
ESTUDIO DE VERIFICACIÓN DE COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SISTEMA 500 kV NORTE

Informe Final

GERENCIA DE OPERACIÓN

Julio 2021

Estudio de Verificación de Coordinación de Protecciones Sistema 500 kV Norte
Informe preparado por el Departamento de Estudios Eléctricos

Rev.	Fecha	Comentario	Realizó	Revisó / Aprobó
1	07-07-2021	Informe Final	Carlos Alvear A. Carlos Fuentes C. Pedro Gobantes F.	Víctor Velar G.

Índice

Índice.....	iii
1 Resumen Ejecutivo	4
2 Introducción y Objetivos	8
3 Antecedentes	9
3.1 Antecedentes Operacionales del sistema 500 kV Norte	9
3.2 Horizonte de Análisis	9
3.3 Herramienta de Simulación Utilizada	9
4 Desarrollo de los Estudios	10
4.1 Adecuaciones a la Base de Datos	10
4.2 Escenarios de operación base	13
4.3 Metodología	14
4.4 Protecciones consideradas	16
4.5 Ubicaciones de fallas	29
4.6 Resultados del análisis de verificación	32
4.7 Análisis de resultados	38
5 Conclusiones y recomendaciones	39
6 Anexos	41

1 Resumen Ejecutivo

La Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NT) establece que el Coordinador debe realizar el Estudio de Verificación de Coordinación de las Protecciones del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual tiene por objeto verificar la adecuada coordinación de las protecciones de las instalaciones existentes de los Coordinados, motivadas por el impacto sobre el sistema debido a la modificación de instalaciones actuales o la incorporación de nuevas instalaciones no consideradas en la emisión de la versión anterior del estudio. Este estudio debe realizarse cada cuatro (4) años y puede ser revisado y ajustado en períodos menores si se producen incorporaciones o modificaciones importantes en el SEN que puedan afectar sus resultados.

En esta versión del Estudio se verifica la coordinación de las protecciones del sistema de 500 kV de la zona Norte del SEN, incluyendo las líneas de transmisión y transformadores de 500/220 kV comprendidos entre las subestaciones Kimal y Polpaico, debido a que esta es la zona que ha sufrido las mayores transformaciones desde octubre de 2016, que corresponde a la fecha analizada en la versión anterior del Estudio.

Esta porción del SEN se caracteriza por poseer bancos de condensadores serie en varias subestaciones intermedias, los cuales en condiciones de demanda baja suelen operar con sus interruptores de bypass cerrados para evitar sobretensiones y en condiciones de demanda media y alta con sus interruptores de bypass abiertos. Asimismo, en condiciones de demanda baja, con el mismo propósito de evitar sobretensiones, se suele operar con un solo circuito en servicio para las líneas 2x500 kV Cumbre – Nueva Cardones y Nueva Cardones – Maitencillo, mientras que, en condiciones de demanda media y alta, operan todas las líneas con ambos circuitos en servicio.

En base a estos antecedentes operacionales, los escenarios escogidos para el análisis corresponden a uno de demanda baja con bajo nivel de cortocircuito y otro de demanda media con alto nivel de cortocircuito. El escenario de demanda baja corresponde a una condición de noche con baja generación renovable y transferencias medias en el sentido norte-sur por el sistema analizado, mientras que el escenario de demanda media corresponde a una condición de día con alta generación renovable y altas transferencias en el sentido norte-sur por el sistema analizado.

De acuerdo con lo señalado en la NT, el Estudio debe realizarse considerando las instalaciones existentes de los Coordinados. En conformidad con lo anterior, se utilizó la base de datos DigSILENT del SEN actualizada por el Coordinador a junio de 2020, fecha que corresponde al inicio de la recopilación de antecedentes para el Estudio.

En el escenario de demanda media, en el cual los condensadores serie se encuentran en servicio, se modelaron estos como impedancias no lineales de manera de representar correctamente los tres estados que pueden adoptar en función de la corriente de conducción: modo condensador, modo varistor o modo bypass.

Todos los transformadores, barras y la mayoría de las líneas de transmisión del sistema analizado poseen como protección principal un doble esquema de protecciones diferenciales (87), y en el caso de líneas de transmisión, a lo menos un esquema de teleprotecciones (85) con retardo de 150 ms. Las únicas excepciones son las líneas Nueva Cardones – Nueva Maitencillo y Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, que tienen como protecciones principales una protección diferencial y un doble esquema de teleprotecciones sin retardo.

Es importante señalar que, con el fin minimizar los riesgos de operación errónea por los efectos de las compensaciones serie (CCSS), los sistemas de protección de las líneas de transmisión analizadas contemplan las siguientes medidas, las cuales fueron debidamente consideradas en el presente estudio:

1. En la mayoría de las líneas de transmisión, la zona 1 de las protecciones de distancia está normalmente bloqueada y se activa sólo ante la indisponibilidad de las protecciones principales de ambos sistemas. Sólo en el caso de la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar se encuentra permanentemente activa, según el ECAP correspondiente.
2. La operación de las funciones de protección que detectan fallas internas en la línea (87L y 85), así como el arranque de la zona 1 de la protección de distancia, cuando se encuentra operativa, generan una orden de puenteo (monopolar) externo sobre la CCSS local. Además de permitir un mejor desempeño de las protecciones de distancia, este puenteo forzado de la CCSS elimina el riesgo de inserción de la línea estando conectada la CCSS.
3. En la mayoría de las líneas de transmisión se aplica un retardo de 150 ms a la zona 1, con el fin de dar tiempo a que se genere el bypass de las CCSS. La única excepción es la línea Nueva Cardones – Nueva Maitencillo, para la cual, según el ECAP correspondiente, no habría riesgos de operación errónea sin el retardo mencionado.
4. En las líneas comprendidas entre las SS/EE Kimal y Nueva Cardones, que cuentan con un doble esquema de protecciones diferenciales, también se aplica un retardo de 150 ms a las teleprotecciones.

En este estudio no se analizan las protecciones diferenciales ni las teleprotecciones, ya que por su naturaleza no son coordinables entre sí ni con otras protecciones. Las protecciones analizadas en este estudio corresponden a las denominadas no unitarias, que en el sistema analizado operan como respaldo de las funciones diferenciales y teleprotecciones. Por lo tanto, el supuesto considerado en el análisis de verificación de la coordinación es que se encuentran fuera de servicio dichas protecciones principales del elemento fallado. Así, las funciones de protección que se analizan en este estudio son las siguientes:

- Protecciones de distancia de fase, de distancia de tierra y de sobrecorriente residual direccional de las líneas de transmisión (21/21N/67N).
- Protecciones de sobrecorriente de fase y residual de los autotransformadores de 500/220 kV (50/51/50N/51N).

Con respecto a la metodología de cálculo, se empleó el denominado “Método Completo” de cálculo de cortocircuitos, el cual considera los valores prefalla del sistema derivados del flujo de potencia. Asimismo, se utilizó un algoritmo derivado de la herramienta “Traza de Cortocircuito” del PowerFactory de DlgSILENT, que consiste en un método en régimen permanente que muestra la respuesta de las protecciones en pasos discretos de tiempo, considerando la apertura secuencial de los interruptores y los efectos de estas aperturas sobre las corrientes de falla y los tiempos de operación de las protecciones.

Con respecto a las fallas consideradas, los estudios contemplaron cortocircuitos monofásicos con resistencia de falla de 0 Ohm (1F-0) y 25 Ohm (1F-25), bifásicos a tierra (2FT-0) y trifásicos (3F-0). Se analizaron fallas al 5%, 50% y 95% de las líneas de transmisión, fallas internas en ambos lados de los transformadores de 500/220 kV y fallas en las barras de 500 kV. Como criterio de coordinación, se consideró el Paso de Coordinación mínimo de 300 ms establecido en el Artículo 5-40 de la NT.

A partir del análisis realizado se puede concluir lo siguiente:

- El hecho de que todas las líneas de transmisión, transformadores de 500/220 kV y barras de 500 kV del sistema analizado posean protecciones principales redundantes del tipo unitarias, sumado al bloqueo en condiciones normales de las zonas 1 de las protecciones de distancia en la mayoría de las líneas de transmisión, asegura una adecuada coordinación mientras se encuentren en servicio dichas protecciones principales. En el caso particular de la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, que es la única en la que se encuentran permanentemente activas las zonas 1 según el ECAP correspondiente, la temporización de estas zonas asegura la coordinación, aunque podrían presentarse pasos de coordinación menores que los 300 ms exigidos por la Norma Técnica.
- En el caso de que se encuentren fuera de servicio las protecciones principales de un circuito de 500 kV, de un transformador 500/220 kV o de una barra de 500 kV, y ocurra una falla en dicho elemento, que es la condición analizada en este estudio, se podrían producir algunas descoordinaciones entre las protecciones no unitarias que operan como respaldo de dichas protecciones principales y las protecciones de los elementos adyacentes. En los casos de fallas en líneas, las descoordinaciones involucran principalmente a las zonas 2 del circuito paralelo al circuito fallado. En los casos de fallas en transformadores y barras, las protecciones que principalmente descoordinan son las zonas 2 de las protecciones de distancia del extremo remoto de las líneas adyacentes al elemento fallado.
- Hay algunos casos de fallas en la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar en que descoordinan en respaldo las zonas 1 de las protecciones de distancia del circuito paralelo. Algunas de estas descoordinaciones podrían evitarse si se mantuvieran deshabilitadas normalmente dichas zonas, tal como se encuentra configurado en el resto de las líneas del sistema analizado.

- Para fallas internas en los transformadores de la S/E Polpaico resultan descoordinaciones en respaldo para todos los tipos de falla analizados, tanto en 500 kV como en 220 kV, que involucran tanto a las zonas 2 de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico, como a las protecciones de sobrecorriente del transformador en paralelo al transformador fallado. Esto se debe a que las protecciones de sobrecorriente de dichos transformadores sólo cuentan con elementos de tiempo definido y con un tiempo de operación de 2.4 segundos.

En conformidad con lo anterior, se recomienda evaluar la necesidad y pertinencia de eventuales modificaciones a los ajustes de las funciones de protección estudiadas, en particular considerando:

- La posibilidad de dejar inhabilitadas normalmente las primeras zonas de las protecciones de distancia de la línea de 500 kV Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, tal como en el resto de las líneas de transmisión del sistema analizado.
- La posibilidad de habilitar elementos de sobrecorriente de tiempo inverso en las protecciones de los transformadores de 500/220 kV de la S/E Polpaico, lo que podría evitar las descoordinaciones que se producen para todo tipo de fallas internas en ambos lados de dichos transformadores.

2 Introducción y Objetivos

La Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NT) establece que el Coordinador debe realizar el Estudio de Verificación de Coordinación de las Protecciones del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Este estudio tiene por objeto verificar la adecuada coordinación de las protecciones de las instalaciones existentes de los Coordinados, motivadas por el impacto sobre el sistema debido a la modificación de instalaciones actuales o la incorporación de nuevas instalaciones no consideradas en la emisión de la versión anterior de este estudio. La periodicidad del estudio será cada cuatro (4) años y podrá ser revisado y ajustado en períodos menores si se producen incorporaciones o modificaciones importantes en el SEN que puedan afectar sus resultados.

Los estudios deberán identificar los sistemas de protección que presentan deficiencias de coordinación, así como las instalaciones que resultan afectadas.

En esta versión del Estudio se verifica la coordinación de las protecciones del sistema de 500 kV de la zona Norte del SEN, incluyendo las líneas de transmisión, transformadores de 500/220 kV y barras de 500 kV comprendidos entre las subestaciones Kimal y Polpaico, debido a que esta zona ha sufrido las mayores transformaciones desde octubre de 2016, que corresponde a la fecha analizada en la versión anterior del Estudio. Cabe señalar que dicha versión contempló el análisis de las protecciones de los sistemas de 220 y 500 kV relacionadas con las instalaciones que se incorporaron al sistema después de la versión del año 2013 del Estudio.

