
Requerimientos Mínimos para la Implementación del Plan de Defensa por Contingencias Extremas

Enero 2020

Departamento de Modelación y Aplicaciones EMS
Subgerencia Estudios y Soporte Operacional
Gerencia Operación



Contenidos

Contenidos	ii
1 Introducción	1
2 Recursos para el PDCE.....	2
2.1 Automatismo para el Control de Estabilidad.....	2
2.2 Automatismo para el Control de Sobretensión.....	3
2.2.1 Control de reactores del sistema de 500kV entre S/E Los Changos y S/E Nueva Pan de Azúcar	3
2.2.2 Automatismo para la Desconexión de la línea Los Changos – Kimal 500kV	4
2.2.3 Automatismo para la Desconexión de la Compensación Reactiva S/E Pan de Azúcar	4
3 Requerimientos de Implementación por Coordinado	5
3.1 TEN.....	5
3.1.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV	5
3.1.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV	6
3.1.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV.....	6
3.1.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	7
3.2 Interchile.....	7
3.2.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV	7
3.2.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV	8
3.2.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV.....	9
3.2.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	10
3.3 Transelec.....	11
3.3.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV	11
3.3.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV	11
3.3.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV.....	12
3.3.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	12
4 Requerimientos mínimos	14
4.1 Requerimientos generales.....	14
4.2 Características mínimas.....	15
4.2.1 Controlador de automatización en tiempo real.....	15
4.2.2 Sistema de medición multivariable trifásico	15
4.2.3 Reloj sincronizado por satélite	16

4.2.4	Switch ethernet	16
4.2.5	Protocolo de comunicaciones	16
4.2.6	Funciones de control	17
4.3	Diagnóstico de fallas	18
4.4	Requerimientos de disponibilidad	18
4.5	Gabinetes	18
4.6	Otras características	19
5	Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.
5.1	Detección de falla de contingencia extrema	20
5.2	Órdenes de disparo de interruptores o actuación de otros sistemas	20

1 Introducción

Este documento especifica los recursos y automatismos que conforman el Plan de Defensa Contra Contingencias Extremas de la zona norte del Sistema Eléctrico Nacional que deben implementar los Coordinados TEN S.A., Interchile S.A. y Transelec S.A.

Las contingencias que podrían derivar en un apagón total, para los cuales deben diseñarse los automatismos requeridos, corresponden a la pérdida de cualquiera de los dobles circuitos del sistema de 500kV ubicados entre las subestaciones Cumbre y Polpaico.

Los recursos incluidos en este documento corresponden a los automatismos para la detección de la falla que derive en una Contingencia Extrema, control de estabilidad mediante separación en subsistemas asincrónicos y control de sobretensiones mediante la conexión de reactores y desconexión de líneas y bancos de condensadores.

Los requerimientos indicados en este documento tienen su base en el “Estudio para el Diseño de detalle del PDCE de la zona norte del SEN”.

2 Recursos para el PDCE

En los puntos siguientes se describen a grandes rasgos los automatismos que se requieren para afrontar las contingencias extremas, en las siguientes instalaciones del SEN:

- Falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV
- Falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV
- Falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV
- Falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

2.1 Automatismo para el Control de Estabilidad

Se requiere implementar esquemas de control que permitan realizar una apertura selectiva de líneas de vinculación en puntos que logren separar el sistema en dos áreas asincrónicas. Luego de la separación en dos islas, y dependiendo de los montos de transferencias previos a la falla, actuarán los otros esquemas de mitigación.

Las desvinculaciones requeridas luego de la detección de apertura los dobles circuitos entre S/E Cumbre y S/E Polpaico, en condiciones de transferencias de potencia previo a la falla por sobre ciertos umbrales que se detallan más adelante, se indican en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

Falla del doble circuito	Punto de desvinculación
Cumbre – Nueva Cardones 500kV	Los Changos – Cumbre 500kV
Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV	Los Changos – Cumbre 500kV
Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV	Al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV
Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	Al sur de S/E Pan de Azúcar 220kV y 110kV

De acuerdo con el estudio “Estudio para el Diseño de detalle del PDCE de la zona norte del SEN”, en la Tabla 2.2 se indican para cada tramo del sistema de 500kV y en cada topología, los tiempos mínimos en que se presentan condiciones de inestabilidad (es decir, se violan los límites de recuperación dinámicas y márgenes de estabilidad y seguridad señalados en la NT SyCS, y los tiempos de actuación que se estima podrá tener el automatismo de apertura del sistema.

