

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**ANÁLISIS DE LAS FUNCIONES DE PROTECCIÓN DE
SOBRECORRIENTE, DISTANCIA Y DIFERENCIAL EN EL
SOFTWARE EMTP**

**ANÁLISIS DE LA PROTECCIÓN DE DISTANCIA EN EL
SOFTWARE EMTP**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

LUIS FERNANDO CORDONES HERRERA

DIRECTOR: DR.-ING. FABIÁN ERNESTO PÉREZ YAULI

DMQ, junio 2022

CERTIFICACIONES

Yo, LUIS FERNANDO CORDONES HERRERA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

LUIS FERNANDO CORDONES HERRERA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por LUIS FERNANDO CORDONES HERRERA, bajo mi supervisión.

DR.-ING. FABIÁN ERNESTO PÉREZ YAULI
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

LUIS FERNANDO CORDONES HERRERA

DR.-ING. FABIÁN ERNESTO PÉREZ YAULI

DEDICATORIA

Dedico a mi amado Dios, creador de todo y padre eterno, que me ha dado la fuerza para continuar en la culminación de esta etapa, quien en cada paso está guiándome e iluminando el camino a seguir, de una u otra manera me ha dado los recursos necesarios para cumplir con éxito este proceso.

A mis padres, Wilfrido Cordones que indirectamente se ha hecho presente en varias ocasiones y a mi adorada María Fernanda Herrera que cada día está pendiente de mi bienestar, que se ha idealizado más de mil maneras para tratar de sustentar todo lo que he requerido, me ha apoyado incondicionalmente brindándome su amor, confianza, consejos para que yo pueda finalizar triunfante esta fase académica.

A mi hermana Samantha que siempre será un pilar fundamental en el transcurso de mi vida, quien me ha motivado a continuar, ha estado pendiente de mí cuando mi salud estuvo afectada, por compartir conmigo risas, llantos, buenos y malos momentos.

A Damaris y su familia que fueron parte esencial en estos últimos semestres para culminar con ánimo y por permitirme ver las situaciones difíciles como una aventura por conquistar.

No solo mi trabajo, sino toda mi vida te la dedico a ti mi Padre Celestial.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la vida, la oportunidad de tener y concluir lo que en un principio fue un sueño luego un objetivo y ahora la realidad de mi título universitario. A mi familia, quienes estuvieron en muchas ocasiones pendientes de lo que yo necesitaba durante este trayecto académico y nunca faltaron sus oraciones.

A mi apreciada Escuela Politécnica Nacional por abrirme las puertas para formarme intelectualmente y otorgarme las herramientas adecuadas para desarrollarme victorioso en las áreas tanto profesional como laboral, realmente estoy muy agradecido por darme la oportunidad de estudiar como también por ser parte de la solución ante las dificultades en mi hogar.

A mis docentes, por darle la debida importancia a su rol, desde mis primeros pasos en la Universidad, me han guiado, instruido y corregido cuando ha sido necesario, con su ayuda, su tiempo, dedicación y compromiso han contribuido al desarrollo y culminación de esta carrera universitaria. Apreciados docentes gracias por compartir de su conocimiento y sabiduría. En especial al Doctor Fabián Pérez por su apoyo en este trabajo.

A mis compañeros, amigos que me animaron en cada ocasión que pudieron, por hacerme ver diferentes puntos de vista, por ayudarme a ver que lo más difícil ha pasado y que ahora falta un escalón para atravesar la meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE	2
1.4 MARCO TEÓRICO	4
1.4.1 SOFTWARE EMTP	4
1.4.2 PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	10
1.4.3 RELÉ TIPO ADMITANCIA (MHO)	16
2 METODOLOGÍA.....	19
2.1 ESTRUCTURA	19
2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	20
2.3 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA.....	21
2.3.1 FASE DE PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y DISEÑO	21
2.3.2 FASE DE MODELACIÓN	22
2.3.3 FASE DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN	24
2.3.4 FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
3.1 RESULTADOS	27
3.1.1 SISTEMA DE ESTUDIO	27
3.1.2 MODELO IMPLEMENTADO.....	33
3.1.3 SIMULACIÓN	35
3.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	44
3.2 CONCLUSIONES.....	45
3.3 RECOMENDACIONES.....	49
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXO I Primeros Pasos en EMTP	53
ANEXO II Circuito Básico en EMTP	56
ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory	59

ANEXO IV Gráficas para Demanda Máxima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory	65
ANEXO V Gráficas para Demanda Mínima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory	84
ANEXO VI Guía para el proceso de modelación, simulación y ajuste de la Protección de Distancia	103

RESUMEN

Los sistemas de protecciones eléctricas son importantes para la operación del sistema, la vida útil de los equipos y para la seguridad del personal que opera estos sistemas. Actualmente se utilizan softwares de modelación y simulación que permiten ajustar los distintos tipos de protecciones eléctricas frente a distintos casos. Uno de los más conocidos es PowerFactory de DlgSILENT, su uso ha permitido el aprendizaje continuo dentro del área de la ingeniería eléctrica. Otro software es EMTP-RV, del cual el Departamento de Energía Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional obtuvo la renovación de la licencia académica del software por medio del acuerdo “partner of EMTP Alliance”. Así nace la oportunidad de crear trabajos de investigación con fines académicos, y por la modalidad virtual acontecida a causa de la pandemia, se evidencia la necesidad de analizar nuevos programas y permitir mejorar habilidades computacionales para modelación y simulación de sistemas eléctricos de potencia.

El presente Trabajo de Integración Curricular tiene la finalidad de proporcionar un análisis frente a la modelación, simulación y ajuste de la protección de distancia en los software PowerFactory y EMTP-RV, y una guía para la modelación, simulación y ajuste de la protección de distancia en el software EMTP-RV. Permitiendo aprovechar al máximo ambos programas y creando escenarios que provean al estudiante la habilidad de tomar decisiones. Los resultados de simulación obtenidos se comparan encontrando ventajas y desventajas de cada software, y así identificar el software más apropiado para simular la protección de distancia.

PALABRAS CLAVE: Ajuste, EMTP-RV, Modelación, PowerFactory, Protección de Distancia, Protecciones Eléctricas, Simulación.

ABSTRACT

The electrical protection systems are important for the operation of the system, the useful life of the equipment and for the safety of the personnel who operate these systems. Currently, modeling and simulation software is used to adjust the different types of electrical protection against different cases. One of the best known is DlgSILENT's PowerFactory, its use has allowed continuous learning within the area of electrical engineering. Another software is EMTP-RV, for which the Department of Electric Energy of the National Polytechnic School obtained the renewal of the academic software license through the "partner of EMTP Alliance" agreement. This is how the opportunity to create research work for academic purposes is born, and due to the virtual modality that occurred due to the pandemic, the need to analyze new programs and improve computational skills for modeling and simulating electrical power systems is evident.

The purpose of this Curriculum Integration Work is to provide an analysis of the modeling, simulation and adjustment of the distance protection in the PowerFactory and EMTP-RV software, and a guide for the modeling, simulation and adjustment of the distance protection. in the EMTP-RV software. Allowing to take full advantage of both software and creating real scenarios that provide the student with the ability to make decisions. The simulation results obtained are compared, finding advantages and disadvantages of each software, and thus identify the most appropriate software to simulate distance protection.

KEYWORDS: Adjustment, EMTP-RV, Modeling, PowerFactory, Distance Protection, Electrical Protections, Simulation.

1 INTRODUCCIÓN

El componente que será desarrollado abarca la tercera parte de todo el Proyecto de Trabajo de Integración Curricular. Éste considera la información recolectada referente a la protección eléctrica de distancia, su modelamiento, simulación y ajuste en los programas PowerFactory y EMTP-RV, el análisis de los resultados obtenidos, y un análisis comparativo entre ambos programas.

Para esto es importante conocer previamente que en el país actualmente se usa el programa PowerFactory de DigSILENT para los estudios de ajuste y coordinación de las protecciones eléctricas para sistemas de transmisión y generación. A raíz de la obligatoriedad de una modalidad virtual se aprecia una urgencia para encontrar métodos que aprovechen en su totalidad las oportunidades tecnológicas que están disponibles en el campo laboral y estudiantil. En el mundo tecnológico existen más sistemas computacionales con las características que tiene PowerFactory, este es el programa EMTP-RV. El EMTP-RV es un programa que permite la modelación y simulación de sistemas eléctricos cuyo fuerte es el análisis de transitorios electromagnéticos, incluyendo otros estudios que acogen el análisis de las protecciones eléctricas.

Existen algunos tipos de protecciones eléctricas. Dentro de los sistemas de protecciones más utilizados se tienen aquellos compuestos por los relés de distancia que mayoritariamente se emplean en las líneas de transmisión. A diferencia de otras protecciones que se utilizan en el elemento indicado del SEP, la protección de distancia es preferida pues tiene la ventaja de estimar el punto donde ocurrió una falla eléctrica, lo cual es de suma importancia para reducir los tiempos de indisponibilidad de las líneas falladas.

Para lograr un análisis comparativo y procedimental entre ambos programas se necesita:

- Crear y modelar el diseño de la red eléctrica, considerando la utilidad de la protección eléctrica de distancia.
- Simular flujos de potencia y fallas en los mismos puntos de la red para verificar que ambos programas otorgan resultados similares.
- Ajustar la protección de distancia conforme a parámetros de ajuste en ambos programas.
- Simular en ambos programas el sistema modelado con el ajuste de la protección de distancia, considerando las mismas fallas.

Estos ítems son considerados para investigar las ventajas o desventajas que hay en ambos programas con fines netamente académicos y de esta manera poner a consideración del personal educativo que herramienta conviene usar para la modelación, simulación y ajuste de la protección de distancia.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la protección de distancia de líneas de transmisión mediante la modelación y simulación en un sistema eléctrico de prueba en EMTP-RV y en PowerFactory, de modo que se puedan identificar posibles ventajas y desventajas de cada software empleado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Revisar fuentes bibliográficas sobre la teoría de protección de distancia, el uso del programa computacional EMTP-RV, para una adecuada comprensión y utilización de los mismos.
2. Modelar un sistema eléctrico de prueba para realizar un análisis adecuado de la protección de distancia en el programa computacional EMTP-RV y en PowerFactory.
3. Analizar, por simulación, el desempeño de la protección de distancia dentro del sistema eléctrico modelado tanto en el programa computacional EMTP-RV como en PowerFactory de DlgSILENT.
4. Identificar, mediante comparación procedimental y de resultados, posibles ventajas y desventajas del empleo de la protección de distancia en los dos programas computacionales mencionados.

1.3 ALCANCE

El desarrollo del presente trabajo dará inicio con una revisión bibliográfica del funcionamiento y calibración de la protección de distancia aplicada a líneas de transmisión, así como del software EMTP-RV. A continuación, se definirá y modelará el sistema eléctrico de prueba en el cual se analizará la protección de distancia, con sus correspondientes casos de estudio. Se modelarán los relés de distancia con el detalle adecuado para su análisis, y se aplicarán criterios de ajuste y coordinación obtenidos de la literatura técnica.

Estas actividades se realizarán también en el software PowerFactory, y mediante contrastación de resultados y del procedimiento utilizado, se podrán identificar posibles ventajas y desventajas desde el punto de vista de la protección de distancia.

Este trabajo contempla la ejecución de las siguientes actividades:

A. Fase Planteamiento Teórico y de Diseño:

Se realizará una revisión bibliográfica del funcionamiento y calibración de la protección de distancia, así como el funcionamiento del software EMTP-RV.

Se obtendrá suficiente información para determinar el modelo del sistema eléctrico de prueba para analizar el desempeño de la protección de distancia en el software mencionado.

B. Fase de Modelación:

Se modelará el sistema eléctrico de prueba seleccionado con sus respectivos casos de estudio en el software EMTP RV y en PowerFactory. Se modelará también la protección de distancia en las líneas de transmisión modeladas para luego mediante simulación establecer el ajuste y coordinación de las mismas.

C. Fase de Pruebas y Evaluación:

Se simulará en EMTP-RV y en PowerFactory los diferentes casos de estudio que sean necesarios hasta determinar el ajuste y coordinación de las protecciones de distancia modeladas. Se evaluarán los resultados obtenidos y el proceso que se utilizó para obtenerlos en cada software. A diferencia de PowerFactory, que es un software conocido, se definirá un procedimiento útil para el usuario de EMTP-RV en relación con la modelación de sistemas eléctricos y análisis de la protección de distancia.

D. Fase de Análisis de Resultados y elaboración del documento:

Se identificarán las posibles ventajas y desventajas entre el software EMTP-RV y el software PowerFactory de DiGSILENT, mediante una contrastación de todos los resultados

obtenidos y del procedimiento utilizado. Es importante resaltar que esta contrastación pretende obtener dicho conocimiento únicamente para uso académico.

1.4 MARCO TEÓRICO

Dentro del campo de estudio de la ingeniería se recopilan modelos de sistemas o modelaciones que permiten analizar la causa – efecto del objeto de estudio. Cuyo fin se encuentra en los resultados del estudio y de esta manera verificar si es posible una mejora del sistema o modelo del sistema mediante razonamientos lógicos, que actualmente se basan en métodos tecnológicos que incorporan diversos programas con funciones específicas, herramientas para modelar y simular con la capacidad de incluir modelos sencillos y modelos complejos [1-3].

Para el análisis de la protección de distancia en el software EMTP, se considera diversos casos de estudio, por ello, depende del caso de estudio para que se aplique el modelo del sistema, del cual se recopilan datos que serán cargados dentro del software a utilizar. Para esto, a continuación, se entra en contexto del software EMTP y de la protección de distancia [2-4].

1.4.1 SOFTWARE EMTP

En base a los párrafos anteriores, se tiene que considerar un software que facilite en tiempo y en eficiencia, cálculos y resultados; EMTP-RV es un programa que en efecto permite el modelado y la simulación virtual, es utilizado frecuentemente para investigaciones o dentro del ámbito educativo [2] [5].

EMTP es una herramienta de análisis de transitorios electromagnéticos y electromecánicos moderna. Posee un solucionador de flujo de carga polifásico desequilibrado que permite la solución de redes de transmisión y distribución de gran escala. Su solución de flujo de potencia se utiliza para inicializar automáticamente las redes eléctricas simuladas, esta inicialización automática permite el estudio de los transitorios a partir de condiciones estacionarias. Las bibliotecas de componentes permiten modelar detalladamente los sistemas de control y protección. Dentro de EMTP existen modelos de fuentes de energía renovable, como turbinas eólicas y fotovoltaicas, y cajas de herramientas de 98 modelos de “Exciters and Governor” [2].

Es capaz de resolver modelos no lineales, representar efectos de no linealidad, parámetros distribuidos y concentrados de modo preciso. Los resultados de este programa son necesarios y requeridos para diversos estudios en sistemas de potencia. EMTP/ATP conocido como (ElectroMagnetic Transients Program), fue desarrollado por Herman W. Dommel en la década de 1960. EMTP/ATP permite simular configuraciones arbitrarias, usando una técnica iterativa basada en Newton [2].

La formulación matemática se basa en el método de Bregaron para elementos con parámetros distribuidos y en la regla de integración trapezoidal para parámetros concentrados. Durante la solución se emplean técnicas de matrices ralas y técnicas de factorización triangular optimizada de matrices [1] [2] [6] [7]. Los bucles algebraicos en los diagramas de bloques de control se resuelven sin la intervención del usuario, sin la necesidad de insertar retrasos para facilitar el proceso de solución [2].

EMTP además posee una interfaz gráfica llamada EMTPWorks. Es un editor de esquemas, en esta interfaz se pueden realizar desde circuitos básicos hasta redes eléctricas grandes, incluso aquí se pueden estudiar diversos problemas, desde el flujo de potencia hasta transitorios muy rápidos [2]. Su interfaz dispone de una gran biblioteca de circuitos eléctricos/electrónicos y dispositivos de sistemas de potencia. EMTP aparte de tener su solución en el dominio del tiempo, tiene una solución de estado estacionario. Todos los dispositivos que posee EMTP pueden ser inicializados [1-2].

Los modelos disponibles en el EMTP/ATP son [1] [7] [8]:

- Elementos concentrados: resistencias, inductancias, capacitancias.
- Elementos R – L acoplados.
- Elementos del tipo circuito PI-equivalente polifásico.
- Transformadores monofásicos con característica de magnetización.
- Líneas de transmisión con parámetros distribuidos.
- Elementos no-lineales.
- Interruptores controlados por tiempo, por voltaje, por señal, estadísticos, etc.
- Fuentes de voltaje o corriente, definidas analíticamente.
- Pararrayos.
- Compensadores estáticos y válvulas convertoras.

Se obtiene una respuesta de la red eléctrica en el tiempo, en voltajes de barras o de ramas y corrientes de ramas. Incluye estudios estadísticos con resultados presentados bajo la forma de distribuciones [7] [8].

Los estudios que permite hacer EMTP/ATP son [7] [2]:

- Simulación de arranque de motores.
- Evaluación de armónicos.
- Máquinas eléctricas.
- Simulación del control de las máquinas y del sistema de potencia.
- Cálculo de parámetros en líneas aéreas y cables subterráneos.
- Estudios de ferresonancia.
- Sobrevoltajes por maniobra.
- Ajuste y coordinación de determinadas protecciones.

1.4.1.1 Opciones de Simulación

EMTP es capaz de simular redes eléctricas y sistemas de control. Los sistemas de control se simulan a nivel de diagrama de bloques, los cuales pueden ser usados para modelar dispositivos de potencia y ser incluidos en las redes eléctricas. El programa posee cuatro opciones de simulación: Solución Carga-Flujo, Solución Estado Estacionario, Solución Dominio del Tiempo, Solución Exploración de Frecuencia [2-3].

1.4.1.1.1 Solución Carga-Flujo

Se usan fasores complejos para resolver las ecuaciones de la red. Los dispositivos activos son solamente los dispositivos de flujo de carga (LF). Su solución trabaja a una sola frecuencia, la cual se especifica como frecuencia de alimentación predeterminada. Se puede utilizar la misma red eléctrica para transitorios o flujos de potencia. Y puede analizar redes polifásicas y desequilibradas [2-3]. En la Figura 1.1 se muestra una captura de la opción de solución Carga-Flujo en EMTP encerrada en un recuadro de color rojo; esta opción permite encontrar la solución de flujo de carga y empezar desde una solución de flujo de carga previa.

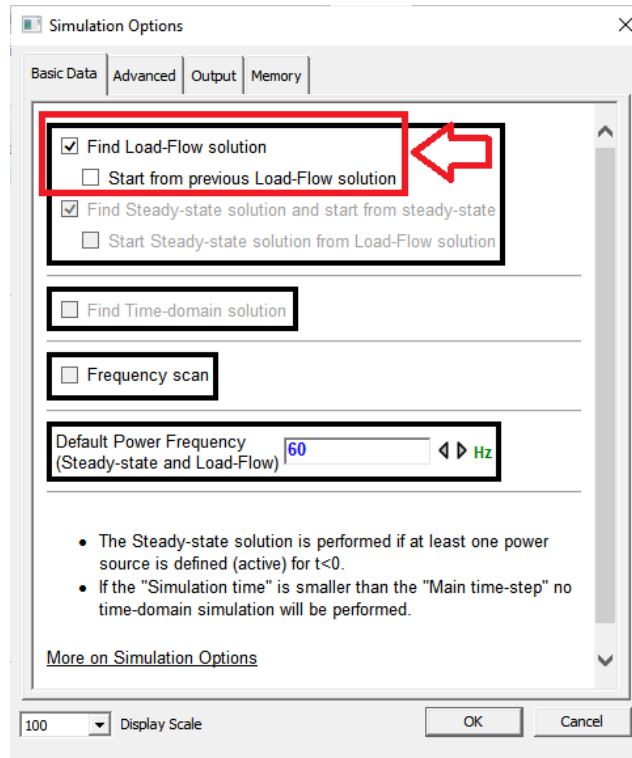


Figura 1.1. Captura de la opción de solución de flujo de carga en EMTP.

1.4.1.1.2 Solución Estado Estacionario

Se crea un modelo de circuito agrupado para todos los dispositivos, cuya opción se utiliza en un modo independiente o al inicializar la solución en el dominio del tiempo. Se puede obtener una solución de estado estable armónico. Este tipo de solución se realiza si al menos un dispositivo de fuente de alimentación tiene un tiempo inferior a cero para iniciar, es decir, un tiempo de activación [2-3]. En la Figura 1.2 se muestra una captura de la opción de solución de Estado Estacionario en EMTP encerrada en un recuadro de color rojo; esta opción permite encontrar la solución de estado estacionario y empezar desde una solución de estado estacionario de una solución de flujo de carga.

1.4.1.1.3 Solución Dominio Del Tiempo

Se usa una técnica de integración numérica para resolver las ecuaciones de la red eléctrica y del sistema de control. Se utiliza el método de Newton cuando existen dispositivos no lineales. De manera opcional la solución del estado estacionario puede inicializar las variables de la red, proporcionar la solución en el tiempo $t=0$, y lograr condiciones de estado

estacionario en formas de onda en el dominio del tiempo; también se pueden inicializar las variables de estado manualmente [2-3]. En la Figura 1.3 se muestra una captura de la opción de solución de Dominio en el Tiempo en EMTP encerrada en un recuadro de color rojo; esta opción permite encontrar la solución de dominio en el tiempo, incluir el paso de tiempo principal y el tiempo de simulación máximo.

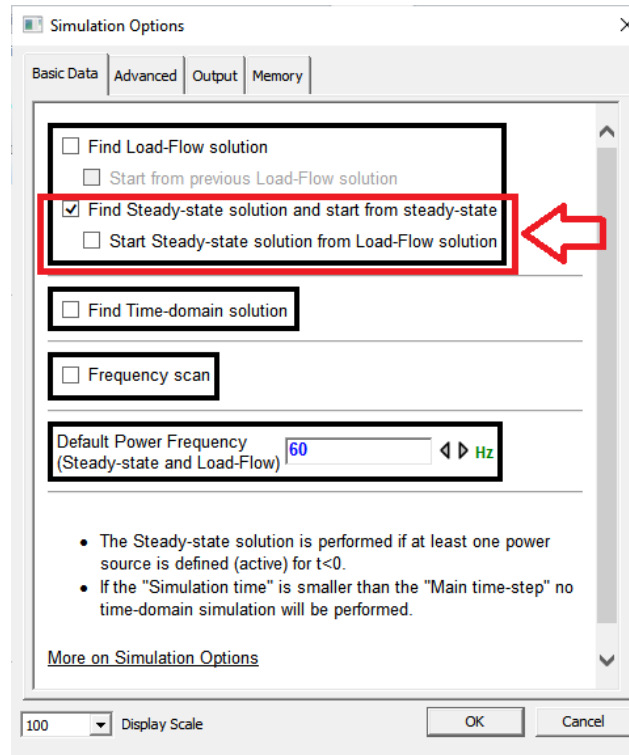


Figura 1.2. Captura de la opción de solución de estado estacionario en EMTP.

1.4.1.1.4 Solución Exploración De Frecuencia

Se encuentra una solución en estado estacionario para cada frecuencia que pertenece a un rango de frecuencia dado, haciendo variar a las frecuencias de la fuente [2-3]. En la Figura 1.4 se muestra una captura de la opción de solución de Exploración de Frecuencia en EMTP encerrada en un recuadro de color rojo; esta opción permite seleccionar una escala logarítmica e ingresar el número de puntos por década, ingresar el paso de frecuencia en Hz, datos de frecuencia mínima y máxima en Hz.

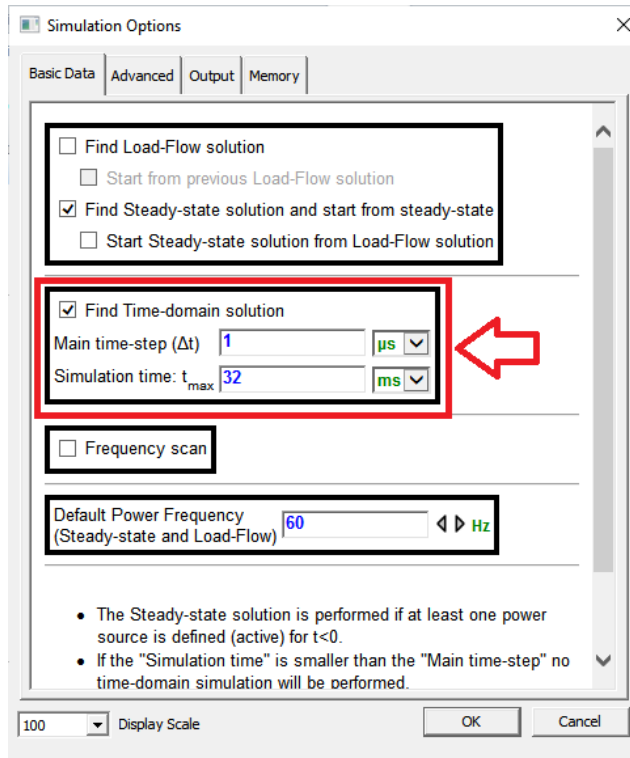


Figura 1.3. Captura de la opción de solución dominio en el tiempo en EMTP.

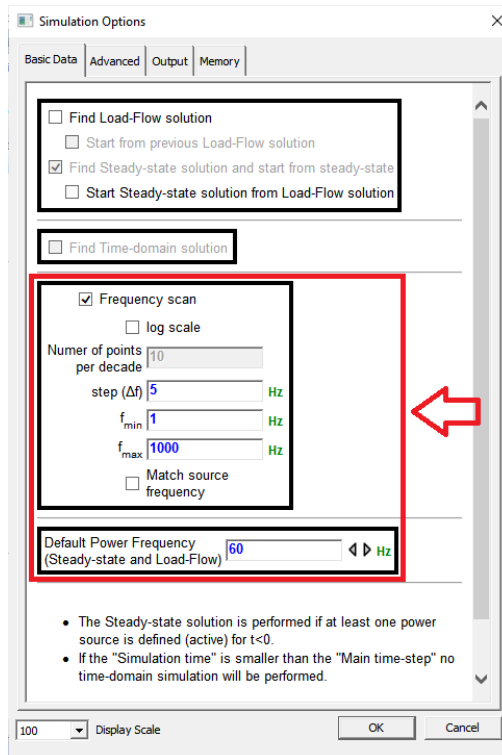


Figura 1.4. Captura de la opción de solución de exploración de frecuencia en EMTP.

1.4.2 PROTECCIÓN DE DISTANCIA

Las protecciones de distancia se basan en la medición de impedancias. En los relés de distancia, existe un equilibrio entre voltaje y corriente, relación que se puede expresar en términos de impedancia. La impedancia es una medida eléctrica de distancia a lo largo de una línea de transmisión, lo que explica el nombre aplicado a este grupo de relés, la impedancia es proporcional a la distancia debido a que en la construcción de las líneas de transmisión generalmente cada una de sus fases tienen el mismo tipo y sección de conductor [18] [11] [12].

En un relé de distancia, el par producido por un elemento de corriente se equilibra contra el par de un elemento de voltaje. El elemento de corriente produce un par positivo (arranque), mientras que el elemento de voltaje produce un par negativo (restricción). Es decir, el relé de distancia es un relé de sobrecorriente restringido por voltaje; por lo tanto, para el funcionamiento de los relés de distancia, en sus entradas necesitan señales de voltaje y corriente como se muestra en la Figura 1.5 [13] [14] [12] [18].

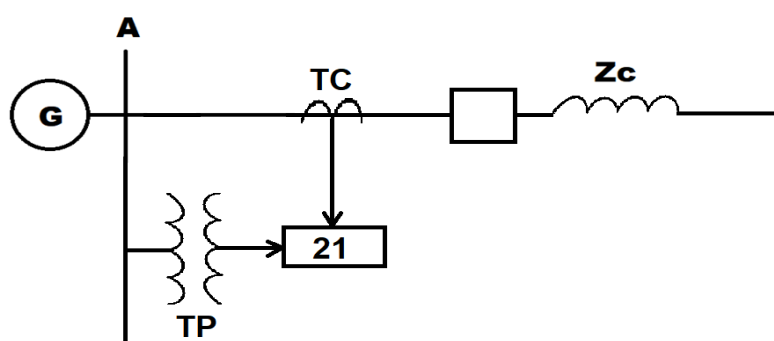


Figura 1.5. Conexión de un relé de distancia [19].

Por ejemplo, en la Figura 1.6 se tiene una línea de transmisión A – B con una distancia dada en kilómetros, la impedancia característica de la línea en ohmios por kilómetro; de esta manera se determina la ubicación de la falla en base a la lectura del relé en ohmios. Suponiendo:

$$D_{AB} = 100 \text{ km}$$

$$Z_{CAB} = 0.5 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

La impedancia total de la línea sería de 50Ω .

Si el relé mide que la distancia aproximada donde ocurrió la falla es $Z_R = 25 \Omega$, resuelve así que la falla se encuentra en el kilómetro 50 de la línea.

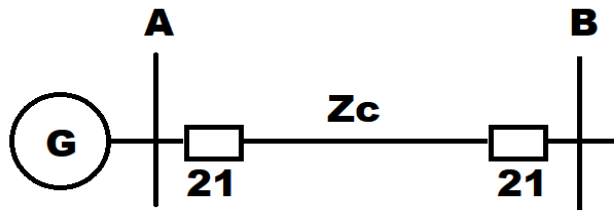


Figura 1.6. Sistema de potencia con un tramo de línea A – B [13].

Se recomienda usar este tipo de protección en el sistema de potencia porque permite configurar zonas de operación, donde cada zona tiene un tiempo de operación que coordina con los relés de las líneas contiguas [13]. En comparación con la protección de sobrecorriente, la de distancia no depende de las variaciones de la impedancia de la fuente, y así con un esquema simple puede dar protección primaria y de respaldo al sistema [11] [12] [15].

1.4.2.1 Ventajas de la Protección de Distancia

Las ventajas principales que se pueden resaltar de la protección de distancia son [13] [16] [12] [20]:

- Presentan mayor sensibilidad.
- Su zona de operación instantánea es mayor.
- Es fácil coordinar y ajustar.
- Si la topología del sistema cambia, los relés no se ven afectados.
- Posee alta independencia del tipo de carga conectada al sistema.

Cabe recalcar en este punto que para la protección de líneas de transmisión en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) existen dos tipos de protección, la protección de distancia primaria que utiliza esquemas de teledisparo (tiene una zona de operación y su característica es instantánea) y la protección de distancia secundaria que posee más de una zona de operación pudiendo llegar hasta cuatro zonas, donde cada zona presenta su propio alcance de impedancia, la primera es instantánea y las demás son temporizadas. Estas protecciones se utilizan para detectar fallas entre fases y fallas a tierra [18].

- **Protección de Distancia Primaria.** - Para su funcionamiento se necesita un canal de comunicación entre las protecciones de distancia que se encuentren en los extremos de una línea. Si el canal de comunicación sale de servicio el relé queda bloqueado [12] [16].

La característica de operación de cada relé debe cumplir más allá del 100% de la línea y opera instantáneamente; sin embargo, cuando estos relés funcionan interconectados por el enlace de comunicación, la característica de operación efectiva cubre hasta el 100% de la línea protegida [12] [16].

Cuando uno de los dos relés de la línea detecta la falla, envía una señal de comunicación hacia el otro relé para que se pueda abrir el interruptor [12] [16].

Este tipo de protección se encuentra sujeta a un error de precisión, debido a los errores propios de los transformadores de corriente y voltaje, por esta razón los relés de distancia de manera individual necesitan cubrir más del 100% de la línea [12] [16].

- **Protección de Distancia Secundaria.** - Como protección secundaria no requieren canal de comunicación, puesto que estos relés operan independientemente. Comparten el mismo interruptor, pero los transformadores de corriente y voltaje son diferentes para protección primaria y secundaria [12] [11] [16].

Estos relés operan en zonas naturales de operación. La dirección del relé es hacia adelante, es decir, miran hacia el elemento a proteger [12] [16]. La primera zona es de característica instantánea y las otras zonas operan de manera temporizada. El tiempo de despeje de falla depende del comportamiento que tiene el sistema de potencia cuando ocurre un cortocircuito, para lo cual se realiza un estudio de cortocircuitos en diferentes partes del sistema bajo estudio [18].

1.4.2.2 Zonas de Protección

Son características específicas de los relés de distancia y permiten detectar fallas en zonas y tiempos determinados. Se ajustan mediante porcentajes que representan a la longitud de línea y equivalen a la impedancia observada por el relé [17]. Un ajuste adecuado de las zonas y de los tiempos de disparo, hace que exista una adecuada coordinación y selectividad de las protecciones en el sistema eléctrico de estudio. Son tres zonas típicas de protección, pero los relés de distancia digitales y numéricos pueden tener hasta cinco

zonas de protección [13] [15] [12]. Existen valores típicos para ajustar las zonas de protección [17]:

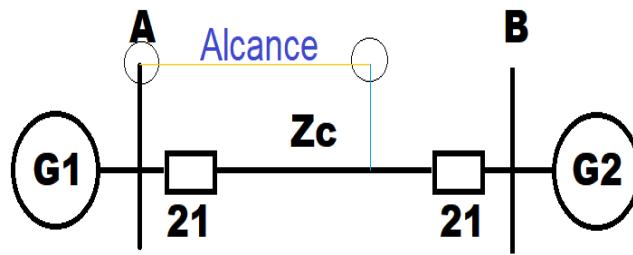
- **Zona 1.** - Se establece que su alcance cubre entre el 80% y 90% de la línea de transmisión protegida. El tiempo de operación para esta zona es de carácter instantáneo idealmente, aunque realmente son tiempos muy cortos [13] [20].
- **Zona 2.** - Se establece que su alcance cubre el 100% de la línea de transmisión protegida y entre el 20% y el 50% de la línea adyacente. El tiempo de operación para esta zona es de 300 a 400 milisegundos [13] [18].
- **Zona 3.** - Se establece que su alcance cubre el 100% de la línea de transmisión protegida, el 100% o el 120% de la línea de transmisión adyacente más larga. Si el sistema es robusto y mallado; trata de cubrir los elementos que operen al mismo nivel de voltaje; su operación se relaciona con la estabilidad del sistema de potencia. El tiempo de operación para esta zona es de 800 a 1000 milisegundos [13] [12] [17][18].

Existe una zona llamada zona de carga, en ésta es por donde generalmente se encuentra la impedancia medida por el relé cuando el sistema eléctrico opera en condiciones normales. Esta zona de carga está afuera de la zona de operación del relé [16] [11] [12]. Estos ajustes permiten al relé operar ante fallas en líneas cercanas con dependencia del valor de impedancia observada por el mismo [17].

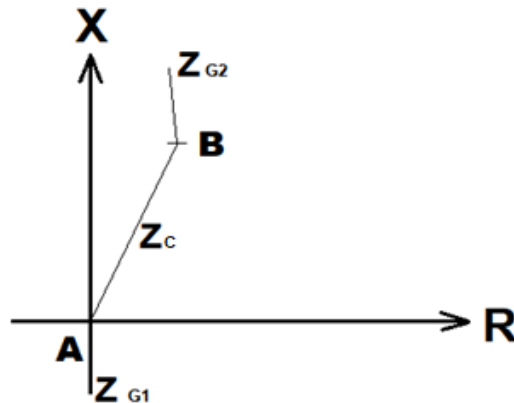
1.4.2.3 Característica de Operación

La representación de la característica de operación de un relé de distancia se da en un diagrama o plano complejo resistencia – reactancia ($R - X$). La ubicación del relé es el origen del plano. Generalmente las zonas de operación se ubican en el primer cuadrante, la característica de operación puede depender del diseño y de la aplicación [17].

En la Figura 1.7-A se observa la protección de distancia de una línea de transmisión de un relé 21 que se encuentra instalado en la barra A; y en la Figura 1.7-B se observa como el alcance de la protección de distancia puede representarse en el plano $R - X$ [13] [19].



A)



B)

Figura 1.7. A) Alcance del relé 21. B) Diagrama R – X [17].

Según la característica de operación en el plano complejo R – X los relés de distancia se clasifican en: [11]

- **Característica de Impedancia:** Es un relé de sobrecorriente con restricción de voltaje, es decir, la corriente produce operación y el voltaje oposición a la operación [18]. Y su característica es una circunferencia en el plano complejo R – X como se muestra en la Figura 1.8 [20].
- **Característica de Reactancia:** Establece un alcance definido dentro del plano complejo R – X con valores reactivos, por lo que solamente puede medir la componente reactiva de la impedancia de línea [17] [20]. Y su característica es una línea recta en el plano complejo R – X como se muestra en la Figura 1.9 [20].
- **Característica de Admitancia o MHO:** Su principal característica es detectar fallas en puntos dentro de la línea, ya que combina propiedades del relé de impedancia y del relé direccional [17] [20]. Y su característica es una circunferencia que ocupa el primer cuadrante como se muestra en la Figura 1.10 [20].

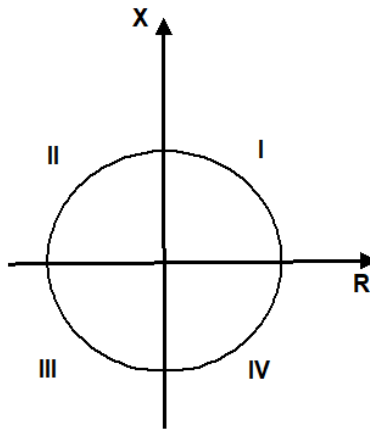


Figura 1.8. Característica de operación del relé de impedancia en el diagrama R – X [20]

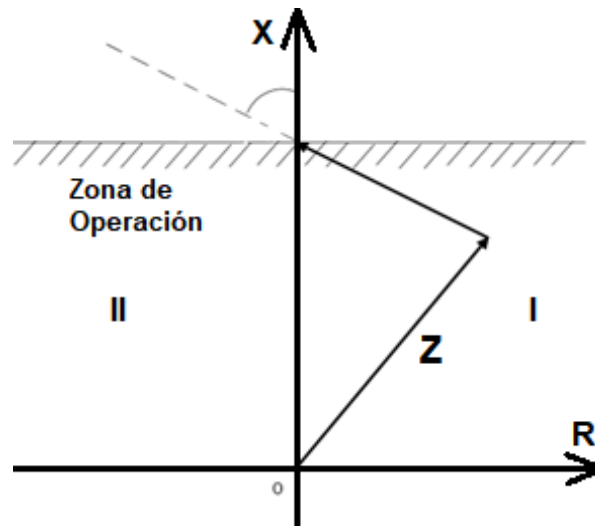


Figura 1.9. Característica de operación del relé de reactancia en el diagrama R – X [20]

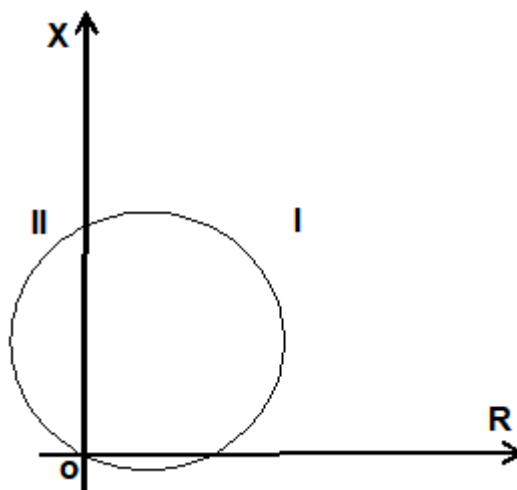


Figura 1.10. Característica de operación del relé MHO en el diagrama R – X [20]

- **Característica Poligonal:** Usa tres elementos de medición independientes: unidad direccional, alcance por reactancia y ángulo [17]. Cubre líneas cortas y largas

debido al ajuste del alcance resistivo que se logra en la característica de operación del relé [20]. Y su característica es un polígono como se muestra en la Figura 1.11 [20].

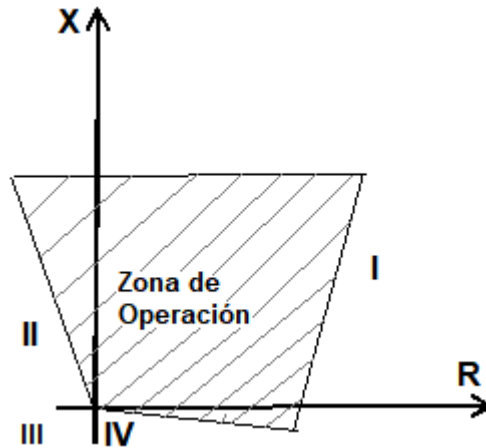


Figura 1.11. Característica de operación del relé poligonal en el diagrama R – X [20]

A continuación, se describen algunas características importantes de los relés de distancia tipo Mho, pues este tipo de relé fue el seleccionado para el desarrollo del presente trabajo.

1.4.3 RELÉ TIPO ADMITANCIA (MHO)

Es un relé direccional con restricción de voltaje, es decir, el torque lo produce una unidad direccional ($V - I$) y contrarresta con una unidad de voltaje [11]. Se usan principalmente para la protección de líneas largas y donde exista ocurrencia de oscilaciones fuertes de potencia [18].

Opera solamente para fallas por delante del relé, es decir que se opone a un elemento direccional. Su alcance varía de acuerdo con el ángulo de falla, ofrece una característica circular que podría tener similares desventajas del relé de impedancia [17]. Pero a su vez, esta característica que encierra un espacio pequeño en el diagrama resistencia-reactancia (R-X) permite que sean el tipo de relé menos afectado antes condiciones de falla que no sean en la línea [18].

El par se expresa de la siguiente manera [11]:

$$T = K_d V I^2 \cos \cos (\theta - \tau) - K_V V^2 - K r \quad (1.1)$$

En el momento de operación: $T=0$

$$K_d V I^2 \cos \cos (\theta - \tau) - K_V V^2 - K r \geq 0 \quad (1.2)$$

$$K_V V^2 \leq K_d V I^2 \cos \cos (\theta - \tau) - K r \quad (1.3)$$

Dividiendo por $K_V VI$:

$$\frac{V}{I} \leq \frac{K_d \cos \cos(\theta - \tau)}{K_V} - \frac{K_r}{K_V VI} \quad (1.4)$$

$$Z \leq \frac{K_d \cos \cos(\theta - \tau)}{K_V} - \frac{K_r}{K_V VI} \quad (1.5)$$

En el diagrama R – X corresponde a un círculo de diámetro $\frac{K_d}{K_V}$ que representa el alcance de la protección, y el ángulo par coincide con el diámetro que toca el origen [11].

Ó:

$$Y \cos \cos(\theta - \tau) \geq \frac{K_V}{K_d} \quad (1.6)$$

Donde la expresión $Y \cos \cos(\theta - \tau)$ es la proyección de Y en la línea de máximo par, entonces la característica de disparo estará limitada por una línea, la cual es perpendicular a la línea de par máximo en el punto $\frac{K_V}{K_d}$, tal como se muestra en la Figura 1.12 [11].

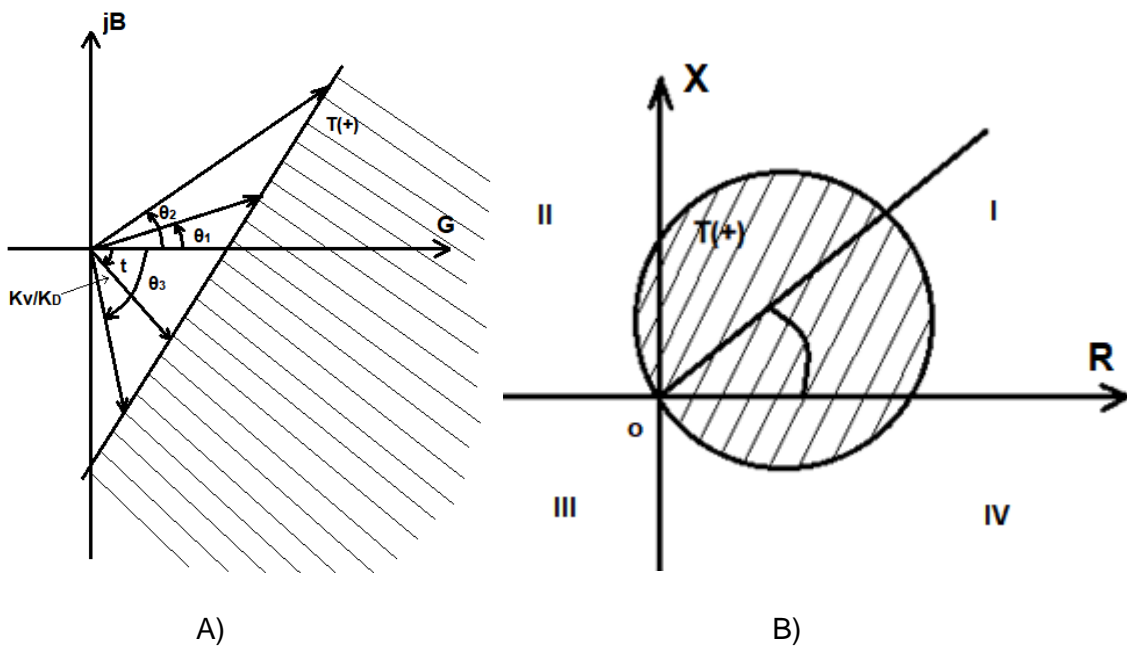


Figura 1.12. Característica del relé tipo MHO. A) En el diagrama G – B. B) En el diagrama R – X. [11]

1.4.3.1 Principio de Funcionamiento

Se basa en la medición de impedancia de los conductores [17]. Se tiene que la línea puede ser representada por una impedancia que es directamente proporcional a la longitud de

dicha línea. Cuando ocurren cortocircuitos la impedancia cambia, su valor da información sobre la falla, específicamente sobre el lugar en el que ocurrió la falla [17]; para su funcionamiento se requieren señales de corriente y voltaje en sus entradas. Se emite una señal de disparo siempre y cuando la relación de voltaje y corriente caigan dentro de la zona marcada para cada tipo de relé de distancia, y el valor medido decaiga de un valor determinado [14] [11].

1.4.3.2 Importancia

Debido a que: en líneas de transmisión los valores de corrientes por fallas son muy altos, el acceso a estas líneas en ocasiones no existen, las fallas deben ser despejadas lo más pronto posible para evitar inestabilidad en el sistema y daños para los equipos o para el personal; se tiene que el principio de funcionamiento de la protección de distancia compara valores de impedancia, y al ocurrir una falla, el valor de la impedancia refleja directamente cual es la situación de la línea, principalmente cuando ocurren cortocircuitos, estos valores de impedancia permiten estimar el sitio de la línea en el que se produjo la falla [17] [16] [11] [15] [12].

2 METODOLOGÍA

2.1 ESTRUCTURA

La metodología aplicada en el presente Trabajo de Integración Curricular sigue la estructura representada en el diagrama de flujo de la Figura 2.1.