La realización del Estudio de Verificación de Coordinación de las Protecciones no libera de responsabilidad a los Coordinados de contar con sus propios estudios de coordinación de protecciones y que éstas operen en forma correcta.

3 Antecedentes

3.1 Antecedentes Operacionales del sistema 500 kV Norte

A continuación, se describen las principales características operacionales de sistema de 500 kV norte analizado.

El sistema norte de 500 kV tiene una longitud aproximada de 1485 km, que se extiende desde la subestación Kimal, en la región de Antofagasta, hasta la subestación Polpaico en la región Metropolitana. Debido a que esta porción del SEN forma un nexo entre la zona Norte Grande y el Centro Sur del país, durante el día se generan flujos en dirección Norte – Sur que permite transmitir la generación térmica y renovable hacia las zonas de mayor consumo del país.

Esta porción del SEN se caracteriza por poseer compensaciones serie en varias subestaciones intermedias, los cuales en condiciones de demanda baja suelen operar con sus interruptores de bypass cerrados para evitar sobretensiones. Por otra parte, en condiciones de demanda alta o media los condensadores serie operan con sus interruptores de bypass abiertos, compensando adecuadamente las líneas de transmisión.

Asimismo, en condiciones de demanda baja y con el mismo propósito de evitar sobretensiones, se suele operar con un solo circuito en servicio las líneas 2x500 kV Cumbre – Nueva Cardones y Nueva Cardones – Maitencillo, mientras que, en condiciones de demanda alta o media, operan todas las líneas con ambos circuitos en servicio.

3.2 Horizonte de Análisis

De acuerdo con lo señalado en la NT, el Estudio de Verificación de Coordinación de las Protecciones del Sistema Eléctrico Nacional se deberá realizar considerando las instalaciones existentes de los Coordinados. En conformidad con lo anterior, se utilizó la base de datos DIgSILENT del SEN actualizada por el Coordinador a junio de 2020, fecha que corresponde al inicio de la recopilación de antecedentes para este estudio.

3.3 Herramienta de Simulación Utilizada

Para la simulación del sistema se utilizó el software PowerFactory de DIgSILENT activado con la licencia de análisis de protecciones y una base de datos del SEN actualizada por el Coordinador a junio de 2020, la que fue adecuada en función de los objetivos del estudio.

4 Desarrollo de los Estudios

4.1 Adecuaciones a la Base de Datos

Para el desarrollo de los estudios fue necesario realizar ciertas adecuaciones a la base de datos DigSILENT del SEN con el objetivo de representar de mejor manera la operación real del sistema. Estas adecuaciones, se detallan a continuación.

- Se crearon e incorporaron a la base de datos DIGSILENT modelos de protección específicos para las funciones: 21, 21N, 67N, 50, 51, 51N.
- Se incorporaron los ajustes de protección a los modelos anteriores, junto con sus respectivos transformadores de medida. La información base se puede encontrar en la página web de la Infotécnica del Coordinador <https://infotecnica.coordinador.cl/>.
- Se modelaron e incorporaron lógicas de operación particulares, como bloqueo/desbloqueo de la zona 1 de operación de las funciones 21/21N y bypass de las Compensaciones serie (CCSS) por detección de falla en zona 1 en función de la localidad de la falla.
- En los escenarios de estudio en donde un circuito se encontraba en servicio y el paralelo fuera de servicio, fue puesto este último a tierra en ambos extremos.
- En los escenarios de estudio en donde los CCSS se encontraban en servicio, estos se modelaron como impedancias no lineales de manera de representar correctamente los tres estados que pueden adoptar los CCSS en función de la corriente de conducción:
 - Modo condensador.
 - Modo varistor.
 - Modo bypass.

En las siguientes figuras, se muestran los CCSS en modo varistor (impedancias no lineales), donde tanto la resistencia como la reactancia son funciones de la corriente por la línea (IL) correspondiente. El modo condensador se presenta para IL menores a la indicada en el punto izquierdo en la figura. El modo bypass se presenta para IL mayores a la indicada en el punto derecho en la figura.

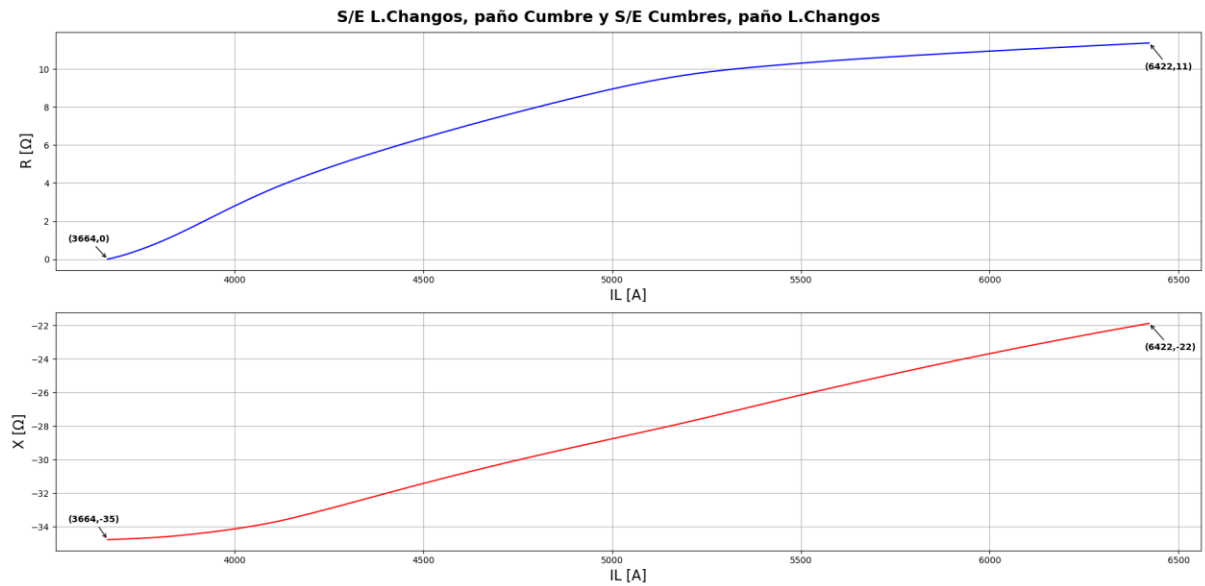


Figura 4.1 Modo Varistor CCSS S/E L.Changos, paño Cumbre y S/E Cumbre, paño L.Changos