Tabla 2.2 Tiempos en que se presentan condiciones de inestabilidad por topología y tiempos requeridos para la generación de islas.

Tramo	Topol. 1 (ms)	Topol. 2 (ms)	Topol. 3 (ms)	Tiempo de apertura (ms)
Cumbre – Nueva Cardones 500kV	250	280	500	190
Nva. Cardones – Nva. Maitencillo 500kV	230	250	280	230
Nva Maitencillo – Nva. Pan de Azúcar 500kV	240	250	300	230
Nva. Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	220	220	240	250

2.2 Automatismo para el Control de Sobretensión

2.2.1 Control de reactores del sistema de 500kV entre S/E Los Changos y S/E Nueva Pan de Azúcar

Para controlar las sobretensiones que se producen tanto por el rechazo de carga (rápidas) como por la actuación de los cortes de carga por baja frecuencia, se debe implementar un esquema automático para la conexión de reactores (para aquellas condiciones en que se encuentren desconectados). El automatismo requiere funciones de protección por sobretensión temporizada, en dos modalidades:

- Ajuste permanente.
- Ajuste habilitado por el automatismo de control de estabilidad luego de la detección de contingencia extrema en cualquiera de los tramos ubicados entre las Subestaciones Cumbres y Polpaico.

Tabla 2.3 Ajustes de funciones de sobretensión en reactores de SSEE Los Changos, Nueva Cardones y Nueva Pan de Azúcar

Reactor	Función	Umbral [pu]	Umbral [kV]	Tiempo [s]	Habilitación
Conexión del Reactor 1 Los Changos	U>	1,07	535	1,4	Permanente
	U>>	1,05	525	9,0	Permanente
	U>>>	1,10	550	0,8	Habilitación PDCE
Conexión del Reactor 1 Nueva Cardones	U>	1,10	550	1,4	Permanente
	U>>	1,075	550	8,0	Permanente
	U>>>	1,10	538	0,2	Habilitación PDCE
Conexión del Reactor 1 Nueva Pan de Azúcar	U>	1,10	550	1,8	Permanente
	U>>	1,075	550	8,5	Permanente
	U>>>	1,10	538	0,4	Habilitación PDCE
Conexión del Reactor 2 Nueva Pan de Azúcar	U>	1,10	550	2,0	Permanente
	U>>	1,075	538	9,5	Permanente
	U>>>	1,10	550	0,6	Habilitación PDCE

2.2.2 Automatismo para la Desconexión de la línea Los Changos – Kimal 500kV

Para cubrir condiciones críticas del sistema se debe implementar un esquema de desconexión de los circuitos de la línea Los Changos – Kimal 500kV, con los ajustes indicados en la Tabla 2.4. Este esquema será habilitado por detección de contingencia extrema en cualquiera de los tramos ubicados entre las Subestaciones Cumbres y Polpaico

Tabla 2.4 Ajuste para la protección de sobretensión con desconexión de circuitos de la línea Kimal – Los Changos 500kV

Circuito	Función	Umbral [pu]	Umbral [kV]	Tiempo [s]	Habilitación
Los Changos – Kimal C1	U>	1,10	550	1,0	Habilitación PDCE
Los Changos – Kimal C2	U>	1,10	550	1,2	Habilitación PDCE

Cabe destacar que la desconexión de los circuitos debe realizarse en ambos extremos.

2.2.3 Automatismo para la Desconexión de la Compensación Reactiva S/E Pan de Azúcar

Como parte del esquema de control de tensión se debe habilitar un esquema de desconexión del condensador de 75 MVar de S/E Pan de Azúcar 220kV cuya señal de desenganche provendrá de la detección de la doble contingencia y verificación de las transferencias de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV.