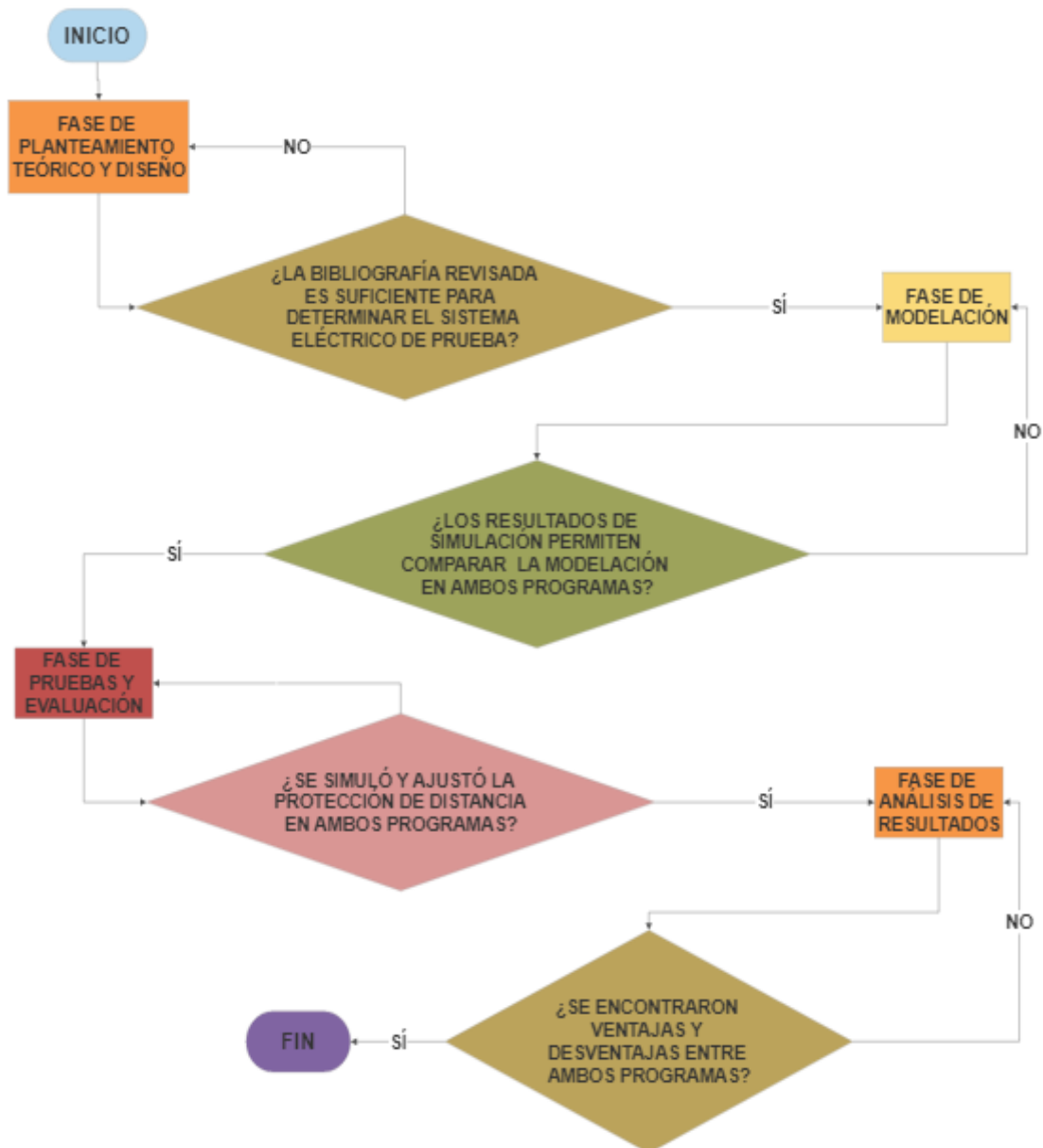


Figura 2.1. Diagrama de flujo para la metodología empleada.

Los bloques que forman el diagrama de flujo son partes esenciales en el Trabajo de Integración Curricular, su explicación se presenta en el siguiente inciso, de forma general y de forma específica.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

De manera general la metodología en el presente Trabajo de Integración Curricular se divide en cuatro fases principales:

- Fase de planteamiento teórico y diseño: En esta fase se prioriza la búsqueda y recopilación de toda la información que se cree necesaria para fundamentar y sustentar teóricamente el estudio de la protección de distancia en el programa EMTP, es decir, todo lo referente a criterios de ajuste de la protección de distancia, principios básicos para comenzar a trabajar en EMTP, la principal razón para usar la protección de distancia en sistemas eléctricos, y así seleccionar adecuadamente el modelo de prueba en el que se va a emplear la protección de distancia.
- Fase de modelación: En esta fase se emplean los programas a usar, PowerFactory y EMTP, se modela el sistema de prueba a detalle en base a la información estudiada en la fase anterior. Se modela cada elemento del sistema eléctrico de prueba priorizando la protección de distancia que se encuentra en un lugar estratégico, de forma que mediante casos de estudio se ponga a prueba el ajuste de la protección de distancia que se configura primeramente con valores predeterminados (referenciales obtenidos con los criterios encontrados en la literatura técnica), para luego mediante estudio de cortocircuitos ajustar completamente la protección de distancia.
- Fase de pruebas y evaluación: En esta fase se simulan los distintos casos de estudio donde la protección de distancia es analizada, verificando su operación en tiempo y lugar, tomando en cuenta los parámetros que caracterizan a la protección de distancia, para así terminar con su ajuste.

También se analiza y evalúa la forma en que se obtuvieron los resultados y se define un procedimiento que permite al nuevo usuario relacionarse con el programa EMTP y la protección de distancia dentro de éste.

- Fase de análisis de resultados: En esta fase se analizan los resultados obtenidos en cada programa con el fin de identificar las ventajas y desventajas de ambos programas al modelar los sistemas eléctricos de potencia, al modelar y ajustar la protección de distancia, y simular los casos de estudio propuestos, para encontrar una alternativa eficaz y solvente donde la protección de distancia y su simulación sea aprovechada.

2.3 DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA

2.3.1 FASE DE PLANTEAMIENTO TEÓRICO Y DISEÑO

La Fase de Planteamiento Teórico y Diseño sigue la estructura representada en el diagrama de flujo de la Figura 2.2.

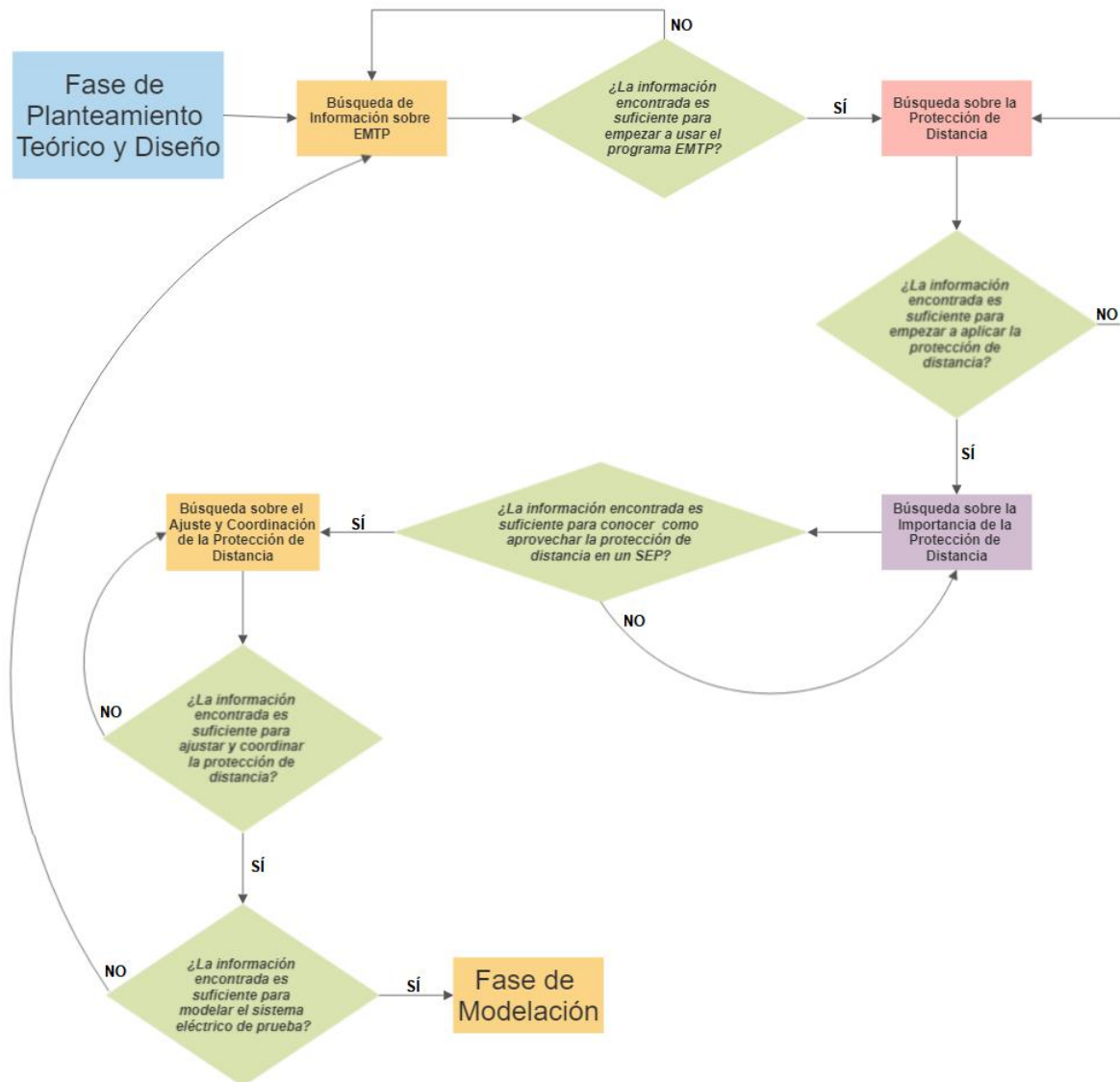


Figura 2.2. Diagrama de flujo para la fase de planteamiento teórico y diseño.

En esta fase se buscó información referente al programa EMTP-RV, sus métodos de simulación, sus elementos más básicos, las formas para crear nuevos archivos, guardarlos y editarlos, así también los ejemplos que vienen por defecto en el software que permiten tener una idea de la modelación que se maneja en EMTP-RV, para lo cual se recurrió al manual del software, tutoriales de EMTP-RV y cursos básicos que son provistos por diversas fuentes.

En esta fase también se profundizó en la protección de distancia. Esta protección es una de las protecciones eléctricas que se pueden utilizar principalmente para líneas de transmisión. Su uso en las líneas de transmisión del sistema eléctrico de potencia es de suma importancia puesto que permite que a través de la lectura del relé se encuentre el lugar de la falla, logrando que el tiempo de desconexión sea más corto. El ajuste y calibración de este tipo de protección se basa en zonas de operación que se ajustan conforme a los requerimientos del sistema y depende del comportamiento del sistema eléctrico ante fallas.

La información recabada fue suficiente para empezar a modelar el sistema eléctrico de prueba; los datos de generadores, transformadores, líneas de transmisión y carga, se extrajeron de PowerFactory; la modelación del sistema eléctrico de prueba resultó útil para analizar el desempeño de la protección de distancia en un conjunto de dos líneas de transmisión contiguas, en las que se permitía el flujo de corriente de ambos lados.

Finalmente, se logró escoger el modelo y plantear los casos de estudio que permitieron cumplir los objetivos propuestos para este trabajo. Teniendo en cuenta lo siguiente:

- Es necesario que exista generación aguas arriba y aguas abajo del sistema, para analizar la función de la protección de distancia desde ambos lados de la línea de transmisión.
- Es importante considerar que las líneas de transmisión son largas para justificar el hecho de que el tipo de relé de distancia sea el relé de admitancia o MHO.
- Las líneas de transmisión deben ser modeladas de tal manera que se usen los mismos datos en PowerFactory y en EMTP-RV. Así como los datos de generación y carga.

2.3.2 FASE DE MODELACIÓN

La Fase de Planteamiento Teórico y Diseño sigue la estructura representada en el diagrama de flujo de la Figura 2.3.

En esta fase se conocen el modelo a implementar en ambos programas que se detalla en la fase anterior y se establecen dos casos de estudio, demanda máxima y demanda mínima. En el software PowerFactory la modelación del sistema eléctrico de prueba fue más sencilla porque es un programa con el que se familiariza a los estudiantes dentro de los laboratorios.

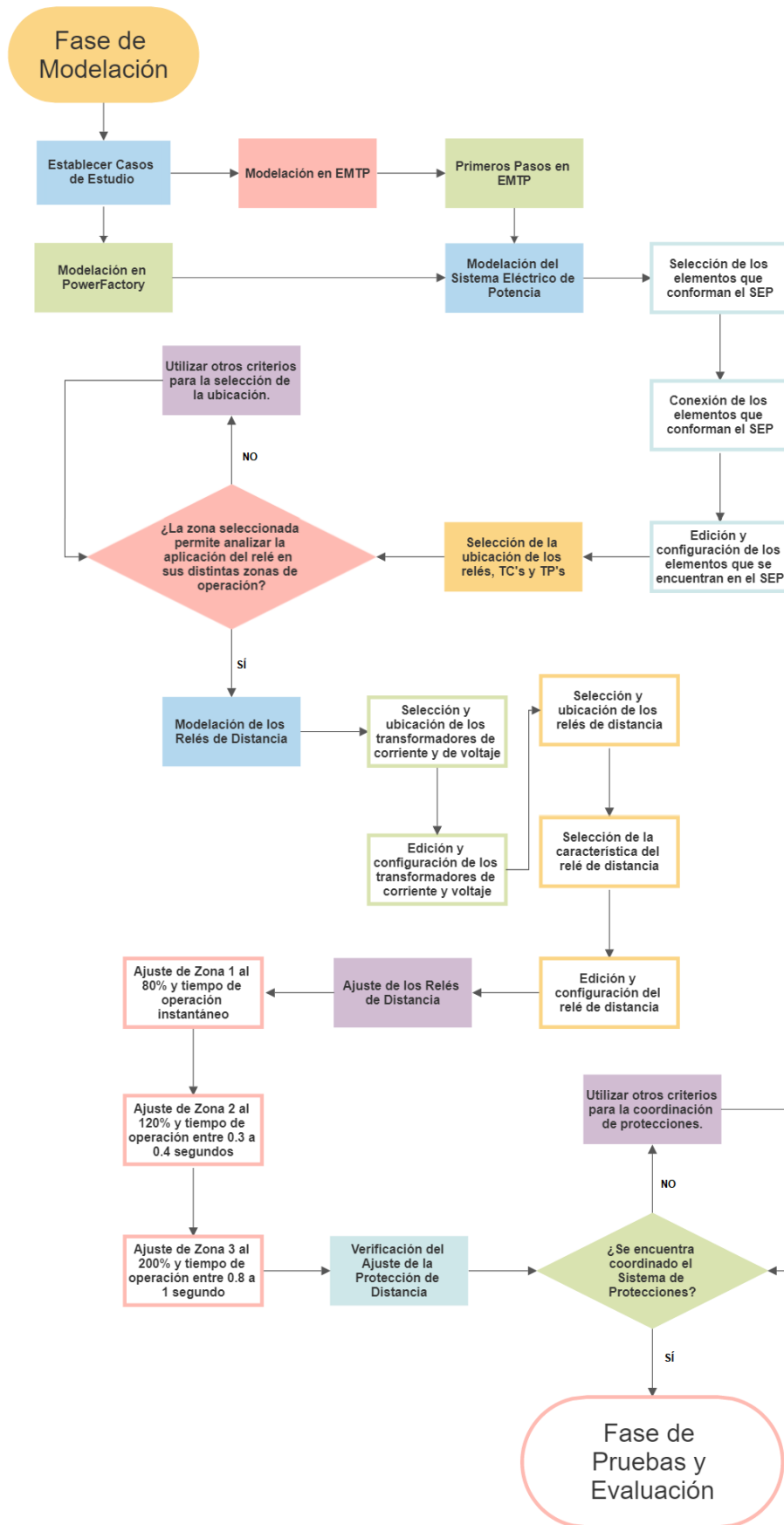


Figura 2.3. Diagrama de flujo para la fase de modelación.

Por otro lado, para el uso del programa EMTP-RV se procedió a realizar una serie de pruebas en las que se experimentaba y socializaba con la interfaz del nuevo software evidenciadas en el ANEXO I Primeros Pasos en EMTP que muestra los primeros pasos en el software EMTP-RV, y empleando distintos materiales que se encuentran en internet y algunos ejemplos asociados al tema principal de este trabajo, es decir, la protección de distancia.

De esta manera, se empezó a modelar un circuito básico que se muestra en el ANEXO II Circuito Básico en EMTP y a modelar el sistema eléctrico escogido anteriormente en ambos programas. Se conectan los elementos principales de tal manera que representen un sistema con generación en ambos extremos, colocando redes equivalentes para simular sistemas eléctricos de potencia a ambos lados de las líneas de transmisión. Luego se editaron los valores requeridos para cada elemento y se escogió el lugar en el que se instalarían los relés de distancia, los transformadores de corriente y de voltaje. De esta manera, el lugar en el que se analizó la protección de distancia correspondía a dos líneas de transmisión conectadas a través de una barra, donde se permitía analizar la operación del relé en sus distintas zonas de operación.

Se ajustó la protección de distancia con valores que estaban sujetos a cambios por el hecho de que requerían un estudio de cortocircuitos exhaustivo, los criterios empleados para el relé de distancia detallados en el ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory permitieron ajustar la protección de tal manera que estaba lista para ser simulado el sistema eléctrico de prueba.

Se simuló el flujo de potencia y se verificó que los resultados obtenidos en ambos programas fueron similares.

2.3.3 FASE DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN

La Fase de Pruebas y Evaluación sigue la estructura representada en el diagrama de flujo de la Figura 2.4.

En esta fase se simulan los distintos casos de estudio y se realiza un estudio profundo de cortocircuitos en ambos programas. Se ubicaron fallas contiguas a las líneas de transmisión y se verificó que su función se cumpla, también se ubicaron fallas en líneas de transmisión cercanas a las líneas protegidas y se verificó que la protección de distancia actúe correctamente. Así también se emplearon algunos tipos de cortocircuitos: trifásicos,

bifásicos, monofásicos y permitieron observar que la protección de distancia actuaba en el tiempo indicado y en el lugar de su zona de operación.

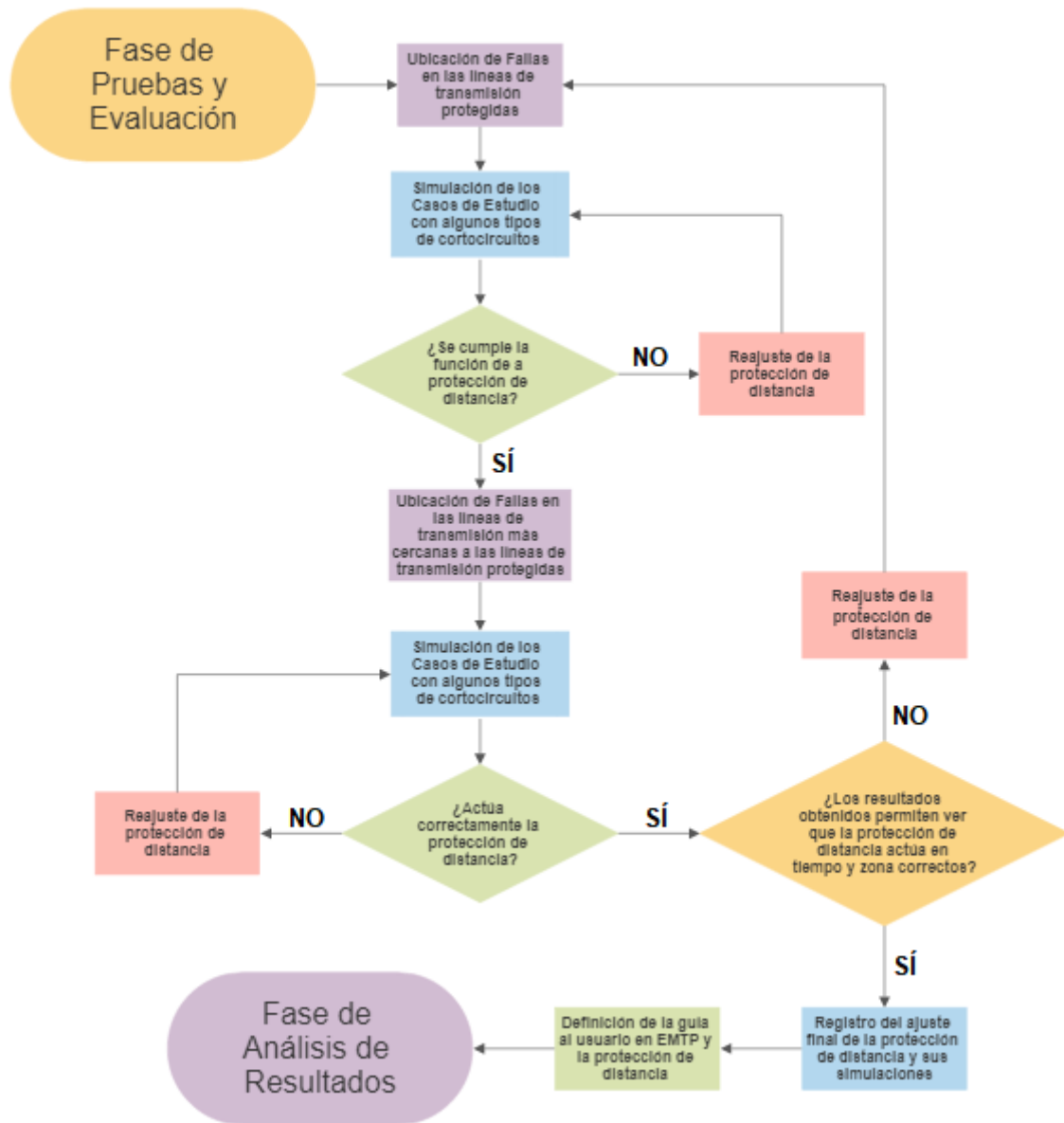


Figura 2.4. Diagrama de flujo para la fase de Pruebas y Evaluación.

Los resultados de las simulaciones en los casos de estudio permitieron corroborar el ajuste inicial que se realizó en la protección de distancia indicado en el ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory. Se registraron las variables principales de simulación para validar el ajuste del relé, así como los gráficos de los planos complejos R – X para los casos más importantes.

Finalmente, se definió un procedimiento útil que permita al usuario del EMTP-RV guiarse en la modelación de sistemas eléctricos, y al análisis de la protección de distancia.

2.3.4 FASE DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Fase de Análisis de Resultados sigue la estructura representada en el diagrama de flujo de la Figura 2.5.

Después de haber simulado todos los casos de estudio y registrado los datos más importantes tanto gráficos como numéricos, se procedió a analizar los resultados obtenidos en cada programa, el procedimiento utilizado en cada programa para la modelación del sistema eléctrico de prueba, el ajuste de la protección de distancia y la simulación de casos de estudio en conjunto con el estudio de cortocircuitos.



Figura 2.5. Diagrama de flujo para la fase de Pruebas y Evaluación.

Se analizó las ventajas y desventajas de cada programa y se procedió a compararlos para definir que programa es conveniente usar cuando se trata específicamente de la protección de distancia. Se recogieron datos analizados sobre: la recolección de datos en cada programa mediante la observación de los requerimientos para cada elemento, los métodos de simulación y los complementos necesarios mediante la observación de la simulación dentro de cada ambiente, las necesidades teóricas de cada programa en cuanto al ingreso de las variables desconocidas de los elementos modelados gracias a la necesidad de modelar adecuadamente los elementos y en especial los relés de distancia, y el tiempo de simulación para cada programa ya que ambos programas cuentan con un cronómetro que permite analizar esta característica.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 RESULTADOS

3.1.1 SISTEMA DE ESTUDIO

El archivo denominado DistanceProtection.pfd de PowerFactory permite obtener un modelo de un sistema eléctrico de potencia en el cual el software analiza el desempeño de la protección de distancia. Cabe recalcar que el software PowerFactory tiene un ejemplo sobre la protección de distancia que presenta un sistema eléctrico de potencia más amplio que se muestra en la Figura 3.1.

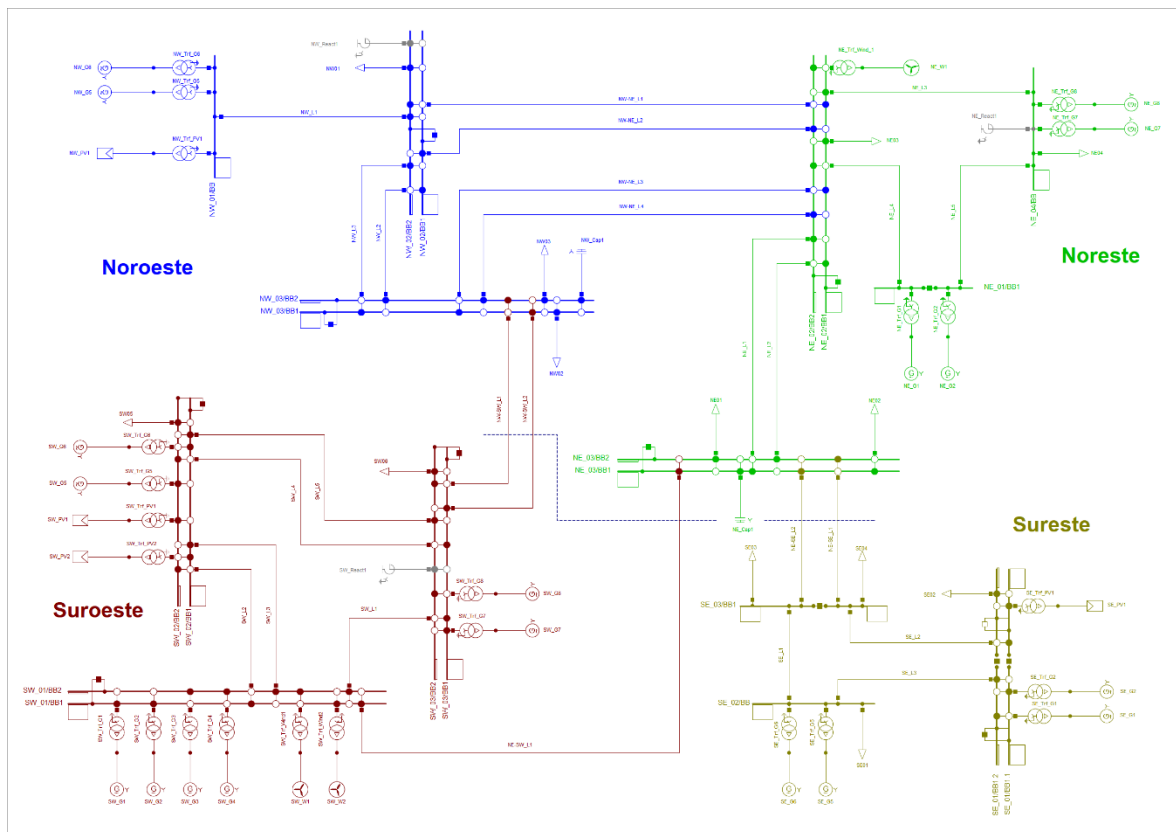


Figura 3.1. Ejemplo de un sistema eléctrico en PowerFactory para la aplicación de la función de la protección de distancia.

El sistema de la Figura 3.1 posee cuatro zonas, distinguidas por sus nombres con diferentes colores. Para la aplicación del modelo de este Trabajo de Integración Curricular, el análisis de la protección de distancia y la comparación respectiva con el software EMTP-RV, se utiliza un modelo reducido donde se eliminan ciertos elementos con el fin de enfocar la protección de distancia, el modelo se muestra en la Figura 3.2.

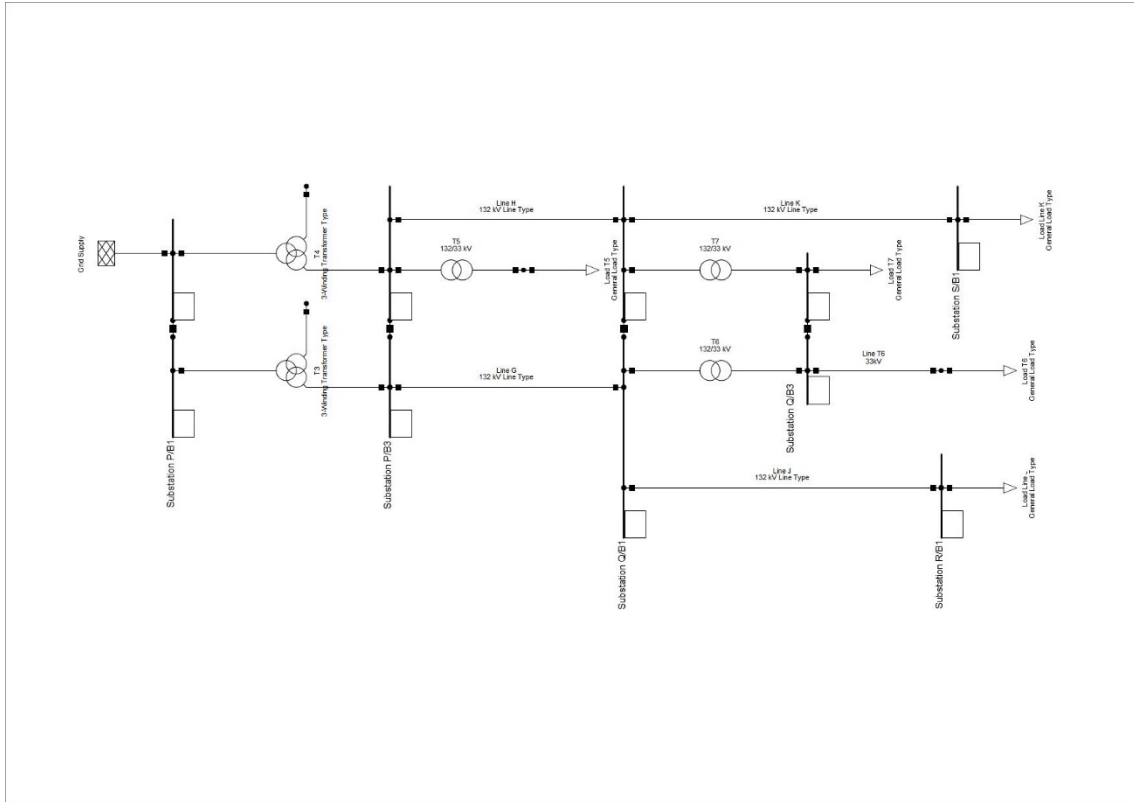


Figura 3.2. Sistema eléctrico reducido modelado en PowerFactory.

Este modelo se implementó también en el software EMTP-RV; sin embargo, dentro del software EMTP-RV existen algunos ejemplos relacionados con la protección de distancia, el archivo IEEE_PSRC.ecf es el ejemplo que se muestra en la Figura 3.3.

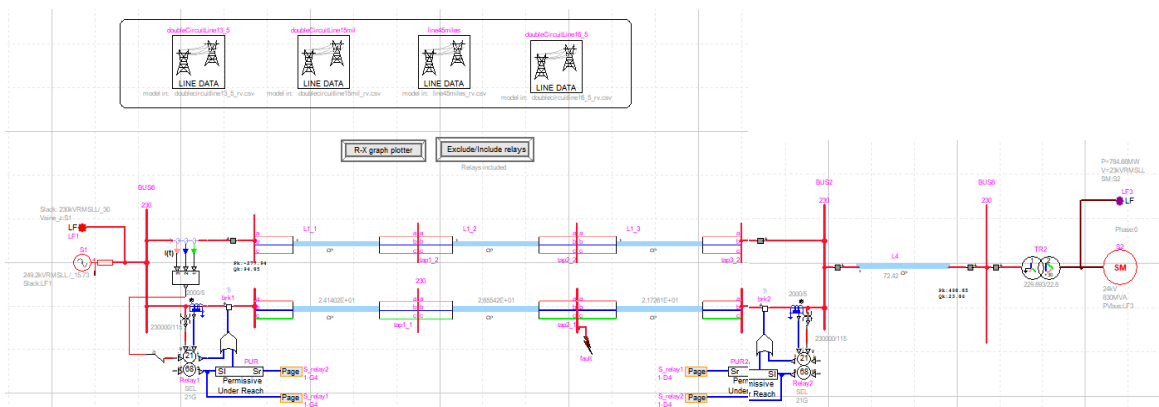


Figura 3.3. Ejemplo de un sistema eléctrico en EMTP para la aplicación de la protección de distancia.

Este sistema no es utilizado para la aplicación del Trabajo de Integración Curricular, puesto que se aprovecha el modelo reducido que se presenta en la Figura 3.2 en el software PowerFactory. Además, el software EMTP-RV presenta otro ejemplo – modelo que permite

una comparación entre la máquina sincrónica y generación a través de energía renovable, tal como se muestra en la Figura 3.4.

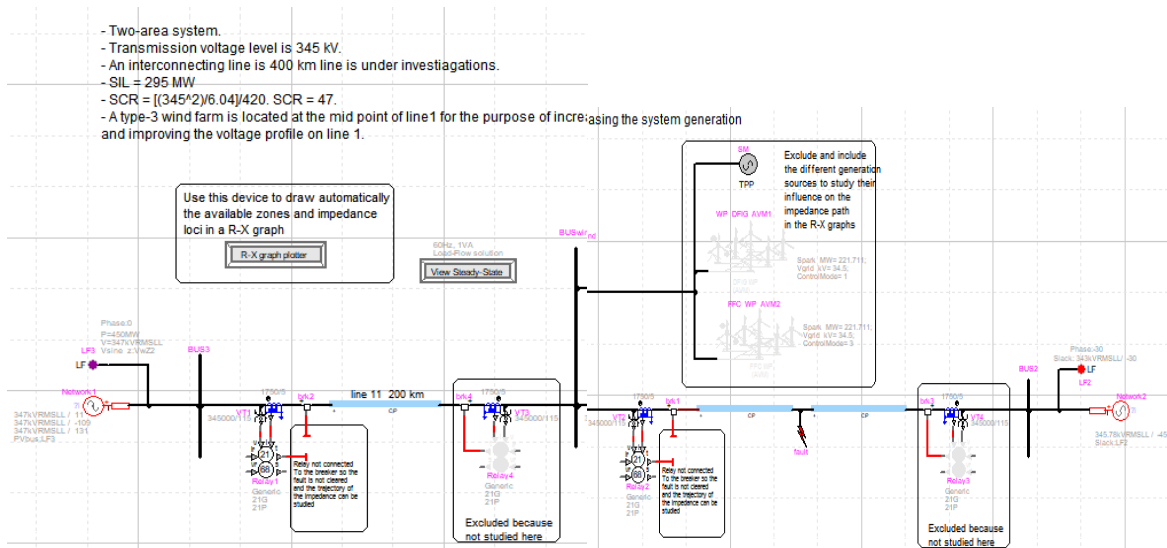


Figura 3.4. Ejemplo de un sistema eléctrico en EMTP para la aplicación de la protección de distancia con energía renovable.

Cabe mencionar que se tomó como base el modelo IEEE de 39 barras que posee el software EMTP-RV como ejemplo para obtener elementos correspondientes a cargas.

De esta manera se obtuvo también en EMTP-RV el modelo reducido que previamente se diseñó en PowerFactory, y que se muestra en la Figura 3.5.

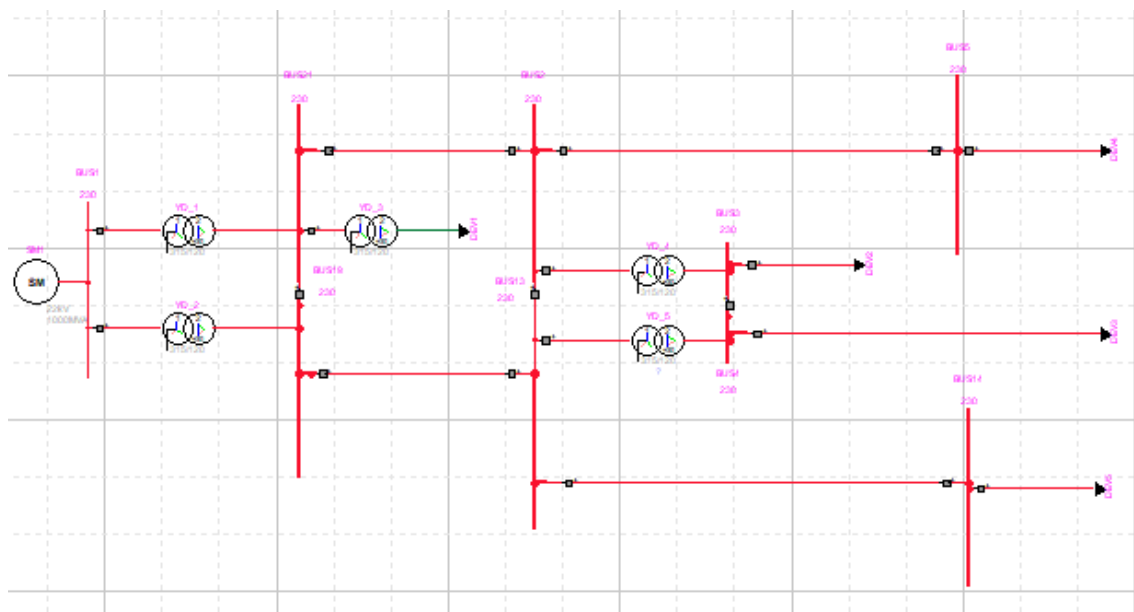


Figura 3.5. Sistema eléctrico reducido modelado en EMTP.

Posteriormente, se empezó a modificar los sistemas eléctricos modelados en ambos programas de acuerdo con la información recopilada, esto con el fin de aprovechar ambos programas y aplicar correctamente la protección de distancia. Es así como primero se retiraron los interruptores que se encontraban entre las barras, estableciendo así que como corresponde al mismo elemento, el interruptor en este caso estaba en exceso. Segundo, se aumentó otra fuente externa con las mismas características de la fuente existente, esto con el fin de que el sistema sea mallado, y así poder realizar las pruebas correspondientes con la protección de distancia.

Uno de los transformadores de dos devanados se suprimió ya que ambos contaban con la misma función.

Así también se modificaron los nombres de los elementos, siendo estos una división teórica de tres módulos o subestaciones, donde el primer módulo se muestra en la Figura 3.6 y consta de las barras BA y BD, los dos transformadores de tres devanados T1 y T2.

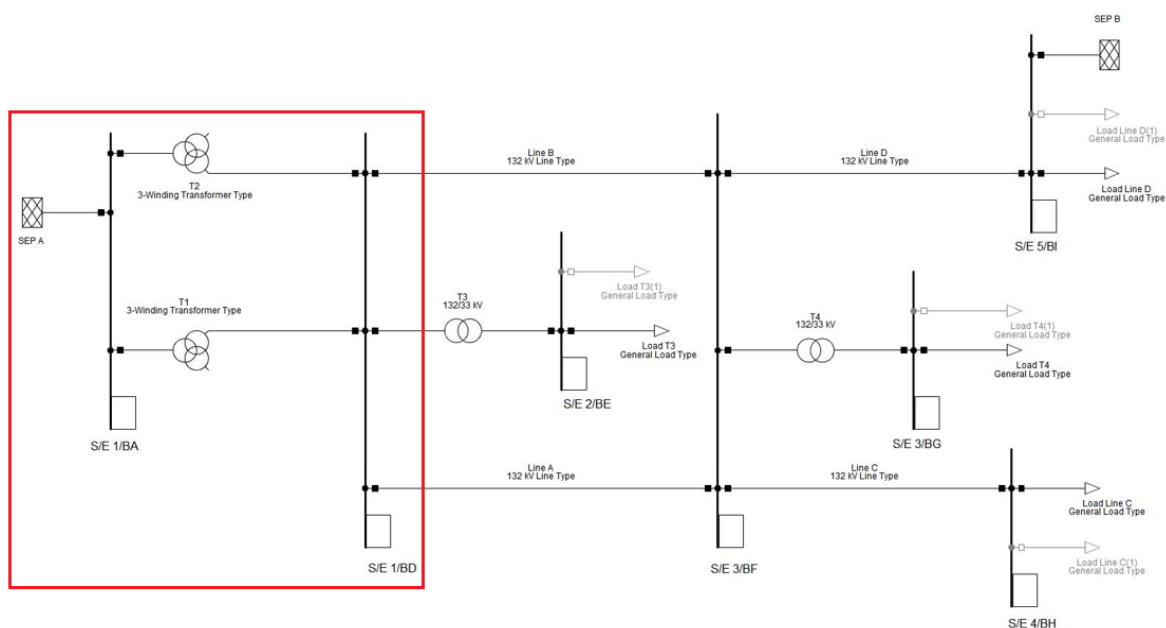


Figura 3.6. Módulo uno del sistema eléctrico de prueba.

La unión entre la S/E1 y la S/E2 se logra mediante las líneas de transmisión Line A y Line B. La S/E2 se muestra en la Figura 3.7 y consta de la barra BE, un transformador de dos devanados T3 y una carga Load T3.

El tercer módulo se muestra en la Figura 3.8 y consta de la S/E3 que consta de las barras BF y BG, un transformador de dos devanados T4 y una carga Load T4. A través de líneas que salen de la S/E3 se conectan a la S/E4 y a la S/E5 las cuales tienen una barra y una carga. S/E4: Barra: BH, Carga: Load Line C. S/E5: Barra: BI, Carga: Load Line D.

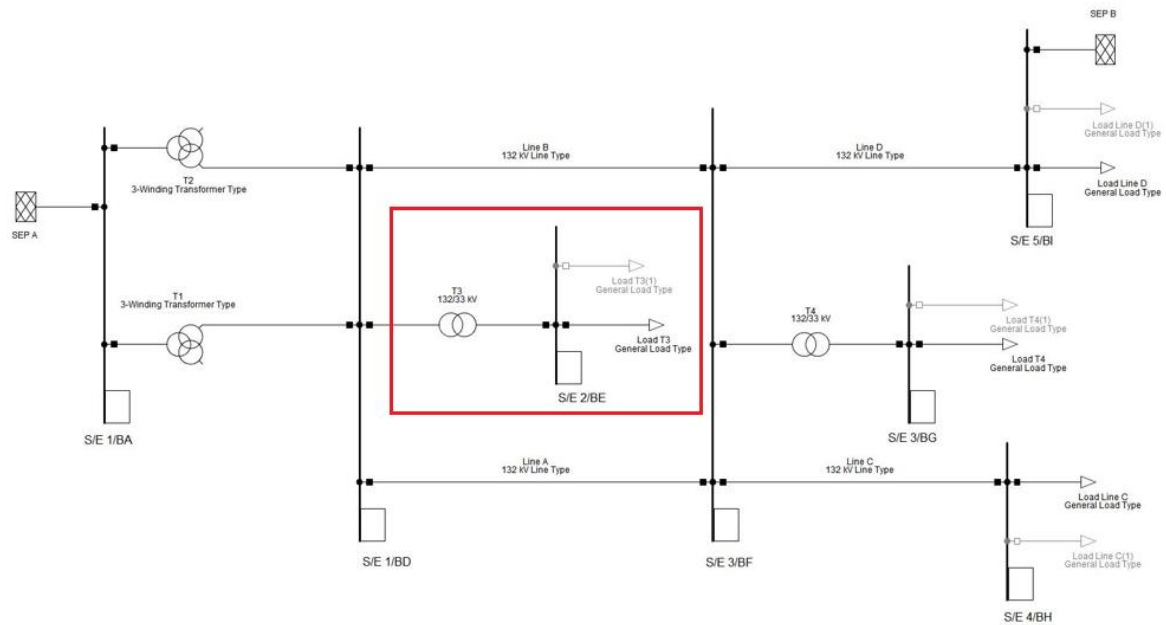


Figura 3.7. Segundo módulo del sistema eléctrico de prueba.

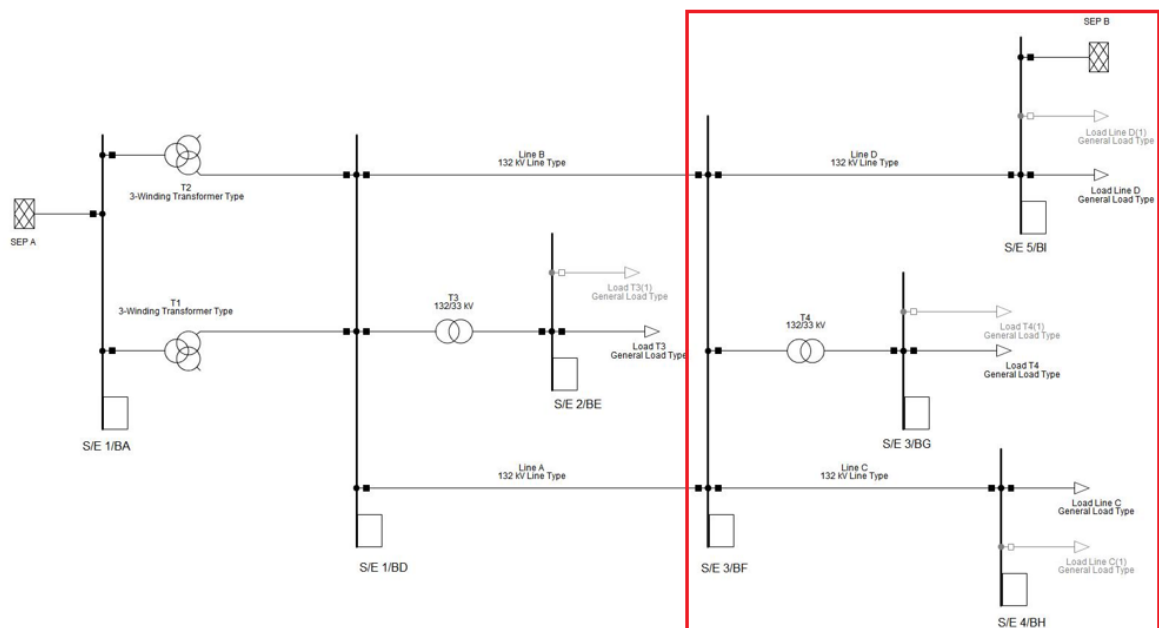


Figura 3.8. Tercer módulo del sistema eléctrico de prueba.

Los cambios realizados permitieron obtener un modelo relativamente sencillo de sistema eléctrico de prueba en el que se enfocó el análisis de la protección de distancia en líneas de transmisión tanto en EMTP-RV como en PowerFactory.

A continuación, en la Figura 3.9 se limitó la zona donde fueron aplicadas las protecciones de distancia para su modelación y ajuste. La zona es donde están ubicadas las líneas Line B y Line D. Y se ubicaron relés en ambos extremos de las líneas.

