



**Análisis de la Operación de los
Sistemas SIC-SING Interconectados**
ESTUDIO 3: Control y Estabilidad de Tensión
INFORME FINAL

Proyecto EE-2016-061
Informe Técnico EE-ES-2016-1402
Revisión C



ESTUDIOS ELECTRICOS



**Power System Studies & Power Plant Field Testing
and Electrical Commissioning ISO9001:2008
Certified**

09/03/2017

Este documento EE-ES-2016-1402-RC fue preparado para Coordinador Eléctrico Nacional por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Nicolás Turturici

Departamento de Estudios

nicolas.turturici@estudios-electricos.com**Ing. Gustavo Alvarado**

Departamento de Estudios

gustavo.alvarado@estudios-electricos.com**Ing. Javier Vives**

Departamento de Estudios

javier.vives@estudios-electricos.com**Ing. David Perrone**

Departamento de Estudios

david.perrone@estudios-electricos.com**Ing. Alejandro Musto**

Coordinador Dpto. Estudios

alejandro.musto@estudios-electricos.com**Ing. Fernando Libonati**

Gerente Dpto. Estudios

fernando.libonati@estudios-electricos.comwww.estudios-electricos.com

Este documento contiene 218 páginas y ha sido guardado por última vez el 09/03/2017 por Nicolás Turturici, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentario	Realizó	Revisó	Aprobó
A	07/12/2016	Final para revisión	NT/ GA /JV	AM	FL
B	10/02/2017	Contempla respuesta a observaciones →O-SING-ECT-INTERC-EE-V3 →MINUTA TÉCNICA N°14	NT/ GA /JV	AM/DP	FL
C	09/03/2017	Informe Final.	NT	AM	FL

ÍNDICE

1 RESUMEN EJECUTIVO	6
1.1 Análisis de la operación en topología de FASE I	7
1.2 Análisis de la operación en topología de FASE II	10
1.3 Análisis de la operación en topología de FASE III	14
2 INTRODUCCION	17
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 Metodología general.....	19
3.2 Consideraciones	21
3.2.1 Generales.....	21
3.2.2 Control de reactivos/tensión de proyectos renovables	22
3.3 Análisis estático en red N.....	24
3.3.1 Escenarios de operación	24
3.3.2 Barras a monitorear.....	25
3.3.3 Determinación de barras débiles en red N	26
3.3.4 Efectividad de los recursos de control de tensión	26
3.3.5 Definición de las áreas de control de tensión.....	27
3.3.6 Evaluación de las reservas en Red N	28
3.4 Análisis estático en red N-1.....	28
3.4.1 Aplicación de contingencias simples	29
3.4.2 Determinación de las contingencias más críticas.....	30
3.4.3 Determinación de barras débiles en red N-1	30
3.4.4 Determinación de reserva.....	30
3.5 Análisis dinámico	30
4 DESARROLLO FASE I.....	32
4.1 Escenarios de análisis	32
4.2 Impacto de las nuevas obras.....	33
4.3 Análisis en RED N	34
4.3.1 Determinación de barras más débiles.....	34
4.3.2 Efectividad de los recursos de control de tensión	38
4.3.3 Definición de Áreas de control de tensión	40
4.4 Análisis en RED N-1	44
4.4.1 Definición de Contingencias Fase I.....	44
4.4.2 Determinación de contingencias más exigentes.....	44
4.5 Análisis de alternativas para la operación en Fase I.....	60
4.5.1 Definición de tensiones de servicio para Fase I.....	61
4.5.2 Operación CCSS 500kV Los Changos – Nueva Cardones	63
4.5.3 Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio.....	65
4.5.4 Despacho forzado Fase I	67
4.5.5 Desconexión conjunta reactor 500kV – circuito de línea 500kV.....	71
4.6 Principales resultados y conclusiones de Fase I.....	77
4.6.1 Operación en red N.....	77
4.6.2 Operación en red n-1.....	78
4.7 Recomendaciones y propuestas para Fase I	79
4.7.1 Operación en red n	79
4.7.2 Operación en red n-1	80

5 DESARROLLO FASE II	83
5.1 Escenarios de análisis	83
5.2 Impacto de las nuevas obras.....	84
5.3 Análisis en RED N	85
5.3.1 Tensiones y reservas de potencia reactiva en red N	85
5.3.2 Definición de tensiones de servicio para Fase II	86
5.3.3 Operación de CCSS Nueva Cardones-Polpaico 500kV	88
5.3.4 Barras más débiles en red N	91
5.3.5 Efectividad de los recursos de control de tensión	97
5.3.6 Definición de Áreas de control de tensión	99
5.3.7 Análisis de alternativas de operación en red n.....	101
5.4 Análisis en RED N-1	110
5.4.1 Definición de Contingencias	110
5.4.2 Determinación de contingencias más exigentes.....	111
5.4.3 Análisis red n-1 con un circuito Los Changos-Cumbre fuera de servicio	121
5.4.4 Análisis desconexión conjunta reactor – circuito de línea 500kV	124
5.5 Principales resultados y conclusiones de Fase II	128
5.5.1 Operación en red N.....	128
5.5.2 Operación en red n-1.....	130
5.6 Recomendaciones y propuestas Fase II	130
5.6.1 Operación en red n.....	130
5.6.2 Operación en red n-1	131
6 DESARROLLO FASE III	133
6.1 Escenarios de análisis	133
6.2 Análisis en RED N	134
6.2.1 Impacto de las nuevas obras	134
6.2.2 Tensiones y reservas en red N	135
6.2.3 Tensiones de servicio.....	138
6.2.4 Operación CCSS Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV	139
6.2.5 Barras más débiles en red N	147
6.2.6 Efectividad de los recursos de control de tensión	152
6.2.7 Definición de Áreas de control de tensión	157
6.3 Análisis en RED N-1	159
6.3.1 Definición de Contingencias	159
6.3.2 Determinación de contingencias más exigentes.....	160
6.4 Análisis de contingencias	176
6.4.1 Pérdida de unidades de generación.....	176
6.4.2 Reactor Los Changos	180
6.4.3 Reactor Nueva Cardones	183
6.4.4 Pérdida Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV C1	187
6.5 Sensibilidad: ERNC con control de tensión	196
6.6 Operación en Demanda Baja mínima – Despacho CT Guacolda.....	197
6.6.1 Análisis red N	197
6.6.2 Análisis red N-1	198
6.6.3 Sensibilidad despacho SING.....	203
6.7 Transferencias SIC-SING – Reservas de Reactivos	204
6.7.1 Mínima Inercia SING.....	204
6.8 Principales resultados y conclusiones de Fase III	213

6.8.1 Operación en red n	213
6.8.2 Operación en red n-1	214
6.9 Recomendaciones y propuestas Fase III	216

ANEXOS

- ANEXO I: ESCENARIOS ESTUDIO 3
- ANEXO II: ESCENARIOS DESPACHO FORZADO FASE I
- ANEXO III: MODELO DINÁMICO ERNC
- ANEXO IV: BASE DE DATOS DIGSILENT CONTROL DE TENSIÓN

1 RESUMEN EJECUTIVO

En el marco de la interconexión de los sistemas eléctricos de Chile SIC y SING, el Comité CDEC (actualmente el Coordinador Eléctrico Nacional) solicita la elaboración de un conjunto de estudios conducentes a evaluar la operación de éstos en etapas previas y posteriores a su interconexión, cuyo alcance involucra los siguientes desarrollos:

- a) Preparación de la base de datos y escenarios base (PBD).
- b) Estudio 1: Estudio de control de frecuencia y distribución de reservas CPF y CSF.
- c) Estudio 2: Estudio de evaluación del comportamiento del sistema con los automatismos existentes (EDAC, EDAG y otros).
- d) Estudio 3: Estudio de control y estabilidad de tensión.**
- e) Estudio 4: Estudio de Estabilidad de Pequeña Señal y Sintonización de PSS
- f) Estudio 5: Estudio de diagnóstico de fallas de severidad 6, 7, 8 y 9.
- g) Estudio 6: Estudio de Energización de Instalaciones y TRV.

Específicamente este documento corresponde al **INFORME FINAL** del **ESTUDIO 3**, el cual incorpora los desarrollos metodológicos, análisis de red n y red n-1 y la verificación de resultados y recomendaciones.

El estudio considera 4 estados topológicos del sistema, relevantes en cuanto a la evolución propia de la red para concretar la interconexión SIC-SING:

- La FASE I está focalizada en el SIC y en el impacto de la interconexión de la central CTM3 junto con la línea 2x500kV Los Changos-Cumbre-Nueva Cardones, la cual permite la conexión de esta central desde la zona de Mejillones a la zona norte del SIC.
- La FASE II, también focalizada en el SIC, considera en servicio el proyecto de transmisión 2x500kV Polpaico – Nueva Pan de Azúcar – Nueva Maitencillo – Nueva Cardones, con una capacidad de 1500MVA.
- La FASE III considera a los sistemas SIC y SING interconectados mediante el desarrollo de la obra Kapatour – Los Changos 2x220kV, 1500MVA.
- Finalmente se considera una FASE IV de estudio, planteada como caso de sensibilidad, donde se analiza la interconexión SIC-SING con un retraso en el proyecto Polpaico – Nueva Pan de Azúcar – Nueva Maitencillo - Nueva Cardones. Esta condición de sensibilidad ha sido tratada de manera integral en el informe "Operación topología FASE IV".

Los principales resultados del análisis en cada topología, junto con las recomendaciones propuestas para la operación, se presentan a continuación:



1.1 Análisis de la operación en topología de FASE I

Principales resultados

La incorporación más relevante en topología de la Fase I corresponde a la conexión en el SIC de la central CTM3, junto con el sistema de transmisión 2x500kV Los Changos-Cumbre-Nueva Cardones. Siendo que este sistema de transmisión se encuentra prácticamente auto-compensado, en condiciones normales de operación no se visualizan problemas para el control de tensión. Por otro lado, el diseño de esta línea considera reactores de barra y línea de gran tamaño respecto a las capacidades del sistema en dicha topología (175 MVar y 150 MVar, respectivamente), por lo cual, ante la maniobra o pérdida de uno de estos equipos, el sistema experimentaría elevadas variaciones de tensión.

En cuanto a los niveles de sensibilidad dv/dQ , se observa que:

- Las SS/EE Los Changos y Cumbre son notoriamente dependientes del despacho de CTM3, con valores elevados de sensibilidad cuando esta central está fuera de servicio.
- Las SS/EE actualmente operativas mantienen un comportamiento similar al actual, donde las barras más sensibles corresponden a las SS/EE Punta Colorada, Las Palmas y Los Vilos.
- En todos los casos, las barras más sensibles se caracterizan por controles de tensión poco efectivos dados por la ausencia de recursos en el escenario operativo (caso CTM3 para Los Changos y Cumbre) o lejanía eléctrica del punto de control (caso Las Palmas y Los Vilos).

A partir del análisis de efectividad de los recursos para el control de tensión, se encuentra que es posible definir dos áreas de control de tensión según se presenta a continuación:

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	Los Changos 220kV y 500kV	CER Cardones/CTM3/SVC plus
	Cumbre 500kV	
	Nva Cardones 500kV	
	Cardones 220kV	CER Cardones/SVC plus
	Diego de Almagro 220kV	
	Carrera Pinto 220kV	
	Maitencillo 220kV	CER Cardones/CT Guacolda/CER Maitencillo
Barra frontera	PUNTA COLORADA 220kV	CT Guacolda/CER Pan de Azúcar
ACT#2	Pan de Azúcar 220kV	CER Pan de Azúcar
	Las Palmas 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas/CER Polpaico
	Los Vilos 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	Nogales 220kV	Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	Quillota 220kV	
	Polpaico 220kV	
	Polpaico 500kV	CER Polpaico

En función de los análisis de contingencia realizados, se encuentra que los eventos más críticos son aquellos que involucran la desvinculación de alguno de los siguientes elementos:

1. Reactor de barra Los Changos
2. Reactor de barra Nueva Cardones
3. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Los Changos
4. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Cumbre

Utilizando la clasificación de Áreas de Control antes presentada, se puede decir que el ACT#1 presenta en general problemas de sobretensión post-contingencia tras la pérdida de uno de los reactores de barra o de línea mencionados anteriormente.

Frente a estas contingencias y aún con el despacho forzado de las 5 unidades de la CT Guacolda y CTM3, siguen existiendo escenarios donde se obtienen tensiones superiores a los límites establecidos por la NTSyCS (especialmente cuando no hay ERNC disponible). Por lo que se concluye que el despacho forzado de la CT Guacolda y CTM3, si bien contribuye a disminuir las sobretensiones que se presentarían en condiciones de red n-1, no garantiza niveles de tensión post-contingencia admisibles para cualquier escenario de operación.

En general, se puede ver que los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los parques ERNC podrían no participar del control de tensión (aunque está estipulado en la NTSyCS enero 2016), el Centro de Despacho y Control (CDC) puede asignarles (tal como lo hacen en la actualidad) una consigna fija de potencia reactiva para disminuir las tensiones de la zona y proporcionar un margen de reactivos a las unidades que realizan controles de tensión. En consideración de lo anterior, se encuentra que los parques ERNC tienen un gran potencial para el control de tensión, sobre todo en la zona norte del SIC, donde se proyecta un importante aumento en la capacidad instalada de parques fotovoltaicos.

Recomendaciones para la operación

Si bien en condiciones normales de operación no se encuentran problemáticas, las recomendaciones que se presentan a continuación están orientadas a mitigar los efectos de la desconexión de los reactores de línea y barra indicados anteriormente, que en los escenarios de operación desfavorables derivaría en sobretensiones inadmisibles.

- 1) En cuanto a tensiones de operación, para un determinado grupo de barras se encuentra necesario utilizar tensiones de servicio distintas a las nominales. Las tensiones propuestas son:
 - ✓ Los Changos 500kV: 510kV
 - ✓ Cumbre 500kV: 510kV

- 2) Respecto a los CCSS, resulta necesario mantenerlos operativos. Además de derivar en un mejor perfil de tensiones en las barras de 500kV, permite cumplir con todos los estándares normativos, aspecto que no se logra si se puentean.
- 3) De forma complementaria a las tensiones de servicio antes presentadas y la operación de los CCSS, se deberá considerar alguna de las siguientes alternativas:

- a. Opción 1: Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio

Como primera opción se propone la operación de forma permanente con un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV fuera de servicio. Esta medida resulta ser efectiva para mitigar las sobretensiones que se observarían tras la pérdida de un reactor y tiene la ventaja de no afectar la operación económica del sistema y no tener tiempos de implementación implicados. Resulta de interés indicar que en esta topología las líneas simplemente conectan radialmente una unidad al SIC, la cual es de hecho de menor capacidad que la unidad más grande del sistema. Se considera que esta condición operativa no presenta riesgos mayores para el sistema ya que, en el peor de los casos, una contingencia podría incurrir en la pérdida del circuito paralelo con la consecuente pérdida de la central CTM3 (296MVA). Según los despachos económicos, se prevé que esta unidad se encuentre operativa durante la noche en escenarios de hidrología seca.

- b. Opción 2: Despacho forzado

Como alternativa a la propuesta anterior, se encuentra la necesidad de contar con un mínimo de generadores sincrónicos en servicio (Guacolda / CTM3 / Taltal) aunque su costo de operación no lo amerite. El detalle de las unidades necesarias en cada caso se presenta en la sección "4.5.4 Despacho forzado Fase I".

- c. Opción 3: Desconexión conjunta reactor-circuito de línea 500kV

Como alternativa final y adicional a la definición de tensiones de servicio y operación de los CCSS, se puede considerar la desconexión conjunta de un circuito de línea de 500kV tras la pérdida de un reactor. A continuación, se describen los tres casos de desconexión de reactor con la consiguiente apertura automática del circuito adyacente:

- Falla del reactor de barra Los Changos 500kV (175MVA_r) → apertura de un circuito Los Changos – Cumbre 2x500kV.
- Falla del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV (175MVA_r) → apertura de uno de los circuitos de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV.
- Falla de un reactor de línea (150MVA_r) → apertura de uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV

La apertura automática de los circuitos de línea propuesta anteriormente, se podría implementar a través de un ajuste que de orden de desenganche directo del circuito correspondiente tras la pérdida de reactor. Contemplando que esta acción pueda implementarse mediante los existentes equipos de protección (más allá de alambrados locales adicionales), se estima que podría implementarse dentro de los plazos de puesta en servicio del proyecto.

Asimismo, es necesario contar con reservas para control de tensión de 140MVAR totales (SIC NORTE), de los cuales 86MVAR deberán estar entre el SVC Plus y el CER de Cardones.

Finalmente, en los casos en donde la CTM3 no se encuentre despachada, se encuentra necesario operar con tensiones entre 0.98 y 0.99 pu en barras de Nva Cardones para evitar sobretensiones post-contingencia ante la pérdida de un reactor de 500kV.

1.2 Análisis de la operación en topología de FASE II

Principales resultados

La incorporación más relevante en topología de Fase II corresponde a la puesta en servicio del corredor 2x500kV Nueva Cardones - Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar – Polpaico. Siendo que este sistema no fue diseñado para estar “auto-compensado” (inyecta al sistema cerca de 400Mvar en vacío), se presentan problemas para el control de las tensiones (sobretensiones) en condiciones normales de operación, las cuales naturalmente se agravan ante la pérdida de reactores.

En cuanto a los niveles de sensibilidad dv/dQ , se observa que, al igual como se vio para Fase I, las barras que presentan mayores sensibilidades en condiciones de operación normal de la red resultan: Los Changos 500kV y 220kV, Cumbre 500kV, Nueva Cardones 500kV, Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV. Esto se debe a que, particularmente en estas barras, su distancia eléctrica a los puntos de control (Pan de Azúcar y Nogales) no se ve alterada por la puesta en servicio del nuevo sistema de 500kV.



Por otro lado, se encuentra que es posible definir dos áreas de control de tensión según se presenta a continuación:

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	SVC Plus/CER Cardones
	CARRERA PINTO 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda
	SAN ANDRÉS 220kV	
	CARDONES 220kV	
	LOS CHANGOS 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda/CTM3
	LOS CHANGOS 500kV	
	CUMBRE 500kV	
	NUEVA CARDONES 500kV	
	MAITENCILLO 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda
	N. MAITENCILLO 500kV	
	PUNTA COLORADA 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
	PAN DE AZÚCAR 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
	N. PAN DE AZÚCAR 500kV	CT Guacolda
barra frontera	LAS PALMAS 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
ACT#2	LOS VILOS 220kV	CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	NOGALES 220kV	CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	QUILLOTA 220kV	
	POLPAICO 220kV	
	POLPAICO 500kV	CER Polpaico

Como se mencionó anteriormente, producto de la alta cantidad de potencia reactiva que inyecta al sistema el nuevo corredor 2x500kV Nueva Cardones - Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar - Polpaico (>400MVAR en vacío), se observa que las tensiones del norte del SIC presentan niveles elevados en condición de red completa, en muchos casos fuera de los límites establecidos en la NTSyCS para la operación en Estado Normal si se consideran tensiones de servicio iguales a las nominales. Adicionalmente, se encuentra en que en la mayoría de los escenarios de estudio los CERs y el SVC Plus del norte del SIC presentan una gran ocupación de su capacidad (cercana a un 100%), y hasta en ciertos casos, éstos se encuentran saturados (absorbiendo reactivos). Del mismo modo, las unidades sincrónicas de la CT Guacolda y CTM3 presentan condiciones de sub-excitación considerables en la mayoría de los escenarios.

En función de los análisis de contingencia realizados, se encuentra que los eventos más críticos son aquellos que involucran la desvinculación de alguno de los siguientes elementos:

1. Reactor de barra Los Changos (175Mvar)
2. Reactor de barra Cardones (175Mvar)
3. Reactores de línea Los Changos - Cumbre (150Mvar c/u)
4. Reactores de línea N. Pan de Azúcar - Polpaico (175Mvar c/u)
5. SVC Plus Diego de Almagro

Tras la ocurrencia de alguna de las contingencias listadas anteriormente, el SIC Norte experimenta elevados niveles de tensión, en algunos casos, muy por encima de los establecidos en la NTSyCS para Estado de Emergencia, lo que se debe principalmente a la inyección de potencia reactiva del nuevo corredor 2x500kV Nueva Cardones - Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar - Polpaico.

Por otro lado, en la zona centro no se observan problemas de control de tensión, si bien los requerimientos de reactivos son apreciables (del orden de ± 500 MVar), el sistema lo soporta sin problemas.

Al igual como ocurre para Fase I, se puede ver que escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los nuevos parques ERNC podrían no participar del control de tensión, el CDC puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva, tal como lo hace en la actualidad con los parques existentes.

Recomendaciones para la operación

Las condiciones de operación de la red bajo la topología de la fase en estudio resultan complejas debido a la inyección de reactivos del nuevo sistema de transmisión. Esto provoca que los recursos para el control de tensión no resulten suficientes para el control de las tensiones tanto de red N como red N-1. Por este motivo se proponen medidas operativas a saber:

- 1) En cuanto a tensiones de operación, para un determinado grupo de barras se encuentra necesario utilizar tensiones de servicio distintas a las nominales. Las tensiones propuestas son:
 - ✓ Los Changos: 510kV
 - ✓ Cumbre: 510kV
 - ✓ Nueva Cardones: 505kV
 - ✓ Nueva Maitencillo: 510kV
 - ✓ Nueva Pan de Azúcar: 510kV

- 2) Respecto a los CCSS, se recomienda operar con los CCSS de la línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico 2x500kV fuera de servicio (con el bypass cerrado) para transferencias menores a 800MW. En cuanto a los CCSS de las líneas entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar, se recomienda la operación con los mismos en servicio para todo nivel de transferencia. Conforme a los resultados de los perfiles de carga previstos para la línea, se espera que este umbral sea alcanzado diariamente, por lo que el fabricante deberá validar la posibilidad de realizar maniobras frecuentes sobre los interruptores de los CCSS. En el caso que esto no sea posible será necesario realizar un análisis detallado, junto con una evaluación económica, para determinar la conveniencia de operación abiertos (despacho forzado) vs cerrados (límites en la transferencia); situación que puede variar estacionalmente según disponibilidad ERNC e hidrología, teniendo también en consideración que en determinadas condiciones el despacho forzado puede incluso no ser suficiente.

3) De forma complementaria a las tensiones de servicio antes presentadas y la operación de los CCSS, se deberá considerar alguna de las siguientes alternativas:

a. Opción 1: Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio

Como primera opción se propone la operación de forma permanente con un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV fuera de servicio. Esta medida resulta ser efectiva para mitigar las sobretensiones que se observarían tras la pérdida de un reactor y tiene la ventaja de no afectar la operación económica del sistema y no tener tiempos de implementación implicados. Notar que esta topología también corresponde a una línea que conecta radialmente a un generador del sistema.

b. Opción 2: Despacho Forzado* + CERs y SVC plus absorbiendo Q + Desconexión conjunta reactor-circuito de línea 500kV

Adicional a la definición de tensiones de servicio y operación de los CCSS, se puede considerar el despacho forzado de unidades térmicas en servicio (Guacolda / CTM3 /Taltal, aunque su costo de operación no lo amerite) y la operación en régimen permanente de los equipos CER y SVC plus del SIC norte absorbiendo reactivos muy cerca de sus límites para subsanar los problemas de sobretensión observados en red N, principalmente en condiciones sin ERNC fotovoltaico (noche).

Además de esto, debe considerarse, la desconexión conjunta de un circuito de línea de 500kV tras la pérdida de un reactor, de modo de obtener tensiones normativamente admisibles post-contingencia. A continuación, se describen los tres casos de desconexión de reactor con la consiguiente apertura automática del circuito adyacente:

- Falla del reactor de barra Los Changos 500kV (175MVar) → apertura de un circuito Los Changos – Cumbre 2x500kV.
- Falla del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV (175MVar) → apertura de uno de los circuitos de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV.
- Falla de un reactor de línea (150MVar) de uno de los circuitos la línea Los Changos - Cumbre → apertura de uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV

La apertura automática de los circuitos de línea propuesta anteriormente, se podrá implementar a través de un ajuste que de orden de desenganche directo del circuito correspondiente tras la pérdida de reactor.

* La operación de los parques fotovoltaicos absorbiendo potencia reactiva, particularmente durante la noche (sin disponibilidad de recurso primario), muestra ser una opción efectiva en el control de tensión en red N, que podría mitigar la necesidad de despachos forzados.

No obstante, se mantendrán los requerimientos de desconexión conjunta reactor-circuito de línea 500kV.

1.3 Análisis de la operación en topología de FASE III

Principales resultados

La incorporación más relevante en Fase III corresponde a la interconexión SIC-SING a través de la línea de doble circuito Kapatur – Los Changos 2x220kV. Con la interconexión, el nodo LOS CHANGOS pasa a disponer de un control de tensión más robusto (desde el SING), lo cual mejora el desempeño respecto a lo apreciado en las Fases I y II. No obstante, no se alteran las características intrínsecas del sistema de transmisión, de modo que se debe operar de forma condicionada (*ver a posteriori*), contemplando los significativos excedentes de potencia reactiva en condiciones normales, previamente mencionados. En particular, los problemas se asocian a la región comprendida entre POLPAICO y NUEVA CARDONES, donde el sistema de transmisión no cuenta con compensación shunt suficiente en condiciones normales.

A partir del análisis de efectividad de los recursos para el control de tensión, se encuentra que es posible definir tres áreas de control de tensión según se presenta a continuación:

- **ACT 1:** Barras de Laberinto, Crucero y Encuentro (zona SING). Esta área comprende la mayoría de las barras del SING monitoreadas. Las mismas comparten los recursos de control y pueden ser discriminadas de las áreas definidas posteriormente.
- **ACT 2:** Barras desde Kapatur 220kV hasta Las Palmas 200kV (incluyendo barras de 500kV entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar). La eficacia de los recursos de control de tensión sobre las barras de toda esta área y la reducción de la impedancia por el nuevo sistema de 500kV derivan en la necesidad de considerar a este tramo como una sola área de control.
- **ACT 3:** Barras de Los Vilos 220kV hasta Polpaico (500/220kV).

Vale destacar que, ajustando los escenarios para un adecuado desempeño en condiciones de red N, es factible soportar la pérdida de los reactores de barra del sistema sin caer en incumplimientos normativos, considerando las tensiones de servicio propuestas (indicadas a continuación), para todos los niveles de transferencias por los enlaces de 500kV, aún en escenarios sin generación en la S/E TEN. Del mismo modo se encuentra que los escenarios más críticos en cuanto al control de tensión (excedentes de reactivos) corresponden a casos de bajas transferencias por los enlaces de 500kV sin disponibilidad de generación renovable.

En línea con lo indicado para fases anteriores, la participación de los parques ERNC en el control de tensión mejora significativamente el desempeño global del sistema de transmisión en estudio.

Finalmente se valida que los resultados de mínima inercia del SING, obtenidos en el Estudio 1 – Control de Frecuencia para condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING, resultan compatibles con la mínima generación sincrónica necesaria para proveer márgenes de potencia reactiva en términos de estabilidad en tensión.

Recomendaciones para la operación

- 1) En cuanto a tensiones de operación, para un determinado grupo de barras se encuentra necesario utilizar tensiones de servicio distintas a las nominales. Las tensiones de servicio propuestas en el sistema de 500kV son:
 - ✓ Los Changos 500kV: 500kV (nominal)
 - ✓ Cumbre 500kV: 505kV
 - ✓ Nueva Cardones 500kV: 500kV (nominal)
 - ✓ Nueva Maitencillo 500kV: 505kV
 - ✓ Nueva Pan de Azúcar 500kV: 510kV
 - ✓ Polpaico 500kV: 500kV (nominal)

- 2) Respecto a los CCSS, se recomienda operar con los CCSS de las líneas entre Los Changos – Cumbres – Nueva Cardones y Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar 500kV en servicio para todo nivel de transferencia. Con respecto a los CCSS del enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV esto no es recomendable ya que en escenarios con transferencias reducidas por el sistema de 500kV se encuentran niveles de tensión elevados en condiciones de red N. Por lo tanto, resulta conveniente que los mismos modifiquen su estado de operación para lograr un buen control de tensión, en el siguiente modo:
 - a. Transferencias Norte → Sur menores a 800MW: fuera de servicio
Transferencias Norte → Sur mayores a 800MW: operativos
 - b. Transferencias Sur→Norte menores a 1000MW: fuera de servicio,
Transferencias Sur→Norte mayores a 1000MW: operativos

Conforme a los resultados de los perfiles de carga previstos para la línea, se espera que estos umbrales sean alcanzados diariamente, por los que el fabricante deberá validar la posibilidad de realizar maniobras frecuentes sobre los interruptores de los CCSS.

- 3) Respecto a los reactores de barra de 500kV, resulta conveniente la desconexión del reactor de barra de Los Changos en escenarios con máximas transferencias SIC→SING (900MW) para obtener un mejor perfil de tensión. Por otro lado, no se vio la necesidad de operar el reactor de barra de Nueva Cardones fuera de servicio en ninguna condición de operación.

- 4) Para escenarios de demanda baja, bajas transferencias por las líneas de 500kV del SIC norte, sin disponibilidad de generación renovable, se encuentra que resulta necesario el

despacho mínimo de 3 unidades de la CT Guacolda para controlar tensiones en la zona norte del SIC. Vale indicar que de acuerdo con los resultados de programación económica (PCP) se prevén al menos 4 unidades, de modo que esta condición no corresponde a un despacho forzado.

- 5) Respecto al análisis de mínima inercia en el SING, para lograr la estabilidad angular y de tensión en condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING, resulta necesario el despacho de unidades sincrónicas que totalizan una inercia de ~ 12426 [MVA*s] (9361[MVA*s] post-contingencia). A modo de referencia, un conjunto de unidades con la que se logra esta inercia es: ANG1, CTA, CTH, CTM1, CTM2, CTTAR, NTO1, NTO2, U14, U15, U16.
- 6) En cuanto al control de tensión por parte de parques ERNC, se recomienda la implementación de control continuo de tensión ya que ayuda significativamente a la operación del sistema. En este sentido, la implementación de controles con respuestas similares a equipos CER/STATCOM/SVC+ permite mejorar tanto el control de tensión en estado estacionario como dinámico, lo cual mejoraría los márgenes de estabilidad transitoria.

Finalmente, fuera de los aspectos operativos, se destaca la recomendación de evaluar la factibilidad de mejorar la compensación shunt de la región POLPAICO – N. CARDONES, para mitigar los problemas asociados a los excedentes de potencia reactiva.

2 INTRODUCCION

El presente documento corresponde a la versión FINAL PRELIMINAR de uno de los 6 estudios solicitados por el COMITÉ CDEC para evaluar la operación de los sistemas SIC y SING interconectados, específicamente enfocado en el Control y Estabilidad de Tensión.

El objetivo es identificar eventuales condiciones de riesgo y/o incumplimiento normativo y proponer, en caso de ser necesario, adecuadas políticas de operación para mejorar la seguridad del sistema a través de:

- a) La evaluación de la eficacia y cantidad de Recursos de Control de Tensión (RCT).
- b) La determinación de las Reservas de Potencia Reactiva (RPR) necesarias para hacer frente a las contingencias simples más probables.
- c) La correcta asignación de las RPR entre los RCT disponibles.
- d) La corrección y ajustes necesarios a las políticas de seguridad operativa, toda vez que existan riesgos de incumplimiento de los estándares establecidos en la NTSyCS.

A su vez el estudio considera 4 estados topológicos del sistema, relevantes en cuanto a la evolución propia de la red para concretar la interconexión SIC-SING:

- La FASE I estará focalizada en el SIC y en la puesta en servicio del enlace Mejillones y Nueva Cardones 2x500kV, 1500MVA.
- La FASE II seguirá focalizada en el SIC, considerando en servicio el enlace de transmisión Polpaico – Nueva Pan de Azúcar – Nueva Maitencillo – Nueva Cardones 2x500kV, 1500MVA.
- La FASE III considera a los sistemas SIC y SING interconectados mediante el desarrollo de la obra Kapatur – Los Changos 2x220kV, 1500MVA.
- Finalmente se considera una FASE IV de estudio, planteada como caso de sensibilidad, donde se analiza la interconexión SIC-SING con un retraso en el proyecto Polpaico – Nueva Pan de Azúcar – Nueva Maitencillo - Nueva Cardones. Esta condición de sensibilidad ha sido tratada de manera integral en el informe "Operación topología FASE IV".

La metodología que se presenta en este documento se desarrolla para las distintas fases indicadas anteriormente y diversos escenarios de operación, a fin de identificar problemáticas particulares en cada una de las fases de estudio. Se consideran diversas condiciones de demanda, transferencias, despachos (térmico/hidráulico) y de disponibilidad solar/eólica. Ésta se puede resumir en las siguientes tres etapas principales:

- Análisis estático en red N: se definen áreas de control, se determinan barras más débiles y recursos de control efectivos.

- Análisis estático en red N-1, se desarrolla sobre la base de un amplio grupo de contingencias simples, donde se determinan los escenarios y contingencias más críticas, barras más débiles y reservas de potencia reactiva por grupos de recursos.

- Análisis dinámico donde se verifica dinámicamente los resultados obtenidos.

3 METODOLOGIA

3.1 Metodología general

De forma esquemática, se presenta a continuación la metodología general a aplicar para llevar a cabo el Estudio de Control y Estabilidad de Tensión (ECyET). En la Figura 3-1 se sintetizan las distintas instancias de cálculo y procesamiento propuestas para el desarrollo del análisis de red N y N-1, junto con la verificación dinámica final.