3 Requerimientos de Implementación por Coordinado

A continuación, se presentan los requerimientos de implementación de recursos por los Coordinados TEN, Interchile y Transelec, detallado por contingencia e indicándose entre paréntesis la responsabilidad del envío o recepción de señales de habilitación y disparo de protecciones.

3.1 TEN

3.1.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV

El Coordinado TEN deberá implementar equipamiento que permita:

- Medir el flujo de potencia activa en ambos circuitos de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV, en ambos extremos.
- Detectar la apertura del doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV en cualquier condición topológica.
- La habilitación de control de sobretensión por escalón rápido para la conexión del reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos y el reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones.

El armado del automatismo se realizará a partir de los siguientes umbrales de transferencia en el tramo Cumbre – Nueva Cardones 500kV:

- 400 MW de flujo en sentido Norte → Sur, medido en S/E Cumbre.
- 500 MW de flujo en sentido Sur → Norte, medido en S/E Cumbre.

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de TEN, el automatismo deberá:

- Enviar señal de disparo para la apertura del doble circuito Los Changos – Cumbre 500kV (TEN) en ambos extremos.
- Enviar señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactor 175 MVAR de S/E Los Changos (TEN).
 - Reactor 175 MVAR de S/E Nueva Cardones (TEN).
 - Reactores 2x100 MVAR de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile).
 - Línea 2x500kV Los Changos – Kimal 500kV en ambos extremos (Transelec).
- Recibir señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:

- Reactor 175 MVAR de S/E Los Changos (TEN).
- Reactor 175 MVAR de S/E Nueva Cardones (TEN).

3.1.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV

El Coordinado TEN deberá implementar el equipamiento necesario que permita:

- Apertura del doble circuito de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos.
- La habilitación de control de sobretensión por escalón rápido para la conexión del reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos y el reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones (mismo recurso a implementar en el punto 3.1.1).

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá permitir:

- Recibir la señal de disparo desde instalaciones de Interchile para la apertura del doble circuito Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos.
- Recibir la señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos 500kV (TEN)
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones 500kV (TEN)

3.1.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV

El Coordinado TEN deberá implementar el equipamiento necesario que permita:

- La habilitación de control de sobretensión por escalón rápido para la conexión del reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos y el reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones (mismo recurso a implementar en el punto 3.1.1).

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá permitir:

- Recibir la señal de disparo desde instalaciones de Interchile para el bypass de las compensaciones serie de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos
- Recibir la señal de disparo desde instalaciones de Interchile para el bypass de la compensación serie de la línea Cumbre – Nueva Cardones en S/E Cumbre

- Recibir la señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos 500kV (TEN)
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones 500kV (TEN)

3.1.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

El Coordinado TEN deberá implementar los equipamientos necesarios que permitan:

- Apertura del doble circuito de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos.
- La habilitación de control de sobretensión por escalón rápido para la conexión del reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos y el reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones (mismo recurso a implementar en el punto 3.1.1).

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá permitir:

- Recibir la señal de disparo desde instalaciones de Interchile para el bypass de las compensaciones serie de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos
- Recibir la señal de disparo desde instalaciones de Interchile para el bypass de la compensación serie de la línea Cumbre – Nueva Cardones en S/E Cumbre
- Recibir la señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Los Changos 500kV (TEN)
 - Reactor de 175 MVAR en S/E Nueva Cardones 500kV (TEN)

3.2 Interchile

3.2.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV

El Coordinado Interchile deberá implementar el equipamiento necesario que permita:

- La habilitación de control de sobretensión por escalón rápido para la conexión de los reactores 2x100 MVAR en S/E Nueva Pan de Azúcar.

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de TEN, el automatismo deberá permitir:

- Recepción de señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por TEN, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactores 2x100 MVar de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile)

3.2.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV

El Coordinado Interchile deberá implementar equipamiento necesario que permita:

- Medición de flujo de potencia activa en ambos circuitos de la línea Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV en ambos extremos.
- Detección de apertura del doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV en cualquier condición topológica.
- La habilitación de control de sobre tensión por escalón rápido para la conexión de reactores 2x100 MVar de S/E Nueva Pan de Azúcar (mismo recurso a implementar en el punto 3.2.1).

