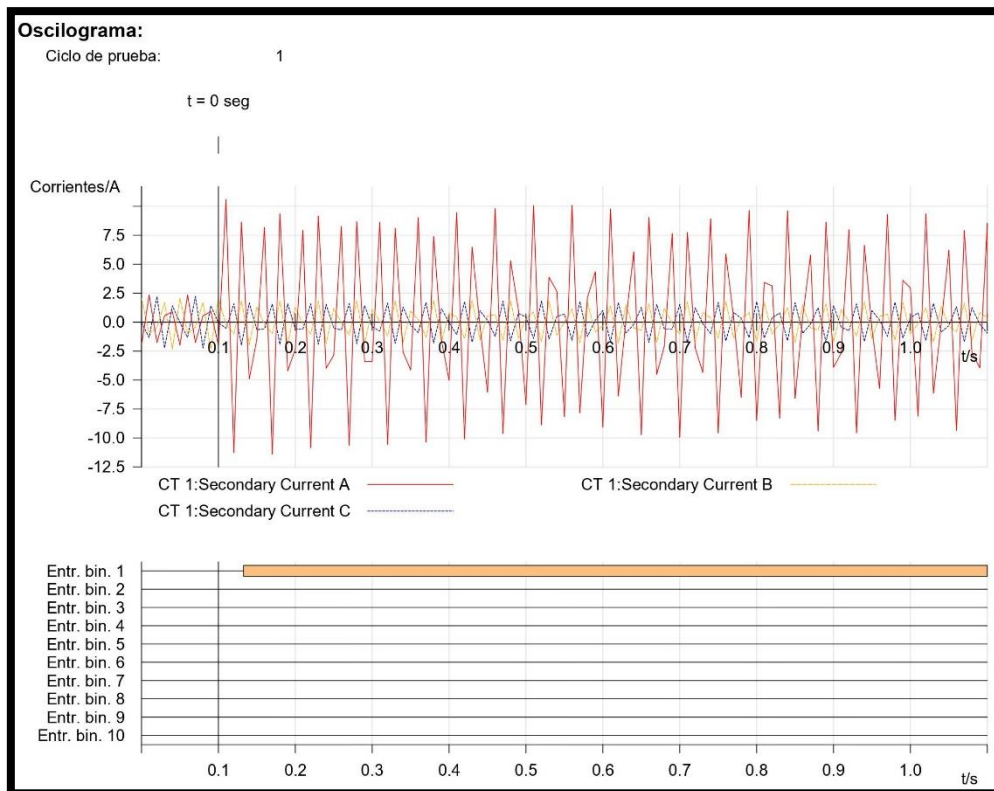


Figura 131. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Monofásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

5.3. Corto trifásico en la barra de la carga.

El cortocircuito trifásico en la barra de la carga representa un escenario grave que puede comprometer la estabilidad del SEP. En este caso, las tres fases de la barra de carga se cortocircuitan simultáneamente, lo que resulta en una gran cantidad de energía siendo disipada en la falla. La simulación de este evento permite observar cómo se comportan los sistemas de protección y la efectividad de los transformadores de corriente y relés en aislar la falla rápidamente para proteger tanto la carga como el resto del sistema. Este análisis es vital para asegurar que las medidas de protección implementadas sean suficientes para manejar eventos de alta severidad.

Se procede a importar los archivos COMTRADE del Corto Trifásico en la Barra de la Carga y posterior a esto se configura el tiempo de inicio insertando marcador de estado, tal como se presenta en la figura 132.

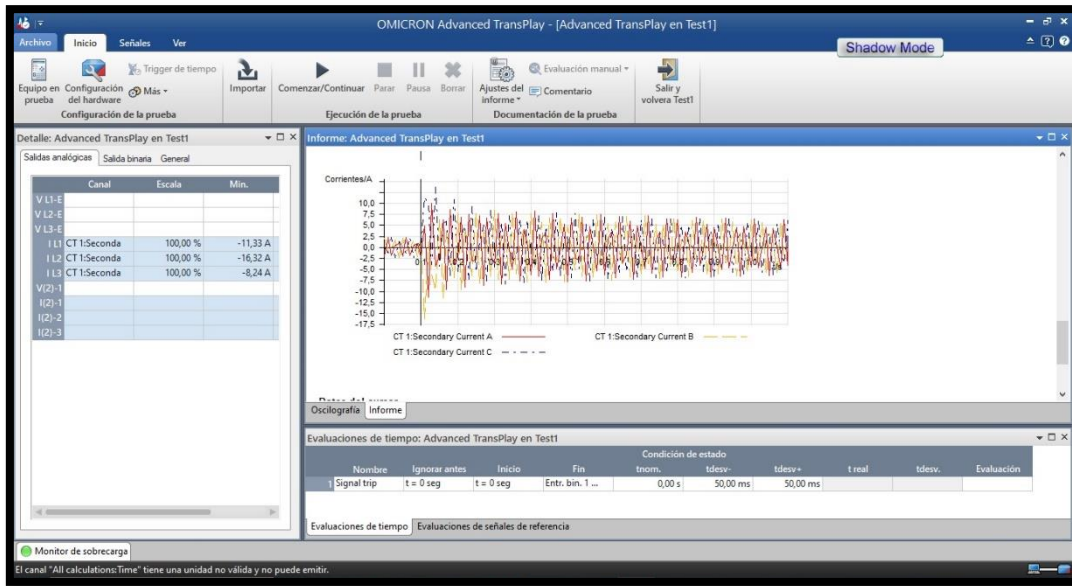


Figura 132. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.
Fuente: Los Autores.

Se configura los datos en condición de estado y procedemos a inyectar corriente dando clic en COMENZAR y CONTINUAR, para verificar el comportamiento del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga tal como se da a conocer en la figura 133.

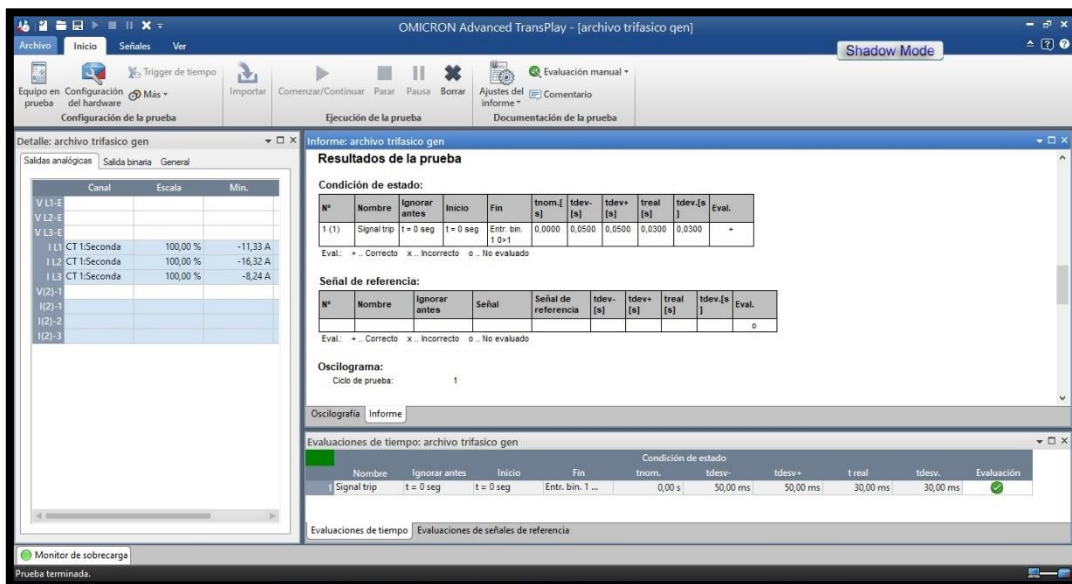


Figura 133. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.
Fuente: Los Autores.

El resultado obtenido de la condición de estado para el Corto Trifásico en la Barra de la Carga se presenta en la tabla 9, y las Oscilografías que emite el Oscilograma se presentan en la figura 134.