El ECyET comienza con el análisis en Red N de los Escenarios Específicos desarrollados en la Base de Datos DIgSILENT PowerFactory. A partir de este análisis se definen:

- i. Barras más débiles
- ii. Recursos para el control de tensión más efectivos sobre cada barra
- iii. Áreas de Control de Tensión

El ECyET continúa con un análisis en Red N-1, el cual se realiza para un conjunto de contingencias simples (Severidad 4, 5 y 8) que resultan en la pérdida de importantes bloques de potencia reactiva, tales como: desconexión de generación, desconexión de líneas, desconexión de transformadores de poder, desconexión de reactores y desconexión de equipos de compensación de potencia reactiva (CER, SVC plus, reactores de barra, etc.). A partir de este análisis se determina:

- i. Contingencias más críticas
- ii. Reservas de potencia reactiva en red N-1 para afrontar las mismas
- iii. Barras más débiles en Red N-1
- iv. Escenarios más desfavorables

Finalmente, el ECyET concluye con el análisis de transitorios electromecánicos donde se evalúa la recuperación dinámica del sistema SIC-SING integrado, ante las contingencias más críticas y escenarios más desfavorables que resulten de los análisis de las etapas anteriores, en consideración de las exigencias establecidas en la NTSyCS, a través del monitoreo de tensiones en barras, excursiones angulares y oscilaciones de potencia activa.

Análisis estático en red N

Análisis Estático en Red N-1

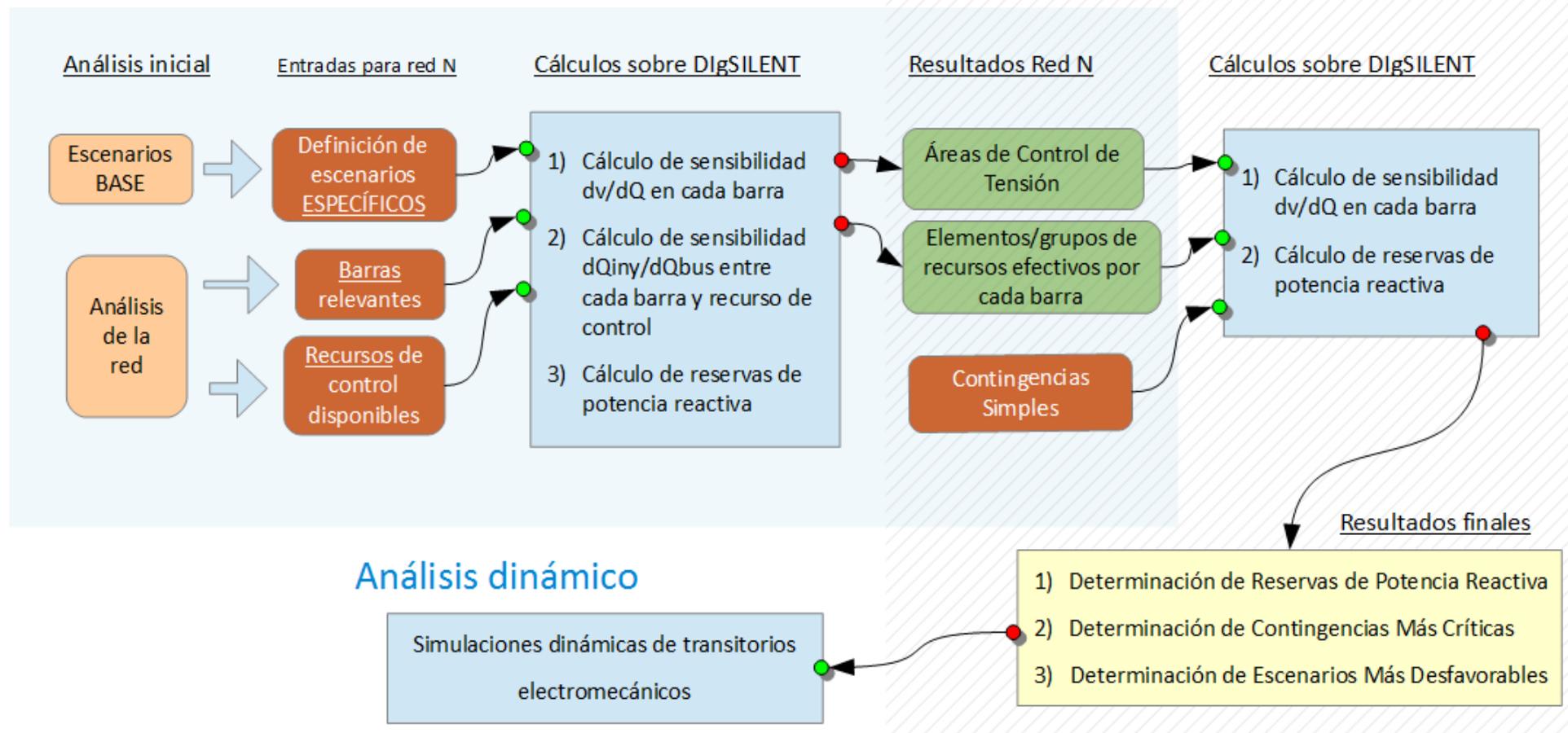


Figura 3-1: Metodología.

Se debe tener en cuenta que para el desarrollo del estudio se utilizarán como referencia las tensiones nominales de las barras del sistema de transmisión. Luego, será resultado del estudio identificar la necesidad de proponer tensiones de servicio diferentes a las nominales, en caso que se observe factible y conveniente en función de las tensiones observadas y exigencia de los RCT en los escenarios de operación, según cada fase del estudio.

Las herramientas de PowerFactory utilizadas para el desarrollo del ECyET de análisis son:

- Flujos de carga
- Sensibilidad dV/dQ y dQ/dQ
- Simulaciones dinámicas tipo RMS

En las secciones a continuación se detalla cada etapa de la metodología del presente estudio.

3.2 Consideraciones

3.2.1 Generales

A continuación, se describen las consideraciones generales utilizadas para la realización del estudio:

- Flujos en red N-1:
 - No se considerará control de taps automático.
 - No se considerarán en servicio los controles conjuntos de tensión.
 - Para evaluar la condición de admisibilidad de un escenario se considerarán respetar las tensiones de emergencia establecidas por la NTSyCS.
- Simulaciones dinámicas:
 - Para discriminar los problemas asociados al control de tensión, de los correspondientes a condiciones de estabilidad oscilatoria, al momento de realizar las simulaciones dinámicas, en los casos en que se presentan elevadas transferencias SING→SIC, se ajusta al menos el PSS de la U16 del SING para amortiguar el modo SING-SIC que se presenta en estas condiciones.

El ajuste se corresponde a los resultados del Estudio 4 "Estudio de Estabilidad de Pequeña Señal y Ajuste de PSS".

3.2.2 Control de reactivos/tensión de proyectos renovables

Análisis estáticos

- Los proyectos ERNC se consideran en modo potencia reactiva constante (PQ), con una curva de capacidad acorde a la NTSyCS, a excepción de proyectos particulares que existen en la actualidad y sobre los que se conoce su aporte nulo al control de tensión.
- Análisis de sensibilidad:

Al analizar flujos ante N-1, se considera realizar una sensibilidad contemplando que los proyectos renovables controlan tensión. Para esto se considera que cada proyecto renovable mantendrá una consigna de tensión en su barra de conexión (respetando su curva de capacidad):

- Se contempla la utilización de controles conjuntos de tensión como herramienta para el armado de escenarios en Digsilent. Los mismos se encontrarán en la base de datos, agrupando proyectos que se encuentren eléctricamente cercanos.
- A pesar de esto, para realizar el análisis de contingencias, los mismos serán sacados de servicio, fijando la tensión en barras de cada proyecto acorde a lo prefijado por el "Station Controller".
- Para esta sensibilidad se considerará que todos los proyectos renovables controlan tensión, sin discriminar potencia o fecha de puesta en servicio.

Análisis dinámicos

El modelo dinámico desarrollado por Estudios Eléctricos para representar el comportamiento de los proyectos renovables del sistema permite emular diferentes condiciones de operación de los mismos (ver descripción del mismo en anexo III). A pesar de esto, en base al conocimiento del desempeño de los proyectos existentes y al criterio adoptado para el desarrollo del estudio, se especifican las consideraciones adoptadas para la operación de estos proyectos:

Proyectos renovables SIC

- Proyectos actualmente en servicio (2016):
 - Eólicos: Se utilizará el modelo propuesto (EE). Se considerará que estos proyectos controlan potencia reactiva constante, sin control de tensión aún en condiciones de falla.

- Fotovoltaicos: Se utilizará el modelo propuesto (EE). Se considerará que estos proyectos controlan potencia reactiva constante, pero entran en modo control de tensión ante condiciones de falla (cuando la tensión cae por debajo del umbral del 10%, acorde a lo especificado en NTSyCS).
- Proyectos futuros:
 - Eólicos y fotovoltaicos: Se utilizará el modelo propuesto (EE). Se considerará que estos proyectos controlan potencia reactiva constante, pero entran en modo control de tensión ante condiciones de falla (cuando la tensión cae por debajo del umbral del 10%, acorde a lo especificado en NTSyCS).
 - Se evaluará analizar la sensibilidad de los resultados de estudios específicos contemplando que estos proyectos cuentan con un control de tensión convencional (para cualquier tensión, sin umbral de detección)

Proyectos renovables SING

- Proyectos actualmente en servicio (2016):
 - Valle de los vientos: Se utilizará el modelo de la Base de Datos oficial del SING.
 - Otros proyectos renovables: No se incorporarán modelos dinámicos. Se considerará que estos proyectos no controlan tensión ni potencia reactiva en ninguna condición (ni aportan potencia reactiva al sistema).
- Proyectos futuros:
 - Eólicos y fotovoltaicos: Se utilizará el modelo propuesto (EE). Se utilizará el modelo propuesto (EE). Se considerará que estos proyectos controlan potencia reactiva constante, pero entran en modo control de tensión ante condiciones de falla (cuando la tensión cae por debajo del umbral del 10%, acorde a lo especificado en NTSyCS).
 - Se evaluará analizar la sensibilidad de los resultados de estudios específicos contemplando que estos proyectos cuentan con un control de tensión convencional (para cualquier tensión, sin umbral de detección)

3.3 Análisis estático en red N

La figura siguiente sintetiza las distintas instancias de cálculo y procesamiento propuestas para el desarrollo del análisis de red N.

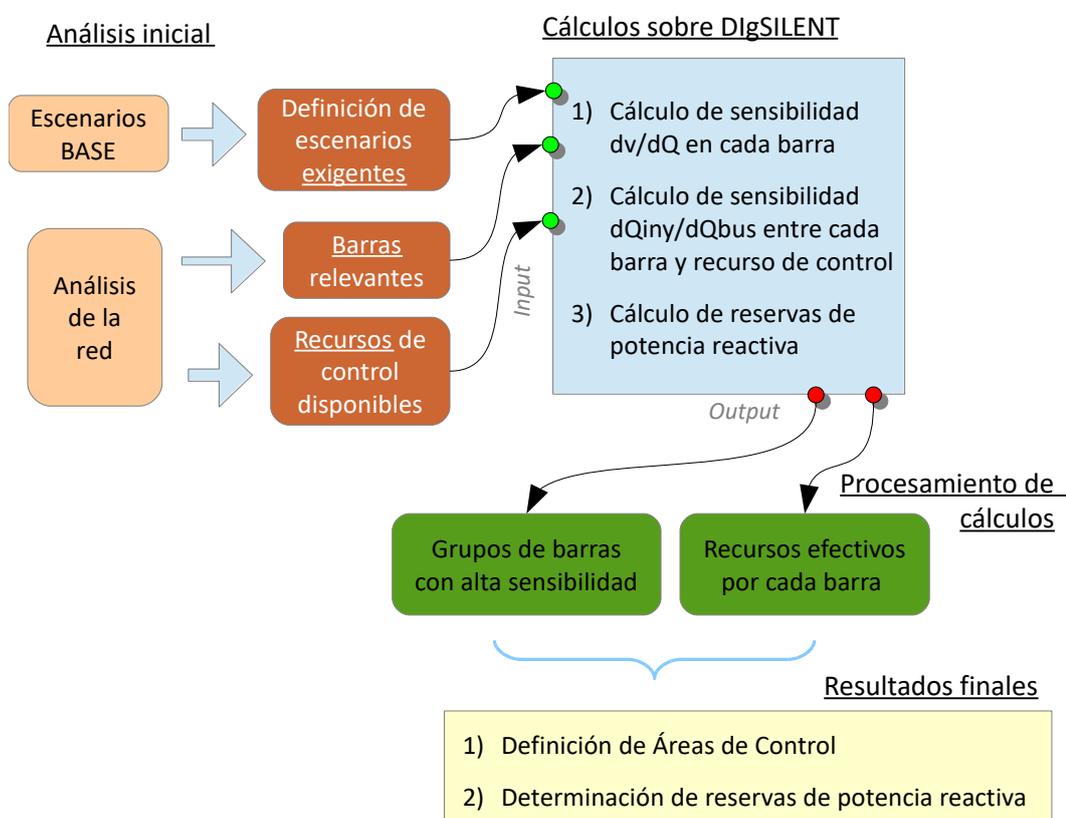


Figura 3-2: Esquema de desarrollo metodología para el ECyET en red N.

3.3.1 Escenarios de operación

Escenarios base

Corresponden a los escenarios entregados junto con la Base de Datos a ser utilizada de forma transversal en cada uno de los estudios solicitados, validados por el Comité CDEC. Los escenarios de estudio planteados se desarrollan con la premisa de cumplir con los criterios de operación normativos en red N y N-1.

Escenarios específicos

Partiendo de los escenarios base antes mencionados, se desarrollan Escenarios Específicos que permitan evaluar las condiciones más exigentes del sistema desde el punto de vista del control de tensión. Estos escenarios mantendrán intactas la topología del sistema y las condiciones de demanda para cada fase, focalizando su desarrollo en el despacho de unidades generadoras.

Se consideran al menos los siguientes casos extremos:

- ✓ Máxima/mínima disponibilidad hidroeléctrica (baja/alta generación en la zona norte)

- ✓ Máxima/nula disponibilidad de recurso solar/eólico
- ✓ Transferencias máximas por el sistema por 500 y 220kV.
- ✓ Transferencias nulas por el sistema de 500kV
- ✓ Casos combinatorios

En todos los casos se verifica que los escenarios resulten factibles de operar en cuanto a sobrecargas y tensiones admisibles; además, deberán cumplir estáticamente con un criterio de operación de red N-1.

3.3.2 Barras a monitorear

Para focalizar el estudio en las instalaciones que se vean directamente impactadas por la interconexión de los sistemas SIC-SING y los proyectos Líneas TEN e ISA, se define un conjunto de barras de 220kV y 500kV representativas del SIC-SING integrado, en la zona influenciada por dichos proyectos. En la tabla a continuación se listan las barras que serán reportadas.

Nombre Barra	kV
Los Changos	500
Cumbre	500
N. Cardones	500
N. Maitencillo	500
N. P. de Azúcar	500
Polpaico	500
Crucero	220
Encuentro	220
Laberinto	220
Kapatur	220
D. de Almagro	220
Carrera Pinto	220
San Andrés	220
Cardones	220
Maitencillo	220
Punta Colorada	220
Pan de Azúcar	220
Las Palmas	220
Los Vilos	220
Nogales	220
Quillota	220
Polpaico	220

Tabla 3-1: Selección de barras a monitorear.

3.3.3 Determinación de barras débiles en red N

A través de un *análisis de sensibilidad* dv/dQ se determinan las barras más débiles del sistema SIC-SING integrado. El cálculo se realiza mediante la herramienta "Load Flow Sensitivities", específicamente utilizando la opción "Diagonal Elements Only" que permite calcular para todas las barras del sistema el efecto que tiene en la tensión una inyección de un ΔQ de 1MVar en cada barra.

El objetivo de este cálculo es identificar (para posteriormente monitorear con mayor detalle) las barras que poseen mayor sensibilidad, siendo éstas las barras más críticas para el control de tensión.

Como criterio, se dirá que una barra tiene alta sensibilidad de la tensión con respecto a cambios en la potencia reactiva, cuando presenta una sensibilidad $dv/dQ \geq 0,03$ [%/MVar].

3.3.4 Efectividad de los recursos de control de tensión

Para determinar la efectividad de los recursos de potencia reactiva se realiza un análisis de sensibilidad dQ_{iny}/dQ_{bus} , que permite medir las contribuciones de potencia reactiva de los recursos de control de tensión ante un aumento de 1MVar en una cada una de las barras definidas en la Sección **3.3.2 "Barras a monitorear"**. En este caso, el método de cálculo utilizado para obtener las sensibilidades dQ_{iny}/dQ_{bus} es "Sensitivity to a Single Busbar". Los recursos de potencia reactiva que serán monitoreados se resumen en la tabla a continuación.

ID	Nombre
1	CTTAR
2	Central Angamos (ANG1 y ANG2)
3	Central Kelar (2TG + 1TV)
4	Central Tocopilla (U12, U13, U14, U15 y U16)
5	Central Norgener (NTO1 y NTO2)
6	Complejo Chacaya (CTA, CTH, CTM y CTM2)
7	Central Cochrane (CCH1 y CCH2)
8	Central TEN/CTM3 (1TG+1TV) +IEM
9	Central Taltal (2 Unidades)
10	Central Guacolda (5 Unidades)
11	Complejo Ventanas (Campiche, Ventanas 1, 2 y Nueva Ventanas)
12	Complejo San Luis (Centrales Nehuenco, San Isidro y Quintero)
13	SVC Domeyko
14	SVC Plus Diego de Almagro
15	SVC Cardones
16	SVC Maitencillo
17	SVC Pan de Azúcar (x2)
18	SVC Polpaico

Tabla 3-2: Recursos para el control de tensión

Las mediciones de potencia reactiva se realizarán en los siguientes puntos:

- ✓ **SVC:** La medición de potencia reactiva se realiza en el lado de alta de los transformadores elevadores, ya que interesa conocer la inyección neta de potencia reactiva, es decir, la inductiva más la capacitiva.
- ✓ **Generadores:** La medición de potencia reactiva se realiza directamente sobre la unidad o conjunto de unidades, ya que, en este caso, interesa conocer el despacho de la(s) unidad(es) versus la curva de capacidad de la(s) misma(s).

El objetivo de este análisis es asignar a cada una de las barras definidas en la Tabla 3-1 los elementos de la Tabla 3-2, en base a una contribución "significativa" de potencia reactiva ante un aumento de la demanda de ésta. Se considera como **primer filtro** que un RCT tiene influencia sobre una barra cuando su dQ_{gen} / dQ_{barra} resulte superior a 10% (0,1MVar/MVar), en alguno de los escenarios evaluados, donde dQ_{gen} se calcula como la suma de las contribuciones individuales de las unidades pertenecientes a una misma central o conjunto de ellas. Por ejemplo, el Complejo San Luis se define por el conjunto de las centrales Nehuenco, San Isidro y Quintero, cada una de éstas compuestas, a su vez, por las correspondientes unidades. En el caso de los SVC (CER) y SVC plus, su contribución será medida en el lado de alta de los transformadores elevadores. En el caso de los SVC Pan de Azúcar, éstos serán considerados como uno solo para efectos de medir su contribución total.

Adicionalmente, se evaluará la posibilidad de formar grupos de control de tensión en base a la similitud en la efectividad de control sobre las barras del sistema; es decir, se agruparán elementos tales que sus sensibilidades dQ_{iny} / dQ_{bus} sean similares. Como criterio, se dirá que los elementos tienen el mismo efecto en el control de tensión de una barra cuando cumplen que:

$$2 \geq \frac{dQ_{Elem_1} / dQ_{barra_i}}{dQ_{Elem_2} / dQ_{barra_i}} \geq 0.5$$

El resultado final de este análisis permite definir las Áreas de Control de Tensión y los elementos o grupos de elementos que pueden ser considerados para una adecuada asignación de las reservas de potencia reactiva.

3.3.5 Definición de las áreas de control de tensión

La definición de las Áreas de Control de Tensión ACT, consiste en la asociación un grupo de RCT a un conjunto de barras particulares, de acuerdo a su efectividad para el control de tensión. La definición de las (ACT) se realiza considerando los resultados de los análisis de sensibilidad dQ/dQ . Para la definición de las ACT de considera lo siguiente:

- i. Identificación de los RCT que tienen mayor alcance en el sistema, es decir, aquellos que presentan una sensibilidad $dQ/dQ \geq 0,2MVar/MVar$ (**segundo filtro**), en alguno de los escenarios evaluados.
- ii. Se considera no solo en el valor absoluto de la sensibilidad dQ/dQ , sino también en los principales (de mayor dQ/dQ) recursos por barra.
- iii. Para la definición de las ACT se considerará tanto la influencia de los equipos/centrales en cada barra como su concentración.

3.3.6 Evaluación de las reservas en Red N

Se miden las reservas de potencia reactiva inicial en cada equipo que participe del control de tensión como la diferencia que resulta entre el despacho (en red n) y su capacidad máxima de entrega de potencia reactiva. Esta información es utilizada para evaluar el escenario en cuanto a operación en red completa, y los efectos que esta condición de partida tiene sobre los escenarios en red N-1 realizados.

3.4 Análisis estático en red N-1

La figura siguiente sintetiza las distintas instancias de cálculo y procesamiento propuestas para el desarrollo del análisis de red N-1.

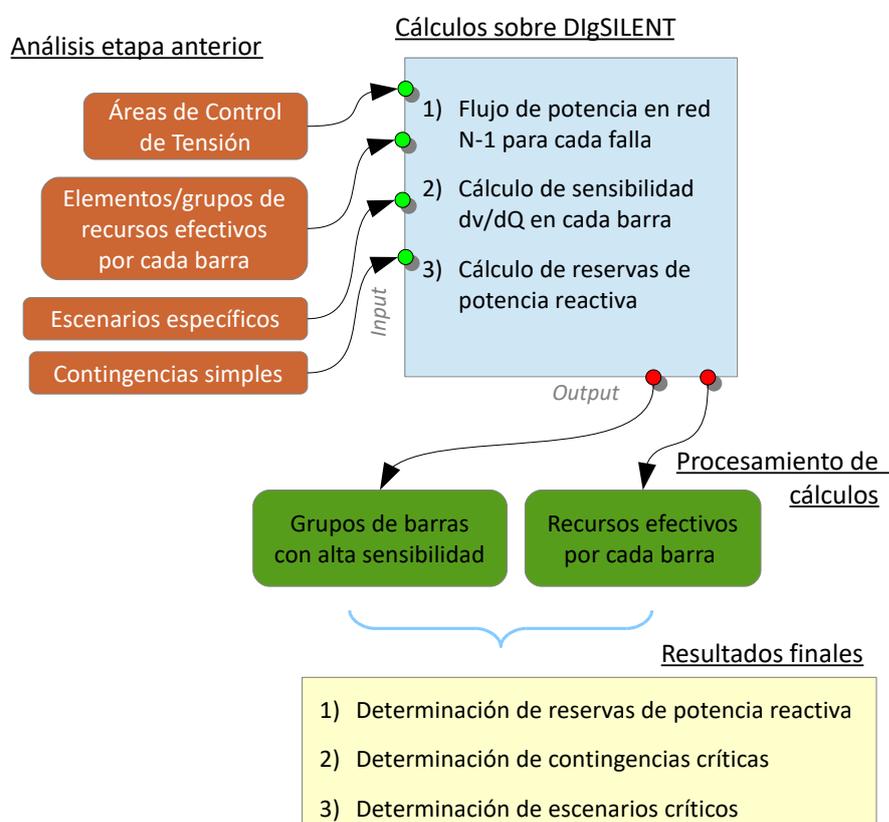


Figura 3-3: Esquema de desarrollo metodología del ECyET en red N.

3.4.1 Aplicación de contingencias simples

Consiste en la aplicación no simultánea de un conjunto de contingencias simples (Severidad 4, 5 y 8) que resultan en la pérdida de importantes bloques de potencia reactiva, tales como: desconexión de generación, de líneas, de transformadores y de equipos de compensación de potencia reactiva (CER, SVC plus, reactores de barra y línea). En la Tabla 3-3 se resumen los elementos que serán evaluados en red N-1, para la Fase III del estudio. En las demás fases de estudio se aplicarán las contingencias que aplican de las que se muestran en la tabla a continuación.

Tipo	Elemento	Fase(s)
Línea 2x500kV	Los Changos - Cumbre C1	I-II-III
Línea 2x500kV	Cumbre - Nueva Cardones C1	I-II-III
Línea 2x500kV	Nueva Cardones - Nueva Maitencillo C1	II-III
Línea 2x500kV	Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar C1	II-III
Línea 2x500kV	Nueva Pan de Azúcar - Polpaico	II-III
Línea 2x220kV	Cardones - Maitencillo C3	I-II-III
Línea 2x220kV	Maitencillo - Abasol C1	I-II-III
Línea 2x220kV	Los Palmas - Los Vilos C2	I-II-III
Central	CT Guacolda U1	I-II-III
Central	CT Mejillones U3 (TG+TV)	I-II-III
Central	CT Tarapacá	III
Central	CT Cochrane U2	III
Central	CT Tocopilla U16	III
Central	CT Infraestructura Mejillones (IEM)	III
Central	CT Angamos U1	III
Central	Complejo Chacaya U1	III
Reactor de barra	Los Changos 500kV	I-II-III
Reactor de barra	Nueva Cardones 500kV	I-II-III
Reactor de línea	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extremo P. de Azúcar) C1 500kV	II-III
Reactor de línea	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extremo Polpaico) C1 500kV	II-III
Reactor de línea	N. Cardones - N. Maitencillo C1 500kV	II-III
Reactor de línea	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extremo N. P. de Azúcar) C1 500V	II-III
Trafo 220/500kV	Los Changos	I-II-III
Trafo 220/500kV	Nueva Cardones	I-II-III
Trafo 220/500kV	Nueva Maitencillo	II-III
Trafo 220/500kV	Nueva Pan de Azúcar	II-III
SVC	Domeyko	III
SVC	Cardones	I-II-III

Tipo	Elemento	Fase(s)
SVC	Maitencillo	I-II-III
SVC	Pan de Azúcar (dos unidades)	I-II-III
SVC plus	Diego de Almagro	I-II-III

Tabla 3-3: Conjunto de contingencias simples a analizar.

3.4.2 Determinación de las contingencias más críticas

Para determinar las contingencias más críticas, se evalúa el efecto que produce la desconexión de uno de los elementos de la Tabla 3-3. Los indicadores utilizados para ello son los siguientes:

- i. Cantidad de barras con tensiones finales (V_{final}) fuera de los límites considerados para estado de **EMERGENCIA**.
- ii. Variación de tensión en red N-1 respecto a red N.
- iii. Variación de la inyección/absorción de potencia reactiva en red N-1 respecto a red N.
- iv. Sensibilidad en red N-1: Contingencias que deriven en condiciones de elevada sensibilidad en algún nodo del sistema.

Se encuentra que las contingencias más críticas son aquellas que aparecen en al menos tres de los cuatro análisis indicados anteriormente.

3.4.3 Determinación de barras débiles en red N-1

Del mismo modo que se hace en red N, se determina el conjunto de barras más débiles luego de aplicada una contingencia simple, a través de un análisis de sensibilidad dv/dQ .

3.4.4 Determinación de reserva

Una vez determinadas las contingencias más críticas, se evalúan los requerimientos de potencia reactiva asociados a estas contingencias, necesarios para lograr una condición post-contingencia aceptable en términos normativos. Esto se realiza mediante un análisis estático donde se comparan los cambios en los despachos de potencia reactiva en Red N y Red N-1.

Luego, para las contingencias más críticas, se determinan las reservas individuales o por grupos de elementos (tal como se explicó en la sección **3.3.4 "Efectividad de los recursos de control de tensión"**) y se asignan en función de su influencia en el control de tensión. De este modo, el resultado final del estudio corresponde a una determinación y adecuada asignación de las reservas de potencia reactiva entre los recursos de control.

3.5 Análisis dinámico

Finalmente, el Estudio de Control y Estabilidad de Tensión concluye con el análisis dinámico del sistema donde se evalúa el desempeño del sistema SIC-SING integrado, ante las contingencias

críticas encontradas en las etapas previas de este estudio y para los escenarios más desfavorables observados.

En consideración de lo anterior, se concluirá que el sistema SIC-SING integrado es estable, desde el punto de vista de la estabilidad de voltaje, si las tensiones en todas las barras del sistema están sobre 0,7pu luego de 50ms de aplicada la contingencia, 0,8pu luego de 1s de aplicada la contingencia. Del mismo modo, todas las tensiones en las barras del sistema deberán estar sobre 0,9pu luego de 20s de aplicada la contingencia.

4 DESARROLLO FASE I

4.1 Escenarios de análisis

A continuación, se muestran las principales características de los escenarios analizados, donde las barras indican el porcentaje respecto del valor total o máximo según tecnología de generación, demanda y generación por zona:

Resumen Escenario:	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
Id Escenario:	1	2	3	4
Generacion Total [MW]	7642	7656	5277	5316
+ HIDRAULICO [%]	67	68	56	66
+ TERMICO [%]	16	32	24	34
+ EOLICO [%]	8	0	9	0
+ SOLAR [%]	10	0	12	0
Reserva CF SIC [MW]	282	312	221	293
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1122	1136	905	919
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	6130	6130	4159	4159
Demanda Neta TOTAL [MW]	7252	7266	5063	5077
EDAC SIC [MW]	1417	1417	919	919
TRANSF CHARR -> ANC 2x500kv [MW]	1585	1898	805	1332
GEN CHARRUA [MW]	2304	2750	1234	1880
GEN ANCOA [MW]	1123	1143	725	725
GEN SAN LUIS [MW]	0	0	0	0
GEN VENTANAS [MW]	360	360	243	303
GEN GUACOLDA [MW]	195	750	260	665
GEN EOLICA SIC [MW]	603	0	464	0
GEN SOLAR SIC [MW]	767	0	617	0

Tabla 4-1. Resumen escenarios Hidrología Húmeda

Resumen Escenarios:	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Id Escenario:	5	6	7	8
Generacion Total [MW]	7567	7574	5266	5256
+ HIDRAULICO [%]	37	37	25	25
+ TERMICO [%]	46	63	56	75
+ EOLICO [%]	9	0	10	0
+ SOLAR [%]	8	0	9	0
Reserva CF SIC [MW]	298	288	230	209
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1122	1136	919	919
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	6136	6136	4159	4159
Demanda Neta TOTAL [MW]	7258	7272	5077	5077
EDAC SIC [MW]	1417	1417	919	919
TRANSF CHARR -> ANC 2x500kv [MW]	1447	1252	635	628
GEN CHARRUA [MW]	2157	2247	981	1140
GEN ANCOA [MW]	507	478	0	31
GEN SAN LUIS [MW]	707	1465	413	778
GEN VENTANAS [MW]	817	817	820	820
GEN GUACOLDA [MW]	260	731	260	725
GEN EOLICA SIC [MW]	683	0	524	0
GEN SOLAR SIC [MW]	578	0	499	0

Tabla 4-2. Resumen escenarios Hidrología Seca

El detalle de los flujos de potencia en estos escenarios se presenta en el documento "EE-ES-2016-1402-RC_Estudio 3-Anexo Escenarios Control de Tensión".

4.2 Impacto de las nuevas obras

La topología de Fase I considera la interconexión de la central CTM3 al SIC a través del corredor de 500kV de doble circuito y capacidad de 1700MVA. En la figura a continuación se muestra el diagrama unilineal simplificado de dicha obra.

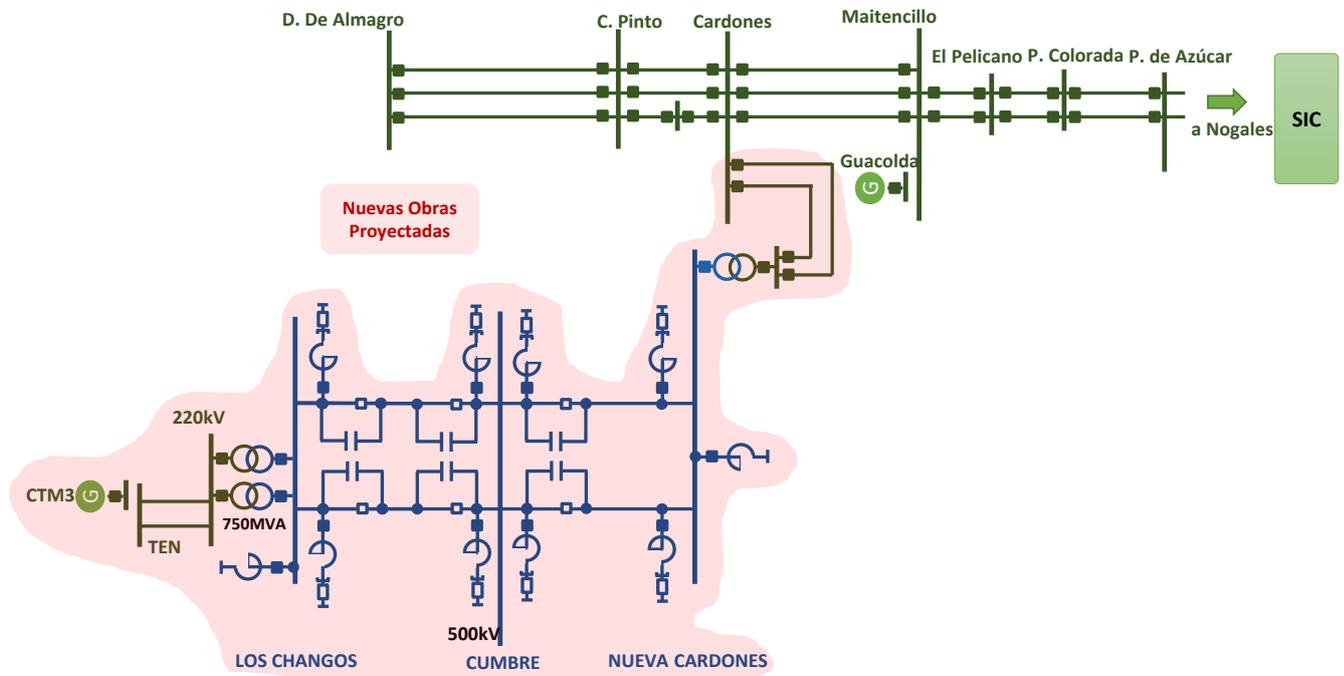


Figura 4-1: Diagrama unilineal simplificado de la topología de Fase I.