El armado del automatismo se realizará a partir de los siguientes umbrales, de acuerdo con las topologías descritas en el Informe del “Estudio para el Diseño de detalle del PDCE de la zona norte del SEN” y que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Umbrales de flujo de potencia por la línea Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV para el armado del esquema de defensa.

Topología	Flujo Norte → Sur [MW]	Flujo Sur → Norte [MW]
Topología 1 “Año 2020”	500	400
Topología 2 “Año 2021”	600	400
Topología 3 “Año 2022”	600	400

Una vez detectada la falla, el automatismo implementado por Interchile deberá:

- Enviar señal de disparo para la apertura del doble circuito Los Chagos – Cumbre 500kV (TEN)
- Enviar señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactor 175 MVar de S/E Los Chagos (TEN).
 - Reactor 175 MVar de S/E Nueva Cardones (TEN).
 - Reactores 2x100 MVar de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile).
 - Línea 2x500 Los Chagos – Kimal 500kV en ambos extremos (Transec).

- Recibir señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactores 2x100 MVA de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile).

3.2.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV

El Coordinado Interchile deberá implementar equipamiento necesario para realizar:

- Medición de flujo de potencia activa en ambos circuitos de la línea Nueva Maitencillo - Pan de Azúcar 500kV en ambos extremos.
- Detección de apertura del doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV en cualquier condición topológica.
- La habilitación de control de sobre tensión por escalón rápido para la conexión de reactores 2x100 MVA de S/E Nueva Pan de Azúcar (mismo recurso a implementar en el punto 3.2.1).

El armado del automatismo se realizará a partir de los siguientes umbrales, de acuerdo con las topologías descritas en el Informe del “Estudio para el Diseño de detalle del PDCE de la zona norte del SEN” y que se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Umbrales de flujo de potencia por la línea Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV para el armado del esquema de defensa.

Topología	Flujo Norte → Sur [MW]	Flujo Sur → Norte [MW]
Topología 1 “Año 2020”	200	300
Topología 2 “Año 2021”	200	300
Topología 3 “Año 2022”	500	700

Una vez detectada la falla, el automatismo implementado por Interchile deberá:

- Enviar señal de disparo para la apertura de líneas al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV propiedad de Transelec
- Enviar señal de disparo para el bypass de las compensaciones serie de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV en S/E Cumbre extremo Cumbre, propiedad de TEN
- Enviar señal de disparo para el bypass de las compensaciones serie de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos, propiedad de TEN
- Enviar señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:

- Reactor 175 MVAR de S/E Los Changos (TEN).
- Reactor 175 MVAR de S/E Nueva Cardones (TEN).
- Reactores 2x100 MVAR de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile).
- Línea 2x500 Los Changos – Kimal 500kV (Transec) en ambos extremos.
- Recibir señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactores 2x100 MVAR de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile).

3.2.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

El Coordinado Interchile deberá implementar el equipamiento necesario para realizar:

- Medición de flujo de potencia activa en ambos circuitos de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV en ambos extremos.
- Detección de apertura del doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV en cualquier condición topológica.
- La habilitación de control de sobre tensión por escalón rápido para la conexión de reactores 2x100 MVAR de S/E Nueva Pan de Azúcar (mismo recurso a implementar en el punto 3.2.1).

El armado del automatismo se realizará a partir de los siguientes umbrales, de acuerdo con las topologías descritas en el Informe del “Estudio para el Diseño de detalle del PDCE de la zona norte del SEN” y que se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Umbrales de flujo de potencia por la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV para el armado del esquema de defensa.

Topología	Flujo Norte → Sur [MW]	Flujo Sur → Norte [MW]
Topología 1 “Año 2020”	250	250
Topología 2 “Año 2021”	250	250
Topología 3 “Año 2022”	500	500

Una vez detectada la falla, el automatismo implementado por Interchile deberá:

- Enviar señal de disparo para la apertura de líneas al sur de S/E Pan de Azúcar 200kV y 110kV (Transec)
- Enviar señal de disparo para el bypass de las compensaciones serie de la línea Los Changos – Cumbre 500kV en ambos extremos (TEN)