Tabla 9. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

Nº	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
1(1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0300	0.0300	+

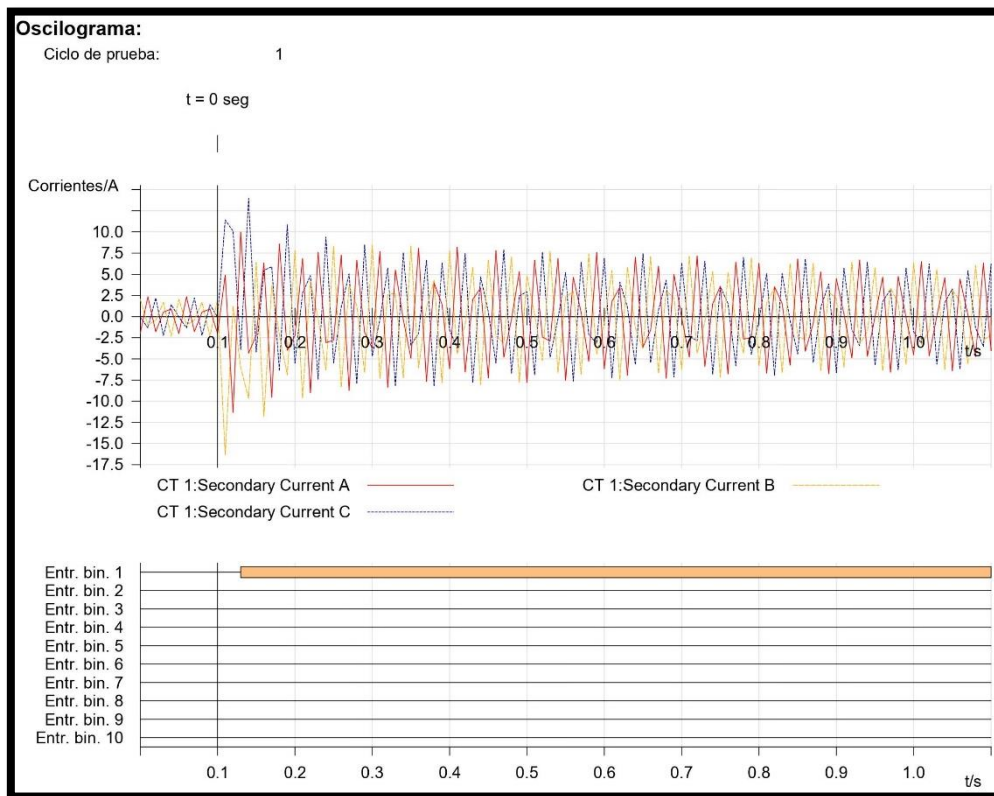


Figura 134. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Barra de la Carga.

Fuente: Los Autores.

5.4. Corto monofásico de la línea de transmisión.

El cortocircuito monofásico en una línea de transmisión es un tipo de falla que puede afectar seriamente la transmisión de energía a lo largo de una red eléctrica. Este evento

ocurre cuando una de las fases de la línea de transmisión entra en contacto con tierra, provocando una corriente de falla que debe ser rápidamente detectada y aislada para evitar interrupciones en el servicio y daños al equipo. La simulación de este tipo de falla en Power Factory DIgSILENT 2021® es fundamental para evaluar la capacidad del sistema de protección en la línea de transmisión, especialmente en términos de su capacidad para identificar la falla y desconectar el segmento afectado sin comprometer el suministro en otras partes de la red.

Se procede a importar los archivos COMTRADE del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión y posterior a esto se configura el tiempo de inicio insertando marcador de estado, tal como se muestra en la figura 135.

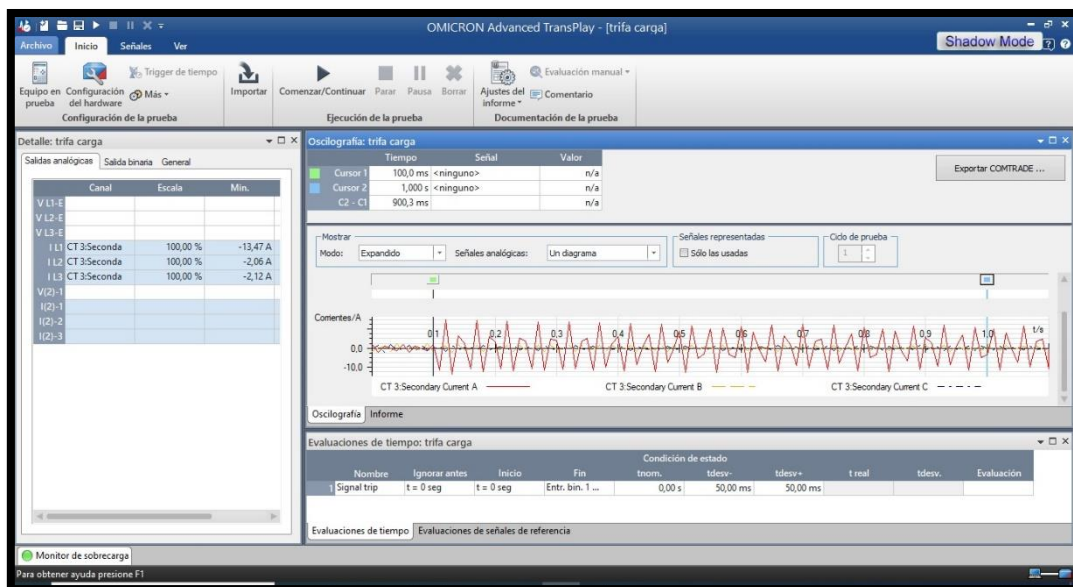


Figura 135. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

Se configura los datos en condición de estado y procedemos a inyectar corriente dando clic en COMENZAR y CONTINUAR, para verificar el comportamiento del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión tal como se presenta en la figura 136.

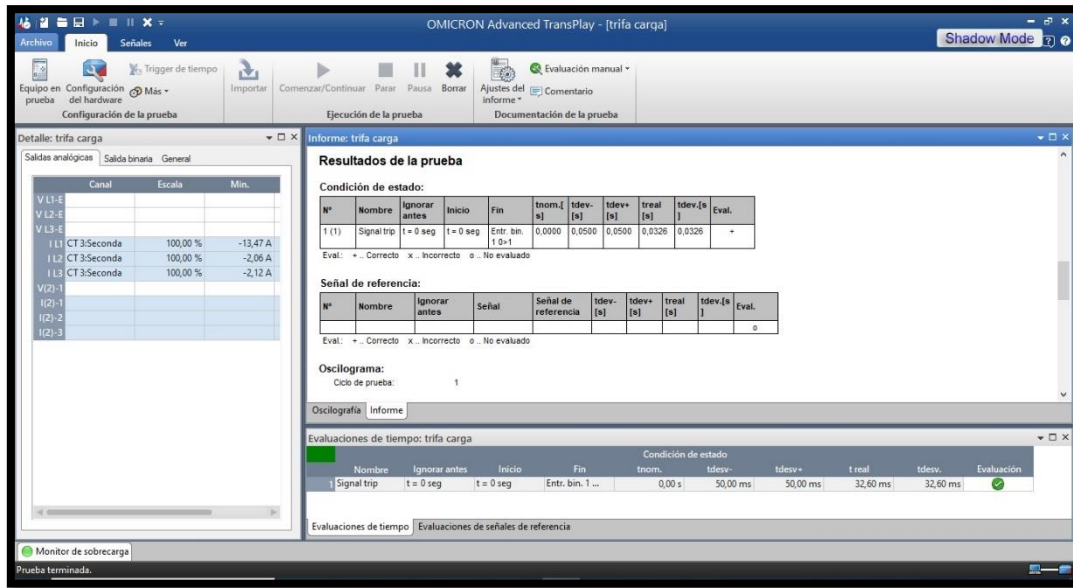


Figura 136. Configuración de datos de la condición de estado e inyección de corriente del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

El resultado obtenido de la condición de estado para el Corto Monofásico en la Línea de Transmisión se presenta en la tabla 10, y las Oscilogramas que emite el Oscilograma se presentan en la figura 137.

Tabla 10. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
1(1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0326	0.0326	+

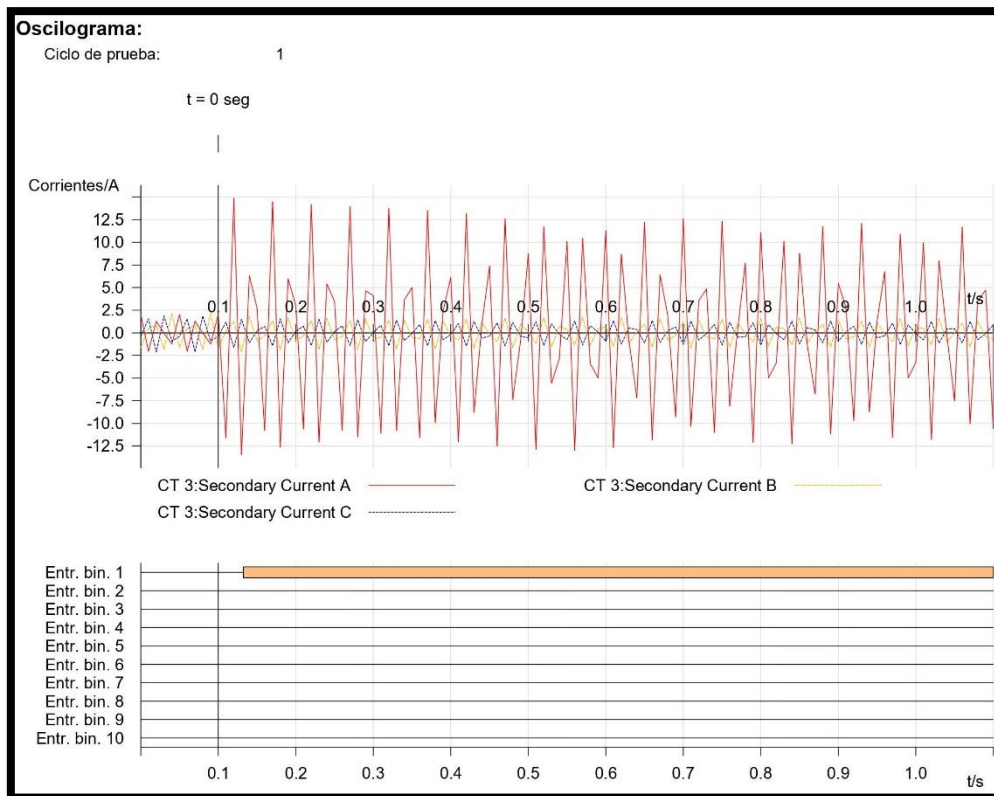


Figura 137. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Monofásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