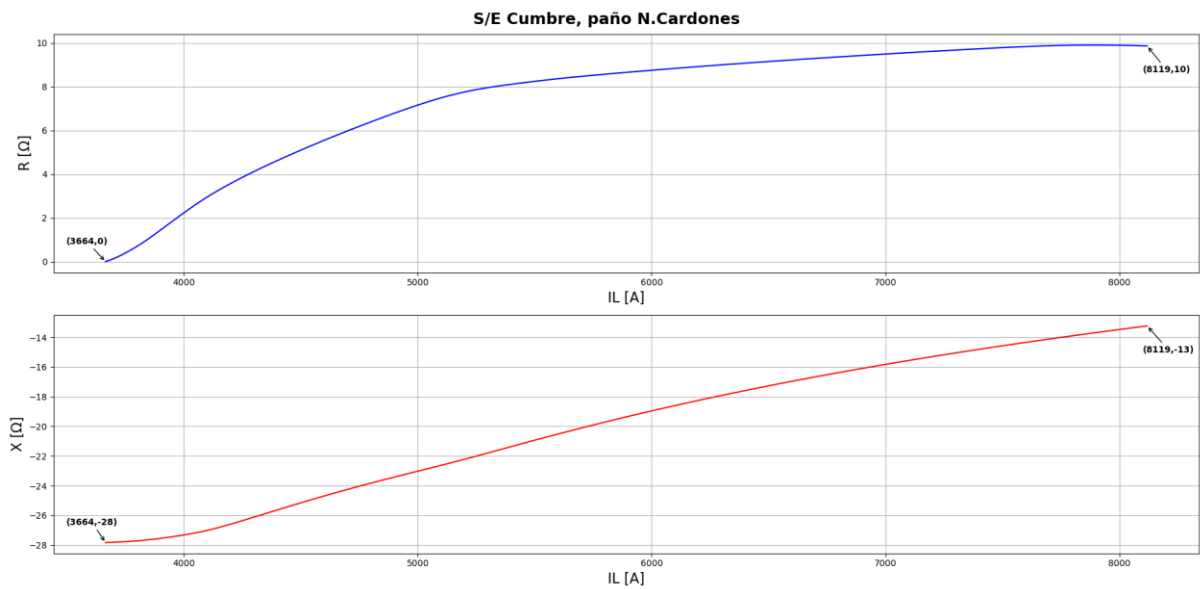


Figura 4.2 Modo Varistor CCSS S/E Cumbre, paño N.Cardones

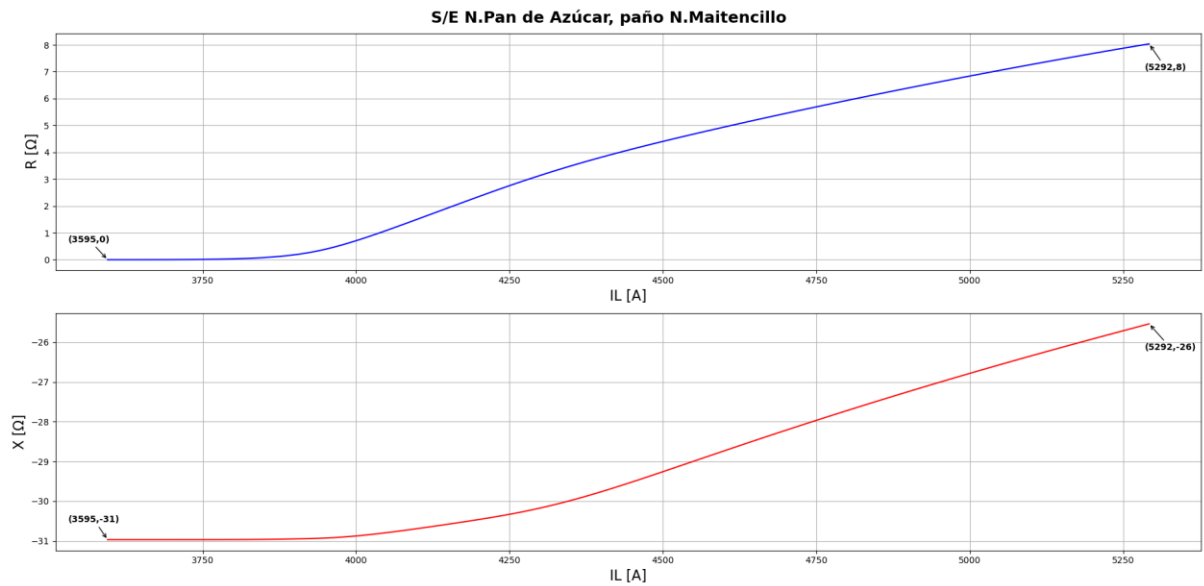


Figura 4.3 Modo Varistor CCSS S/E N.Pan de Azúcar, paño N.Maitencillo

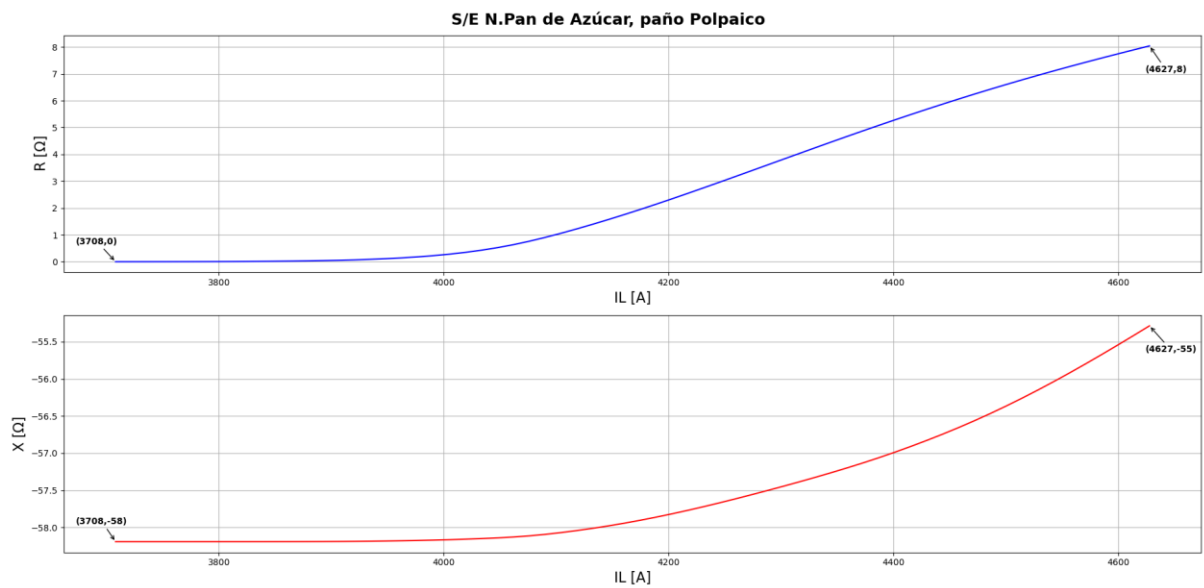


Figura 4.4 Modo Varistor CCSS S/E N.Pan de Azúcar, paño Polpaico

4.2 Escenarios de operación base

En función de los antecedentes operacionales descritos en el Punto 3.1, los escenarios escogidos para el análisis corresponden a uno de demanda baja y otro de demanda media, los cuales equivalen a condiciones de bajo y alto nivel de cortocircuito, respectivamente.

En las tablas siguientes se muestran las características principales de los escenarios de operación preparados para realizar los estudios. Estos escenarios se derivaron de los contenidos en la base de datos DIgSILENT de Junio 2020 del Coordinador, seleccionándolos en función del nivel de cortocircuito en el sistema considerado. Así, el escenario “01_Alto Nivel de CC” se derivó del escenario “Laboral - Dda Media” y el escenario “02_Bajo Nivel de CC” se derivó del escenario “Domingo - Dda Baja”. En la Tabla 4.1 se indican los niveles de demanda, generación total (sincrónica y ERV), generación ERV y las principales transferencias por el sistema de 500 kV Norte. En la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 se presentan los niveles de cortocircuito en las barras de las subestaciones de 500/220 kV. Como se puede apreciar en la Tabla 4.1, el escenario “01_Alto Nivel de CC” corresponde a una condición de día con alta generación renovable y altas transferencias en el sentido norte-sur por el sistema analizado, mientras que el escenario “02_Bajo Nivel de CC” corresponde a una condición de noche con baja generación renovable y transferencias medias en el sentido norte-sur por el sistema analizado.

En el escenario “01_Alto Nivel de CC” se consideran todos los circuitos del sistema de 500 kV en servicio y todas las compensaciones serie de dicho sistema en servicio, excepto la del extremo Cumbre de la línea Los Changos-Cumbre. En el escenario “02_Bajo Nivel de CC”, en cambio, se considera un circuito fuera de servicio en las líneas de 500 kV Cumbres – Nueva Cardones y Nueva Cardones – Maitencillo, y todas las compensaciones serie fuera de servicio (bypass cerrado).

Tabla 4.1 Características de los escenarios en estudio

	Demanda MW	Generación total MW	Generación ERV MW	Los Changos→Cumbre MW	Nva.P.Azúcar→Polpaico MW
01_Alto Nivel de CC	8642	9070	1940	1093	1840
02_Bajo Nivel de CC	7017	7272	101	905	748

Tabla 4.2 Nivel de cortocircuito barras 500 kV

Escenario	Nivel de cortocircuito Skss [MVA] en barras 500 kV						
	Kimal	Los Changos	Cumbre	N.Cardones	N.Maitencillo	N.Pan de Azúcar	Polpaico
01_Alto Nivel CC	7537	9311	7968	8221	8803	8937	11550
02_Bajo Nivel CC	6852	8128	5147	5196	5979	6382	10021

Tabla 4.3 Nivel de cortocircuito barras 220 kV

Escenario	Nivel de cortocircuito Skss [MVA] en barras 220 kV						
	Kimal	Los Changos	Cumbre	N.Cardones	N.Maitencillo	N.Pan de Azúcar	Polpaico
01_Alto Nivel CC	7712	10399	4188	4939	6507	4679	9933
02_Bajo Nivel CC	7088	9732	3335	3943	5609	4218	9521

4.3 Metodología

- **Método de cálculo de cortocircuito:** el método empleado para el cálculo de cortocircuitos correspondió al denominado “Método Completo”, es decir, considerando los valores prefalla del sistema, derivados de un flujo de potencia.
- **Herramienta utilizada:** la verificación de la coordinación de las protecciones se realizó utilizando un algoritmo derivado de la herramienta “Traza de Cortocircuito” del software PowerFactory de DlgSILENT, que consiste en un método de régimen permanente que muestra la respuesta de las protecciones en pasos discretos de tiempo, considerando la apertura secuencial de los interruptores y los efectos de estas aperturas sobre las corrientes de falla y los tiempos de operación de las protecciones. Básicamente el algoritmo responde al siguiente diagrama:

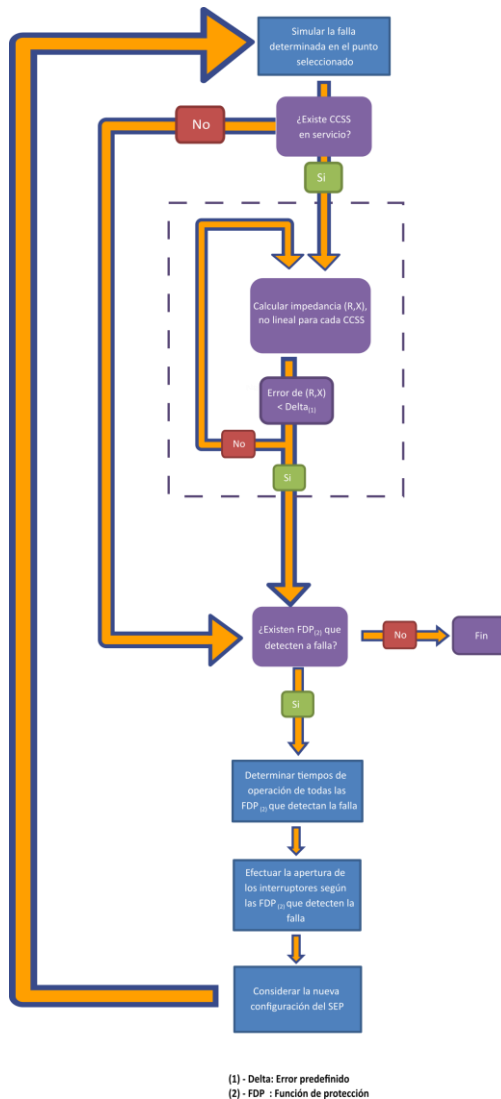


Figura 4.5 Diagrama Algoritmo de cálculo de cortocircuito y análisis de protecciones

- **Fallas consideradas:** los estudios contemplaron fallas del tipo cortocircuitos monofásicos con resistencia de falla de 0 Ohm (1F-0) y 25 Ohm (1F-25), bifásicos a tierra (2FT-0) y trifásicos (3F-0).
- **Localización de fallas:** para las líneas de transmisión, la localización de la falla se consideró al 5%, 50% y 95% de su longitud.
- **Criterio de coordinación:** se consideró el Paso de Coordinación mínimo de 300 ms establecido en el Artículo 5-40 de la NT.

4.4 Protecciones consideradas

En las Tabla 4.4, Tabla 4.5 y Tabla 4.6 se presenta un resumen de los sistemas de protección existentes en cada línea de transmisión de 500 kV, cada transformador de 500/220 kV y cada barra de 500 kV del sistema analizado respectivamente, indicándose para cada sistema de protección las funciones que emiten señal de trip. Para las líneas de transmisión también se indican los esquemas de teleprotección existentes y los sistemas que cuentan con dos grupos de ajustes.

Como se puede apreciar en la Tabla 4.4, las protecciones de las líneas de transmisión comprendidas entre las SS/EE Los Changos y Nueva Pan de Azúcar cuentan con dos grupos de ajustes. Estos grupos se activan en las siguientes condiciones de operación:

- Grupo 1: ambos circuitos en servicio.
- Grupo 2: circuito paralelo abierto.

Los cambios que introduce el Grupo 2 son la temporización de la protección de sobrevoltaje (59) y, sólo en el caso de las líneas Los Changos – Cumbre y Cumbre - Nueva Cardones, el factor de compensación homopolar (K0) de la protección de distancia de tierra (21N).

Como se observa en las tres tablas, todos los transformadores, barras y la mayoría de las líneas de transmisión del sistema analizado poseen como protección principal un doble esquema de protecciones diferenciales (87L), con las únicas excepciones de las líneas Nueva Cardones – Nueva Maitencillo y Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, que tienen como protecciones principales una protección diferencial y un doble esquema de teleprotecciones (85) sin retardo. Cabe señalar que las teleprotecciones de las líneas que poseen dos esquemas de protecciones diferenciales tienen ajustado un retardo de 150 ms, con el fin de minimizar los riesgos de operación errónea por los efectos de las compensaciones serie (CCSS), con la excepción de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico, para la cual según el ECAP correspondiente no se presentarían problemas debido a las CCSS.

Tabla 4.4 Resumen de protecciones de líneas de transmisión que emiten señal de trip

Línea de transmisión	Sistema	Modelo	Grupos de ajustes	87L	21	21N	67N	Emergencia				59	50BF	Esquemas de teleprotección
								50	51	50N	51N			
Kimal - Los Changos	1	SIEMENS 7SL87	1	✓	✓	✓	✓						✓	85-21 POTT, 85D-50BF
	2	SIEMENS 7SL87	1	✓	✓	✓	✓						✓	85D-50BF
Los Changos - Cumbre	1	ALSTOM P546	2	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	85-21 POTT, 85-67N POTT, 85D-50BF/59
	2	GE L90	2	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	85 HYBRID POTT, 85D-50BF/59
Cumbre - Nueva Cardones	1	ALSTOM P546	2	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	85-21 POTT, 85-67N POTT, 85D-50BF/59
	2	GE L90	2	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	85 HYBRID POTT, 85D-50BF/59
Nueva Cardones - Nueva Maitencillo	1	SIEMENS 7SL87	2	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
	2	SIEMENS 7SA87	2		✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar	1	SIEMENS 7SL87	2	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
	2	SIEMENS 7SA87	2		✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
Nueva Pan de Azúcar - Polpaico	1	SIEMENS 7SL87	1	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
	2	SIEMENS 7SL87	1	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓		85-21 POTT, 85-67N Dir.comp., 85D-59
	Único (Polp)	SIEMENS 7VK61	1										✓	

Tabla 4.5 Resumen de protecciones de transformadores que emiten señal de trip

Transformador	Sistema	Modelo	Grupos de ajustes	87T	500 kV				220 kV				50BF
					50	51	50N	51N	50	51	50N	51N	
Kimal ATR 1 y 2	1	SIEMENS 7UT86	1	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
	2	SIEMENS 7UT63	1	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
	Único	SIEMENS 7VK8											✓
Los Changos ATR 1 y 2	1	ALSTOM P645	1	✓	✓	✓		✓					✓
	2	ALSTOM P645	1	✓					✓	✓		✓	✓
Los Changos ATR 3	1	SIEMENS 7UT86	1	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
	2	SIEMENS 7UT63	1	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	
	Único	SIEMENS 7VK8											✓
Cumbre ATR 1	1	SIEMENS 7UT63	1	✓		✓		✓		✓		✓	✓
	2	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	✓
Nueva Cardones ATR 2	1	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
Nueva Maitencillo ATR 2	1	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
Nueva Pan de Azúcar ATR 2	1	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
	2	SIEMENS 7UT87	1	✓		✓		✓		✓		✓	
Polpaico ATR 1 y 2	1	SIEMENS 7UT613	1	✓									
	2	SIEMENS 7UT613	1	✓									
	2-2 (500 kV)	SIEMENS 7SJ611	1		✓		✓						
	2-2 (220 kV)	SIEMENS 7SJ611	1						✓		✓		

Tabla 4.6 Resumen de protecciones de barras de 500 kV que emiten señal de trip

Barra	Sistema	Modelo	Grupos de ajustes	87B	50BF	Esquemas de teleprotección
Kimal B1 y B2	1	SIEMENS 7SS52	1	✓		85D-50BF Ext.
	2	SIEMENS 7SS52	1	✓		85D-50BF Ext.
Los Changos B1 y B2	1	ALSTOM P741	1	✓		85D-50BF Ext.
	2	ALSTOM P743	1	✓		85D-50BF Ext.
Cumbre B1 y B2	1	ALSTOM P741	1	✓		85D-50BF Ext.
	2	ALSTOM P743	1	✓		85D-50BF Ext.
Nueva Cardones B1 y B2	1	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
	2	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
Nueva Matencillo B1 y B2	1	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
	2	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
Nueva Pan de Azúcar B1 y B2	1	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
	2	SIEMENS 7SS52	1	✓	✓	85D-50BF
Polpaico B1 y B2	1	SIEMENS 7SS52	1	✓		85D-50BF Ext.
	2	SIEMENS 7SS52	1	✓		85D-50BF Ext.