- Enviar señal de disparo para el bypass de las compensaciones serie de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV en S/E Cumbre (TEN)
- Enviar señal de disparo para el bypass de la compensación serie de la línea Nueva Maitencillo– Nueva Pan de Azúcar 500kV extremo Nueva Pan de Azúcar (Interchile)
- Enviar señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión, el cual involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactor 175 MVAR de S/E Los Changos (TEN)
 - Reactor 175 MVAR de S/E Nueva Cardones (TEN)
 - Reactores 2x100 MVAR de S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile)
 - Línea Los Changos – Kimal 500kV (Transelec)
- Enviar señal de disparo para la desconexión de:
 - Condensador 75MVAR en S/E Pan de Azúcar (Transelec)
- Recibir señal habilitación de escalón rápido por sobretensión que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Reactores 2x100 MVAR en S/E Nueva Pan de Azúcar (Interchile)

3.3 Transelec

3.3.1 Mitigación de la falla doble circuito Cumbre – Nueva Cardones 500kV

El Coordinado Transelec deberá implementar equipamiento para habilitar esquema que permita la apertura de línea Los Changos – Kimal 500kV por escalón rápido por sobretensión.

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de TEN, el automatismo implementado por Transelec deberá ser capaz de:

- Recepción de señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por TEN, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones.
 - Línea 2x500kV Los Changos – Kimal 500kV en ambos extremos (Transelec)

3.3.2 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Cardones – Nueva Maitencillo 500kV

El Coordinado Transelec deberá implementar equipamiento para habilitar esquema que permita la apertura de línea 2x500 Los Changos – Kimal por escalón rápido por sobretensión (mismo recurso a implementar en el punto 3.3.1).

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá realizar lo siguiente:

- Recepción de señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Línea 2x500kV Los Changos – Kimal (Transelec)

3.3.3 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar 500kV

El Coordinado Transelec deberá implementar el equipamiento necesario que permita:

- Apertura de línea 2x500kV Los Changos – Kimal por escalón rápido por sobretensión (mismo recurso a implementar en el punto 3.3.1).
- Apertura de líneas al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá realizar lo siguiente:

- Recepción de señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra los relés de sobretensión que actúan sobre las siguientes instalaciones:
 - Línea 2x500kV Los Changos – Kimal (Transelec) en ambos extremos.
- Recepción de señal desde instalaciones de Interchile para la apertura de líneas al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV (Transelec).

3.3.4 Mitigación de la falla doble circuito Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

El Coordinado Transelec deberá implementar el equipamiento necesario que permita:

- Apertura de línea 2x500 kV Los Changos – Kimal por escalón rápido por sobretensión (mismo recurso a implementar en el punto 3.3.1).
- Desconexión de condensador 75MVAR en S/E Pan de Azúcar.
- Apertura de líneas al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV

Una vez detectada la falla en el doble circuito en instalaciones de Interchile, el automatismo deberá realizar lo siguiente:

- Recepción de señal de habilitación de escalón rápido por sobretensión enviada por Interchile, que involucra las siguientes instalaciones:

- Línea 2x500kV Los Changos – Kimal en ambos extremos (Transelec).
- Condensador 75MVAR en S/E Pan de Azúcar (Transelec).
- Recepción de señal desde instalaciones de Interchile para la apertura de líneas al sur de S/E Maitencillo 220kV y 110kV (Transelec).

4 Requerimientos mínimos

Para dar cumplimiento a los requerimientos de implementación del PDCE se requiere una arquitectura de control distribuida con equipamiento en las siguientes subestaciones:

- Kimal 500kV
- Los Changos 500kV
- Cumbre 500kV
- Nueva Cardones 500kV
- Nueva Maitencillo 500kV
- Maitencillo 220kV y 110kV
- Nueva Pan de Azúcar 500kV
- Pan de Azúcar 220kV y 110kV
- Polpaico 500kV

Es imprescindible contar con enlaces de comunicación de alta velocidad que permitan resolver los recursos estabilizantes en tiempos menores o iguales a 300ms.

Posterior a la detección de contingencia extrema en cualquiera de los tramos implica el envío de la señal de habilitación de relés de sobretensión ubicados en los reactores shunt del sistema de 500kV y sobre la línea Los Changos – Kimal 2x500kV, en tanto que algunos tramos emiten señal de disparo sobre interruptores distantes, por lo tanto, todos los esquemas del plan de defensa deberán estar comunicados entre sí.