Respecto al control de tensión es importante tener en consideración los siguientes puntos:

- El nuevo sistema de 500kV fue diseñado de manera de resultar auto-compensado, es decir, al operar con todos sus equipos en servicio (reactores y capacitores serie), el intercambio de potencia reactiva con el sistema resulta prácticamente nulo. En base a esto, puede inferirse que estas instalaciones de transmisión operando en condiciones normales no alterarán directamente el control de tensión de la zona.
- La conexión de la central CTM3 puede verse como un recurso para el control de tensión adicional en la zona norte del SIC.

En consideración de las nuevas obras y de los escenarios de operación definidos para Fase I, a continuación, se analiza la operación del sistema en condiciones de red N y N-1 con el objetivo de identificar aquellas barras que resulten más débiles, los recursos disponibles para el control de tensión, su efectividad sobre cada una de las barras del sistema y, en función de ello, realizar las recomendaciones y propuestas operacionales para afrontar las contingencias analizadas.

Debido a las características topológicas descritas anteriormente, el estudio de Fase I se centra en las instalaciones de la zona norte del SIC.

4.3 Análisis en RED N

El análisis en red N se encuentra orientado a determinar cuáles son las condiciones más exigentes de operación del sistema en condiciones normales y cómo utilizar los RCT disponibles para obtener adecuados niveles de tensión.

4.3.1 Determinación de barras más débiles

El presente análisis tiene como objetivo identificar aquellas barras de la zona norte del SIC que tienen una mayor sensibilidad de tensión ante pequeños cambios de los flujos de potencia reactiva de la red. Estas barras resultarán de especial interés para la evaluación y determinación de la operación y control de los escenarios post-contingencia.

En las Figura 4-2 y Figura 4-3 se resumen las sensibilidades dv/dQ de todas las barras de la zona norte del SIC, en todos los escenarios analizados. A partir de los resultados obtenidos se encuentra lo siguiente:

- i. Las barras que presentan mayores sensibilidades en condiciones de operación normal de la red resultan: **Los Changos 500kV y 220kV, Cumbre 500kV, Nueva Cardones 500kV, Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV.**

Particularmente se observa que las barras de Los Changos poseen una alta sensibilidad en escenarios de hidrología húmeda en los cuales la central CTM3 no se encuentra despachada (y por añadidura y en menor grado las barras Cumbre 500kV y Nueva Cardones 500kV). La puesta en servicio de esta central mejora significativamente sus índices de sensibilidad en aquellos escenarios en los cuales se encuentra despachada. No obstante, debido a que en Fase I no se conectan consumos en esta barra, tener alta sensibilidad dv/dQ en la S/E Los Changos no se considera crítico.

- ii. Por otra parte, los altos niveles sensibilidad en Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV se encuentran en todos los escenarios de operación, lo cual está directamente relacionado con la lejanía eléctrica de los RCT a estas barras. Cabe destacar que existe un gran número de parques ERNC en la zona de Las Palmas y Punta Colorada. La posibilidad de que estos parques operen en modo PV, es decir, participando del control de tensión en condiciones normales de operación, podrían mejorar los niveles de sensibilidad de estas barras, tal como se ve en la sección 6.5 "Sensibilidad: ERNC con control de tensión".
- iii. Sin considerar aquellos escenarios donde CTM3 está fuera de servicio, se observa que las barras del sistema de 500kV tienen baja sensibilidad dv/dQ , lo cual se puede interpretar como un sistema robusto en cuanto al control de tensión.

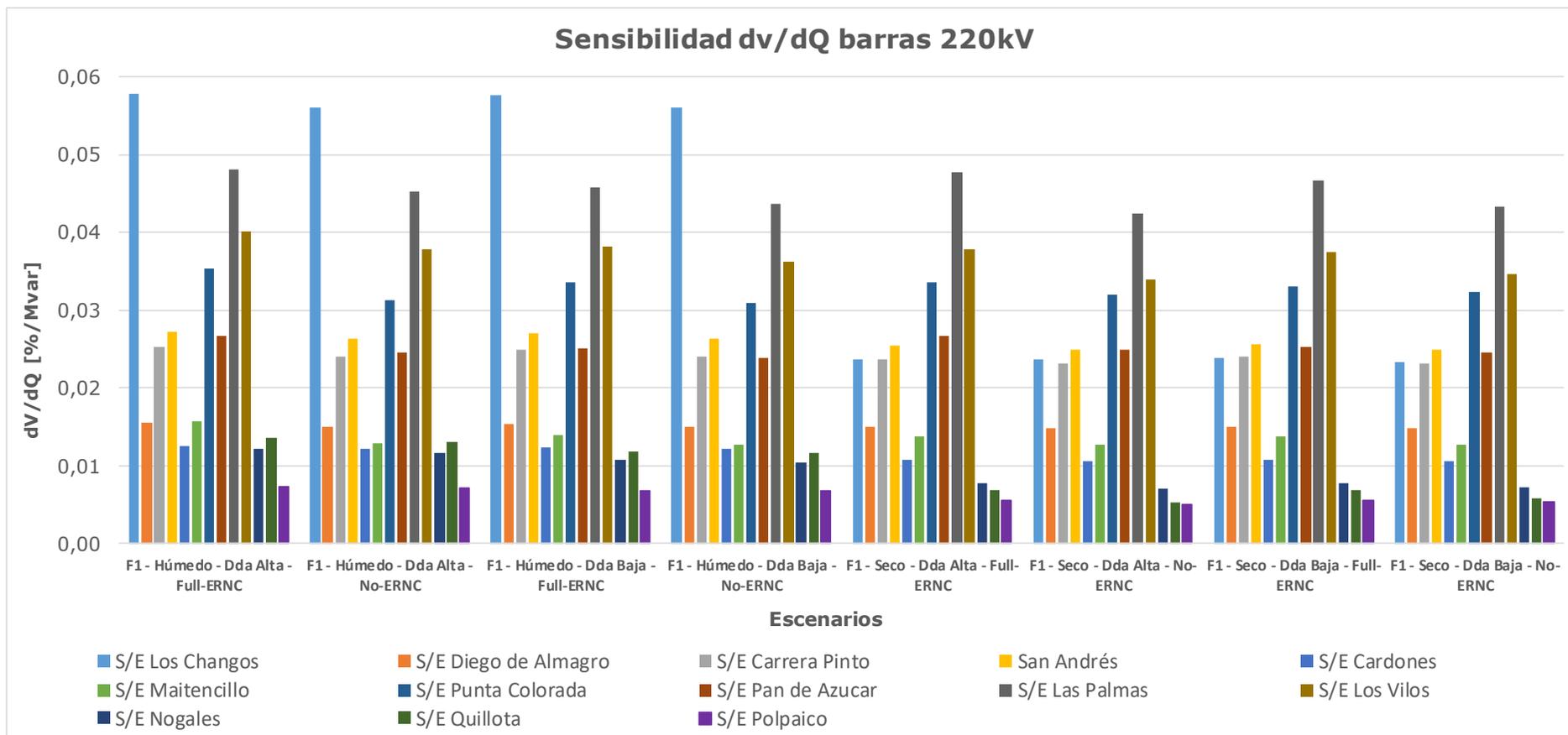


Figura 4-2. dv/dQ barras de 220kV

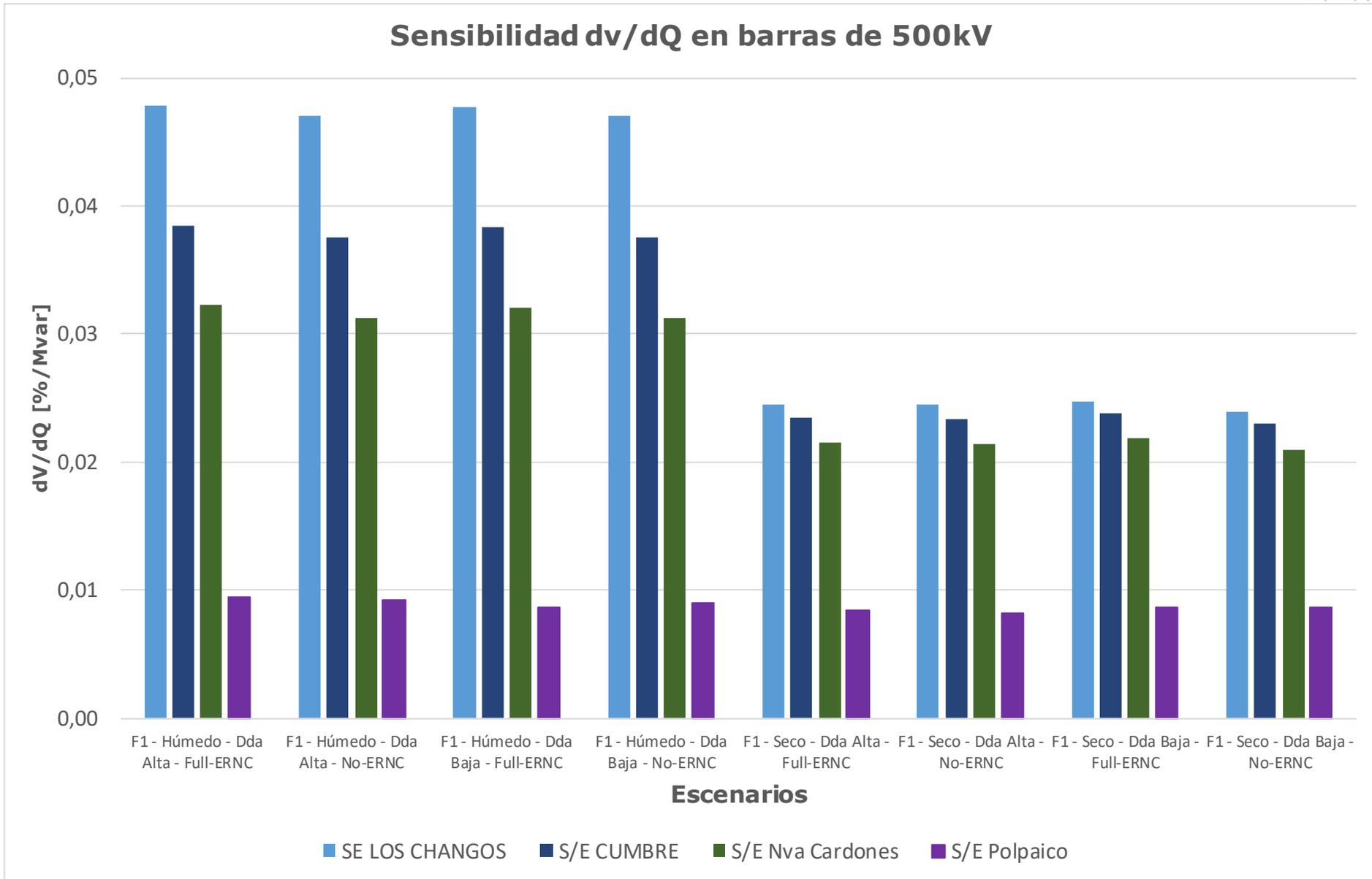


Figura 4-3. dv/dQ barras de 500kV

Con el objetivo de identificar las barras con mayor sensibilidad del sistema en cualquier condición de operación, a continuación se muestran los máximos valores de dv/dQ encontrados en cada barra de estudio independientemente del escenario. Luego, en la tabla siguiente, se detallan los valores correspondientes junto con el escenario de operación en donde se presentó dicho máximo.

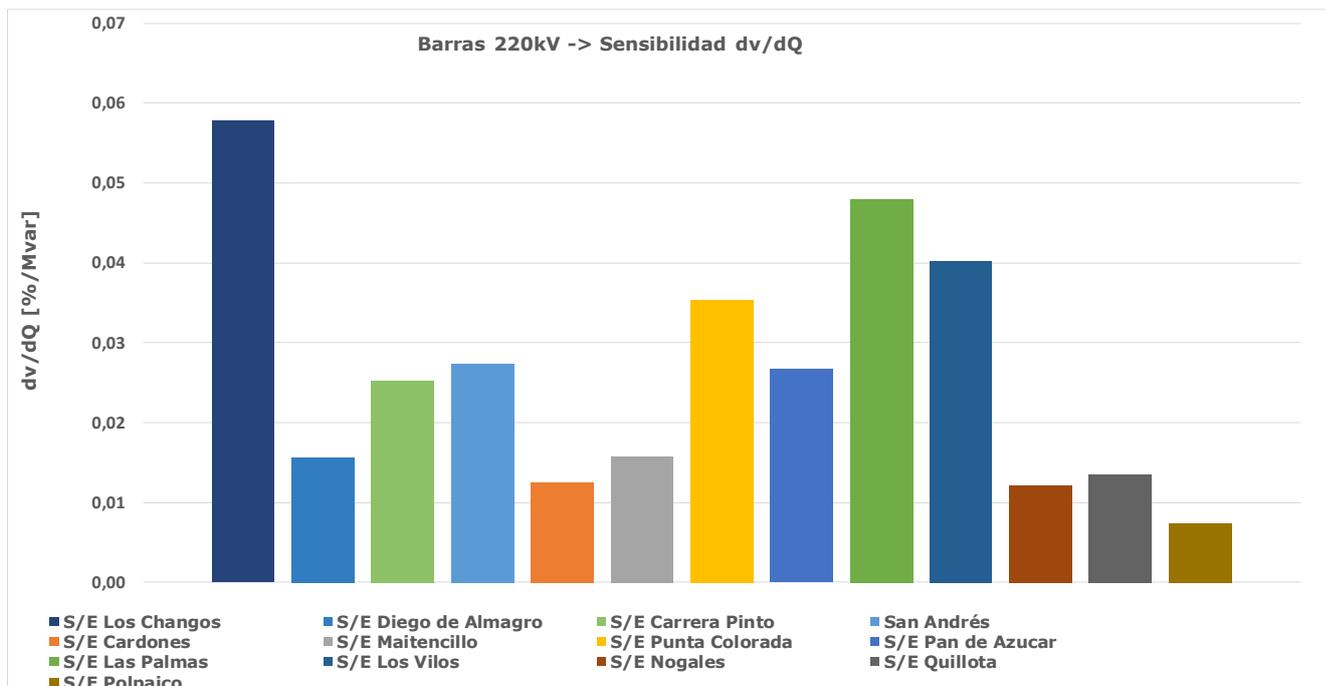


Figura 4-4. Máximos dv/dQ barras 220kV

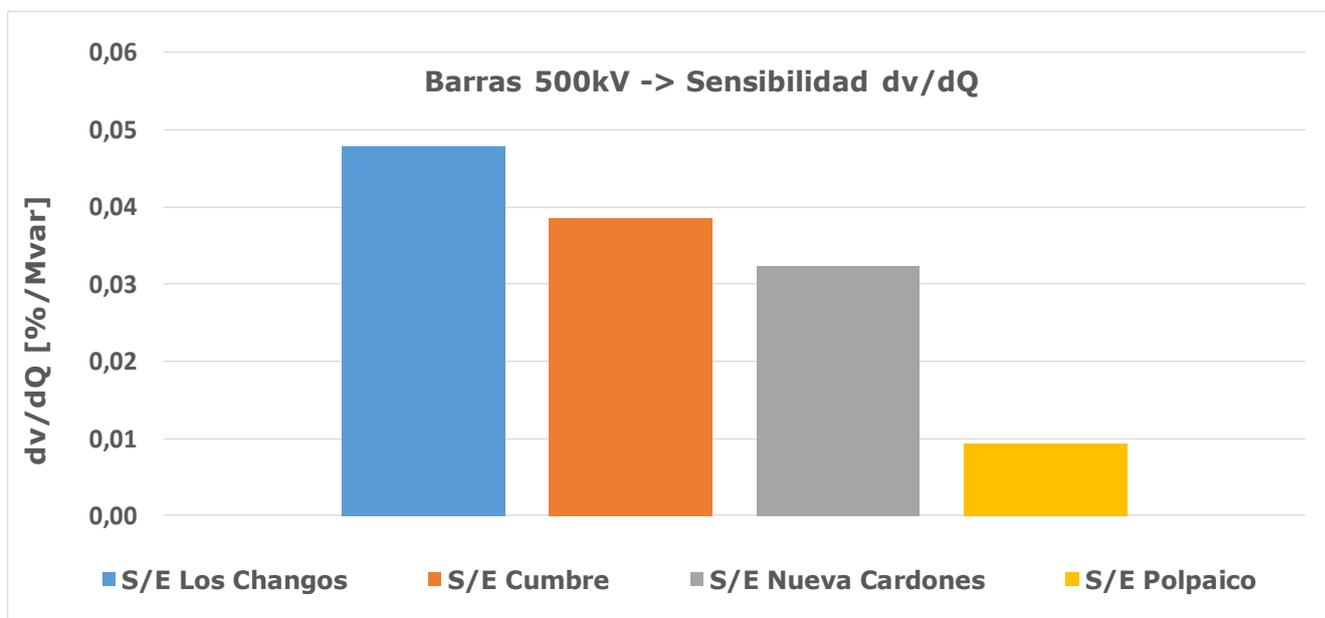


Figura 4-5. Máximos dv/dQ barras 500kV

Barra	Vnom [kV]	dv/dQ [%/Mvar]	Escenario de Operación
S/E Los Changos	500	0,0479	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Cumbre	500	0,0385	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Nueva Cardones	500	0,0323	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Polpaico	500	0,0094	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Los Changos	220	0,0578	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Diego de Almagro	220	0,0156	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Carrera Pinto	220	0,0252	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
San Andrés	220	0,0273	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Cardones	220	0,0126	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Maitencillo	220	0,0158	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Punta Colorada	220	0,0354	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Pan de Azucar	220	0,0267	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Las Palmas	220	0,0480	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Los Vilos	220	0,0402	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Nogales	220	0,0121	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Quillota	220	0,0136	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
S/E Polpaico	220	0,0074	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC

Tabla 4-3: Máximos dv/dQ

Tal como puede observarse en la Tabla 4-3 los valores máximos de sensibilidad se encuentran en un escenario de hidrología húmeda y alto despacho ERNC. Estas condiciones de operación implican un reducido despacho de generación sincrónica en la zona norte del SIC, lo cual evidencia la importancia de este recurso para el control de tensión de la zona norte.

En resumen, las barras que presentan una mayor sensibilidad en condiciones de Red N resultan:

- i. **Los Changos 500kV y 220kV, Cumbre 500kV y Nueva Cardones 500kV:** en condiciones de ausencia del despacho de la central CTM3.
- ii. **Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV:** en todos los escenarios de operación.

4.3.2 Efectividad de los recursos de control de tensión

La efectividad de los RCT se determina a través de un análisis de sensibilidad $dQ_{\text{gen}}/dQ_{\text{bus}}$, el que permite obtener las contribuciones de potencia reactiva de cada uno de los RCT ante un aumento de 1MVAR en una cada una de las barras de interés.

En una primera instancia se filtran los resultados de $dQ_{\text{gen}}/dQ_{\text{barra}}$ superior a 0,1MVAR/MVAR, donde dQ_{gen} será calculado como la suma de las contribuciones individuales de

las unidades pertenecientes a una misma central o conjunto de ellas, tal como se explica en la sección **3.3.4 "Efectividad de los recursos de control de tensión"**. En la Tabla 4-4 se resumen los resultados sensibilidad de inyección de potencia reactiva dQ/dQ sobre cada una de las barras ordenados de mayor a menor según el escenario donde se obtienen.

BARRA	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQ/dQ [MVar/MVar]
LOS CHANGOS	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,628
	500	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	CTM3	0,499
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,216
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,154
CUMBRE	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,628
	500	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	CTM3	0,399
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,216
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,154
NUEVA CARDONES	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,628
	500	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	CTM3	0,342
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,216
	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,155
POLPAICO	500	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,246
	500	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,165
	500	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,143
LOS CHANGOS	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,628
	220	F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,604
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,216
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,154
DIEGO DE ALMAGRO	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,781
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,223
CARRERA PINTO	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,524
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,429
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,100
SAN ANDRÉS	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,553
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,340
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,133
	220	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	CTM3	0,110
CARDONES	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,628
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	SVC Plus DDA	0,216
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,155
	220	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	CTM3	0,126
MAITENCILLO	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,499
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,246
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Maitencillo	0,204
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,157

BARRA	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQ/dQ [MVar/MVar]
PUNTA COLORADA	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,483
	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,318
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,167
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Maitencillo	0,138
PAN DE AZÚCAR	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,688
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	Central Guacolda	0,167
LAS PALMAS	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,413
	220	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	Central Ventanas	0,278
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,206
	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,192
LOS VILOS	220	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	Central Ventanas	0,345
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,266
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,259
	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,253
NOGALES	220	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	Central Ventanas	0,400
	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,329
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,303

BARRA	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQ/dQ [MVar/MVar]
QUILLOTA	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,551
	220	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,349
	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,335
POLPAICO	220	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,371
	220	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,256
	220	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,214

Tabla 4-4. Asociación de barras con recursos de control de tensión.

4.3.3 Definición de Áreas de control de tensión

En el presente apartado se analiza la conveniencia de definición de áreas de control de tensión con el fin de identificar con facilidad los RCT que tienen mayor influencia en el control de tensión sobre las barras del sistema.

En la tabla a continuación se han reordenando los elementos de la Tabla 4-4, resaltando en una escala de colores escalonada (verde, amarillo y azul) los valores dQ/dQ de menor a mayor. Del mismo modo se ha puesto de color gris los valores $dQ/dQ < 0,2 \text{ MVar/MVar}$ (segundo filtro).

ACT	BARRA	Sensibilidad máxima dQ/dQ [Mvar/Mvar] por barra de los RCT								
		CER Cardones	CTM3	SVC Plus DDA	Central Guacolda	CER Maitencillo	CER Pan de Azúcar	Central Ventanas	Centrales S/E San Luis	CER Polpaico
ACT#1	LOS CHANGOS 220kV	0,63	0,60	0,22	0,15					
	LOS CHANGOS 500kV	0,63	0,50	0,22	0,15					
	CUMBRE 500kV	0,63	0,40	0,22	0,15					
	NUEVA CARDONES 500kV	0,63	0,34	0,22	0,15					
	CARDONES 220kV	0,63	0,13	0,22	0,15					
	SAN ANDRÉS 220kV	0,55	0,11	0,34	0,13					
	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	0,22		0,78						
	CARRERA PINTO 220kV	0,43		0,52	0,10					
	MAITENCILLO 220kV	0,25			0,50	0,20	0,16			
barra frontera	PUNTA COLORADA 220kV	0,17			0,32	0,14	0,48			
ACT#2	PAN DE AZÚCAR 220kV				0,17		0,69			
	LAS PALMAS 220kV				0,10		0,41	0,28	0,19	0,21
	LOS VILOS 220kV						0,27	0,35	0,25	0,26
	NOGALES 220kV							0,40	0,33	0,30
	QUILLOTA 220kV							0,35	0,55	0,34
	POLPAICO 220kV							0,21	0,26	0,37
	POLPAICO 500kV							0,14	0,17	0,25

Tabla 4-5: Definición de Áreas de Control de Tensión para Fase I.

Como se puede ver de la tabla anterior, se definen dos áreas de control de tensión en función de la influencia de los RCT sobre las barras del sistema. También se ha definido como barra frontera la barra Punta Colorada 220kV, cuyos RCT más influyentes son: CT Guacolda y CER Pan de Azúcar.

En la tabla a continuación se resumen los principales RCT de cada barra de la zona norte del SIC

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	LOS CHANGOS 220kV	CER Cardones/CTM3/SVC plus
	LOS CHANGOS 500kV	
	CUMBRE 500kV	
	NUEVA CARDONES 500kV	
	CARDONES 220kV	CER Cardones/SVC plus
	SAN ANDRÉS 220kV	
	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	
	CARRERA PINTO 220kV	
	MAITENCILLO 220kV	CER Cardones/CT Guacolda/CER Maitencillo
barra frontera	PUNTA COLORADA 220kV	CT Guacolda/CER Pan de Azúcar
ACT#2	PAN DE AZÚCAR 220kV	CER Pan de Azúcar
	LAS PALMAS 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas/CER Polpaico
	LOS VILOS 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	NOGALES 220kV	Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	QUILLOTA 220kV	
	POLPAICO 220kV	
	POLPAICO 500kV	CER Polpaico

Tabla 4-6: Principales recursos de control de tensión por barra, Fase I.

Como se puede ver de la Tabla 4-6, la influencia de los RCT sobre las barras del sistema va cambiando de manera tal que la cuando un RCT deja de influir sobre una barra es porque hay otro RCT, más cercano eléctricamente, influyendo más sobre la misma. De este modo, se puede decir que los RCT de cada ACT son:

- ✓ **ACT#1: CER Cardones/CTM3/SVC plus/CT Guacolda/CER Maitencillo**
- ✓ **ACT#2: CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico**
- ✓ **Barra frontera: CT Guacolda/CER Pan de Azúcar**

En consideración de las ACT propuestas y de las barras más débiles del sistema identificadas en la sección **4.3.1 Determinación de barras más débiles**, a continuación, se muestra el detalle de los principales recursos sobre las barras que fueron identificadas con mayores niveles de sensibilidad, por ACT:

• Los Changos 500kV y Cumbre 500kV (ACT#1)

Subestación	SE LOS CHANGOS	Subestación	SE CUMBRES
Vnom [kV]	500	Vnom [kV]	500
dQ/dQ [Mvar/Mvar]		dQ/dQ [Mvar/Mvar]	
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	0,628	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	0,628
CER Cardones	0,628	CER Cardones	0,628
SVC Plus DDA	0,216	SVC Plus DDA	0,216
Central Guacolda	0,130	Central Guacolda	0,131
CER Maitencillo	0,066	CER Maitencillo	0,066
CER Pan de Azucar	0,050	CER Pan de Azucar	0,051
Central Ventanas	0,005	Central Ventanas	0,006
CER Polpaico	0,005	CER Polpaico	0,005
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	0,494	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	0,394
CTM3	0,494	CTM3	0,394
CER Cardones	0,322	CER Cardones	0,382
SVC Plus DDA	0,110	SVC Plus DDA	0,131
Central Guacolda	0,077	Central Guacolda	0,092
CER Maitencillo	0,030	CER Maitencillo	0,036
CER Pan de Azucar	0,023	CER Pan de Azucar	0,029
Central Ventanas	0,002	Central Ventanas	0,004
Centrales S/E San Luis	0,001	Centrales S/E San Luis	0,002
CER Polpaico	0,001	CER Polpaico	0,002

Tabla 4-7: Contribución de los RCT sobre barras Los Changos 500kV y Cumbre 500kV.

Se puede observar que cuando CTM3 no se encuentra despachada (escenarios de hidrología húmeda), el control recae sobre el CER de Cardones, el cual incrementa su aporte. Por otra parte, cuando esta central está despachada, resulta el principal recurso de control sobre estos nodos.

• Las Palmas 220kV y Los Vilos 220kV (ACT#2)

Subestación	S/E Las Palmas	Subestación	S/E Los Vilos
Vnom [kV]	220	Vnom [kV]	220
dQ/dQ [Mvar/Mvar]		dQ/dQ [Mvar/Mvar]	
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ER	0,413	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	0,290
CER Pan de Azucar	0,413	Central Ventanas	0,290
Central Ventanas	0,230	CER Pan de Azucar	0,266
CER Polpaico	0,206	CER Polpaico	0,259
Central Guacolda	0,086	Central Guacolda	0,055
CER Cardones	0,053	CER Cardones	0,034
CER Maitencillo	0,043	CER Maitencillo	0,028
SVC Plus DDA	0,018	SVC Plus DDA	0,012
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	0,410	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	0,345
CER Pan de Azucar	0,410	Central Ventanas	0,345
Central Ventanas	0,278	CER Pan de Azucar	0,252
Centrales S/E San Luis	0,169	Centrales S/E San Luis	0,210
CER Polpaico	0,113	CER Polpaico	0,140
Central Guacolda	0,095	Central Guacolda	0,058
CER Cardones	0,041	CER Cardones	0,025
CER Maitencillo	0,037	CER Maitencillo	0,023
SVC Plus DDA	0,014	SVC Plus DDA	0,009
CTM3	0,009	CTM3	0,006

Tabla 4-8: Contribución de los RCT sobre barras Las Palmas 220kV y Los Vilos 220kV.

Para el caso de Las Palmas 220kV y Los Vilos 220kV los RCT más influyentes son: **CER de Pan de Azúcar y la central Ventanas**. Estos recursos se encuentran relativamente alejados de

estas barras reduciendo la efectividad del control, algo que se evidencia en la constancia de alta sensibilidad en todos los escenarios de estudio.

4.4 Análisis en RED N-1

En el presente apartado se analiza el impacto de diversas contingencias simples no simultáneas sobre el control de tensión del sistema post-contingencias.

4.4.1 Definición de Contingencias Fase I

Las contingencias simuladas contemplan casos de pérdida de generación, líneas de transmisión y equipos de control de voltaje y potencia reactiva (SVC, CER, reactores). En la tabla a continuación, se enuncian las contingencias contempladas para esta fase de estudio.

Tipo	Elemento
Línea 2x500kV	Los Changos - Cumbre C1
Línea 2x500kV	Cumbre - Nueva Cardones C1
Línea 2x220kV	Cardones - Maitencillo C3
Línea 2x220kV	Maitencillo - Abasol C1
Línea 2x220kV	Los Palmas - Los Vilos C2
Línea 2x220kV	Abasol - Pelicano
Línea 2x220kV	Pelicano - Punta Colorada
Línea 2x220kV	Punta Colorada - Pan de Azúcar
Línea 2x220kV	Pan de Azúcar - Don Goyo
Línea 2x220kV	Pan de Azúcar - Cebada
Línea 2x220kV	Los Vilos - Nogales C1
Central	CT Guacolda U1
Central	CT Mejillones U3 (TG+TV)
Central	CT Nueva Ventanas
Reactor de barra	Los Changos 500kV
Reactor de barra	Nueva Cardones 500kV
Reactor de barra	Polpaico 500kV
Reactor de línea	Los Changos - Cumbre (extremo Los Changos) C1 500kV
Reactor de línea	Los Changos - Cumbre (extremo Cumbre) C1 500kV
Reactor de línea	Cumbre - N. Cardones (extremo Cumbre) C1 500kV
Reactor de línea	Cumbre - N. Cardones (extremo N. Cardones) C1 500kV
Transformador 220/500kV	Transformador Los Changos 750MVA
Transformador 220/500kV	Transformador Nueva Cardones 750MVA
SVC	CER Cardones
SVC	CER Maitencillo
SVC	CER Pan de Azúcar
SVC	CER Polpaico
SVC plus	SVC plus Diego de Almagro
Capacitor shunt	Pan de Azúcar 220kV
Capacitor shunt	Polpaico 220kV

Tabla 4-9: Conjunto de contingencias – FASE I

4.4.2 Determinación de contingencias más exigentes

A continuación, se analiza el impacto de las contingencias antes señaladas en función de los siguientes indicadores:

- ✓ Tensiones finales post-contingencia
- ✓ Variación de tensión

- ✓ Requerimientos de reactivos
- ✓ Sensibilidad post-contingencia

4.4.2.1 Tensiones finales post-contingencia

Como primer criterio se analizan los valores finales de tensión que se alcanzan en las barras del sistema post-contingencia.

En la Tabla 4-10, se muestra para cada barra y contingencia cuales son los mayores y menores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas) para todos los escenarios analizados, donde se ha resaltado las tensiones fuera de los límites de tensión para Estado de Emergencia: en rojo las sobretensiones ($>1,05pu$ para barras de 500kV nominal y $>1,1pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio definidas actualmente) y en azul las subtensiones ($<0,95pu$ para barras de 500kV nominal y $<0,90pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio definidas actualmente).

Luego, en la Tabla 4-11 y Tabla 4-12 se muestra un resumen de todos los casos donde se encuentra incumplimiento normativo post-contingencia, indicando el escenario de operación donde esta condición ocurre. Se ha resaltado en rojo las sobretensiones con un valor mayor a 1,1pu y en azul las subtensiones menores a 0,90pu. Además, los valores que se encuentran dentro de los límites de tensión para Estado de Emergencia se han puesto en color gris para dar mayor énfasis a los casos de incumplimiento normativo.

A partir de los resultados de las simulaciones de contingencias simples, resumidos en la Tabla 4-10, Tabla 4-11 y Tabla 4-12 se encuentra lo siguiente:

➤ **Sobretensiones**

Se observa, en general, que las sobretensiones se dan en la ACT#1 ante la **pérdida de los siguientes reactores:**

- ✓ ACT#1
 - **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
 - **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV**

Además, se puede ver que los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los parques ERNC podrían no participar del control de tensión, el CDC puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva (inductiva en este caso) para disminuir las tensiones de la zona.