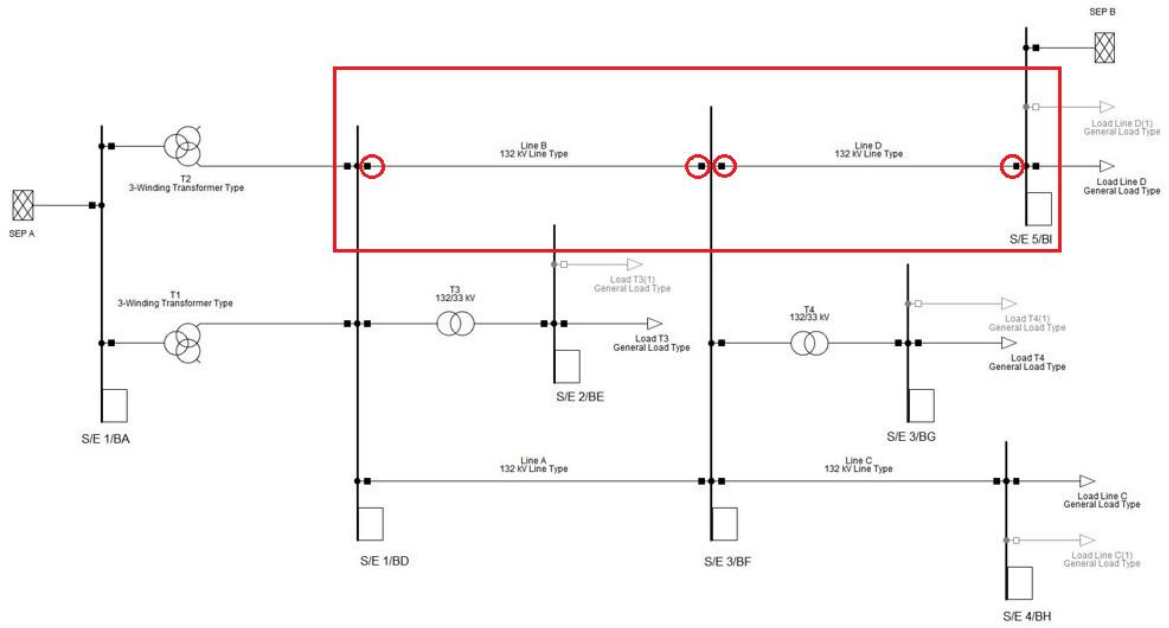
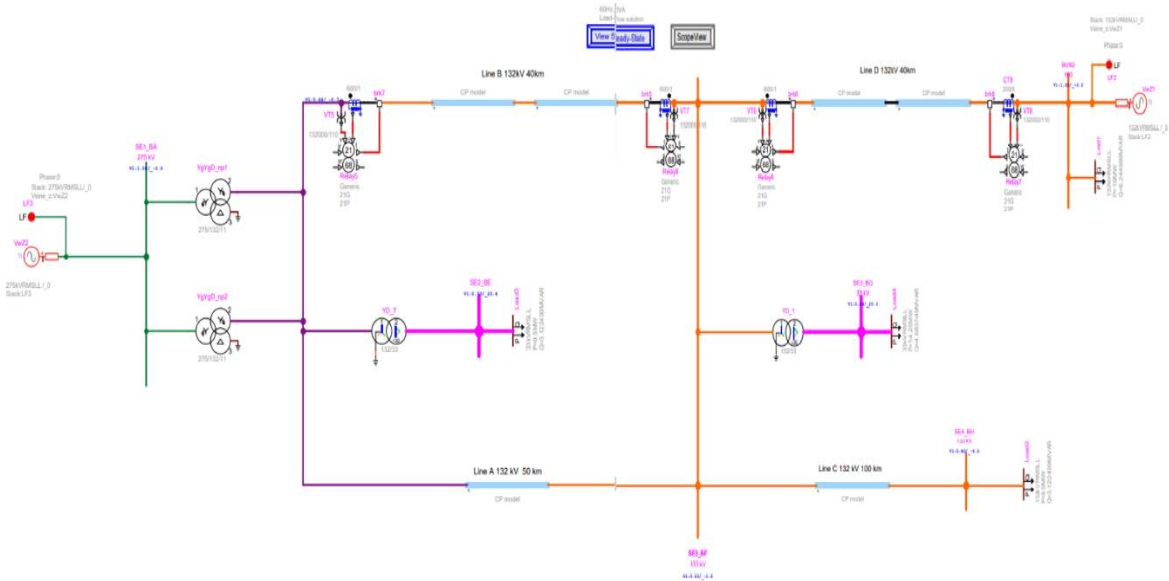
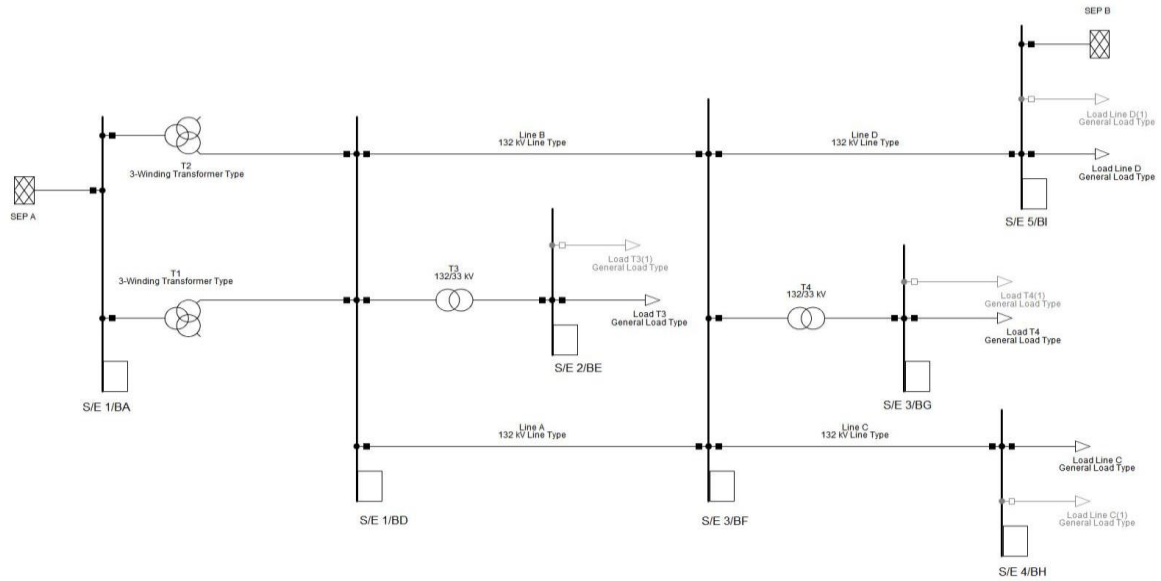


Figura 3.9. Zona donde son ubicados los relés en el sistema eléctrico de PowerFactory.

De esta manera, tanto el sistema eléctrico en PowerFactory como en EMTP-RV se observa en la Figura 3.10.



A)



B)

Figura 3.10. Sistema Eléctrico modelado en A) EMTP-RV, B) PowerFactory.

3.1.2 MODELO IMPLEMENTADO

Este trabajo se dividió en dos casos de estudio, demanda máxima y demanda mínima, cada uno con su respectivo estudio de cortocircuitos. A continuación, se presentan los criterios para el estudio de cortocircuitos que se realizan en ambos casos de estudio.

- Se cubren cortocircuitos monofásicos y trifásicos.
- Al 80% y al 100% de la línea de transmisión protegida.
- Con resistencia de falla de 0 y 3 ohmios.

3.1.2.1 Demanda Máxima

El modelo implementado para el caso de demanda máxima incluye el detalle de las potencias activa y reactiva, como se muestra en la Tabla 3.1, y en la Figura 3.11.

Tabla 3.1 Potencia Activa y Potencia Reactiva de las cargas para el caso de Demanda Máxima

NOMBRE	Potencia Activa MW	Potencia Reactiva Mvar
Load Line C	19.41	7.09
Load Line D	39.00	13.24
Load T3	19.61	7.16
Load T4	29.18	9.66

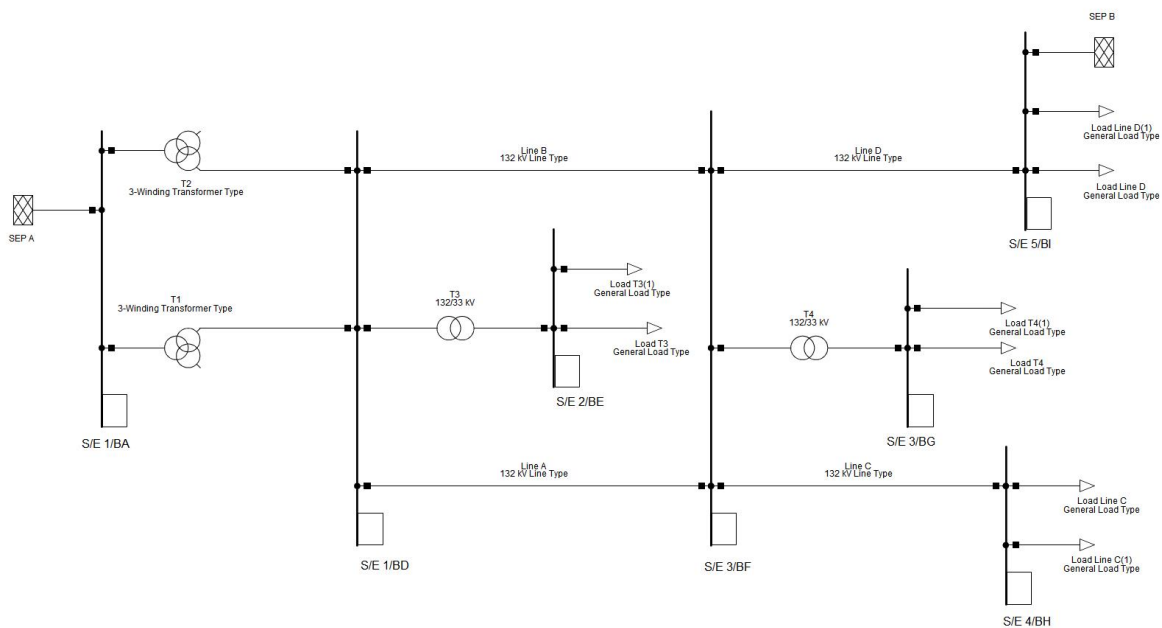


Figura 3.11. Sistema Eléctrico del caso de estudio de demanda máxima modelado en PowerFactory.

La modelación de una carga extra en las barras de carga permite aprovechar el sistema empleado originalmente tanto para el caso de estudio de demanda máxima como para demanda mínima. La adición de los valores de potencia de ambas cargas modeladas en la barra permite tener el valor de potencia de cada carga para el caso de demanda máxima.

Además de las variaciones de demanda máxima y mínima enfocadas en los cambios de carga, es necesario e igual de importante establecer las variaciones de las fuentes para despacho máximo y mínimo. Como criterio se establece un porcentaje de generación en demanda mínima con respecto a la generación en demanda máxima. El despacho de generación estimado se encuentra en la Tabla 3.2 [18].

Tabla 3.2 Porcentaje de Despacho de Generación Mínima respecto de Generación Máxima

NOMBRE	Generación Máxima		Generación Mínima		% de Despacho	
	P [MW]	Q [Mvar]	P [MW]	Q [Mvar]		
SEP A	23.73	33.63	12.21	19.02	51.52	56.56
SEP B	29.05	-8.37	14.89	-4.67	51.29	55.87

3.1.2.2 Demanda Mínima

El modelo implementado para el caso de demanda mínima incluye el detalle de las potencias activa y reactiva, como se muestra en la Tabla 3.2, en la Tabla 3.3, y en la Figura 3.7.

Tabla 3.3 Potencia Activa y Potencia Reactiva de las cargas para el caso de Demanda Mínima

NOMBRE	Potencia Activa [MW]	Potencia Reactiva [Mvar]
Load Line C	9.41	3.09
Load Line D	19	6.25
Load T3	9.61	3.16
Load T4	14.18	4.66

3.1.3 SIMULACIÓN

Como el fin del presente trabajo es analizar las ventajas y desventajas del software EMTP-RV enfocándose en la función de la protección de distancia, se han utilizado distintos tipos de simulación que permiten observar gráficas similares para determinar una comparación acertada entre PowerFactory y EMTP-RV.

Siguiendo la metodología propuesta es necesario presentar los ajustes realizados en base a los criterios utilizados en el ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory, estos valores se muestran en la Tabla 3.4.

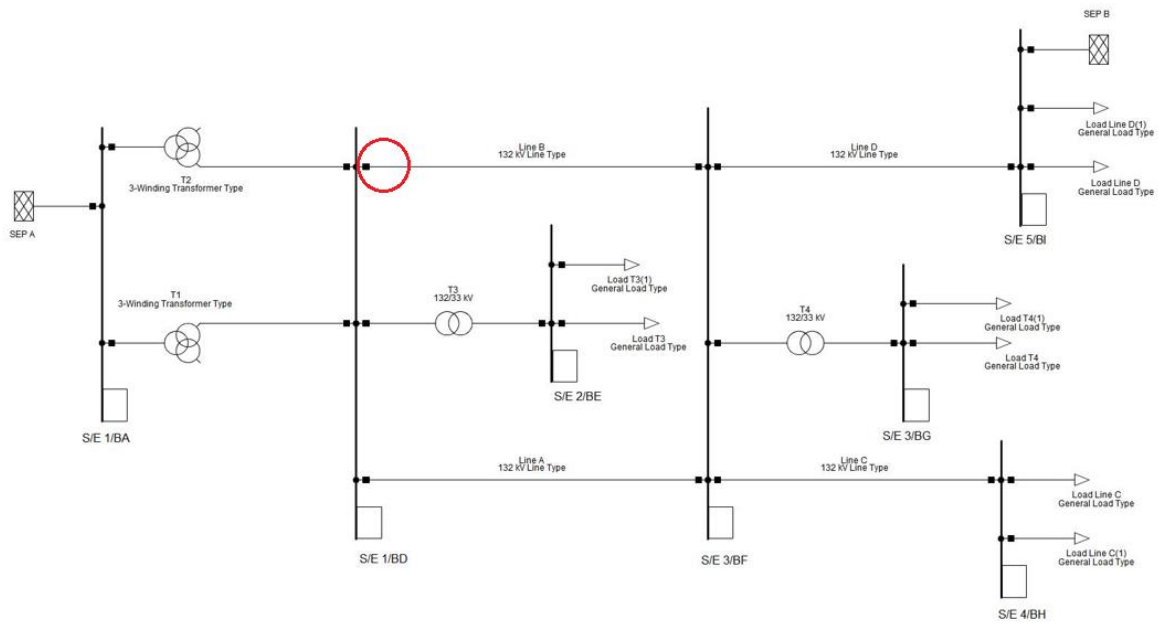
Tabla 3.4 Ajustes en los relés modelados de ambos programas

NOMBRE	Impedancia en Ohm sec.					
	PGZ1	PGZ2	PGZ3	PPZ1	PPZ2	PPZ3
R21_LB_BD	10.31	15.47	25.77	10.31	15.47	25.77
R21_LB_BF	10.31	15.47	25.77	10.31	15.47	21
R21_LD_BF	8.25	12.38	20.61	8.25	12.38	20.61
R21_LD_BI	8.25	12.38	20.62	8.25	12.38	20.61

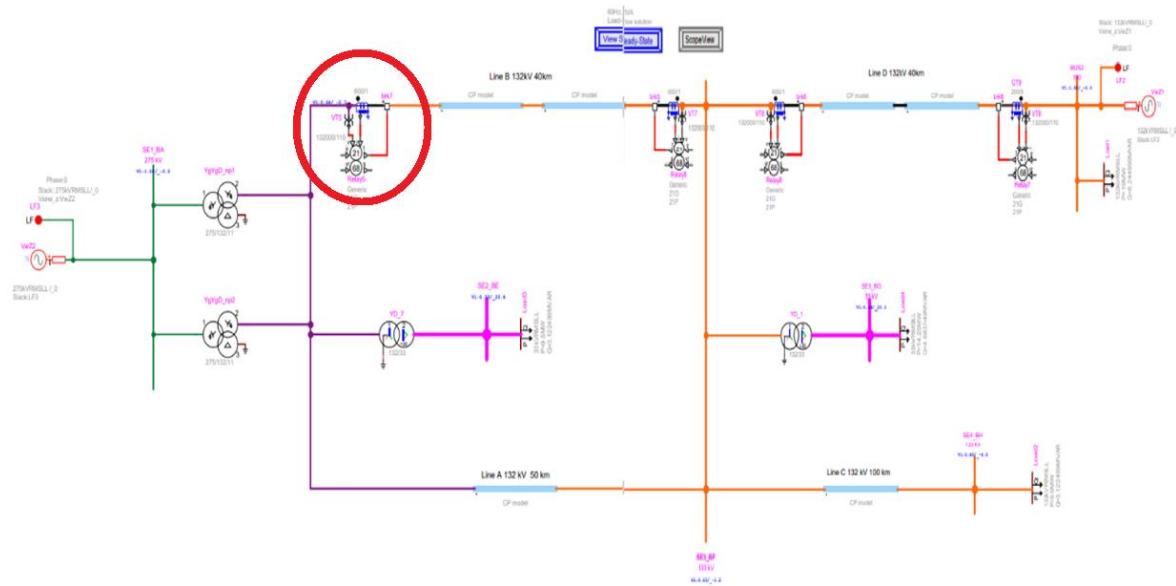
3.1.3.1 Demanda Máxima

En demanda máxima se emplean las potencias de las cargas detalladas en la Tabla 3.1. y las potencias de las fuentes detalladas en la Tabla 3.2. Dentro de este escenario se consideran casos internos que permiten observar la función de la protección de distancia en cada ambiente de simulación; es decir, el estudio de cortocircuitos detallado anteriormente. Los resultados de simulación para el estudio de cortocircuitos se encuentran en el ANEXO IV Gráficas para Demanda Máxima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory, a continuación, se presenta en detalle los resultados para simulación de flujo de carga y una falla monofásica al 80% de la línea de transmisión B con resistencia de falla de 3 ohmios para el relé modelado en la Barra D como se muestra en la Figura 3.12.

En la Figura 3.13 se muestran los datos más relevantes para el flujo de potencia en EMTP-RV y en PowerFactory, estos son resultados que los programas devuelven al usuario.



A)



B)

Figura 3.12 Ubicación del relé modelado en el sistema eléctrico de prueba en:
A) PowerFactory y B) EMTF.

Grid\SEP A.ElmXnet:

m:U11:bus1 = 275, kV (Line-Line Positive-Sequence-Voltage, Magnitude)
m:P:bus1 = 23,23941 MW (Active Power)
m:I:bus1 = 0,08441547 kA (Current, Magnitude)

Grid\SEP B.ElmXnet:

m:U11:bus1 = 132, kV (Line-Line Positive-Sequence-Voltage, Magnitude)
m:P:bus1 = 29,27773 MW (Active Power)
m:I:bus1 = 0,1324038 kA (Current, Magnitude)

A)

Solución de flujo de carga EMTF

- Flujo de carga para archivo de diseño: C:\Users\usuario\Desktop\NANDO\EPN\ÚLTIMO SEMESTRE\ITIC\6BDemMin.ecf

Fecha solución: 22/06/16
Hora solución: 19:30:18.304

Dispositivo	Escribe	Fasor Vabc (kVRMSLL, grados)	P (W)	Q (VAR)	Eabc (kVRMSLL, grados) fasor	Fasor Iabc (A,grado)
LF2	Flojo	+0.1320000000E+03 -0.1062373100E-17	+0.1900000718E+08	+0.6245033257E+07	+0.1320212287E+03 +0.2272197065E-01	+0.1237117134E+03 -0.1819496188E+02
		+0.1320000000E+03 -0.1200000000E+03			+0.1320212287E+03 -0.1199772780E+03	+0.1237117134E+03 -0.1381949619E+03
		+0.1320000000E+03 +0.1200000000E+03			+0.1320212287E+03 +0.1200227220E+03	+0.1237117134E+03 +0.1018050381E+03
LF3	Flojo	+0.2750000000E+03 +0.4028141943E-16	+0.4799906333E+09	+0.1298801638E+10	+0.2768013128E+03 +0.1098224605E+00	+0.4111157114E+04 -0.6971749046E+02
		+0.2750000000E+03 -0.1200000000E+03			+0.2768013128E+03 -0.1198901775E+03	+0.4111157114E+04 +0.1702825095E+03
		+0.2750000000E+03 +0.1200000000E+03			+0.2768013128E+03 +0.1201098225E+03	+0.4111157114E+04 +0.5028250954E+02
Generación Total			+0.4989906405E+09	+0.1305046672E+10		
Cargas totales			+0.0000000000E+00	+0.0000000000E+00		
Total Generación-Cargas			+0.4989906405E+09	+0.1305046672E+10		

La frecuencia de alimentación predeterminada es: 60

Espectáculo Voltajes de nodo

Espectáculo Potencia transmitida

Balance de poder
P= 0.0000000000E+00 Q=-0.4768371582E-06

B)

Figura 3.13 Resultados de la simulación de flujo de carga en: A) PowerFactory y B) EMTF-RV.

Para obtener los datos del flujo de carga o de estado estacionario dentro del ambiente del programa EMTP-RV, se debe acceder a un archivo externo que se abre en la web, como se muestra en la Figura 3.9-A, a diferencia del programa PowerFactory que permite visualizar los datos dentro del entorno propio de programación; así también PowerFactory permite seleccionar las variables que serán devueltas al usuario en forma sencilla, mientras que los datos del flujo de carga para el programa EMTP-RV son impuestas por el programa. En la Figura 3.14 se encuentra el resultado que despliega el programa EMTP-RV para el flujo de carga y la extensión que envía al archivo web donde se encuentran los resultados.

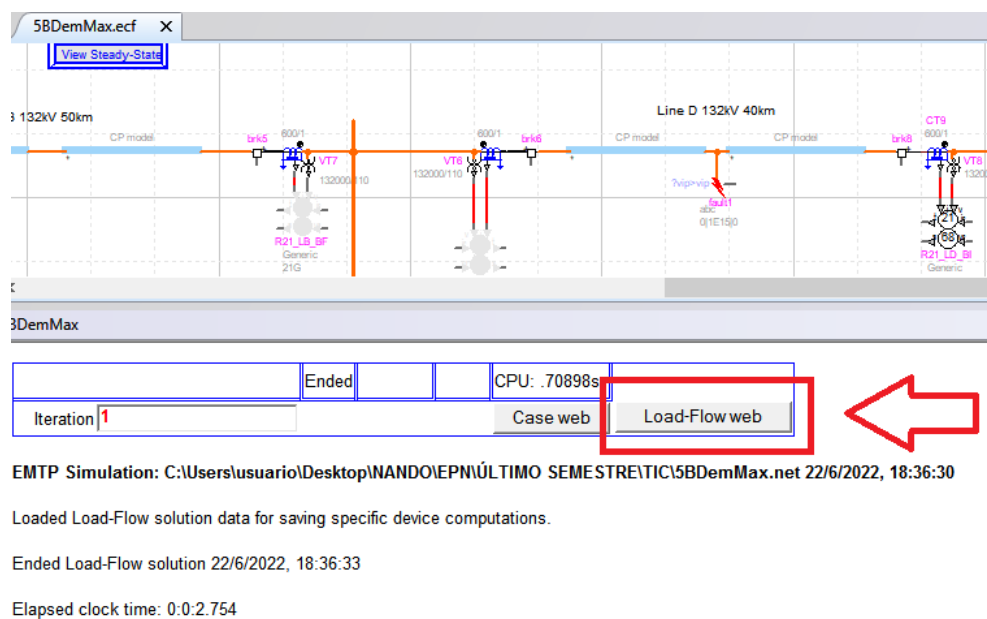
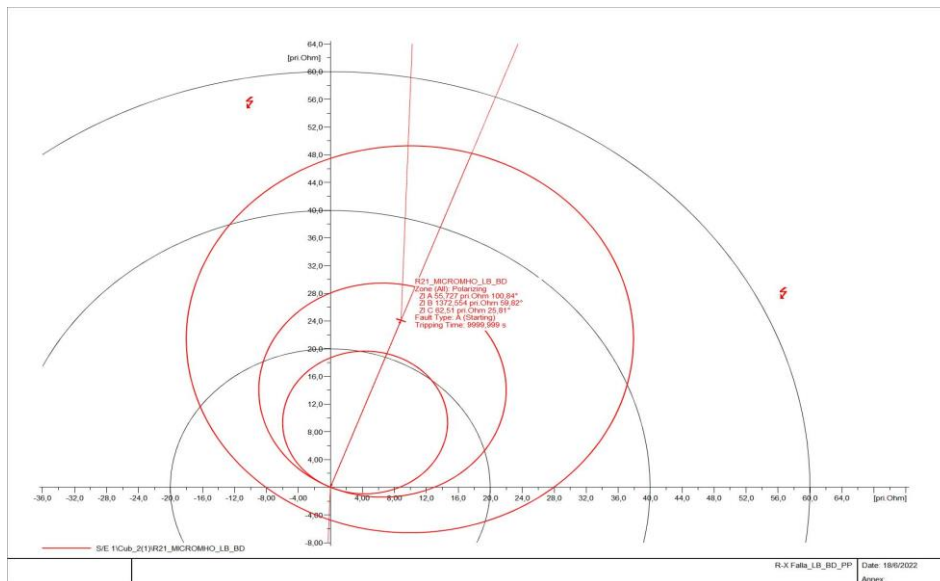
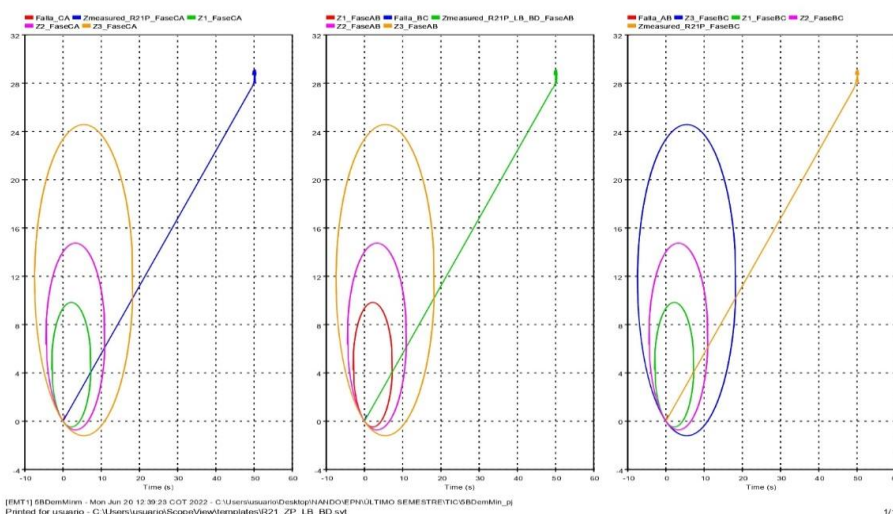


Figura 3.14 Resultados dentro del programa EMTP-RV para un flujo de carga

Por otro lado, en la Figura 3.15 se observan los resultados de simulación para un cortocircuito monofásico al 80% de la línea de transmisión B con resistencia de falla de tres ohmios como se muestra en la Figura 3.12. Aquí cabe mencionar que el programa EMTP-RV no posee una función u opción que permite la visualización de la falla en la característica del relé de la misma manera que el programa PowerFactory. De tal manera que se ubica la señal de identificación de falla que posee EMTP-RV como evidencia de que el relé se encuentra operando.



A)



B)

Figura 3.15 Resultados de la simulación de un cortocircuito monofásico al 80% de la L/T B con resistencia de falla de 3 ohmios dentro de los programas A) PowerFactory y B) EMTP.

En la Figura 3.15-B se puede observar que el programa EMTP-RV permite visualizar la función de la protección de distancia para lazos fase – fase y para lazos fase – tierra, a diferencia del programa PowerFactory que presenta un solo gráfico, EMTP-RV grafica para lazos fase – fase en tres gráficos distintos, donde el primer gráfico representa la impedancia medida por el relé entre las fases A y B, el segundo gráfico con las fases B y C, y el tercer gráfico con las fases C y A. Ocurre lo mismo para lazos fase – tierra, puesto que EMTP-RV presenta tres gráficos, uno por cada fase y PowerFactory presenta un solo gráfico.

En la Figura 3.15-B también se puede observar como el software EMTP-RV dibuja una línea que indica la impedancia medida por el relé a través de un tiempo de simulación, cuyo origen se encuentra en el origen de las zonas de protección, este tipo de simulación es indispensable para observar las características del relé y para simular fallas en el sistema modelado. Cuando llega el fin de esta línea como se muestra en la Figura 3.16, se tiene que el programa ha llegado a su estado estable y la falla se encierra en un solo punto.



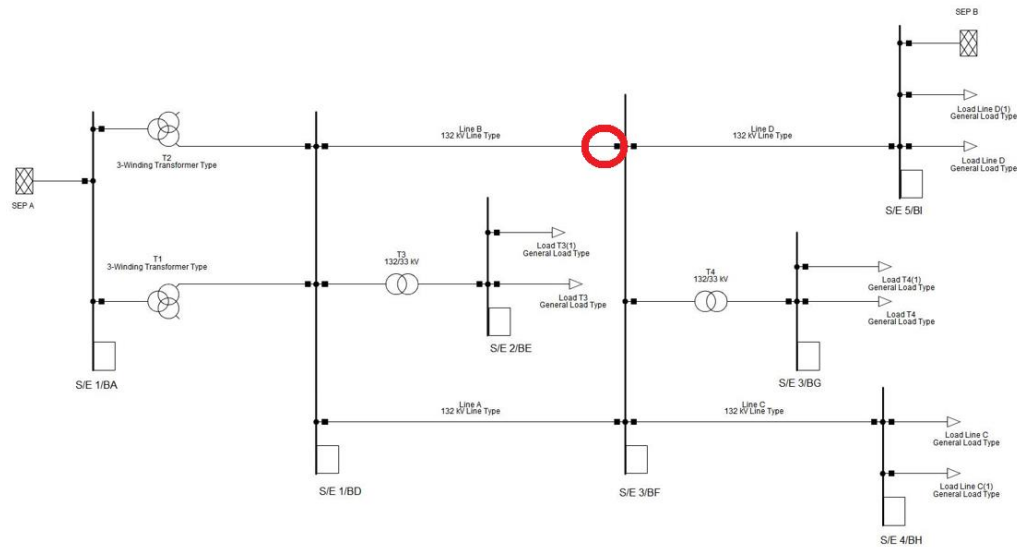
Figura 3.16 Recorrido de la simulación en el Dominio del Tiempo dentro de EMTP-RV

Ante un cortocircuito monofásico ocasionado al 80% de la L/T con resistencia de falla de tres ohmios para lazos fase – fase, el software PowerFactory indica la falla fuera de las zonas de protección, de la misma manera el software EMTP a través de la impedancia medida, tiene su estado estable en las afueras de las zonas de protección.

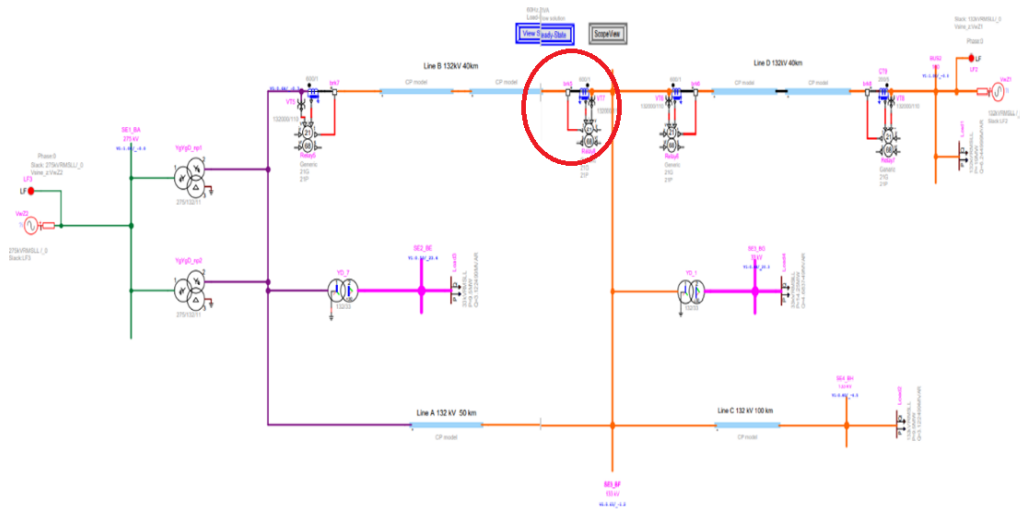
3.1.3.2 Demanda Mínima

En demanda mínima se emplean las potencias de las cargas detalladas en la Tabla 3.3. y las potencias de las fuentes detalladas en la Tabla 3.2. Dentro de este escenario se consideran también casos internos que permiten observar la función de la protección de distancia, y cuyos resultados de simulación para el estudio de cortocircuitos se encuentran en el ANEXO V Gráficas para Demanda Mínima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory.

A continuación, se presenta en detalle los resultados para simulación de flujo de carga y una falla trifásica al 80% de la línea de transmisión B con resistencia de falla de tres ohmios para el relé modelado en la Barra F como se muestra en la Figura 3.17.



A)



B)

Figura 3.17 Ubicación del relé modelado en el sistema eléctrico de prueba en:
A) PowerFactory y B) EMTP.

En la Figura 3.18 se muestran los datos más relevantes para el flujo de potencia en EMTP-RV y en PowerFactory, estos son resultados que los programas devuelven al usuario.

Solución de flujo de carga EMTP

- Flujo de carga para archivo de diseño: C:\Users\usuario\Desktop\NANDO\EPNÚLTIMO SEMESTRE\ITIC\6BDemMin.ecf

Fecha solución: 22/06/16
 Hora solución: 19:30:18.304

Dispositivo	Escribe	Fasor Vabc (kVRMSLL, grados)	P (W)	Q (VAR)	Fabc (kVRMSLL, grados) fasor	Fasor Iabc (A, grado)
LF2	Flujo	+0.1320000000E+03 -0.1062373100E-17	+0.1900000718E+08	+0.6245033257E+07	+0.1320212287E+03 -0.2272197065E-01	+0.1237117134E+03 -0.1819496188E-02
		+0.1320000000E+03 -0.1200000000E+03			+0.1320212287E+03 -0.1199772780E+03	+0.1237117134E+03 -0.1381949619E-03
		+0.1320000000E+03 +0.1200000000E+03			+0.1320212287E+03 +0.1200227220E+03	+0.1237117134E+03 +0.1018050381E-03
LF3	Flujo	+0.2750000000E+03 -0.4028141943E-16	+0.4799906333E+09	+0.1298801638E+10	+0.2768013128E+03 -0.1098224605E-00	+0.4111157114E+04 -0.6971749046E+02
		+0.2750000000E+03 -0.1200000000E+03			+0.2768013128E+03 -0.1198901775E+03	+0.4111157114E+04 +0.1702825095E+03
		+0.2750000000E+03 +0.1200000000E+03			+0.2768013128E+03 +0.1201098225E+03	+0.4111157114E+04 +0.5028250954E+02
Generación Total			+0.4989906405E+09	+0.1305046672E+10		
Cargas totales			+0.0000000000E+00	+0.0000000000E+00		
Total Generación-Cargas			+0.4989906405E+09	+0.1305046672E+10		

La frecuencia de alimentación predeterminada es: 60

Espectáculo Voltajes de nodo

Espectáculo Potencia transmitida

Balance de poder	
P=0.0000000000E+00	Q=-0.4768371582E-06

A)

Grid\SEP A.ElmXnet:

m:U11:bus1 = 275, kV (Line-Line Positive-Sequence-Voltage, Magnitude)
 m:P:bus1 = 23,23941 MW (Active Power)
 m:I:bus1 = 0,08441547 kA (Current, Magnitude)

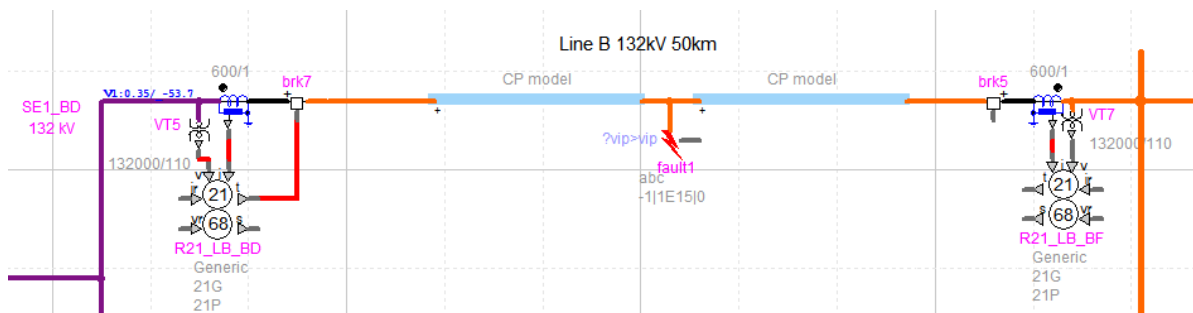
Grid\SEP B.ElmXnet:

m:U11:bus1 = 132, kV (Line-Line Positive-Sequence-Voltage, Magnitude)
 m:P:bus1 = 29,27773 MW (Active Power)
 m:I:bus1 = 0,1324038 kA (Current, Magnitude)

B)

Figura 3.18 Resultados de la simulación de flujo de potencia en: A) EMTP-RV, B) PowerFactory

Es importante mostrar en este punto como se observa una falla en ambos programas, en la Figura 3.19 se muestra la parte del sistema eléctrico donde se ubica la falla en EMTP-RV y en PowerFactory.



A)

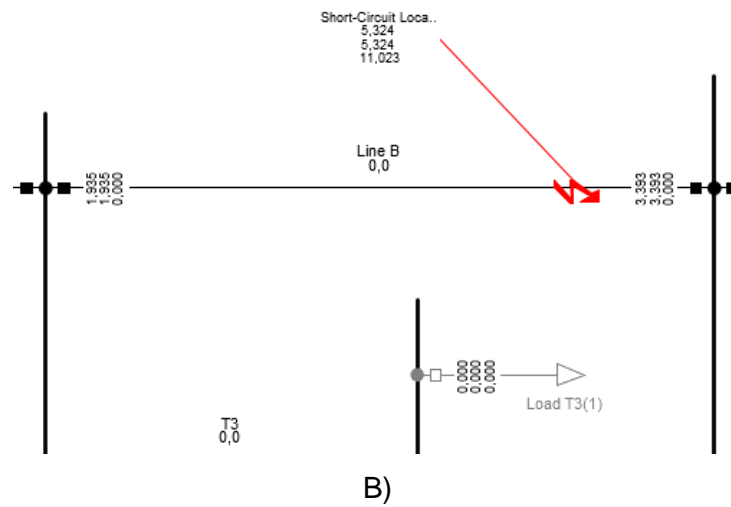
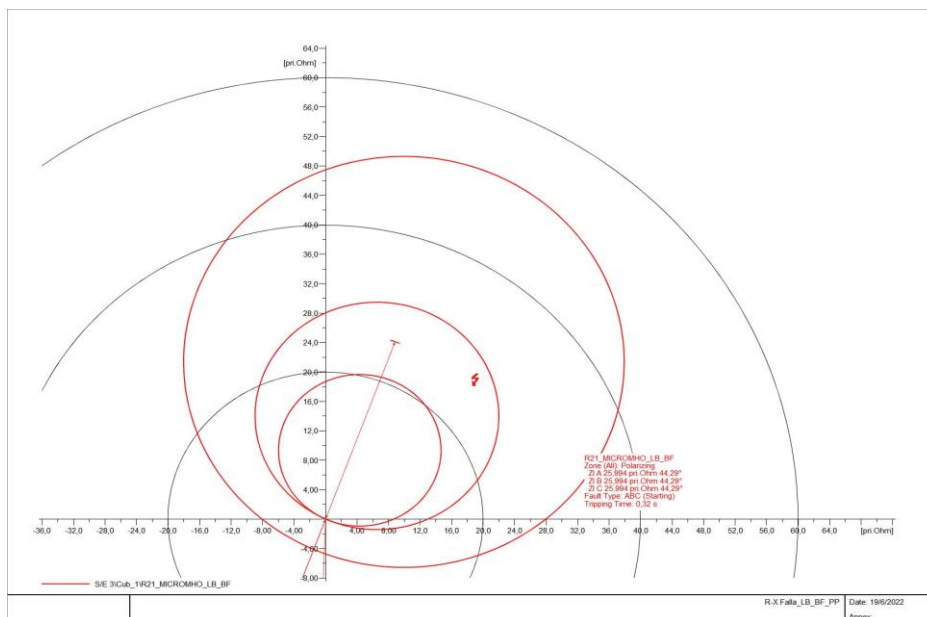


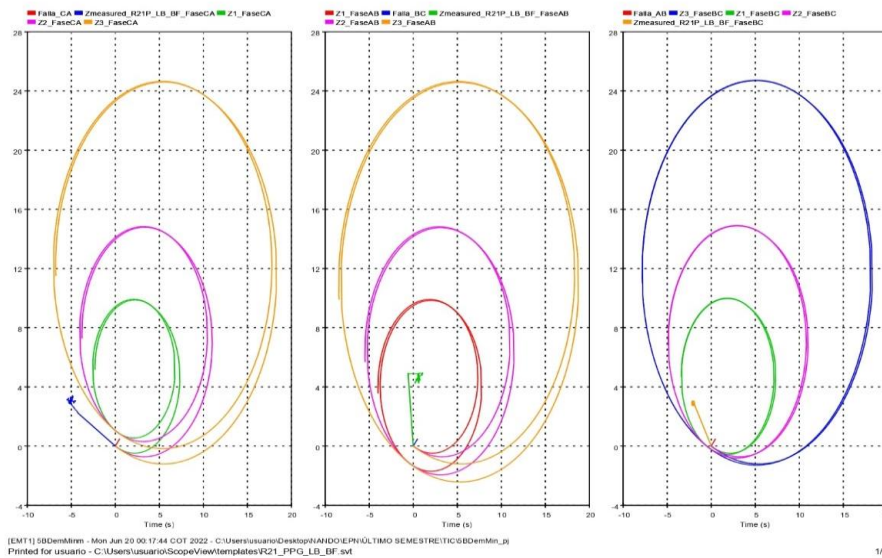
Figura 3.19 Parte del sistema eléctrico donde se muestra la falla en: A) EMTP-RV, B) PowerFactory

La Figura 3.19 permite mostrar algunas ventajas y desventajas de ambos programas. Para simular la falla trifásica con resistencia de falla de tres ohmios al 80% de la línea de transmisión B del sistema eléctrico modelado, en EMTP-RV se debe separar la línea, de tal manera que se tenga la falla en la proporción de la línea donde se quiere simular el cortocircuito. Es así como, la línea de 50 km se dividió en una línea de 40 km y otra de 10 km, de tal manera que la falla esté al 80% de la línea de transmisión B.

En la Figura 3.20 se observan los resultados de simulación para un cortocircuito trifásico al 80% de la L/T B y tres ohmios de resistencia de falla.



A)



B)

Figura 3.20 Resultados de la simulación de un cortocircuito trifásico al 80% de la L/T B con resistencia de falla de 3 ohmios dentro de los programas A) PowerFactory y B) EMTP-RV.

Para este tipo de falla y en este caso de estudio el programa EMTP-RV tampoco posee una opción que permita la visualización de la falla en la característica del relé de la misma manera que el programa PowerFactory. Entonces se ubica la señal de identificación de falla que posee EMTP-RV.

Para demanda mínima, las características observadas para lazos fase – fase ante un cortocircuito trifásico, en el software PowerFactory la falla cae dentro de la segunda zona de protección, en el software EMTP-RV la impedancia medida por el relé a través del tiempo se establece tanto en la primera zona como en la segunda zona, esto se debe a la simulación de este programa en el dominio del tiempo, lo que al final podría causar errores en la interpretación de resultados para quien no utiliza este programa computacional.

3.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El programa PowerFactory recibe más datos para la modelación de los elementos del sistema eléctrico. EMTP-RV permite ingresar datos más básicos pero que no dejan de ser importantes.

Para la simulación el programa EMTP-RV requiere una versión específica de un componente de MATLAB llamado RunTime, este componente activa una opción llamada MPLOTT, pero EMTP también posee un visualizador de gráficos llamado ScopeView.

PowerFactory permite observar gráficos de simulación sin ningún componente extra de MATLAB u otro programa.

Para poder ajustar la protección de distancia EMTP-RV requiere de datos específicos, permitiendo que sea más exacto al momento de simular, pero a la vez demorando su ajuste. Para el ingreso de datos principales de impedancia, permite su ingreso en ohmios o directamente en porcentaje, factor que ayuda mucho para los límites de las zonas.

Para simular casos de estudio, el software EMTP-RV se demora en devolver un resultado al usuario debido a que requiere una solución en el dominio del tiempo para visualizar las características de los relés y su comportamiento ante fallas, y el sistema modelado en EMTP requiere de cambios en el sistema con cada caso que se presenta, mientras que PowerFactory realiza sus simulaciones en segundos y no requiere cambios en el sistema diseñado para simular distintos casos de estudio.

Para evidenciar el proceso que conlleva la modelación, simulación, y ajuste de la protección de distancia en el software EMTP-RV dirigirse al ANEXO VI Guía para el proceso de modelación, simulación y ajuste de la Protección de Distancia.

3.2 CONCLUSIONES

- La información de fuentes secundarias sobre el software EMTP-RV sirvió de manera general en el proceso del presente trabajo de investigación. Esta fue revisada como base esencial para el inicio de la programación en este nuevo entorno, tomando como guía ejemplos de los mismos programas y talleres provistos por EMTP-RV. Cabe resaltar que, aunque la información encontrada y analizada contribuyó sustancialmente, la misma no fue suficiente, por lo que, se vio necesaria la experimentación de forma general y específica, con enfoque en la protección de distancia y su aplicación.
- Así mismo, la teoría sobre la protección de distancia cuenta con una amplia fuente de investigación, sin embargo, la relación entre el software EMTP-RV y la protección de distancia permanece con información limitada. Es aquí donde se observó que el mismo software se encarga de brindar contenido mediante tutoriales básicos, ayudas dentro del programa, un manual que le ofrece al usuario una guía permitiéndole realizar cambios según sus requerimientos.
- La configuración del transformador de voltaje en el software EMTP contempla variables que en el software PowerFactory se configuran a detalle, por ejemplo, el

Standard, Data Burden, Power Factor. Por otra parte, en el software PowerFactory existe la opción de tener un modelo de transformador de voltaje ideal, transformador de voltaje y transformador de voltaje capacitivo. A parte, los TP's del software EMTP permiten incluir valores de magnetización del transformador y valores de resistencia y reactancia para sus devanados. Ocurre lo mismo con los transformadores de corriente, estos en el software EMTP poseen datos más específicos y técnicos como el estándar que usa, su clase, y valores de resistencia y reactancia en sus devanados.

- El sistema eléctrico reducido de los sistemas eléctricos de ejemplos utilizados como modelos para el análisis de la protección de distancia arrojó resultados satisfactorios, permitiendo el uso óptimo de los elementos disponibles en ambos programas facilitando la comparación entre el software EMTP-RV y el software PowerFactory, corroborando la modelación de las fuentes de generación ya que PowerFactory requiere de un solo elemento para modelar una barra infinita, mientras que EMTP-RV necesita un elemento adicional a la fuente llamado flujo de carga para que la simulación del sistema sea exitosa.
- El modelo utilizado permite verificar que el software EMTP-RV para su correcta aplicación requiere el ingreso de más información que el software PowerFactory. Lo que conlleva una investigación exhaustiva de los elementos a modelar, además del tiempo que emplea el proceso de configuración.
- El modelo de línea que posee el software EMTP tiene algunas novedades en comparación al modelo que presenta el software PowerFactory, por ejemplo, en el software PowerFactory presenta la posibilidad de modelar una línea incluyendo su longitud y datos que se requieren en el mismo modelo, siendo estos datos impedancias de secuencia cero y positiva, mientras que en el software EMTP existen dos modelos analizados en este Trabajo: un modelo PI que permite incluir valores de impedancia de secuencia cero y secuencia positiva, otro modelo que permite incluir parámetros constantes y la longitud de la línea.
- Todos los elementos que se modelaron y permitieron el análisis de la protección de distancia en el software EMTP permiten incluir condiciones iniciales. Los cuadros de edición e ingreso de variables de cada elemento modelado en EMTP son menos amigables con el usuario que los cuadros de edición de PowerFactory.
- Después de haber ejecutado la simulación, se concluye que EMTP-RV arroja tres gráficos donde se detallan las zonas de protección y la ubicación de la falla. Para

poder observar los resultados el software EMTP-RV requiere de un programa adicional que es una extensión de tres empresas (Hydro Québec, OPAL-RT y EMTP-RV), su instalación viene incorporada, y es necesario iniciar esta herramienta llamada ScopeView para ingresar las funciones de salida que se escogen previamente en la configuración del relé; mostrando que el proceso de observar las simulaciones de la protección de distancia en EMTP-RV es más largo que en PowerFactory; también se puede concluir que la protección de distancia en EMTP-RV permite tener un campo amplio de análisis en tres figuras que muestran lo que ocurre entre fases, mientras que en PowerFactory se obtiene una sola gráfica.

- Se analizó que para realizar una simulación dentro del ambiente de EMTP-RV es indispensable correr en el dominio del tiempo, esto se refleja en el desempeño de la protección de distancia, puesto que el gráfico demuestra un recorrido desde el origen de las zonas de protección hasta un punto en el plano complejo R-X donde el sistema llega a un estado estable.
- En EMTP el punto de falla es ingresado como un elemento extra al sistema, permitiendo que esta falla sea visible y editable, mientras que, en PowerFactory el punto de falla se ingresa como un cálculo a la línea, donde se edita y ejecuta la falla. En EMTP los relés se muestran como un elemento que debe ser conectado al transformador de voltaje, al transformador de corriente y con otros pines que se pueden usar para profundizar la aplicación de la protección, mientras que en PowerFactory los relés, TC's y TP's se ingresan desde el interruptor de la línea, estos elementos permanecen activos, aunque no sean visibles en el esquema del sistema. Su visibilidad en EMTP, provoca un ambiente llamativo, pero a la vez ocupa espacio en el sistema diseñado, haciendo que el tamaño del sistema sea más grande; a parte, las conexiones del relé deben evitar ser movidas puesto que su mala conexión en los pines provoca un error que pide cerrar el programa para volverlo a abrir y solucionar el error.
- Para colocar una falla entre la línea de transmisión en EMTP se debe separar ésta, puesto que EMTP no permite al usuario colocar una falla dentro de un elemento, sino que debe colocarse la falla como un elemento externo. Mientras que en PowerFactory la falla puede colocarse como un elemento interno que permite conservar la línea de transmisión original sin necesidad de separarla o agregar un elemento externo al sistema.