5.5. Corto trifásico de la línea de transmisión.

El cortocircuito trifásico en una línea de transmisión es uno de los eventos más severos que pueden ocurrir en un sistema eléctrico. Este tipo de falla involucra el cortocircuito de simultánea de las tres fases de la línea, resultando en una corriente de falla extremadamente alta que puede causar daños significativos tanto en la línea como en el equipo conectado. En este escenario, es crucial que los sistemas de protección operen con la máxima eficiencia para aislar la falla y minimizar el impacto en el sistema de transmisión. La simulación de un cortocircuito trifásico en la línea de transmisión permitirá evaluar la capacidad del SEP para manejar eventos de alta severidad, analizando la respuesta de los relés de protección y la eficacia del diseño de la red en mitigar las consecuencias de dicha falla.

Se procede a importar los archivos COMTRADE del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión y posterior a esto se configurar el tiempo de inicio insertando marcador de estado, tal como se da a conocer en la figura 138.

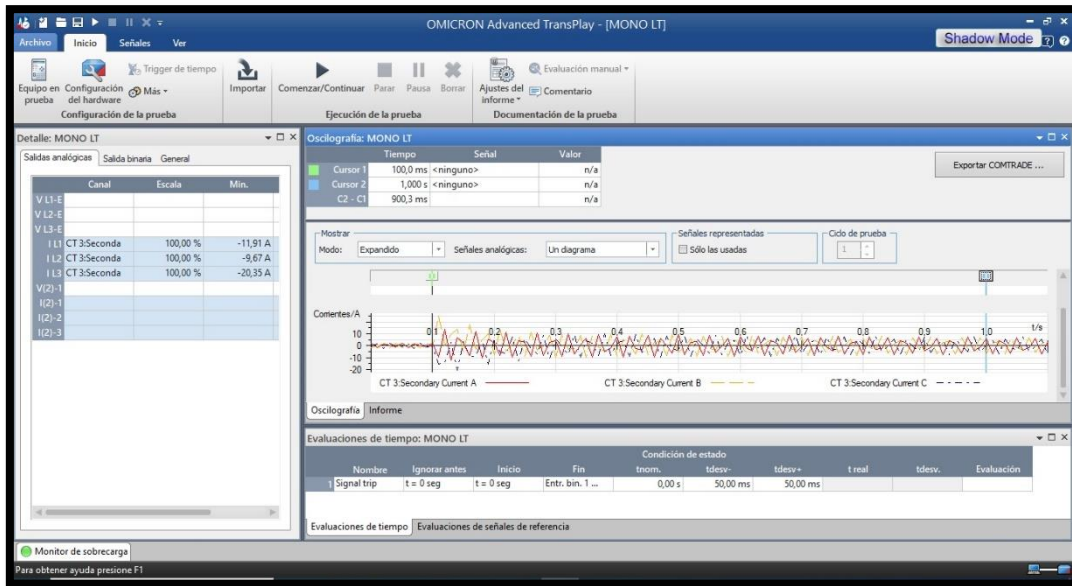


Figura 138. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.
Fuente: Los Autores.

Se configura los datos en condición de estado y procedemos a inyectar corriente dando clic en COMENZAR y CONTINUAR, para verificar el comportamiento del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión tal como muestra en la figura 139.

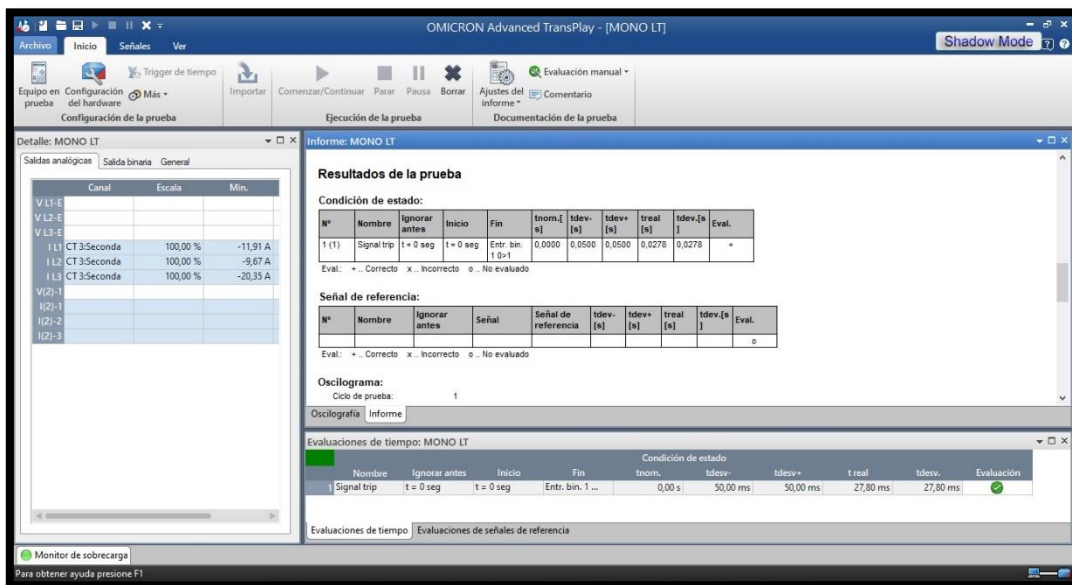


Figura 139. Configuración de tiempo de inicio del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.
Fuente: Los Autores.

El resultado obtenido de la condición de estado para el Corto Trifásico en la Línea de Transmisión se presenta en la tabla 11, y las Oscilogramas que emite el Oscilograma se presentan en la figura 140.

Tabla 11. Valores obtenidos de la condición de estado del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

Nº	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
1(1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0278	0.0278	+

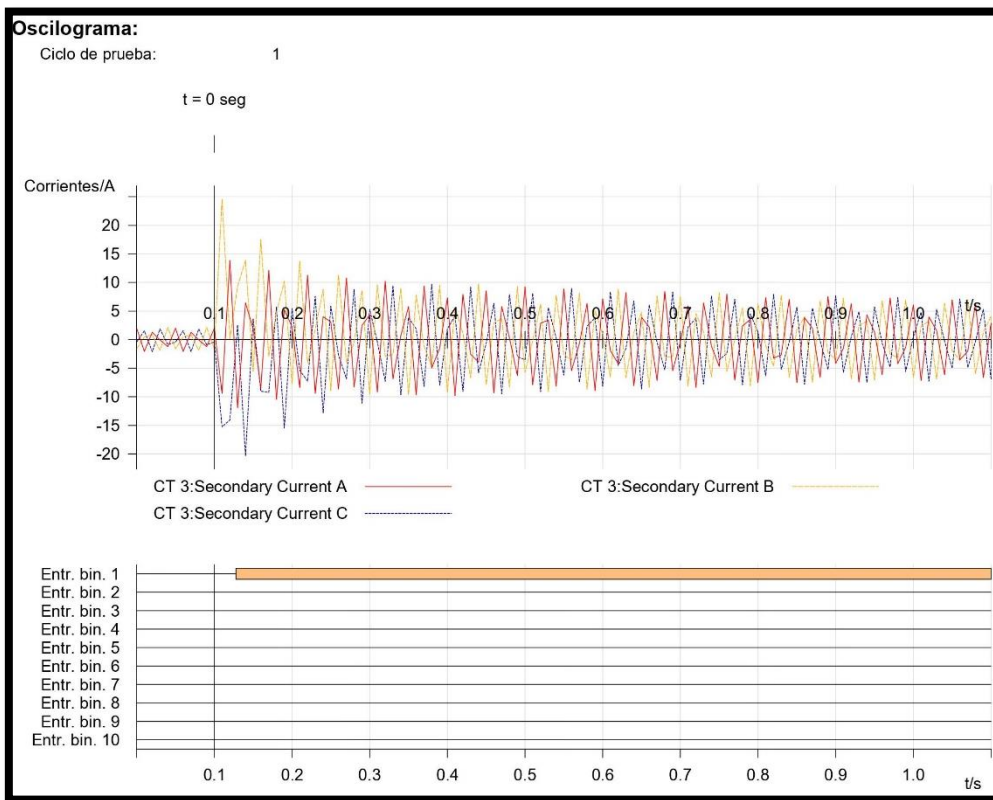


Figura 140. Gráficas obtenidas en el Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Línea de Transmisión.