Tensiones Finales en red N-1			RED N	CONTINGENCIAS																														
				Línea 2x500kV		Línea 2x220kV							Central			Reactor de barra 500kV			Reactor de línea 500kV			Trafos 220/500kV		CER/SVC plus				CCEE						
NODOS		Us [kV]		Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	Punta Colorada - Pan de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Nueva Cardones 500KV	Los Changos 500KV	Polpaico 500KV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C3	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1	Los Changos	Nueva Cardones	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Diego de Almagro	Pan de Azúcar 220KV	Polpaico 220KV	
MÁXIMAS				Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																														
Los Changos	500	1,033		1,017	0,990	1,027	1,033	1,032	1,033	1,034	1,032	1,033	1,032	1,034	1,035	1,036	1,019	1,124	1,171	1,034	1,126	1,108	1,042	1,037	1,034	1,023	1,026	1,033	1,042	1,037	1,023	1,033	1,019	
Cumbre	500	1,038		1,021	0,994	1,032	1,037	1,037	1,038	1,038	1,037	1,037	1,037	1,039	1,040	1,040	1,022	1,129	1,157	1,038	1,115	1,114	1,047	1,041	1,039	1,029	1,029	1,038	1,047	1,042	1,026	1,038	1,022	
Nva Cardones	500	1,019		0,999	0,979	1,013	1,018	1,018	1,018	1,019	1,018	1,018	1,018	1,020	1,020	1,021	1,003	1,108	1,126	1,019	1,084	1,083	1,023	1,022	1,020	1,011	1,010	1,019	1,027	1,023	1,006	1,019	1,003	
Polpaico	504	1,009		1,009	1,009	1,009	1,009	1,009	1,008	1,009	1,009	1,009	1,009	1,008	1,012	1,010	1,008	1,009	1,009	1,016	1,009	1,009	1,009	1,012	1,009	1,012	1,009	1,012	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009	
Los Changos	220	1,026		1,020	1,003	1,025	1,025	1,025	1,026	1,026	1,025	1,025	1,025	1,026	1,032	1,027	1,026	1,105	1,173	1,026	1,107	1,088	1,040	1,038	1,024	1,030	1,031	1,026	1,026	1,026	1,029	1,026	1,026	
Diego de Almagro	224	1,042		1,035	1,033	1,036	1,042	1,041	1,042	1,043	1,041	1,042	1,041	1,043	1,036	1,045	1,036	1,091	1,124	1,043	1,070	1,066	1,040	1,040	1,043	1,039	1,040	1,042	1,052	1,047	1,055	1,042	1,036	
Carrera Pinto	224	1,047		1,037	1,033	1,040	1,046	1,045	1,046	1,047	1,046	1,046	1,046	1,048	1,038	1,049	1,039	1,098	1,130	1,047	1,078	1,075	1,045	1,046	1,047	1,044	1,046	1,047	1,056	1,051	1,052	1,047	1,039	
San Andrés	224	1,045		1,036	1,027	1,038	1,044	1,044	1,044	1,045	1,044	1,044	1,044	1,046	1,035	1,047	1,035	1,098	1,128	1,045	1,078	1,075	1,044	1,045	1,045	1,042	1,045	1,045	1,054	1,049	1,045	1,045	1,035	
Cardones	224	1,043		1,034	1,025	1,036	1,042	1,041	1,042	1,043	1,042	1,042	1,042	1,043	1,032	1,045	1,032	1,097	1,126	1,043	1,078	1,075	1,042	1,043	1,043	1,040	1,043	1,043	1,051	1,047	1,039	1,043	1,032	
Maitencillo	226	1,045		1,041	1,038	1,042	1,043	1,042	1,044	1,046	1,043	1,043	1,043	1,047	1,043	1,049	1,032	1,059	1,074	1,046	1,051	1,051	1,036	1,036	1,046	1,044	1,036	1,046	1,054	1,050	1,035	1,045	1,032	
Punta Colorada	228	1,043		1,040	1,037	1,041	1,047	1,042	1,040	1,044	1,037	1,038	1,037	1,048	1,043	1,049	1,001	1,032	1,036	1,044	1,027	1,027	1,014	1,014	1,043	1,042	1,013	1,043	1,051	1,054	1,014	1,043	1,012	
Pan de Azúcar	228	1,038		1,035	1,033	1,036	1,040	1,036	1,035	1,039	1,025	1,030	1,028	1,045	1,037	1,043	0,986	1,004	1,006	1,039	1,002	1,002	0,997	0,997	1,038	1,037	0,995	1,038	1,044	1,053	0,995	1,038	0,994	
Las Palmas	228	1,035		1,033	1,032	1,034	1,036	1,034	1,033	1,037	1,027	1,031	1,026	1,047	1,033	1,035	0,995	1,004	1,005	1,036	1,003	1,003	1,001	1,001	1,035	1,034	1,000	1,035	1,038	1,043	1,000	1,035	1,000	
Los Vilos	226	1,031		1,030	1,029	1,031	1,032	1,031	1,030	1,025	1,027	1,029	1,026	1,046	1,023	1,030	1,001	1,005	1,006	1,033	1,004	1,004	1,003	1,031	1,031	1,003	1,032	1,034	1,037	1,003	1,031	1,002		
Nogales	226	1,004		1,004	1,004	1,005	1,004	1,004	1,004	1,003	1,003	1,004	1,003	1,002	0,994	1,004	0,992	0,994	0,995	1,007	0,994	0,994	0,994	0,994	1,004	1,004	0,999	1,005	1,005	1,006	0,994	1,004	0,994	
Quillota	226	0,999		0,999	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,992	0,998	0,992	0,992	0,992	1,001	0,992	0,992	0,992	0,992	0,992	0,999	0,999	0,992	0,999	0,999	1,000	0,992	0,999	0,992
Polpaico	224	1,003		1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003	1,002	0,994	1,001	0,990	0,994	0,994	1,007	0,994	0,994	0,993	0,994	1,003	1,003	0,993	1,004	1,004	1,004	0,993	1,003	0,991	
MÍNIMAS				Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																														
Los Changos	500	1,033		0,990	0,945	0,998	1,003	1,003	1,004	1,004	1,004	1,003	1,003	1,004	1,018	1,001	1,017	1,059	1,099	1,004	1,076	1,057	1,033	1,028	1,004	1,010	1,008	1,004	1,004	1,004	0,997	1,004	1,004	
Cumbre	500	1,033		0,990	0,945	0,998	1,003	1,003	1,004	1,004	1,004	1,003	1,003	1,004	1,018	1,001	1,017	1,059	1,099	1,004	1,076	1,057	1,033	1,028	1,004	1,010	1,008	1,004	1,004	1,004	0,997	1,004	1,004	
Nva Cardones	500	1,019		0,973	0,951	0,984	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	1,000	1,050	1,060	0,989	1,042	1,039	1,015	1,014	0,990	0,999	0,994	0,989	0,990	0,989	0,983	0,989	0,989	
Polpaico	504	1,009		0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,986	0,988	0,989	0,988	0,986	0,991	0,975	0,984	0,989	0,989	0,992	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,979	0,989	0,989	0,988	0,983	
Los Changos	220	1,026		0,961	0,918	0,969	0,974	0,974	0,975	0,975	0,975	0,974	0,974	0,975	1,019	0,972	1,009	1,046	1,087	0,975	1,063	1,045	1,004	0,999	0,976	1,005	0,979	0,975	0,975	0,976	0,975	0,976	0,975	0,975
Diego de Almagro	224	1,042		1,006	1,004	1,008	1,009	1,009	1,009	1,008	1,009	1,008	1,009	1,018	1,009	1,017	1,023	1,024	1,009	1,020	1,020	1,012	1,012	1,009	1,008	1,008	1,009	1,009	1,009	0,960	1,008	1,009		
Carrera Pinto	224	1,047		1,002	0,997	1,005	1,007	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,005	1,006	1,015	1,007	1,013	1,030	1,034	1,007	1,027	1,026	1,013	1,013	1,007	1,005	1,006	1,007	1,007	1,006	0,975	1,006	1,007	
San Andrés	224	1,045		1,000	0,993	1,003	1,005	1,005	1,005	1,005	1,004	1,004	1,003	1,004	1,014	1,006	1,011	1,034	1,039	1,005	1,029	1,028	1,014	1,013	1,006	1,004	1,005	1,005	1,005	0,985	1,004	1,005		
Cardones	224	1,043		1,000	0,992	1,004	1,007	1,006	1,006	1,006	1,006	1,006	1,004	1,005	1,015	1,007	1,012	1,038	1,044	1,007	1,033	1,031	1,016	1,016	1,007	1,005	1,006	1,007	1,008	1,007	0,994	1,005	1,007	
Maitencillo	226	1,045		1,014	1,011	1,017	1,018	1,016	1,016	1,017	1,011	1,011	1,006	1,010	1,029	1,017	1,022	1,032	1,034	1,017	1,030	1,030	1,021	1,021	1,017	1,016	1,016	1,017	1,017	1,012	1,009	1,017		
Punta Colorada	228	1,043		0,987	0,985	0,989	0,979	0,970	0,978	0,938	0,960	0,960	0,933	0,958	1,005	0,985	0,991	0,998	0,999	0,989	0,996	0,996	0,991	0,991	0,989	0,988	0,989	0,989	0,991	0,984	0,989	0,969	0,989	
Pan de Azúcar	228	1,038		0,971	0,971	0,972	0,964	0,956	0,963	0,891	0,912	0,924	0,882	0,932	0,979	0,954	0,972	0,976	0,977	0,972	0,975	0,975	0,973	0,973	0,972	0,978	0,972	0,972	0,972	0,962	0,972	0,955	0,972	
Las Palmas	228	1,035		0,943	0,942	0,943	0,939	0,934	0,938	0,820	0,906	0,889	0,831	0,887	0,983	0,939	0,943	0,945	0,946	0,944	0,945	0,945	0,943	0,943	0,943	0,963	0,943	0,943	0,936	0,943	0,943	0,943		
Los Vilos	226	1,031		0,946	0,946	0,947	0,944	0,941	0,944	0,873	0,923	0,873	0,873	0,879	0,980	0,949	0,947	0,948	0,949	0,948	0,948	0,948	0,947	0,947	0,946	0,946	0,946	0,946	0,947	0,942	0,946	0,946	0,946	
Nogales	226	1,004		0,971	0,971	0,971	0,971	0,971	0,971	0,957	0,968	0,966	0,959	0,962	0,989	0,974	0,972	0,972	0,972	0,973	0,972	0,972	0,971	0,971	0,971	0,979	0,971	0,967	0,971	0,970	0,971	0,971	0,971	
Quillota	226	0,999		0,967	0,967	0,967	0,967	0,967	0,967	0,962	0,967	0,968	0,966	0,961	0,982	0,963	0,975	0,968	0,968	0,971	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,967	0,967	0,96						



Barra 500kV nominal	Los Changos				Cumbre				Nueva Cardones										
	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM							
Escenario de Operación/Contingencia																			
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,171	1,124	1,126	1,108	1,157	1,129	1,115	1,114	1,124	1,108	1,084	1,083							
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	1,170	1,103	1,105	1,084	1,157	1,110	1,097	1,092	1,126	1,092	1,069	1,064							
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,160	1,115	1,114	1,097	1,146	1,120	1,103	1,102	1,113	1,099	1,073	1,072							
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,151	1,095	1,100	1,078	1,139	1,103	1,092	1,086	1,109	1,085	1,064	1,059							
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,145	1,096	1,109	1,092	1,131	1,101	1,098	1,097	1,098	1,080	1,068	1,067							
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,133	1,078	1,084	1,065	1,121	1,086	1,075	1,073	1,091	1,068	1,048	1,046							
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	1,126	1,090	1,105	1,088	1,112	1,095	1,094	1,093	1,081	1,074	1,064	1,063							
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	1,126	1,090	1,105	1,088	1,112	1,095	1,094	1,093	1,081	1,074	1,064	1,063							
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,112	1,071	1,088	1,069	1,100	1,079	1,080	1,077	1,071	1,061	1,053	1,050							
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	1,109	1,068	1,085	1,066	1,097	1,076	1,077	1,074	1,068	1,058	1,050	1,047							
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	1,099	1,059	1,076	1,057	1,089	1,067	1,068	1,066	1,060	1,050	1,042	1,039							
Barra 220kV nominal	Los Changos				Cardones				Carrera Pinto				Diego de Almagro		San Andrés		Maitencillo		
Escenario de Operación/Contingencia																			
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	1,173	1,105	1,107	1,086	1,126	1,097	1,078	1,074	1,130	1,098	1,078	1,074	1,124	1,091	1,128	1,098	1,078	1,074	1,074
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,140	1,091	1,104	1,088	1,069	1,054	1,046	1,045	1,056	1,039	1,032	1,032	1,046	1,028	1,063	1,047	1,039	1,035	1,044
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,139	1,082	1,087	1,065	1,097	1,077	1,060	1,056	1,098	1,077	1,059	1,055	1,090	1,068	1,098	1,077	1,061	1,056	1,058
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,137	1,091	1,093	1,076	1,108	1,095	1,076	1,075	1,110	1,096	1,075	1,075	1,103	1,089	1,110	1,096	1,076	1,075	1,066
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,136	1,079	1,085	1,066	1,093	1,074	1,058	1,057	1,093	1,072	1,055	1,054	1,084	1,063	1,094	1,074	1,057	1,056	1,056
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,127	1,083	1,082	1,065	1,098	1,086	1,064	1,064	1,099	1,086	1,062	1,062	1,090	1,077	1,099	1,087	1,064	1,063	1,058
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	1,122	1,086	1,100	1,084	1,052	1,048	1,042	1,041	1,036	1,034	1,029	1,029	1,045	1,023	1,045	1,041	1,038	1,035	1,038
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	1,122	1,085	1,100	1,084	1,052	1,048	1,042	1,041	1,037	1,034	1,030	1,030	1,024	1,023	1,045	1,042	1,036	1,036	1,035
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,100	1,059	1,076	1,057	1,047	1,041	1,036	1,034	1,037	1,033	1,029	1,028	1,029	1,027	1,042	1,036	1,037	1,031	1,034
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	1,097	1,056	1,073	1,054	1,044	1,038	1,033	1,031	1,034	1,030	1,027	1,026	1,028	1,026	1,039	1,034	1,029	1,028	1,035
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	1,087	1,046	1,063	1,045	1,050	1,044	1,039	1,038	1,042	1,038	1,035	1,034	1,031	1,029	1,047	1,042	1,037	1,036	1,036

Tabla 4-11: Tensiones máximas post-contingencia por escenario y contingencia, referidas a las tensiones de servicio.

4.4.2.2 Variación en los niveles de tensión

Este análisis se realiza con el objetivo de evaluar el impacto de las contingencias en las tensiones finales del sistema versus las tensiones que había antes de ocurrir ésta. Las variaciones de tensión son calculadas como la diferencia entre el valor post-contingencias y el valor pre-contingencia, de este modo, si luego de una contingencia las tensiones disminuyen, la variación será negativa y viceversa.

En la Tabla 4-13 se muestra para cada barra y contingencia las variaciones de tensión para todos los escenarios analizados, se resaltan en rojo las variaciones mayores a un 2% en barra de 500kV y a un 3% en barras de 220kV. Luego, en la Tabla 4-15 se muestra un resumen de todos los casos donde se encuentra variaciones mayores a un 2% en barra de 500kV y a un 3% en barras de 220kV, indicando el escenario de operación donde esta condición ocurre. Se ha resaltado en rojo las variaciones mayores a un 10% y en azul las variaciones menores a -10%. Además, variaciones menores a un 2% en barra de 500kV y menores a un 3% en barras de 220kV se han puesto en color gris para dar mayor énfasis a los casos de mayor variación de la tensión.

A partir de los resultados de las simulaciones de contingencias simples, resumidos en la Tabla 4-13 y Tabla 4-15, se encuentra lo siguiente:

➤ **Variaciones de tensión positivas**

Similar a lo visto en la sección anterior se encuentra que las mayores variaciones de tensión (positivas) se dan principalmente en la ACT#1 ante la **pérdida de los siguientes reactores:**

- ✓ ACT#1
 - **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
 - **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV**
 - **Reactores de línea de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV**

También se observa la misma tendencia dicha anteriormente sobre los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC; es decir, son los menos críticos que los escenarios sin ERNC ya que los nuevos parques podrían absorber potencia reactiva, tal como lo hacen actualmente los parques existentes.



[Ir al índice](#)

Variaciones de Tensión		CONTINGENCIAS		Línea 2x220kV																Central			Reactor de barra 500kV			Reactor de línea 500kV			Trafos 220/500kV		CER/SVC plus					CCEE	
				Línea 2x500kV		Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	Punta Colorada - Pan de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Polpaico 500kV	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos	Nueva Cardones	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Diego de Almagro	Pan de Azúcar 220kV	Polpaico 220kV		
NODOS		Userv [kV]	MÁXIMAS VARIACIONES DE TENSIÓN (POSITIVAS) [%]																																		
Los Changos	500		-0,7	-2,9	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,6	0,2	0,0	11,9	16,6	0,0	10,4	3,4	2,8	12,1	0,1	0,4	0,9	0,0	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0			
Cumbre	500		-0,8	-2,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	0,2	0,0	11,9	14,6	0,0	10,4	3,4	2,8	10,5	0,1	0,9	0,9	0,0	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0				
Nva Cardones	500		-1,3	-2,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,7	0,2	0,0	11,9	13,5	0,0	9,4	3,0	2,8	9,5	0,1	1,1	0,9	0,0	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0				
Polpaico	504		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0					
Los Changos	220		-0,5	-2,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,9	0,2	0,0	11,9	16,6	0,0	10,4	3,4	2,8	12,1	0,1	0,4	0,9	0,0	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0				
Diego de Almagro	224		-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	7,5	8,9	0,0	5,2	0,5	0,5	5,3	0,0	0,3	0,4	0,0	0,9	0,4	1,9	0,0	0,0				
Carrera Pinto	224		-0,3	-0,6	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,0	7,8	9,2	0,0	5,6	0,9	0,9	5,7	0,0	0,3	0,7	0,0	0,9	0,4	1,3	0,0	0,0				
San Andrés	224		-0,4	-0,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2	0,0	8,0	9,3	0,0	5,9	1,2	1,1	6,0	0,0	0,4	1,0	0,0	0,8	0,4	0,9	0,0	0,0				
Cardones	224		-0,5	-0,9	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,2	0,0	8,1	9,4	0,0	6,1	1,4	1,3	6,2	0,0	0,4	1,1	0,0	0,8	0,4	0,7	0,0	0,0				
Maitencillo	226		-0,2	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,2	1,8	0,7	0,0	3,0	4,0	0,0	2,2	0,5	0,4	2,2	0,0	1,7	0,4	0,0	0,8	0,5	0,2	0,0	0,0					
Punta Colorada	228		-0,1	-0,2	0,0	0,3	-0,2	-0,3	0,1	0,3	-0,2	-0,4	0,5	5,3	2,0	0,0	1,9	2,9	0,1	1,4	0,3	0,3	1,4	0,0	5,1	0,3	0,1	0,7	1,0	0,2	0,0	0,0					
Pan de Azúcar	228		-0,1	-0,1	0,0	0,2	-0,2	-0,2	0,1	-0,6	-0,4	-0,6	0,7	6,7	2,0	0,0	1,0	1,6	0,1	0,7	0,2	0,1	0,8	0,0	6,5	0,1	0,1	0,6	1,5	0,1	0,0	0,0					
Las Palmas	228		0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,2	-0,4	0,7	0,1	1,2	9,1	2,7	0,1	0,6	1,0	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,0	8,9	0,1	0,3	0,3	0,8	0,1	0,0	0,0					
Los Vilos	226		0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	0,5	0,1	1,4	7,3	2,2	0,1	0,4	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,0	7,2	0,1	0,3	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0					
Nogales	226		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	1,8	0,6	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,8	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0					
Quillota	226		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0					
Polpaico	224		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,8	0,3	0,2	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0					
NODOS		Userv [kV]	MÍNIMAS VARIACIONES DE TENSIÓN (NEGATIVAS) [%]																																		
Los Changos	500		-1,6	-6,1	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,0	-0,3	0,0	4,1	8,1	0,0	3,9	1,5	1,3	5,7	0,0	-0,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,3	0,0					
Cumbre	500		-1,6	-6,1	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,0	-0,3	0,0	4,1	8,1	0,0	3,9	1,5	1,3	5,7	0,0	-0,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,3	0,0					
Nva Cardones	500		-1,9	-4,1	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,4	-0,3	0,0	4,9	5,9	0,0	3,9	1,6	1,6	4,1	0,0	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,3	0,0					
Polpaico	504		0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,7	-1,8	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,6					
Los Changos	220		-1,6	-6,1	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,3	0,2	-0,3	0,0	3,6	7,6	0,0	3,4	1,2	1,0	5,3	-0,2	-0,4	-0,2	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,3	0,0					
Diego de Almagro	224		-1,0	-1,4	-0,7	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,8	1,0	0,0	0,5	0,2	0,2	0,6	0,0	-0,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	-4,8	-0,1	0,0					
Carrera Pinto	224		-0,9	-1,6	-0,7	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	1,5	1,9	0,0	1,0	0,4	0,4	1,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	-3,2	-0,2	0,0					
San Andrés	224		-0,9	-1,7	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	0,0	1,9	2,4	0,0	1,4	0,5	0,5	1,5	0,0	-0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	-2,1	-0,2	0,0					
Cardones	224		-0,9	-1,7	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	-0,2	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	0,0	2,2	2,8	0,0	1,6	0,6	0,6	1,7	0,0	-0,5	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-1,4	-0,3	0,0						
Maitencillo	226		-0,4	-0,7	-0,3	-0,3	-0,4	-0,2	-1,4	-0,9	-0,8	-1,6	-0,9	-0,1	-1,0	0,0	0,8	1,1	0,0	0,6	0,2	0,2	0,6	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,8	0,0					
Punta Colorada	228		-0,3	-0,6	-0,2	-1,6	-2,0	-1,3	-5,3	-3,1	-3,1	-5,8	-3,1	0,5	-2,7	0,0	0,6	0,8	0,0	0,4	0,1	0,2	0,4	0,0	-0,5	0,0	-0,2	0,0	-0,7	-0,3	-2,7	-0,1					
Pan de Azúcar	228		-0,3	-0,5	-0,2	-0,8	-1,7	-0,9	-8,4	-6,2	-4,9	-9,2	-4,8	0,0	-4,0	-0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,0	-1,0	-0,2	-4,0	-0,2					
Las Palmas	228		-0,2	-0,3	-0,2	-0,4	-0,9	-0,5	-13,0	-3,9	-5,7	-11,8	-8,0	-1,4	-5,6	-0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	-1,2	0,0	-0,8	0,0	-0,8	-0,1	-2,6	-0,5					
Los Vilos	226		-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,6	-0,3	-9,2	-2,5	-3,7	-7,7	-9,0	-1,3	-4,7	-0,3	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	-3,3	0,0	-1,0	0,0	-0,5	0,0	-1,7	-0,6					
Nogales	226		0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-1,5	-0,4	-0,6	-1,2	-1,7	-0,1	-1,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,6	0,0	-1,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-0,8					
Quillota	226		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,9	-0,2	-0,4	-0,8	-1,2	0,0	-1,6	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,8					
Polpaico	224		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,2	-0,3	-0,6	-0,8	-0,1	-1,4	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	-1,6	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,9					

Tabla 4-13: Máximas variaciones de tensión [%] por barra.

Escenario de Operación	LOS CHANGOS						CUMBRES						Nueva Cardones					
	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor CUM-NCAR_CUM	Reactor CUM-NCAR_NCAR	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor CUM-NCAR_CUM	Reactor CUM-NCAR_NCAR	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor CUM-NCAR_CUM	Reactor CUM-NCAR_NCAR
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	11,4	7,8	9,3	7,6	3,0	2,5	9,5	7,8	7,7	7,6	3,0	2,5	8,4	7,8	6,7	6,7	2,6	2,5
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	16,6	11,9	12,1	10,4	3,0	2,4	14,6	11,9	10,5	10,4	3,0	2,4	13,5	11,9	9,5	9,4	2,5	2,4
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	11,5	7,9	9,4	7,7	3,0	2,5	9,6	7,9	7,8	7,7	3,0	2,5	8,5	7,9	6,8	6,8	2,6	2,5
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	15,6	11,1	11,0	9,3	3,4	2,8	13,6	11,1	9,4	9,3	3,4	2,8	12,5	11,1	8,5	8,4	3,0	2,8
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	13,2	8,3	9,6	8,0	3,0	2,5	11,3	8,3	8,0	8,0	3,0	2,5	10,1	8,3	7,1	7,0	2,6	2,5
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	8,1	4,1	5,7	3,9	1,5	1,3	6,7	4,6	4,7	4,4	1,8	1,5	5,9	4,9	4,1	3,9	1,6	1,6
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	13,2	7,6	8,1	5,9	1,7	1,4	11,6	8,0	6,9	6,4	2,0	1,6	10,6	8,2	6,2	5,7	1,7	1,8
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	8,8	4,9	6,5	4,7	1,6	1,3	7,4	5,3	5,4	5,1	1,9	1,5	6,6	5,6	4,7	4,5	1,6	1,7
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	11,3	5,9	6,4	4,6	1,6	1,4	9,9	6,4	5,4	5,2	2,0	1,7	9,1	6,8	4,9	4,6	1,7	1,8
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	9,1	5,1	6,8	4,9	1,6	1,3	7,7	5,6	5,6	5,4	1,9	1,5	6,8	5,8	4,9	4,7	1,6	1,7
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	14,8	8,2	8,4	6,3	1,7	1,5	13,3	8,7	7,4	6,9	2,1	1,8	12,5	9,1	6,8	6,3	1,9	2,0

Escenario de Operación	Los Changos					Cardones			Carrera Pinto			Diego de Almagro			San Andrés			Los Vilos		Maitencillo	Las Palmas		Pan de Azúcar		Punta Colorada							
	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor CUM-NCAR_CUM	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor Los Changos	Reactor N. Cardones	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Trafo Nva Cardones	CTM3	Trafo Nva Cardones	Reactor Los Changos	CTM3	Trafo Nva Cardones	CTM3	Trafo Nva Cardones	CTM3	Trafo Nva Cardones					
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	11,4	7,8	9,3	7,6	3,0	4,4	4,0	3,4	3,3	2,9	2,6	2,2	2,2	1,5	1,4	1,2	1,2	3,8	3,5	2,9	2,9	2,6			1,5	1,8			-0,1			0,3
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	16,6	11,9	12,1	10,4	3,0	9,4	8,1	6,2	6,1	9,2	7,8	5,7	5,6	8,9	7,5	5,3	5,2	9,3	8,0	6,0	5,9	4,2			2,4	3,6			0,0		0,0	1,7
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	11,5	7,9	9,4	7,7	3,0	4,5	4,1	3,5	3,4	3,0	2,7	2,3	2,3	1,5	1,4	1,2	1,2	3,9	3,6	3,0	3,0	2,6			-0,9	1,8			-0,1		-0,1	0,3
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	15,6	11,1	11,0	9,3	3,4	8,5	7,3	5,1	5,1	7,7	6,5	4,2	4,1	7,0	5,7	3,3	3,2	8,2	7,0	4,7	4,7	4,4			-1,6	3,1			0,0		0,0	0,9
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	13,2	8,3	9,6	8,0	3,0	6,1	4,5	3,7	3,7	4,8	3,1	2,4	2,4	3,6	1,8	1,3	1,3	5,6	4,0	3,2	3,2	2,6			3,3	2,4			0,1		0,1	0,8
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	7,6	3,6	5,3	3,4	1,2	2,8	2,2	1,7	1,6	1,9	1,5	1,1	1,0	1,0	0,8	0,6	0,5	2,4	1,9	1,5	1,4	0,2	4,0	3,9	1,1	5,1	4,9	4,7	4,5	3,8	3,7	
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	12,9	7,3	7,7	5,6	1,4	7,0	5,1	3,5	3,1	6,2	4,1	2,4	2,0	5,5	3,3	1,5	1,1	6,7	4,7	3,1	2,6	-0,3	-1,3	-1,2	2,7	-1,4	-1,2	0,0	0,1	0,5	0,5	
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	8,5	4,4	6,1	4,2	1,2	3,2	2,6	2,1	2,0	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	0,9	0,7	0,7	2,8	2,3	1,8	1,7	0,1	3,9	3,8	1,1	4,8	4,7	4,0	3,9	3,4	3,3	
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	10,8	5,3	5,9	4,0	1,3	6,1	4,2	2,7	2,6	5,4	3,4	1,8	1,7	4,8	2,7	0,9	0,9	5,8	3,9	2,3	2,2	0,4	0,9	0,9	2,3	1,4	1,4	1,7	1,7	1,9	1,8	
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	8,8	4,7	6,4	4,5	1,2	3,4	2,8	2,3	2,2	2,2	1,8	1,5	1,4	3,2	1,0	0,8	0,7	2,9	2,4	2,0	1,9	0,3	7,3	7,2	1,2	9,1	8,9	6,7	6,5	5,3	5,1	
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	14,3	7,7	7,9	5,8	1,4	9,2	6,3	4,4	4,1	8,8	5,7	3,8	3,4	8,4	5,2	3,2	2,8	9,0	6,1	4,2	3,8	-0,2	3,8	3,7	4,0	5,1	5,0	4,8	4,6	4,0	3,9	

Tabla 4-14: Resumen de variaciones máximas de tensión (Arriba: positivas y abajo: negativas).

Barra 500kV nominal	Los Cambios	Cumbre	Nueva Cardones																								
Escenario de Operación	Los Cambios - Cumbre	Los Cambios - Cumbre	Los Cambios - Cumbre																								
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	-5,9	-4,7	-4,0																								
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	-5,8	-4,5	-3,8																								
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	-5,9	-4,6	-4,0																								
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	-5,8	-4,5	-3,8																								
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	-5,9	-4,6	-4,0																								
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	-2,9	-2,7	-2,4																								
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	-3,0	-2,7	-2,3																								
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	-3,0	-2,8	-2,4																								
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	-2,9	-2,7	-2,3																								
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	-3,0	-2,8	-2,4																								
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	-2,9	-2,7	-2,3																								
Barra 220kV nominal	Los Cambios	Carrera Pinto	Diego de Almagro	Los Vilos						Las Palmas				Pan de Azúcar				Punta Colorada									
Escenario de Operación	Los Cambios - Cumbre	SVC Plus	SVC Plus	Don Goyo - Pan de Azúcar	Guacolda U1	La Cebada - Pan de Azúcar	Los Vilos - Las Palmas	Nogales - Los Vilos	Trafo Nva Cardones 500/220kV	Don Goyo - Pan de Azúcar	Guacolda U1	La Cebada - Pan de Azúcar	Los Vilos - Las Palmas	Nogales - Los Vilos	Pan de Azúcar - Punta Colorada	CCEE Pan de Azúcar 75 MVAR	Don Goyo - Pan de Azúcar	Guacolda U1	La Cebada - Pan de Azúcar	Los Vilos - Las Palmas	Nogales - Los Vilos	Pan de Azúcar - Punta Colorada	Don Goyo - Pan de Azúcar	La Cebada - Pan de Azúcar	Los Vilos - Las Palmas	Nogales - Los Vilos	Pan de Azúcar - Punta Colorada
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	-5,9	-3,2	-4,8	0,2	1,2	-0,7	-2,6	-1,7	-1,5	0,3	1,4	-1,1	-1,9	-1,3	-0,8	-4,0	-0,6	0,9	-0,9	-0,6	-0,4	-1,6	-0,4	-0,6	-0,4	-0,3	-1,7
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	-5,8	1,3	1,9	-0,6	-4,7	-0,9	-0,9	-0,8	-2,4	-0,8	-5,6	-1,3	-0,6	-0,6	-0,4	0,0	-0,7	-4,0	-0,8	-0,2	-0,2	-0,7	-0,4	-0,5	-0,1	-0,1	0,3
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	-5,9	-0,5	-0,8	0,5	1,1	-0,4	-2,1	-1,7	-0,9	0,7	1,3	-0,6	-1,5	-0,9	-0,7	0,0	-0,9	0,9	-1,0	-0,5	-0,3	-1,6	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-1,1
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	-5,8	0,5	0,7	-0,1	-2,5	-0,4	-0,6	-0,1	-1,6	0,2	2,8	-0,6	-0,3	-0,1	-0,4	0,0	-0,5	-1,2	-0,6	-0,1	0,0	-0,6	-0,3	-0,4	-0,1	0,0	0,3
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	-5,9	-0,3	-0,4	-2,6	2,0	-5,3	-6,0	-9,0	-3,3	-4,1	2,4	-8,1	-7,4	-8,0	-2,7	0,0	-4,5	1,4	-7,0	-4,3	-4,8	-4,5	-2,9	-4,5	-2,8	-3,1	-2,8
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	-2,4	0,2	0,3	-3,7	2,2	-7,7	-9,2	NC	7,2	-5,7	2,7	-11,8	-13,0	NC	-3,9	0,0	-4,9	1,5	-9,2	-8,4	NC	-6,2	-3,1	-5,8	-5,3	NC	-3,1
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	-2,3	1,3	1,8	-1,9	2,0	-2,7	-1,3	-1,5	3,7	-3,1	2,7	-3,6	-1,6	-1,2	-1,3	0,0	-2,2	2,0	-2,4	-0,5	-0,4	-2,5	-1,4	-1,5	-0,3	-0,2	-1,4

Tabla 4-15: Resumen de variaciones máximas de tensión negativas.