- El software EMTP no permite visualizar las fallas ocurridas en la línea dentro de las gráficas R – X. EMTP posee una función denominada FIDS que significa “Selección de Identificación de Fallas”, activando esta opción se tiene una representación de la falla identificada en la línea, mas, sin embargo, su comparación con el software PowerFactory queda como una desventaja.
- En EMTP la falla se presenta como una línea que recorre a lo largo del tiempo establecido una trayectoria, su recorrido se detiene donde llega a su estado estable. Es descrito como Zmeasured, y representa la impedancia que observa el relé. Mientras que en PowerFactory la falla se presenta como un rayo de color rojo dibujado en el lugar donde mide la impedancia el relé. Por una parte, EMTP permite observar el recorrido de la falla, pero ralentiza el tiempo en el que se obtienen los resultados, por otra parte PowerFactory da un resultado en un tiempo corto pero permite observar el lugar final donde se establece la falla.
- Se tienen dos ambientes externos al software EMTP para obtener resultados de simulación en formas de onda, estos son: ScopeView y MPLOT. MPLOT tiene relación directa con RunTime de MATLAB y ScopeView es un programa específicamente de EMTP y otras empresas para la visualización de señales. MPLOT tiene un entorno amigable, pero requiere del uso de su manual para aprovechar al máximo sus opciones, ScopeView es un entorno más completo y ordenado que MPLOT y que el entorno de PowerFactory, puesto que tiene funciones específicas y avanzadas que fortalecen el desempeño y permiten la visualización adecuada de las señales de los relés.
- Los resultados de simulación en EMTP demoran en obtenerse en comparación con el tiempo en que resuelve lo deseado PowerFactory. Esto puede deberse a que en el software EMTP se utiliza la simulación de dominio en el tiempo para observar las características de los relés y simular fallas en el sistema.
- Se observa que debido a la característica que tiene EMTP de obtener resultados en el dominio del tiempo, las gráficas propias de cada relé tienen una circunferencia redibujada hasta terminar el tiempo de estudio; tomando en cuenta que en su entorno de presentación de gráficos ScopeView si se desea se debe ajustar un tiempo extra.

3.3 RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de demanda máxima y demanda mínima para evidenciar la correcta operación de las protecciones de distancia, porque el estudio de cortocircuitos es necesario en ambos casos.
- Investigar a profundidad cada uno de los materiales de ayuda que dispone el programa EMTP para cada elemento a modelar. Esto permite la comprensión del elemento en el programa y ayuda con algunas pautas para su ajuste o configuración.
- Debido a la capacidad propia del EMTP se debe procurar colocar datos en los modelos de las líneas de transmisión que se relacionen con el tiempo de simulación. Ya que en la configuración de la línea no permite colocar el valor de cero tanto para la inductancia como para la capacitancia de la línea, este valor influye al tiempo de simulación y éste no debe ser mayor al delay que genere línea con los datos ingresados.
- Se debe ajustar un tiempo de simulación un tanto mayor a 0.1 segundos para observar las características de los relés correctamente.
- Ejecutar flujos de carga en el software EMTP cada vez que se realicen cambios en la topología del sistema.
- Tener una conexión estable a internet, puesto que tanto EMTP como PowerFactory permiten el uso de sus licencias con la conexión virtual a la red de la Escuela Politécnica Nacional.
- Instalar la versión de RunTime que indique el software EMTP si se desea ver las formas de onda con el programa MATLAB.
- Activar las funciones de alcance que tiene cada elemento modelado para que se puedan observar en las formas de onda que se presentan en ScopeView o en MPLOT.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. CHAKRABORTY, «NEW NUMERICAL INTEGRATION METHODS FOR SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC TRANSIENTS,» SRM University, Nagar, 2017.
- [2] EMTP, «Documentation Help,» [En línea]. Available: <http://emtpsoftware.com/content/support>.
- [3] W. F. Gutama Feijoo, «LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE MEDICIONES SINCROFASORIALES Y ONDAS VIAJERAS,» Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, 2019.
- [4] PowerFactory, DIgSILENT, «Documentation Help,» [En línea]. Available: <https://www.digsilent.de/en/support.html>.
- [5] E. Haginomori, T. Koshiduka, J. Arai y H. Ikeda, «Power System Transient Analysis: Theory and Practice Using Simulation Programs (ATP-EMTP),» John Wiley & Sons, 2016.
- [6] C. C. L. d. Jesús, «Teoría y Práctica con el atp,» Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, 1995.
- [7] R. A. J. Solís, «ANÁLISIS DE TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS USANDO ATP-EMTP EN LA LÍNEA,» UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala, 2018.
- [8] F. B. Toledo Solano y F. P. Urgiles Palacios, «Desarrollo de un Modelo Dinámico VBR de la Máquina de Inducción en ATP-EMTP,» 07 2021. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21102/1/UPS-CT009276.pdf>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [9] A. M. León Pérez, «Modelación de transformadores de corriente en programa alterno de transitorios electromagnéticos (EMTP/ATP) para analizar una condición de operación,» 06 2020. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9942>. [Último acceso: 10 12 2021].

- [10] T. Tayyib, «Electromagnetic Transients Program: EMTP-RV,» EPRI, Palo Alto, CA, 2000.
- [11] G. Carrillo Caicedo, «Protecciones Eléctricas,» de Relés, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2007, pp. 63-67.
- [12] C. R. Mason, The Art & Science of Protective Relaying, General Electric.
- [13] F. I. Lozada Jordán, «Detección de Fallas en Líneas de Transmisión Utilizando la Transformada de Wavelet,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [14] C. J. Guamán Herrera, «Estudio de Coordinación de Protecciones del Sistema de Subtransmisión de CNEL EP Sucumbíos ante un nuevo punto de conexión al Sistema Nacional Interconectado,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [15] L. E. Barreno Reyes, «Aplicación de un Nuevo Algoritmo para Protección de Distancia de Líneas Aéreas de Doble Circuito,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [16] P. M. Anderson, Power System Protection, IEEE Press Series on Power Engineering, 1999.
- [17] H. E. Mafla Tutillo, «Estudio de Coordinación de Protecciones para la Línea de Transmisión de Tres Terminales Manduriacu-Santo Domingo-Los Bancos a 69 kV,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017.
- [18] F. E. Pérez Yauli y J. R. Torres Castillo, «Validación del Sistema de Protección de las Líneas que conforman el Anillo de 230 kV del Sistema Nacional de Transmisión-SNT, con el Programa PowerFactory de la Empresa DigSILENT,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2004.
- [19] J. F. Chapi Lucero, «Simulación de la Función de Oscilación de Potencia en Relés de Distancia,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.
- [20] J. J. Cela Andagoya, «Coordinación de Protecciones en el Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero a Nivel de 69 kV considerando su Conexión al Sistema Nacional Interconectado,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.

5 ANEXOS

ANEXO I Primeros Pasos en EMTP

ANEXO II Circuito Básico en EMTP

ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory

ANEXO IV Gráficas para Demanda Máxima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory

ANEXO V Gráficas para Demanda Mínima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory

ANEXO VI Guía para el proceso de modelación, simulación y ajuste de la Protección de Distancia

ANEXO I Primeros Pasos en EMTP

Para empezar a hacer uso del software EMTP-RV se contactó con el personal encargado de la EPN, el cual inmediatamente envió los archivos para instalar y un tutorial del software. Obteniendo la siguiente respuesta.



Figura A1.1. Mensaje recibido por las autoridades con indicaciones sobre el software EMTP-RV.

De esta manera se procedió a instalar el software, teniendo en cuenta que se debía instalar previamente RunTime de MATLAB.

Como el software fue solicitado anteriormente por la EPN, el uso de la licencia debía ser mediante una conexión virtual. Mediante la URL de conexión vpn.epn.edu.ec se logró obtener la licencia y empezar a utilizar el software.



Figura A1.2. Ventana de la conexión virtual para acceder a la licencia del software EMTP-RV.

Para empezar a utilizar el software EMTP, es necesario mantener una buena conexión a internet puesto que requiere la conexión virtual a la EPN.

Así pues, se debe abrir el archivo que tenga como nombre EMTPWorks.

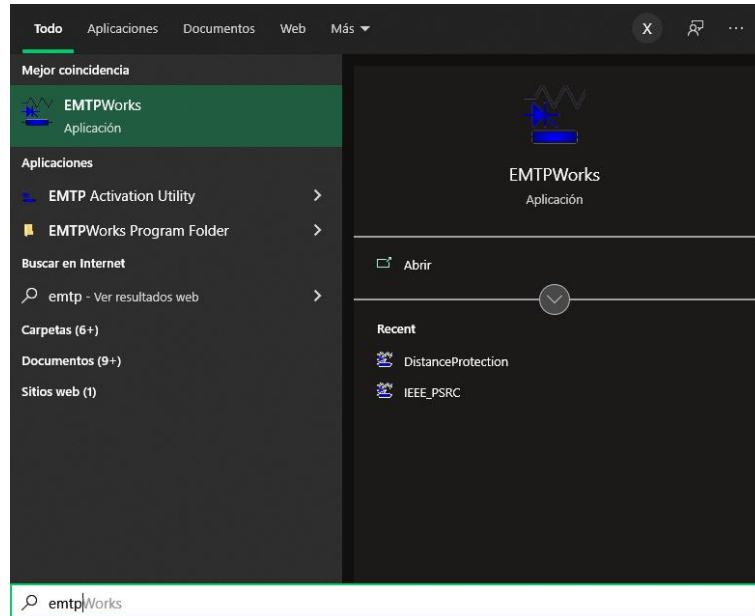


Figura A1.3. Ícono de EMTP-RV que permite abrir el software y empezar su uso.

A continuación, se abre la ventana de EMTP, y se observa en la siguiente imagen las diferentes opciones que presenta el software. EMTP-RV posee ejemplos ya modelados que solo son de lectura, para hacer uso de estos, se necesita crear una copia y guardarlos.

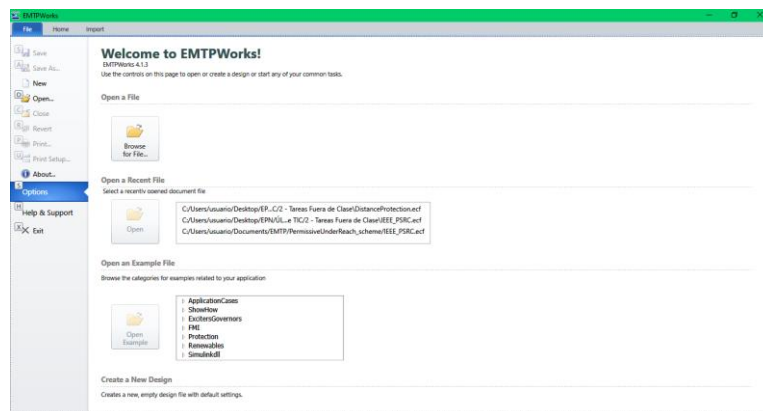


Figura A1.4. Ventana principal del software EMTP-RV.

Al crear un nuevo proyecto se abre la siguiente ventana, donde se pueden observar a la derecha en un cuadro azul, elementos de la librería que sirven para armar el modelo del sistema eléctrico deseado, en la parte superior existen comandos básicos de diseño, simulación u opciones distintas del software.

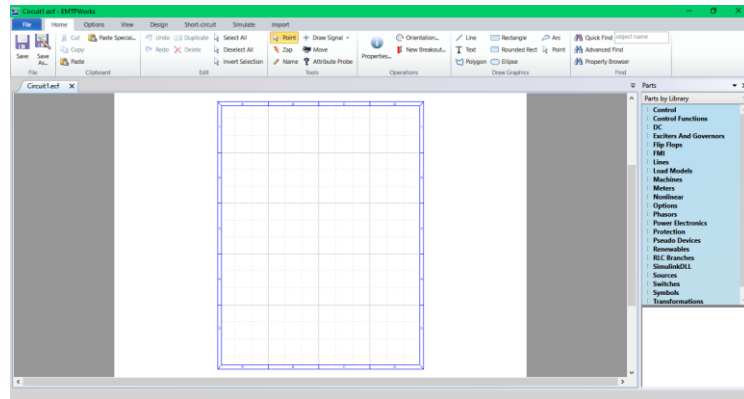


Figura A1.5. Ventana del software EMTP-RV donde se muestra una hoja nueva para empezar a diseñar el circuito.

ANEXO II Circuito Básico en EMTP

Para crear un esquema simple en EMTPWorks.

1. Iniciar el programa EMTPWorks.

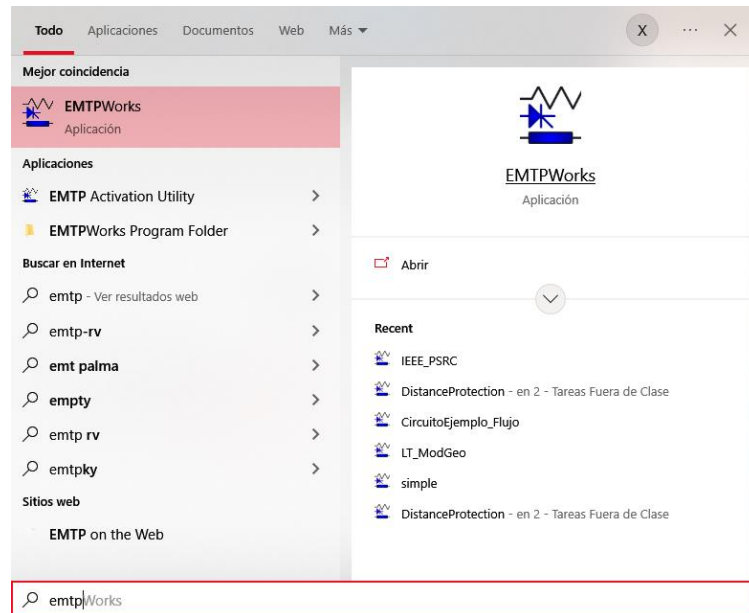


Figura A2.1. Ícono de EMTP-RV que permite abrir el software y empezar su uso.

2. Después de abrir el programa, aparece la siguiente ventana de la página principal.

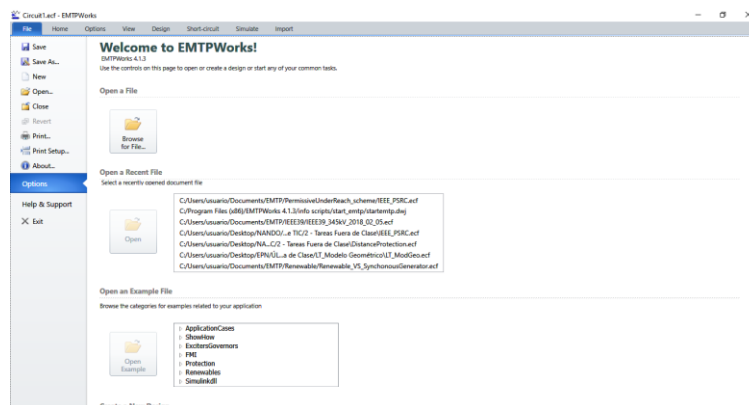


Figura A2.2. Ventana principal del software EMTP-RV.

3. EMTPWorks permite usar los controles de esta página para abrir o crear un diseño o empezar cualquiera de sus tareas comunes. Entre las opciones para abrir archivos están: abrir un archivo buscando en alguna carpeta, abrir un archivo que se haya abierto recientemente, y abrir un ejemplo buscando las categorías relacionadas a nuestra aplicación; entre las opciones para crear diseños están: crear un archivo nuevo con un archivo de diseño vacío y configuraciones

predeterminadas, crear un nuevo documento a partir de una plantilla. Se selecciona el “EMTP Default Design” de las opciones para crear un nuevo documento a partir de una plantilla.

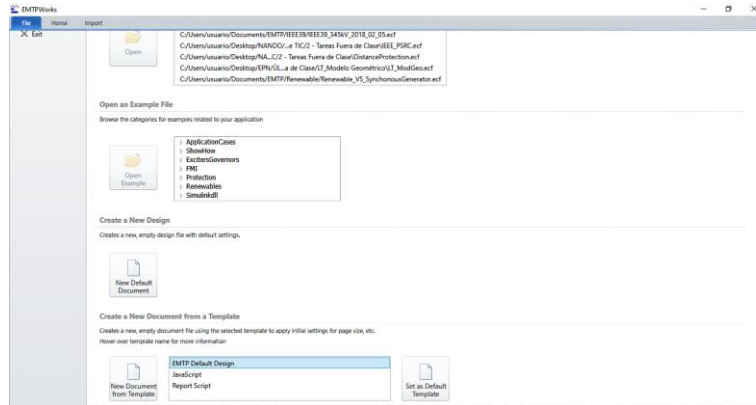


Figura A2.3. Ventana principal del software EMTP-RV donde se muestra el diseño por defecto.

4. Se tiene una plantilla con opciones predeterminadas para un diseño típico de EMTP. Y se tiene una hoja de dibujo vacía, lista para editar y empezar a agregar elementos del circuito.

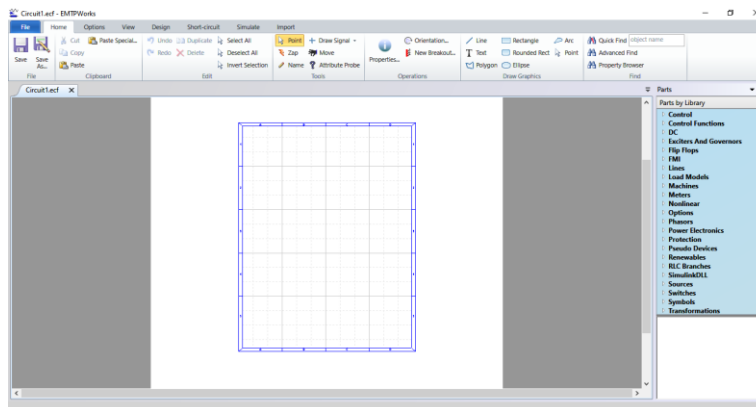


Figura A2.4. Ventana del software EMTP-RV donde se muestra una hoja nueva para empezar a diseñar el circuito.

5. Para crear el circuito y agregar los elementos del circuito se dirige a la biblioteca de dispositivos en la parte derecha de color azul; todos los elementos se conectan mediante cables y se editan sus valores dando doble clic sobre el dispositivo.

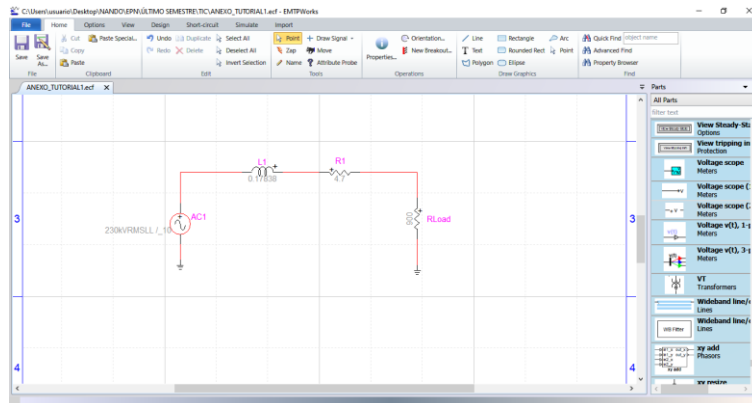


Figura A2.5. Ventana del software EMTP-RV donde se muestra una hoja nueva con un circuito básico diseñado.

6. Se guarda el diseño, dirigiéndose a File>Save As... con el nombre que se desee.

ANEXO III Ajuste de la Protección de Distancia en PowerFactory

Como ejemplo se realiza el ingreso de un relé en el extremo de la línea B que se conecta a la barra BD de la S/E1. Primero se da clic con el botón derecho en el cubículo (interruptor) que alimenta la Línea B de la Subestación 1, Barra D. Se selecciona New Devices – Relay Model como se muestra a continuación:

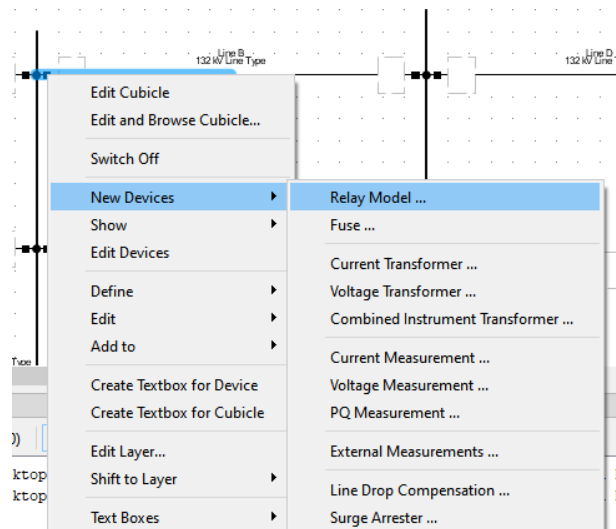


Figura A3.1. Ventana del software PowerFactory para seleccionar un nuevo relé.

Se abre una ventana de entrada de datos del relé, donde el nuevo relé puede llamarse "R21_MICROMHO_LB_BD" para identificar la ubicación del relé. Y se debe elegir un tipo de relé de la biblioteca de proyectos usando el botón de selección.

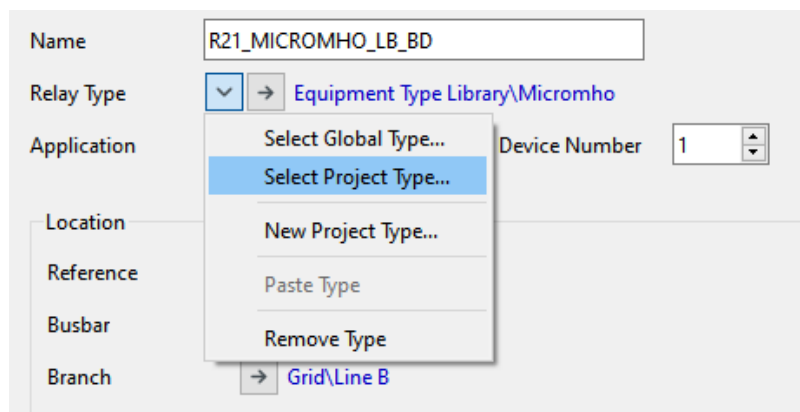


Figura A3.2. Ventana del software PowerFactory para seleccionar el tipo de protección de distancia.

Se selecciona el tipo de relé Micromho haciendo doble clic en el icono del tipo de relé. Esto actualizará la ventana de entrada de datos del relé.

Ahora se debe crear un Current Transformer que suministrará señales al relé. Al elemento se le puede dar un nombre como “TC_LB_BD”. Se selecciona un tipo de TC de la biblioteca de proyectos mediante la opción *Select type Project* y elegimos el 600/1 CType. La ventana de datos del TC se actualiza para mostrar una relación de 600/1. A continuación se muestra la ventana de entrada de datos del TC configurada.

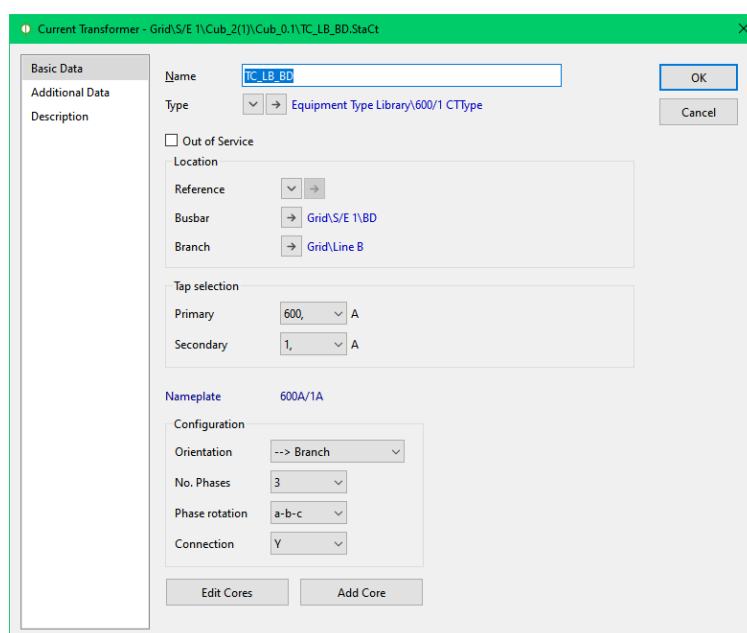


Figura A3.3. Ventana del software PowerFactory donde se configuran los datos del transformador de corriente.

Este elemento debe incluirse en la ventana de entrada de datos del relé. Ahora se debe crear un Voltage Transformer. Y recibe el nombre de “VT_LB_BD”. Se selecciona el tipo principal que está disponible en la biblioteca del proyecto. Se selecciona el devanado secundario para tener el valor de 110 V. A continuación, se muestra la ventana de entrada de datos del VT configurada.

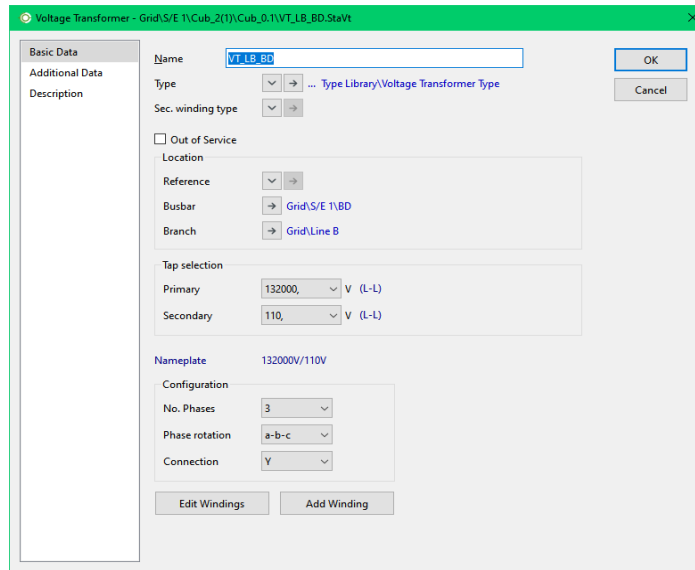


Figura A3.4. Ventana del software PowerFactory donde se configuran los datos del transformador de voltaje.

Este elemento debe incluirse en la ventana de entrada de datos del relé. Para los elementos del relé estos se configuran individualmente utilizando ajustes propuestos en la bibliografía, tal como se muestra a continuación:

- Se hace doble clic en el elemento *Polarizing* en el cuadro de diálogo y se abre la ventana que se muestra a continuación.

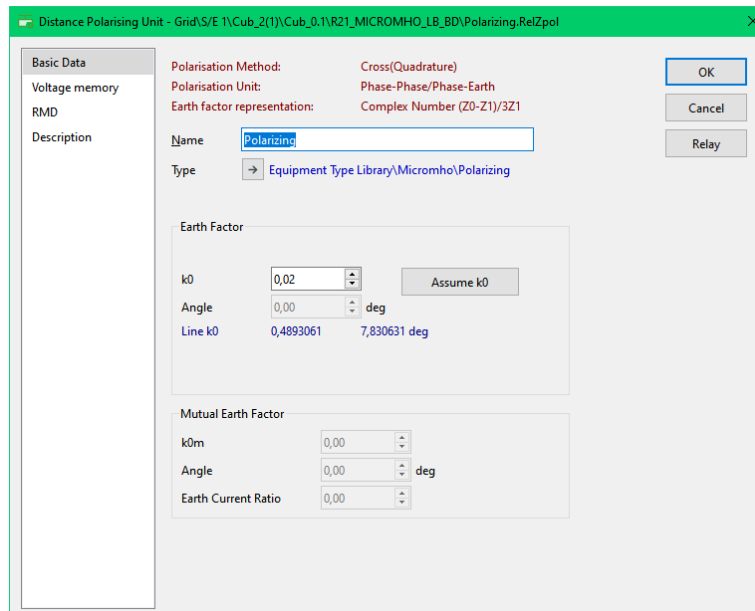


Figura A3.5. Ventana del software PowerFactory donde se configuran los datos de polarización del relé de distancia.

El valor Line k0 (Earth Factor) se calcula y muestra automáticamente. Un valor de 0,49 en un ángulo de 7,83 grados coincide exactamente con la referencia. Al presionar Asumir k0, la configuración de k0 se cambia a 0.48, y el ángulo a 7.830631 grados. Estos son los ajustes disponibles más cercanos a los valores calculados.

Al hacer doble clic en el elemento *Starting*, se abre la siguiente ventana de configuración:

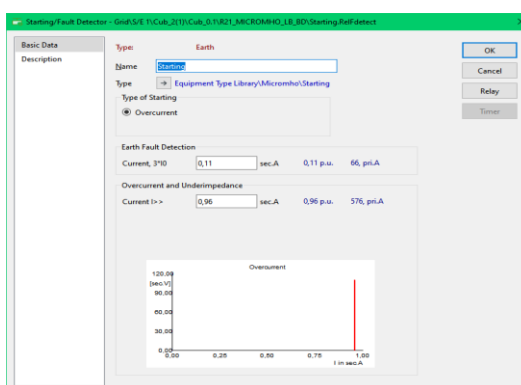



Figura A3.6. Ventana del software PowerFactory donde se configuran los datos de inicialización del relé de distancia.

Starting consiste en un elemento de sobrecorriente y un elemento de falla a tierra. Es importante que estos elementos se configuren con suficiente sensibilidad para detectar todas las fallas en el alcance más lejano de los relés en la zona más grande. Para determinar esta sensibilidad, se puede usar PowerFactory para calcular la tensión trifásica y corrientes de falla a tierra al final de la zona 3 para el relé. Para este sistema la barra que fallará será la colectora en la S/E 5/BI al final de la Línea D, utilizando el método de cálculo con la opción de corrientes mínimas de cortocircuito seleccionada. Corrientes de falla de 576 A para una falla trifásica y 71 A (I0x3) para una falla monofásica a tierra a ser observada desde la ubicación del relé. Y se presiona OK.

Además, los elementos de relé se pueden configurar presionando *Contents*. Como resultado, aparecerá una ventana donde aparecen todos los elementos del relé. Se selecciona el elemento mho de falla a tierra para la zona 1 llamado PGZ1 y seleccione el icono . Se abrirá la ventana que se muestra a continuación. Y así editar los parámetros de cada elemento:

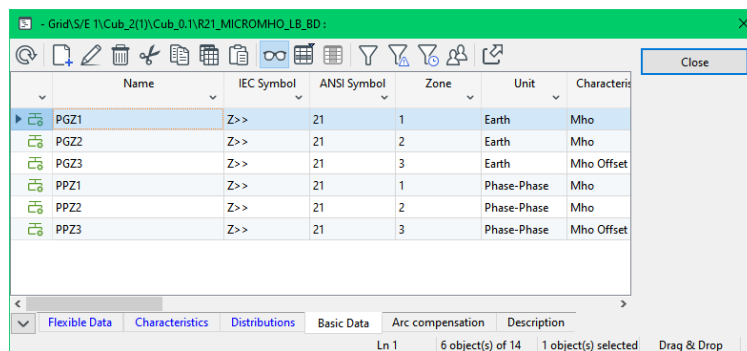



Figura A3.7. Ventana del software PowerFactory donde se muestran las zonas fase-fase y fase-tierra del relé de distancia.

Si se quiere configurar este elemento al 80% de la impedancia de la línea B, debemos aplicar un valor de 17,56 ohmios pri. Entonces se establece la *Replica Impedance* en 17,56 pri.Ohm y el ángulo de relé en 65 grados. El alcance del ángulo se calcula automáticamente con un valor de 79,94 % de la impedancia de la línea, lo que confirma que el ajuste es correcto.

El alcance de la Zona 2 debe configurarse para cubrir la línea protegida más el 50 % de la línea adyacente más corta o el 120 % de la línea protegida. Entonces se configura la *Replica Impedance* de PGZ2 en 30,74 pri.Ohm y el ángulo de relé en 65 grados.

La Zona 3 debe configurarse para cubrir la primera línea y la siguiente línea más larga. Un factor de seguridad adicional también añadirá un 20%. Nuevamente, PGZ3 debe configurarse usando el mismo procedimiento que para PGZ1 y PGZ2. La *Replica Impedance* PGZ3 debe establecerse en 79,06 pri.Ohm y el ángulo de relé en 65 grados. El ángulo característico se mantiene a 90 grados (para mantener una característica de disparo circular) y el *Offset Impedance* se establece en 4,4 pri.Ohm para dar un valor arbitrario de alcance inverso.

Ahora se deben configurar los alcances de los elementos de fase. Los alcances de PPZ1, PPZ2 y PPZ3 deben establecerse igual a los alcances de los respectivos elementos de falla a tierra PGZ1, PGZ2 y PGZ3.

A continuación, se hace clic en el icono . Ahora seleccione el elemento Z2GD (temporizador de falla a tierra) y haga clic en el icono nuevamente. Esta abre la siguiente ventana:

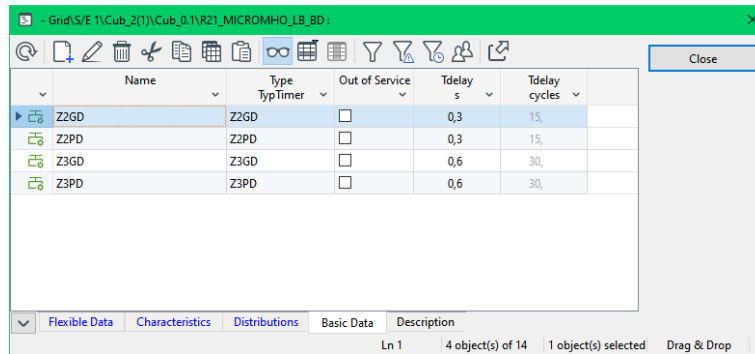


Figura A3.8. Ventana del software PowerFactory donde se muestran los tiempos de operación de las zonas fase-fase y fase-tierra del relé de distancia.

Se selecciona un retardo de tiempo de disparo para este bloque ingresando una configuración de tiempo de 0,3 s. Se repite este procedimiento para el Z3GD. Agregue 0,3 s adicionales de retraso de tiempo configurando la configuración de tiempo en 0,6 s.

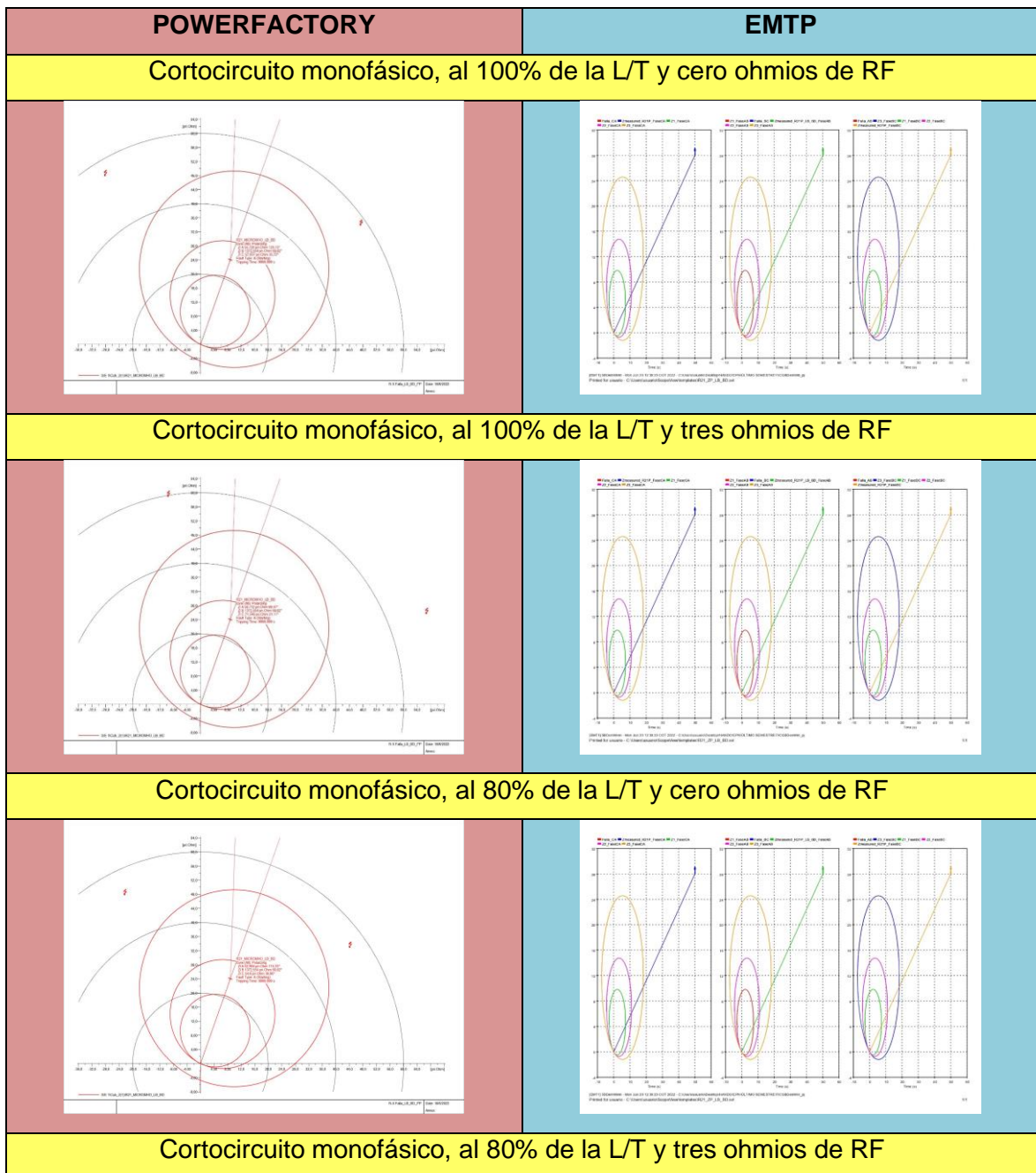
Se utiliza el mismo procedimiento para configurar los temporizadores Z2PD y Z3PD en 0,3 s y 0,6 s respectivamente. Y se presiona *Close*.

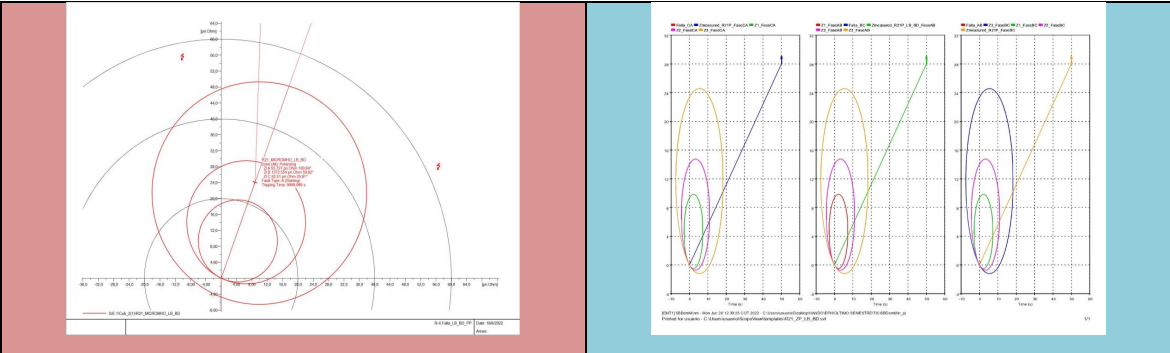
Y hemos configurado nuestro relé de protección de distancia.

ANEXO IV Gráficas para Demanda Máxima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory

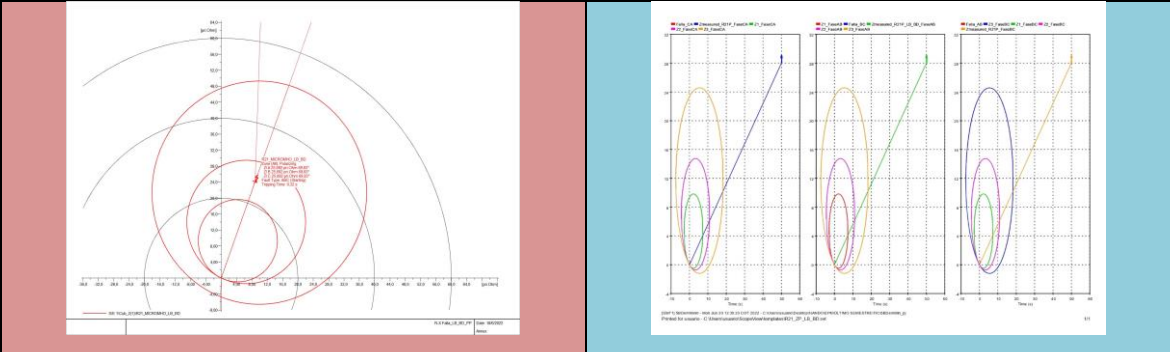
A continuación, se presentan las gráficas obtenidas para Demanda Máxima en el software PowerFactory y en el software EMTP:

En el relé ubicado en la Barra D de la línea B, llamado R21_LB_BD para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

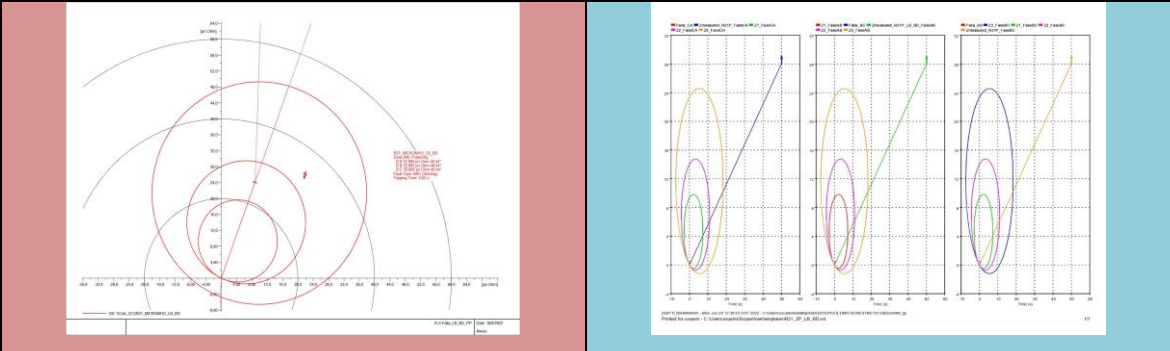




Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



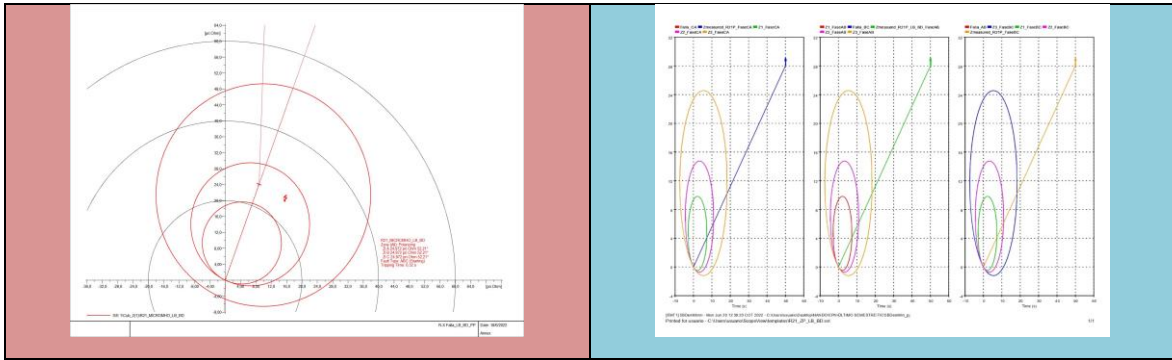
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF

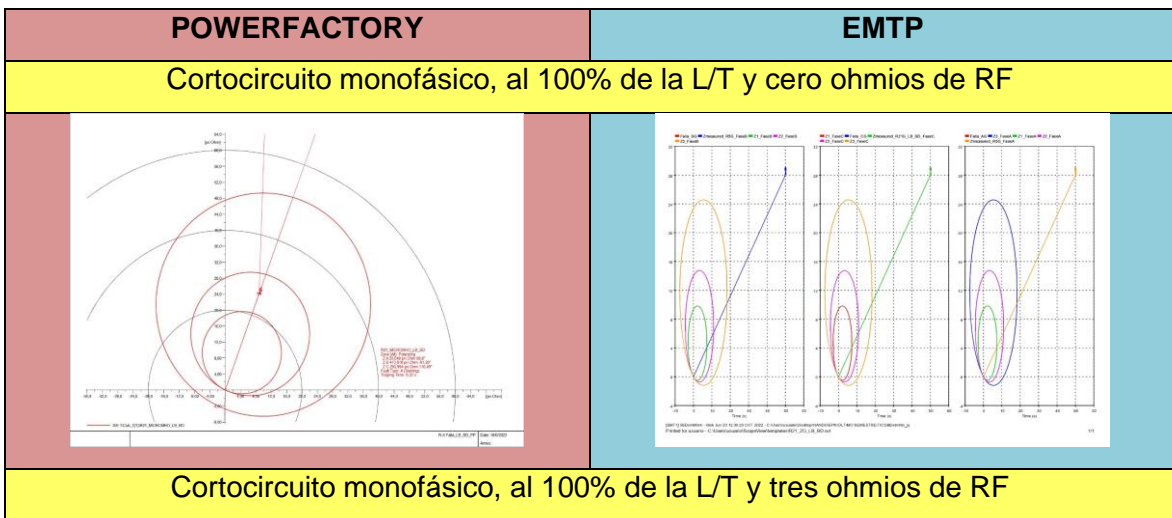


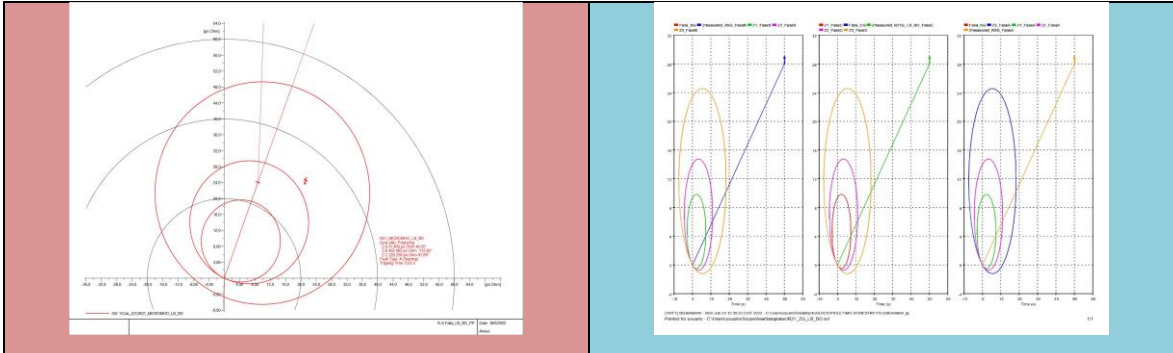
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