En este estudio no se analizan las protecciones diferenciales (87L, 87T, 87B) ni las teleprotecciones, ya que por su naturaleza no son coordinables entre sí ni con otras protecciones. Lo mismo aplica para las protecciones de sobretensión de las líneas de transmisión (59) y para las protecciones de respaldo ante falla de interruptor (50BF). Las protecciones analizadas en este estudio corresponden a las denominadas no unitarias, cuyas características básicas son:

- a) Presentan selectividad relativa, es decir, detectan fallas en más de una zona de protección.
- b) Pueden actuar como protecciones de respaldo remoto, al detectar fallas fuera de su zona de operación local.
- c) Sus magnitudes de operación son variables eléctricas tales como: corriente, tensión, impedancia, frecuencia y derivadas de estas, que permiten establecer el tiempo de respuesta de la protección.
- d) En general su coordinación requiere el ajuste de su tiempo de operación.

En el sistema analizado las protecciones no unitarias operan como respaldo de las funciones diferenciales y de las teleprotecciones. **Por lo tanto, el supuesto considerado en el análisis de verificación de la coordinación es que se encuentran fuera de servicio dichas protecciones principales del elemento fallado.** Se hace notar que, en el caso de líneas de transmisión, esta corresponde a una condición de operación transitoria, ya que cuando ocurre la pérdida total de los sistemas de comunicación de un circuito, se procede a tomar las medidas operacionales necesarias para posteriormente abrir dicho circuito.

Como se puede apreciar en la Tabla 4.4, la mayoría de las protecciones de líneas de transmisión tienen habilitadas funciones de sobrecorriente adireccional de emergencia. Dado que estas funciones se activan sólo ante la doble contingencia de indisponibilidad de las protecciones diferenciales y pérdida de la medición de tensión en los secundarios de los TTPP de ambos sistemas, tampoco se analizan en este estudio.

En resumen, las funciones de protección que se analizan en este estudio son las siguientes:

- Protecciones de distancia de fase, de distancia de tierra y de sobrecorriente residual direccional de las líneas de transmisión (21/21N/67N).
- Protecciones de sobrecorriente de fase y residual de los autotransformadores de 500/220 kV (50/51/50N/51N).

Es importante señalar que, con el fin minimizar los riesgos de operación errónea por los efectos de las CCSS, los sistemas de protección de las líneas de transmisión analizadas contemplan lo siguiente:

1. En la mayoría de las líneas de transmisión, la zona 1 de las protecciones de distancia está normalmente bloqueada y se activa sólo ante la indisponibilidad de las protecciones principales de ambos sistemas. Sólo en el caso de la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar se encuentra permanentemente activa, según el ECAP correspondiente.

2. La operación de las funciones de protección que detectan fallas internas en la línea (87L y 85), así como el arranque de la zona 1 de la protección de distancia, cuando se encuentra operativa, generan una orden de puenteo (monopolar) externo sobre la CCSS local. Además de permitir un mejor desempeño de las protecciones de distancia, este puenteo forzado de la CCSS elimina el riesgo de inserción de la línea estando conectada la CCSS.
3. En la mayoría de las líneas de transmisión se aplica un retardo de 150 ms a la zona 1, con el fin de dar tiempo a que se genere el bypass de las CCSS. La única excepción es la línea Nueva Cardones – Nueva Maitencillo, para la cual según el ECAP correspondiente no habría riesgos de operación errónea sin retardo.
4. En las líneas comprendidas entre las SS/EE Kimal y Nueva Cardones, que cuentan con un doble esquema de protecciones diferenciales, también se aplica un retardo de 150 ms a las teleprotecciones.

Es relevante destacar que para el presente estudio se aplicaron, cuando correspondía, las medidas señaladas en los puntos 1., 2. Y 3.

Estas medidas de mitigación de los efectos de las CCSS se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 4.7 Resumen de mitigaciones contra efectos de CCSS

Línea	Esquemas 87L	Retardo 85 (ms)	Bloqueo Z1	Retardo Z1 (ms)
Kimal - Los Chingos	2	150	87L activas	150
Los Chingos - Cumbre	2	150	87L activas	150
Cumbre - Nueva Cardones	2	150	87L activas	150
Nueva Cardones - Nueva Maitencillo	1	0	87L activas	0
Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar	1	0	-	150
Nueva Pan de Azúcar - Polpaico	2	0	87L activas	150

En la figura siguiente se muestra un diagrama unilineal del Sistema de 500 kV de la Zona Norte del SEN, con las protecciones consideradas en el análisis de verificación. En este diagrama se representa la topología base considerada para todos los escenarios de estudio. En la Tabla 4.8 se presenta una descripción de estas protecciones junto con sus respectivos transformadores de medida y en las tablas: Tabla 4.9, y Tabla 4.10 se detallan los ajustes considerados.

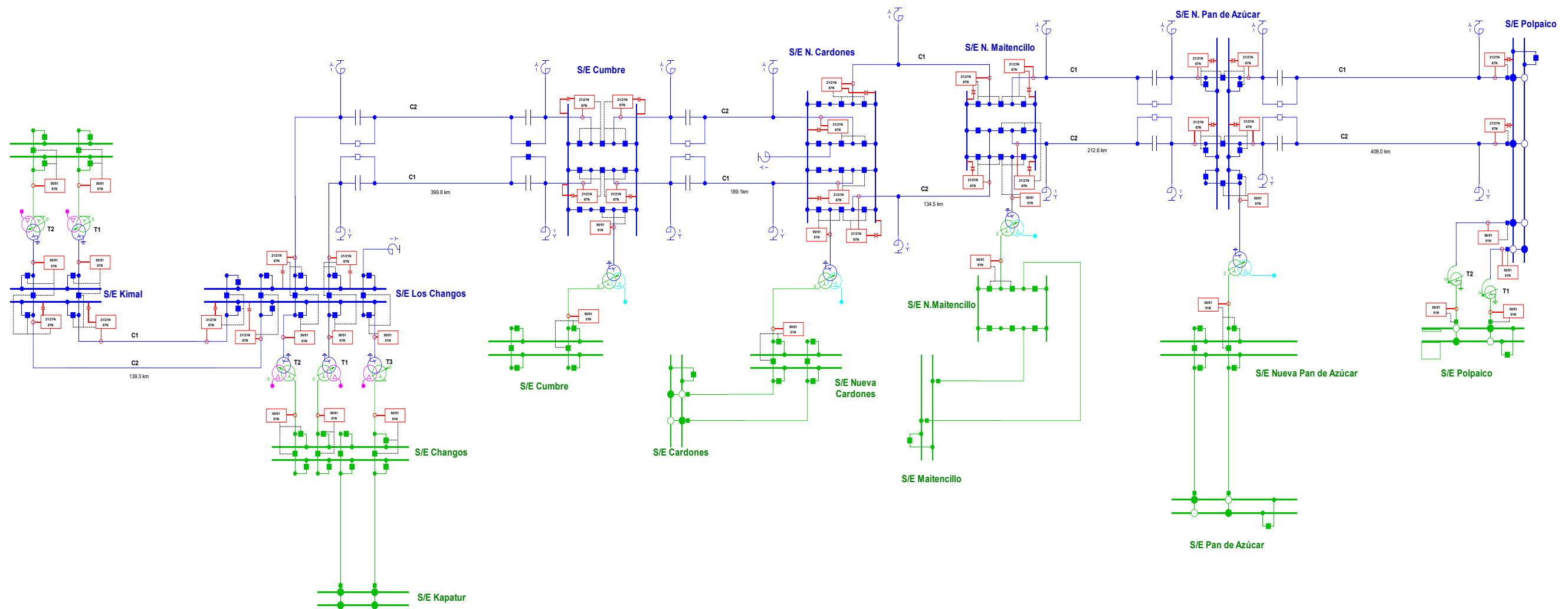


Figura 4.6 Diagrama unilineal con protecciones consideradas

Tabla 4.8 Protecciones consideradas

S/E	Paño	Modelo protección	Función de protección	TTCC [A pri./A sec.]	TTPP [kV pri./V sec.]
Kimal 500 kV	K2-K3 - Changos L1	SIEMENS 7SL87 (S1 y S2)	21_Kimal500/Changos1	3000/1	525/115
			21N_Kimal500/Changos1	3000/1	525/115
			67N_Kimal500/Changos1	3000/1	525/115
	K5-K6 - Changos L2	SIEMENS 7SL87 (S1 y S2)	21_Kimal500/Changos2	3000/1	525/115
			21N_Kimal500/Changos2	3000/1	525/115
			67N_Kimal500/Changos2	3000/1	525/115
	K1-K2 ATR1	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Kimal500/ATR1	3000/1	---
			51N_Kimal500/ATR1	3000/1	---
	K4-K5 ATR2	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Kimal500/ATR2	3000/1	---
			51N_Kimal500/ATR2	3000/1	---
Kimal 220 kV	J19-J20 ATR1	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Kimal220/ATR1	4000/1	---
			51N_Kimal220/ATR1	4000/1	---
	J22-J23 ATR2	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Kimal220/ATR2	4000/1	---
			51N_Kimal220/ATR2	4000/1	---
Los Changos 500 kV	K5-K6 - Cumbre L1	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_Changos500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21NS1_Changos500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21S2_Changos500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21NS2_Changos500/Cumbre1	2500/1	525/115
			67N_Changos500/Cumbre1	2500/1	525/115
	K8-K9 - Cumbre L2	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_Changos500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21NS1_Changos500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21S2_Changos500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21NS2_Changos500/Cumbre2	2500/1	525/115
			67N_Changos500/Cumbre2	2500/1	525/115
	K10-K11 - Kimal L1	SIEMENS 7SL87 (S1 y S2)	21_Changos500/Kimal1	3000/1	525/115
			21N_Changos500/Kimal1	3000/1	525/115
			67N_Changos500/Kimal1	3000/1	525/115
	K13-K14 - Kimal L2	SIEMENS 7SL87 (S1 y S2)	21_Changos500/Kimal2	3000/1	525/115
			21N_Changos500/Kimal2	3000/1	525/115
			67N_Changos500/Kimal2	3000/1	525/115
	K4-K5 ATR1	ALSTOM P645 (S1)	50/51_Changos500/ATR1	2500/1	---
			51N_Changos500/ATR1	2500/1	---
	K7-K8 ATR2	ALSTOM P645 (S1)	50/51_Changos500/ATR2	2500/1	---
			51N_Changos500/ATR2	2500/1	---
	K1-K2 ATR3	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Changos500/ATR3	2500/1	---
			51N_Changos500/ATR3	2500/1	---
Los Changos 220 kV	J2-J3 ATR1	ALSTOM P645 (S2)	50/51_Changos220/ATR1	4000/1	---
			51N_Changos220/ATR1	4000/1	---
	J5-J6 ATR2	ALSTOM P645 (S2)	50/51_Changos220/ATR2	4000/1	---
			51N_Changos220/ATR2	4000/1	---
	J8-J9 ATR3	SIEMENS 7UT86/7UT63 (S1 y S2)	50/51_Changos220/ATR3	4000/1	---
			51N_Changos220/ATR3	4000/1	---