Fuente: Los Autores.

VII. CONCLUSIONES

Las simulaciones y pruebas de cortocircuito en los diferentes escenarios demuestran que el sistema de protección implementado responde de manera precisa y confiable. Los tiempos de operación reales ($t_{real}[s]$) y sus desviaciones ($t_{dev}[s]$) están dentro de los rangos aceptables, con mínimas diferencias respecto al tiempo nominal esperado ($t_{nom}[s]$), tal como se puede observar en el capítulo VI. Resultados. Esto valida la efectividad de los archivos COMTRADE en mejorar la precisión del análisis de cortocircuitos en sistemas de potencia.

Se logró generar con éxito los datos de oscilografía y estas se detallan al final de los 5 eventos descritos en el capítulo VI. Resultados eventos de cortocircuito utilizando el software de simulación especializado. Los archivos resultantes permitieron reproducir fielmente las condiciones de falla en la caja OMICRON, cumpliendo con el primer objetivo específico.

Los archivos de transitorios fueron cargados en la caja OMICRON, permitiendo la inyección de señales analógicas en el relé SEL-751, tal es el caso de la figura 124 la cual muestra cómo se cargan y ejecutan los archivos generados por el corto trifásico en la barra del generador. Este proceso fue esencial para simular condiciones reales de falla y evaluar la respuesta del relé, cumpliendo con el segundo objetivo específico.

La evaluación de la capacidad de respuesta del relé SEL-751 durante los eventos de cortocircuito mostró que el relé detectó y respondió adecuadamente a las fallas simuladas. Los tiempos de operación medidos ($t_{real}[s]$) y las desviaciones de tiempo ($t_{dev}[s]$) se mantuvieron dentro de los límites aceptables, confirmando que el relé actuó de manera precisa y eficiente, y esto lo podemos corroborar en el ejemplo de la figura 128, la cual emite los gráficos del Oscilograma del escenario del Corto Trifásico en la Barra del Generador. Esto demuestra que el uso de archivos COMTRADE es una herramienta efectiva para mejorar la precisión en el análisis de cortocircuitos, cumpliendo así el tercer objetivo específico.

VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas adicionales con distintos escenarios de carga y variaciones en la topología del sistema para evaluar la robustez del relé SEL-751 en situaciones más complejas.
- Implementar un sistema de monitoreo continuo para registrar y analizar las actuaciones del relé en tiempo real, lo que permitirá ajustes proactivos en la configuración y mejora de la protección del sistema.
- Considerar la actualización periódica del software PowerFactory DIgSILENT y el hardware OMICRON para garantizar la compatibilidad con los últimos estándares y mejoras tecnológicas en la protección de sistemas de potencia.
- Ofrecer capacitación continua a los ingenieros de protección sobre el manejo de archivos COMTRADE y las mejores prácticas en la configuración de relés, para asegurar un óptimo desempeño del sistema en condiciones reales.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. J. Negrete Durazno and B. Cevallos Miele, “Simulation of Synchronized Controls in Circuit Breakers of Power Transformers and Operation of Reactive Compensation Banks,” in *Systems, Smart Technologies and Innovation for Society*, Guayaquil: Springer Link, Mar. 2024, pp. 226–236. Accessed: May 27, 2024. [Online]. Available: https://bibliotecas.ups.edu.ec:3401/chapter/10.1007/978-3-031-52090-7_22
- [2] IEEE Power Engineering Society. Power Systems Relaying Committee., Institute of Electrical and Electronics Engineers., and IEEE-SA Standards Board., *IEEE standard common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999. doi: 10.1109/IEEESTD.1999.90571.
- [3] OMICRON, “The Universal Relay Test Set and Commissioning Tool.” [Online]. Available: www.omicronenergy.com/CMC356
- [4] SEL, “Relé de protección de alimentador,” SEL-751. [Online]. Available: <https://selinc.com/es/products/751/>
- [5] G. Google Maps, “UPS - Sede Guayaquil - Campus Centenario.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/place/Universidad+Polit%C3%A9cnica+Salesiana+-+Guayaquil/@-2.2201494,-79.8866849,15z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0xb76f5008ec6c4345?sa=X&ved=1t:2428&ictx=111>
- [6] OMICRON, “Capacitaciones ÓMICRON CMC-356.” [Online]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/capacitacion/cursos/f1/producto:Familia>
- [7] ARCONEL, “Agencia de Regulación y Control de Electricidad.” Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.ec/arconel>
- [8] H. G. Oñate Sabando and X. A. Bustos Puente, “Prueba de inyección de corriente secundaria a los relés de protecciones de los módulos de sistemas eléctricos de potencia utilizando la Omicron CMC 356,” Tesis de Grado, Universidad

- Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2020. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19568>
- [9] W. F. Guapucal Villamarin, “Diseño de módulo didáctico para estudio de coordinación de protecciones eléctricas de sistemas de potencia,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2021. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19819>
- [10] L. A. Morales Canales and J. A. Solórzano Piloza, “Diseño e implementación de pruebas de fallas en los sistemas de generación empleando el CMC 356 OMICRON para el SEL-751.,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21224>
- [11] A. F. Alarcón León and J. S. Saldarriaga Vidal, “Implementación de un sistema de protección mediante el uso de RELÉ SEL-551 contra sobrecorrientes en una red de media tensión,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21299>
- [12] J. C. Limones Moncada and F. L. Mora Ruiz, “Diseño e implementación de pruebas de fallas en los sistemas de distribución mediante el uso del equipo omicron cmc 356 para el RELÉ SEL-751,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Jun. 11, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21326>
- [13] T. R. Parrales Marcillo and B. R. Zerna Jara, “Diseño e implementación de prueba de falla en una red de distribución empleando el equipo CMC 356 Omicron para el relé SEL 387E,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21328>
- [14] G. G. Silva and L. F. Cevallos Solorzano, “Análisis de la normativa IEC 61850 para la protección y monitoreo de transformadores de potencia empleando relés de protección diferencial,” Tesis de Posgrado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2023. Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26512>

- [15] J. E. Navas Ramírez and R. A. Sánchez Sanizaca, “Aplicación de software DIGSILENT junto al equipo OMICRON CMC 356 para la coordinación de protecciones eléctricas en la subestación Durán sur de CNEL EP Guayas los Ríos,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2023. Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24662>
- [16] K. N. Encala Pihuave and M. N. Tonato Guerrero, “Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos de distribución, mediante el uso de Relés SEL-751,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2023. Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24673>
- [17] M. Ayello, N. Fulli, N. C. Fernandes, and Y. Lopes, “Using sampled values in line differential protection – Analyzing the scheme feasibility and protection performance under communication stress scenarios,” *Electric Power Systems Research*, vol. 230, May 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2024.110217.
- [18] CONECTA, “Conceptos básicos de un sistema de transmisión de energía eléctrica.” Accessed: Jun. 17, 2024. [Online]. Available: <https://conectagt.com/continuidad-del-negocio/conceptos-basicos-de-un-sistema-de-transmision-de-energia-electrica/>
- [19] S. A. RED ELÉCTRICA, “Operación del sistema eléctrico.” [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico>
- [20] W. Morillo, “Importancia de la transmisión de energía eléctrica su Evolución, Seguridad e Impacto Ambiental.” [Online]. Available: <https://blogs.masterhacks.net/geek/interesante/importancia-de-la-transmision-de-energia-electrica-su-evolucion-seguridad-e-impacto-ambiental/>
- [21] V. M. Navarrete Ronquillo, “Clasificación de fallas eléctricas en líneas de transmisión usando técnicas de procesamiento de señales dispersas y ruidosas,” Tesis de Posgrado, Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Jun. 17, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21243>
- [22] R. J. Rivera Brandao, “Fallas más Comunes en los Sistemas Eléctricos.”