Adicionalmente, se observan importantes variaciones de tensión positivas en el ACT#2 tras la pérdida de la unidad CTM3 (o, equivalentemente, la pérdida del transformador de 220/500kV de la subestación Nueva Cardones cuando esta unidad está despachada) en escenarios de demanda mínima debido al cambio en los flujos de potencia (activa y reactiva) en barras con alta sensibilidad dv/dQ : Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV.

- ACT#2 → **Desconexión de CTM3 en escenarios de mínima demanda**

➤ **Variaciones de tensión negativas**

Se encuentra que las mayores variaciones de tensión (negativas) se dan principalmente ante la **pérdida de los siguientes circuitos de línea:**

- ✓ ACT#1
 - **Circuito de línea Los Changos – Cumbre 500kV**
 - **SVC plus**
- ✓ ACT#2
 - **Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV**
 - **Circuito La Cebada – Pan de Azúcar 220kV**
 - **Circuito Los Vilos – Las Palmas 220kV**
 - ✓ **Circuito Pan de Azúcar– Punta Colorada 220kV**
 - ✓ **Circuito Los Vilos – Nogales 220kV**

Sin perjuicio de lo anterior se encuentra que la desconexión de la unidad 1 de la CT Guacolda U1 puede ocasionar importantes variaciones de tensión en un caso particular de operación: hidrología húmeda, sin ERCN y demanda alta.

Cabe notar que si bien la desconexión de los circuitos de línea de 220kV de la zona norte del SIC derivan en importantes variaciones de tensión en los escenarios con alta generación ERNC, éstas contingencias no son consideradas críticas ya que la desconexión de éstos circuitos sobrecarga transitoriamente el circuito sano debido a que los escenarios de operación han sido realizados contemplando un "criterio n-1 ajustado", considerando el automatismo de desconexión/reducción de generación de la zona norte del SIC el cual está siendo estudiado en detalle en el Estudio#2 "Evaluación de los automatismos existentes". Para más detalle al respecto, se recomienda revisar dicho estudio.



4.4.2.3 Variación de la inyección/absorción de reactivos

A continuación, se resumen los máximos requerimientos de potencia reactiva (RPR) encontrados para cada contingencia y en todos los escenarios de estudio. Se destacan en rojo los valores mayores a 100MVar (valor absoluto).

Contingencia	RPR inductivo [MVar]	Escenario de Operación
CTM3	-399	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
Trafo S/E Nueva Cardones	-373	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
Reactor de barra Los Changos	-309	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Reactor de barra Cardones	-252	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Reactor de línea LCHAN-CUM_LCHAN	-214	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Reactor de línea LCHAN-CUM_CUM	-210	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
Guacolda U1	-166	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Reactor de línea CUM-NCAR_CUM	-89	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
Reactor de línea CUM-NCAR_NCAR	-85	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
CER Cardones	-60	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Nueva Ventanas	-58	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
SVC Plus	-38	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
Reactor de barra Polpaico	-35	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
CER Polpaico	-22	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
Contingencia	RPR capacitivo [MVar]	Escenario de Operación
Los Vilos - Las Palmas	249	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
La Cebada - Pan de Azúcar	234	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
Guacolda U1	195	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
Nogales - Los Vilos	169	F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC
Los Changos - Cumbre	140	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
Don Goyo - Pan de Azúcar	121	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
CCEE Pan de Azúcar	106	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
Pan de Azúcar - Punta Colorada	99	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
SVC Plus	97	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
Cumbre	61	F1 - Húmedo - Dda Min Norte - No-ERNC
CCEE Polpaico	60	F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
Maitencillo - Cardones	55	F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
Abasol - Pelicano	51	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
CER Polpaico	51	F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Trafo S/E Nueva Cardones	47	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC
Abasol - Maitencillo	42	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
CTM3	31	F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC
Punta Colorada - Maitencillo	24	F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC
Pan de Azúcar	9	F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC
CER Cardones	6	F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
Trafo S/E Los Changos	4	F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC

Tabla 4-16. Requerimiento de reactivos máximos.

Tal como puede observarse, las contingencias identificadas como críticas en los análisis de tensiones absolutas y variaciones de tensión resultan en un mayor requerimiento de reactivo por parte del sistema. Puede observarse que la pérdida de reactores y unidades sincrónicas (sub-excitadas) deriva en importantes montos de RPR inductivos para el sistema. De igual modo se observa que la pérdida de circuitos de línea deriva en importantes montos de RPR capacitivos para el sistema.

En función de los montos de RPR post-contingencia, se encuentra que las contingencias más críticas desde este punto de vista son:

✓ **RPR inductivos**

- CTM3 (TG+TV)
- Transformador 220/500kV S/E Nueva Cardones
- Reactor de barra Los Changos
- Reactor de barra Cardones
- Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Los Changos
- Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Cumbre
- Unidad de la CT Guacolda

✓ **RPR Capacitivos**

- Circuito Los Vilos - Las Palmas 220kV
- Circuito La Cebada - Pan de Azúcar 220kV
- Guacolda U1
- Circuito Nogales - Los Vilos 220kV
- Circuito Los Changos – Cumbre 500kV
- Circuito Don Goyo - Pan de Azúcar 220kV
- Capacitor shunt Pan de Azúcar 220kV

Cabe notar que si bien la desconexión de los circuitos de línea de 220kV de la zona norte del SIC derivan en importantes RPR capacitivos en los escenarios con alta generación ERNC, éstas contingencias no son consideradas críticas ya que la desconexión de éstos circuitos sobrecarga transitoriamente el circuito sano debido a que los escenarios de operación han sido realizados contemplando un "criterio n-1 ajustado", considerando el automatismo de desconexión/reducción de generación de la zona norte del SIC el cual está siendo estudiado en detalle en el Estudio#2 "Evaluación de los automatismos existentes". Para más detalle al respecto, se recomienda revisar dicho estudio.



4.4.2.4 Sensibilidad dv/dQ en red N-1

En la tabla a continuación se resumen las máximas sensibilidades dv/dQ[%/MVar] post-contingencia para todos los escenarios evaluados, donde los valores mayores a 0,1%/MVar han sido destacados con color rojo.

Sensibilidad red N-1		CONTINGENCIAS	Central			Reactor de barra 500kV			Reactor de línea 500kV				CER/SVC plus				
			CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Polpaico 500kV	Reactor LCH-CUM_LCH	Reactor LCH-CUM_CUM	Reactor CUM-NCAR_CUM	Reactor CUM-NCAR_CAR	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Diego de Almagro
NODOS	Js [kV]	SENSIBILIDAD EN RED N-1 [%/Mvar]															
Los Changos	500	0,048	0,129	0,025	0,237	0,226	0,051	0,160	0,162	0,065	0,065	0,069	0,051	0,130	0,131	0,053	
Cumbre	500	0,048	0,129	0,025	0,237	0,226	0,051	0,160	0,162	0,065	0,065	0,069	0,051	0,130	0,131	0,053	
Nva Cardones	500	0,033	0,113	0,022	0,210	0,196	0,035	0,134	0,137	0,049	0,049	0,053	0,035	0,114	0,115	0,037	
Polpaico	504	0,009	0,014	0,009	0,009	0,009	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,012	0,009	0,009	0,009	
Los Changos	220	0,058	0,135	0,024	0,255	0,242	0,059	0,174	0,176	0,073	0,073	0,079	0,059	0,137	0,137	0,063	
Diego de Almagro	224	0,015	0,163	0,015	0,261	0,243	0,065	0,176	0,180	0,017	0,017	0,018	0,065	0,164	0,166	0,082	
Carrera Pinto	224	0,020	0,132	0,019	0,221	0,207	0,041	0,141	0,144	0,027	0,027	0,030	0,041	0,133	0,134	0,061	
San Andrés	224	0,026	0,120	0,025	0,203	0,191	0,035	0,127	0,130	0,039	0,039	0,043	0,035	0,121	0,122	0,055	
Cardones	224	0,013	0,097	0,011	0,178	0,167	0,017	0,104	0,106	0,031	0,030	0,034	0,017	0,099	0,100	0,036	
Maitencillo	226	0,019	0,042	0,014	0,074	0,072	0,022	0,033	0,033	0,017	0,017	0,019	0,022	0,043	0,043	0,017	
Punta Colorada	228	0,052	0,062	0,034	0,061	0,060	0,048	0,040	0,040	0,036	0,036	0,037	0,048	0,063	0,064	0,036	
Pan de Azúcar	228	0,069	0,098	0,027	0,033	0,033	0,058	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,058	0,068	0,086	0,027	
Las Palmas	228	0,057	0,090	0,057	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,085	0,056	
Los Vilos	226	0,041	0,063	0,045	0,044	0,044	0,046	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044	0,046	0,044	0,056	0,044	
Nogales	226	0,008	0,018	0,009	0,012	0,012	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,016	0,012	0,012	0,012	
Quillota	226	0,007	0,019	0,007	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,018	0,014	0,014	0,014	
Polpaico	224	0,006	0,014	0,006	0,007	0,007	0,010	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,013	0,007	0,008	0,007	
Sensibilidad red N-1		CONTINGENCIAS	Línea 2x500kV			Línea 2x220kV						CCEE		Trafos 220/500kV			
			Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	P. Colorada - P. de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	Pan de Azúcar 220kV	Polpaico 220kV	Los Changos	Nueva Cardones
NODOS	Js [kV]	SENSIBILIDAD EN RED N-1 [%/Mvar]															
Los Changos	500	0,054	0,055	0,051	0,051	0,050	0,051	0,051	0,050	0,051	0,050	0,051	0,051	0,048	0,051	0,050	
Cumbre	500	0,054	0,055	0,051	0,051	0,050	0,051	0,051	0,050	0,051	0,050	0,051	0,051	0,048	0,051	0,050	
Nva Cardones	500	0,034	0,032	0,036	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,036	0,035	0,035	0,035	0,032	0,035	0,065	
Polpaico	504	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,009	0,009	0,009	0,010	0,012	0,009	0,009	0,009	
Los Changos	220	0,063	0,065	0,060	0,060	0,059	0,060	0,060	0,059	0,060	0,059	0,060	0,059	0,058	0,070	0,040	
Diego de Almagro	224	0,064	0,016	0,065	0,065	0,064	0,065	0,065	0,064	0,065	0,064	0,065	0,065	0,016	0,065	0,065	
Carrera Pinto	224	0,040	0,020	0,042	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,020	0,041	0,041	
San Andrés	224	0,034	0,026	0,036	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,026	0,035	0,035	
Cardones	224	0,016	0,012	0,017	0,017	0,016	0,017	0,017	0,016	0,017	0,016	0,017	0,017	0,013	0,017	0,017	
Maitencillo	226	0,016	0,016	0,018	0,022	0,017	0,022	0,022	0,020	0,022	0,019	0,022	0,022	0,016	0,022	0,022	
Punta Colorada	228	0,043	0,043	0,046	0,092	0,093	0,074	0,107	0,073	0,075	0,098	0,085	0,068	0,036	0,048	0,052	
Pan de Azúcar	228	0,054	0,054	0,056	0,114	0,116	0,099	0,198	0,134	0,122	0,178	0,140	0,095	0,027	0,058	0,069	
Las Palmas	228	0,056	0,056	0,056	0,097	0,099	0,090	0,298	0,110	0,122	0,198	0,189	0,077	0,056	0,056	0,058	
Los Vilos	226	0,044	0,044	0,044	0,061	0,062	0,058	0,120	0,066	0,072	0,103	0,165	0,053	0,044	0,044	0,044	
Nogales	226	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,016	0,012	0,012	
Quillota	226	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,018	0,014	0,014	
Polpaico	224	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,012	0,007	0,007	

Tabla 4-17: Sensibilidades dv/dQ.

A partir de los resultados del análisis de sensibilidad dv/dQ post-contingencia resumidos en la Tabla 4-17, se encuentra que éstos aumentan en general en todas las barras respecto de los resultados obtenidos para red n , lo cual se explica por el hecho de que tras las contingencia el sistema requiere de recursos de potencia reactiva que son suministrados por los RCT, llegando éstos muchas veces a sus límites, con lo cual las barras que en red n tenían un control de tensión (barras PV), en red $n-1$ son barras de potencia reactiva fija (barras PQ).

En consideración de las ACT propuestas anteriormente, se puede decir lo siguiente:

✓ **ACT#1**

Las mayores sensibilidades post-contingencia en las barras de la ACT#1, se encuentran tras la desconexión (no simultáneas) de los siguientes elementos:

- **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
- **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV**
- **Reactores de línea de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV**
- **Una unidad de la CT Guacolda**
- **CER de Maitencillo y CER de Pan de Azúcar**

✓ **ACT#2**

Las mayores sensibilidades post-contingencia en las barras de la ACT#2 (propuesta anteriormente), se encuentran tras la desconexión (no simultáneas) de los siguientes elementos:

- **Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV**
- **Circuito La Cebada – Pan de Azúcar 220kV**
- **Circuito Los Vilos – Las Palmas 220kV**
- **Circuito Pan de Azúcar– Punta Colorada 220kV**
- **Circuito Los Vilos – Nogales 220kV**

Sin perjuicio de lo anterior, se encuentra que la pérdida de los circuitos de línea Maitencillo – Abasol 220kV y Abasol – Pelicano 220kV tienen un efecto importante sobre la sensibilidad dv/dQ de la barra Pan de Azúcar 220kV.

4.4.2.5 Resumen de contingencias más exigentes Fase I

A continuación, se hace un resumen de las contingencias más críticas encontradas de acuerdo a los cuatro criterios de análisis realizados anteriormente.

➤ Sobretensiones

- ✓ ACT#1
 - Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV
 - Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV

➤ Subtensiones

- ✓ ACT#1
 - Circuito de línea Los Changos – Cumbre 500kV
- ✓ ACT#2
 - Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV
 - Circuito La Cebada – Pan de Azúcar 220kV
 - Circuito Los Vilos – Las Palmas 220kV
 - Circuito Pan de Azúcar– Punta Colorada 220kV
 - Circuito Los Vilos – Nogales 220kV

➤ Variaciones de tensión positivas

- ✓ ACT#1
 - Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV
 - Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV
 - Reactores de línea de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV
- ✓ ACT#2
 - Desconexión de CTM3 en escenarios de mínima demanda.

➤ Variaciones de tensión negativas

- ✓ ACT#1
 - Circuito de línea Los Changos – Cumbre 500kV
 - SVC plus
- ✓ ACT#2
 - Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV
 - Circuito La Cebada – Pan de Azúcar 220kV
 - Circuito Los Vilos – Las Palmas 220kV
 - Circuito Pan de Azúcar– Punta Colorada 220kV
 - Circuito Los Vilos – Nogales 220kV
 - Unidad de la CT Guacolda (escenario particular: hidrología húmeda, sin ERCN y demanda alta).

➤ **Sensibilidad dv/dQ red n-1**

✓ ACT#1

- **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
- **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV**
- **Reactores de línea de la línea Cumbre – Nueva Cardones 500kV**
- **Una unidad de la CT Guacolda**
- **CER de Maitencillo y CER de Pan de Azúcar**

✓ ACT#2

- **Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV**
- **Circuito La Cebada – Pan de Azúcar 220kV**
- **Circuito Los Vilos – Las Palmas 220kV**
- **Circuito Pan de Azúcar– Punta Colorada 220kV**
- **Circuito Los Vilos – Nogales 220kV**
- **Circuitos de línea Maitencillo – Abasol 220kV y**
- **Circuito Abasol – Pelicano 220kV**

➤ **RPR inductivos**

- **CTM3 (TG+TV)**
- **Transformador 220/500kV S/E Nueva Cardones**
- **Reactor de barra Los Changos**
- **Reactor de barra Cardones**
- **Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Los Changos**
- **Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Cumbre**
- **Unidad de la CT Guacolda**

➤ **RPR Capacitivos**

- **Circuito Los Vilos - Las Palmas 220kV**
- **Circuito La Cebada - Pan de Azúcar 220kV**
- **Guacolda U1**
- **Circuito Nogales - Los Vilos 220kV**
- **Circuito Los Changos – Cumbre 500kV**
- **Circuito Don Goyo - Pan de Azúcar 220kV**
- **Capacitor shunt Pan de Azúcar 220kV**

En consideración de los cuatro análisis realizados anteriormente para red n-1, se encuentra que las contingencias más críticas son aquellas que aparecen en al menos tres de los cuatro análisis realizados anteriormente, éstas son las siguientes:

- 1. Reactor de barra Los Changos**
- 2. Reactor de barra Nueva Cardones**
- 3. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Los Changos**

4. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Cumbre

Cabe notar que si bien la desconexión de los circuitos de línea de 220kV de la zona norte del SIC aparecen en todos los análisis, éstas contingencias no son consideradas críticas ya que la desconexión de éstos circuitos sobrecarga transitoriamente el circuito sano debido a que los escenarios han sido realizados considerando un criterio n-1 ajustado considerando el automatismo de desconexión/reducción de generación de la zona norte del SIC el cual está siendo estudiado en detalle en el Estudio#2 "Evaluación de los automatismos existentes". Para más detalle al respecto, se recomienda revisar dicho estudio.

4.5 Análisis de alternativas para la operación en Fase I

Como se mostró en los análisis anteriores, la salida de servicio de los reactores de barra 500kV de las subestaciones Los Changos y Nueva Cardones (175MVAR) y los reactores de línea de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV (150MVAR c/u en cada extremo), deriva en sobretensiones normativamente inadmisibles en las barras al norte de Punta Colorada 220kV. Esta condición se hace más crítica en escenarios en donde CTM3 no se encuentra despachada (escenarios de hidrología húmeda) y sin ERNC (escenario de noche), debido a la falta de control de tensión en la S/E TEN (cerca a la S/E Los Changos) por parte de CTM3 y falta de la capacidad de absorción de potencia reactiva de los parques ERNC. En base a esto, se analizan las siguientes alternativas de operación del sistema necesarias para afrontar estas contingencias:

- 1. Definición de tensiones de servicio:** Como primera opción, se analiza la posibilidad de disminuir la utilización de los RCT, mediante la definición de tensiones de servicio (superiores a las nominales) en las barras del nuevo sistema de 500kV.
- 2. Despacho forzado:** Como primera medida para afrontar la pérdida de los reactores de 500kV, se evalúa la necesidad de operar con despacho forzado en el sistema. Para esto, se analizan los escenarios donde se encuentran las mayores sobretensiones post-contingencia, contemplando el despacho forzado de las unidades térmicas del norte del SIC (CT Guacolda y CTM3), a fin de encontrar las condiciones en la cual se pueda alcanzar una operación admisible ante estas contingencias. Cabe notar que esta medida tiene la ventaja de no tener tiempos de implementación asociados, pero tiene la desventaja de significar un costo mayor para la operación del sistema.
- 3. Acciones sobre la topología:** Adicionalmente, se evalúan de forma independiente las siguientes alternativas como: desconexión automática de circuitos de línea (automatismo) y la operación con los capacitores serie.

4.5.1 Definición de tensiones de servicio para Fase I

Para la definición de las tensiones de servicio de las barras Los Changos 500kV, Cumbre 500kV y Nueva Cardones 500kV, se consideran las tensiones de operación en red n observadas en las simulaciones realizadas sobre los escenarios de estudio.

A partir de los resultados obtenidos, se encuentra que, en la mayoría de los escenarios, las tensiones de operación normal en las barras Los Changos 500kV y Cumbre 500kV están entre 505kV y 510kV. En el caso de las barras de Nueva Cardones 500kV, no se considera conveniente definir una tensión de servicio distinta a la nominal (500kV), debido a que para lograr niveles de tensión admisibles en las demás barras de 500kV tras la pérdida de uno de los reactores de 500kV, es necesario operar en tensiones entre 0.99pu y 1pu (base 500kV).

Por lo tanto, la propuesta para la definición de tensiones de servicio es la siguiente:

- **Los Changos 500kV: 510kV**
- **Cumbre 500kV: 510kV**
- **Nueva Cardones 500kV: 500kV**

En la Tabla 4-18 se resumen las tensiones para cada barra en red N y ante la pérdida de los reactores de 500kV, mostrándose los mayores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas más las propuestas) para todos los escenarios analizados, donde se ha resaltado en rojo las sobretensiones >1,05pu para barras de 500kV nominal y >1,07pu para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio.

Tensiones Finales en red N-1		RED N	CONTINGENCIAS			Reactor de barra 500kV				Reactor de línea 500kV			
			Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Polpaico 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1				
NODOS	Us [kV]	Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]											
Los Changos	510	1,013	1,102	1,148	1,013	1,104	1,087	1,022	1,016				
Cumbre	510	1,018	1,107	1,135	1,018	1,093	1,092	1,026	1,021				
Nva Cardones	500	1,019	1,108	1,126	1,019	1,084	1,083	1,023	1,022				
Polpaico	504	1,009	1,009	1,009	1,016	1,009	1,009	1,009	1,009				
Los Changos	228	0,990	1,066	1,132	0,990	1,068	1,050	1,004	1,002				
Diego de Almagro	224	1,042	1,091	1,124	1,043	1,070	1,066	1,040	1,040				
Carrera Pinto	224	1,047	1,098	1,130	1,047	1,078	1,075	1,045	1,046				
San Andrés	224	1,045	1,098	1,128	1,045	1,078	1,075	1,044	1,045				
Cardones	224	1,043	1,097	1,126	1,043	1,078	1,075	1,042	1,043				
Maitencillo	226	1,045	1,059	1,074	1,046	1,051	1,051	1,036	1,036				
Punta Colorada	228	1,043	1,032	1,036	1,044	1,027	1,027	1,014	1,014				
Pan de Azúcar	228	1,038	1,004	1,006	1,039	1,002	1,002	0,997	0,997				
Las Palmas	228	1,035	1,004	1,005	1,036	1,003	1,003	1,001	1,001				
Los Vilos	226	1,031	1,005	1,006	1,033	1,004	1,004	1,003	1,003				
Nogales	226	1,004	0,994	0,995	1,007	0,994	0,994	0,994	0,994				
Quillota	226	0,999	0,992	0,992	1,001	0,992	0,992	0,992	0,992				
Polpaico	224	1,003	0,994	0,994	1,007	0,994	0,994	0,993	0,994				

Tabla 4-18: Resumen tensiones post-contingencia con propuesta de tensiones de servicio.

Como se puede ver de la tabla anterior, si bien las sobretensiones en la red de 500kV disminuyen, aún siguen existiendo. Por otro lado, cabe destacar que, de las barras que presentan sobretensión, las más críticas son aquellas donde se conectan los centros de consumo, por ejemplo, la barra Diego de Almagro 220kV.

En consideración de esto, a continuación, se estudian cuatro propuestas complementarias a la definición de tensiones de servicio:

- I. Operación CCSS 500kV Los Changos – Nueva Cardones.
- II. Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio.
- III. Despacho forzado CTM3.
- IV. Desconexión conjunta reactor 500kV – circuito de línea 500kV.

4.5.2 Operación CCSS 500kV Los Changos – Nueva Cardones

En todos los escenarios de estudios presentados para esta fase se mostraron diferentes condiciones de operación del sistema, considerando en todos los casos los CCSS de las líneas Nueva Cardones – Cumbre – Los Changos operativos. Esto tanto para el despacho a plena potencia de CTM3 como para condiciones de operación sin carga de este enlace. A continuación, se estudian dos escenarios sin ERNC y demanda baja (hidrología seca y húmeda), modificando la condición de operación de los CCSS del corredor Los Changos-Cumbres-Nueva Cardones 2x500kV, tanto para el despacho a plena potencia de CTM3 como para condiciones de operación sin CTM3.

Tensiones Finales red N		ESCENARIO			
		SIN CTM3 CCSS Operativos	SIN CTM3 CCSS Punteados	CON CTM3 CCSS Operativos	CON CTM3 CCSS Punteados
NODOS	Us [kV]	Tensiones en red N [p.u. de tensión de servicio]			
S/E Los Changos	505	0,994	0,998	1,008	1,006
S/E Cumbre	510	0,988	0,996	1,000	1,004
S/E Nva Cardones	500	0,989	0,998	1,000	1,007
S/E Polpaico	504	0,995	0,995	1,008	1,008
S/E Los Changos	220	0,975	0,979	1,025	1,023
S/E Diego de Almagro	224	1,019	1,020	1,035	1,036
S/E Carrera Pinto	224	1,020	1,022	1,037	1,039
S/E San Andrés	224	1,016	1,019	1,034	1,036
S/E Cardones	224	1,012	1,016	1,030	1,033
S/E Maitencillo	226	1,026	1,027	1,032	1,033
S/E Punta Colorada	228	1,010	1,011	0,998	0,999
S/E Pan de Azúcar	228	0,993	0,993	0,982	0,982
S/E Las Palmas	228	0,999	0,999	0,990	0,990
S/E Los Vilos	226	1,002	1,003	0,995	0,995
S/E Nogales	226	0,993	0,993	0,985	0,985
S/E Quillota	226	0,984	0,984	0,979	0,979
S/E Polpaico	224	0,993	0,993	0,990	0,990

Tabla 4-19: Operación CCSS Nueva Cardones – Los Changos

Se observa que la operación con los CCSS fuera de servicio deriva (en general) en un leve incremento de las tensiones del norte del sistema. En condiciones de red N esto no presenta problemas. A continuación, se evalúa la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones y la consecuente salida de un circuito Nueva Cardones – Cumbre 500kV, para el escenario sin CTM3 en servicio.

Al analizar la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV y la consecuente salida de servicio (propuesta) de un circuito de la línea Nueva Cardones – Cumbre 2x500kV (sin CTM3 en servicio) se encuentran tensiones inadmisibles con los CCSS de estos enlaces fuera de servicio, por lo que se recomienda que los mismos se encuentren siempre operativos.

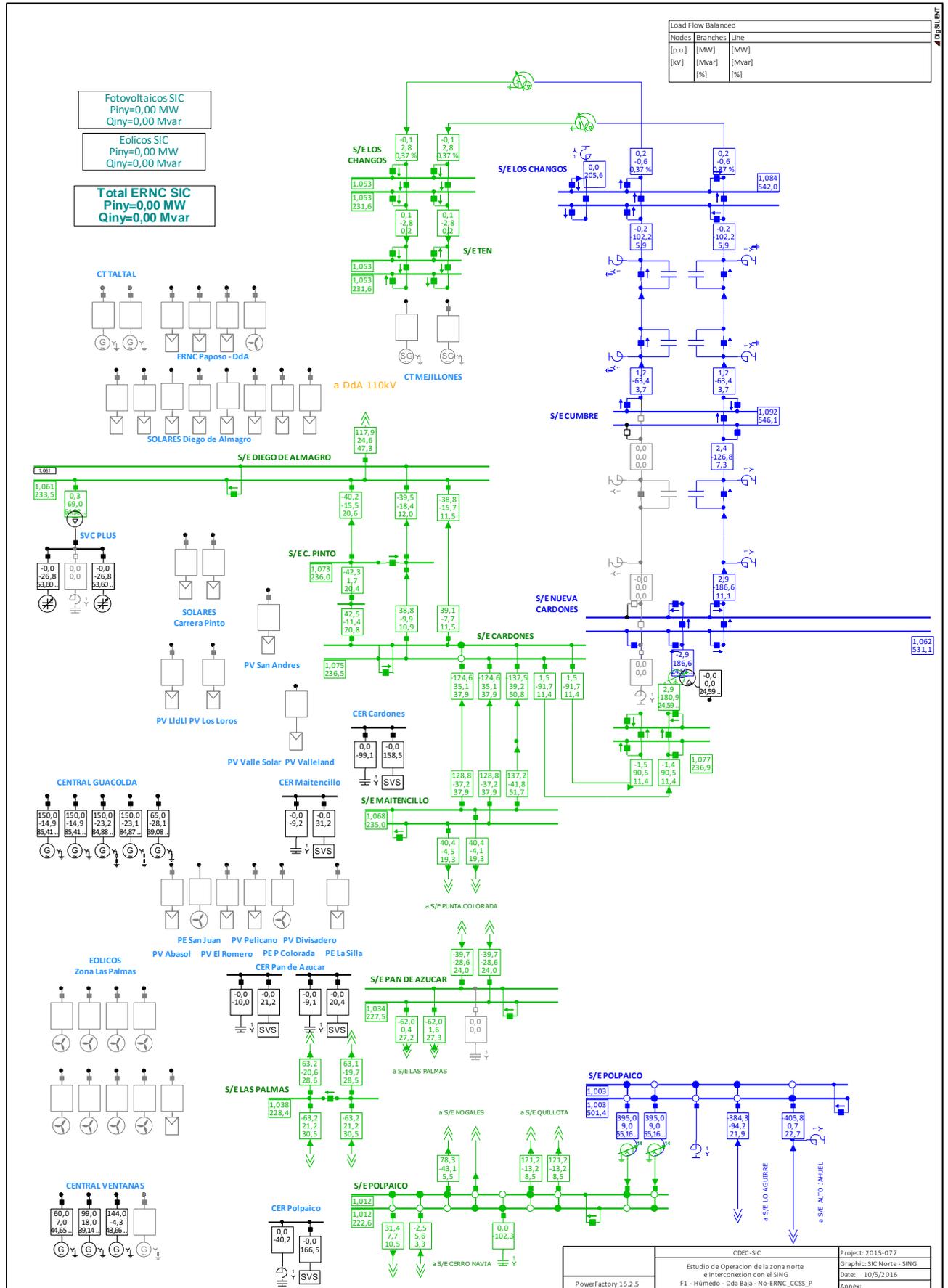


Figura 4-6. Flujo escenario sin CTM3. N-1 Reactor Nueva Cardones + Línea Nueva Card - Cumbre. CCSS fuera de servicio

4.5.3 Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio

Adicionalmente a la definición de tensiones de servicio y operación de capacitores serie, se propone la operación de forma permanente con un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV fuera de servicio. Esta medida resulta ser efectiva para mitigar las sobretensiones que se observarían tras la pérdida de un reactor y tiene la ventaja de no afectar la operación económica del sistema y no tener tiempos de implementación implicados.

En la Tabla 4-20, se muestra para cada barra y contingencia cuáles son los mayores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas y propuestas) para todos los escenarios analizados, donde se ha resaltado las tensiones fuera de los límites de tensión para Estado de Emergencia: en rojo las sobretensiones ($>1,05pu$ para barras de 500kV nominal y $>1,1pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio definidas actualmente).

De la Tabla 4-20 se puede ver que no se presentan incumplimientos normativos ante ninguna de las contingencias analizadas, para todos los escenarios de estudio.

Finalmente, cabe notar que si bien podrían darse bajas tensiones en barras del ACT#2 tras la pérdida de un circuito de línea del sistema de transmisión de 220kV de esta misma ACT, éstas contingencias no son consideradas críticas ya que la desconexión de éstos circuitos sobrecarga transitoriamente el circuito sano debido a que los escenarios de operación han sido realizados contemplando un "criterio n-1 ajustado", considerando el automatismo de desconexión/reducción de generación de la zona norte del SIC. Para más detalle al respecto, se recomienda revisar el Estudio#2 "Evaluación de los automatismos existentes".



NODOS		CONTINGENCIAS																												
		Línea 2x500kV				Línea 2x220kV								Central			Reactor de barra 500kV			Reactor de línea 500kV				CER/SVC plus				CCEE		
Us [kV]		Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	Punta Colorada - Pan de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Polpaico 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1	Diego de Almagro	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Pan de Azúcar220kV	Polpaico 220kV	
		Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																												
Los Changos	510	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,97	0,97	1,00	1,03	0,97	1,05	1,03	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Cumbre	510	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	1,01	1,02	0,97	1,04	1,05	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Nva Cardones	500	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,02	1,01	0,98	1,04	1,04	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Polpaico	504	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Los Changos	220	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,03	1,04	1,00	1,04	1,02	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Diego de Almagro	224	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04	1,03	1,06	1,07	1,04	1,04	1,06	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Carrera Pinto	224	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,05	1,04	1,03	1,07	1,07	1,04	1,04	1,05	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
San Andrés	224	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,03	1,07	1,07	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Cardones	224	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,02	1,04	1,03	1,02	1,06	1,06	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
Maitencillo	226	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,04	1,06	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03
Punta Colorada	228	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,00	1,01	1,01	1,04	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,03	1,04	1,04	1,04	1,05	1,04	1,01
Pan de Azúcar	228	1,03	1,03	1,03	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,03	1,04	0,99	1,00	1,00	1,03	1,04	1,05	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Las Palmas	228	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,03	1,02	1,04	1,03	1,03	0,99	1,00	1,00	1,03	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,03	1,00
Los Vilos	226	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,03	1,03	1,02	1,04	1,02	1,03	1,00	1,00	1,00	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,00
Nogales	226	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	1,01	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,00	0,99	0,99
Quillota	226	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
Polpaico	224	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,99	0,99	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99

Tabla 4-20: Tensiones máximas en red N-1 por barra y contingencia con operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio

4.5.4 Despacho forzado Fase I

Como alternativa a la propuesta anterior y considerando la definición de tensiones de servicio y operación de los CCSS, se evalúa la factibilidad de sobrellevar la pérdida de uno de los reactores de 500kV, mediante el despacho forzado de unidades térmicas del norte del SIC: CT Guacolda, CTM3 y CT Taltal

- i. Despacho forzado CT Guacolda y CTM3: Se despacha la central CTM3 en escenarios de hidrología húmeda ya que en escenarios de hidrología seca se encuentra despachada a máxima potencia por estar dentro de las unidades más económicas del sistema (escenarios PCP). El despacho forzado se realiza del siguiente modo: a mínimo técnico (TG+TV:160MW) en escenarios con ERNC y a máxima potencia en escenarios sin ERNC (TG+TV:250MW). La cantidad de unidades de la CT Guacolda en operación depende del escenario de operación, en general el despacho se realiza del siguiente modo: a mínimo técnico en escenarios de día y a máxima potencia en escenarios de noche.