Cumbre 500 kV	K1-K2 - Changos L1	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_Cumbre500/Changos1	2500/1	525/115
			21NS1_Cumbre500/Changos1	2500/1	525/115
			21S2_Cumbre500/Changos1	2500/1	525/115
			21NS2_Cumbre500/Changos1	2500/1	525/115
			67N_Cumbre500/Changos1	2500/1	525/115
	K4-K5- Changos L2	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_Cumbre500/Changos2	2500/1	525/115
			21NS1_Cumbre500/Changos2	2500/1	525/115
			21S2_Cumbre500/Changos2	2500/1	525/115
			21NS2_Cumbre500/Changos2	2500/1	525/115
	K2-K3 - N.Cardones L1	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	67N_Cumbre500/Changos2	2500/1	525/115
			21S1_Cumbre500/N.Cardones1	2500/1	525/115
			21NS1_Cumbre500/N.Cardones1	2500/1	525/115
			21S2_Cumbre500/N.Cardones1	2500/1	525/115
			21NS2_Cumbre500N.Cardones1	2500/1	525/115
	K5-K6 - N.Cardones L2	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	67N_Cumbre500/N.Cardones1	2500/1	525/115
			21S1_Cumbre500/N.Cardones2	2500/1	525/115
			21NS1_Cumbre500/N.Cardones2	2500/1	525/115
			21S2_Cumbre500/N.Cardones2	2500/1	525/115
			21NS2_Cumbre500/N.Cardones2	2500/1	525/115
	K8-K9 - ATR1	SIEMENS 7UT63/7UT87 (S1 y S2)	67N_Cumbre500/N.Cardones2	2500/1	525/115
			51_Cumbre500/ATR1	2000/1	---
Cumbre 220 kV	J2-J3 - ATR1	SIEMENS 7UT63/7UT87 (S1 y S2)	51N_Cumbre500/ATR1	2000/1	---
			51_Cumbre220/ATR1	2000/1	---
			51N_Cumbre220/ATR1	2000/1	---
Nueva Cardones 500 kV	K2-K3 - N.Maitencillo L1	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Cardones500/N.Maitencillo1	2500/1	500/110
			21N_N.Cardones500/Maitencillo1	2500/1	500/110
			67N_N.Cardones500/Maitencillo1	2500/1	500/110
	K5-K6 - N.Maitencillo L2	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Cardones500/N.Maitencillo1	2500/1	500/110
			21N_N.Cardones500/Maitencillo1	2500/1	500/110
			67N_N.Cardones500/Maitencillo1	2500/1	500/110
	K11-K12 - Cumbre L1	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_N.Cardones500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21NS1_N.Cardones500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21S2_N.Cardones500/Cumbre1	2500/1	525/115
			21NS2_N.Cardones500/Cumbre1	2500/1	525/115
			67N_N.Cardones500/Cumbre1	2500/1	525/115
	K8-K9 - Cumbre L2	ALSTOM P546/GE L90 (S1 y S2)	21S1_N.Cardones500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21NS1_N.Cardones500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21S2_N.Cardones500/Cumbre2	2500/1	525/115
			21NS2_N.Cardones500/Cumbre2	2500/1	525/115
			67N_N.Cardones500/Cumbre2	2500/1	525/115
	K8-K9 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.Cardones500/ATR2	2500/1	---
			51N_N.Cardones500/ATR2	2500/1	---

Nueva Cardones 220 kV	J4-J5 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.Cardones220/ATR2	2500/1	—
			51N_N.Cardones220/ATR2	2500/1	—
Nueva Maitencillo 500 kV	K11-K12 - N.Cardones L1	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Maitencillo500/N.Cardones1	2500/1	500/110
			21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	2500/1	500/110
			67N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	2500/1	500/110
	K8-K9 - N.Cardones L2	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Maitencillo500/N.Cardones2	2500/1	500/110
			21N_N.Maitencillo500/N.Cardones2	2500/1	500/110
			67N_N.Maitencillo500/N.Cardones2	2500/1	500/110
	K10-K11 - N.P.Azúcar L1	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1	2500/1	500/110
			21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1	2500/1	500/110
			67N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1	2500/1	500/110
	K7-K8 - N.P.Azúcar L2	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2500/1	500/110
			21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2500/1	500/110
			67N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2500/1	500/110
	K4-K5 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.Maitencillo500/ATR2	2500/1	—
			51N_N.Maitencillo500/ATR2	2500/1	—
Nueva Maitencillo 220 kV	J4-J5 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.Maitencillo220/ATR2	2500/1	—
			51N_N.Maitencillo220/ATR2	2500/1	—
Nueva Pan de Azúcar 500 kV	K8-K9 - N.Maitencillo L1	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1	2500/1	500/110
			21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1	2500/1	500/110
			67N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1	2500/1	500/110
	K11-K12- N.Maitencillo L2	SIEMENS 7SL87/7SA87 (S1 y S2)	21_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2	2500/1	500/110
			21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2	2500/1	500/110
			67N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2	2500/1	500/110
	K7-K8 - Polpaico L1	SIEMENS 7SL87(S1 y S2)	21_N.P.Azúcar500/Polpaico1	2500/1	500/110
			21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1	2500/1	500/110
			67N_N.P.Azúcar500/Polpaico1	2500/1	500/110
	K10-11- Polpaico L2	SIEMENS 7SL87(S1 y S2)	21_N.P.Azúcar500/Polpaico2	2500/1	500/110
			21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	2500/1	500/110
			67N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	2500/1	500/110
	K4-K5 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.P.Azúcar500/ATR2	2500/1	—
			51N_N.P.Azúcar500/ATR2	2500/1	—
	J4-J5 - ATR2	SIEMENS 7UT87 (S1 y S2)	51_N.P.Azúcar220/ATR2	2500/1	—
			51N_N.P.Azúcar220/ATR2	2500/1	—
Polpaico 500 kV	K3 - N.P.Azúcar L1	SIEMENS 7SL87(S1 y S2)	21_Polpaico500/N.P.Azúcar1	2000/1	500/110
			21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	2000/1	500/110
			67N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	2000/1	500/110
	K4 - N.P.Azúcar L2	SIEMENS 7SL87(S1 y S2)	21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	2000/1	500/110
			21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	2000/1	500/110
			67N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	2000/1	500/110
	KT1 - ATR1	SIEMENS 7SJ611 (S2-2)	51_Polpaico500/ATR1	1600/1	—
			51N_Polpaico500/ATR1	1600/1	—
Polpaico 220 kV	JT1 - ATR1	SIEMENS 7SJ611 (S2-2)	51_Polpaico500/ATR2	1600/1	—
			51N_Polpaico500/ATR2	1600/1	—
	JT2 - ATR1	SIEMENS 7SJ611 (S2-2)	51_Polpaico220/ATR1	2000/1	—
			51N_Polpaico220/ATR1	2000/1	—
			51_Polpaico220/ATR2	2000/1	—
			51N_Polpaico220/ATR2	2000/1	—

Tabla 4.9 Ajustes funciones de protección de corriente

Subestación	Función de protección	Sistema	Pickup (51)	Tiempo Dial (51)	Tiempo adicional (s)	Curva (51)	Pick Up (50)	Tiempo definido (50)
			(A pri.)				(A pri.)	
Kimal 500 kV	67N_Kimal500/Changos1	S1 y S2	300	0.3	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Kimal500/Changos2	S1 y S2	300	0.3	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Kimal500/ATR1	S1 y S2	1170	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Kimal500/ATR1	S1 y S2	330	0.22	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Kimal500/ATR2	S1 y S2	1155	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Kimal500/ATR2	S1 y S2	330	0.22	0	IEC Normal Inverse	---	---
Kimal 220 kV	50/51_Kimal220/ATR1	S1 y S2	2640	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Kimal220/ATR1	S1 y S2	760	0.26	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Kimal220/ATR2	S1 y S2	2640	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Kimal220/ATR2	S1 y S2	760	0.26	0	IEC Normal Inverse	---	---
Los Changos 500 kV	67N_Changos500/Cumbre1	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Changos500/Cumbre2	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Changos500/Kimal1	S1 y S2	300	0.3	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Changos500/Kimal2	S1 y S2	300	0.3	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Changos500/ATR1	S1 y S2	1150	0.125	0	IEC Normal Inverse	5000	0.3
	51N_Changos500/ATR1	S1 y S2	325	0.225	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Changos500/ATR2	S1 y S2	1150	0.125	0	IEC Normal Inverse	5000	0.3
	51N_Changos500/ATR2	S1 y S2	325	0.225	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Changos500/ATR3	S1 y S2	1150	0.12	0	IEC Normal Inverse	5000	0.3
Los Changos 220 kV	50/51_Changos220/ATR1	S1 y S2	2640	0.125	0	IEC Normal Inverse	8720	0.3
	51N_Changos220/ATR1	S1 y S2	760	0.25	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Changos220/ATR2	S1 y S2	2640	0.125	0	IEC Normal Inverse	8720	0.3
	51N_Changos220/ATR2	S1 y S2	760	0.25	0	IEC Normal Inverse	---	---
	50/51_Changos220/ATR3	S1 y S2	2640	0.12	0	IEC Normal Inverse	8720	0.3
	51N_Changos220/ATR3	S1 y S2	760	0.26	0	IEC Normal Inverse	---	---
Cumbre 500 kV	67N_Cumbre500/Changos1	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Cumbre500/Changos2	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Cumbre500/N.Cardones1	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Cumbre500/N.Cardones2	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51_Cumbre500/ATR1	S1 y S2	1080	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Cumbre500/ATR1	S1 y S2	340	0.25	0	IEC Normal Inverse	---	---
Cumbre 220 kV	51_Cumbre220/ATR1	S1 y S2	2440	0.09	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_Cumbre220/ATR1	S1 y S2	760	0.3	0	IEC Normal Inverse	---	---
N.Cardones 500 kV	67N_N.Cardones500/Maitencillo1	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Cardones500/Maitencillo1	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Cardones500/Cumbre1	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Cardones500/Cumbre2	S1 y S2	250	0.2	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51_N.Cardones500/ATR2	S1 y S2	1075	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.Cardones500/ATR2	S1 y S2	325	0.22	0	IEC Normal Inverse	---	---