4.1 Requerimientos generales

Para garantizar la confiabilidad del Plan de Defensa es necesario utilizar controladores redundantes de alta velocidad de procesamiento y rapidez para la gestión de las interfaces de comunicación con otros dispositivos.

Se debe contar en cada subestación con un servidor de tiempo GPS que provea sincronismo de tiempo preciso a todo el equipamiento.

Todos los dispositivos de protección deben estar vinculados a un switch Ethernet industrial para obtener la conectividad necesaria.

Los esquemas deben contar con enlaces de comunicación de alta velocidad que permitan la actuación de los recursos estabilizantes en tiempos menores o iguales a 300 ms.

Todos los tramos envían señal de habilitación a los esquemas de control de sobretensión ubicados en los reactores del sistema de 500kV y sobre la línea Los Changos – Kimal 2x500kV, en tanto que algunos tramos envían señal de

disparo sobre interruptores distantes a un tramo más allá del tramo donde se detecta la doble contingencia, por lo tanto, todos los esquemas del plan de defensa deben estar comunicados entre sí entre las subestaciones Kimal y Nueva Pan de Azúcar.

4.2 Características mínimas

En el presente apartado se indican las características mínimas con las que deberá contar el equipamiento que conforme los automatismos a implementar.

4.2.1 Controlador de automatización en tiempo real

Las características mínimas de los controladores se listan a continuación:

- Apto para uso en Subestaciones Eléctricas, cumpliendo la norma IEC61850-3.
- Velocidad de procesamiento ≤ 1 ms.
- CPU con Microprocesador 500 MHz o superior.
- Memoria RAM: 512MB o superior.
- Memoria de almacenamiento: 2GB o superior.
- Fuente de alimentación redundante de rango extendido 90 a 250 Vcc.
- Entradas Digitales optoacopladas, aptas para operación con 125 Vcc con filtro anti-rebote.
- Salidas Digitales rápidas con alta capacidad de corriente aptas para 125 Vcc.
- Puertos de comunicación serie RS-232 o RS-485 disponibles: Dos (2) o más.
- Puertos de red Ethernet 100 Mbps disponibles: Dos (2) o más.
- Soporte de protocolos de sincronismo de tiempo IRIG-B, NTP, SNTP, PTP (IEEE 1588).
- Puerto para servicios de diagnóstico y configuración.
- Funciones de estampado de eventos (SOE) con resolución de 1 milisegundo.

4.2.2 Sistema de medición multivariable trifásico

Las características mínimas de los sistemas de medición deben cumplir con siguientes:

- Apto para uso en subestaciones eléctricas, cumpliendo la norma IEC 61850-3.
- Entrada directa para circuitos de medición de tensión desde los transformadores de potencial (TP hasta 120 Vca) y transformadores de corriente (TC entre 1 y 5 A).
- Fuente de alimentación de rango extendido 90 a 250 Vcc.
- Puertos de red Ethernet 100 Mbps disponibles: uno (1) o más.
- Soporte de protocolos de sincronismo de tiempo IRIG-B, NTP, SNTP, PTP (IEEE 1588).
- Funcionalidad de medición y actuación por corriente cero o escalones de corriente en tiempos menores a 50ms.

4.2.3 Reloj sincronizado por satélite

Las características mínimas para la sincronización de tiempo se listan a continuación:

- Recepción de señales GPS.
- Precisión de reloj: ± 100 ms promedio.
- Protocolos de distribución de tiempo: IRIG-B, NTP, SNTP, PTP (IEEE 1588).

4.2.4 Switch ethernet

Las características mínimas de los switch ethernet a utilizar son las siguientes:

- Administrable
- Apto para uso en subestaciones eléctricas, cumpliendo la norma IEC 61850-3.
- Fuente de alimentación redundante de rango extendido 90 a 250 Vcc.
- Puertos en cobre RJ45 10/100/1000 Mbps.
- Puertos en fibra óptica multimodo 100Base-FX, 1000Base-SX conector LC, ST o SC, según necesidad.
- Puertos en fibra óptica monomodo 100Base-FX, 1000Base-SX conector LC, ST o SC, según necesidad.
- Puertos SFP para futuras ampliaciones.
- Cumplimiento de RSTP, SNMP, VLAN, NTP.