- [23] ENEL, “¿Fallas en las redes eléctricas? Te contamos cómo puedes evitarlas con nuestras soluciones.” [Online]. Available: <https://www.enel.com.co/es/historias/a202306-fallas-redes-electricas-causas-y-soluciones.html>
- [24] TECSA, “¿Qué es un estudio de cortocircuito y qué beneficios ofrece a una compañía?” Accessed: Jun. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.tecsaqro.com.mx/blog/que-es-un-estudio-de-cortocircuito/>
- [25] Área & Tecnología, “Intensidad de Cortocircuito.” Accessed: Jun. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/intensidad-cortocircuito.html>
- [26] D. Angela, “La importancia del análisis de cortocircuitos en ingeniería.” [Online]. Available: <https://www.dreiy.com/es/2022/10/18/la-importancia-del-analisis-de-cortocircuitos-en-ingenieria-2/>
- [27] KINENERGY, “Métodos y estándares que usamos en KINENERGY para el análisis de cortocircuito.” Accessed: Jun. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.kin.energy/blogs/post/m%C3%A9todos-y-est%C3%A1ndares-que-usamos-en-kinenergy-para-el-an%C3%A1lisis-de-corto-circuito>
- [28] S. Schneider Electric, “COMTRADE.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: https://digital-energy-help.se.com/pm8000/es/content/09-pq/comtrade.htm?TocPath=Calidad%20de%20energ%C3%ADa%7CCOMTRADE%7C_____0
- [29] IEC, “Measuring relays and protection equipment-Part 24: Common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems.”
- [30] IEC, “IEC 61850:2024 SER Series Communication networks and systems for power utility automation-ALL PARTS.”
- [31] S. Schneider Electric, “PM5500 Manual de usuario.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: [https://www.productinfo.schneider-electric.com/pm5500/595e2aa946e0fb0001f715da/PM5500%20user%20manual/Spanish/PM5500SeriesUserManualv02_Spanish_Castilian_es_0000191979.dita map/\\$/C_COMTRADE_PM56XX_PM57XX_es_0000306032](https://www.productinfo.schneider-electric.com/pm5500/595e2aa946e0fb0001f715da/PM5500%20user%20manual/Spanish/PM5500SeriesUserManualv02_Spanish_Castilian_es_0000191979.dita map/$/C_COMTRADE_PM56XX_PM57XX_es_0000306032)

- [32] M. de los Á. Correa Vallejo, “Desarrollo de una herramienta computacional para localización de fallas en líneas aéreas de transmisión mediante el tratamiento de señales almacenadas en archivos COMTRADE,” Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2021. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21329>
- [33] E. SERCONEL, “GENERACIÓN DE ARCHIVOS COMTRADE.” [Online]. Available: <https://serconel.com.ec/index.php/portfolio/comtrade2/4>
- [34] OMICRON, “TransPlay - El software admite los siguientes formatos de archivo.” [Online]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/productos/transplay/>
- [35] OMICRON, “Potentes pruebas de relés.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cmc-356/>
- [36] OMICRON, “OMICRON CMC 356 - Datos técnicos,” 2022. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cmc-356/>
- [37] OMICRON, “Equipo de prueba y herramienta de puesta en servicio de tensión tetrafásico/corriente hexafásico.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.alquileromicron.com/alquiler/CMC-356-Presentación-ESP.pdf>
- [38] D. I. Díaz Chiguano, “Localización de fallas en líneas aéreas de transmisión, aplicación de un algoritmo digital para líneas paralelas,” Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1725>
- [39] E. V. Alvarado Guichay, “Algoritmo neuro-difuso para la detección y clasificación de fallas en líneas de transmisión eléctrica del sistema ecuatoriano usando simulaciones y datos de registradores de fallas,” Tesis de Posgrado, Institucional Universidad de Cuenca, Cuenca, 2012. Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2579>

X. ANEXOS

9.1. Reporte de flujo de carga.

										DigSILENT		Project:			
										PowerFactory		-----			
										2021 SP2		Date: 21/8/2024			
Load Flow Calculation										Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange					
AC Load Flow, balanced, positive sequence					Automatic Model Adaptation for Convergence					No					
Automatic tap adjustment of transformers					Max. Acceptable Load Flow Error										
Consider reactive power limits					Bus Equations (HV)					1.00 kVA					
					Model Equations					0.10 %					
Grid: Grid		System Stage: Grid				Study Case: Study Case				Annex: / 1					
rated Voltage [kV]	Bus-voltage [p.u.]	Bus-voltage [kV]	[deg]	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power Factor [-]	Current [kA]	Loading [%]	Additional Data						
BARRA 1															
13.80	1.00	13.80	0.00												
Cub_2 /Sym	GENERADOR			13.66	4.72	0.95	0.60	48.19	Typ: SL						
Cub_1 /Tr2	TRANSFORMADOR ELEV			13.66	4.72	0.95	0.60	48.19	Tap: 0.00	Min: 0	Max: 0				
BARRA 2															
138.00	0.98	135.34	-2.57												
Cub_1 /Tr2	TRANSFORMADOR ELEV			-13.60	-4.02	-0.96	0.06	48.19	Tap: 0.00	Min: 0	Max: 0				
Cub_2 /Lne	LINEA DE TRANSMISI			13.60	4.02	0.96	0.06	6.61	Pv: 11.89 kW	cLod: 3.44 Mvar	L: 50.00 km				
BARRA 3															
138.00	0.98	134.92	-2.87												
Cub_1 /Lne	LINEA DE TRANSMISI			-13.58	-7.37	-0.88	0.07	6.61	Pv: 11.89 kW	cLod: 3.44 Mvar	L: 50.00 km				
Cub_2 /Tr2	TRANSFORMADOR REDU			13.58	7.37	0.88	0.07	52.69	Tap: 0.00	Min: 0	Max: 0				

										DigSILENT		Project:			
										PowerFactory		-----			
										2021 SP2		Date: 21/8/2024			
Load Flow Calculation										Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange					
AC Load Flow, balanced, positive sequence					Automatic Model Adaptation for Convergence					No					
Automatic tap adjustment of transformers					Max. Acceptable Load Flow Error										
Consider reactive power limits					Bus Equations (HV)					1.00 kVA					
					Model Equations					0.10 %					
Grid: Grid		System Stage: Grid				Study Case: Study Case				Annex: / 3					
rtd.V [kV]	Bus - voltage [p.u.]	Bus - voltage [kV]	[deg]						Voltage - Deviation [%]						
									-10	-5	0	+5	+10		
BARRA 1															
13.80	1.000	13.80	0.00												
BARRA 2															
138.00	0.981	135.34	-2.57												
BARRA 3															
138.00	0.978	134.92	-2.87												
BARRA 4															
13.80	0.949	13.10	-5.52												

Grid: Grid		System Stage: Grid				Study Case: Study Case				Annex: / 2				
rated Voltage [kV]	Bus-voltage [p.u.]	Bus-voltage [kV]	[deg]	Active Power [MW]	Reactive Power [Mvar]	Power Factor [-]	Current [kA]	Loading [%]	Additional Data					
BARRA 4														
13.80	0.95	13.10	-5.52											
Cub_2 /Lod	General Load			13.50	6.54	0.90	0.66		P10: 13.50 MW	Q10: 6.54 Mvar				
Cub_1 /Tr2	TRANSFORMADOR REDU			-13.50	-6.54	-0.90	0.66	52.69	Tap: 0.00	Min: 0	Max: 0			

		Digsilent Project:							
		PowerFactory							
		2021 SP2 Date: 21/8/2024							
Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange							
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence No							
Automatic tap adjustment of transformers No		Max. Acceptable Load Flow Error							
Consider reactive power limits No		Bus Equations (HV) 1.00 kVA							
		Model Equations 0.10 %							
Total System Summary		Study Case: Study Case Annex: / 5							
Generation	Motor Load	Load	Compensation	External Infeed	Inter Area Flow	Total Losses	Load Losses	No load Losses	
[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	
\\ok Pc\SEP TRANSMISION(3)\Network Model\Network Data\Grid									
13.66	0.00	13.50	0.00	0.00	0.00	0.16	0.16	-0.00	
4.72	0.00	6.54	0.00	0.00	0.00	-1.82	1.62	-3.44	
Total:									
13.66	0.00	13.50	0.00	0.00		0.16	0.16	-0.00	
4.72	0.00	6.54	0.00	0.00		-1.82	1.62	-3.44	