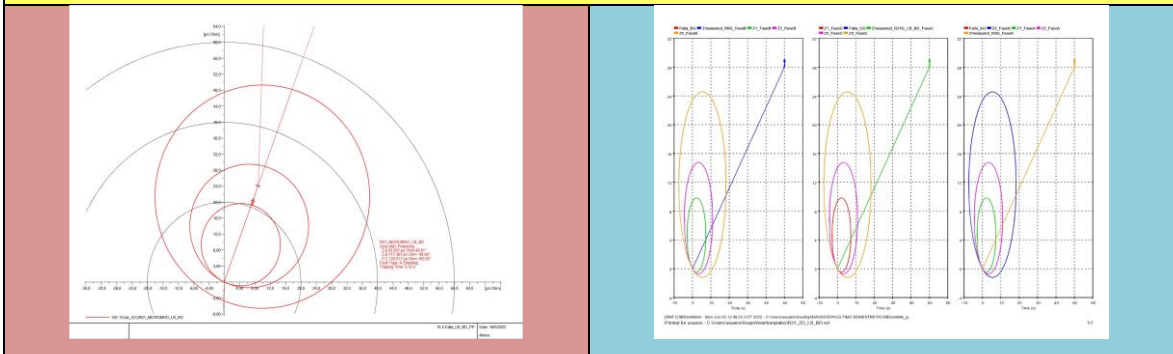
Se presentan dos tipos de cortocircuito, monofásico y trifásico, simulados a distintos porcentajes de la línea de transmisión, y con una variación en su resistencia de falla de 0 a 3 ohmios. Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra D de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

En el relé ubicado en la Barra D de la línea B, llamado R21_LB_BD para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

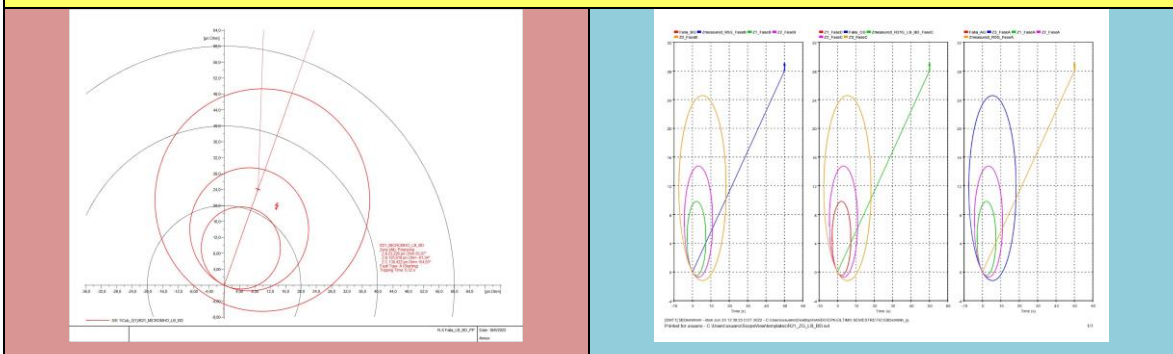




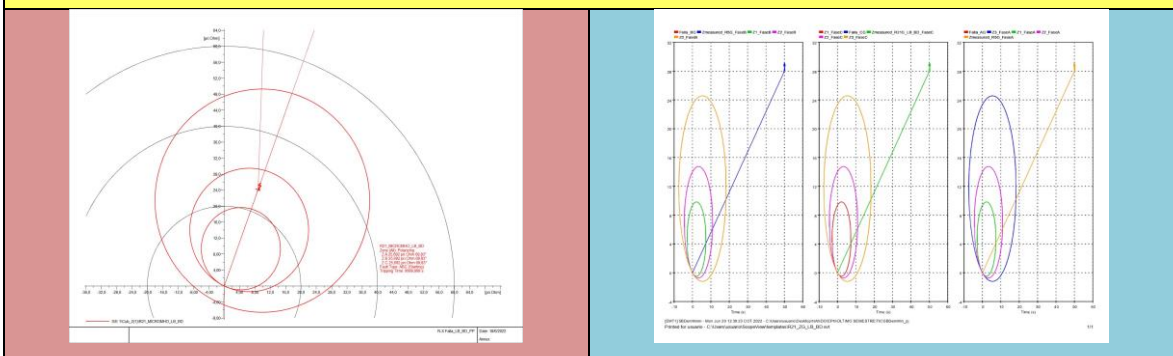
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



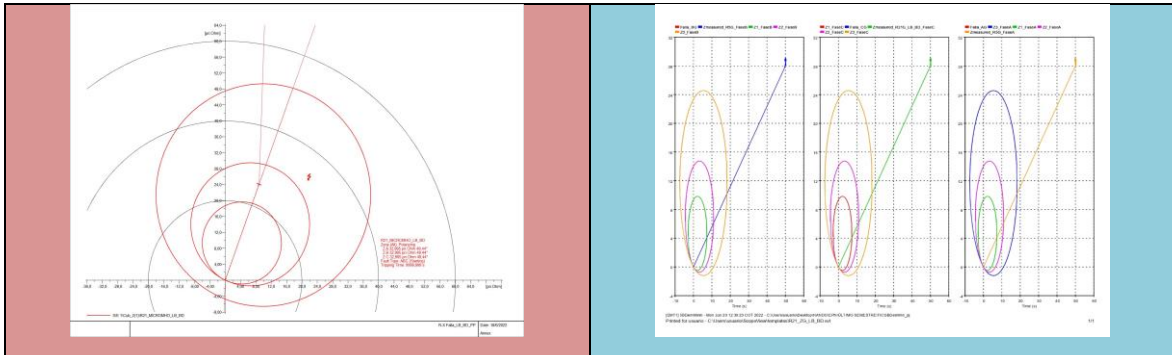
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



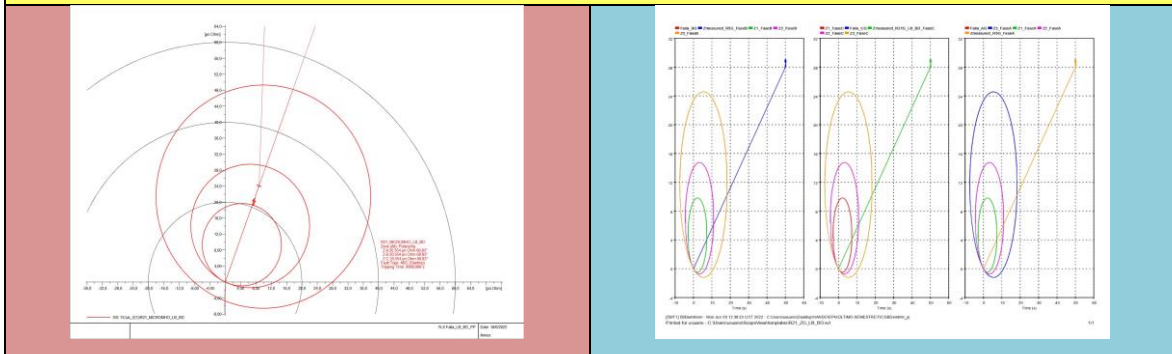
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



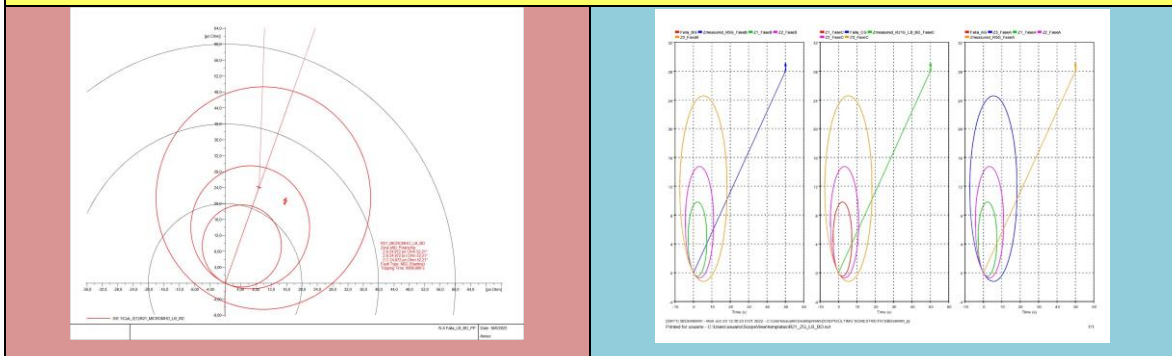
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



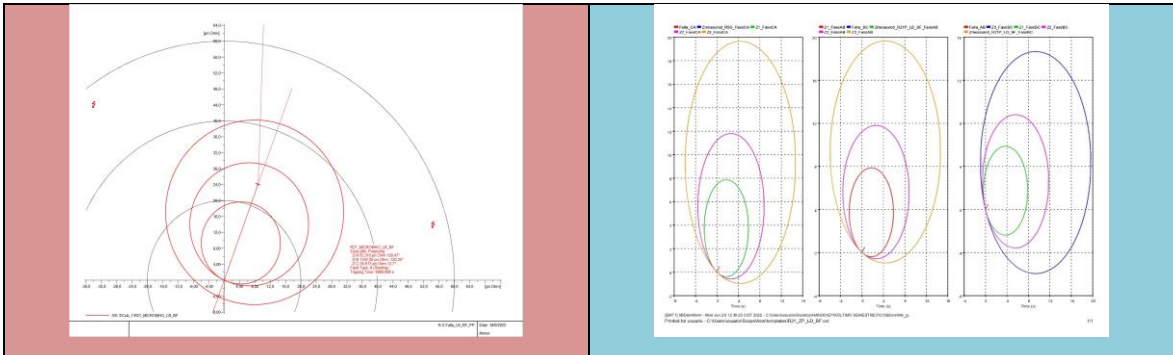
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



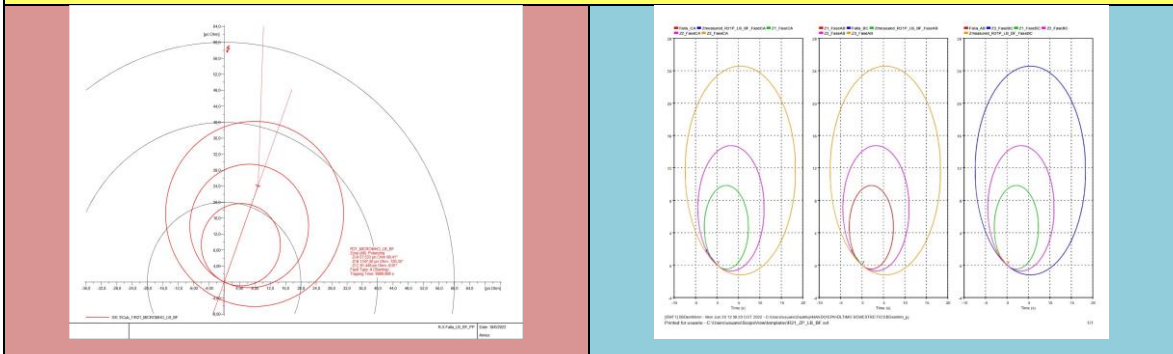
Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra D de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTF presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea B, llamado R21_LB_BF para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

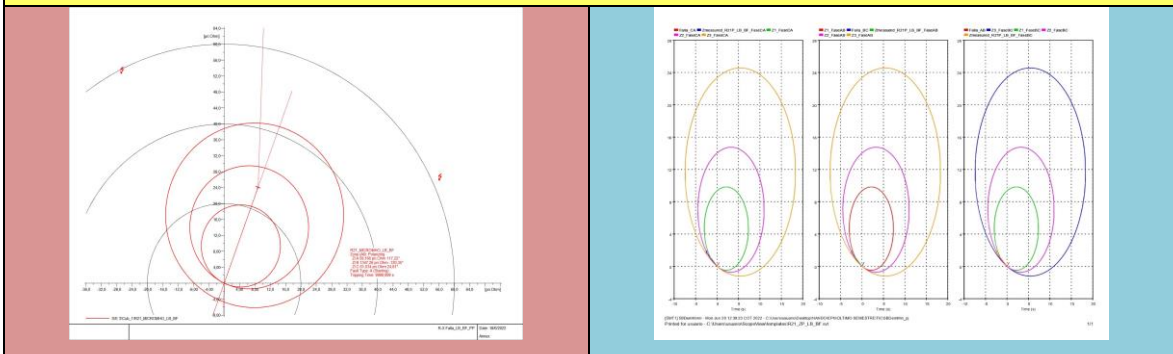
POWERFACTORY	EMTP
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF	



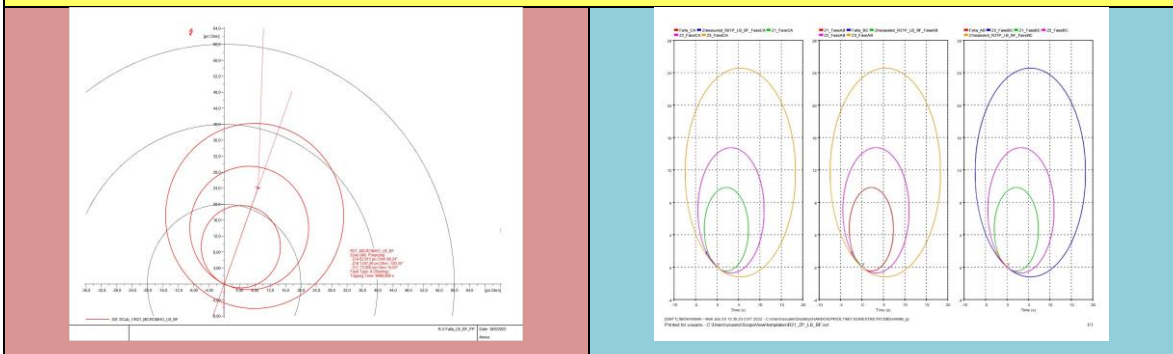
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



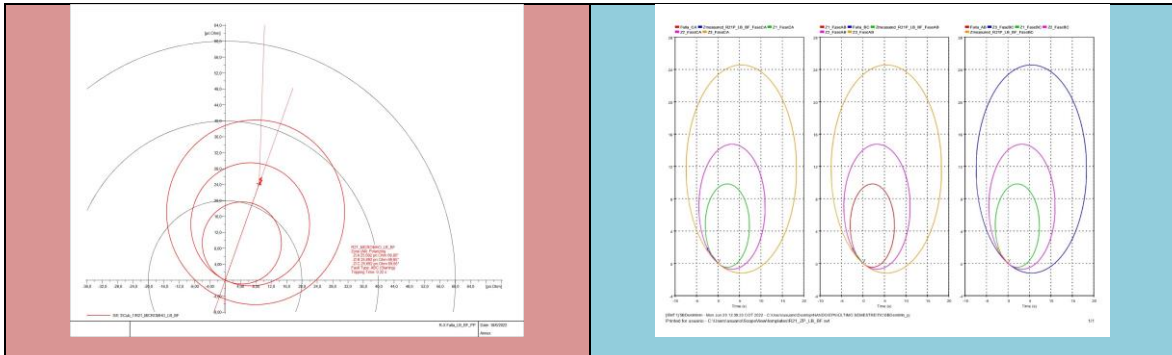
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



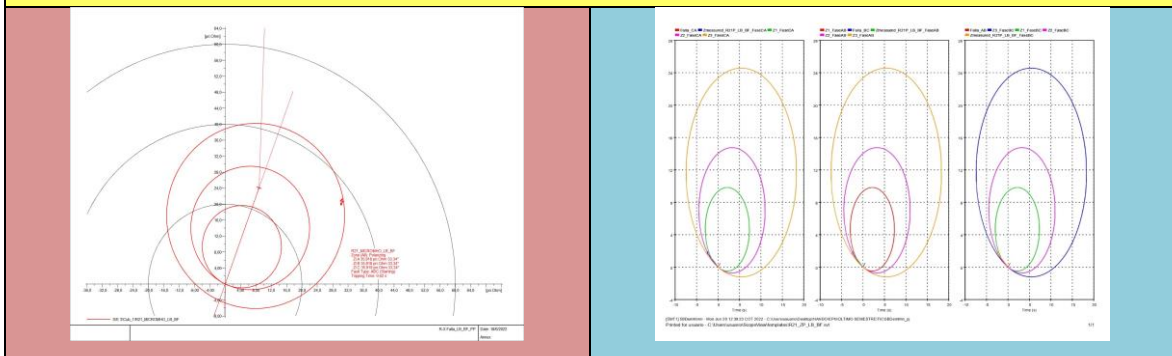
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



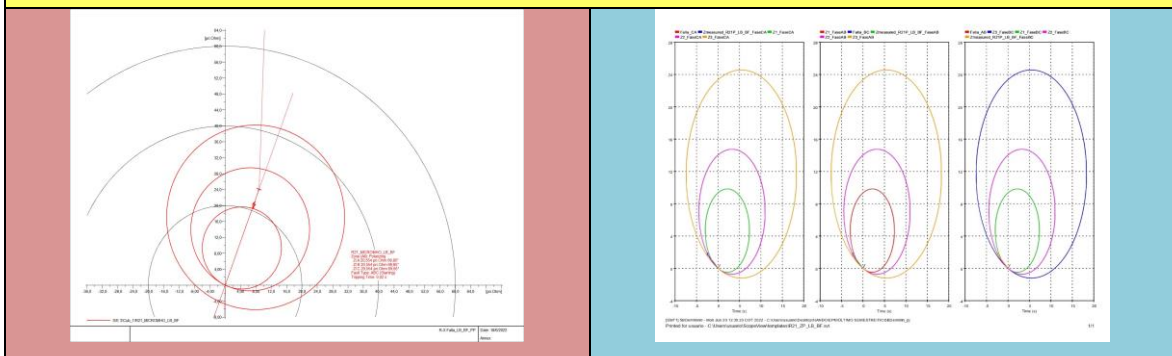
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



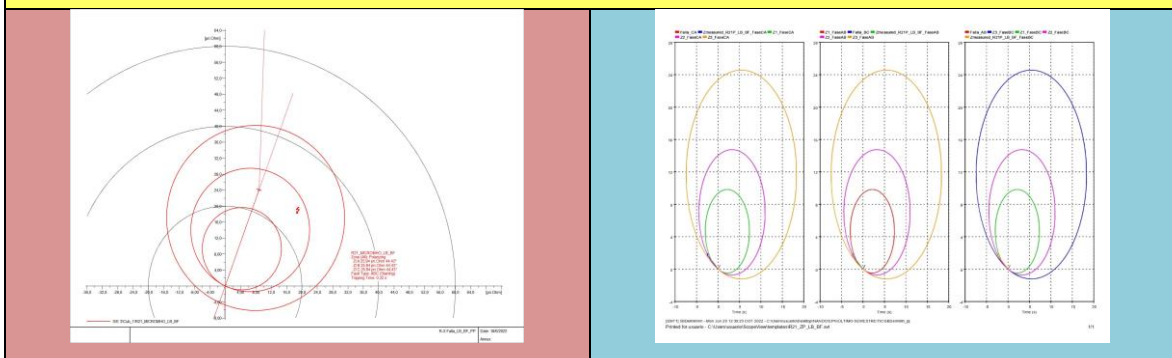
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



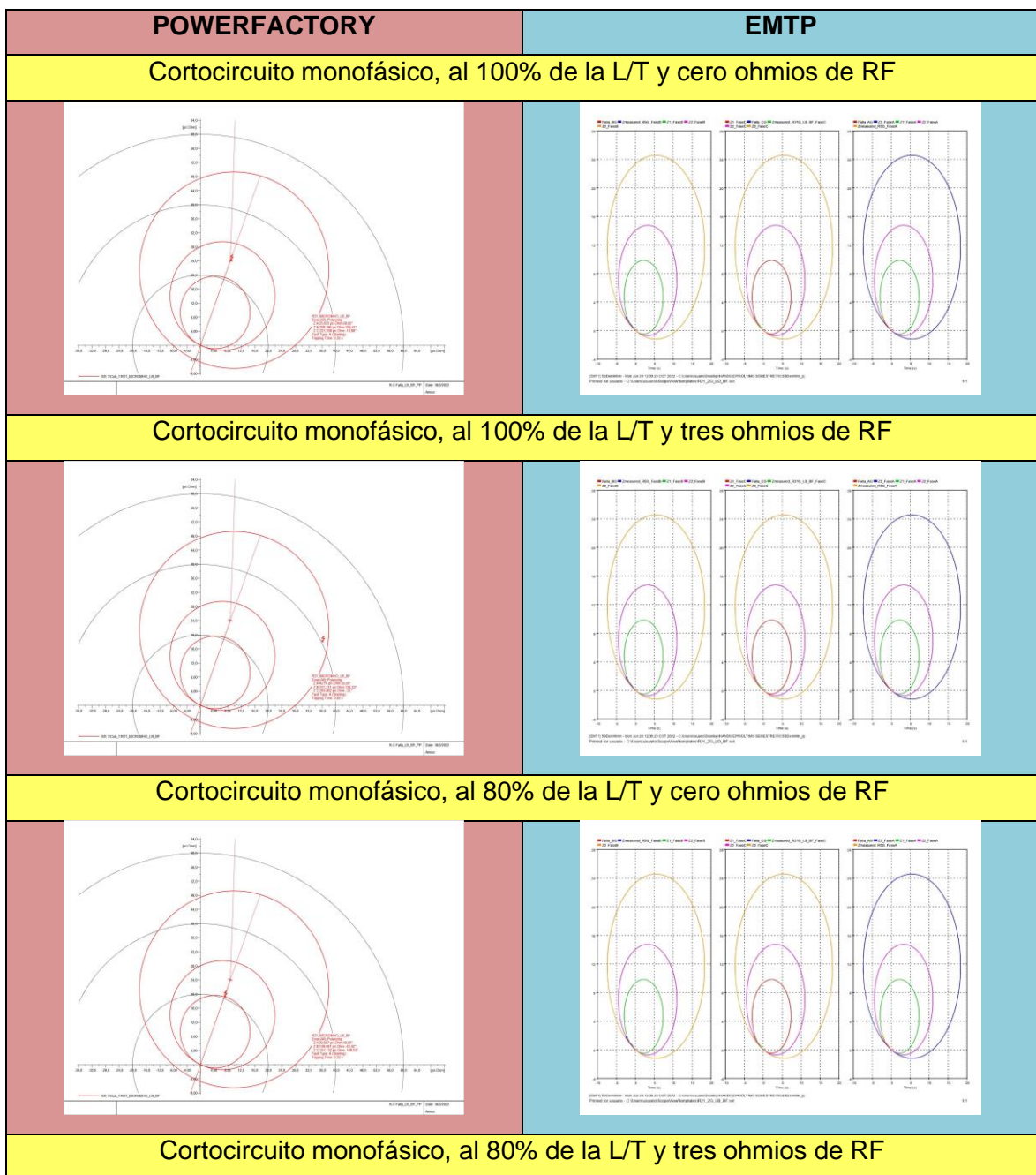
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

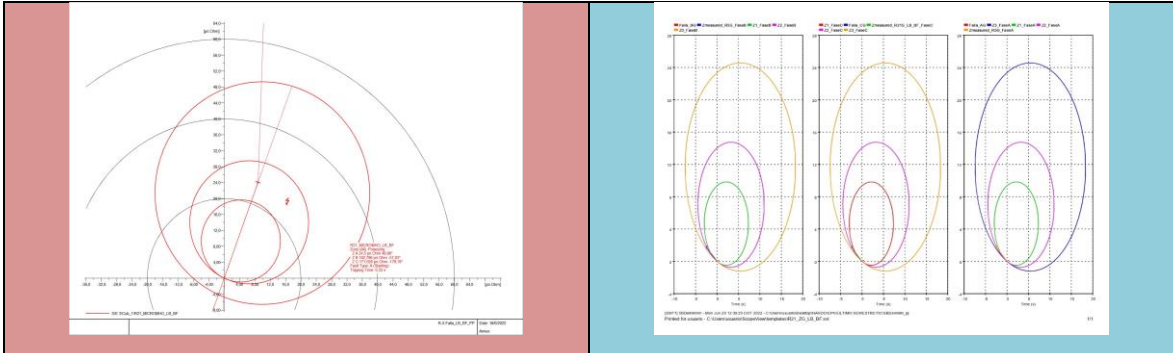


Se presentan dos tipos de cortocircuito, monofásico y trifásico, simulados a distintos porcentajes de la línea de transmisión, y con una variación en su resistencia de falla de 0 a 3 ohmios. Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la

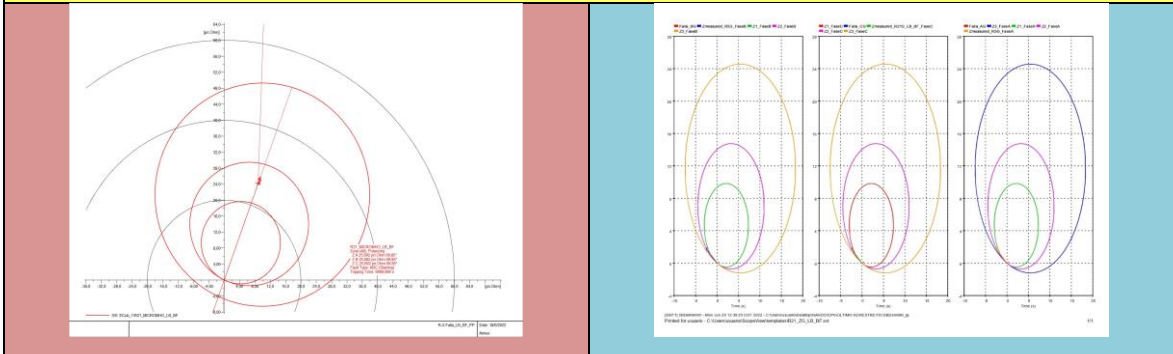
Barra F de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea B, llamado R21_LB_BF para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

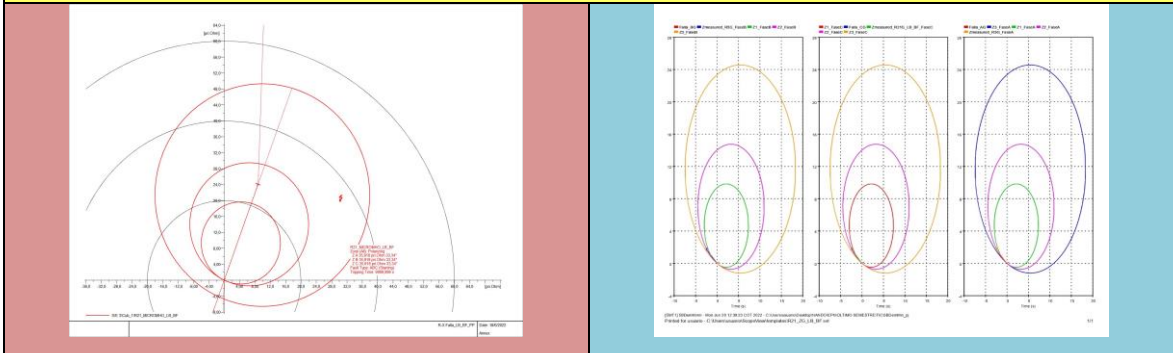




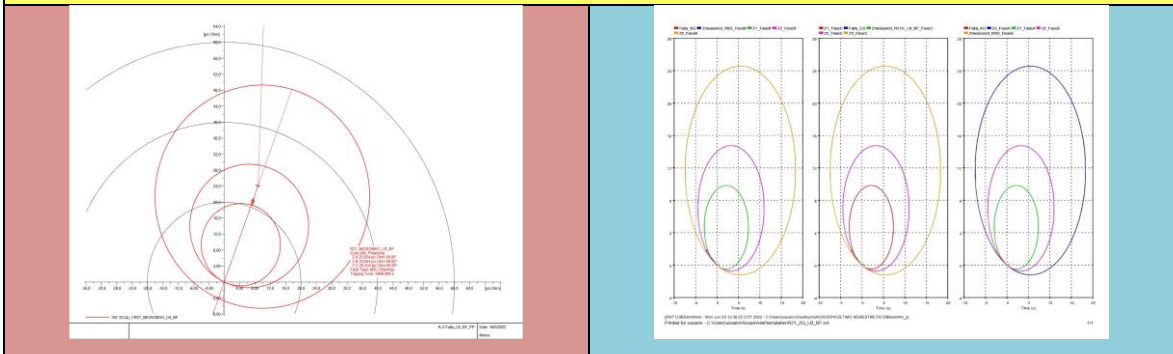
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



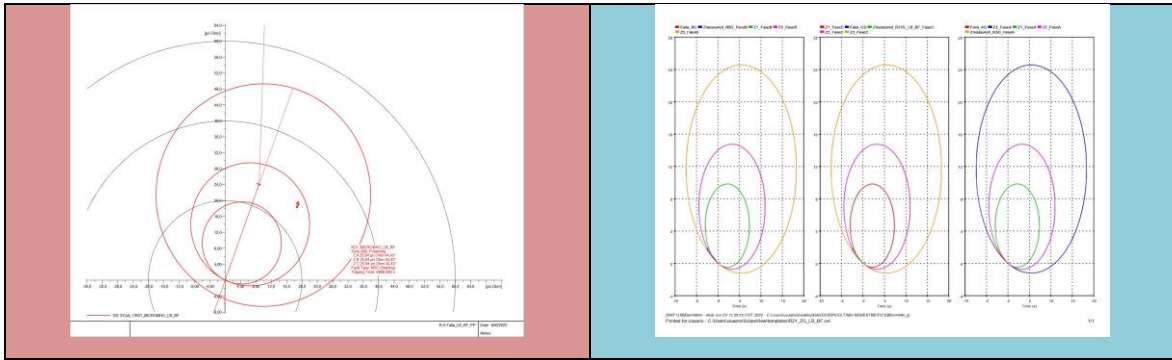
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF

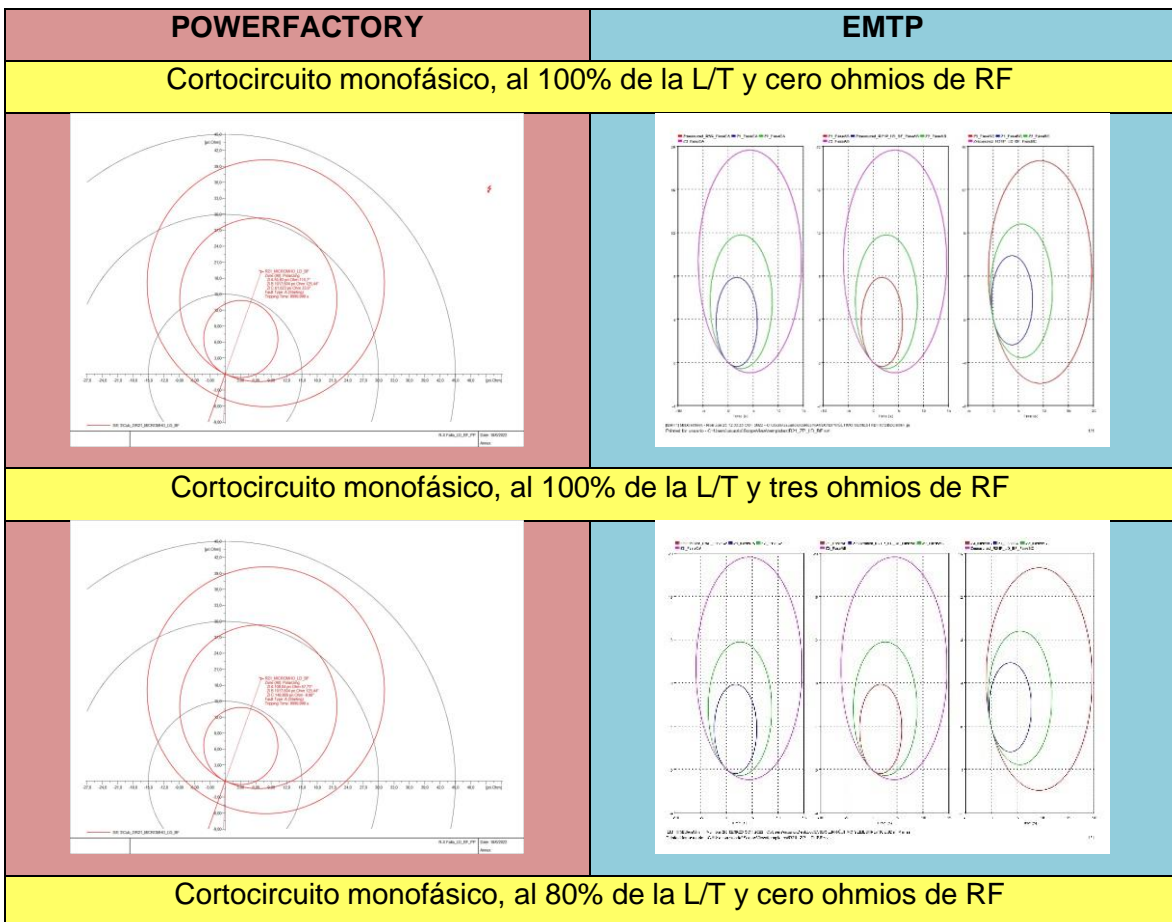


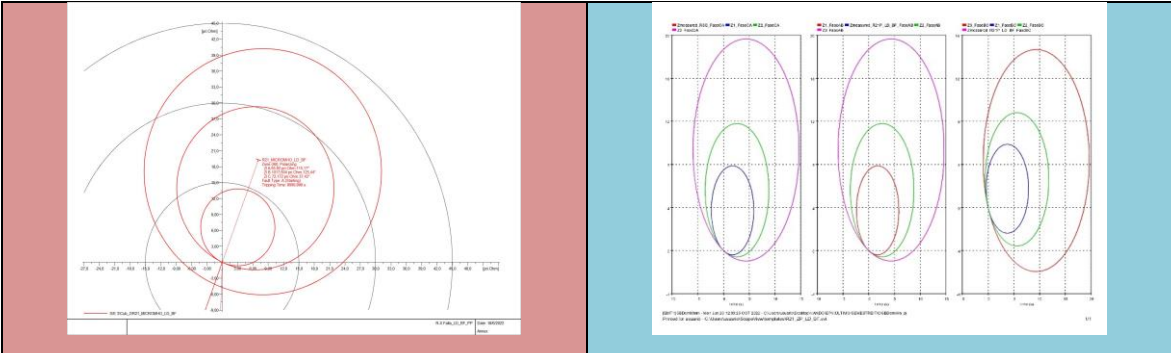
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



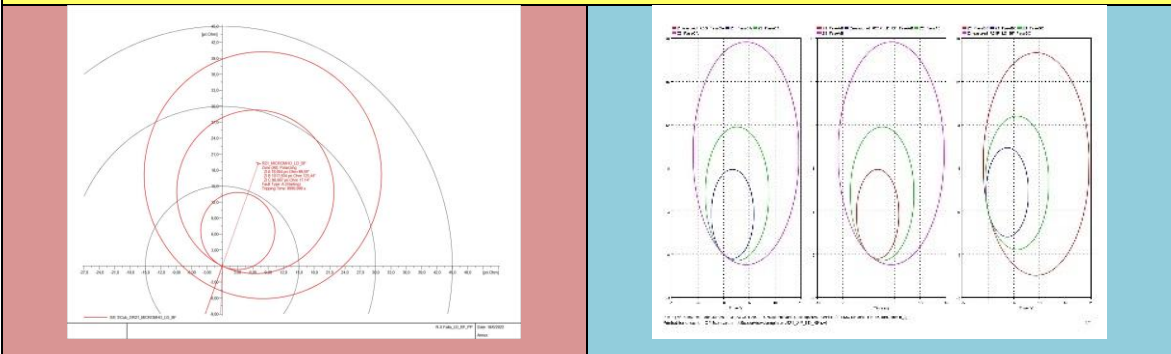
Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea D, llamado R21_LD_BF para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

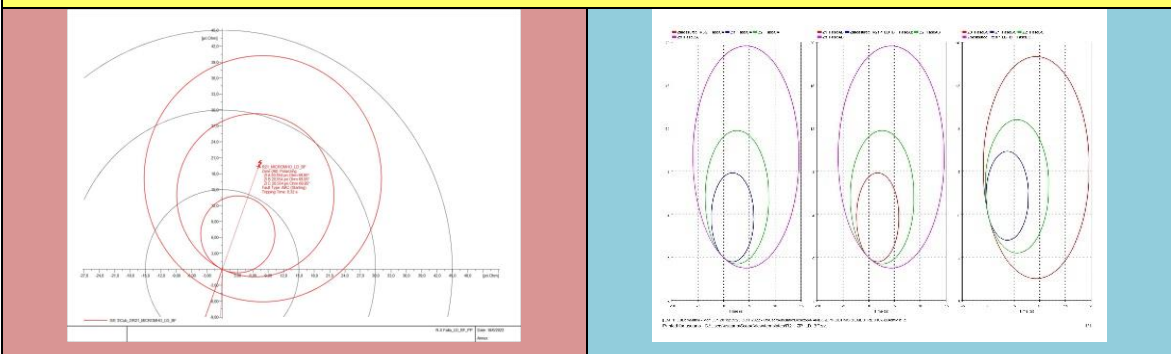




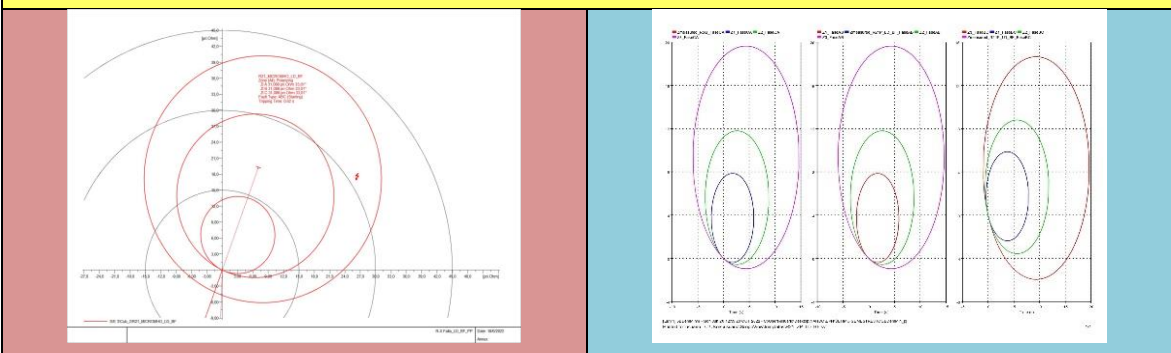
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



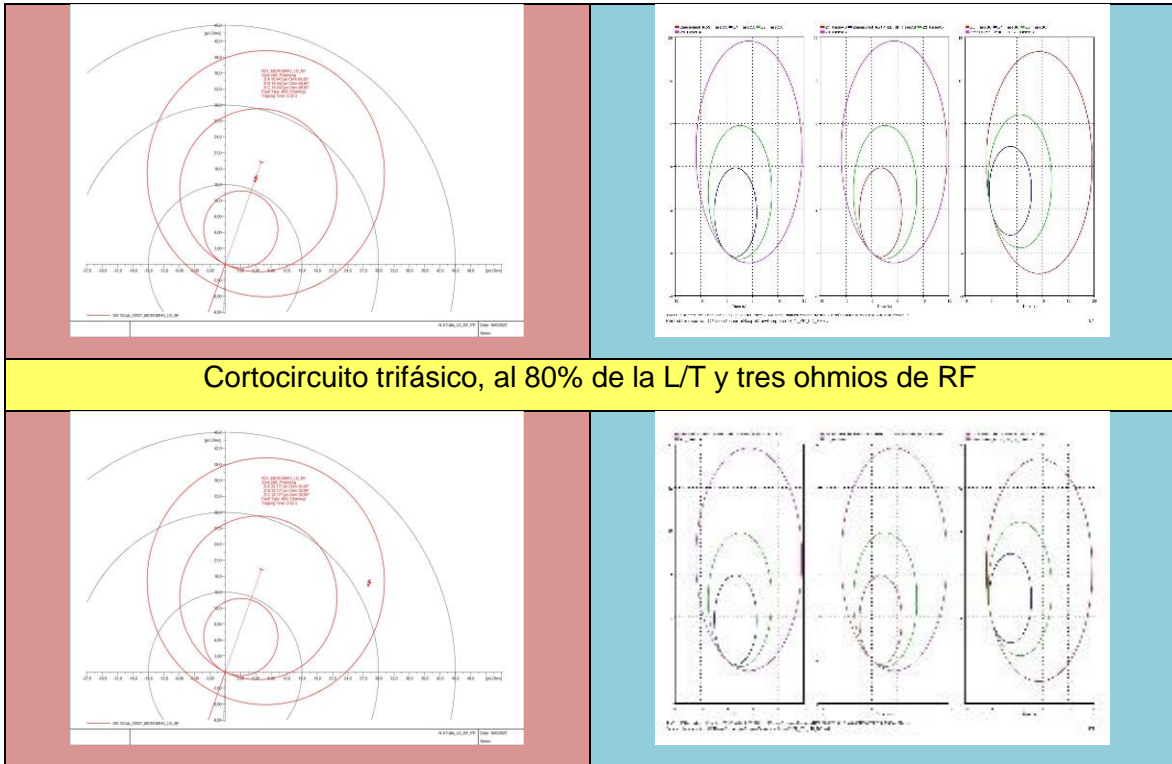
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF

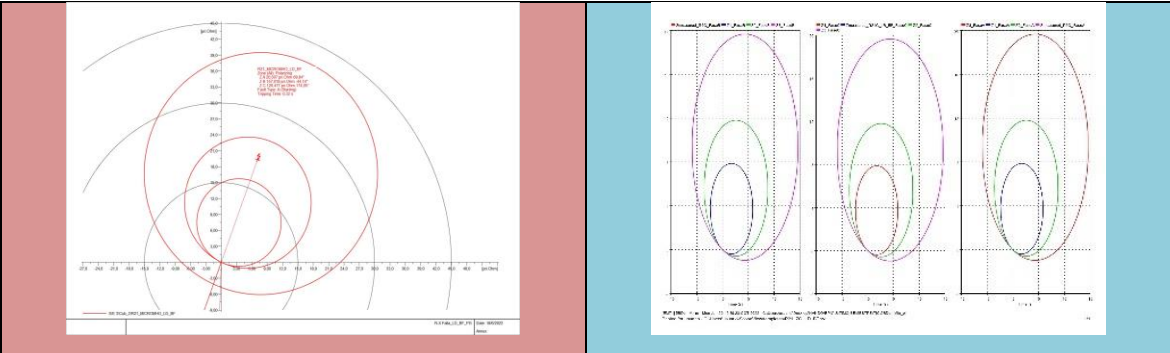


Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

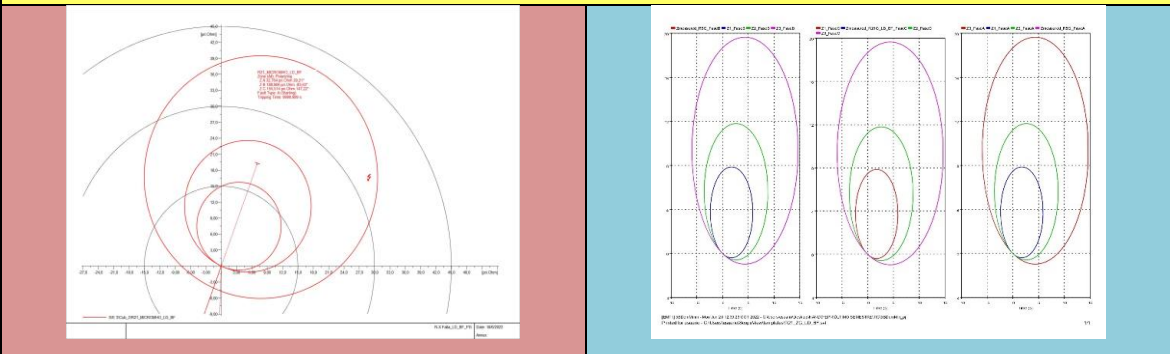
Se presentan dos tipos de cortocircuito, monofásico y trifásico, simulados a distintos porcentajes de la línea de transmisión, y con una variación en su resistencia de falla de 0 a 3 ohmios. Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea D, llamado R21_LD_BF para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

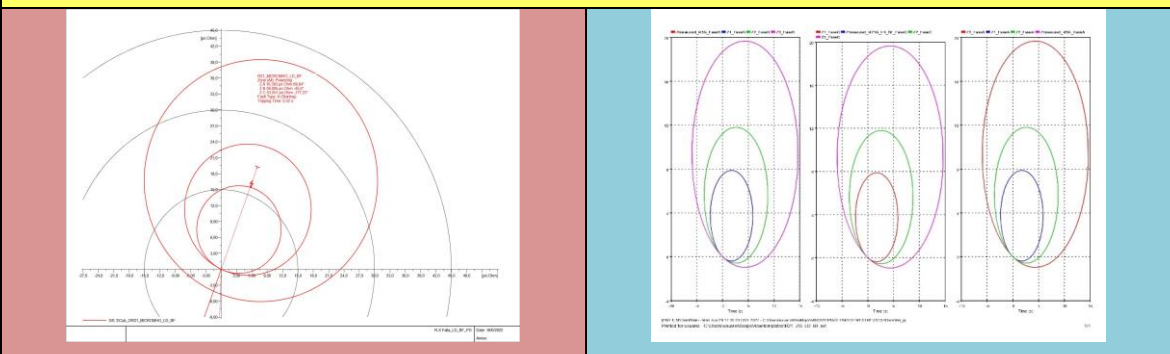
POWERFACTORY	EMTP
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF	



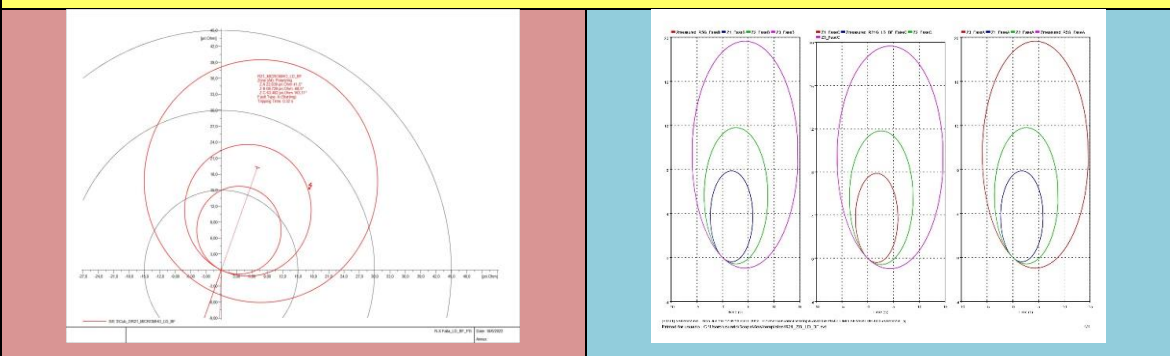
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



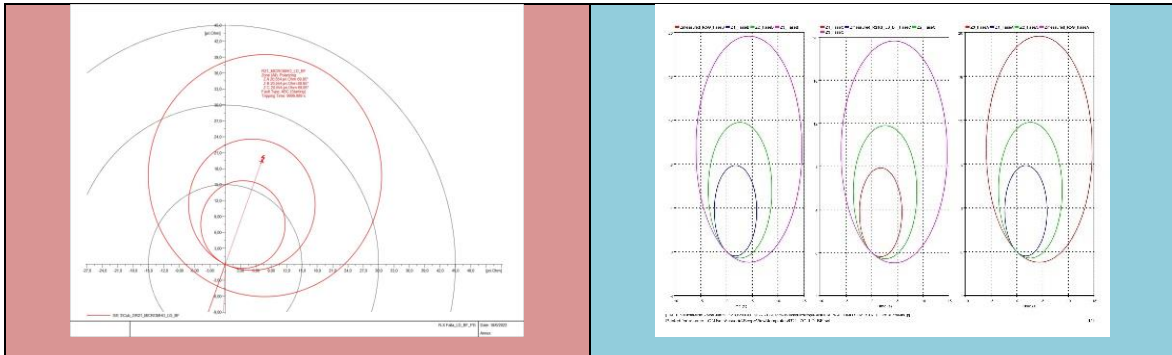
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



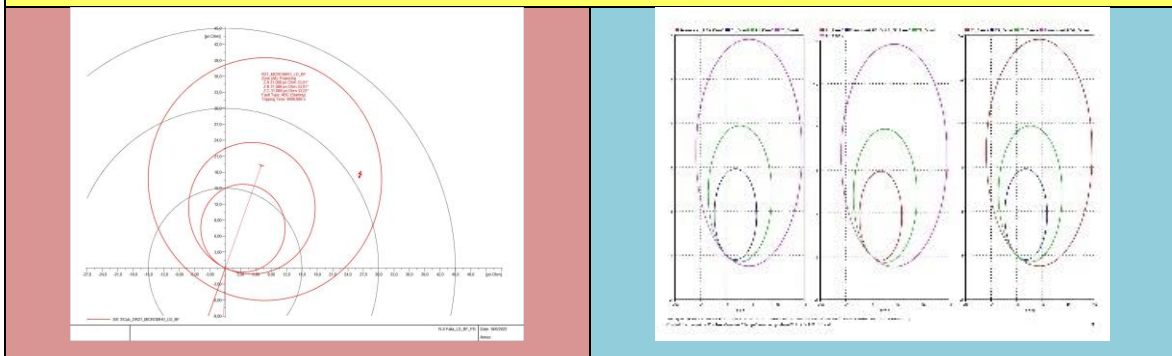
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