4.2.5 Protocolo de comunicaciones

El set de protocolos (cliente/servidor según necesidad) que deben manejar los controladores y medidores para la comunicación con los distintos equipos de la integración comprende como mínimo el siguiente listado:

- DNP3.0 Serial.
- DNP3.0 sobre TCP/IP.
- Modbus RTU.
- Modbus TCP/IP.
- IEC 61850 GOOSE.
- IEC 61850 MMS

4.2.6 Funciones de control

Los controladores deberán ser capaces de ser programados y configurados conforme lo requiera el proyecto, como así también ser capaces de ejecutar las lógicas necesarias según los requerimientos de implementación de cada Coordinado.

- Operaciones matemáticas para la síntesis y modelado de las funciones de falla que resulten de los estudios eléctricos finales.
- Instrucciones para el desarrollo de bloques de funciones que deben ejecutarse ante eventos intempestivos y permitan minimizar el programa principal destinando el tiempo del mismo a la detección de dichos eventos.
- Motor lógico de acuerdo a la norma IEC 61131.
- Administración de usuarios y funciones de seguridad.
- Procesador de comunicaciones de alta velocidad para las conexiones de bus de campo a los módulos de entrada/salida y puertos de comunicaciones con IED o sistemas SCADA.
- Las entradas digitales deberán ser optoacopladas y de alta velocidad que otorgue el margen de tiempo adecuado para el filtrado de señales espurias.
- Las salidas digitales serán también de alta velocidad para reducir el retardo total de la cadena de disparos entre la salida del controlador y la bobina de actuación final.
- El controlador deberá poseer la capacidad de sincronización con los receptores satelitales para el almacenamiento de eventos con estampa de tiempo universal a los fines de los análisis post actuación entre los registros de los diferentes controladores.
- El controlador deberá tener la capacidad de gestión de todas las interfaces de comunicación y protocolos de comunicación indicados anteriormente, no siendo admisible el uso de Gateways de conversión de protocolo para evitar retardos de comunicación.
- En caso de utilizar protocolo de comunicación IEC 61850, el equipo debe certificar la norma IEC 61850 en su totalidad.

Los controladores, además, deberán incluir la capacidad de realizar diagnósticos de forma remota y/o local. Los diagnósticos locales se realizarán a través de un equipo de programación y control. Se deberán poder realizar las siguientes funciones:

- Visualizar el estado general del controlador.
- Simulación de comandos a través de la herramienta de programación o software de monitoreo.

- Configuración de valores analógicos mediante la herramienta de programación o software de monitoreo.

El software de diagnóstico debe correr en línea, es decir, no será necesario suspender la operación normal del controlador durante la realización de estos. Los requerimientos de diagnóstico se presentan en el punto 4.3 siguiente.

4.3 Diagnóstico de fallas

El equipamiento deberá poder efectuar un diagnóstico en caso de falla o mal funcionamiento de alguno de sus módulos integrantes. En caso de cualquier falla detectada, deberán activar las alarmas correspondientes. Estas rutinas de diagnóstico deberán detectar mal funcionamiento de al menos los siguientes elementos:

- Transductor de Potencia
- Transductor de Corriente
- Lectura errónea de contactos de entrada
- Falla de unidad de sincronía satelital
- Falla en unidad GPS y/o detección de red satelital
- Falla en enlace del supervisor local
- Falla en el enlace de comunicaciones del supervisor remoto
- Falla en el enlace ICCP hacia el SCADA del CEN
- Fallas en equipos de comunicación (switches, routers, etc.)
- Falla en sistema de respaldo de energía

- Falla en sistema de energía de alimentación

4.4 Requerimientos de disponibilidad

El conjunto Hardware y enlace de comunicaciones deberá contar con una disponibilidad de equipamientos no inferior a 99,95% (noventa y nueve coma noventa y cinco por ciento), calculado con un MTTR (Tiempo Medio de Reparación) máximo de 1 (una) hora, con los repuestos sugeridos por el fabricante. Además, los enlaces de comunicación deberán ser redundantes.