N. Cardones 220 kV	51_N.Cardones220/ATR2	S1 y S2	2450	0.09	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.Cardones220/ATR2	S1 y S2	750	0.26	0	IEC Normal Inverse	---	---
N. Maitencillo 500 kV	67N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Maitencillo500/N.Cardones2	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	51_N.Maitencillo500/ATR2	S1 y S2	1075	0.11	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.Maitencillo500/ATR2	S1 y S2	325	0.25	0	IEC Normal Inverse	---	---
N. Maitencillo 220 kV	51_N.Maitencillo220/ATR2	S1 y S2	2450	0.07	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.Maitencillo220/ATR2	S1 y S2	750	0.32	0	IEC Normal Inverse	---	---
N. Pan de Azúcar 500 kV	67N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2	S1 y S2	250	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.P.Azúcar500/Polpaico1	S1 y S2	200	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	S1 y S2	200	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	51_N.P.Azúcar500/ATR2	S1 y S2	1075	0.12	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.P.Azúcar500/ATR2	S1 y S2	325	0.22	0	IEC Normal Inverse	---	---
N. Pan de Azúcar 220 kV	51_N.P.Azúcar220/ATR2	S1 y S2	2450	0.09	0	IEC Normal Inverse	---	---
	51N_N.P.Azúcar220/ATR2	S1 y S2	750	0.26	0	IEC Normal Inverse	---	---
Polpaico 500 kV	67N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	S1 y S2	200	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	67N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	S1 y S2	200	0.05	1	IEC Normal Inverse	---	---
	50_Polpaico500/ATR1	S1	---	---	---	---	1040	2.4
	50N_Polpaico500/ATR1	S1	---	---	---	---	320	2.4
	50_Polpaico500/ATR2	S1	---	---	---	---	1040	2.4
	50N_Polpaico500/ATR2	S1	---	---	---	---	320	2.4
Polpaico 220 kV	51_Polpaico220/ATR1	S1	---	---	---	---	2360	2.4
	51N_Polpaico220/ATR1	S1	---	---	---	---	400	2.4
	51_Polpaico220/ATR2	S1	---	---	---	---	2360	2.4
	51N_Polpaico220/ATR2	S1	---	---	---	---	400	2.4

Tabla 4.10 Ajustes funciones de protección de distancia

Subestación	Función de protección	Sistema	Característica	K0	Zona	Z f-f	Z f-t	X	R f-f	R f-t	Tiempo (s)	Direccionalidad	Zona De carga		
						[Ohm pri.]	[Ohm pri.]	[Ohm pri.]	[Ohm pri.]	[Ohm pri.]			Z< [Ohm pri.]	φ [°]	block V< [kV]
Kimal 500 kV	21_Kimal500Changos1 21N_Kimal500Changos1 21_Kimal500Changos2 21N_Kimal500Changos2	S1 y S2	Cuad <85°	1.260 < -12.00°	1	---	---	22.126	44.237	22.126	0.15	Forward	---	---	---
				2.130 < -12.00°	2	---	---	51.617	103.234	51.617	0.30	Forward	---	---	---
					3	---	---	81.109	162.217	81.109	1.50	Forward	---	---	---
					4	---	---	22.126	110.007	54.996	2.00	Reverse	---	---	---
Los Changos 500 kV	21S1_Changos500/Cumbre1 21S2_Changos500/Cumbre1 21NS1_Changos500/Cumbre1 21NS2_Changos500/Cumbre1 21S1_Changos500/Cumbre2 21S2_Changos500/Cumbre2 21NS1_Changos500/Cumbre2 21NS2_Changos500/Cumbre2	S1	Mho <50°	1.96 < -12.00°	1	33.783	33.783	---	---	---	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	145.173	145.173	---	---	---	0.60	Forward			
					3	186.261	186.261	---	---	---	1.30	Forward			
					4	25.748	25.748	---	---	---	2.00	Reverse			
		S2	Cuad <84°	20/21 = 6.87 < -10°	1	---	---	29.710	29.710	59.420	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	---	---	128.009	128.009	256.018	0.60	Forward			
					3	---	---	164.549	164.549	329.098	1.30	Forward			
					4	---	---	23.173	139.057	278.114	2.00	Reverse			
	21_Changos500/Kimal1 21N_Changos500/Kimal1 21_Changos500/Kimal2 21N_Changos500/Kimal2	S1 y S2	Cuad <85°	1.260 < -12.00°	1	---	---	22.126	44.237	22.126	0.15	Forward	---	---	---
				2.130 < -12.00°	2	---	---	51.617	103.234	51.617	0.30	Forward	---	---	---
					3	---	---	75.615	151.230	75.615	1.50	Forward	---	---	---
					4	---	---	22.126	110.007	54.996	2.00	Reverse	---	---	---
Cumbre 500 kV	21S1_Cumbre500/Changos1 21S2_Cumbre500/Changos1 21NS1_Cumbre500/Changos1 21NS2_Cumbre500/Changos1 21S1_Cumbre500/Changos2 21S2_Cumbre500/Changos2 21NS1_Cumbre500/Changos2 21NS2_Cumbre500/Changos2	S1	Mho <50°	1.96 < -12.00°	1	34.130	34.130	---	---	---	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	145.083	145.083	---	---	---	0.60	Forward			
					3	187.722	187.722	---	---	---	1.30	Forward			
					4	34.130	34.130	---	---	---	2.00	Reverse			
		S2	Cuad <84°	20/21 = 6.87 < -10°	1	---	---	29.710	29.710	59.421	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	---	---	128.009	128.009	256.017	0.60	Forward			
					3	---	---	165.900	165.900	330.522	1.00	Forward			
					4	---	---	30.185	135.824	271.667	2.00	Reverse			
	21S1_Cumbre500N.Cardones1 21S2_Cumbre500N.Cardones1 21NS1_Cumbre500N.Cardones1 21NS2_Cumbre500N.Cardones1 21S1_Cumbre500N.Cardones2 21S2_Cumbre500N.Cardones2 21NS1_Cumbre500N.Cardones2 21NS2_Cumbre500N.Cardones2	S1	Mho <50°	1.63 < -12.00°	1	46.072	46.072	---	---	---	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	68.862	68.862	---	---	---	0.30	Forward			
					3	104.817	104.817	---	---	---	1.00	Forward			
					4	72.404	72.404	---	---	---	2.00	Reverse			
		S2	Cuad <84°	20/21 = 5.86 < -10°	1	---	---	40.357	40.357	80.713	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	---	---	60.535	60.535	121.070	0.30	Forward			
					3	---	---	91.834	91.834	183.485	1.00	Forward			
					4	---	---	63.840	63.840	136.957	2.00	Reverse			
N.Cardones 500 kV	21_N.Cardones500N.M. altencillo1 21N_N.Cardones500N.M. altencillo1 21_N.Cardones500N.M. altencillo1 21N_N.Cardones500N.M. altencillo1	S1 y S2	Cuad <85.2°	kr=2.00, kx= 0.66	1	---	---	24.620	61.509	61.509	0.00	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	45.731	64.000	64.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	79.771	64.000	64.000	1.00	Forward	---	---	---
					4	---	---	79.771	64.000	64.000	2.00	Reverse	---	---	---
	21S1_N.Cardones500/Cumbre1 21S2_N.Cardones500/Cumbre1 21NS1_N.Cardones500/Cumbre1 21NS2_N.Cardones500/Cumbre1 21S1_N.Cardones500/Cumbre2 21S2_N.Cardones500/Cumbre2 21NS1_N.Cardones500/Cumbre2 21NS2_N.Cardones500/Cumbre2	S1	Mho <50°	1.63 < -12.00°	1	21.273	21.273	---	---	---	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	69.373	69.373	---	---	---	0.60	Forward			
					3	196.487	196.487	---	---	---	1.30	Forward			
					4	53.176	53.176	---	---	---	2.00	Reverse			
		S2	Cuad <84°	20/21 = 5.86 < -10°	1	---	---	18.097	18.097	36.193	0.15	Forward	107.99	20.0	210
					2	---	---	61.174	61.174	121.050	0.60	Forward			
					3	---	---	172.802	172.802	361.560	1.30	Forward			
					4	---	---	46.565	69.848	139.690	2.00	Reverse			

N.Malencillo 500 kV	21_N.Malencillo500N.Cardones1 21N_N.Malencillo500N.Cardones1 21_N.Malencillo500N.Cardones2 21N_N.Malencillo500N.Cardones2	S1 y S2	Cuad <85°	kr=2.00, kx= 0.66	1	---	---	24.620	61.500	61.500	0.00	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	45.730	64.000	64.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	93.040	64.000	64.000	1.00	Forward	---	---	---
					4	---	---	93.040	64.000	64.000	2.00	Reverse	---	---	---
	21_N.Malencillo500N.P.Azúcar1 21N_N.Malencillo500N.P.Azúcar1 21N_N.Malencillo500N.P.Azúcar2 21N_N.Malencillo500N.P.Azúcar2	S1 y S2	Cuad <85°	kr=2.00, kx= 0.66	1	---	---	20.400	64.000	64.000	0.15	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	73.400	64.000	64.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	97.700	64.000	64.000	1.00	Forward	---	---	---
					4	---	---	97.700	64.000	64.000	2.00	Reverse	---	---	---
N.Pan de Azucar 500 kV	21_N.P.Azúcar500N.Malencillo1 21N_N.P.Azúcar500N.Malencillo1 21_N.P.Azúcar500N.Malencillo2 21N_N.P.Azúcar500N.Malencillo2	S1 y S2	Cuad <85°	kr=2.00, kx= 0.66	1	---	---	20.400	64.000	64.000	0.15	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	73.400	64.000	64.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	96.900	64.000	64.000	1.00	Forward	---	---	---
					4	---	---	96.900	64.000	64.000	2.00	Reverse	---	---	---
	21_N.P.Azúcar500Polpaico1 21N_N.P.Azúcar500Polpaico1 21_N.P.Azúcar500Polpaico2 21N_N.P.Azúcar500Polpaico2	S1 y S2	Cuad <85.3°	kr=2.00, kx= 0.78	1	---	---	35.090	50.000	50.000	0.15	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	141.000	50.000	50.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	173.000	50.000	50.000	1.50	Forward	---	---	---
					4	---	---	173.000	50.000	50.000	2.00	Reverse	---	---	---
Polpaico 500 kV	21_Polpaico500N.P.Azúcar1 21N_Polpaico500N.P.Azúcar1 21_Polpaico500N.P.Azúcar2 21N_Polpaico500N.P.Azúcar2	S1 y S2	Cuad <85°	kr=2.00, kx= 0.78	1	---	---	35.000	50.000	50.000	0.15	Forward	---	---	---
				kr=2.00, kx=1.41	2	---	---	141.000	50.000	50.000	0.60	Forward	---	---	---
					3	---	---	173.000	50.000	50.000	1.00	Forward	---	---	---
					4	---	---	173.000	50.000	50.000	2.00	Reverse	---	---	---

4.5 Ubicaciones de fallas

En la figura siguiente se muestran las ubicaciones de falla seleccionadas para realizar la verificación. En la Tabla 4.11 se describen dichas ubicaciones y se indican los nombres abreviados que se utilizan posteriormente para la presentación de resultados.