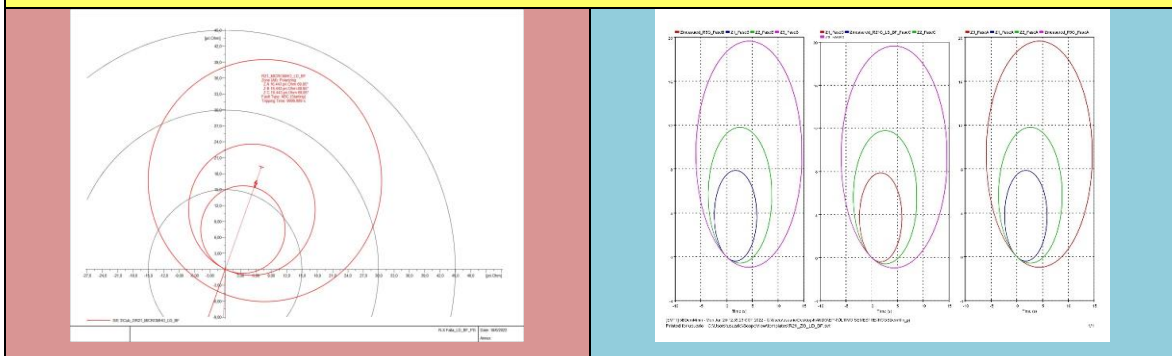
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



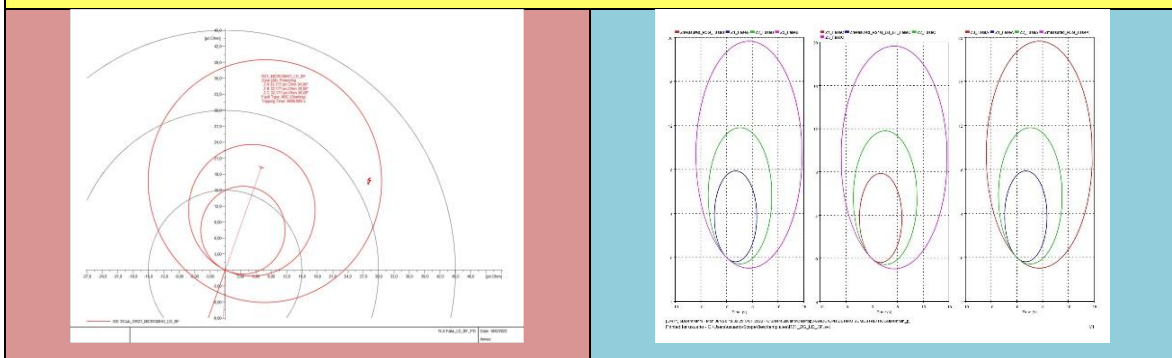
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



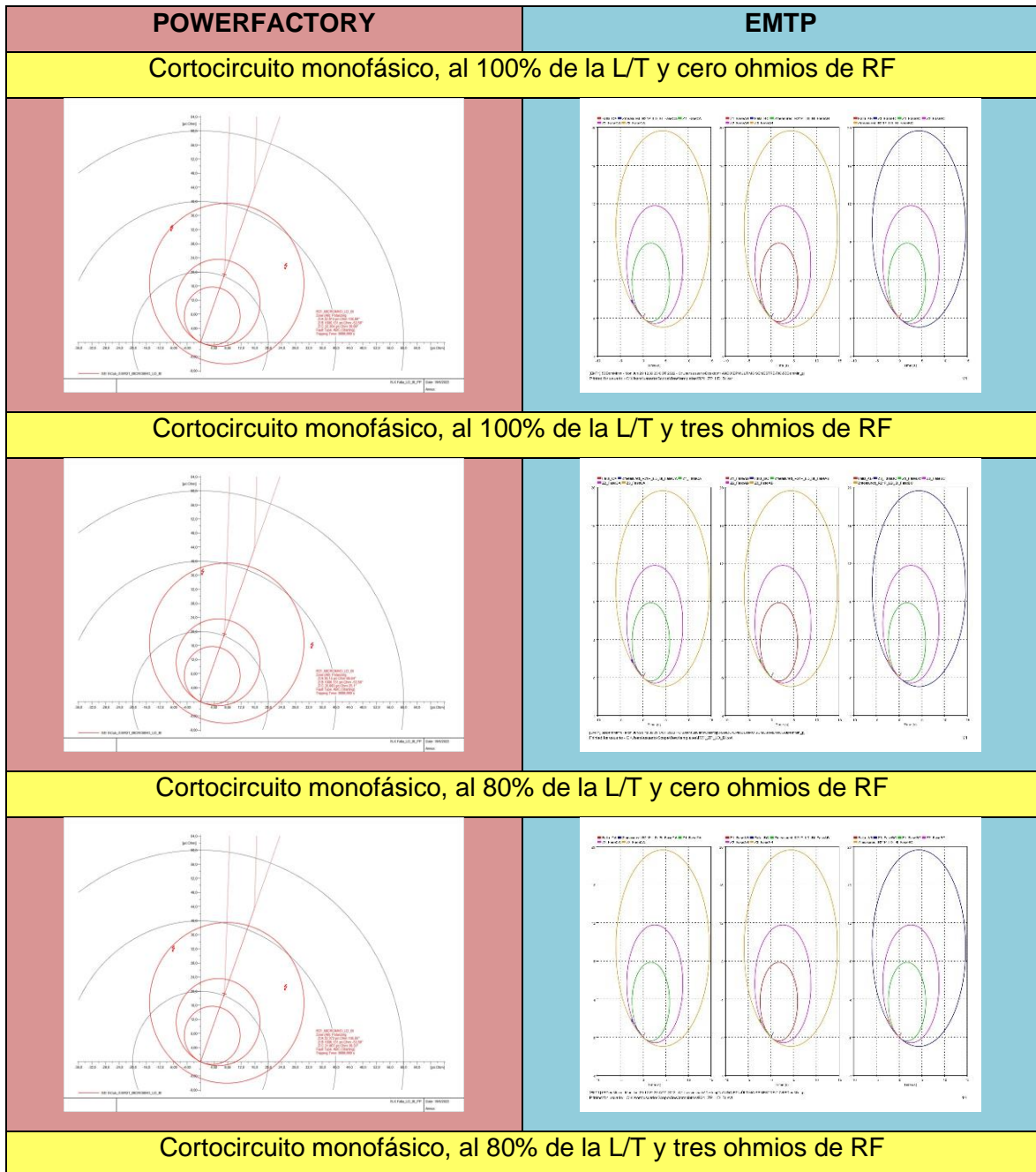
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

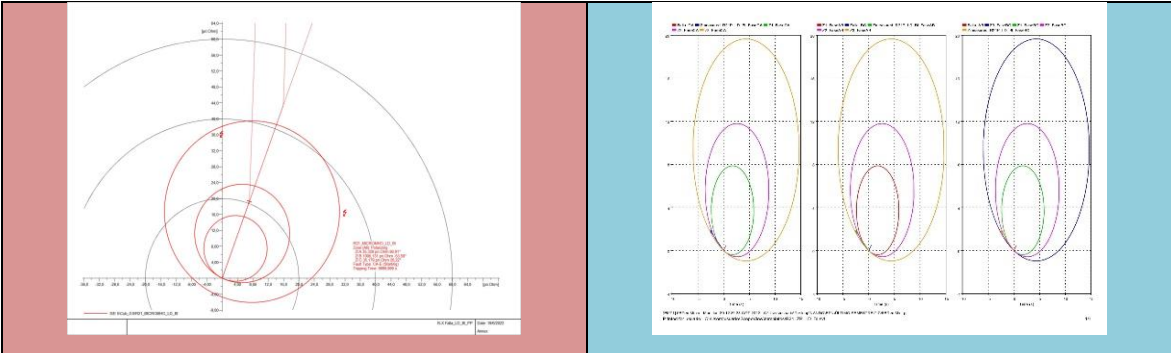


Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras

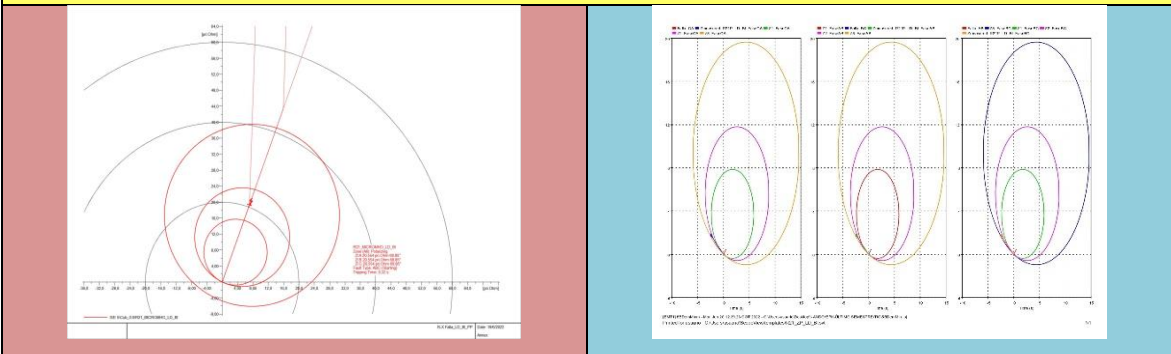
que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

En el relé ubicado en la Barra I de la línea D, llamado R21_LD_BI para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

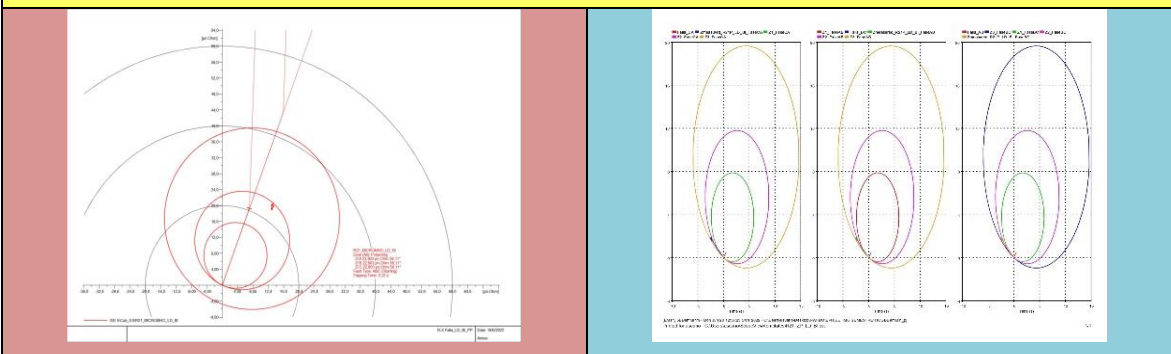




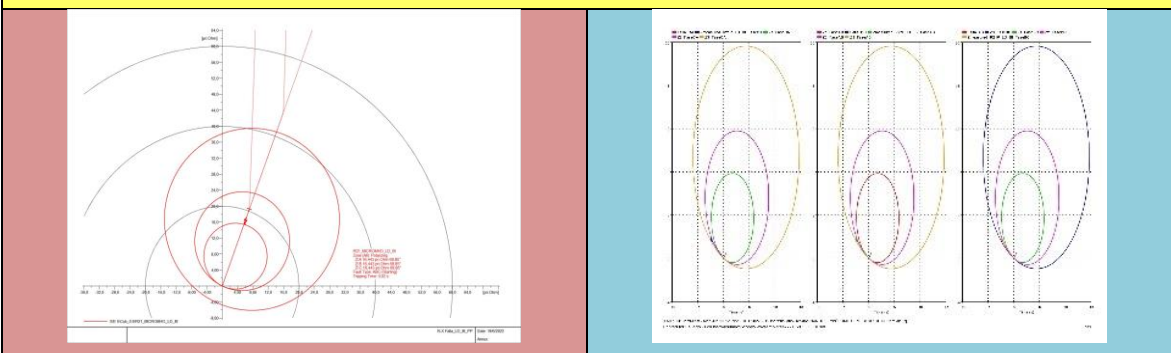
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



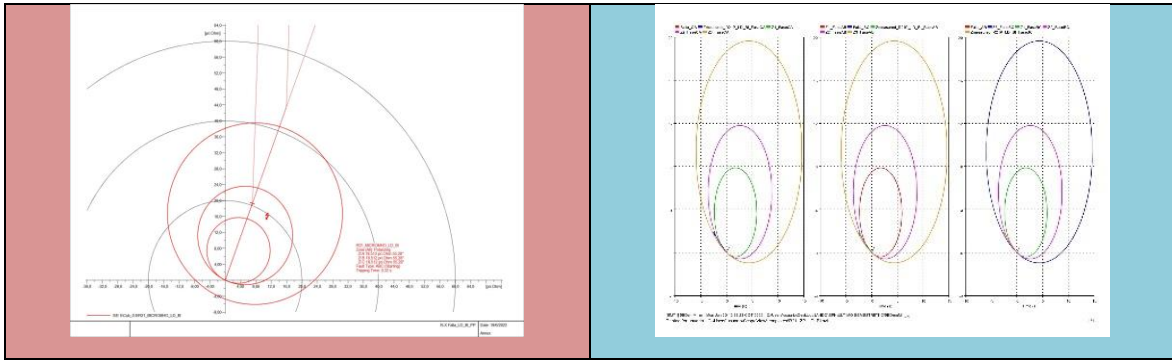
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF

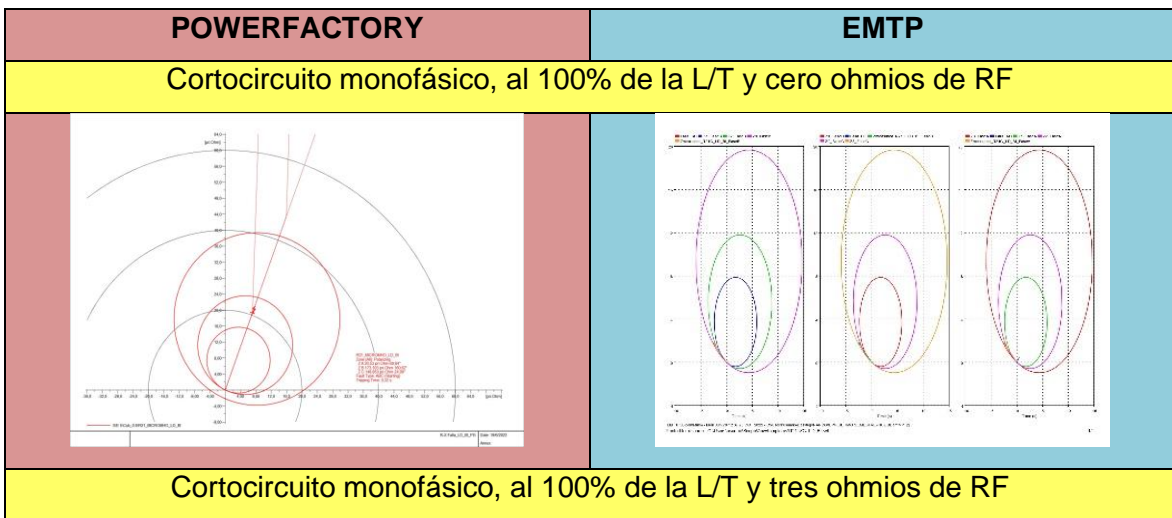


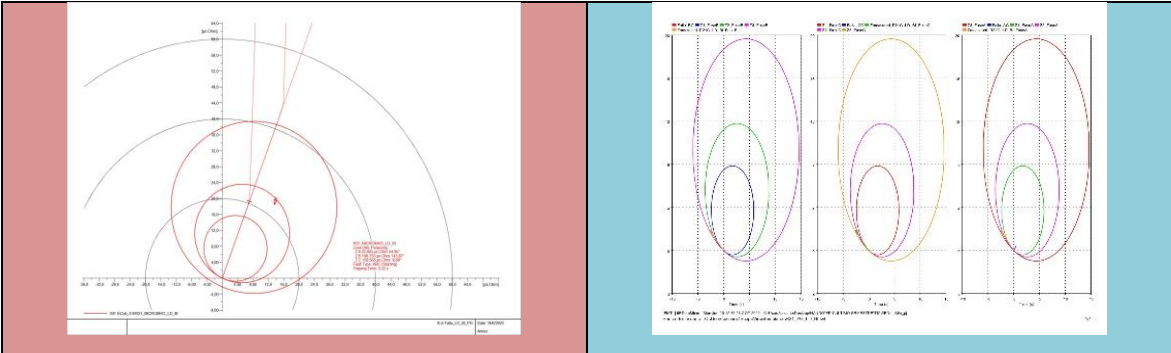
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



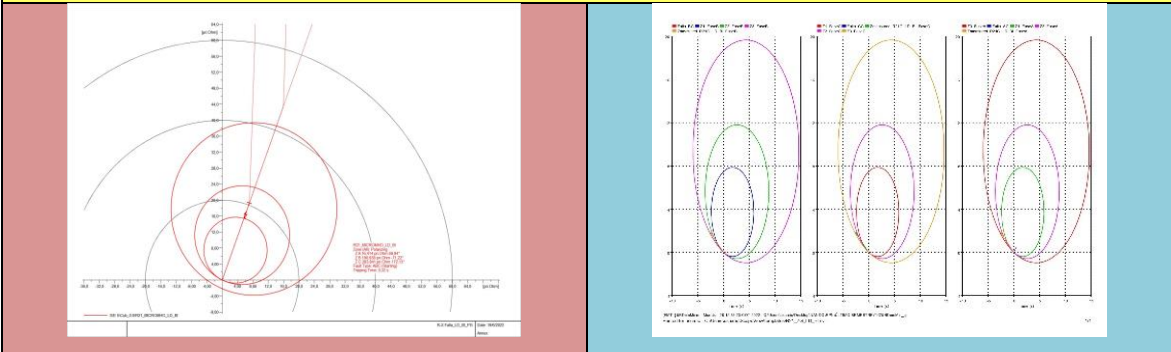
Se presentan dos tipos de cortocircuito, monofásico y trifásico, simulados a distintos porcentajes de la línea de transmisión, y con una variación en su resistencia de falla de 0 a 3 ohmios. Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra I de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

En el relé ubicado en la Barra I de la línea D, llamado R21_LD_BI para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

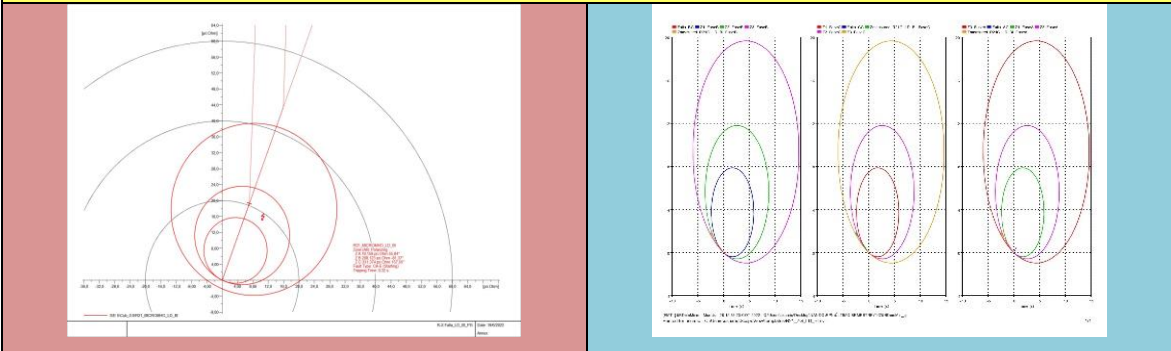




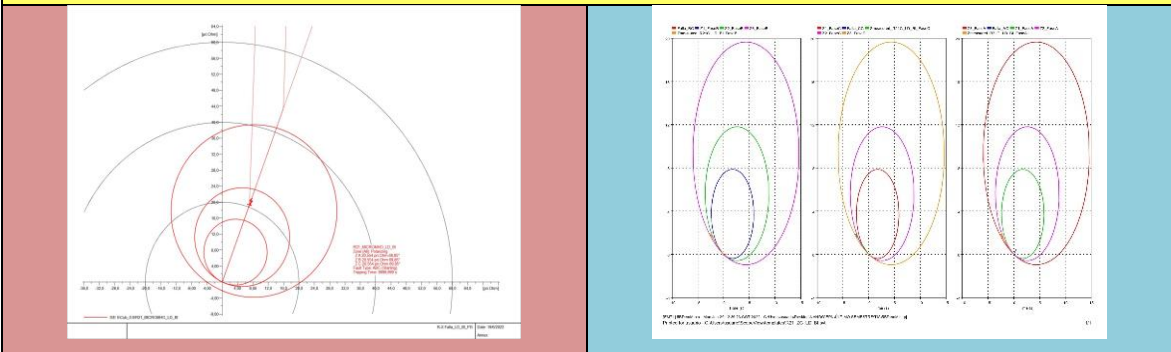
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



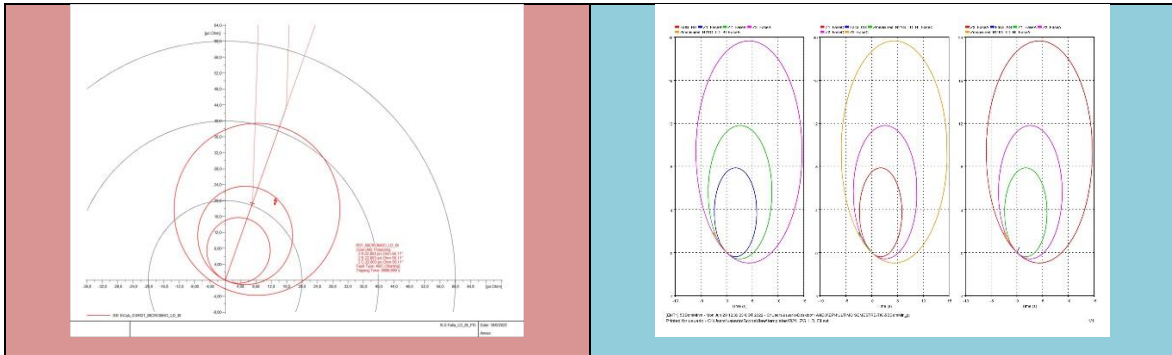
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



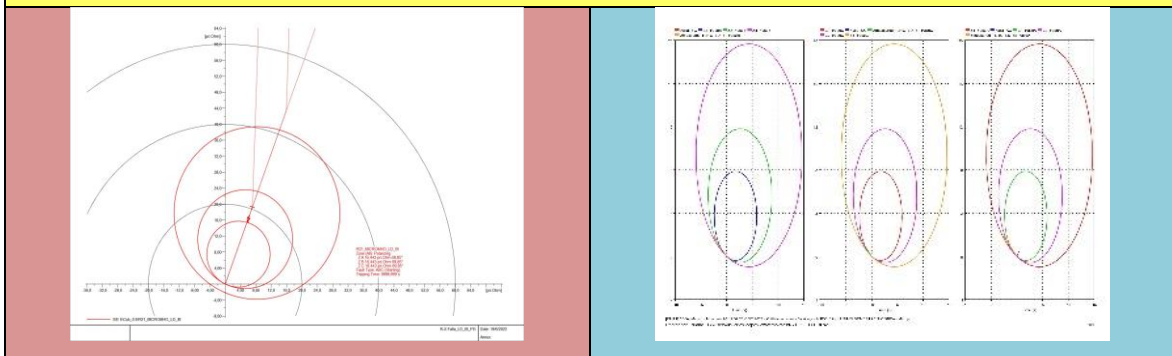
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



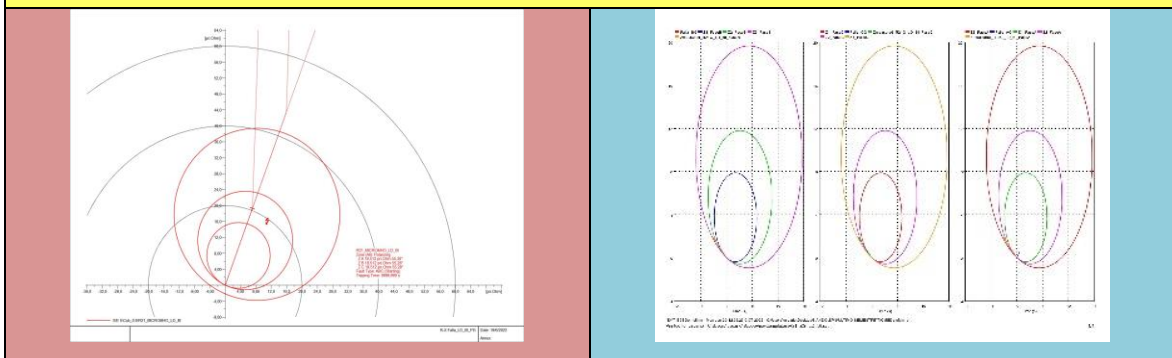
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



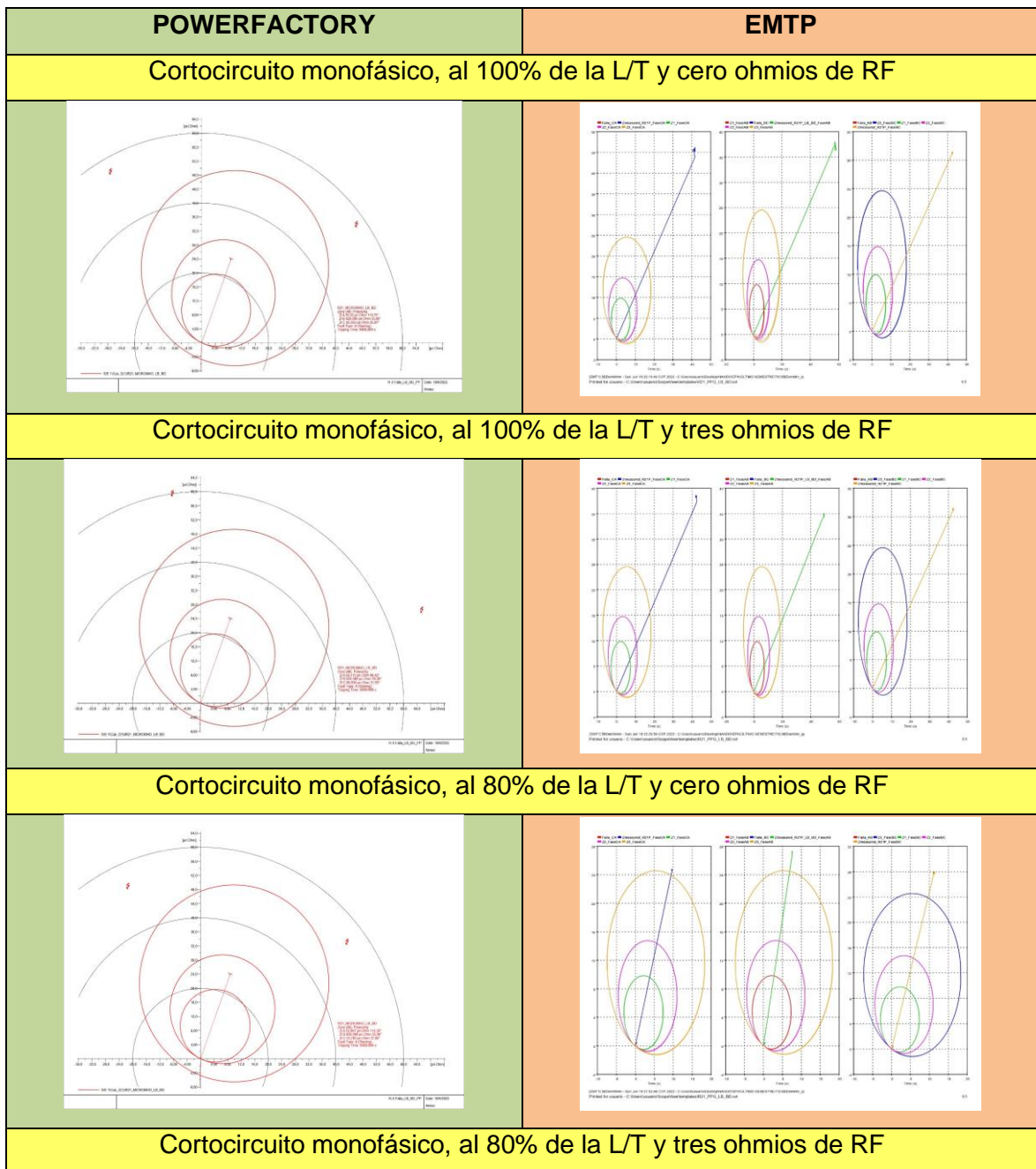
Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra I de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

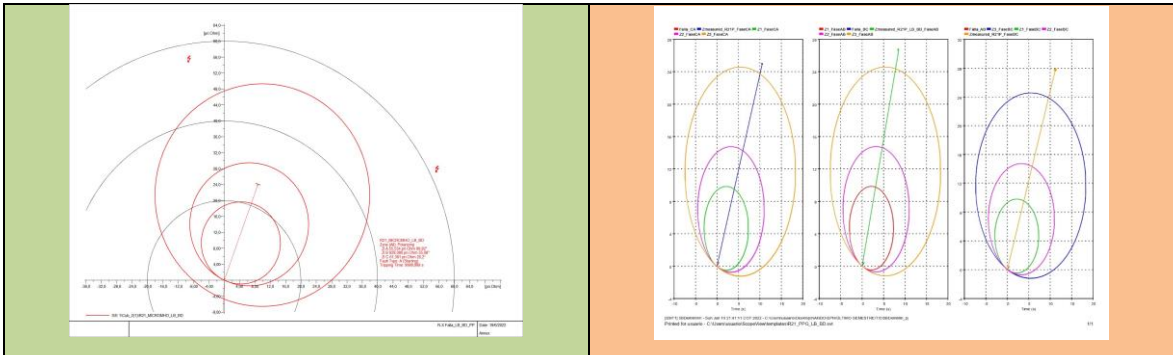
Las diferencias aquí observadas y en los casos de Demanda Máxima pueden ser justificados debido al cambio que sufre la topología del sistema, y la sensibilidad de los elementos de un sistema eléctrico de potencia ante variaciones de carga y posibles fallas en el sistema.

ANEXO V Gráficas para Demanda Mínima obtenidas de la simulación en EMTP y PowerFactory

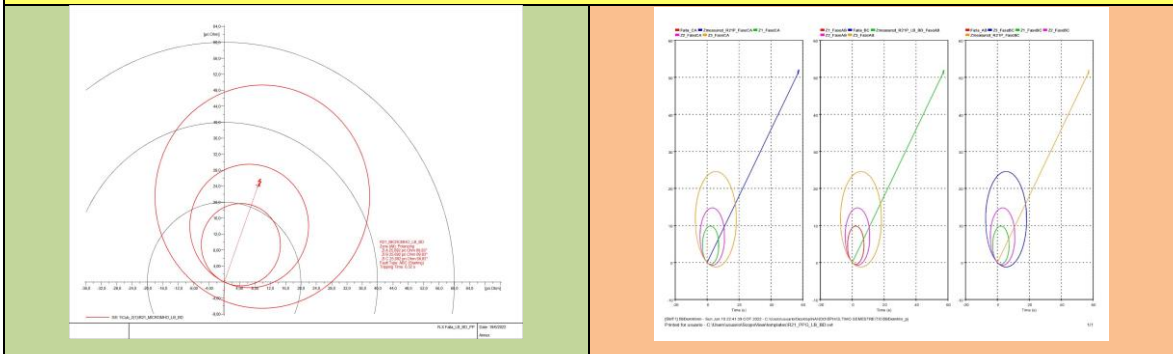
A continuación, se presentan las gráficas obtenidas para Demanda Mínima en el software PowerFactory a la izquierda y en el software EMTP a la derecha.

En el relé ubicado en la Barra D de la línea B, llamado R21_LB_BD para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

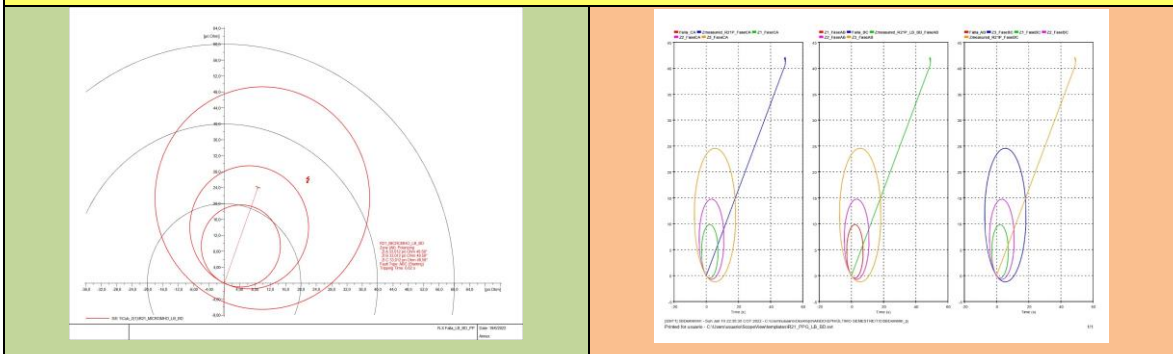




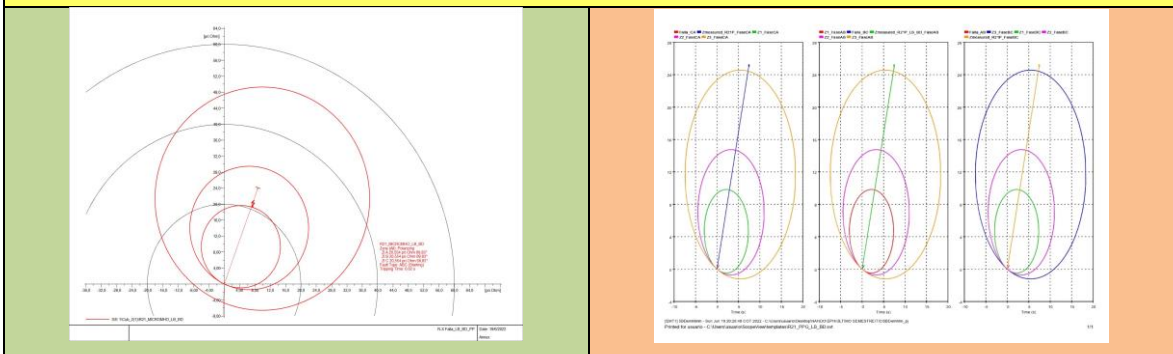
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



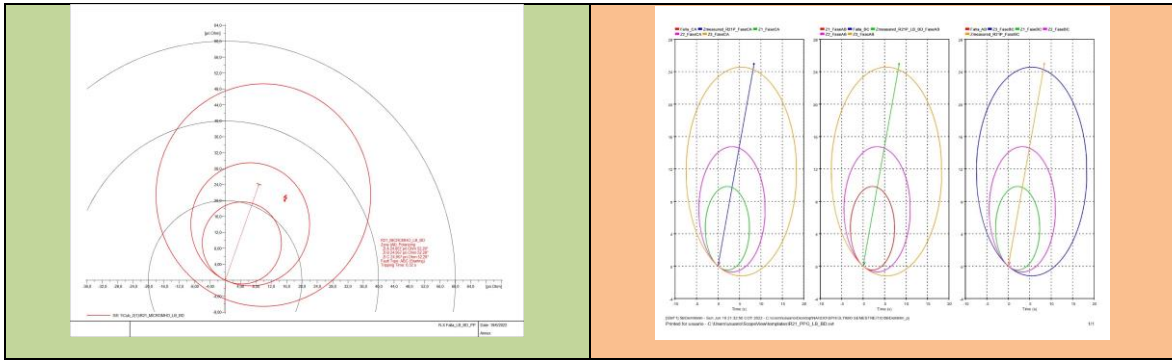
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



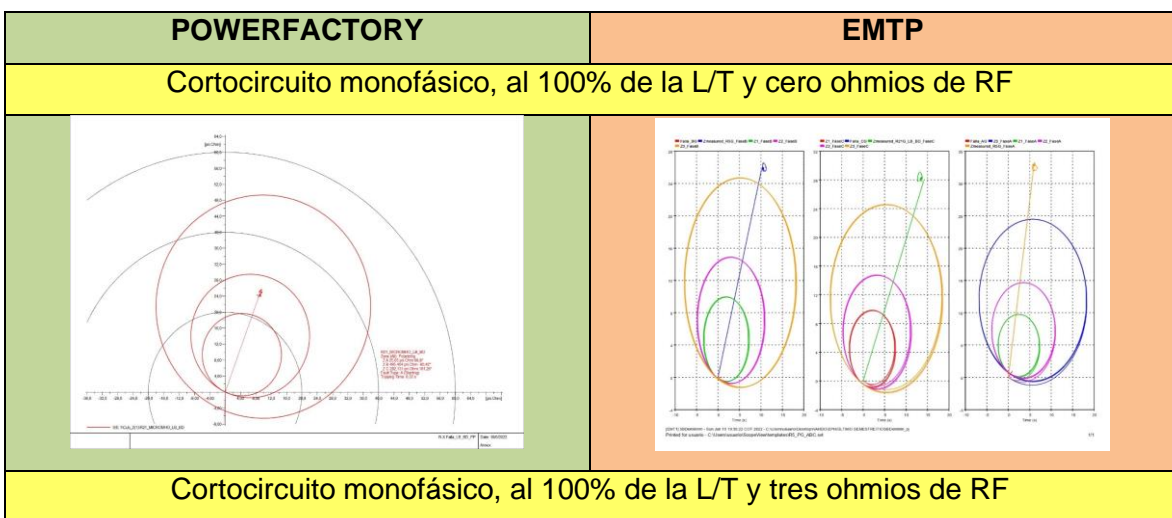
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

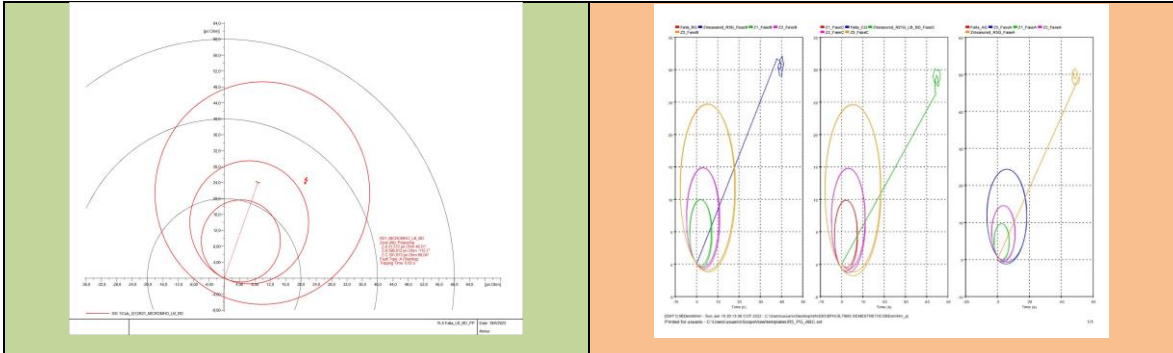


Se presentan dos tipos de cortocircuito, monofásico y trifásico, simulados a distintos porcentajes de la línea de transmisión, y con una variación en su resistencia de falla de 0 a 3 ohmios. Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra D de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

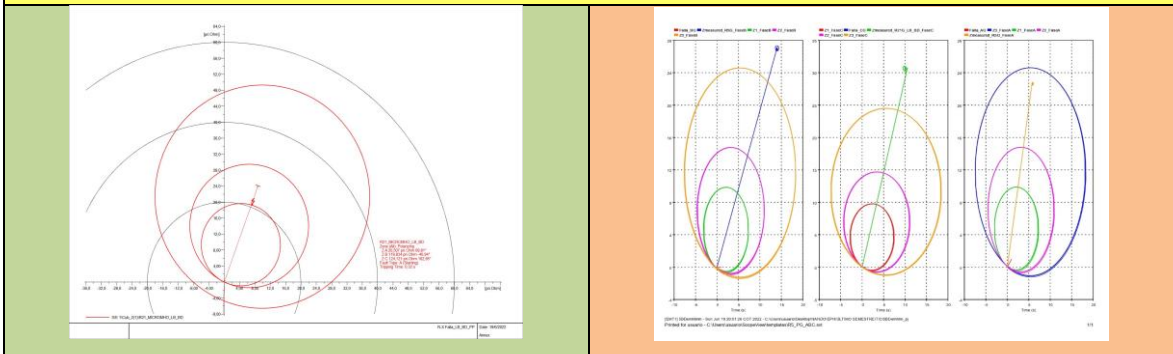
Para este caso se observa que cuando se trata de fallas trifásicas al 80% EMTP presenta mejores resultados, y cercanos a los obtenidos en PowerFactory. Esto puede deberse a la característica de simulación en el dominio del tiempo del software EMTP.