En la Tabla 4-21 se muestra un resumen de los resultados del flujo de carga en todos los escenarios de operación considerando el despacho forzado de CT Guacolda y CTM3, más las tensiones de servicio propuestas. En esta tabla se reportan sólo los casos donde se encuentra incumplimiento normativo post-contingencia, indicando el escenario de operación donde esta condición ocurre. Se ha resaltado en rojo las sobretensiones con un valor mayor a 1,1pu. Además, los valores que se encuentran dentro de los límites de tensión para Estado de Emergencia se han puesto en color gris para dar mayor énfasis a los casos de incumplimiento normativo.

Como se puede ver de la Tabla 4-21, aún con el despacho forzado de las 5 unidades de la CT Guacolda y CTM3, siguen existiendo escenarios (tanto de hidrología húmeda como hidrología seca) donde, tras la pérdida de uno de los reactores de 500kV, se obtienen tensiones superiores a los límites establecidos por la NTSyCS, principalmente en escenarios sin ERNC. Por lo que se concluye que el despacho forzado de la CT Guacolda y CTM3, si bien puede contribuir a disminuir las sobretensiones que se presentarían en condiciones de red n-1, no garantiza niveles de tensión post-contingencia admisibles para cualquier escenario de operación. En consideración de lo anterior, a continuación, se evalúa el despacho forzado adicional de una unidad de la CT Taltal, para escenarios sin ERNC (escenario de noche).



Barra 500kV nominal	Los Changos 500kV				Cumbre 500kV				Nueva Cardones 500kV			
	Reactor de barra 500kV		Reactor de línea 500kV		Reactor de barra 500kV		Reactor de línea 500kV		Reactor de barra 500kV		Reactor de línea 500kV	
Escenario de Operación/Contingencia	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	1,147	1,081	1,084	1,063	1,135	1,089	1,075	1,070	1,126	1,092	1,069	1,064
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,129	1,073	1,078	1,057	1,117	1,081	1,070	1,065	1,109	1,085	1,064	1,059
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,111	1,057	1,062	1,043	1,099	1,064	1,054	1,052	1,091	1,068	1,048	1,046
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,102	1,069	1,071	1,064	1,091	1,076	1,062	1,070	1,083	1,078	1,055	1,063
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,090	1,050	1,067	1,049	1,079	1,058	1,058	1,056	1,071	1,061	1,053	1,050
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	1,087	1,047	1,063	1,045	1,076	1,055	1,055	1,053	1,068	1,058	1,050	1,047
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,082	1,044	1,047	1,040	1,072	1,051	1,039	1,046	1,064	1,054	1,034	1,040
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	1,078	1,038	1,055	1,037	1,067	1,046	1,047	1,045	1,060	1,050	1,042	1,039
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	1,056	1,034	1,041	1,033	1,046	1,040	1,033	1,039	1,038	1,042	1,027	1,032
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	1,056	1,031	1,039	1,041	1,044	1,043	1,038	1,044	1,039	1,036	1,031	1,030
Barra 220kV nominal	Cardones				Carrera Pinto							
	Reactor de barra		Reactor de línea		Reactor de barra		Reactor de línea					
Escenario de Operación/Contingencia	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1				
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	1,126	1,097	1,078	1,074	1,130	1,098	1,078	1,074				
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,097	1,077	1,060	1,056	1,098	1,077	1,059	1,055				
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,093	1,074	1,058	1,057	1,093	1,072	1,055	1,054				
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,086	1,082	1,064	1,070	1,087	1,082	1,062	1,069				
Barra 220kV nominal	Diego de Almagro		San Andrés			Maitencillo	Los Chagos					
	Reactor de barra		Reactor de barra		Reactor de línea	Reactor de barra						
Escenario de Operación/Contingencia	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Chagos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Chagos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Los Chagos 500kV					
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	1,124	1,091	1,128	1,098	1,078	1,074	1,132					
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,090	1,068	1,098	1,077	1,061	1,056	1,099					
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,084	1,063	1,094	1,074	1,058	1,056	1,096					
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,079	1,074	1,087	1,083	1,064	1,070	1,046					

Tabla 4-21: Tensiones máximas post-contingencia por escenario y contingencia, referidas a las tensiones de servicio propuestas + despacho forzado de CTM3.

- ii. Despacho forzado de CT Guacolda, CTM3 y CT Taltal: Se despacha la central CT Taltal en escenarios de hidrología seca y húmeda. Adicionalmente, en escenarios de hidrología húmeda se considera el despacho forzado de CTM3.

En la Tabla 4-22, se muestra para cada barra y contingencia, los mayores y menores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas y las propuestas) para todos los escenarios analizados. Como se puede ver de Tabla 4-22, se observa que las tensiones post-contingencia están dentro de los límites establecidos para Estado de Emergencia. En la Tabla 4-23 se resume la propuesta de despacho forzado de la CT Guacolda, CTM3, CT Taltal y el capacitor shunt de la S/E Pan de Azúcar, para cada escenario.



Tensiones Finales en red N-1		RED N	CONTINGENCIAS																							
			Línea 2x500kV		Central				Reactor de barra 500kV			Reactor de línea 500kV				Trafos 220/500kV		CER/SVC plus				CCEE				
			Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	CT Taltal	Nueva Cardones 500kV	Los Changos 500kV	Polpaico 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1	Los Changos	Nueva Cardones	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Diego de Almagro	Pan de Azúcar220kV	Polpaico 220kV		
NODOS		Us [kV]	Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																							
Los Changos	510	1,001	0,995	0,970	0,988	1,002	0,990	1,001	1,036	1,049	1,001	1,040	1,034	1,016	1,013	0,998	1,036	1,002	1,001	1,000	1,001	1,004	0,999	1,001	0,998	0,998
Cumbre	510	0,998	0,991	0,969	0,993	1,000	0,990	0,997	1,038	1,040	0,999	1,030	1,036	1,017	1,013	0,997	1,043	0,997	0,999	0,998	0,999	1,001	0,998	0,998	0,998	0,998
Nva Cardones	500	0,997	0,983	0,972	0,994	0,998	0,990	0,994	1,038	1,033	0,997	1,024	1,028	1,012	1,013	0,996	1,045	0,995	0,997	0,996	0,997	0,998	0,996	0,997	0,998	0,996
Polpaico	504	1,016	1,016	1,016	1,022	1,018	1,008	1,012	1,016	1,016	1,024	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,022	1,016	1,020	1,016	1,016	1,015	1,009	1,016	1,009	
Los Changos	220	1,018	1,013	0,993	1,014	1,020	1,018	1,019	1,043	1,066	1,018	1,050	1,043	1,030	1,028	1,018	1,036	1,016	1,018	1,017	1,018	1,021	1,018	1,018	1,018	
Diego de Almagro	224	1,004	1,003	1,001	1,003	1,005	0,995	1,009	1,011	1,010	1,004	1,008	1,010	1,006	1,006	1,004	1,002	1,006	1,004	1,004	1,004	1,025	1,004	1,004	1,004	
Carrera Pinto	224	1,011	1,008	1,004	1,009	1,013	1,009	1,014	1,025	1,024	1,011	1,019	1,022	1,015	1,015	1,011	1,007	1,014	1,011	1,011	1,011	1,028	1,011	1,011	1,011	
San Andrés	224	1,013	1,009	1,005	1,013	1,017	1,013	1,017	1,032	1,029	1,013	1,024	1,026	1,019	1,020	1,013	1,011	1,014	1,013	1,012	1,012	1,025	1,013	1,013	1,013	
Cardones	224	1,015	1,010	1,005	1,014	1,019	1,015	1,018	1,035	1,031	1,015	1,027	1,029	1,021	1,022	1,015	1,012	1,013	1,015	1,014	1,014	1,022	1,015	1,015	1,015	
Maitencillo	226	1,012	1,010	1,008	1,021	1,013	1,000	1,008	1,018	1,018	1,012	1,017	1,017	1,014	1,014	1,012	1,020	1,008	1,012	1,013	1,011	1,014	1,004	1,011	1,011	
Punta Colorada	228	1,003	1,001	1,000	1,039	1,013	0,985	0,998	1,007	1,006	1,003	1,006	1,006	1,004	1,004	1,003	1,037	0,999	1,001	1,002	1,002	1,004	0,979	1,002	1,002	
Pan de Azúcar	228	0,997	0,996	0,996	1,057	1,015	0,985	0,999	0,999	0,999	0,998	0,999	0,999	0,998	0,997	1,055	0,995	0,996	0,996	0,997	0,999	0,998	0,976	0,996	0,996	
Las Palmas	228	1,001	1,001	1,000	1,051	1,012	0,993	1,008	1,003	1,002	1,001	1,002	1,002	1,002	1,001	1,001	1,049	1,001	0,998	1,000	0,999	1,001	0,976	0,998	0,998	
Los Vilos	226	1,006	1,006	1,005	1,037	1,013	0,999	1,011	1,007	1,007	1,006	1,007	1,007	1,006	1,006	1,006	1,035	1,006	1,002	1,006	1,005	1,006	0,990	1,002	1,002	
Nogales	226	0,996	0,996	0,996	1,008	0,998	0,991	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	0,997	0,996	0,996	0,996	1,007	0,996	0,994	0,996	0,996	0,996	0,992	0,993	0,993	
Quillota	226	0,991	0,991	0,991	1,004	0,994	0,991	0,992	0,991	0,991	0,994	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	1,003	0,991	0,994	0,991	0,991	0,991	0,990	0,991	0,991	
Polpaico	224	1,002	1,002	1,002	1,014	1,006	0,992	1,000	1,002	1,002	1,008	1,002	1,002	1,002	1,002	1,002	1,013	1,002	1,009	1,002	1,002	1,002	0,993	0,993	0,993	
NODOS		Us [kV]	Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																							
Los Changos	510	1,001	0,976	0,951	0,974	0,984	0,985	0,987	1,015	1,039	0,984	1,026	1,016	0,999	0,996	0,984	0,991	0,969	0,984	0,984	0,983	0,987	0,985	0,984	0,984	
Cumbre	510	1,001	0,976	0,951	0,974	0,984	0,985	0,987	1,015	1,039	0,984	1,026	1,016	0,999	0,996	0,984	0,991	0,969	0,984	0,984	0,983	0,987	0,985	0,984	0,984	
Nva Cardones	500	0,997	0,970	0,955	0,980	0,986	0,987	0,988	1,025	1,022	0,985	1,013	1,018	1,001	1,001	0,985	0,999	0,966	0,985	0,986	0,985	0,988	0,986	0,985	0,985	
Polpaico	504	1,016	0,990	0,990	0,988	0,989	0,988	1,000	0,990	0,990	0,997	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,988	0,990	0,980	0,990	0,990	0,990	0,984	0,984	0,984	
Los Changos	220	1,018	0,979	0,954	0,965	0,985	1,000	0,985	1,011	1,024	0,984	1,016	1,011	0,996	0,994	0,984	1,004	0,986	0,984	0,983	0,984	0,985	0,984	0,984	0,984	
Diego de Almagro	224	1,004	0,940	0,937	0,944	0,944	0,943	0,953	0,948	0,948	0,943	0,947	0,947	0,945	0,945	0,943	0,943	0,935	0,943	0,943	0,943	0,971	0,942	0,943	0,943	
Carrera Pinto	224	1,011	0,956	0,950	0,964	0,963	0,963	0,970	0,972	0,973	0,963	0,970	0,970	0,966	0,966	0,963	0,962	0,945	0,963	0,962	0,963	0,981	0,961	0,963	0,963	
San Andrés	224	1,013	0,968	0,960	0,979	0,978	0,977	0,982	0,990	0,990	0,977	0,987	0,987	0,982	0,982	0,977	0,977	0,954	0,977	0,976	0,977	0,988	0,975	0,977	0,977	
Cardones	224	1,015	0,979	0,969	0,991	0,991	0,989	0,993	1,004	1,005	0,989	1,001	1,001	0,995	0,995	0,989	0,989	0,962	0,989	0,988	0,989	0,994	0,986	0,989	0,989	
Maitencillo	226	1,012	0,984	0,980	1,002	0,996	0,989	0,997	0,996	0,997	0,989	0,995	0,995	0,992	0,992	0,989	1,001	0,976	0,989	0,985	0,986	0,991	0,989	0,989	0,989	
Punta Colorada	228	1,003	0,951	0,947	0,994	0,980	0,954	0,978	0,963	0,963	0,955	0,960	0,962	0,958	0,958	0,954	0,993	0,943	0,954	0,950	0,944	0,958	0,954	0,954	0,954	
Pan de Azúcar	228	0,997	0,935	0,931	0,986	0,972	0,941	0,970	0,948	0,949	0,941	0,947	0,947	0,943	0,943	0,940	0,985	0,927	0,941	0,937	0,924	0,942	0,937	0,938	0,938	
Las Palmas	228	1,001	0,938	0,937	0,997	0,977	0,940	0,966	0,945	0,945	0,941	0,943	0,944	0,942	0,942	0,939	0,996	0,937	0,940	0,937	0,929	0,941	0,939	0,939	0,939	
Los Vilos	226	1,006	0,956	0,954	0,998	0,981	0,959	0,976	0,961	0,961	0,959	0,960	0,961	0,959	0,959	0,958	0,998	0,953	0,958	0,956	0,951	0,959	0,949	0,955	0,955	
Nogales	226	0,996	0,975	0,975	0,987	0,980	0,976	0,978	0,975	0,975	0,977	0,975	0,975	0,975	0,975	0,975	0,987	0,975	0,966	0,975	0,975	0,973	0,971	0,971	0,971	
Quillota	226	0,991	0,967	0,967	0,973	0,970	0,978	0,978	0,967	0,967	0,970	0,967	0,967	0,967	0,967	0,967	0,973	0,967	0,953	0,967	0,967	0,964	0,959	0,959	0,959	
Polpaico	224	1,002	0,985	0,985	0,988	0,987	0,987	0,988	0,986	0,986	0,989	0,986	0,986	0,986	0,986	0,985	0,988	0,985	0,970	0,985	0,985	0,986	0,983	0,976	0,976	

Tabla 4-22: Resumen máximas y mínimas tensiones con despacho forzado de CT Guacolda, CTM3 y CT Taltal.

Escenarios	Despacho Forzado			Operación capacitor Pan de Azúcar 220kV
	CT Guacolda	CTM3	CT Taltal	
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	3 unidades (3x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	5 unidades (5x150MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	en servicio
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	4 unidades (4x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	fuera de servicio
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	5 unidades (4x150MW+1x100MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (50MW)	fuera de servicio
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	4 unidades (4x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	5 unidades (5x150MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	1 unidad (50MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	5 unidades (3x150MW+2x125MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (50MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	1 unidad (50MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	5 unidades (3x120MW+2x140MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	fuera de servicio

Tabla 4-23: Propuesta de despacho forzado para Fase I.

En la tabla anterior se muestran las mínimas unidades térmicas de la zona norte del SIC que deberían estar en servicio para que, tras una contingencia simple, las tensiones en las barras del sistema sean aceptables. En este sentido, los despachos mismos de las unidades son más bien referenciales ya que lo relevante es la cantidad de estas unidades en servicio, siendo el despacho (mínimo técnico o máxima potencia) una variable que no cambia significativamente los resultados. Por ejemplo, en el escenario "F1 - Húmedo - Demanda Alta - No-ERNC" el ciclo-combinado CTM3 se podría despachar a mínimo técnico, aumentando de esta forma su capacidad de absorción/entrega de potencia reactiva. En el Anexo "Escenarios de operación con despacho forzado" se pueden ver los despachos de las unidades, las tensiones en barras y los flujos de potencias por las líneas de transmisión de la zona norte del SIC.

De los análisis realizados se destaca que la CT Taltal es muy efectiva en el control de tensión de la zona de Diego de Almagro (SIC norte), la cual concentra centros de carga mineros sensibles a las variaciones de tensión (especialmente a las sobretensiones). Adicionalmente, se destaca la importancia de la correcta operación del capacitor shunt de la S/E Pan de Azúcar (75MVar), ya que, por estar conectado a una barra con alta sensibilidad dv/dQ , su estado (en servicio/fuera de servicio) tiene un alto impacto en las tensiones post-contingencia, tanto ante pérdidas de líneas de 220kV como ante la pérdida de reactores shunt de 500kV.

Sin embargo, para reducir las tensiones es necesario que las máquinas operen subexcitadas (absorbiendo potencia reactiva) lo cual podría reducir margen de estabilidad angular del sistema.

Se destaca que esta propuesta para la operación del sistema en Fase I no tiene tiempos de implementación implicados, por lo que se podría llegar a la fecha de la entrada en servicio de CTM3 y la línea 2x500kV Los Changos-Cumbre-Nueva Cardones, sin realizar modificaciones adicionales al sistema.

No obstante, dado que el despacho forzado de unidades térmicas al norte del SIC implica un mayor costo económico para la operación del sistema y que esta medida se tendría que realizar para afrontar la pérdida de uno de los reactores de 500kV del nuevo proyecto de transmisión (línea 2x500kV Los Changos-Cumbre-Nueva Cardones), en la sección siguiente se realiza la propuesta conceptual de un automatismo para el control de tensión tras la pérdida de uno de estos reactores.

4.5.5 Desconexión conjunta reactor 500kV – circuito de línea 500kV

Tal como fue mostrado en el apartado previo, para tolerar la pérdida de uno de los reactores de 500kV se hace necesario establecer condiciones operativas que resultan en despachos forzados y con alta absorción de potencia reactiva por parte de los RCT de la zona.

Para evitar las posibles sobretensiones derivadas de la salida de servicio de uno de los reactores de 500kV, se propone una medida que evite operar continuamente con despachos forzados de las unidades térmicas del norte del SIC (CT Guacolda, CTM3 y CT Taltal). Ante la desconexión de los reactores se propone se adopten las siguientes medidas:

- Que ante la pérdida del reactor de barra de Los Changos 500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre.
- Que ante la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV.
- Que ante la pérdida de un reactor de línea de la línea Los Changos - Cumbre 2x500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores del circuito de la línea Los Changos – Cumbre correspondiente.

La apertura automática de los circuitos de línea propuesta anteriormente, se implementaría a través de un ajuste que de orden de desenganche directo del circuito correspondiente tras la pérdida de reactor.

Luego, en la Tabla 4-24 se muestra un resumen con las máximas tensiones post-contingencia, considerando la apertura de los circuitos anteriormente indicados tras la pérdida de un reactor.

Como se puede ver, en todos los casos, los mayores niveles de tensión se observan tras la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV; además, puede verse que si se consideran las tensiones de servicio propuestas (510kV) para las barras Los Changos 500kV y Cumbre 500kV, en todos los escenarios las máximas tensiones son menores a 1,05pu para barras de 500kV y menores a 1,07 para barras de 220kV, por lo cual, se recomienda la tomar la definición de tensiones de servicio para las barras Los Changos 500kV, Cumbre 500kV y Nueva Cardones 500kV, independiente de si se opta por la propuesta de despacho forzado o desconexión reactor-circuito de línea.

Barra 500kV nominal	Tension de Servicio=500kV		Tension de Servicio=510kV	
	Cumbre	Los Changos	Cumbre	Los Changos
Escenario de Operación/Contingencia	Reactor de barra Nueva Cardones		Reactor de barra Nueva Cardones	
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERN	1,069	1,064	1,048	1,043
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERN	1,065	1,060	1,044	1,039
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERN	1,065	1,060	1,044	1,039
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERN	1,064	1,059	1,043	1,038
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERN	1,063	1,058	1,042	1,037
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERN	1,053	1,045	1,033	1,025
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERN	1,052	1,045	1,031	1,024
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERN	1,050	1,043	1,029	1,023
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERN	1,048	1,040	1,027	1,020
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERN	1,047	1,040	1,027	1,020
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERN	1,046	1,038	1,025	1,018

Barra 220kV nominal	Tension de Servicio=224kV			T. de serv=220
	Cardones	Carrera Pinto	San Andrés	Los Changos
Escenario de Operación/Contingencia	Reactor de barra Nueva Cardones			
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERN	1,031	1,023	1,027	1,059
F1 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERN	1,028	1,021	1,024	1,056
F1 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERN	1,028	1,020	1,023	1,055
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERN	1,050	1,051	1,051	1,046
F1 - Seco - Dda Baja - No-ERN	1,047	1,048	1,048	1,045
F1 - Seco - Dda Alta - No-ERN	1,042	1,045	1,043	1,033
F1 - Húmedo - Dda Baja - No-ERN	1,040	1,038	1,040	1,028
F1 - Húmedo - Dda Alta - No-ERN	1,039	1,036	1,038	1,027
F1 - Seco - Dda Alta - Full-ERN	1,031	1,030	1,031	1,027
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERN	1,022	1,020	1,020	1,028
F1 - Seco - Dda Baja - Full-ERN	1,021	1,019	1,019	1,028

Tabla 4-24: Resultado de propuesta II. Tensiones máximas post-contingencia por escenario y contingencia, referidas a las tensiones de servicio.

En la Figura 4-7 se muestra la distribución de la sensibilidad dv/dQ por escenario en las barras Los Changos 500kV, Cumbre 500kV y Diego de Almagro 220kV, tras la pérdida del reactor de Nueva Cardones en conjunto con un circuito de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV. Como se puede ver de la Figura 4-7, la mayor sensibilidad se da en el escenario "Húmedo - demanda alta - No ERNC". En la Figura 4-8 se muestra el estado del sistema tras a pérdida del reactor de Nueva Cardones en conjunto con un circuito de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV

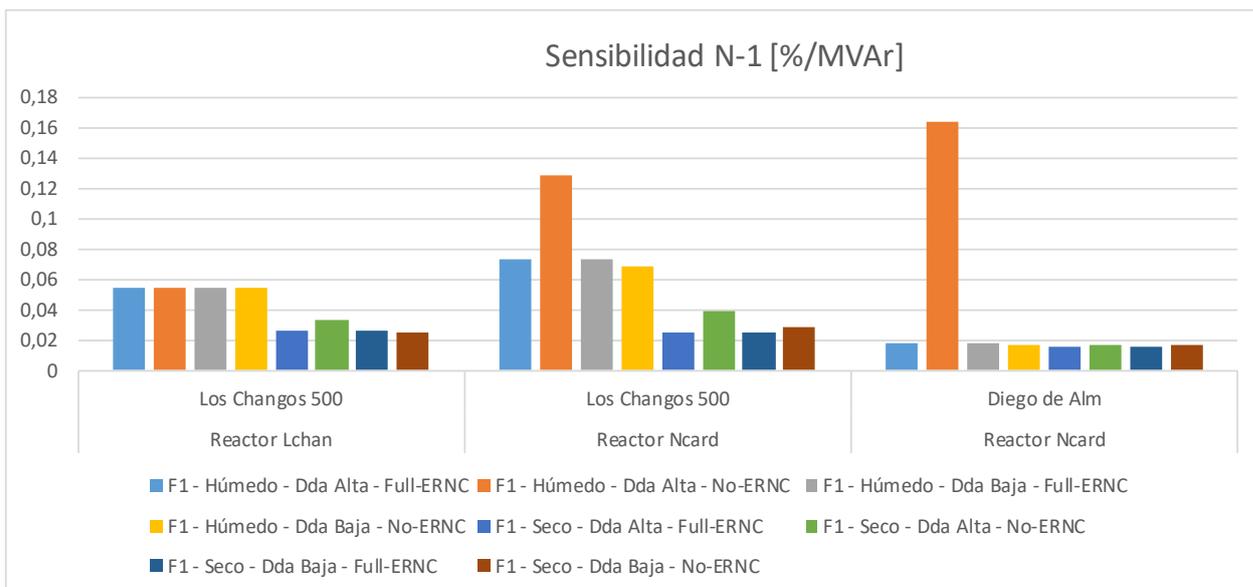


Figura 4-7. Sensibilidad N-1. Casos de interés

En la tabla a continuación, se muestran los recursos absorbidos del sistema ante la pérdida del reactor de barra de la S/E Nueva Cardones en el escenario “Húmedo – demanda alta – No ERNC”, para el caso base y para la propuesta de desconexión del circuito de línea.

Caso base			
Nombre RCT	Qiny_N [MVAr]	Qiny_N-1 [MVAr]	RPR [MVAr]
Central Guacolda	8	-108	-116
CER Pan de Azúcar	12	-15	-28
Complejo Ventanas	90	88	-2
SVC Plus	-32	-67	-35
CER Cardones	-13	-69	-56
CER Maitencillo	-15	-27	-12
CER Polpaico	101	99	-2
Total	151	-99	-249
Propuesta desconexión reactor - circuito de línea			
Nombre RCT	Qiny_N [MVAr]	Qiny_N-1 [MVAr]	RPR [MVAr]
Central Guacolda	8	-26	-34
CER Pan de Azúcar	12	5	-8
Complejo Ventanas	90	89	-1
SVC Plus	-32	-70	-38
CER Cardones	-13	-62	-49
CER Maitencillo	-15	-26	-10
CER Polpaico	101	100	-1
Total	151	11	-140

Tabla 4-25. Reservas utilizadas ante ambas contingencias

De la tabla anterior se puede ver que considerando la propuesta de desconexión reactor-circuito de línea, existe un ahorro de 109MVAr de reserva; no obstante, es necesario contar con reservas para control de tensión de 140MVAr en todo el norte del sistema, principalmente 86MVAr entre el SVC Plus y el CER de Cardones.

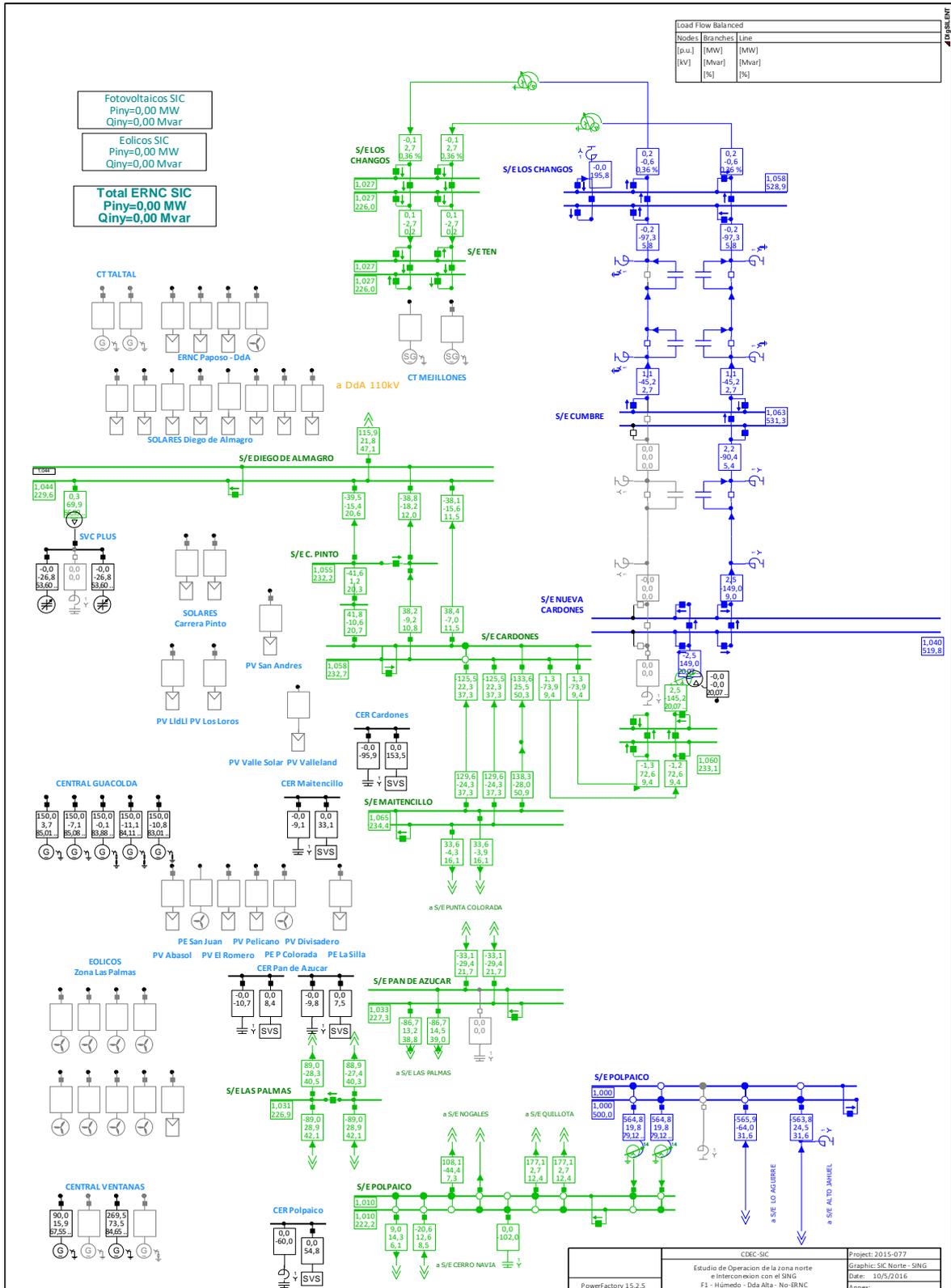


Figura 4-8. Estado final tras pérdida de reactor Nueva Cardones + Línea Nueva Card-Cum, escenario Húmedo – Dda Alta – No ERNC.

En la figura a continuación se muestra el resultado de la simulación RMS de pérdida del reactor de barra de Los Changos 500kV, seguido de la desconexión de uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV (se considera un retardo de 200mseg luego de la desconexión del reactor para producir la desconexión del circuito de línea).

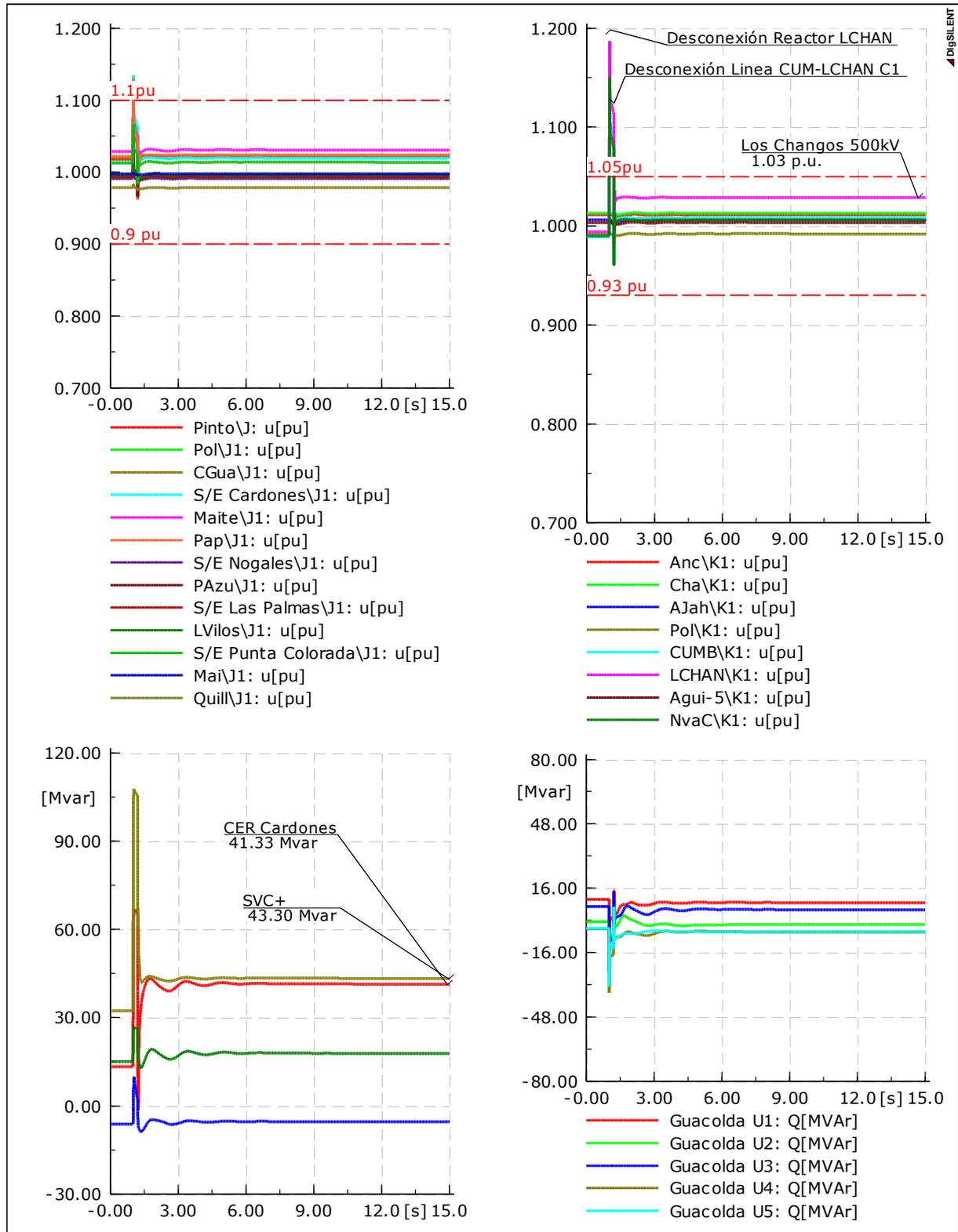


Figura 4-9. Desconexión de Reactor Los Changos + Línea Los Changos-Cumbre 500kV.