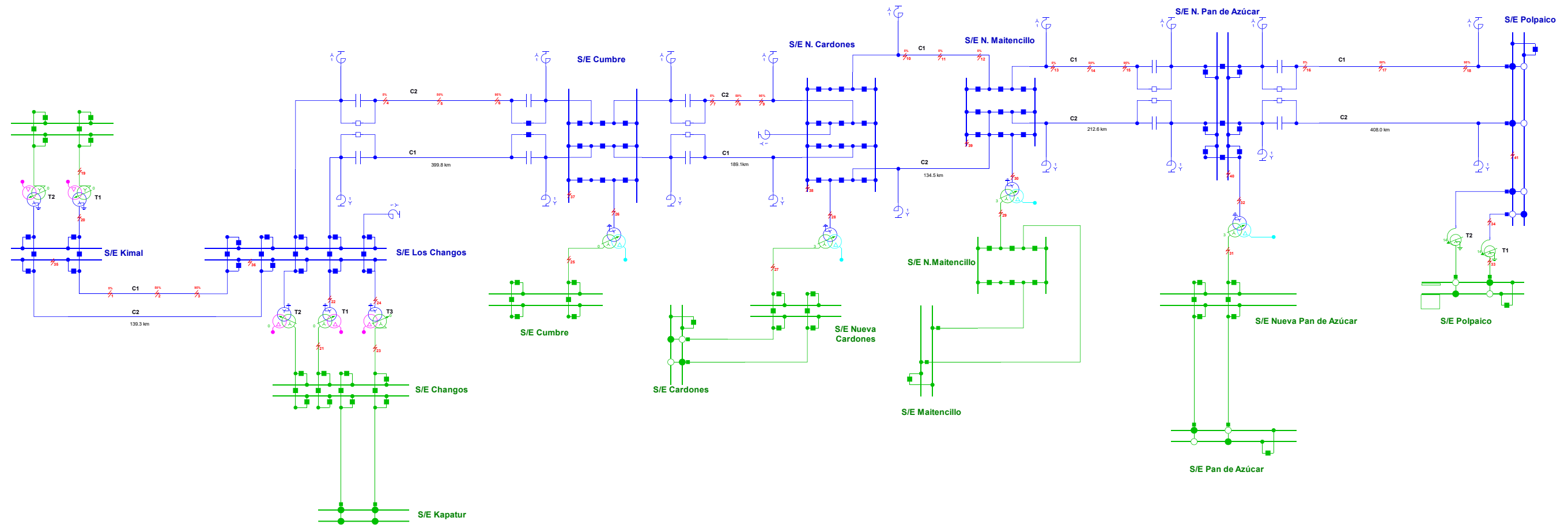


Figura 4.7 Ubicaciones de fallas

Tabla 4.11 Ubicaciones de fallas

Nro.	Nombre abreviado	Descripción
1	C1_Kimal-Los Chagos 500kV	Línea 500 kV Kimal-Los Chagos, circuito 1. Falla al 5% desde Kimal 500 kV.
2	C1_Kimal-Los Chagos 500kV	Línea 500 kV Kimal-Los Chagos, circuito 1. Falla al 50% desde Kimal 500 kV.
3	C1_Kimal-Los Chagos 500kV	Línea 500 kV Kimal-Los Chagos, circuito 1. Falla al 95% desde Kimal 500 kV.
4	C2_Los Chagos - Cumbre 500kV	Línea 500 kV Los Chagos - Cumbre, circuito 2. Falla al 5% desde Los Chagos 500 kV.
5	C2_Los Chagos - Cumbre 500kV	Línea 500 kV Los Chagos - Cumbre, circuito 2. Falla al 50% desde Los Chagos 500 kV.
6	C2_Los Chagos - Cumbre 500kV	Línea 500 kV Los Chagos - Cumbre, circuito 2. Falla al 95% desde Los Chagos 500 kV.
7	C2_Cumbre-N.Cardones 500kV	Línea 500 kV Cumbre-N.Cardones, circuito 2. Falla al 5% desde Cumbre 500 kV.
8	C2_Cumbre-N.Cardones 500kV	Línea 500 kV Cumbre-N.Cardones, circuito 2. Falla al 50% desde Cumbre 500 kV.
9	C2_Cumbre-N.Cardones 500kV	Línea 500 kV Cumbre-N.Cardones, circuito 2. Falla al 95% desde Cumbre 500 kV.
10	C1_N.Cardones-N.Maitencillo 500kV	Línea 500 kV N.Cardones-N.Maitencillo, circuito 1. Falla al 5% desde N.Cardones 500 kV.
11	C1_N.Cardones-N.Maitencillo 500kV	Línea 500 kV N.Cardones-N.Maitencillo, circuito 1. Falla al 50% desde N.Cardones 500 kV.
12	C1_N.Cardones-N.Maitencillo 500kV	Línea 500 kV N.Cardones-N.Maitencillo, circuito 1. Falla al 95% desde N.Cardones 500 kV.
13	C1_N.Maitencillo-N.P.de Azúcar 500kV	Línea 500 kV N.Maitencillo-N.P.de Azúcar, circuito 1. Falla al 5% desde N.Maitencillo 500 kV.
14	C1_N.Maitencillo-N.P.de Azúcar 500kV	Línea 500 kV N.Maitencillo-N.P.de Azúcar, circuito 1. Falla al 50% desde N.Maitencillo 500 kV.
15	C1_N.Maitencillo-N.P.de Azúcar 500kV	Línea 500 kV N.Maitencillo-N.P.de Azúcar, circuito 1. Falla al 95% desde N.Maitencillo 500 kV.
16	C1_N.P.de Azúcar-Polpaico 500kV	Línea 500 kV N.P.de Azúcar-Polpaico, circuito 1. Falla al 5% desde N.P.de Azúcar 500 kV.
17	C1_N.P.de Azúcar-Polpaico 500kV	Línea 500 kV N.P.de Azúcar-Polpaico, circuito 1. Falla al 50% desde N.P.de Azúcar 500 kV.
18	C1_N.P.de Azúcar-Polpaico 500kV	Línea 500 kV N.P.de Azúcar-Polpaico, circuito 1. Falla al 95% desde N.P.de Azúcar 500 kV.
19	Kimal 220kV_T1	Falla interna lado 220 kV, Trafo 1 500/220 kV Kimal
20	Kimal 500kV_T1	Falla interna lado 500 kV, Trafo 1 500/220 kV Kimal
21	Chagos 220kV_T1	Falla interna lado 220 kV, Trafo 1 500/220 kV Los Chagos
22	Chagos 500kV_T1	Falla interna lado 500 kV, Trafo 1 500/220 kV Los Chagos
23	Chagos 220kV_T3	Falla interna lado 220 kV, Trafo 3 500/220 kV Los Chagos
24	Chagos 500kV_T3	Falla interna lado 500 kV, Trafo 3 500/220 kV Los Chagos
25	Cumbre 220kV_T	Falla interna lado 220 kV, Trafo 500/220 kV Cumbre
26	Cumbre 500kV_T	Falla interna lado 500 kV, Trafo 500/220 kV Cumbre
27	N.Cardones 220kV_T	Falla interna lado 220 kV, Trafo 500/220 kV N.Cardones
28	N.Cardones 500kV_T	Falla interna lado 500 kV, Trafo 500/220 kV N.Cardones
29	N.Maitencillo 220kV_T	Falla interna lado 220 kV, Trafo 500/220 kV N.Maitencillo
30	N.Maitencillo 500kV_T	Falla interna lado 500 kV, Trafo 500/220 kV N.Maitencillo
31	N.P. de Az. 220kV_T	Falla interna lado 220 kV, Trafo 500/220 kV N. Pan de Azúcar
32	N.P. de Az. 500kV_T	Falla interna lado 500 kV, Trafo 500/220 kV N. Pan de Azúcar
33	Polpaico 220kV_T1	Falla interna lado 220 kV, Trafo 1 500/220 kV Polpaico
34	Polpaico 500kV_T1	Falla interna lado 500 kV, Trafo 1 500/220 kV Polpaico
35	Kimal 500kV	Falla en barra 500kV Kimal
36	Chagos 500kV	Falla en barra 500kV Chagos
37	Cumbre 500kV	Falla en barra 500kV Cumbre
38	N.Cardones 500kV	Falla en barra 500kV N.Cardones
39	N.Maitencillo 500kV	Falla en barra 500kV N.Maitencillo
40	N.P. de Azúcar 500 kV	Falla en barra 500kV N.P. de Azúcar
41	Polpaico 500 kV	Falla en barra 500kV Polpaico

4.6 Resultados del análisis de verificación

En el Anexo se presentan detalladamente los resultados del análisis de verificación. Para cada escenario de operación analizado se presenta una tabla con los tiempos de operación de las protecciones ante cada falla simulada y para cada paso de tiempo determinado por los instantes de apertura de los equipos de interrupción. Para los interruptores de 500 kV se supuso un tiempo de apertura de 40 ms y de 60 ms para los de 220 kV.

En el análisis de la eventual descoordinación de los sistemas de protección se ha considerado la siguiente clasificación:

- a) **Insuficiente paso de coordinación en respaldo (I.P.C.R):** corresponde al caso en que la falla es correctamente detectada por la protección de respaldo local y por la protección de respaldo remoto, pero el paso de coordinación entre ellas es insuficiente.
- b) **Descoordinación en respaldo (D.E.R.):** corresponde al caso en que la falla es incorrectamente despejada por alguna de las protecciones de respaldo remoto, operando la protección de respaldo local con posterioridad a esta o no alcanzando a operar.

De los fenómenos antes mencionados, el más relevante es el D.E.R., por ser el que eventualmente representa una descoordinación de los sistemas de protecciones. Este fenómeno se analiza en detalle en lo que sigue del estudio, no obstante, en el Anexo se presentan los resultados completos incluyendo el I.P.C.R.

En la Tabla 4.12 y la Tabla 4.13 se resumen los casos en que se presentan (D.E.R.), para los escenarios de alto y bajo nivel de cortocircuito considerados. En cada caso se indica la protección que descoordina y los tipos de falla para los que se dan estas deficiencias de coordinación.

Tabla 4.12 Resumen resultados: Fallas con D.E.R. en líneas de transmisión

Línea	Distancia	Protección	Tipo de falla	Escenario
C1_Kimal-Los Chagos 500kV	95	21N_Chagos500/Kimal2	1F-25	2,1
C2_Los Chagos - Cumbre 500kV	50,95	21NS2_Chagos500/Cumbre1	1F-25,2FT-0	1
	95	21NS1_Chagos500/Cumbre1, 21NS2_Chagos500/Cumbre1	1F-0	1
	95	21NS2_Chagos500/Cumbre1	1F-25,1F-0	2
	95	21NS1_Chagos500/Cumbre1	1F-25	2,1
C2_Cumbre-N.Cardones 500kV	5	21NS2_Cumbre500/N.Cardones1, 21NS1_Cumbre500/N.Cardones1	1F-25,1F-0,2FT-0	1
	50	21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	1F-25,1F-0,2FT-0	2
	95	21NS2_Cumbre500/N.Cardones1	1F-0	1
C1_N.Maitencillo-N.P.de Azúcar 500kV	5	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-25,1F-0,2FT-0	1
	5	21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2	1F-25	1
	5	21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-25	2
	5,50	21_Polpaico500/N.P.Azúcar1, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	3F-0	1
	50	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2FT-0	1
	95	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-25,1F-0	1
	95	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2FT-0	2,1
C1_N.P.de Azúcar-Polpaico 500kV	5	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-25	1

Escenario 1	Alto Nivel CC
Escenario 2	Bajo Nivel CC
Marca roja	Eventual solución con memoria de tensión

Tabla 4.13 Resumen resultados: Fallas con D.E.R. en barras y terminales de transformadores

Punto de falla	Protección	Tipo de falla	Escenario
Kimal 500kV_T1	21N_Changos500/Kimal1, 21N_Changos500/Kimal2	1F-25,1F-0,2FT-0	2,1
	21_Changos500/Kimal2, 21_Changos500/Kimal1	3F-0	2,1
Changos 500kV_T3, Changos 500kV_T1	21N_Kimal500/Changos2, 21N_Kimal500/Changos1	1F-0,2FT-0	2,1
	21_Kimal500/Changos1, 21_Kimal500/Changos2	3F-0	2,1
Cumbre 220kV_T	21NS2_Changos500/Cumbre1, 21NS2_Changos500/Cumbre2	1F-25	2
	21NS2_Changos500/Cumbre1, 21NS2_Changos500/Cumbre2, 21NS2_N.Cardones500/Cumbre2	1F-25	1
	21NS2-G2_N.Cardones500/Cumbre2	2FT-0	2
Cumbre 220kV_T, Cumbre 500kV_T	21NS2_N.Cardones500/Cumbre1	1F-25	1
Cumbre 500kV_T	21NS1_Changos500/Cumbre1, 21NS1_Changos500/Cumbre2, 21NS2-G2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS2_Changos500/Cumbre2, 21NS2_Changos500/Cumbre1	1F-0	2
	21NS1_Changos500/Cumbre1, 21NS1_Changos500/Cumbre2, 21NS2_Changos500/Cumbre2, 21NS2-G2_N.Cardones500/Cumbre2, 21NS2_Changos500/Cumbre1, 21NS1-G2_N.Cardones500/Cumbre2	1F-25	2
	21NS1_Changos500/Cumbre1, 21NS1_Changos500/Cumbre2, 21NS2_N.Cardones500/Cumbre2, 21NS2_Changos500/Cumbre1, 21NS2_Changos500/Cumbre2	1F-25	1
	21NS1_Changos500/Cumbre1, 21NS1_Changos500/Cumbre2, 21NS2_Changos500/Cumbre1, 21NS2_Changos500/Cumbre2, 21NS1-G2_Cumbre500/N.Cardones2	2FT-0	2
Cumbre 500kV_T , N.Cardones 500kV_T	21NS1_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS1_Cumbre500/N.Cardones1	2FT-0	1
N.Cardones 220kV_T	21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1, 21S1_Cumbre500/N.Cardones2	1F-0	2
	67N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	1F-25	2
	21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1, 21S1_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS1-G2_Cumbre500/N.Cardones2	2FT-0	2
N.Cardones 220kV_T, N.Cardones 500kV_T	21NS2-G2_Cumbre500/N.Cardones2	2FT-0	2