En el relé ubicado en la Barra D de la línea B, llamado R21_LB_BD para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:





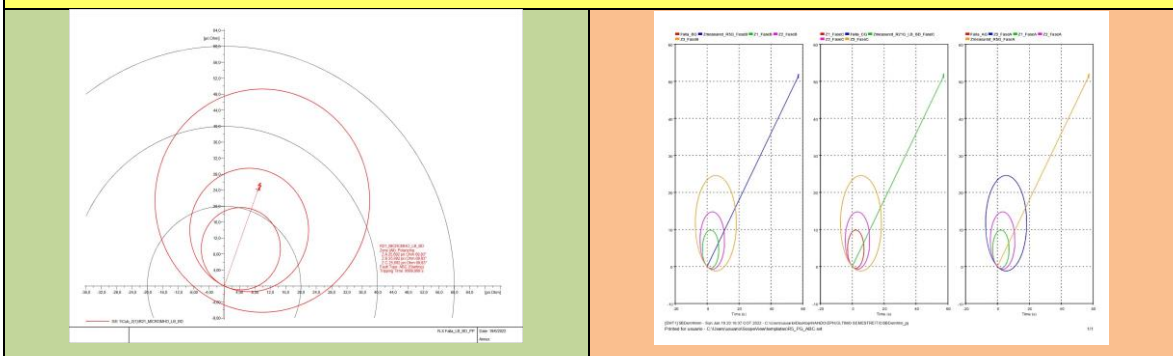
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



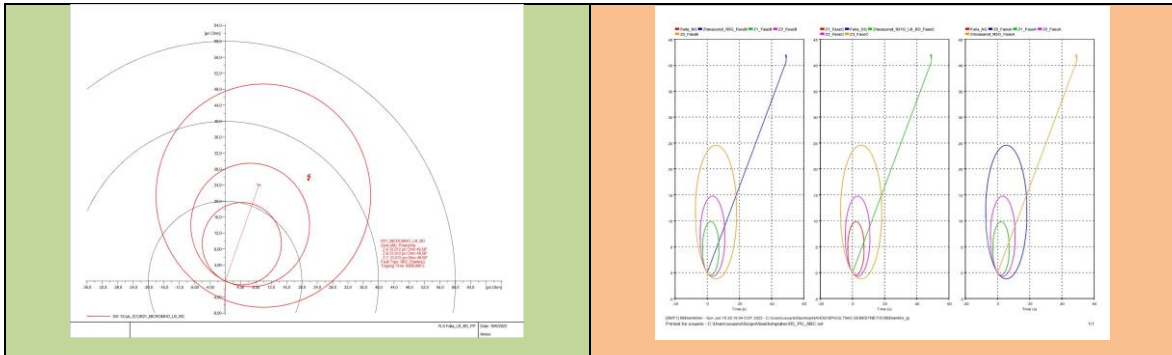
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

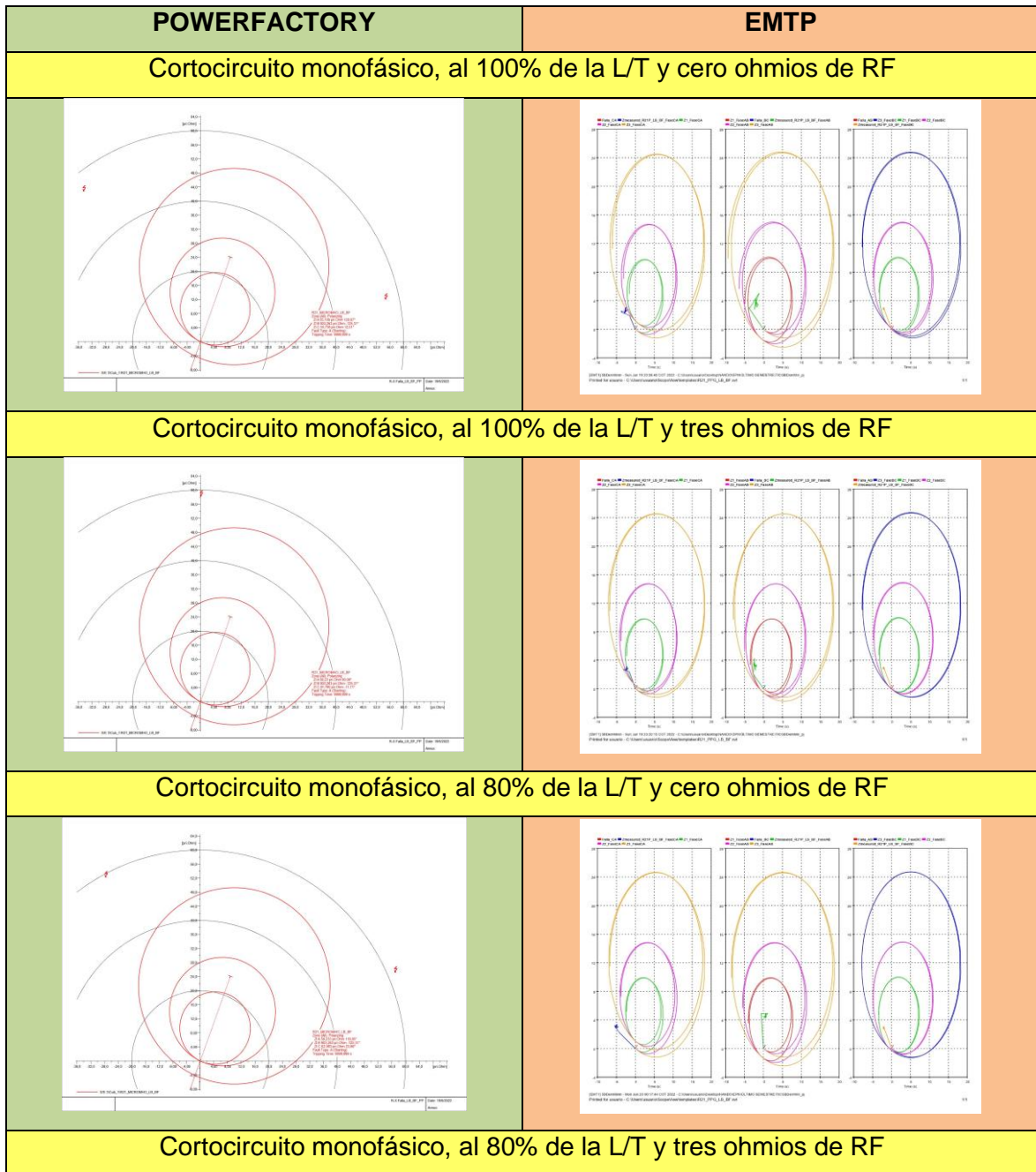


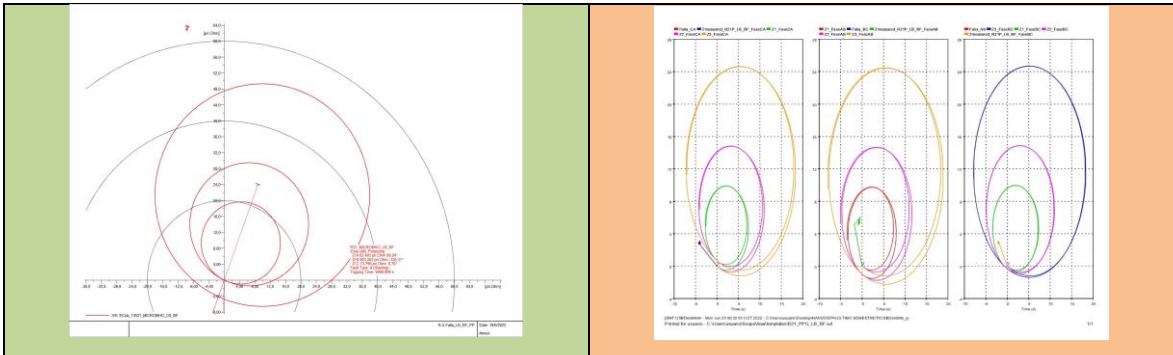
Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra D de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

Para este caso se observa que cuando se trata de fallas monofásicas al 100% con cero ohmios, fallas monofásicas al 80% con cero y tres ohmios, y fallas trifásicas al 80% EMTP presenta mejores resultados, y cercanos a los obtenidos en PowerFactory. Los resultados presentados en EMTP cuando ocurre una falla monofásica al 100% y al 80% con cero

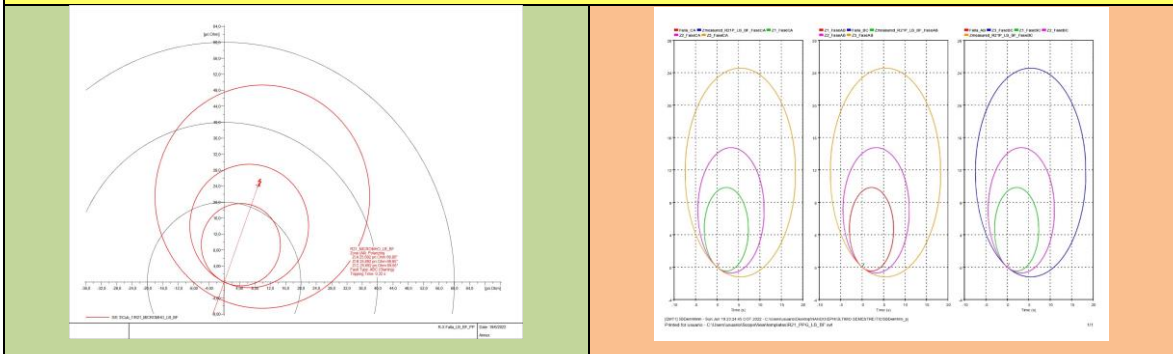
ohmios permite observar como el software realiza la simulación en el dominio del tiempo cuando al final de la línea recta graficada comienza a crear un pequeño círculo.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea B, llamado R21_LB_BF para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

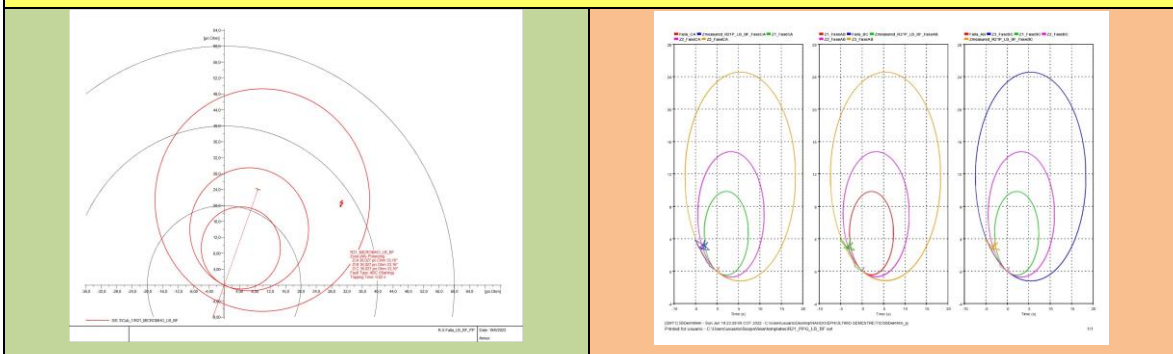




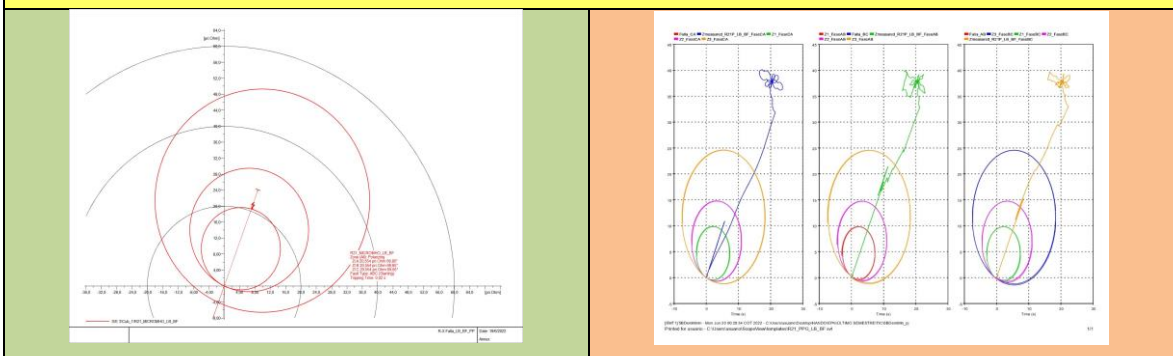
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



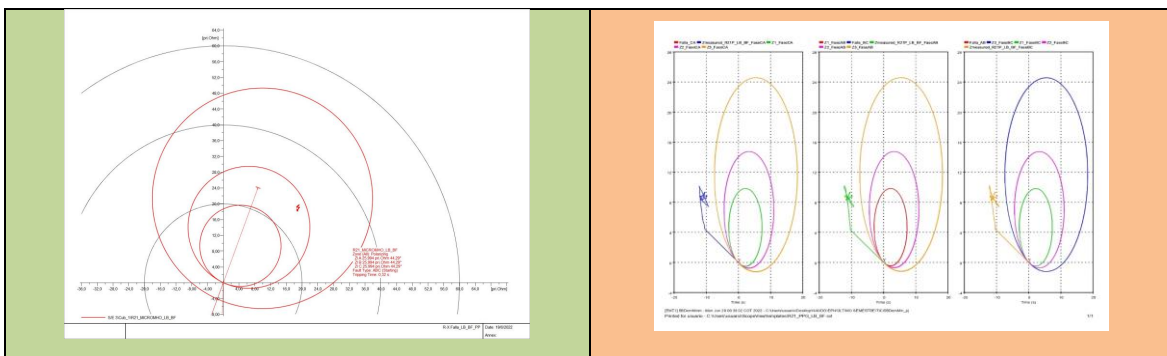
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



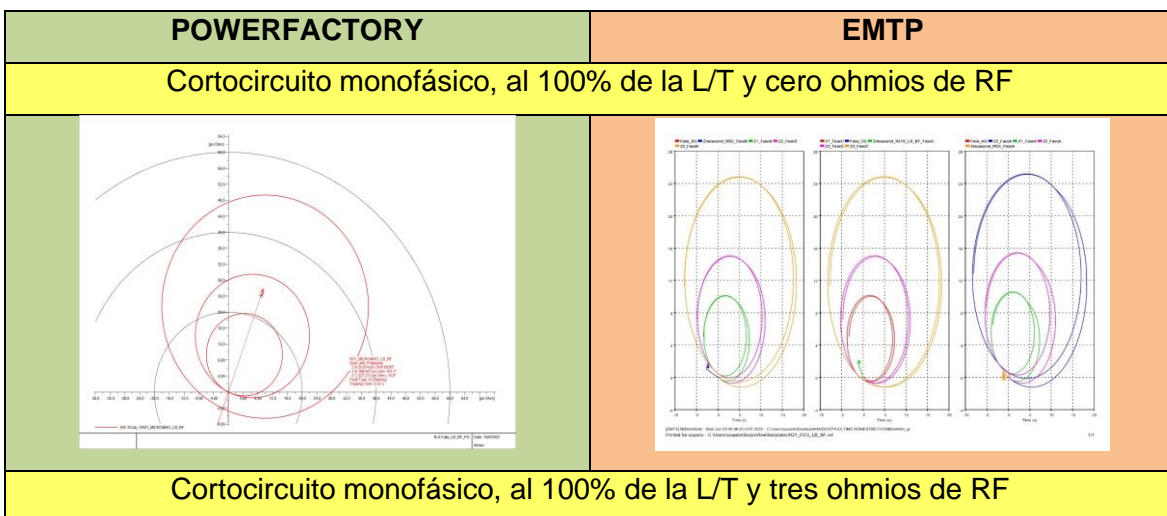
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

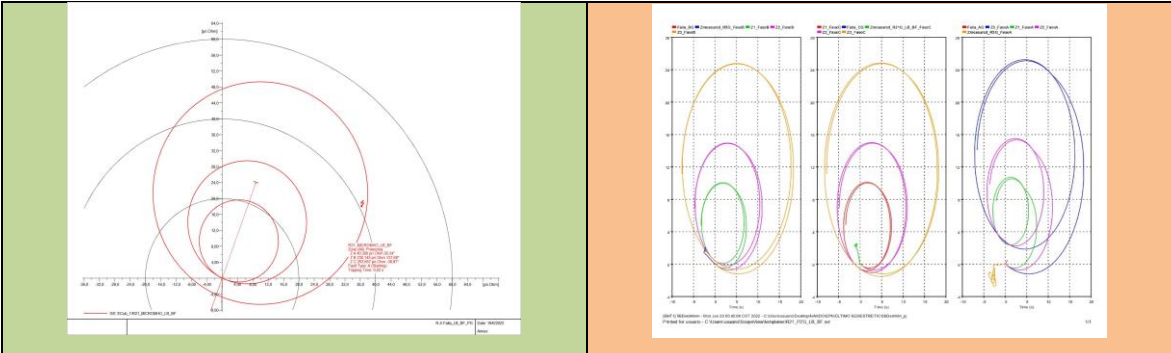


Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

Para este caso se observa que cuando se trata de fallas trifásicas al 80% con tres ohmios EMTP presenta mejores resultados, y cercanos a los obtenidos en PowerFactory. En EMTP y en el mismo tipo de falla, se tiene que cuando la resistencia de falla cambia de cero a tres ohmios los gráficos de simulación cambian notablemente, ya que la falla cambia incluso el punto donde se ve la falla. Esto puede deberse a la sensibilidad de los elementos modelados dentro de la simulación en el dominio del tiempo.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea B, llamado R21_LB_BF para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

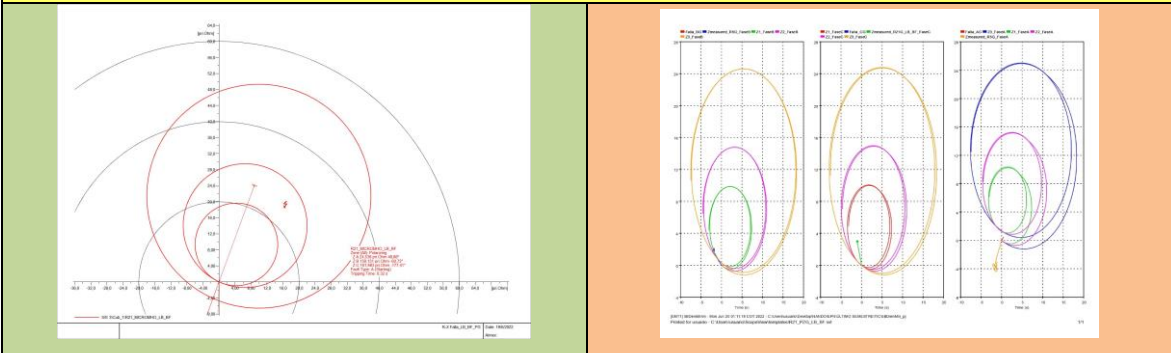




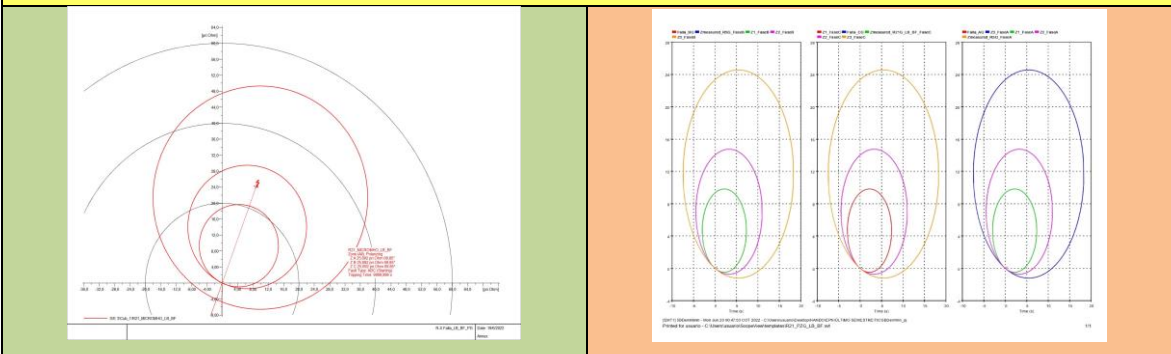
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



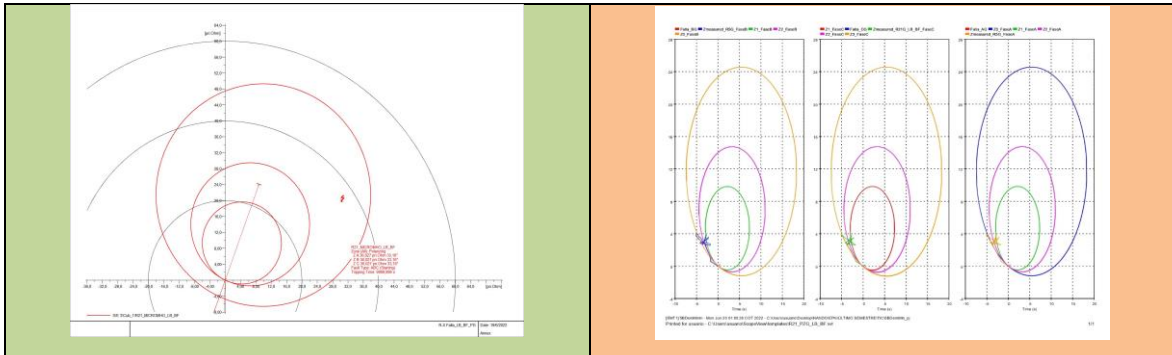
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



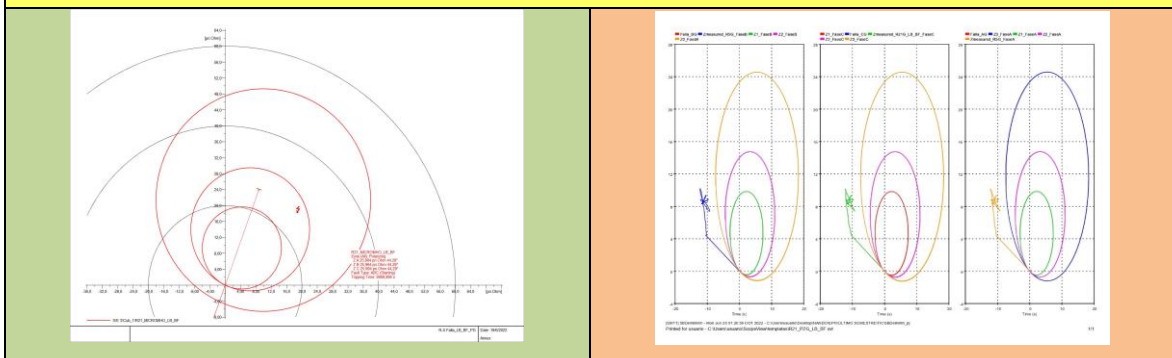
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



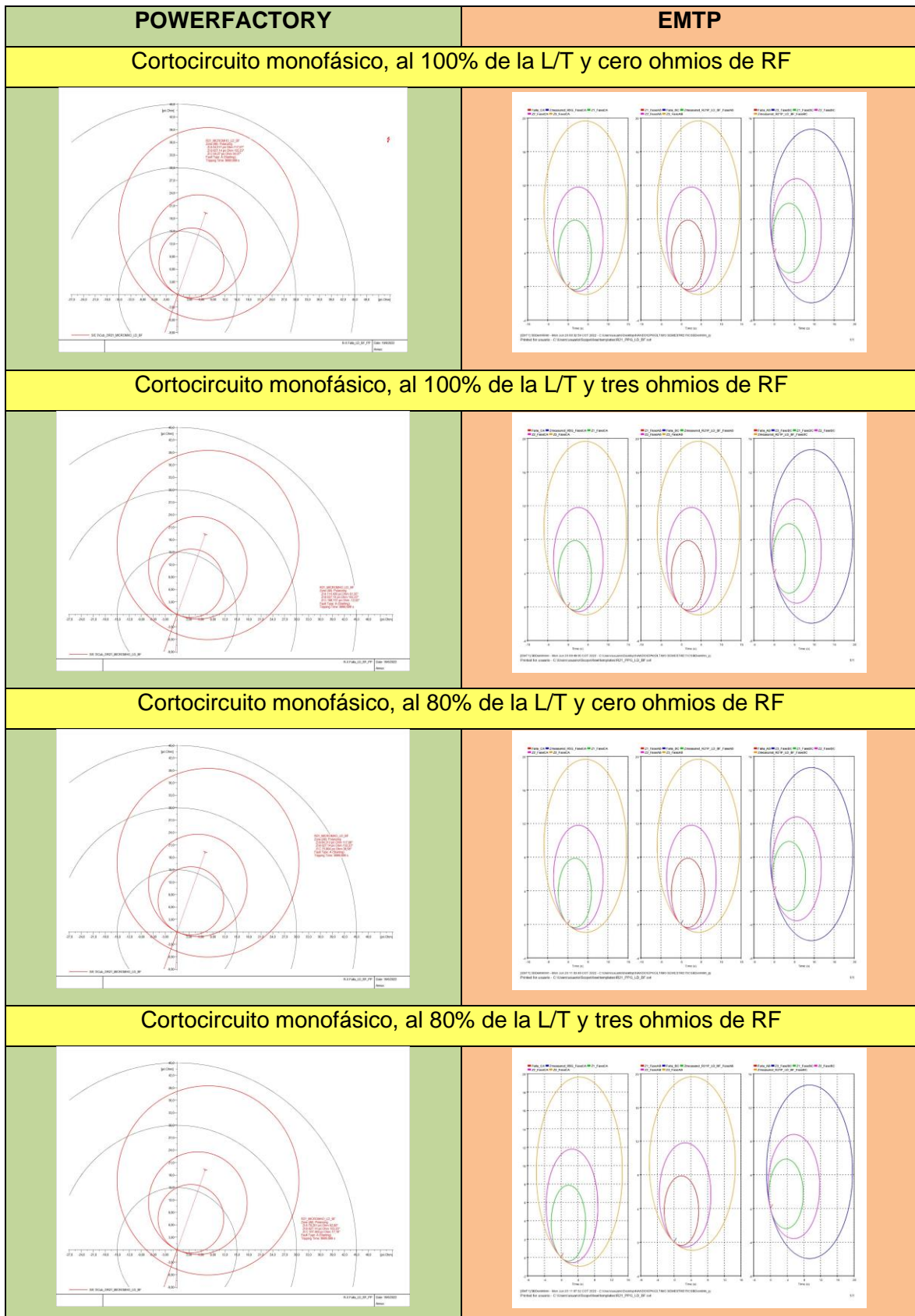
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



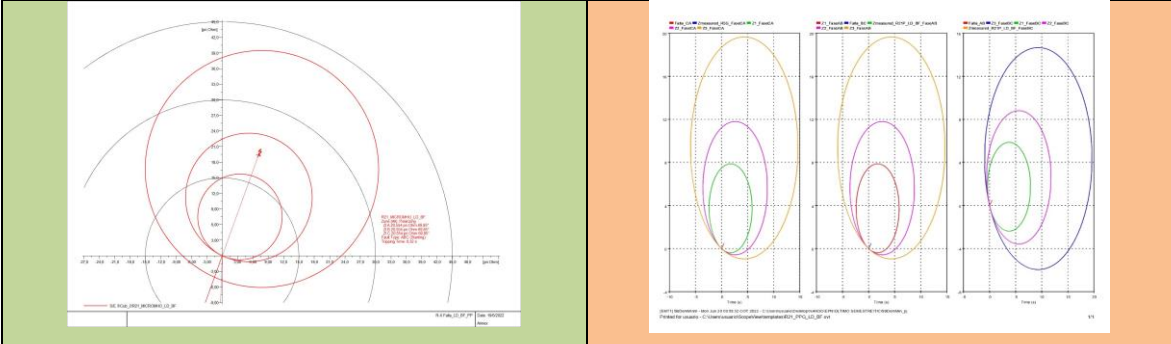
Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión B se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

Para este caso se observa que cuando se trata de fallas trifásicas al 80% con tres ohmios EMTP presenta mejores resultados, y cercanos a los obtenidos en PowerFactory. Los resultados presentados en EMTP cuando ocurren fallas monofásicas al 100% y al 80% con cero y tres ohmios permiten observar cambios similares en comparación con los resultados de PowerFactory con las mismas fallas.

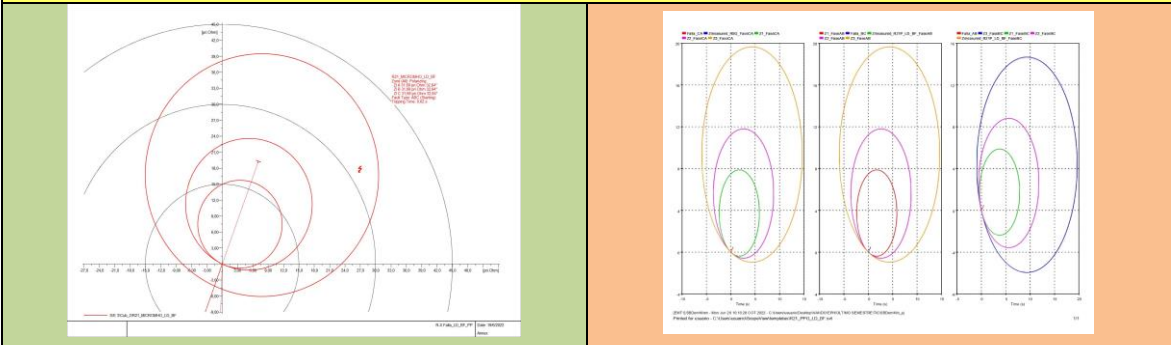
En el relé ubicado en la Barra F de la línea D, llamado R21_LD_BF para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:



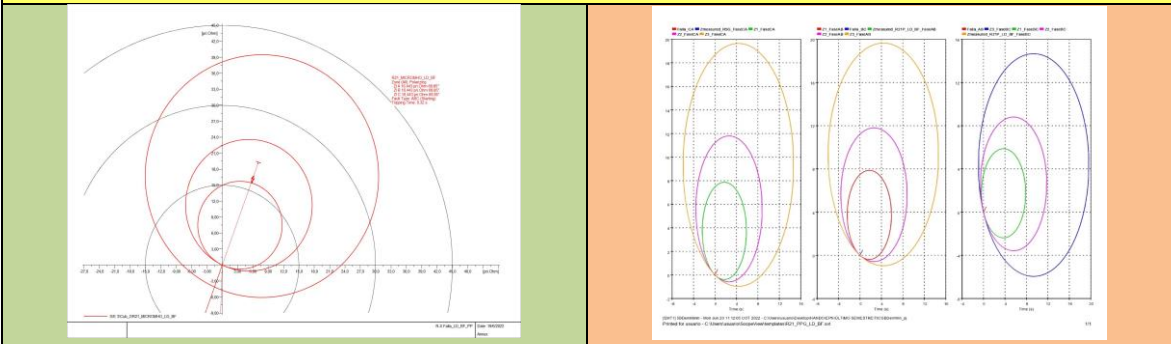
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



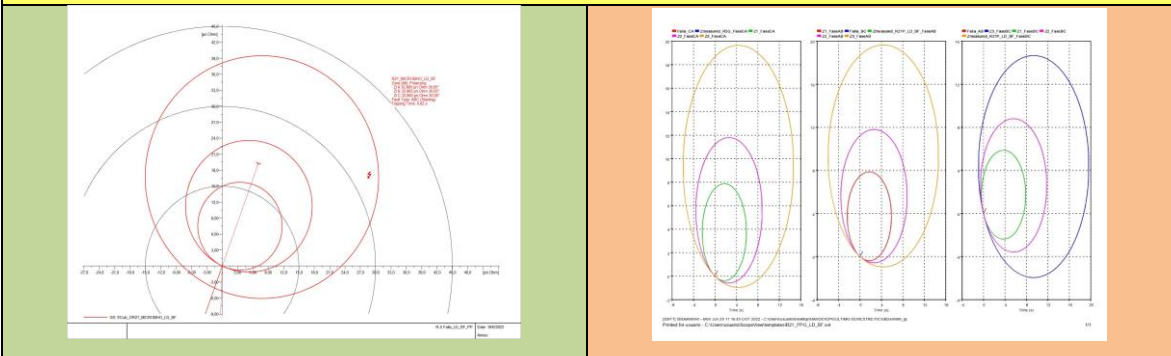
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



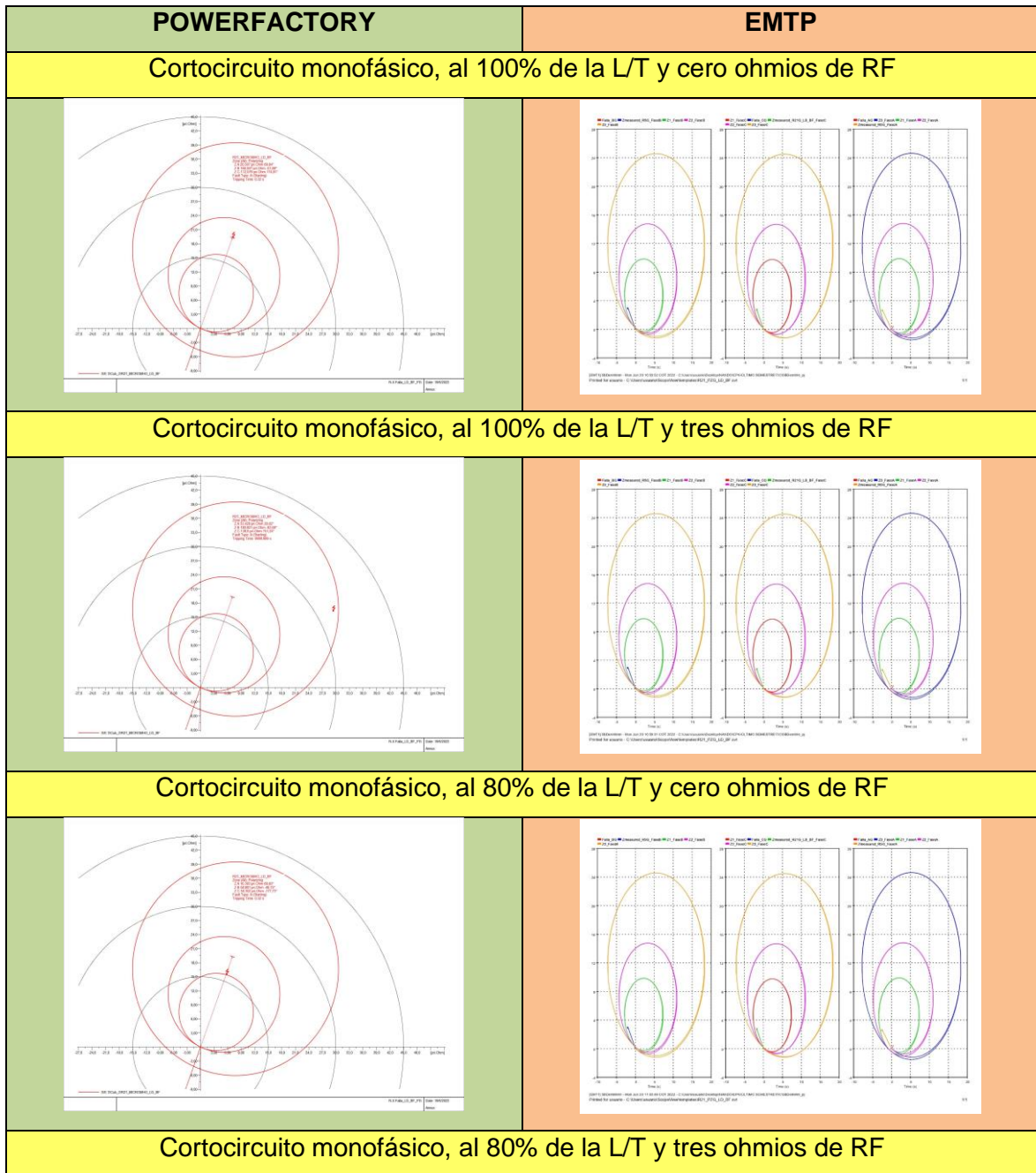
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

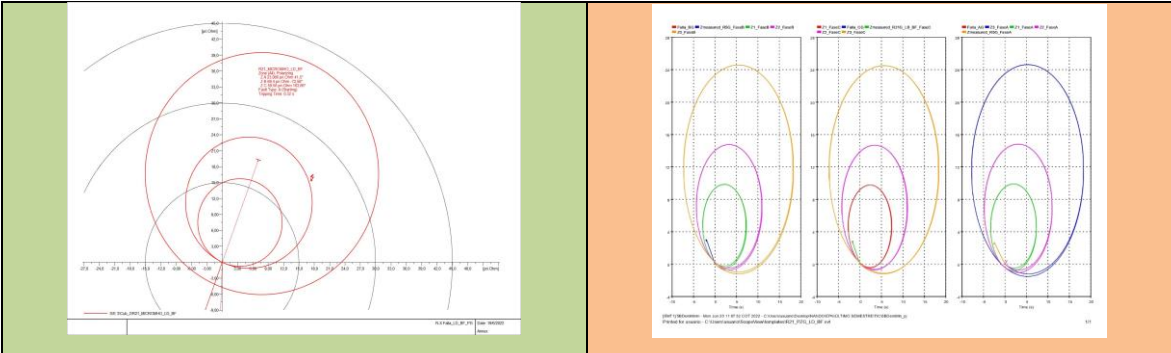


Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas

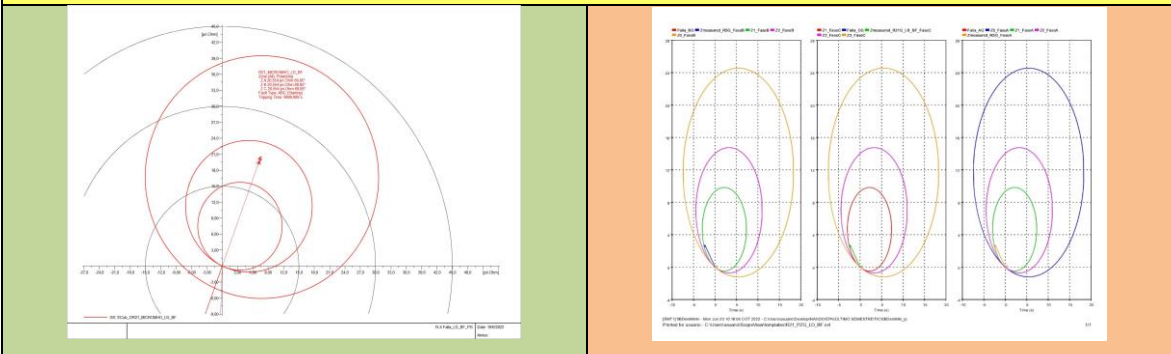
permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

En el relé ubicado en la Barra F de la línea D, llamado R21_LD_BF para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

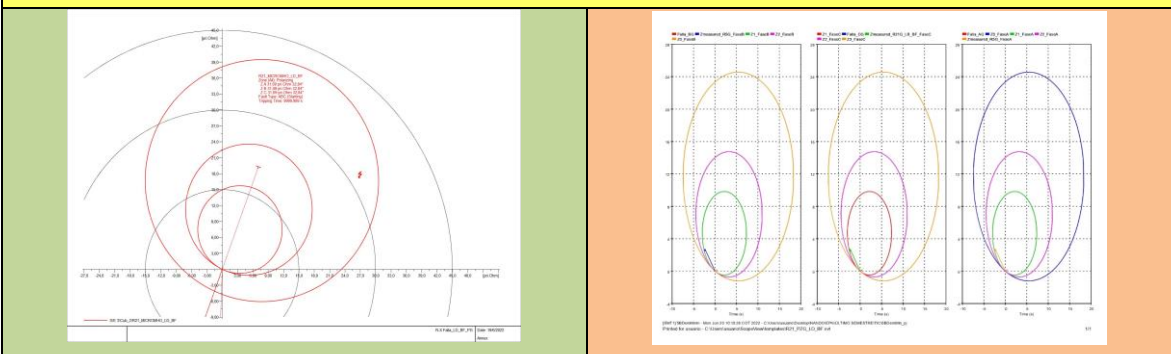




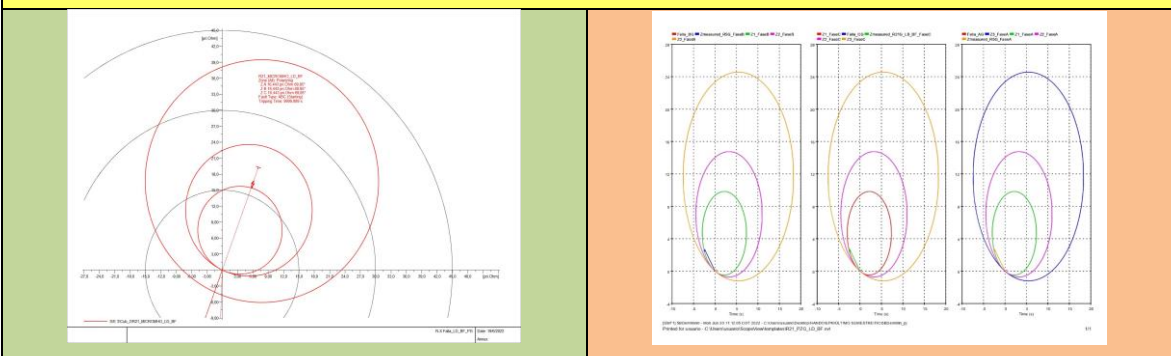
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



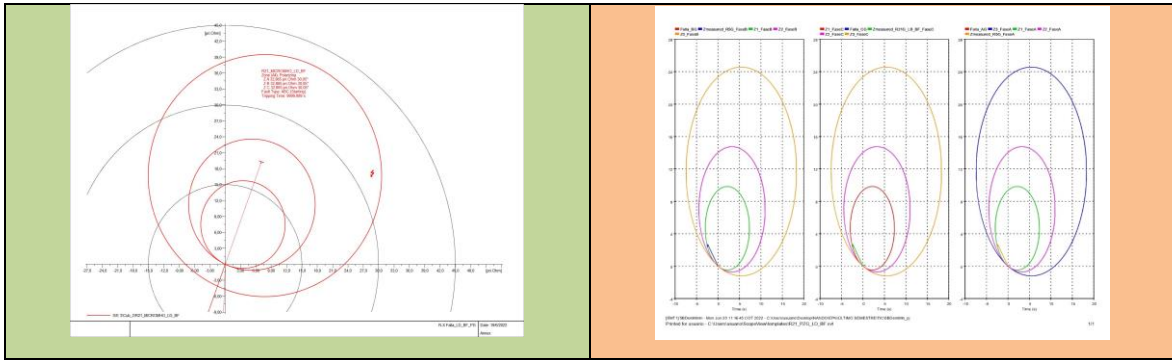
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



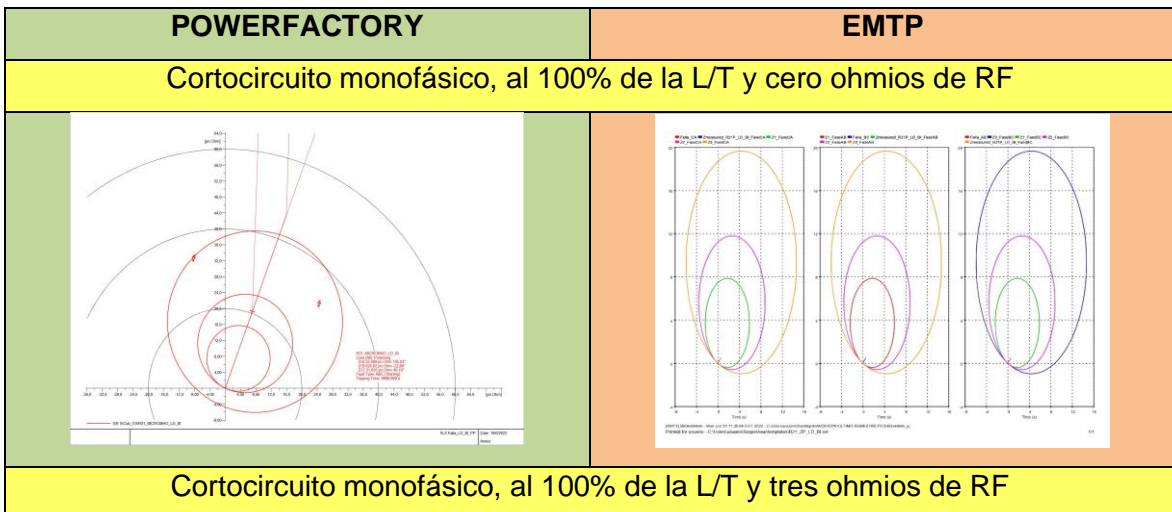
Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

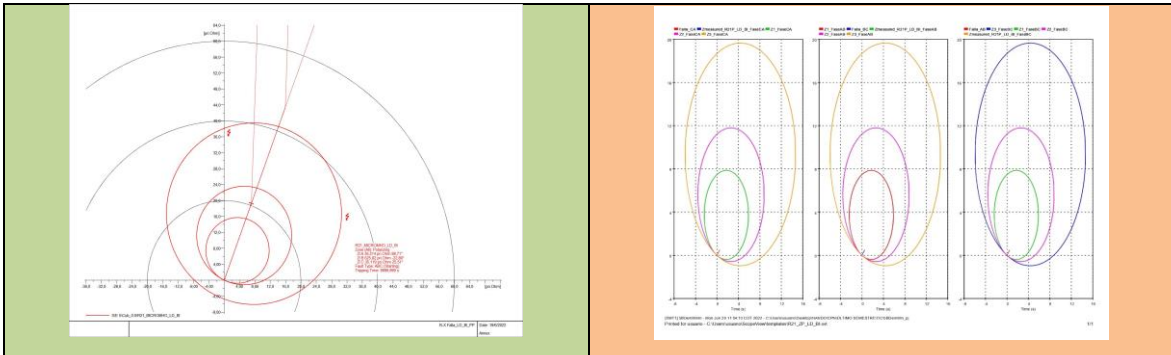


Para Lazos Fase-Tierra las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra F de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en la fase A, el segundo gráfico en la fase B, y el tercer gráfico en la fase C.

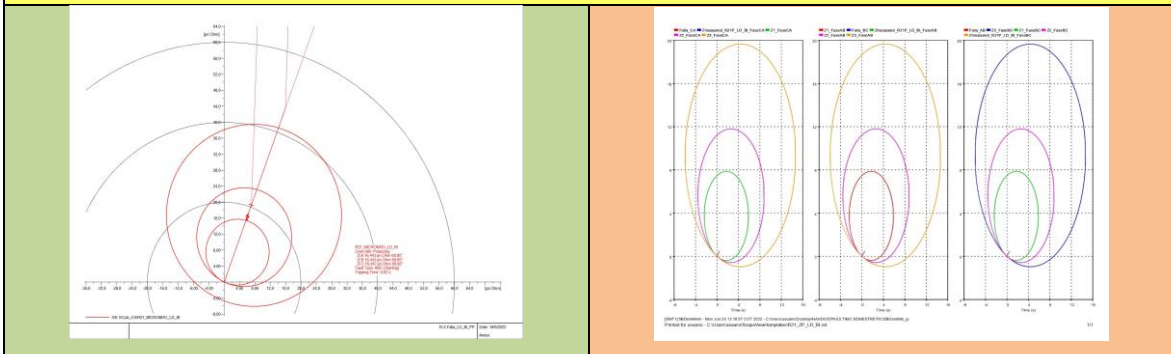
Para este caso se observa que cuando se trata de fallas monofásicas y trifásicas al 80% con cero ohmios EMTP presenta mejores resultados, y cercanos a los obtenidos en PowerFactory, puesto que ambos resultados se extienden en la zona 1 del relé. Esto puede ser debido a la simulación en el dominio del tiempo del software EMTP.

En el relé ubicado en la Barra I de la línea D, llamado R21_LD_BI para lazos Fase-Fase se obtuvieron las siguientes gráficas:

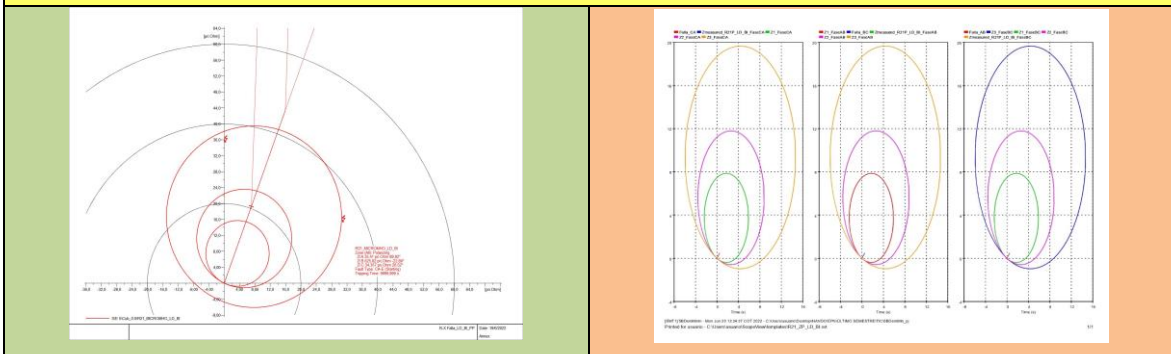




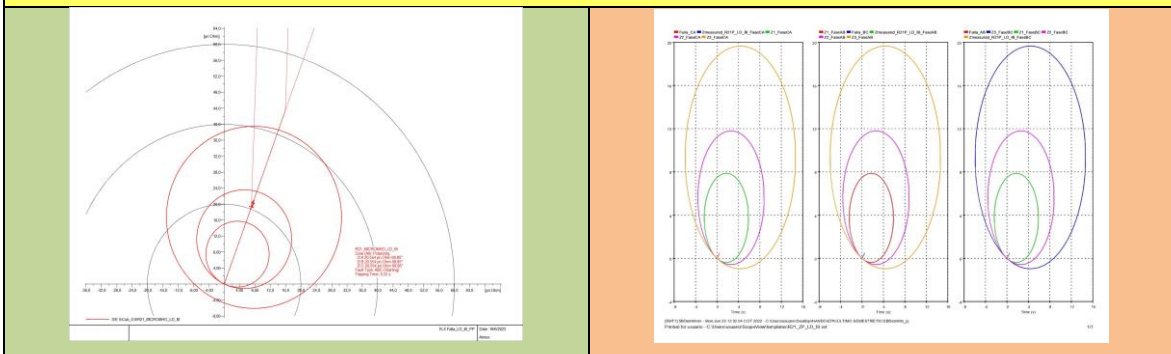
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



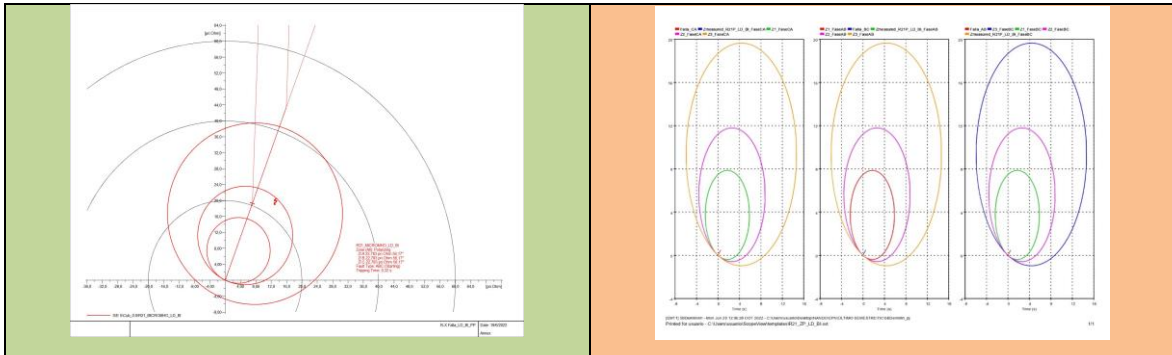
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



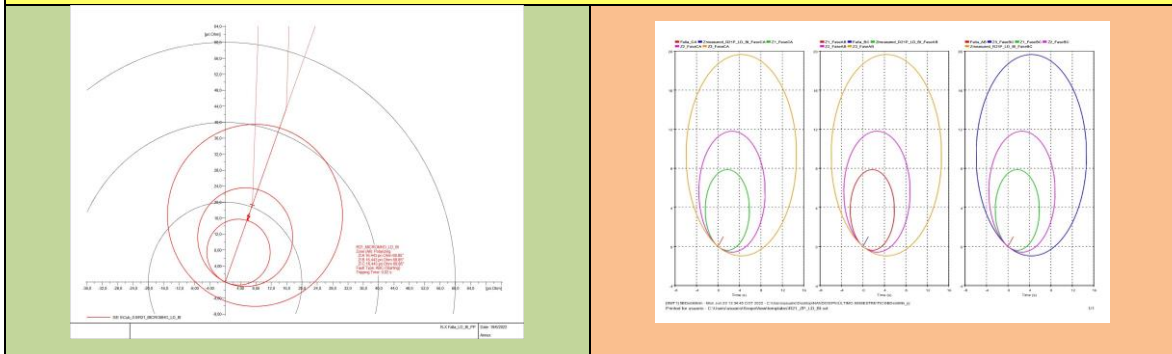
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF



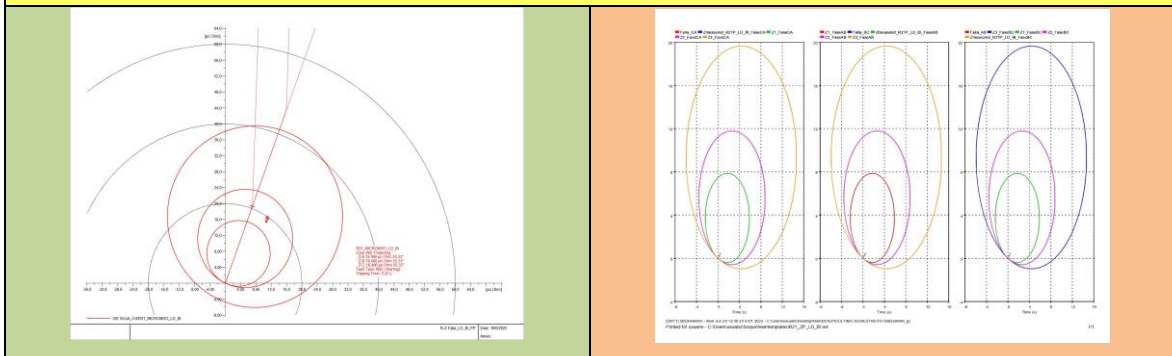
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



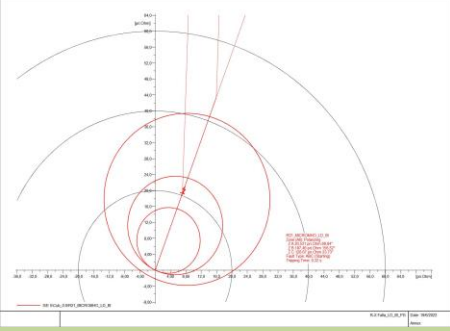
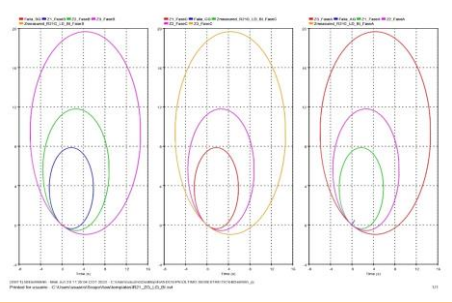
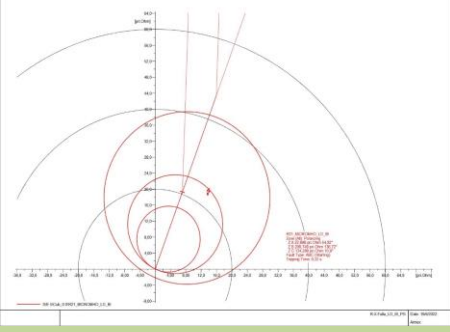
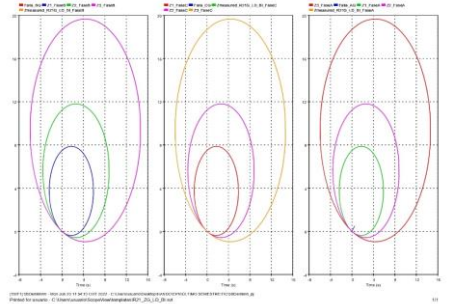
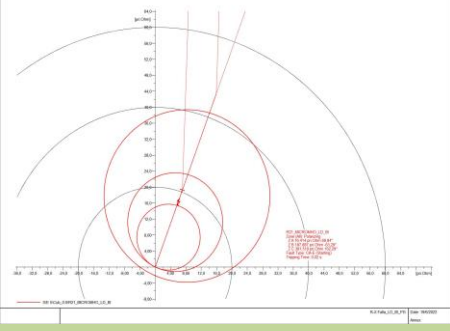
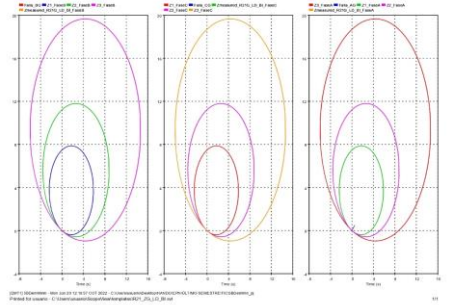
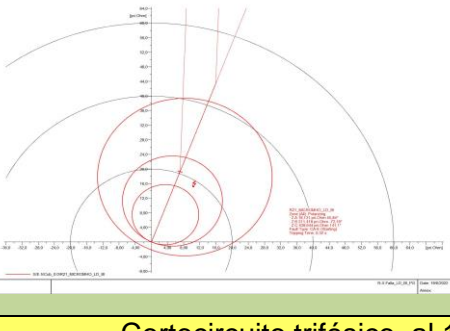

Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF

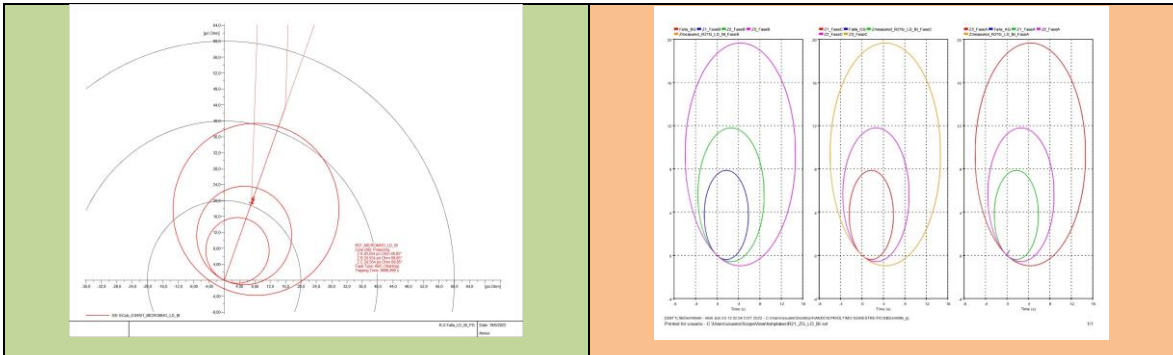


Para Lazos Fase-Fase las simulaciones presentadas en el relé ubicado en la Barra I de la línea de transmisión D se tiene que en PowerFactory las formas de onda obtenidas permiten tener la vista total del relé, siendo un solo gráfico el que se presenta, mientras que en EMTP presenta la posibilidad de observar tres gráficos, cada gráfico permite ver la lectura del relé en dos fases; el primer gráfico mide en las fases A y B, el segundo gráfico en las fases B y C y el tercer gráfico en las fases C y A.