4.5 Gabinetes

Gabinete en columna modular tipo rack 19" de dimensiones estándar, como por ejemplo 800x2100x800.
Requerimientos Mínimos para la Implementación del Plan de Defensa por Contingencias Extremas – Enero 2020

El gabinete deberá ser construido en su totalidad en chapa plegada de acero de 1.5mm de espesor mínimo, conformado una unidad modular con tapas o autoportante compacto, de elevada rigidez mecánica. Será totalmente estanco, poseerá cierre laberíntico y junta de neoprene en todas las aberturas. El grado de protección IP debe ser como mínimo IP 55.

En caso de que el coordinado así lo sugiera, para las subestaciones donde no hubiere espacio disponible para montar un gabinete de columna podrá proveerse un tablero de montaje en pared de dimensiones según necesidad.

4.6 Otras características

Considerando lo crítico de la operación de estos esquemas, el impacto de ellos en la operación de la red y el bajo costo comparativo que representa una segunda unidad de control frente al costo de un apagón total, se requiere el uso de un esquema de control redundante.

Por lo mencionado, los equipos de control de los esquemas deberán disponer de la capacidad de funcionar en topología HOT-HOT, es decir, un sistema de control dual que resuelve la indisponibilidad de uno de los equipos, ante una eventual falla, de forma instantánea.

La redundancia de la unidad de control deberá ser nativa, el fabricante de esta deberá proveer en su firmware esta facilidad. La redundancia no podrá “construirse” a través de programas externos desarrollados para ello.

Esta condición de redundancia solo puede levantarse si el proveedor demuestra, mediante una memoria de cálculo, que es posible lograr la confiabilidad requerida mediante la utilización de una sola unidad de control.

La redundancia de la unidad de control principal no debe ser entendida como una redundancia de CPU. Así expuesto la redundancia solicitada debe ser entendida también para las puertas de entrada/salida de estado y análogas, de puertas de comunicación, etc., asociadas a esta unidad de control.

5 Otras consideraciones

5.1 Detección de falla de contingencia extrema

Los esquemas de implementación, en cada tramo, deben detectar la apertura de las líneas de 500kV en ambos extremos. Para estos efectos es necesaria la toma de posiciones directamente desde los contactos auxiliares de los interruptores indicados en cada caso, sin que las señales provengan de equipos intermedios o repetidores de señales.

Para todas las SSEE de 500kV y 220kV que cuentan con esquemas de interruptor y medio, se recomienda la toma de posiciones de los interruptores y además de los desconectores, esto último con el objeto de contemplar posibles operaciones de mantenimiento de algún interruptor.

Para las SSEE de 220kV y 110kV que cuentan con barra de transferencia, se recomienda la toma de posiciones de los interruptores, de los desconectores, del interruptor de transferencia, y además las señales estado de cada paño (Normal, Intermedio y Transferido).

A la detección de falla por posiciones debe adicionarse la confirmación por corriente cero o delta de corriente de las líneas. Para esto es necesario el uso de equipos de medición que tengan la capacidad de operar en tiempos iguales o menores a 50ms. La toma de mediciones debe realizarse directamente desde los TTPP y TTCC de los circuitos considerados en los esquemas.

Para maximizar la confiabilidad de la detección de la contingencia extrema, se deberá implementar una lógica de decisión "2 de 3".

5.2 Órdenes de disparo de interruptores o actuación de otros sistemas

Las acciones estabilizantes requeridas están detalladas en los esquemas de cada tramo. En resumen, corresponde a:

- Ordenes de apertura de interruptores en SS/EE de 500, 220 y 110 kV.
- Ordenes de habilitación de escalones rápidos a los relés de sobretensión existentes.
- Ordenes de puenteo de CCSS.

Para ejecutar estas órdenes, los controladores deben disponer de salidas digitales rápidas y de alta capacidad de corriente para enviar órdenes de disparo directamente a las bobinas de disparo de los interruptores, así evitando el uso de relés auxiliares los cuales adicionan retardos y posibles puntos de fallas.