		Digsilent Project:								
		PowerFactory								
		2021 SP2 Date: 21/8/2024								
Load Flow Calculation		Complete System Report: Substations, Voltage Profiles, Grid Interchange								
AC Load Flow, balanced, positive sequence		Automatic Model Adaptation for Convergence No								
Automatic tap adjustment of transformers No		Max. Acceptable Load Flow Error								
Consider reactive power limits No		Bus Equations (HV) 1.00 kVA								
		Model Equations 0.10 %								
Grid: Grid		System Stage: Grid Study Case: Study Case Annex: / 4								
Volt. Level	Generation	Motor Load	Load	Compensation	External Infeed	Interchange to	Power Interchange	Total Losses	Load Losses	No load Losses
[kV]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]		[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]	[MW]/[Mvar]
13.80	13.66	0.00	13.50	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00
	4.72	0.00	6.54	0.00	0.00	138.00 kV	0.16	0.15	0.15	0.00
							-1.82	1.53	1.53	0.00
138.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.01	-0.00	-0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80 kV	-0.01	0.15	0.15	0.00
							3.35	1.53	1.53	0.00
Total:										
	13.66	0.00	13.50	0.00	0.00		0.00	0.16	0.16	-0.00
	4.72	0.00	6.54	0.00	0.00		0.00	-1.82	1.62	-3.44

Grid: Grid		System Stage: Grid		Study Case: Study Case		Annex: / 2	
rated Voltage	Bus-voltage	Active Power	Reactive Power	Power Factor	Current	Loading	Additional Data
[kV]	[p.u.] [kV]	[deg]	[MW]	[Mvar]	[-]	[kA]	[%]
BARRA 4	13.80	0.95	13.10	-5.52			
Cub_2 /Lod	General Load	13.50	6.54	0.90	0.66		P10: 13.50 MW Q10: 6.54 Mvar
Cub_1 /Tr2	TRANSFORMADOR REDU	-13.50	-6.54	-0.90	0.66	52.69	Tap: 0.00 Min: 0 Max: 0

9.2. Reporte del corto trifásico en la barra del generador.

CORTO CIRCUITO TRIFASICO EN LA BARRA DEL GENERADOR

Ajustes de la prueba

Modo de funcionamiento: Modo avanzado

Fuente de los datos:

Ruta: C:\USERS\INDUSTRIALES\DESKTOP\ARCHIVOS COMTRADES(EVENTOS DE CORTO CIRCUITO)\CORTO TRIFASICO EN LA BARRA DEL GENERADOR\
 Archivo: CORTO TRIFASICO EN LA BARRA DEL GENERADOR.CFG
 Info: DlgSILENT PowerFactory

Salida analógica:

	Nombre	Escala	min.	max.
I L1	CT 51:Secondary Current A	100.00 %	-13.50 A	11.43 A
I L2	CT 51:Secondary Current B	100.00 %	-26.73 A	1.22 A
I L3	CT 51:Secondary Current C	100.00 %	-1.25 A	25.29 A

Salida binaria:

Sal. bin. 1
 Sal. bin. 2
 Sal. bin. 3
 Sal. bin. 4

Pre-reproducción:

Tensión (L-N): n/a
 Corriente: n/a
 Ángulo de Voltaje (falla): 0.00 °
 Corriente de ángulo: 0.00 °
 Duración: 0.000 s

General:

N° de repeticiones: 0x
 Tiempo entre repeticiones: 100.00 ms
 Velocidad de muestreo original: 100.00 Hz
 Velocidad máxima de muestreo: 10.000 kHz
 Velocidad de muestreo utilizada: 100.00 Hz

Comentario

Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Advanced TransPlay Versión: 4.31
 Comienzo: 19-ago.-2024 15:23:36 Fin: 19-ago.-2024 15:23:43
 Nombre de usuario: Administrador:
 Compañía:

Resultados de la prueba

Condición de estado:

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
1 (1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0316	0.0316	+

Eval.: +.. Correcto x.. Incorrecto o.. No evaluado

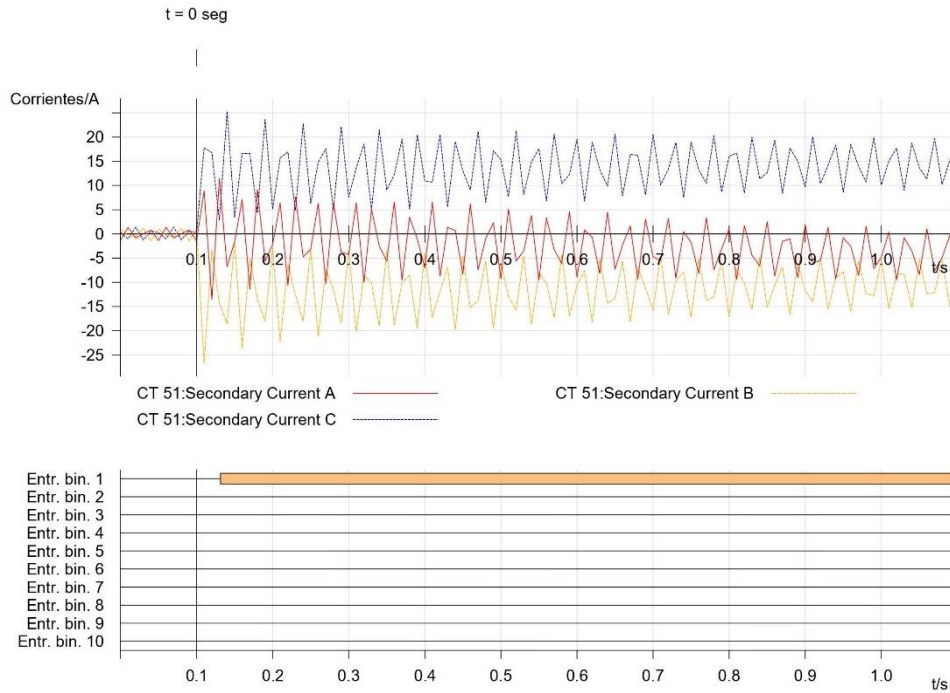
Señal de referencia:

Nº	Nombre	Ignorar antes	Señal	Señal de referencia	tdev- [s]	tdev+ [s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
									o

Eval.: +.. Correcto x.. Incorrecto o.. No evaluado

Oscilograma:

Ciclo de prueba: 1



Datos del cursor

	Tiempo	Señal	Valor
Cursor 1	100.0 ms	<ninguno>	n/a
Cursor 2	1.000 s	<ninguno>	n/a
C2 - C1	900.0 ms		n/a

Estado de la prueba:

Prueba correcta

9.3. Reporte del corto monofásico en la barra de la carga.

CORTO MONOFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA.tra:

Ajustes de la prueba

Modo de funcionamiento: Modo avanzado

Fuente de los datos:

Ruta: C:\USERS\INDUSTRIALES\DESKTOP\ARCHIVOS COMTRADES(EVENTOS DE CORTO CIRCUITO)\CORTO MONOFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA\
 Archivo: CORTO MONOFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA.CFG
 Info: DlgSILENT PowerFactory

Salida analógica:

	Nombre	Escala	min.	max.
I L1	CT 1:Secondary Current A	100.00 %	-11.41 A	10.60 A
I L2	CT 1:Secondary Current B	100.00 %	-2.32 A	2.05 A
I L3	CT 1:Secondary Current C	100.00 %	-2.24 A	2.21 A

Salida binaria:

Sal. bin. 1
 Sal. bin. 2
 Sal. bin. 3
 Sal. bin. 4

Pre-reproducción:

Tensión (L-N): n/a
 Corriente: n/a
 Ángulo de Voltaje (falla): 0.00 °
 Corriente de ángulo: 0.00 °
 Duración: 0.000 s

General:

N° de repeticiones: 0x
 Tiempo entre repeticiones: 100.00 ms
 Velocidad de muestreo original: 100.00 Hz
 Velocidad máxima de muestreo: 10.000 kHz
 Velocidad de muestreo utilizada: 100.00 Hz

Comentario

Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Advanced TransPlay Versión: 4.31
 Comienzo: 19-ago.-2024 15:38:26 Fin: 19-ago.-2024 15:38:32
 Nombre de usuario: Administrador:
 Compañía:

Resultados de la prueba

Condición de estado:

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
1 (1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0327	0.0327	+