Del mismo modo presentado anteriormente, en la figura a continuación se muestra el resultado de la simulación RMS de pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV, seguido de la desconexión de uno de los circuitos de la línea Cumbre – Nueva Cardones 2x500kV (se considera un retardo de 200mseg luego de la desconexión del reactor para producir la desconexión del circuito de línea).

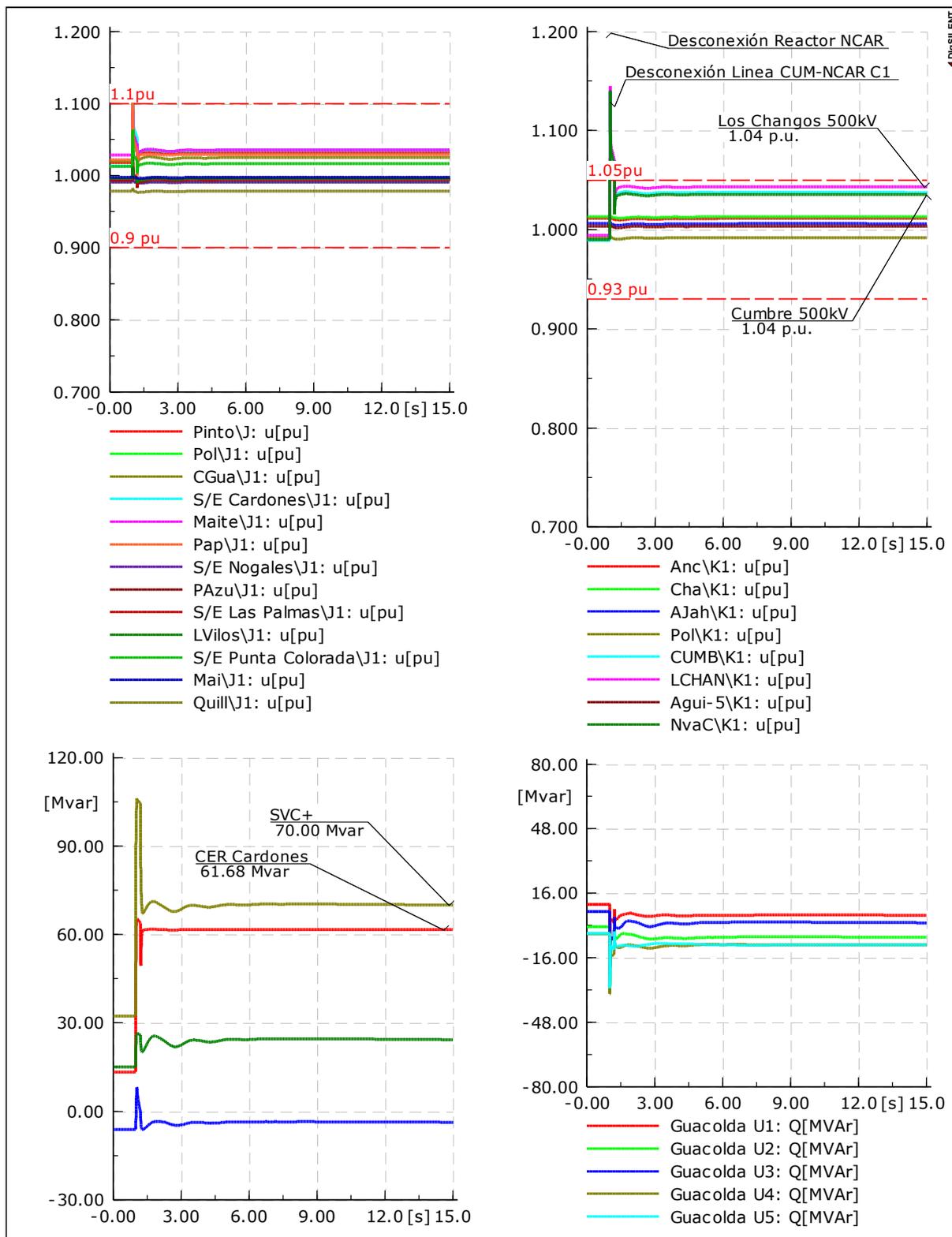


Figura 4-10. Desconexión de Reactor Nueva Cardones + Línea Nueva Cardones -Cumbre 500kV

De las figuras anteriores puede observarse que la desconexión propuesta de los circuitos de línea más la definición de tensiones de servicio resultan en niveles de tensión post-contingencia dentro de lo establecido por la NTSyCS.

4.6 Principales resultados y conclusiones de Fase I

A continuación, se resumen las principales conclusiones obtenidas de los análisis realizados para Fase I.

4.6.1 Operación en red N

A partir de los análisis realizados en red n para Fase I se extraen las siguientes conclusiones:

Análisis sensibilidad dv/dQ

En base al análisis realizado pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Se puede observar la dependencia del despacho de CTM3 sobre la sensibilidad de las barras del corredor de 500kV Los Changos – Cumbre – Nueva Cardones. En los casos en que la misma se encuentra despachada, los niveles de sensibilidad bajan considerablemente, quedando sólo como barras más sensibles las correspondientes a las de las SS/EE Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV.
- Al observar la sensibilidad de estas últimas barras se encuentra que las mismas son altas en todos los escenarios, debido a la ausencia de control directo sobre estas subestaciones.

A su vez, se debe tener en cuenta que los escenarios presentan máximas transferencias Norte→Sur (Full ERNC) y máximas Sur→Norte (No ERNC), lo cual significa que los escenarios estudiados corresponden a condiciones exigentes para la zona norte del SIC desde el punto de vista del control de tensión.

Análisis sensibilidad dQ/dQ

En función de los análisis realizados pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Las barras de la zona norte del SIC identificadas como débiles se caracterizan por controles de tensión poco efectivos dado por ausencia de recursos en el escenario operativo (caso CTM3 para Los Changos y Cumbre) o lejanía eléctrica del punto de control (caso Las Palmas y Los Vilos)
- Para las restantes barras analizadas se observa una mejor efectividad de los recursos de control fundamentada en la gran cantidad de puntos de la red en los cuales se encuentran RCT directamente vinculados a ellas (D. de Almagro, Cardones, Maitencillo, Pan de Azúcar).
- A partir del análisis de efectividad de los recursos para el control de tensión, se encuentra que es posible definir dos áreas de control de tensión. En la tabla a



continuación, se resumen las ACT propuestas junto con los RTC más influyentes en cada barra del sistema.

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	LOS CHANGOS 220kV	CER Cardones/CTM3/SVC plus
	LOS CHANGOS 500kV	
	CUMBRE 500kV	
	NUEVA CARDONES 500kV	
	CARDONES 220kV	CER Cardones/SVC plus
	SAN ANDRÉS 220kV	
	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	
	CARRERA PINTO 220kV	
	MAITENCILLO 220kV	CER Cardones/CT Guacolda/CER Maitencillo
barra frontera	PUNTA COLORADA 220kV	CT Guacolda/CER Pan de Azúcar
ACT#2	PAN DE AZÚCAR 220kV	CER Pan de Azúcar
	LAS PALMAS 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas/CER Polpaico
	LOS VILOS 220kV	CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	NOGALES 220kV	Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico
	QUILLOTA 220kV	
	POLPAICO 220kV	
	POLPAICO 500kV	CER Polpaico

Tabla 4-26: ACT y principales recursos de control de tensión por barra, Fase I.

4.6.2 Operación en red n-1

A partir de los análisis realizados en red n-1 para Fase I se extraen las siguientes conclusiones:

Contingencias más críticas

En consideración de los cuatro análisis realizados anteriormente para red n-1 (tensiones post-contingencias, variación de tensión, variación de potencia reactiva y variación de sensibilidad dv/dQ), se encuentra que las contingencias más críticas son aquellas que aparecen en al menos tres de los cuatro análisis realizados anteriormente, éstas son las siguientes:

1. Reactor de barra Los Changos
2. Reactor de barra Cardones
3. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Los Changos
4. Reactor de línea Los Changos – Cumbre, extremo Cumbre

Análisis de tensiones post-contingencia

En consideración de la definición del ACT propuestas para Fase I, se puede decir que el ACT#1 presenta problemas de sobretensión post-contingencia tras la pérdida de uno de los reactores de barra o de línea mencionados anteriormente, mientras que el ACT#2 presenta problemas de subtensión post-contingencia tras la pérdida de uno de los circuitos de línea mencionados anteriormente.

En general, se puede ver que los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los nuevos parques ERNC podrían no participar del control de tensión (aunque está estipulado en la NTSyCS enero 2016), el Centro de Despacho y Control del CDEC (CDC) puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva (inductiva en este caso) para disminuir las tensiones de la zona, tal como lo hace en la actualidad con los parques existentes. En consideración de lo anterior, se encuentra que los parques ERNC tienen un gran potencial para el control de tensión (sea en modo PV o PQ) sobre todo en la zona norte del SIC donde se proyecta un importante aumento en la capacidad instalada de parques fotovoltaicos.

Análisis de alternativas para la operación

Aún con el despacho forzado de las 5 unidades de la CT Guacolda y CTM3, siguen existiendo escenarios (tanto de hidrología húmeda como hidrología seca) donde, tras la pérdida de uno de los reactores de 500kV, se obtienen tensiones superiores a los límites establecidos por la NTSyCS, principalmente en escenarios sin ERNC. Por lo que se concluye que el despacho forzado de la CT Guacolda y CTM3, si bien puede contribuir a disminuir las sobretensiones que se presentarían en condiciones de red n-1, no garantiza niveles de tensión post-contingencia admisibles para cualquier escenario de operación.

4.7 Recomendaciones y propuestas para Fase I

A continuación, se indican las propuestas y recomendaciones para la operación:

4.7.1 Operación en red n

Tensiones de servicio

La propuesta para la definición de tensiones de servicio es la siguiente:

- ✓ **Los Changos 500kV: 510kV**
- ✓ **Cumbre 500kV: 510kV**
- ✓ **Nueva Cardones 500kV: 500kV**

Operación con los CCSS

La operación con los CCSS operativos resulta en un mejor perfil de tensiones en las barras de 500kV. Al analizar la pérdida del reactor de Nueva Cardones y la consecuente salida de servicio

(propuesta) de la línea Nueva Cardones – Cumbre (Sin CTM3 en servicio) se encuentran tensiones inadmisibles con los CCSS de estos enlaces fuera de servicio, por lo que se recomienda que los mismos se encuentren siempre operativos.

Operación sin CTM3

En los casos en donde CTM3 no se encuentre despachada se recomienda operar con tensiones entre 0.98 y 0.99 pu en barras de Nueva Cardones para evitar sobretensiones ante la pérdida de un reactor de 500kV.

4.7.2 Operación en red n-1

Operación con un circuito Los Changos – Cumbre fuera de servicio

Como primera opción se propone la operación de forma permanente con un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV fuera de servicio. Esta medida resulta ser efectiva para mitigar las sobretensiones que se observarían tras la pérdida de un reactor y tiene la ventaja de no afectar la operación económica del sistema y no tener tiempos de implementación implicados.

Despacho forzado de unidades térmicas en el SIC norte

Como alternativa a la propuesta anterior y considerando la definición de tensiones de servicio y operación de los CCSS, se evalúa la factibilidad de sobrellevar la pérdida de uno de los reactores de 500kV, mediante el despacho forzado de unidades térmicas del norte del SIC: CT Guacolda, CTM3 y CT Taltal. En la Tabla 4-27 se resume la propuesta de despacho forzado de la CT Guacolda, CTM3, CT Taltal y el capacitor shunt de la S/E Pan de Azúcar, para cada escenario.

Escenarios	Despacho Forzado			Operación capacitor Pan de Azúcar 220kV
	CT Guacolda	CTM3	CT Taltal	
F1 - Húmedo - Dda Alta – Full-ERNC	3 unidades (3x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Húmedo - Dda Alta – No-ERNC	5 unidades (5x150MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	en servicio
F1 - Húmedo - Dda Baja – Full-ERNC	4 unidades (4x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	fuera de servicio
F1 - Húmedo - Dda Baja – No-ERNC	5 unidades (4x150MW+1x100MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (50MW)	fuera de servicio
F1 - Húmedo - Dda Min Norte - Full-ERNC	4 unidades (4x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Seco - Dda Alta – Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	-	en servicio
F1 - Seco - Dda Alta – No-ERNC	5 unidades (5x150MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Baja – Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	1 unidad (50MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Baja – No-ERNC	5 unidades (3x150MW+2x125MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (50MW)	en servicio

Escenarios	Despacho Forzado			Operación capacitor Pan de Azúcar 220kV
	CT Guacolda	CTM3	CT Taltal	
F1 - Seco - Dda Min Norte - Full-ERNC	5 unidades (5x65MW)	TG+TV (100MW+60MW)	1 unidad (50MW)	en servicio
F1 - Seco - Dda Min Norte - No-ERNC	5 unidades (3x120MW+2x140MW)	TG+TV (156MW+94MW)	1 unidad (70MW)	fuera de servicio

Tabla 4-27: Propuesta de despacho forzado para Fase I.

- ✓ De los análisis realizados se destaca que la CT Taltal es muy efectiva en el control de tensión de la zona de Diego de Almagro (SIC norte), la cual concentra centros de carga mineros sensibles a las variaciones de tensión (especialmente a las sobretensiones). Adicionalmente, se destaca la importancia de la correcta operación del capacitor shunt de la S/E Pan de Azúcar (75MVar), ya que, por estar conectado a una barra con alta sensibilidad dv/dQ , su estado (en servicio/fuera de servicio) tiene un alto impacto en las tensiones post-contingencia, tanto ante pérdidas de líneas de 220kV como ante la pérdida de reactores shunt de 500kV.
- ✓ Se destaca que esta propuesta para la operación del sistema en Fase I no tiene tiempos de implementación implicados, por lo que se podría llegar a la fecha de la entrada en servicio de CTM3 y la línea 2x500kV Los Changos-Cumbre-Nueva Cardones, sin realizar modificaciones adicionales al sistema.

Desconexión conjunta reactor-circuito de línea 500kV

Con el fin de evitar el despacho forzado de unidades térmicas en el SIC norte para tolerar la desconexión de reactores de 500kV, se propone la alternativa de desconexión conjunta de un circuito de línea de 500kV tras la pérdida de un reactor. A continuación, se describen los tres casos de desconexión de reactor con la consiguiente apertura automática del circuito adyacente.

- Que ante la pérdida del reactor de barra de Los Changos 500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Los Changos - Cumbre.
- Que ante la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV.
- Que ante la pérdida de un reactor de línea de la línea Los Changos - Cumbre 2x500kV, se produzca la apertura simultánea de los interruptores del circuito de la línea Los Changos - Cumbre correspondiente.

La apertura automática de los circuitos de línea propuesta anteriormente, se implementaría a través de un ajuste que dé orden de desenganche directo del circuito

correspondiente tras la pérdida de reactor. Estas acciones permiten un desempeño satisfactorio del sistema, reduciendo significativamente las tensiones post-contingencia.

5 DESARROLLO FASE II

5.1 Escenarios de análisis

A continuación, se muestran las principales características de los escenarios analizados, donde las barras indican el porcentaje respecto del valor total o máximo según tecnología de generación, demanda y generación por zona:

Resumen Escenario:	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
Id Escenario:	1	2	3	4
Generacion Total [MW]	7971	7929	5780	5739
+ HIDRAULICO [%]	56	67	45	69
+ TERMICO [%]	9	33	10	31
+ EOLICO [%]	13	0	17	0
+ SOLAR [%]	21	0	28	0
Reserva CF SIC [MW]	224	257	231	212
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1179	1193	1091	1105
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	6365	6365	4372	4372
Demanda Neta TOTAL [MW]	7544	7558	5463	5477
EDAC SIC [MW]	1456	1456	1028	1028
TRANSF CHARR -> ANC 2x500kV [MW]	771	1620	58	1409
GEN CHARRUA [MW]	1498	2486	734	2107
GEN ANCOA [MW]	1028	1143	475	925
GEN SAN LUIS [MW]	0	340	0	0
GEN VENTANAS [MW]	270	550	144	303
GEN GUACOLDA [MW]	195	750	195	665
GEN EOLICA SIC [MW]	1062	0	990	0
GEN SOLAR SIC [MW]	1685	0	1606	0

Tabla 5-1. Resumen escenarios Hidrología Húmeda.

Resumen Escenario:	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Id Escenario:	1	2	3	4
Generacion Total [MW]	7959	7899	5813	5645
+ HIDRAULICO [%]	30	40	22	25
+ TERMICO [%]	38	60	31	75
+ EOLICO [%]	12	0	18	0
+ SOLAR [%]	20	0	29	0
Reserva CF SIC [MW]	257	219	234	230
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1179	1193	1105	1105
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	6371	6371	4372	4372
Demanda Neta TOTAL [MW]	7550	7564	5477	5477
EDAC SIC [MW]	1456	1456	1028	1028
TRANSF CHARR -> ANC 2x500kV [MW]	1003	1254	355	670
GEN CHARRUA [MW]	1885	2269	887	1324
GEN ANCOA [MW]	370	739	31	31
GEN SAN LUIS [MW]	340	1465	196	958
GEN VENTANAS [MW]	747	817	290	820
GEN GUACOLDA [MW]	195	750	195	750
GEN EOLICA SIC [MW]	956	0	1061	0
GEN SOLAR SIC [MW]	1571	0	1684	0

Tabla 5-2. Resumen escenarios Hidrología Seca

El detalle de los flujos de potencia en estos escenarios se presenta en el documento "EE-ES-2016-1402-RC_Estudio 3-Anexo I Escenarios Control de Tensión".

5.2 Impacto de las nuevas obras

La Fase II contempla la puesta en servicio del nuevo sistema de transmisión de doble circuito en 500kV entre las subestaciones Nueva Cardones y Polpaico con sus correspondientes vinculaciones al sistema de 220kV existente a través de las subestaciones Nueva Maitencillo y Nueva Pan de Azúcar.

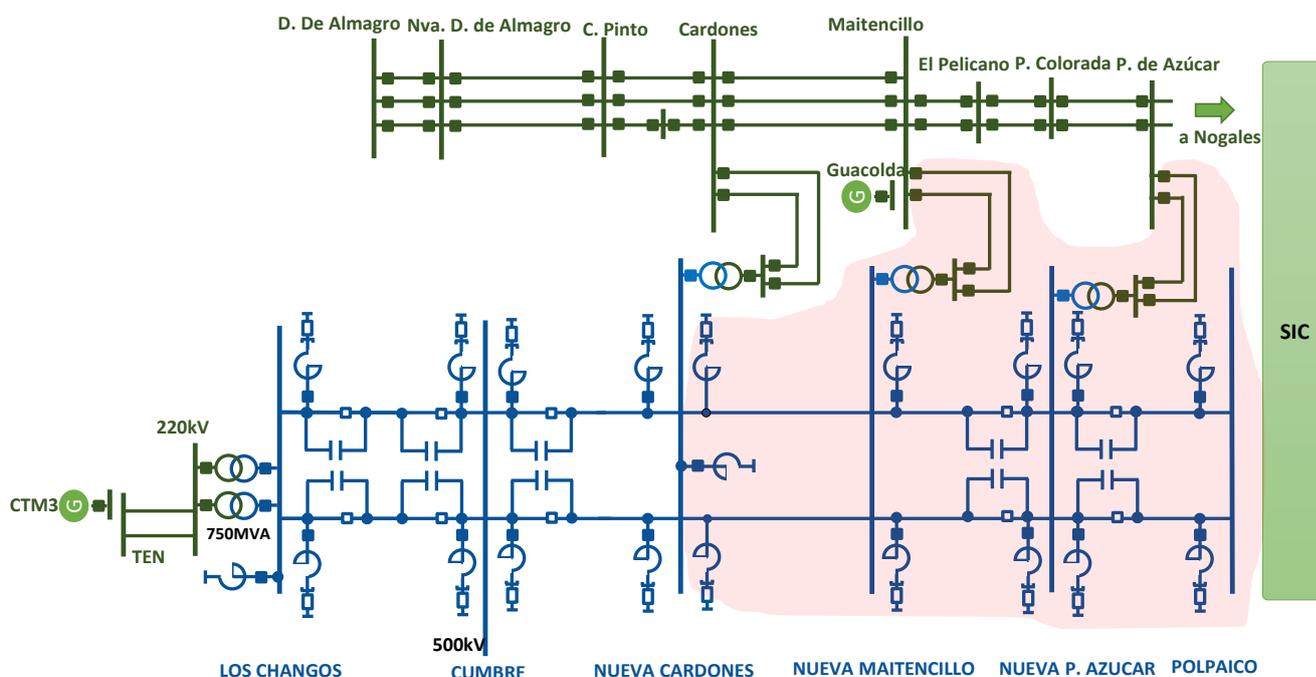


Figura 5-1: Topología de Fase II.

Respecto al control de tensión es importante tener en consideración los siguientes puntos:

- **El nuevo corredor 2x500kV Nueva Cardones - Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar - Polpaico no fue diseñado para estar "auto-compensado"**, es decir, tiene un comportamiento capacitivo por lo que se prevé que inyectará potencia reactiva al sistema, empeorando las condiciones de sobretensión post-contingencia observadas en la Fase I del estudio. Esto implica que, al operar con todos sus equipos en servicio, los recursos de control de tensión de la zona estarán aún más exigidos, absorbiendo dicha potencia reactiva para mantener los niveles de tensión dentro de los rangos de operación admisibles según la NTSyCS.
- La nueva obra no adiciona recursos de control de tensión. Además, se puede observar que no cuenta con reactores de barra y que los capacitores serie están concentrados en la barra Nueva Pan de Azúcar 220kV.

En función de estas características, a continuación, se analiza la operación del sistema en condiciones de red N y N-1 de manera de identificar aquellas barras que resulten débiles, los recursos disponibles para el control de tensión, su efectividad sobre cada una de las barras del

sistema influenciado directamente por estas nuevas obras y las propuestas de operación para afrontar las contingencias más críticas.

5.3 Análisis en RED N

El análisis en red N se encuentra orientado a determinar cuáles son las condiciones más exigentes de operación del sistema, y cuáles son los recursos disponibles más efectivos para contrarrestarlas.

5.3.1 Tensiones y reservas de potencia reactiva en red N

Como punto de partida para analizar los escenarios de estudio se presentan un resumen de los resultados de los flujos de potencia, indicando las tensiones de las barras de la zona (destacando en rojo las que están fuera de los límites normativos), y la utilización de los recursos de control de tensión en la misma. Para las barras de 500kV del norte del SIC, se utiliza como tensión de referencia la tensión nominal de las mismas.

Tensiones Finales en red N		ESCENARIO	Tensiones en red N [p.u. de tensión de servicio]								
			F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	
NODOS	Us [kV]										
S/E Los Changos	500	1,022	1,040	1,028	1,041	1,018	1,025	1,018	1,045		
S/E Cumbre	500	1,027	1,045	1,032	1,046	1,024	1,032	1,023	1,049		
S/E Nva Cardones	500	1,008	1,026	1,013	1,026	1,006	1,015	1,005	1,030		
S/E Nueva Maitencillo	500	1,018	1,031	1,024	1,030	1,018	1,023	1,016	1,036		
S/E Nueva Pan de Azucar	500	1,031	1,038	1,038	1,036	1,033	1,032	1,030	1,044		
S/E Polpaico	504	0,975	0,982	0,985	0,977	0,981	0,986	0,977	0,999		
S/E Los Changos	220	1,018	1,036	1,024	1,037	1,021	1,026	1,022	1,036		
S/E Diego de Almagro	224	0,982	1,030	0,992	1,032	0,992	1,029	0,992	1,024		
S/E Carrera Pinto	224	0,984	1,038	0,990	1,041	0,994	1,035	0,993	1,034		
S/E San Andrés	224	0,985	1,038	0,990	1,043	0,992	1,034	0,992	1,036		
S/E Cardones	224	0,987	1,037	0,992	1,042	0,992	1,032	0,992	1,037		
S/E Maitencillo	226	1,004	1,033	1,006	1,042	1,006	1,034	1,003	1,042		
S/E Punta Colorada	228	0,994	1,030	0,999	1,039	0,994	1,033	0,994	1,041		
S/E Pan de Azúcar	228	0,986	1,022	0,994	1,032	0,989	1,026	0,989	1,035		
S/E Las Palmas	228	0,960	1,015	0,964	1,023	0,975	1,015	0,966	1,021		
S/E Los Vilos	226	0,964	1,010	0,967	1,017	0,981	1,008	0,967	1,013		
S/E Nogales	226	0,968	0,987	0,969	0,990	0,983	0,986	0,967	0,986		
S/E Quillota	226	0,958	0,978	0,961	0,978	0,976	0,985	0,961	0,980		
S/E Polpaico	224	0,979	0,984	0,983	0,993	0,982	0,987	0,973	0,999		

Tabla 5-3: Tensiones en red completa.

Como se puede ver de la tabla anterior, las tensiones en el sistema de transmisión de 500kV del norte del SIC presentan niveles de tensión elevados en condición de red completa, en muchos casos inadmisibles si se consideran tensiones de servicio iguales a las nominales.

En la Tabla 5-4 se muestra la potencia reactiva absorbida por los equipos de control de tensión de la zona, junto con las reservas de reactivos inductivos disponibles en los mismos.

Se puede observar que muchos escenarios de estudio, especialmente los escenarios en donde no se cuenta con proyectos renovables capaces de absorber reactivo, presentan una gran ocupación de la capacidad de todos los CERs y el SVC Plus del norte del SIC, y hasta en ciertos casos la saturación de los mismos (escenarios de demanda baja). A su vez, estos escenarios presentan condiciones de sub-excitación considerables de las unidades sincrónicas de la CT Guacolda y CTM3. Se debe tener en cuenta que estos escenarios presentan 5 unidades de la CT Guacolda en servicio.

RESERVAS EN RED N [Mvar]	CAPACIDAD/ESCENARIO	Capacidad				Capacidad				Capacidad				Capacidad			
		Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv
Recurso																	
<i>SVC Plus</i>		140	-52	-5	47	140	-52	-45	7	140	-52	-8	44	140	-52	-56	-4
<i>CER Cardones</i>		100	-60	-22	38	100	-60	-54	6	100	-60	-36	24	100	-60	-63	-3
<i>CER Maitencillo</i>		24	-28	-6	22	24	-28	-14	14	24	-28	-24	4	24	-28	-26	2
<i>CER Pan de Azúcar</i>		48	-56	-14	42	48	-56	-25	31	48	-56	-13	43	48	-56	-51	5
<i>CT Guacolda</i>		213	-81,7	36	117	403	-158	-85	73	213	-82	23	105	434	-180	-93	87
RESERVAS EN RED N [Mvar]	CAPACIDAD/ESCENARIO	Capacidad				Capacidad				Capacidad				Capacidad			
		Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv	Qmax	Qmin	Qgen	Reserv
Recurso																	
<i>SVC Plus</i>		140	-52	-3	49	140	-52	-37	15	140	-52	0	52	140	-52	-61	-9
<i>CER Cardones</i>		100	-60	-15	45	100	-60	-56	4	100	-60	0	60	100	-60	-62	-2
<i>CER Maitencillo</i>		24	-28	-7	21	24	-28	-16	12	24	-28	-13	15	24	-28	-26	2
<i>CER Pan de Azúcar</i>		48	-56	-6	50	48	-56	-35	21	48	-56	0	56	48	-56	-51	5
<i>CTM3</i>		89	-59	-35	-35	89	-59	-46	-46	89	-59	-26	-26	89	-59	-26	-26
<i>CT Guacolda</i>		213	-82	47	128	403	-158	-85	73	213	-82	45	126	403	-158	-92	66

Tabla 5-4: Reservas de reactivos – Hidrología húmeda (arriba) y seca (abajo).

A pesar de la ocupación de todos estos recursos, las tensiones en las barras del norte del sistema presentan niveles de tensión elevados en condición de red completa, en muchos casos inadmisibles si se consideran tensiones de servicio iguales a las nominales.

5.3.2 Definición de tensiones de servicio para Fase II

Ante la ocupación de todos los recursos normalmente disponibles para control de tensión, como primera solución se propone considerar tensiones de servicio superiores a las nominales en barras 500kV del norte del sistema.

A continuación, se muestran las tensiones de servicio inicialmente propuestas para esta fase de estudio:

- Los Changos: **510kV**
- Cumbre: **510kV**
- Nueva Cardones: **505kV**
- Nueva Maitencillo: **510kV**
- Nueva Pan de Azúcar: **510kV**

La tabla a continuación resume las tensiones en pu de los escenarios en red N con las tensiones de servicio existentes más propuestas para el sistema de 500kV.

Tensiones Finales en red N-1		ESCENARIO	Tensiones en red N [p.u. de tensión de servicio]						
			F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	F2 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
NODOS	Us [kV]								
S/E Los Changos	510	1,002	1,020	1,008	1,020	0,998	1,005	0,998	1,024
S/E Cumbre	510	1,007	1,025	1,012	1,025	1,004	1,012	1,003	1,029
S/E Nva Cardones	505	0,998	1,015	1,003	1,016	0,996	1,005	0,995	1,020
S/E Nueva Maitencillo	510	0,998	1,011	1,004	1,010	0,998	1,003	0,996	1,016
S/E Nueva Pan de Azucar	510	1,011	1,018	1,018	1,015	1,012	1,012	1,010	1,024
S/E Polpaico	504	0,975	0,982	0,985	0,977	0,981	0,986	0,977	0,999
S/E Los Changos	220	1,018	1,036	1,024	1,037	1,021	1,026	1,022	1,036
S/E Diego de Almagro	224	0,982	1,030	0,992	1,032	0,992	1,029	0,992	1,024
S/E Carrera Pinto	224	0,984	1,038	0,990	1,041	0,994	1,035	0,993	1,034
S/E San Andrés	224	0,985	1,038	0,990	1,043	0,992	1,034	0,992	1,036
S/E Cardones	224	0,987	1,037	0,992	1,042	0,992	1,032	0,992	1,037
S/E Maitencillo	226	1,004	1,033	1,006	1,042	1,006	1,034	1,003	1,042
S/E Punta Colorada	228	0,994	1,030	0,999	1,039	0,994	1,033	0,994	1,041
S/E Pan de Azúcar	228	0,986	1,022	0,994	1,032	0,989	1,026	0,989	1,035
S/E Las Palmas	228	0,960	1,015	0,964	1,023	0,975	1,015	0,966	1,021
S/E Los Vilos	226	0,964	1,010	0,967	1,017	0,981	1,008	0,967	1,013
S/E Nogales	226	0,968	0,987	0,969	0,990	0,983	0,986	0,967	0,986
S/E Quillota	226	0,958	0,978	0,961	0,978	0,976	0,985	0,961	0,980
S/E Polpaico	224	0,979	0,984	0,983	0,993	0,982	0,987	0,973	0,999

Figura 5-2. Tensiones en red completa en referencia a tensiones de servicio.

De la tabla anterior se puede ver que, si se consideran las tensiones de servicio propuestas, los niveles de tensión en las barras de 500kV se encuentran dentro de los límites admisibles según la NTSyCS; sin embargo, siguen siendo cercanas a 1,03pu en escenarios sin ERNC (debido a la posibilidad de absorber potencia reactiva, tal como se vio en Fase I) y los RCT siguen estando igual de exigidos en todos los escenarios. En relación a esto último de la Tabla 5-6 puede observarse que el SVC plus de Diego de Almagro debe operar permanentemente absorbiendo potencia reactiva de la red para mantener las tensiones en rangos admisibles. En función de esto, se deberá evaluar la factibilidad de operar a este equipo en dichas condiciones. En el punto 5.4.2.5 se presentan alternativas de operación relacionadas con este punto en condiciones de red N y N-1.

Se concluye que se encuentran condiciones críticas de operación para esta fase de estudio, sin consideración de la ocurrencia de alguna contingencia (red completa, es decir, Estado Normal

de operación), principalmente ante la ausencia de generación renovable disponible en el sistema. En vista de esto resulta recomendable establecer tensiones de servicio con el fin de mantener los niveles de tensión en rangos admisibles teniendo en cuenta que aún en dicha condición los RCT se ven sometidos a una importante absorción de reactivos para poder mantener los niveles de tensión en rangos admisibles.

5.3.3 Operación de CCSS Nueva Cardones-Polpaico 500kV

Tal como fue mencionado en los apartados anteriores, el nuevo sistema de 500kV inyecta grandes montos de potencia reactiva al sistema. Esta problemática se ve acentuada en los casos en los cuales las transferencias por este vínculo resultan reducidas debido al efecto capacitivo de las líneas.

En este sentido, el tramo de mayor aporte resulta el comprendido entre las subestaciones Nueva Pan de Azúcar y Polpaico dado que se trata de un vínculo de más de 400km de extensión. Como medida adicional a la definición de tensiones de servicio y con el fin de establecer mejores condiciones de operación en cuanto a la reserva de reactivo de la zona se evalúa la posibilidad de operación con los capacitores serie fuera de servicio.

Ante esto deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- En escenarios con ausencia de sol, las transferencias por el sistema de 500kV pueden resultar extremadamente reducidas. Adicionalmente, los recursos de control de tensión quedan limitados a las centrales térmicas de la zona (Guacolda, CTM3).
- En escenarios de día, las transferencias por el sistema de 500kV puede alcanzar valores cercanos a su transferencia límite (1500MVA) por el tramo Nueva Pan de Azúcar-Polpaico causando que los niveles de tensión resulten más reducidos. En este sentido la presencia de parques fotovoltaicos otorga mayor flexibilidad a la operación por lo cual se consideran escenarios con un mayor control de tensión.