N.Cardones 500kV	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1, 21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2, 21N_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1	2FT-0	1
	21_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo2, 21_N.P.Azúcar500/N.Maitencillo1, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	3F-0	1
N.Cardones 500kV_T	21NS2-G2_Cumbre500/N.Cardones2, 21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1, 21NS1-G2_Cumbre500/N.Cardones2	1F-0	2
N.Cardones 500kV_T	21NS2_Cumbre500/N.Cardones1, 21NS1_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS1_Cumbre500/N.Cardones1	1F-0	1
	21NS2-G2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS1-G2_Cumbre500/N.Cardones2	1F-25	2
	21NS2_Cumbre500/N.Cardones2	1F-25,1F-0,2FT-0	1
	21N_N.Maitencillo500/N.Cardones1	1F-25,2FT-0	2
	21NS2_Cumbre500/N.Cardones1	1F-25,2FT-0	1
	21NS1-G2_Cumbre500/N.Cardones2	2FT-0	2
	21S2_Cumbre500/N.Cardones2, 21S1_Cumbre500/N.Cardones2, 21_N.Maitencillo500/N.Cardones1	3F-0	2
	21S1_Cumbre500/N.Cardones1, 21S2_Cumbre500/N.Cardones2, 21S1_Cumbre500/N.Cardones2, 21S2_Cumbre500/N.Cardones1	3F-0	1
N.Cardones 500kV_T, N.Maitencillo 220kV_T	21N_N.Cardones500/N.Maitencillo1	1F-0	2
N.Maitencillo 220kV_T	67N_N.Cardones500/N.Maitencillo1	1F-25	2
	21N_N.Cardones500/N.Maitencillo1	2FT-0	2
N.Maitencillo 500kV	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	1F-0	1
	21NS2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS2_Cumbre500/N.Cardones1, 50/51/51N_N.P.Azúcar500/ATR2	1F-25	1
	21NS2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS2_Cumbre500/N.Cardones1, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	2FT-0	1
N.Maitencillo 500kV_T	21NS2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS2_Cumbre500/N.Cardones1, 21N_N.Cardones500/N.Maitencillo2, 21N_N.Cardones500/N.Maitencillo1	1F-25	1
	21NS2_Cumbre500/N.Cardones2, 21NS2_Cumbre500/N.Cardones1	2FT-0	1
N.P. de Az. 500kV_T, N.P. de Azúcar 500 kV, N.Maitencillo 500kV_T	21N_N.Cardones500/N.Maitencillo1	1F-25	2
N.Maitencillo 500kV, N.P. de Az. 220kV_T	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	2FT-0	1
	21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	3F-0	1

N.P. de Az. 220kV_T, N.Cardones 500kV, N.Maitencillo 500kV	21_Polpaico500/N.P.Azúcar1	3F-0	1
N.P. de Az. 220kV_T	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-0	2
	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-0	1
	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	2FT-0	2
	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	2FT-0	1
N.P. de Az. 500kV_T	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-0	2
	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	1F-25	2,1
N.P. de Az. 500kV_T, Polpaico 220kV_T1	21N_Polpaico500/N.P.Azúcar1	1F-0	2
N.P. de Az. 500kV_T, Polpaico 500 kV	21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2FT-0	1
Polpaico 220kV_T1	50/50N_Polpaico220/ATR2, 21N_Polpaico500/N.P.Azúcar2	1F-0	2
	50/50N_Polpaico220/ATR2, 67N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 67N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	1F-0	1
	50/50N_Polpaico500/ATR2	1F-25,1F-0,2FT-0	1
	50/50N_Polpaico500/ATR2	1F-25,1F-0,3F-0,2FT-0	2
	50/50N_Polpaico220/ATR2	1F-25,2FT-0	1
	21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	2FT-0	1
	50/50N_Polpaico220/ATR2, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar1, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	3F-0	2
	50/50N_Polpaico220/ATR2, 50/50N_Polpaico500/ATR2	3F-0	1

Polpaico 220kV_T1, Polpaico 500kV_T1	50/50N_Polpaico220/ATR2	1F-25,2FT-0	2
	21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	2FT-0	2
Polpaico 500kV_T1	50/50N_Polpaico220/ATR2, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	1F-0	2
	21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	1F-0	1
	67N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 67N_N.P.Azúcar500/Polpaico2	1F-25	2,1
	50/50N_Polpaico500/ATR2	1F-25,1F-0,2FT-0	2
	50/50N_Polpaico220/ATR2	1F-25,1F-0,2FT-0	1
	50/50N_Polpaico500/ATR2	1F-25,1F-0,3F-0,2FT-0	1
	21N_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21N_N.P.Azúcar500/Polpaico2, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar1, 21N_N.Maitencillo500/N.P.Azúcar2	2FT-0	1
	50/50N_Polpaico220/ATR2, 21_N.P.Azúcar500/Polpaico2, 21_N.P.Azúcar500/Polpaico1, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar1, 50/50N_Polpaico500/ATR2, 21_Polpaico500/N.P.Azúcar2	3F-0	2
	50/50N_Polpaico220/ATR2, 21_N.P.Azúcar500/Polpaico2, 21_N.P.Azúcar500/Polpaico1	3F-0	1

Escenario 1	Alto Nivel CC
Escenario 2	Bajo Nivel CC
Marca roja	Eventual solución con memoria de tensión

4.7 Análisis de resultados

A continuación, se describen las descoordinaciones en respaldo detectadas en el análisis realizado e indicadas en las tablas resumen del punto anterior.

- Se producen descoordinaciones para fallas en líneas, que en la mayoría de los casos involucran a las protecciones de distancia del circuito paralelo al circuito fallado y sólo en algunos casos puntuales a protecciones de líneas adyacentes a la línea fallada. Esto ocurre principalmente para fallas a tierra en las líneas Los Changos – Cumbre, Cumbre – Nueva Cardones y Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, y lógicamente la mayor parte de estas descoordinaciones se producen en el escenario de alto nivel de cortocircuito, en el que se encuentran en servicio todos los circuitos y compensaciones serie del sistema de 500 kV.

Hay varios casos en que las simulaciones muestran que descoordinan las protecciones del circuito paralelo debido a que “ven” hacia adelante (en zona 2) fallas que físicamente se encuentran hacia atrás. Sin embargo, en la realidad las protecciones de distancia del sistema analizado utilizan polarización con tensión memorizada, por lo que se detectarían correctamente la direccionalidad de las fallas en cuestión y, por lo tanto, no se producirían estas descoordinaciones.

Cabe señalar también que hay algunos casos de fallas en la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar en que descoordina la zona 1 de la protección de distancia del circuito paralelo. Algunas de estas descoordinaciones podrían evitarse si se mantuviera deshabilitada normalmente dicha zona, tal como se encuentra configurado en el resto de las líneas del sistema analizado.

- Se producen descoordinaciones para la mayoría de las fallas internas en el lado de 500 kV de los transformadores analizados y para algunas fallas en el lado de 220 kV, en ambos escenarios analizados. La mayoría de estas descoordinaciones involucra a las zonas 2 de las protecciones de distancia del extremo remoto de las líneas adyacentes. Para fallas en los transformadores de la S/E Polpaico también descoordinan las protecciones de sobrecorriente del transformador en paralelo al transformador fallado.

Se hace notar que para fallas en los transformadores de la S/E Polpaico resultan descoordinaciones para todos los tipos de falla analizados, tanto en 500 kV como en 220 kV. Esto se debe a que las protecciones de sobrecorriente de dichos transformadores sólo cuentan con elementos de tiempo definido y con un tiempo de operación de 2.4 segundos.

- Se producen descoordinaciones para fallas en las barras de 500 kV, principalmente en las subestaciones Nueva Cardones y Nueva Maitencillo en el escenario de alto nivel de cortocircuito. La mayoría de estas descoordinaciones involucran a las zonas 2 de las protecciones de distancia de las líneas Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar y Nueva Pan de Azúcar – Polpaico.

5 Conclusiones y recomendaciones

A partir del análisis realizado de las protecciones del sistema de 500 kV de la zona Norte del SEN comprendido entre las subestaciones Kimal y Polpaico, se puede concluir lo siguiente:

- El hecho de que todas las líneas de transmisión, transformadores de 500/220 kV y barras de 500 kV del sistema analizado posean protecciones principales redundantes del tipo unitarias, sumado al bloqueo en condiciones normales de las zonas 1 de las protecciones de distancia en la mayoría de las líneas de transmisión, asegura una adecuada coordinación mientras se encuentren en servicio dichas protecciones principales. En el caso particular de la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, que es la única en la que se encuentran permanentemente activas las zonas 1 según el ECAP correspondiente, la temporización de estas zonas asegura la coordinación, aunque podrían presentarse pasos de coordinación menores que los 300 ms exigidos por la Norma Técnica.
- En el caso de que se encuentren fuera de servicio las protecciones principales de un circuito de 500 kV, de un transformador 500/220 kV o de una barra de 500 kV, y ocurra una falla en dicho elemento, que es la condición analizada en este estudio, se podrían producir algunas descoordinaciones entre las protecciones no unitarias que operan como respaldo de dichas protecciones principales y las protecciones de los elementos adyacentes. En los casos de fallas en líneas, las descoordinaciones involucran principalmente a las zonas 2 del circuito paralelo al circuito fallado. En los casos de fallas en transformadores y barras, las protecciones que principalmente descoordinan son las zonas 2 de las protecciones de distancia del extremo remoto de las líneas adyacentes al elemento fallado.
- Hay algunos casos de fallas en la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar en que descoordinan en respaldo las zonas 1 de las protecciones de distancia del circuito paralelo. Algunas de estas descoordinaciones podrían evitarse si se mantuvieran deshabilitadas normalmente dichas zonas, tal como se encuentra configurado en el resto de las líneas del sistema analizado.
- Para fallas internas en los transformadores de la S/E Polpaico resultan descoordinaciones en respaldo para todos los tipos de falla analizados, tanto en 500 kV como en 220 kV, que involucran tanto a las zonas 2 de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico, como a las protecciones de sobrecorriente del transformador en paralelo al transformador fallado. Esto se debe a que las protecciones de sobrecorriente de dichos transformadores sólo cuentan con elementos de tiempo definido y con un tiempo de operación de 2.4 segundos.

En conformidad con lo anterior, se recomienda evaluar la necesidad y pertinencia de eventuales modificaciones a los ajustes de las funciones de protección estudiadas, en particular considerando:

- La posibilidad de dejar inhabilitadas normalmente las primeras zonas de las protecciones de distancia de la línea de 500 kV Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar, tal como en el resto de las líneas de transmisión del sistema analizado.

- La posibilidad de habilitar elementos de sobrecorriente de tiempo inverso en las protecciones de los transformadores de 500/220 kV de la S/E Polpaico, lo que podría evitar las descoordinaciones que se producen para todo tipo de fallas internas en ambos lados de dichos transformadores.

6 Anexos

Documento: “Anexo EVCP 2020.xlsx”, de **Resultados Estudio de Verificación de Coordinación de Protecciones Sistema 500 kV Norte**, en formato Excel.