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

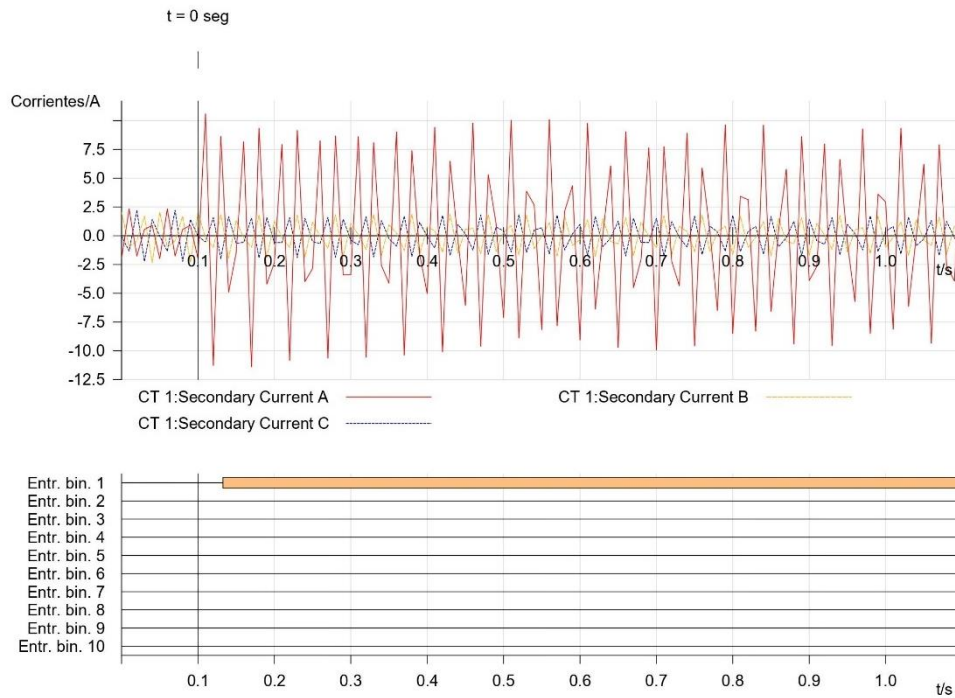
Señal de referencia:

Nº	Nombre	Ignorar antes	Señal	Señal de referencia	tdev- [s]	tdev+ [s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
									o

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Oscilograma:

Ciclo de prueba: 1



Datos del cursor

	Tiempo	Señal	Valor
Cursor 1	100.0 ms	<ninguno>	n/a
Cursor 2	1.000 s	<ninguno>	n/a
C2 - C1	900.3 ms		n/a

Estado de la prueba:

Prueba correcta

9.4. Reporte del corto trifásico en la barra de la carga.

CORTO TRIFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA.tra:

Ajustes de la prueba

Modo de funcionamiento: Modo avanzado

Fuente de los datos:

Ruta: C:\USERS\INDUSTRIALES\DESKTOP\ARCHIVOS COMTRADES(EVENTOS DE CORTO CIRCUITO)\CORTO TRIFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA\
 Archivo: CORTO TRIFASICO EN LA BARRA DE LA CARGA.CFG
 Info: DlgSILENT PowerFactory

Salida analógica:

	Nombre	Escala	min.	max.
I L1	CT 1:Secondary Current A	100.00 %	-11.33 A	9.97 A
I L2	CT 1:Secondary Current B	100.00 %	-16.32 A	8.43 A
I L3	CT 1:Secondary Current C	100.00 %	-8.24 A	13.97 A

Salida binaria:

Sal. bin. 1
 Sal. bin. 2
 Sal. bin. 3
 Sal. bin. 4

Pre-reproducción:

Tensión (L-N): n/a
 Corriente: n/a
 Ángulo de Voltaje (falla): 0.00 °
 Corriente de ángulo: 0.00 °
 Duración: 0.000 s

General:

Nº de repeticiones: 0x
 Tiempo entre repeticiones: 100.00 ms
 Velocidad de muestreo original: 100.00 Hz
 Velocidad máxima de muestreo: 10.000 kHz
 Velocidad de muestreo utilizada: 100.00 Hz

Comentario

Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Advanced TransPlay Versión: 4.31
 Comienzo: 19-ago.-2024 16:52:41 Fin: 19-ago.-2024 16:52:47
 Nombre de usuario: Administrador:
 Compañía:

Resultados de la prueba

Condición de estado:

Nº	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
1 (1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0300	0.0300	+

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Señal de referencia:

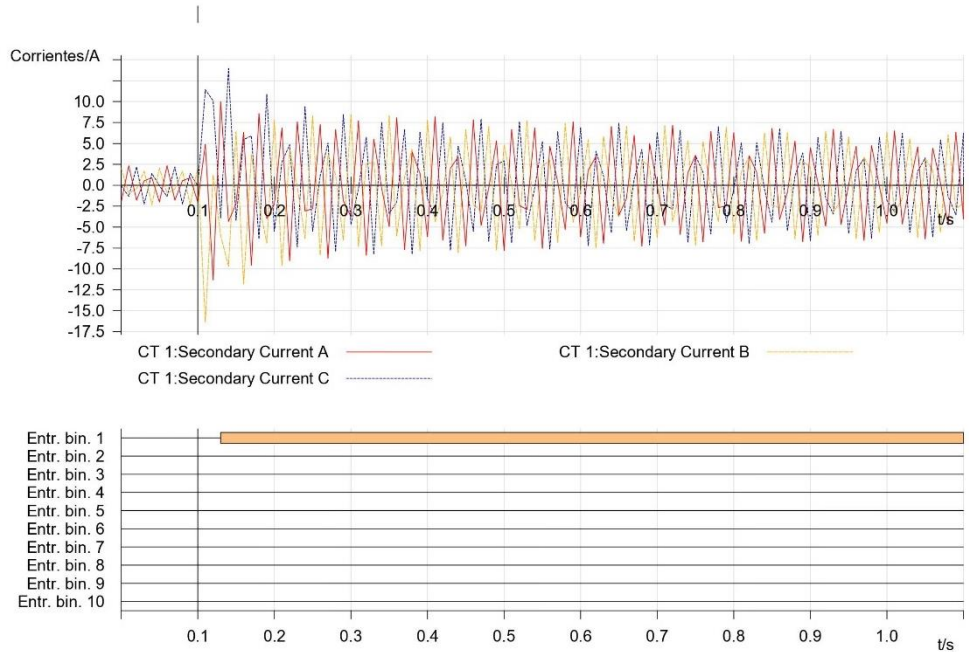
Nº	Nombre	Ignorar antes	Señal	Señal de referencia	tdev- [s]	tdev+ [s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
									o

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Oscilograma:

Ciclo de prueba: 1

t = 0 seg



Datos del cursor

	Tiempo	Señal	Valor
Cursor 1	100.0 ms	<ninguno>	n/a
Cursor 2	1.100 s	<ninguno>	n/a
C2 - C1	1.000 s		n/a

Estado de la prueba:
Prueba correcta

9.5. Reporte del corto monofásico de la línea de transmisión.

CORTO CIRCUITO MONOFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION.tra:

Ajustes de la prueba

Modo de funcionamiento: Modo avanzado

Fuente de los datos:

Ruta: C:\USERS\INDUSTRIALES\DESKTOP\ARCHIVOS COMTRADES(EVENTOS DE CORTO CIRCUITO)\CORTO MONOFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION\
 Archivo: CORTO MONOFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION.CFG
 Info: DlgSILENT PowerFactory

Salida analógica:

	Nombre	Escala	min.	max.
I L1	CT 3:Secondary Current A	100.00 %	-13.47 A	14.86 A
I L2	CT 3:Secondary Current B	100.00 %	-2.06 A	2.13 A
I L3	CT 3:Secondary Current C	100.00 %	-2.12 A	1.87 A

Salida binaria:

Sal. bin. 1
 Sal. bin. 2
 Sal. bin. 3
 Sal. bin. 4

Pre-reproducción:

Tensión (L-N): n/a
 Corriente: n/a
 Ángulo de Voltaje (falla): 0.00 °
 Corriente de ángulo: 0.00 °
 Duración: 0.000 s

General:

N° de repeticiones: 0x
 Tiempo entre repeticiones: 100.00 ms
 Velocidad de muestreo original: 100.00 Hz
 Velocidad máxima de muestreo: 10.000 kHz
 Velocidad de muestreo utilizada: 100.00 Hz

Comentario

Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Advanced TransPlay Versión: 4.31
 Comienzo: 19-ago.-2024 17:43:26 Fin: 19-ago.-2024 17:43:33
 Nombre de usuario: Administrador
 Compañía:

Resultados de la prueba

Condición de estado:

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal[s]	tdev.[s]	Eval.
----	--------	---------------	--------	-----	----------	----------	----------	----------	----------	-------

1 (1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0326	0.0326	+
-------	-------------	-----------	-----------	------------------	--------	--------	--------	--------	--------	---