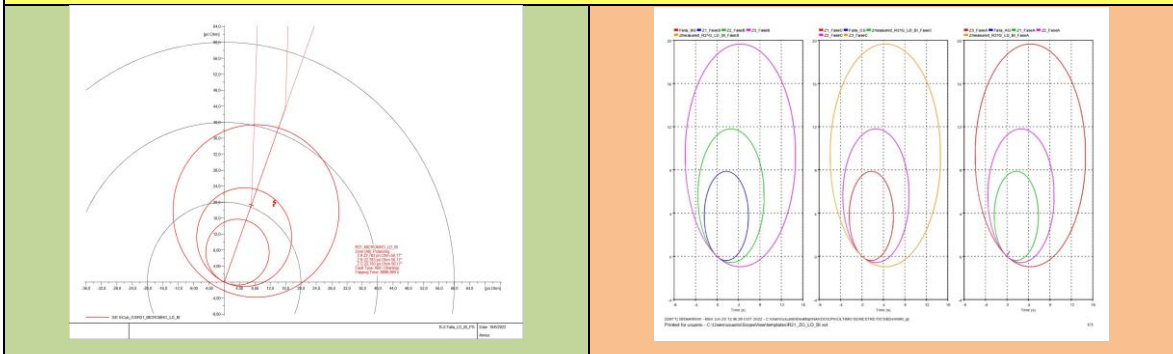
Los resultados que se resaltan en este caso son para fallas trifásicas al 80% con cero ohmios, sus resultados operan en la primera zona.

En el relé ubicado en la Barra I de la línea D, llamado R21_LD_BI para lazos Fase-Tierra se obtuvieron las siguientes gráficas:

POWERFACTORY	EMTP
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF	
 <p>Smith chart showing the impedance locus for a single-phase fault at 100% of the L/T and zero ohms of RF. The locus is a red circle centered on the real axis at approximately 1.5, with a radius of about 1.5. It intersects the real axis at approximately 0.5 and 2.5.</p>	 <p>Three EMTP plots showing the impedance locus for a single-phase fault at 100% of the L/T and zero ohms of RF. The plots show the locus in the complex plane for different fault locations and parameters.</p>
Cortocircuito monofásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF	
 <p>Smith chart showing the impedance locus for a single-phase fault at 100% of the L/T and three ohms of RF. The locus is a red circle centered on the real axis at approximately 1.5, with a radius of about 1.5. It intersects the real axis at approximately 0.5 and 2.5.</p>	 <p>Three EMTP plots showing the impedance locus for a single-phase fault at 100% of the L/T and three ohms of RF. The plots show the locus in the complex plane for different fault locations and parameters.</p>
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF	
 <p>Smith chart showing the impedance locus for a single-phase fault at 80% of the L/T and zero ohms of RF. The locus is a red circle centered on the real axis at approximately 1.5, with a radius of about 1.5. It intersects the real axis at approximately 0.5 and 2.5.</p>	 <p>Three EMTP plots showing the impedance locus for a single-phase fault at 80% of the L/T and zero ohms of RF. The plots show the locus in the complex plane for different fault locations and parameters.</p>
Cortocircuito monofásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF	
 <p>Smith chart showing the impedance locus for a single-phase fault at 80% of the L/T and three ohms of RF. The locus is a red circle centered on the real axis at approximately 1.5, with a radius of about 1.5. It intersects the real axis at approximately 0.5 and 2.5.</p>	 <p>Three EMTP plots showing the impedance locus for a single-phase fault at 80% of the L/T and three ohms of RF. The plots show the locus in the complex plane for different fault locations and parameters.</p>
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y cero ohmios de RF	



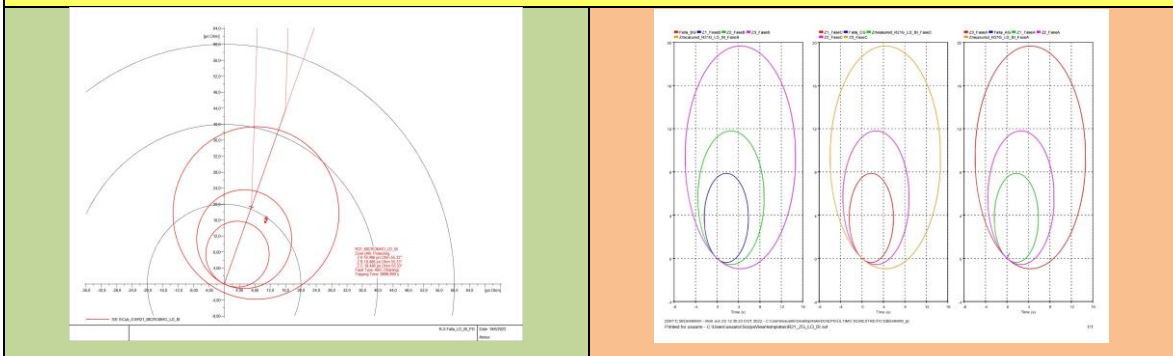
Cortocircuito trifásico, al 100% de la L/T y tres ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y cero ohmios de RF



Cortocircuito trifásico, al 80% de la L/T y tres ohmios de RF



ANEXO VI Guía para el proceso de modelación, simulación y ajuste de la Protección de Distancia

- Primeramente, debe escogerse el sistema que se va a modelar para así poder escoger los elementos que se van a colocar en el sistema. Para modelar una fuente de generación como barra infinita. Se debe escoger la fuente de alimentación y colocarla en la ventana de diseño.

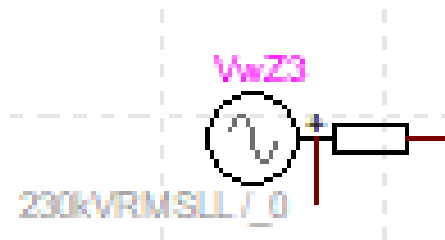


Figura A6.1. Fuente de alimentación del software EMTP-RV.

- A la par se debe escoger un elemento denominado Load Flow, en este elemento se define el tipo de barra. Se conecta junto con la fuente y ambos a la barra de la siguiente manera.

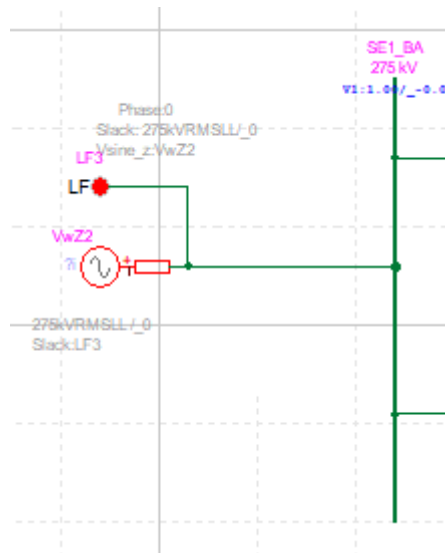


Figura A6.2. Conexión de la fuente de alimentación y el elemento de Flujo de Carga.

- Dentro del elemento se ajusta la siguiente opción para seleccionar como barra infinita.

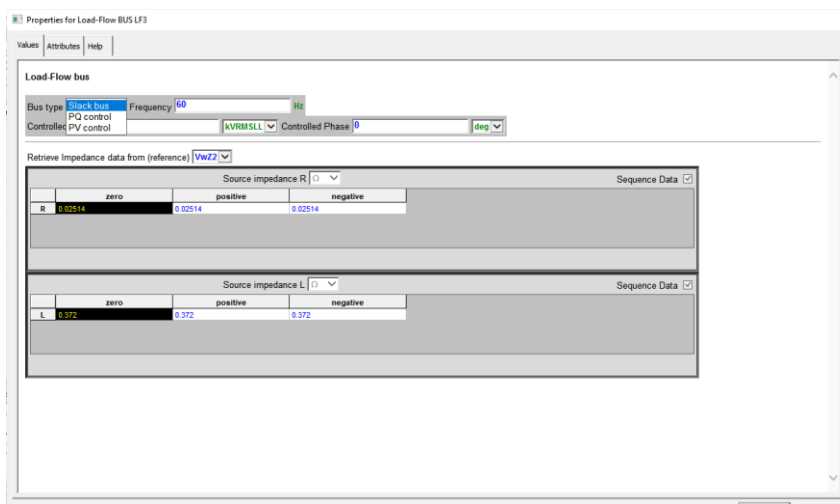


Figura A6.3. Ventana de configuración del elemento Flujo de Carga.

- De la misma manera los espacios deben llenarse conforme a los requerimientos y datos ingresados en la fuente de alimentación, tal como se muestra a continuación.

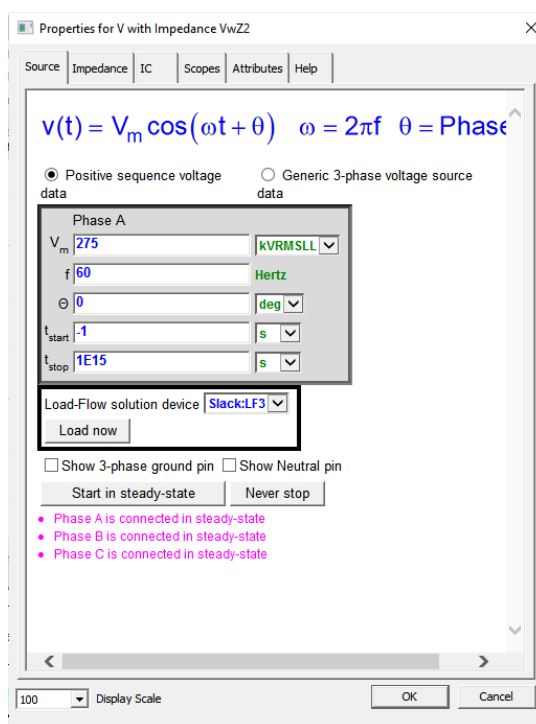


Figura A6.4. Ventana de configuración de la fuente de alimentación.

- Los datos ingresados en el Load Flow y en la fuente de alimentación deben ser los mismos. Para ingresar una línea de transmisión se tienen dos opciones, en el modelo CP se puede ingresar la longitud de la línea en kilómetros.

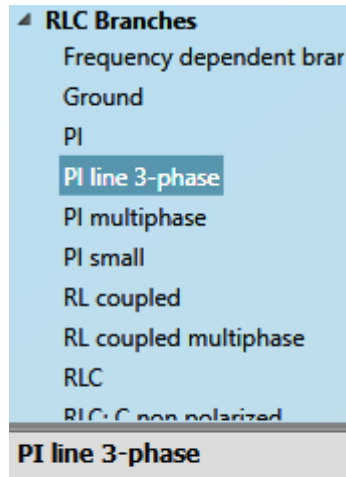


Figura A6.5. Selección del tipo de línea.

- Se deben ajustar los datos de la línea conforme el voltaje y la longitud que se requiera para el sistema, EMTP permite ingresar datos de condiciones iniciales, pero estos pueden dejarse en cero.

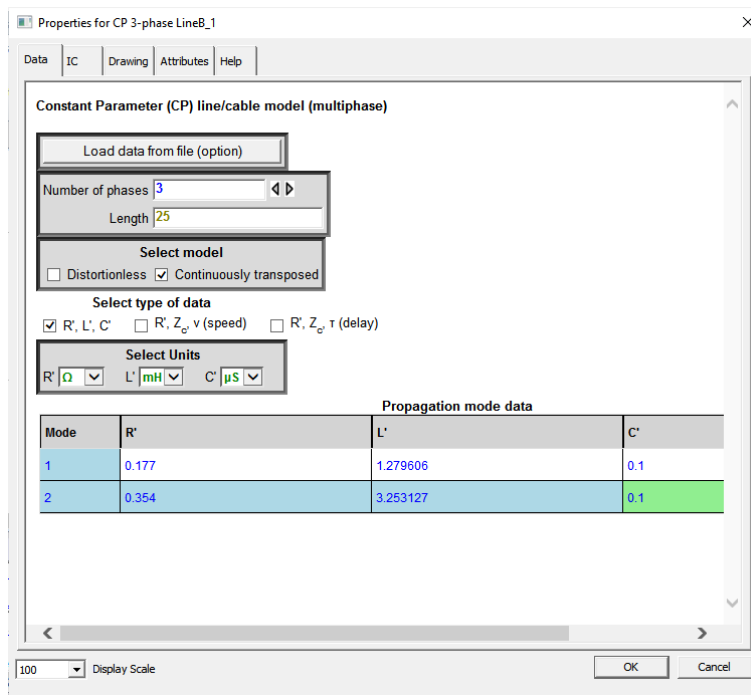


Figura A6.6. Ventana de configuración de la línea de transmisión.

- Para modelar una carga se pueden escoger algunas opciones, en este caso se selecciona el siguiente modelo de carga que permite ingresar datos de potencia y voltaje.

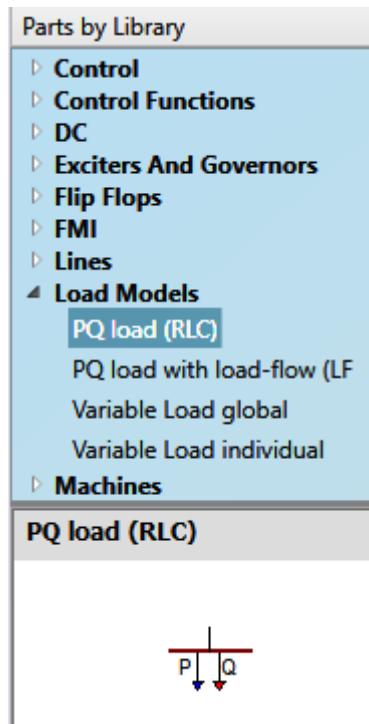


Figura A6.7. Selección del modelo de carga.

- Se ingresan los datos que se muestran en la siguiente ventana conforme al modelo del sistema, se debe tener presente el voltaje de la barra que precede a la carga.

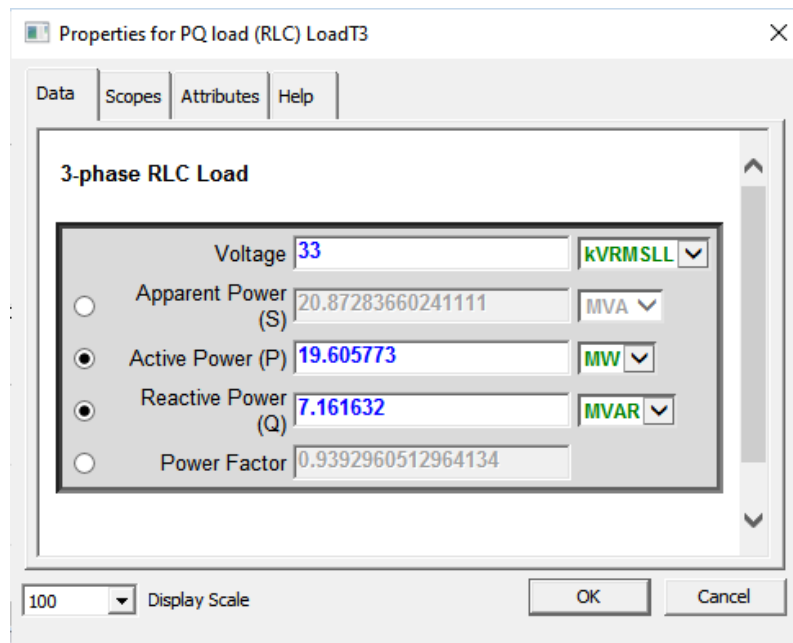


Figura A6.8. Ventana de configuración del modelo de carga.

- Para ingresar el relé de distancia, primeramente, se debe colocar en la línea los TP's y los TC's, ambos se encuentran en la librería, como se muestra a continuación.

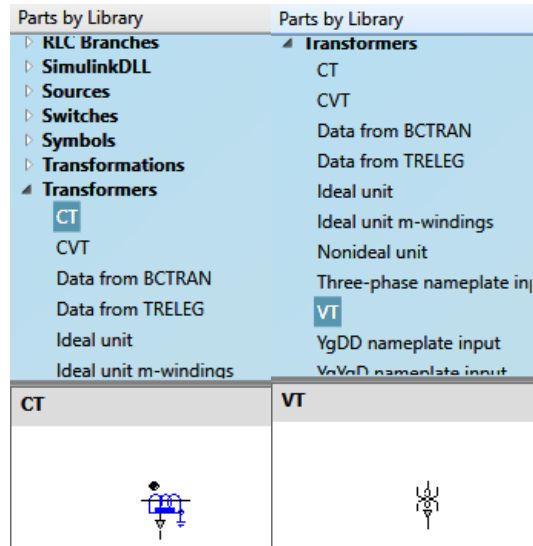


Figura A6.9. Selección de los transformadores de corriente y voltaje.

- Ambos elementos deben conectarse a la L/T y al relé de distancia de la siguiente manera. El relé de distancia también se encuentra en la librería, en la parte de protecciones.

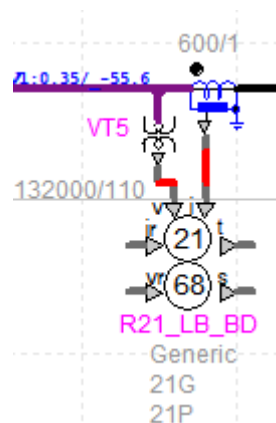


Figura A6.10. Relé de Distancia del software EMTP-RV.

- Para obtener las gráficas del relé se debe sacar de la librería el botón llamado R-X Graph Plotter.

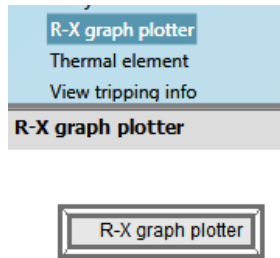


Figura A6.11. Selección del botón para gráficas en los ejes R-X.

- Para editar el TC se debe tener en cuenta la frecuencia, los datos del transformador, los datos de Burden, Standard y datos que son esenciales para modelar el TC como se muestra a continuación. El TC permite ingresar condiciones iniciales y permite ingresar datos de la curva de excitación.

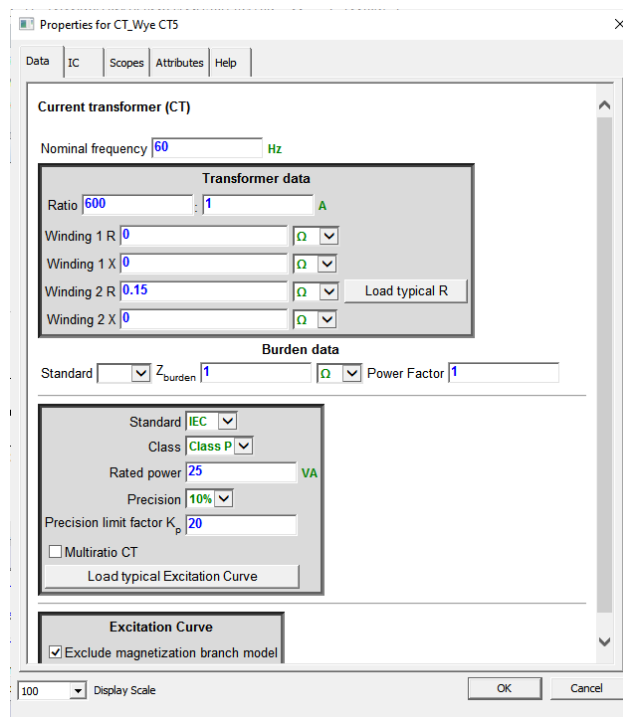


Figura A6.12. Ventana de configuración del transformador de corriente.

- De la misma manera con el VT se deben tener en cuenta valores de frecuencia, datos del transformador, datos de Burden, así como se muestra a continuación. EMTP permite ingresar condiciones iniciales para el VT, así como incluir u omitir la curva de excitación.

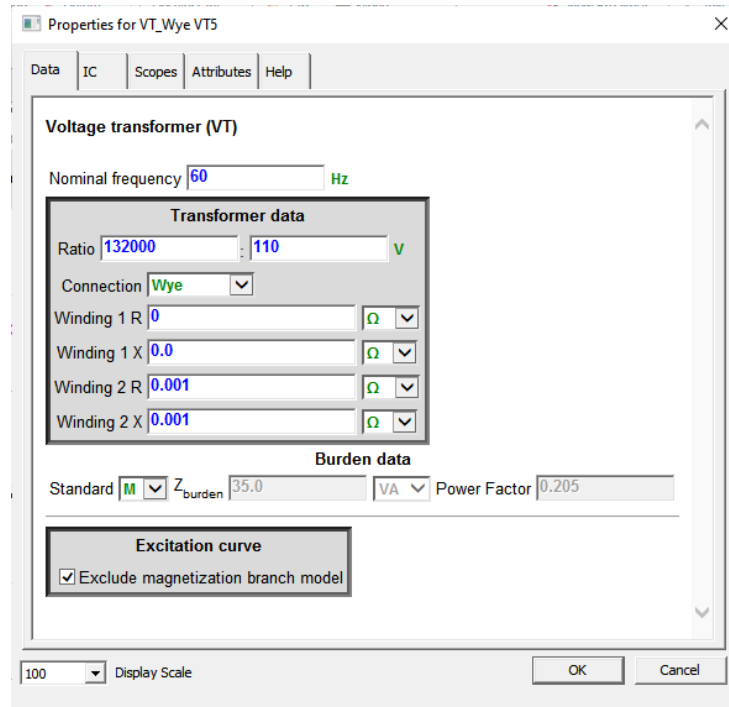


Figura A6.13. Ventana de configuración del transformador de voltaje.

- Una vez ingresados los datos del CT y del VT, se procede a editar los datos del relé. Se da doble clic sobre el elemento y se editan los datos eléctricos principales en base a los datos ingresados para los transformadores de voltaje y corriente.

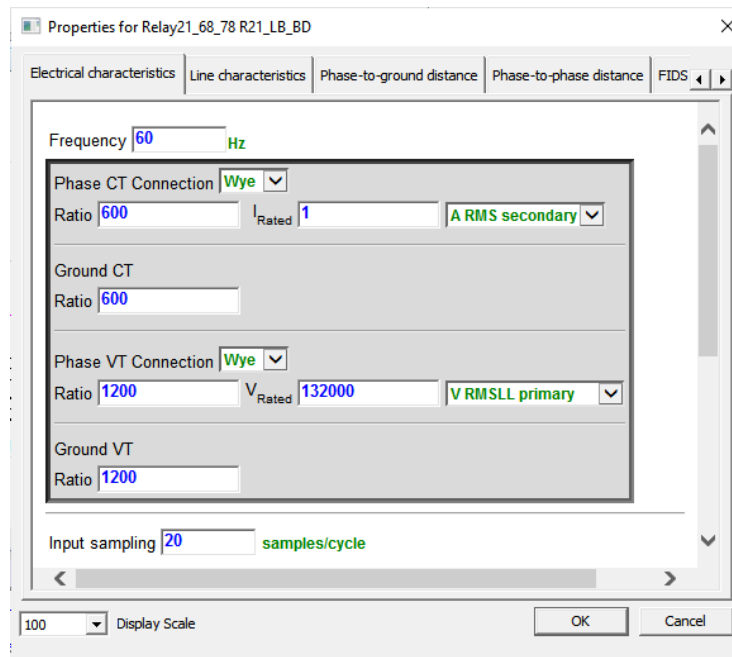


Figura A6.14. Ventana de configuración de características eléctricas del relé de distancia.

- Se deben ingresar las características de la línea, conforme los datos de la línea modelada en el sistema.

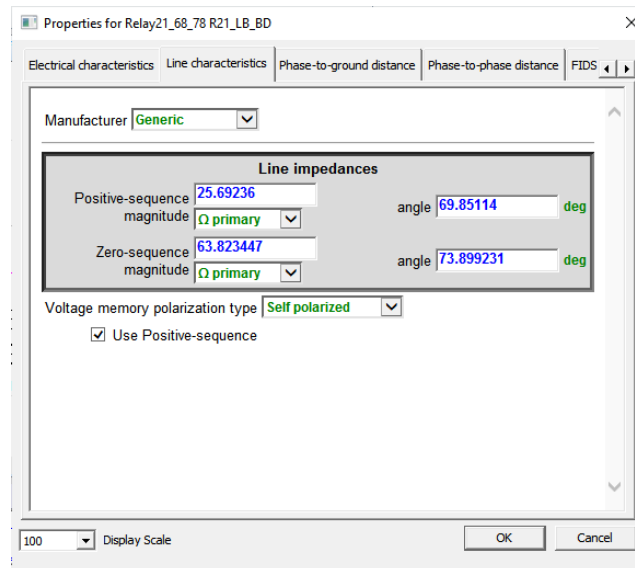


Figura A6.15. Ventana de configuración de las características de la línea del relé de distancia.

- En la sección anterior se aconseja usar secuencia positiva. Posterior a ello se empieza a integrar los valores para los lazos fase – tierra, el ajuste debe ser habilitado y EMTP otorga un gráfico donde enseña que valores son los que se deben ingresar. EMTP permite la opción de ingresar el alcance en ohmios secundarios o en porcentaje. El programa permite escoger un fabricante, en este caso es un relé genérico.

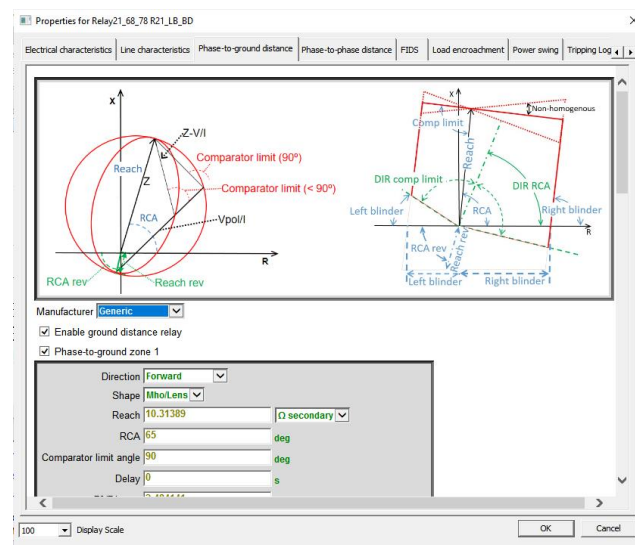


Figura A6.16. Ventana de configuración del lazo fase-tierra del relé de distancia.

- Luego se debe modificar el área de lazos fase – fase. De la misma manera que en la sección anterior, El software nos permite tener un gráfico donde se indican los valores que deben ingresarse, el alcance puede ingresarse como ohmios secundarios o como porcentaje, y también permite escoger el fabricante para este ajuste.

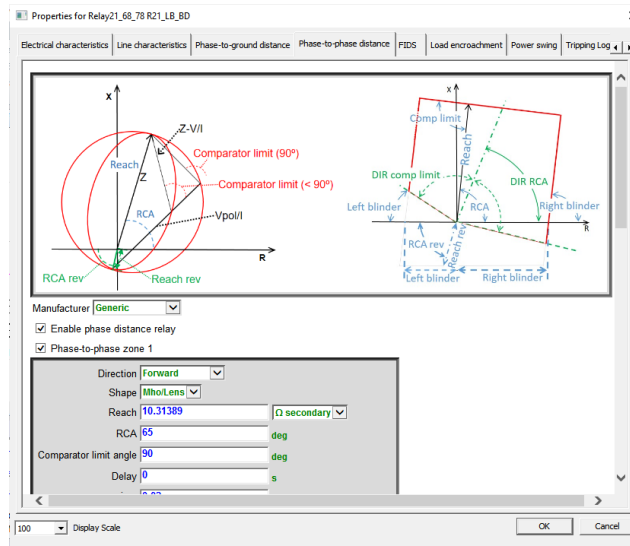


Figura A6.17. Ventana de configuración del lazo fase-fase del relé de distancia.

- A continuación, se encuentran tres opciones que se pueden habilitar si se desea realizar algún estudio con ellas FIDS Load encroachment Power swing. En este caso no fue necesario activarlas.
- La parte llamada Function Scopes es muy necesaria para el gráfico. Aquí se deben habilitar las señales que quieren observarse en el gráfico.

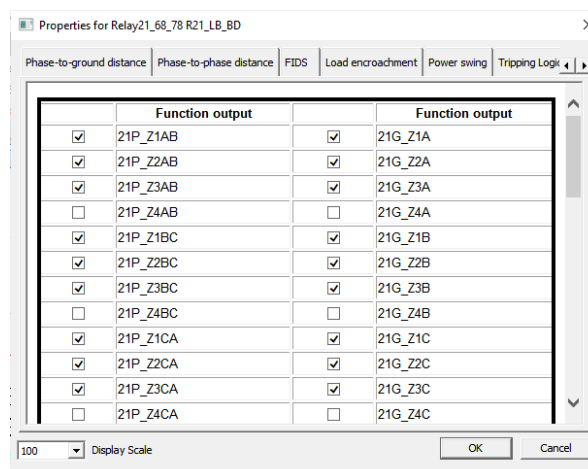


Figura A6.18. Ventana de configuración de las funciones de medida del relé de distancia.

- Se da clic en OK y el relé se encuentra modelado.
- Para simular lo modelado se debe previamente simular el flujo de carga de la siguiente manera.

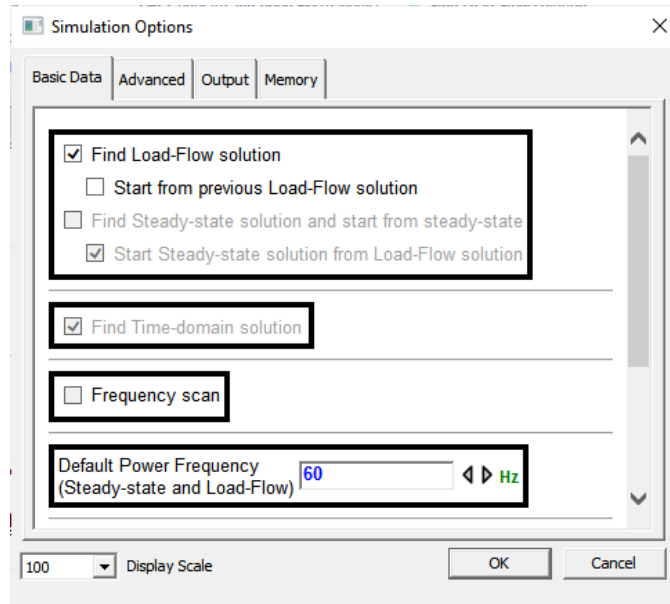


Figura A6.19. Ventana de configuración de la simulación para encontrar el flujo de carga.

- Luego de no haber recibido alguna alerta del software, se debe simular la solución en el dominio del tiempo de la siguiente manera.

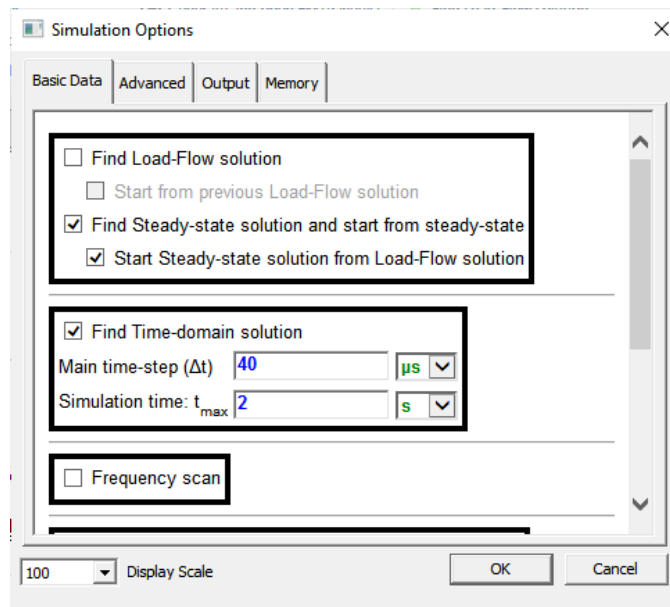


Figura A6.20. Ventana de configuración de la simulación para encontrar la solución en estado estacionario y la solución en el dominio del tiempo

- Al encontrar esta solución lo siguiente es dar clic sobre el botón R – X graph plotter, y seleccionar el relé que se quiere observar. Y dar clic sobre el casillero que permite ver en ScopeView los resultados.

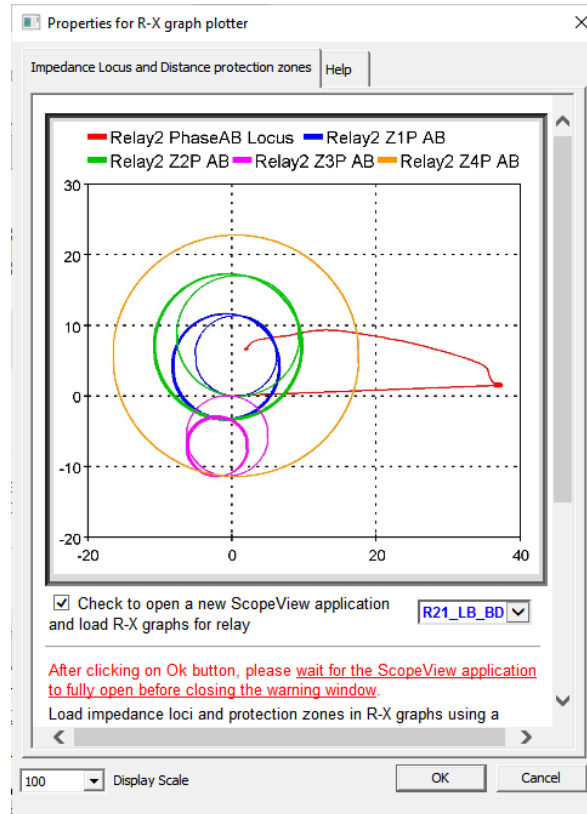


Figura A6.21. Ventana de selección del relé de distancia.

- Luego de abrirse el programa ScopeView se debe dirigir a la siguiente opción.

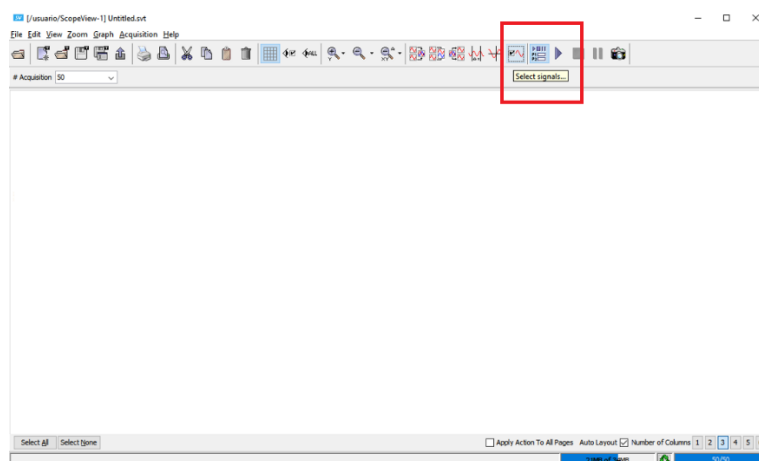


Figura A6.22. Ventana del programa ScopeView.

- Aquí el programa permite adjuntar todas las señales que necesita analizar.

Para analizar las formas de onda del relé de distancia se debe realizar los siguientes pasos:

- Seleccionar la fuente de datos.

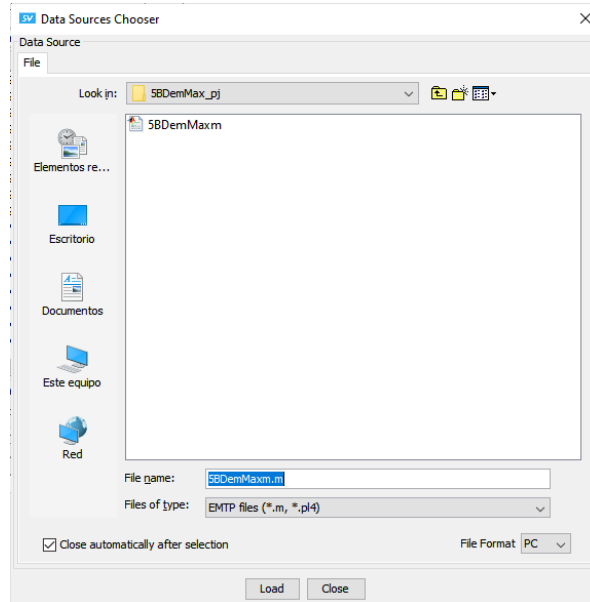


Figura A6.23. Ventana del programa ScopeView para escoger el archivo de fuente de datos.

- Dar clic sobre los tres puntos suspensivos que se muestran en la parte inferior derecha.

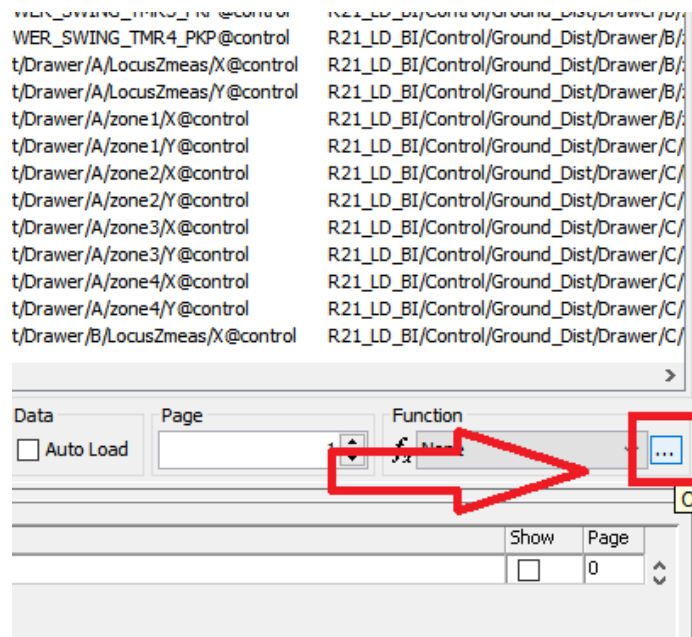


Figura A6.24. Ventana del programa ScopeView para mostrar funciones avanzadas.

- Buscar el nombre de la función Versus tal como se muestra a continuación.

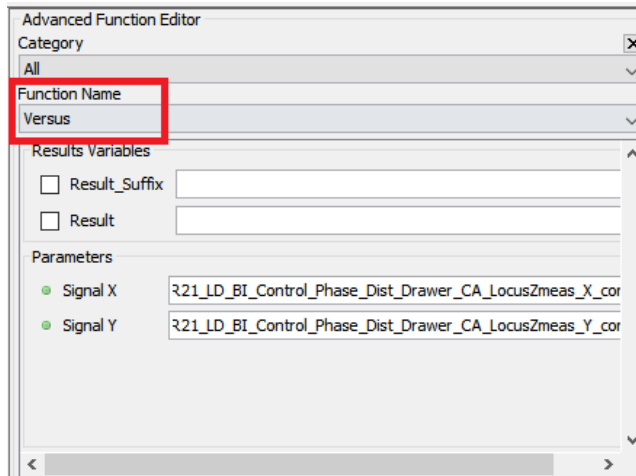


Figura A6.25. Ventana para editar funciones avanzadas en ScopeView.

- Seleccionar las señales que pertenecen al eje X y al eje Y. En el detalle de la señal se encuentra el eje al que corresponde.

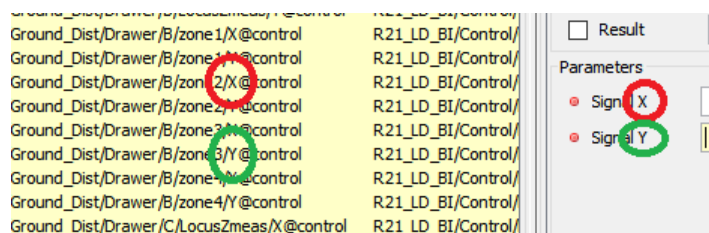


Figura A6.26. Identificación de las señales X y Y.

- Se da clic sobre Add Function y luego PLAY para apreciar la simulación.

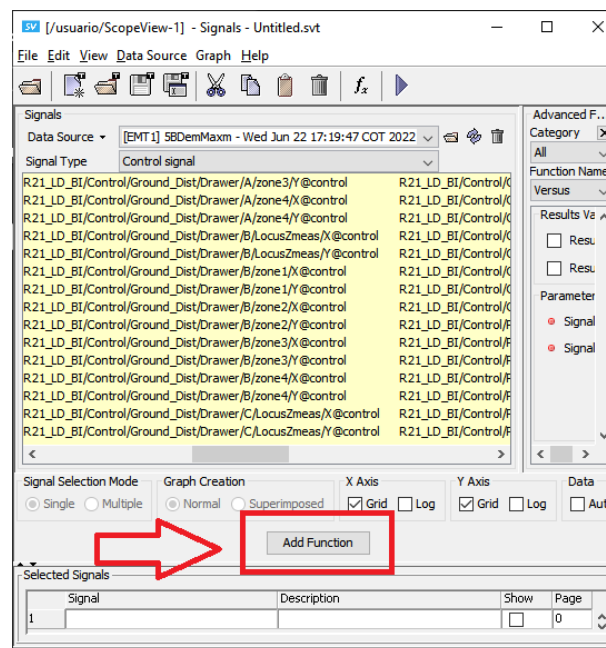


Figura A6.27. Ventana de ScopeView que muestra como añadir una función.

- Se debe realizar el mismo proceso con todas las zonas y para lazos fase – fase y fase – tierra.

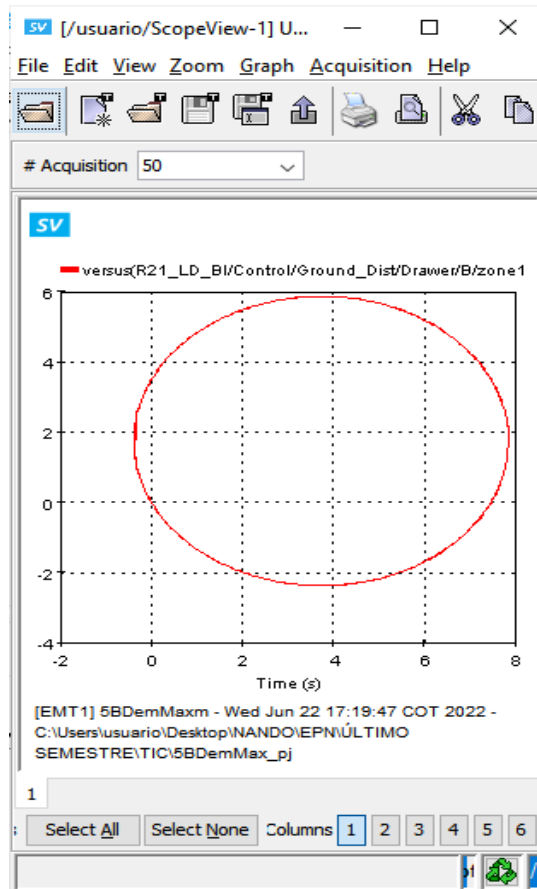


Figura A6.28. Ventana de ScopeView donde se muestra una zona simulada.