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

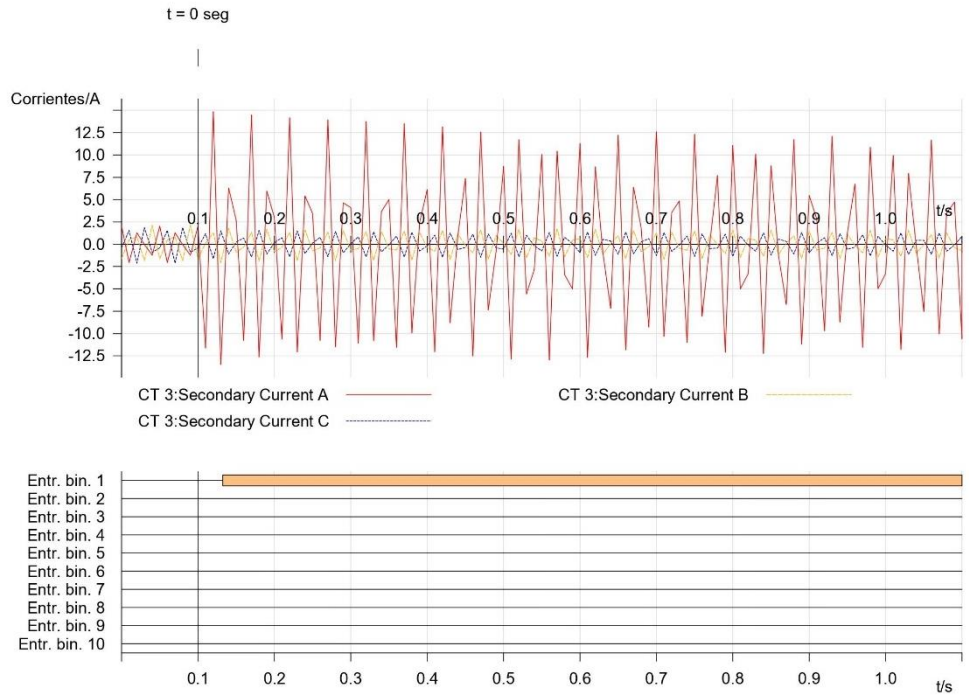
Señal de referencia:

Nº	Nombre	Ignorar antes	Señal	Señal de referencia	tdev- [s]	tdev+ [s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
									o

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Oscilograma:

Ciclo de prueba: 1



Datos del cursor

	Tiempo	Señal	Valor
Cursor 1	100.0 ms	<ninguno>	n/a
Cursor 2	1.000 s	<ninguno>	n/a
C2 - C1	900.3 ms		n/a

Estado de la prueba:
Prueba correcta

9.6. Reporte del corto trifásico de la línea de transmisión.

CORTO CIRCUITO TRIFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSM

Ajustes de la prueba

Modo de funcionamiento: Modo avanzado

Fuente de los datos:

Ruta: C:\USERS\INDUSTRIALES\DESKTOP\ARCHIVOS COMTRADES(EVENTOS DE CORTO CIRCUITO)\CORTO TRIFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION\
 Archivo: CORTO TRIFASICO AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION.CFG
 Info: DigSILENT PowerFactory

Salida analógica:

	Nombre	Escala	min.	max.
I L1	CT 3:Secondary Current A	100.00 %	-11.91 A	13.86 A
I L2	CT 3:Secondary Current B	100.00 %	-9.67 A	24.65 A
I L3	CT 3:Secondary Current C	100.00 %	-20.35 A	9.66 A

Salida binaria:

Sal. bin. 1
 Sal. bin. 2
 Sal. bin. 3
 Sal. bin. 4

Pre-reproducción:

Tensión (L-N): n/a
 Corriente: n/a
 Ángulo de Voltaje (falla): 0.00 °
 Corriente de ángulo: 0.00 °
 Duración: 0.000 s

General:

N° de repeticiones: 0x
 Tiempo entre repeticiones: 100.00 ms
 Velocidad de muestreo original: 100.00 Hz
 Velocidad máxima de muestreo: 10.000 kHz
 Velocidad de muestreo utilizada: 100.00 Hz

Comentario

Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Advanced TransPlay Versión: 4.31
 Comienzo: 19-ago.-2024 17:50:31 Fin: 19-ago.-2024 17:50:38
 Nombre de usuario: Administrador:
 Compañía:

Resultados de la prueba

Condición de estado:

N°	Nombre	Ignorar antes	Inicio	Fin	tnom.[s]	tdev-[s]	tdev+[s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
1 (1)	Signal trip	t = 0 seg	t = 0 seg	Entr. bin. 1 0>1	0.0000	0.0500	0.0500	0.0278	0.0278	+

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

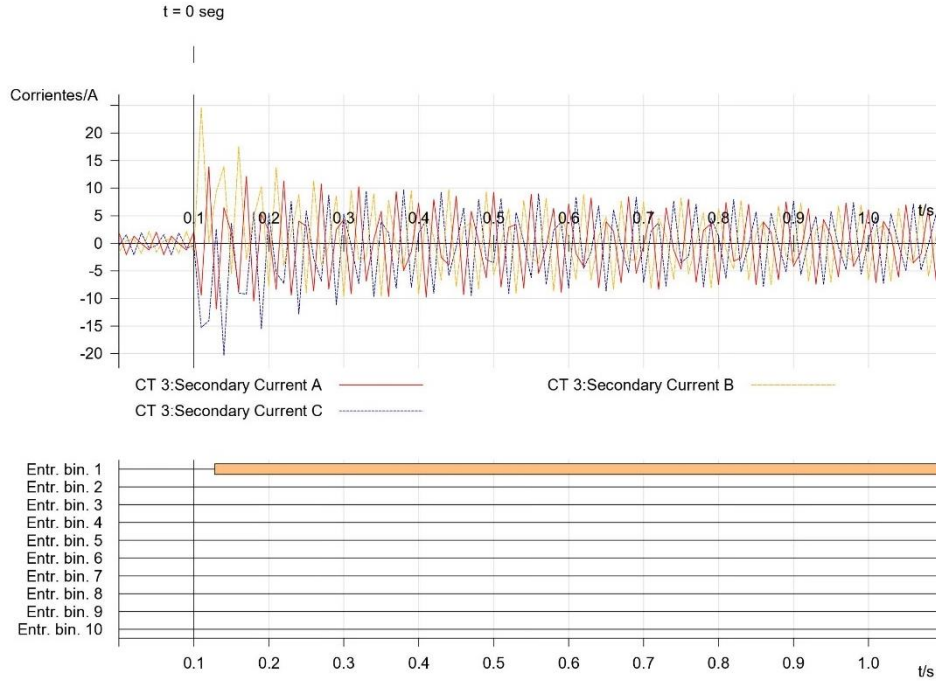
Señal de referencia:

Nº	Nombre	Ignorar antes	Señal	Señal de referencia	tdev-[s]	tdev+[s]	treal [s]	tdev.[s]	Eval.
									o

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Oscilograma:

Ciclo de prueba: 1



Datos del cursor

	Tiempo	Señal	Valor
Cursor 1	100.0 ms	<ninguno>	n/a
Cursor 2	1.000 s	<ninguno>	n/a
C2 - C1	900.3 ms		n/a

Estado de la prueba:

Prueba correcta

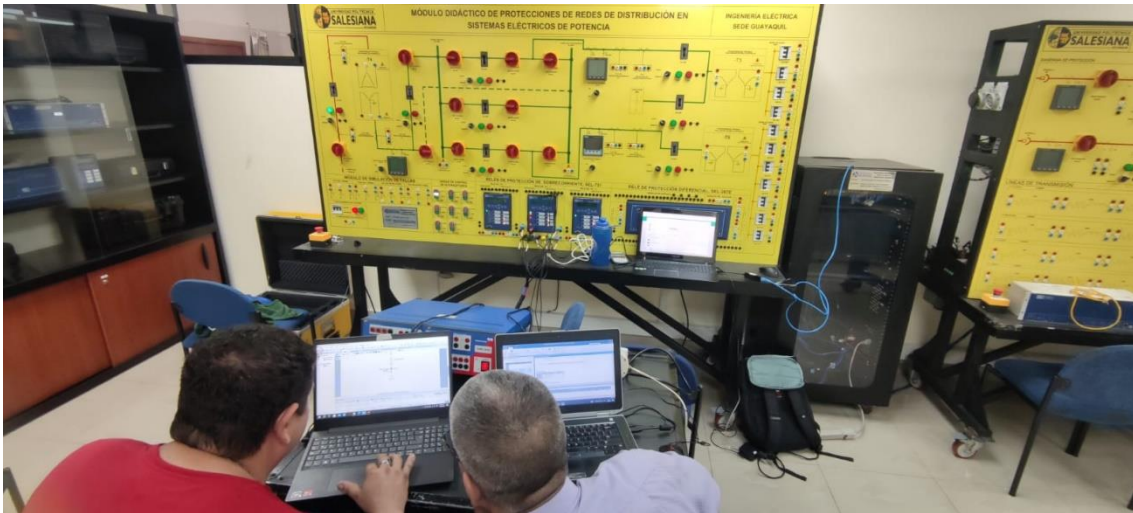
9.7. Registro fotográfico de la ejecución del proyecto de titulación.



Parametrización del Relé SE-751.



Disparo Relé 5 barra 1 / 50P.



Ejecución de la inyección de corriente con la maleta de OMICRON CMC356.



Relé 1 barra 4 monofásico



Relé 1 carga trifásico instantáneo