En la Figura 5-3 se muestra el estado del sistema en Fase II para un escenario de hidrología seca, con alto despacho renovable y altas transferencias por el sistema de 500kV.

Como se puede ver de la Figura 5-3, la transferencia por el vínculo de 500kV alcanza un valor cercano a los 1400MW. Es de esperarse que, al disminuir las transferencias, los niveles de tensión se incrementen. La Figura 5-4 muestra un escenario similar al de la Figura 5-3, con una reducción de las transferencias Nueva Pan de Azúcar → Polpaico 500kV de 1380MW a 800MW, lograda por una disminución del despacho fotovoltaico al norte de la S/E Pan de Azúcar. Obsérvese que en estas condiciones el nivel de tensión de las barras de Nueva Pan de Azúcar se encuentra excedido respecto a la tensión de servicio propuesta (1.032pu base 510kV) en red n. A su vez se observa una importante diferencia de tensión entre las barras de Nueva Pan de Azúcar y Polpaico (~30kV).

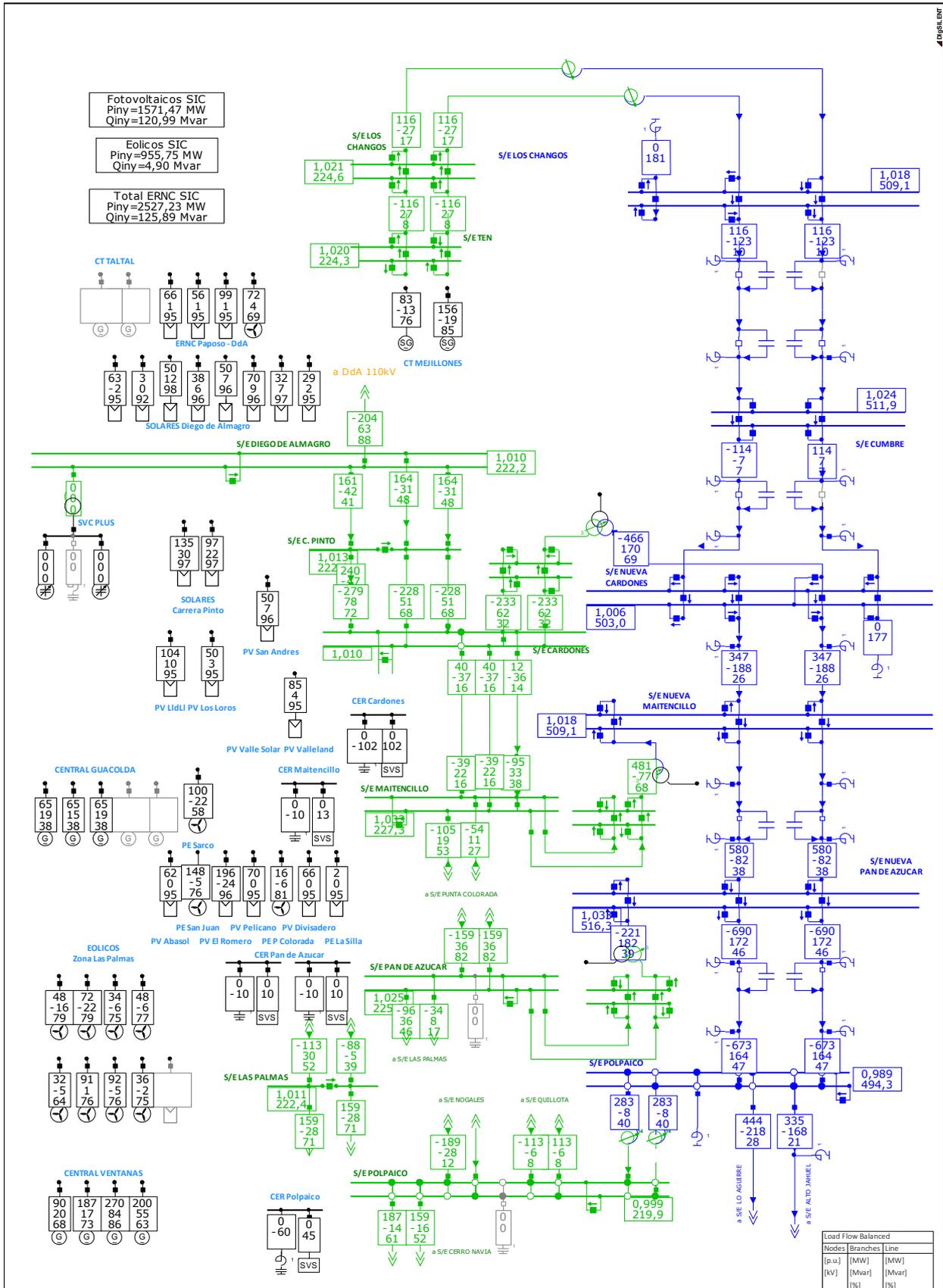


Figura 5-3: Estado del sistema en red n para Fase II en escenario de hidrología seca, demanda alta, con ERNC, 1380MW N. Pan de Azúcar → Polpaico 500kV.

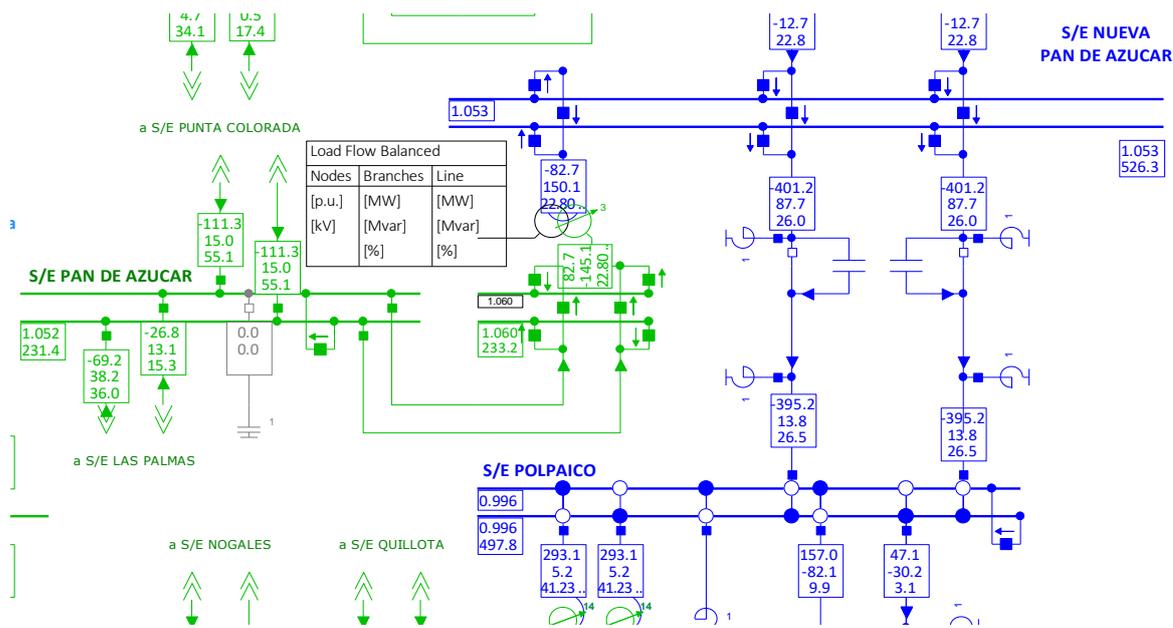


Figura 5-4: Escenario HS -DA - CERNC, 800MW N. Pan de Azúcar → Polpaico 500kV.

Ante esta condición se evalúa el efecto de puenteo de los CCSS de este tramo. Esto tiene ventajas dado que parte del excedente de reactivo generado por la línea de transmisión resulta consumido por ella misma, aliviando los RCT del sistema (generadores, SVC, CERs, etc).

Esta condición no solo deriva en condiciones admisibles respecto a las tensiones del sistema, sino mejor el perfil de tensiones de toda la zona permitiendo una mayor flexibilidad en la operación.

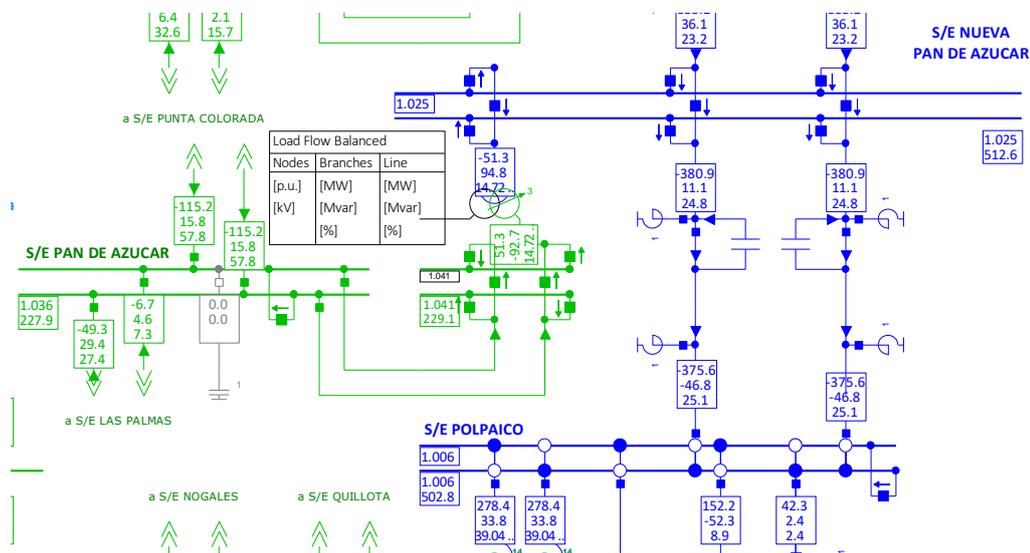


Figura 5-5: Operacion con CCSS fuera de servicio para tranferencias Pan de Azúcar → Polpaico 500kV menores a 800MW.

En función del análisis realizado, se propone tener los capacitores serie del tramo Nueva Pan de Azúcar – Polpaico fuera de servicio para transferencias Pan de Azúcar → Polpaico 500kV menores a 800MW.

Los escenarios de estudio construidos para el análisis de esta fase consideran esta condición de operación, la cual será evaluada en los siguientes puntos.

5.3.4 Barras más débiles en red N

Del mismo modo que se hizo para la Fase I, en el presente apartado se identifican las barras más débiles respecto al control de tensión para condiciones de operación normal.

La Figura 5-6 y Figura 5-7 muestran para todas las barras y en todos los escenarios, las correspondientes sensibilidades dv/dQ . De las mismas puede notarse:

- En este caso existe una distribución más uniforme de la sensibilidad con respecto a la hidrología. Esto se debe al “acercamiento” que provoca el nuevo sistema de 500kV entre las barras del centro y el norte del sistema.
- Al igual que en la Fase I, se puede observar la dependencia del despacho de CTM3 sobre la sensibilidad de las barras de 500kV de Los Changos y Cumbre. En los casos en que la misma se encuentra despachada, los niveles de sensibilidad se encuentran cercanos a los de las demás barras del sistema.
- Al igual como se vio para Fase I, las barras que presentan mayores sensibilidades en condiciones de operación normal de la red resultan: **Los Changos 500kV y 220kV, Cumbre 500kV, Nueva Cardones 500kV, Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV**. Esto se debe a que su distancia eléctrica a los puntos de control (Pan de Azúcar y Nogales) no se ve alterada por la puesta en servicio del nuevo sistema de 500kV.
- Otro punto de interés resulta la elevada sensibilidad que se presenta en la mayoría de las barras del sistema en el escenario de hidrología húmeda – Demanda Baja - sin ERNC, debido a la saturación de algunos equipos de control de tensión en condiciones de red completa. Este resulta un escenario crítico de operación.

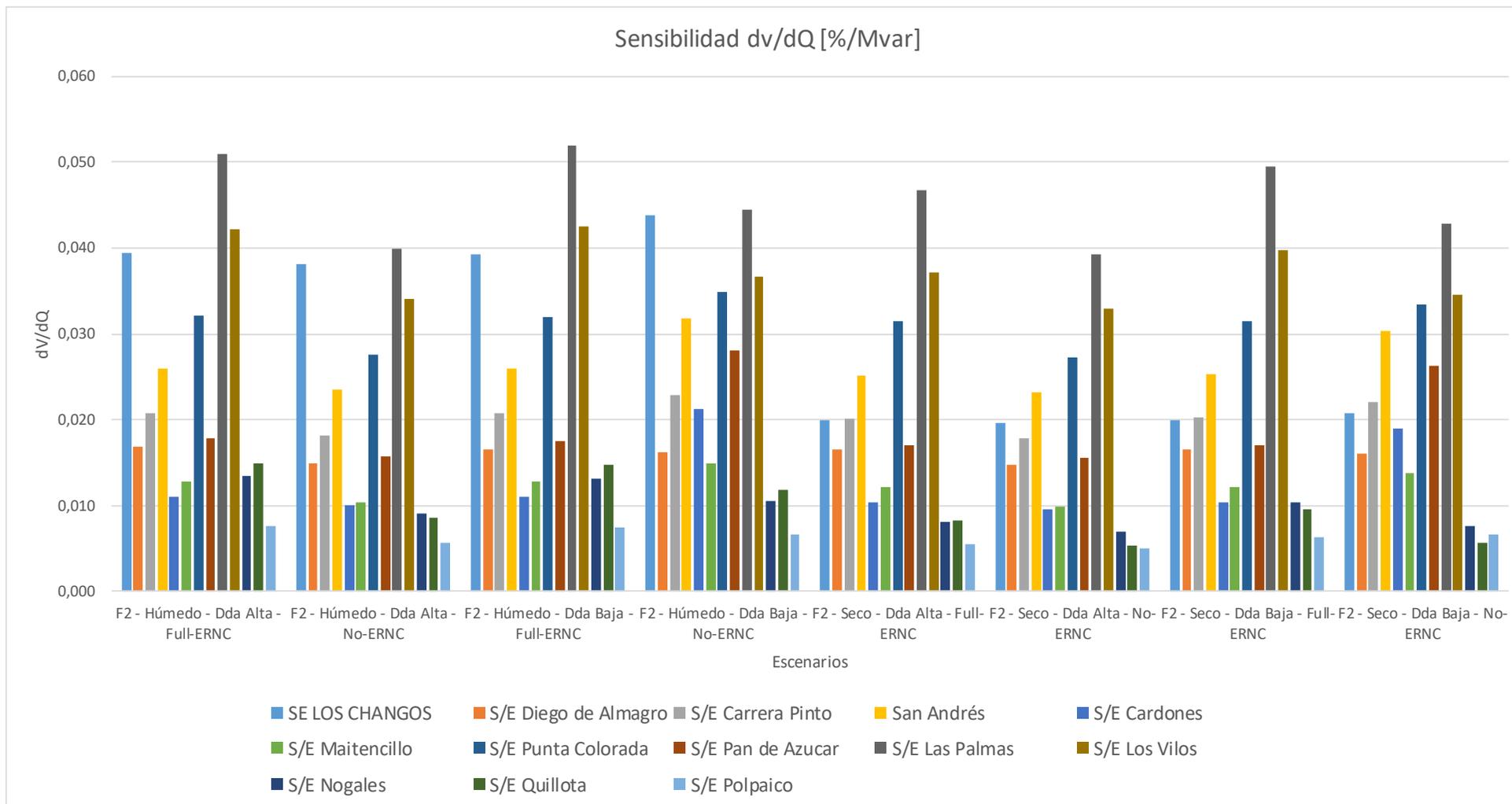


Figura 5-6. dv/dQ barras de 220kV

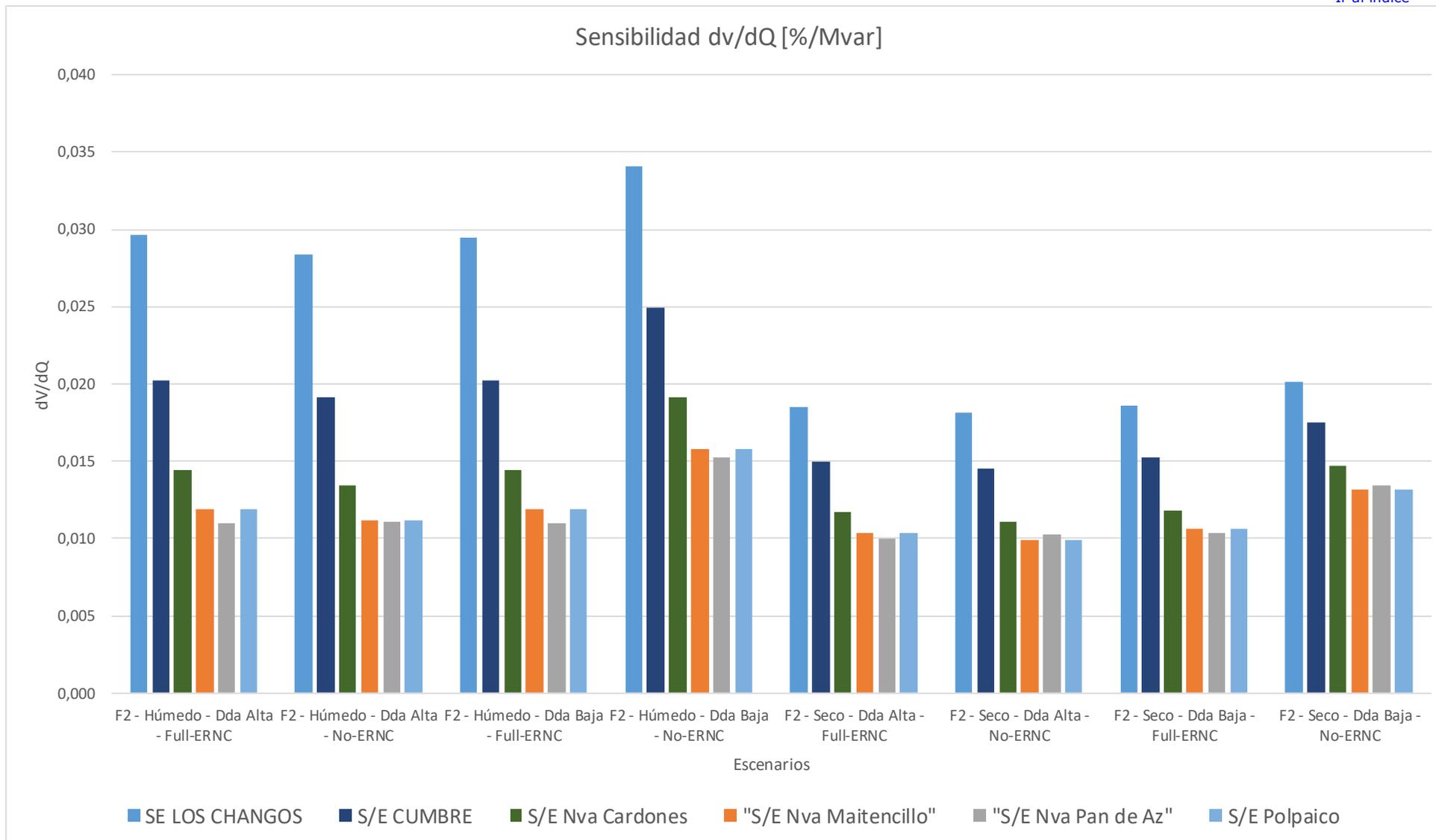


Figura 5-7. dv/dQ barras de 500kV

A continuación, se muestran los máximos valores de dv/dQ encontrados en cada barra de estudio al analizar todos los escenarios de operación. Luego, en la tabla siguiente, se detallan los mismos junto con el escenario de operación en donde se presentó dicho máximo.

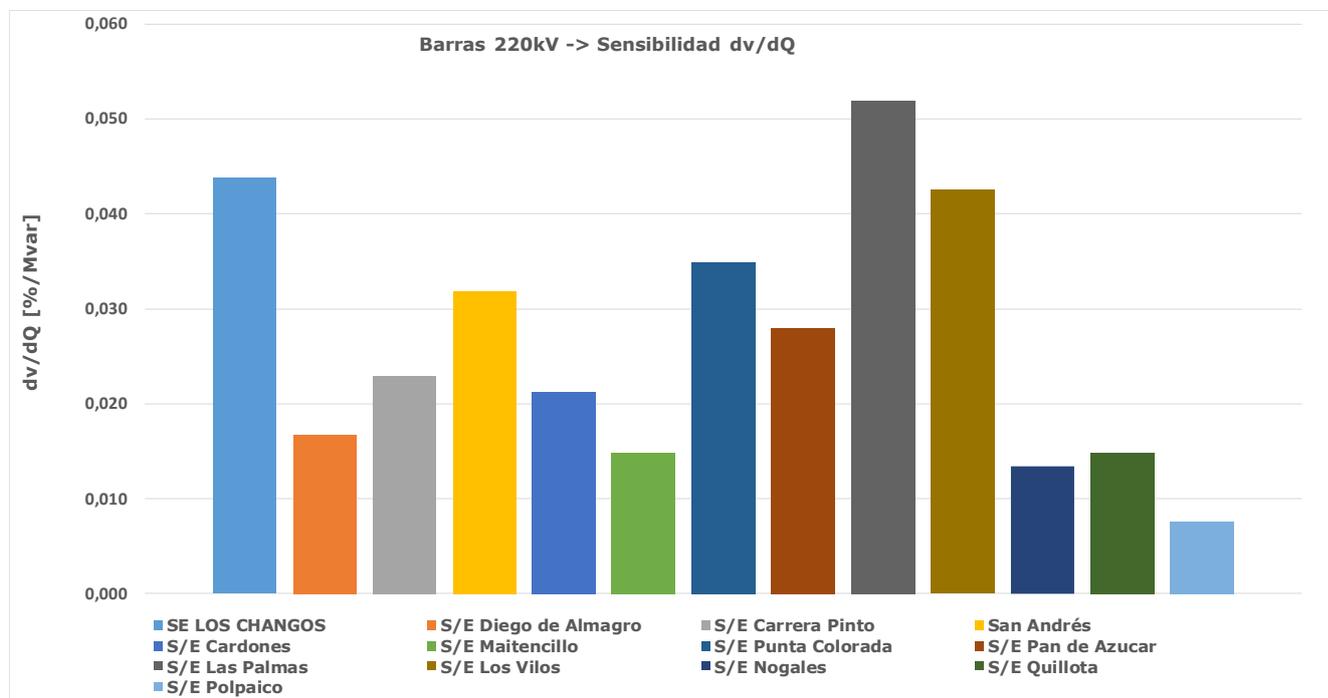


Figura 5-8. Máximos dv/dQ barras 220kV

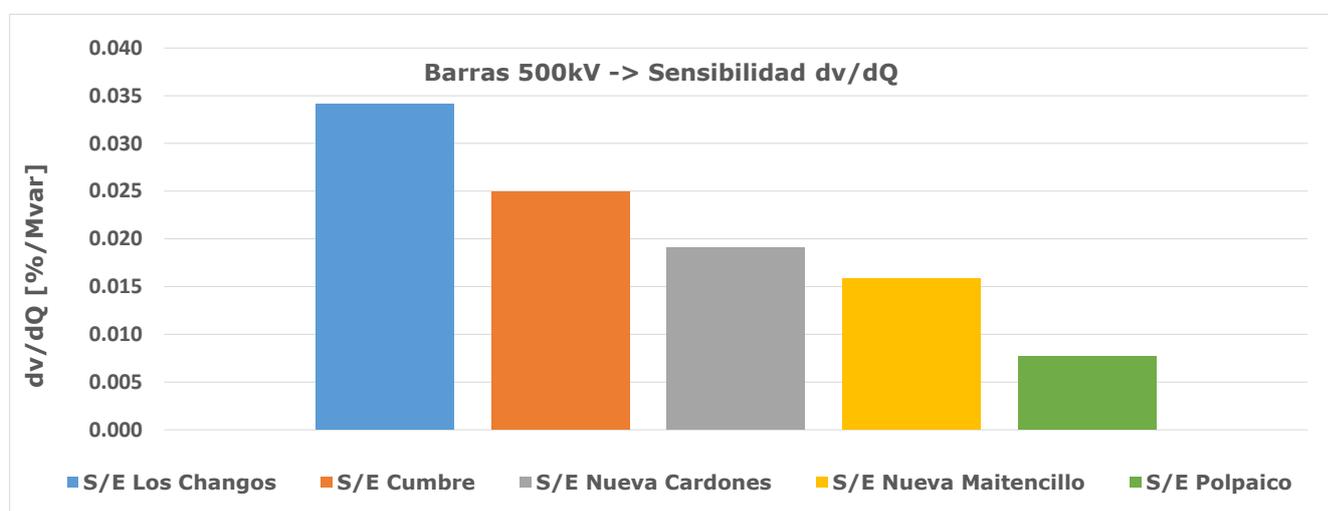


Figura 5-9. Máximos dv/dQ barras 500kV

Id_barra	Barra	Vnom [kV]	dv/dQ [%/Mvar]	Escenario de Operación
1	S/E Los Changos	500	0,0341000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
2	S/E Cumbre	500	0,0249000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
3	S/E Nueva Cardones	500	0,0191000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
4	S/E Nueva Maitencillo	500	0,0158000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
5	S/E Nueva Pan de Azucar	500	0,0152000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
6	S/E Polpaico	500	0,0077000	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
11	S/E Los Changos	220	0,0438000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
12	S/E Diego de Almagro	220	0,0168000	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
13	S/E Carrera Pinto	220	0,0229000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
14	San Andrés	220	0,0318000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
15	S/E Cardones	220	0,0212000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
16	S/E Maitencillo	220	0,0149000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
17	S/E Punta Colorada	220	0,0349000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
18	S/E Pan de Azucar	220	0,0280000	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC
19	S/E Las Palmas	220	0,0519000	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
20	S/E Los Vilos	220	0,0425000	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
21	S/E Nogales	220	0,0134000	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
22	S/E Quillota	220	0,0149000	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
23	S/E Polpaico	220	0,0076000	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC

Tabla 5-5. Máximos dv/dQ

Se puede observar que las barras más sensibles en red N ($dv/dQ > 0,03\%MVAR$) son:

- **Los Changos 220kV y 500kV**
- **San Andrés 220kV**
- **Punta Colorada 220kV**
- **Las Palmas 220kV**
- **Los Vilos 220kV**

A continuación, se comparan las máximas dv/dQ encontradas en esta fase con las de la Fase

I:

Id_barra	Barra	Vnom [kV]	dv/dQ [%/Mvar]		Delta [%]
			FASE I	FASE II	
1	S/E Los Changos	500	0,0479	0,0341	-29%
2	S/E Cumbre	500	0,0385	0,0249	-35%
3	S/E Nueva Cardones	500	0,0323	0,0191	-41%
4	S/E Nueva Maitencillo	500	-	0,0158	-
5	S/E Nueva Pan de Azuc	500	-	0,0152	-
6	S/E Polpaico	500	0,0094	0,0077	-18%
11	S/E Los Changos	220	0,0578	0,0438	-24%
12	S/E Diego de Almagro	220	0,0156	0,0168	8%
13	S/E Carrera Pinto	220	0,0252	0,0229	-9%
14	San Andrés	220	0,0273	0,0318	16%
15	S/E Cardones	220	0,0126	0,0212	68%
16	S/E Maitencillo	220	0,0158	0,0149	-6%
17	S/E Punta Colorada	220	0,0354	0,0349	-1%
18	S/E Pan de Azucar	220	0,0267	0,028	5%
19	S/E Las Palmas	220	0,048	0,0519	8%
20	S/E Los Vilos	220	0,0402	0,0425	6%
21	S/E Nogales	220	0,0121	0,0134	11%
22	S/E Quillota	220	0,0136	0,0149	10%
23	S/E Polpaico	220	0,0074	0,0076	3%

Tabla 5-6. Máximos dv/dQ. Fase I vs Fase II

Al observar los resultados obtenidos se encuentra que, como es de esperar, se presenta una disminución en la sensibilidad de la mayoría de las barras de 500kV del norte del sistema, debido principalmente a la disminución de la distancia eléctrica entre los diferentes nodos del mismo ante el ingreso del sistema de 500kV entre Polpaico y Nueva Cardones. A pesar de esto, existen barras en donde la sensibilidad máxima encontrada es mayor que en el caso anterior, y en algunos casos de forma significativa, como en las barras de la S/E Cardones.

Considerando esto se muestra un barrido de la sensibilidad de **las barras de mayor interés (más débiles y con mayor variación con respecto a Fase I)** en todos los escenarios de operación.

En cuanto a las barras de las SS/EE Las Palmas y los Vilos, su sensibilidad es bastante constante con respecto a la hidrología, lo que denota la ausencia de control de tensión en estos nodos. Por otro lado, las barras de Los Changos 220kV son significativamente más sensibles en los escenarios en donde CTM3 no está despachada. Con el ingreso de las líneas de 500kV entre Nueva Cardones y Polpaico, la sensibilidad máxima encontrada en esta última se reduce un 24%.

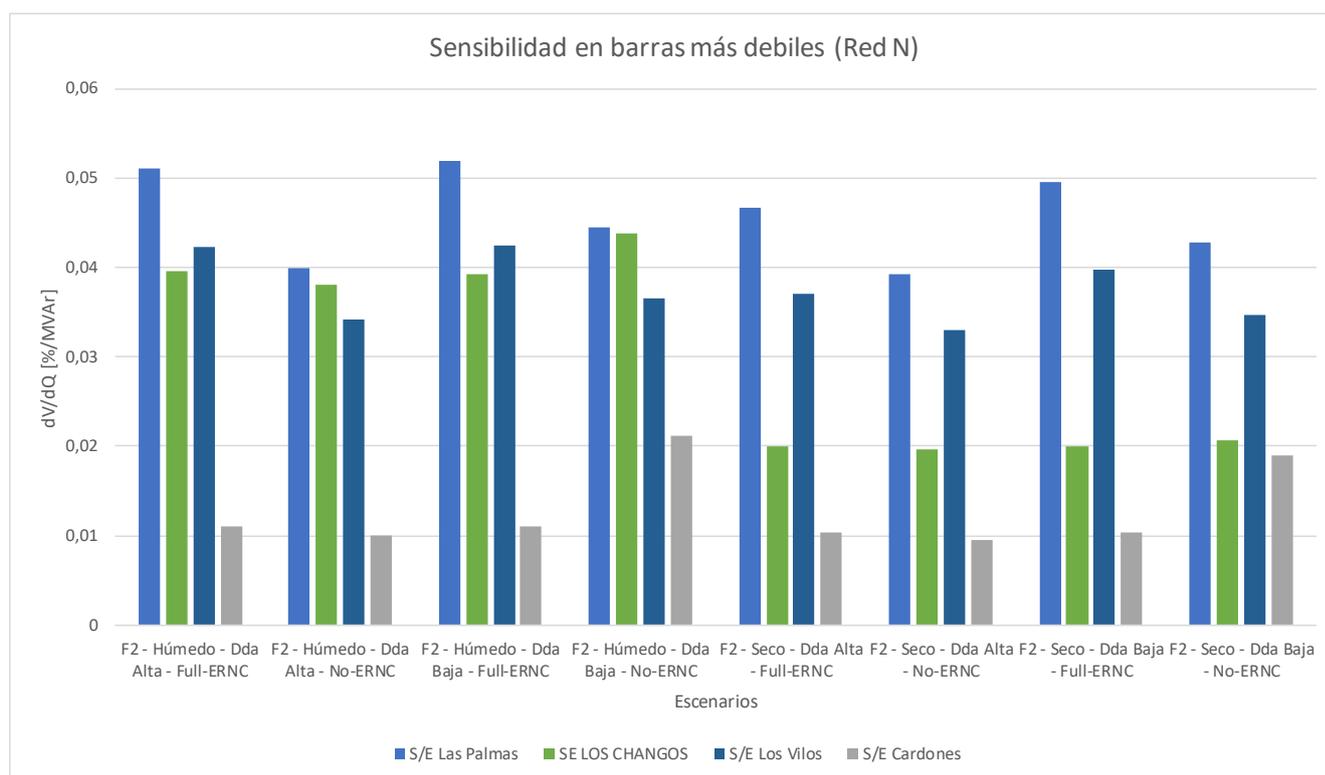


Figura 5-10. dv/dQ barras de más debiles

En base al análisis realizado pueden extraerse las siguientes conclusiones.

- i. El nuevo sistema de 500kV reduce las sensibilidades en Fase II respecto a las obtenidas en Fase I. Esto se debe al "acercamiento eléctrico" se produce entre la zona centro y norte del SIC.

- ii. Las barras con mayores índices de sensibilidad no se ven alteradas respecto a las encontradas en Fase I y corresponden a: **Los Changos 220kV y 500kV, Punta Colorada 220kV, Las Palmas 220kV y Los Vilos 220kV.**
- iii. Adicionalmente, se encuentra un aumento significativo de la sensibilidad en la barra Cardones 220kV. Esto se encuentra asociado principalmente a la saturación del CER ubicado en dicha subestación el cual se encuentra comprometido en la absorción del exceso de potencia reactiva generada por el sistema de transmisión Polpaico-Nueva Cardones 500kV.
- iv. Los escenarios con mayores sensibilidades en las barras corresponden a aquellos de demanda baja sin disponibilidad de generación ERNC. Los mismos se caracterizan por un difícil control de tensión en la zona debido a que las unidades sincrónicas y equipos de compensación deben absorber el exceso de reactivos del sistema de transmisión para mantener los niveles de tensión dentro de rangos admisibles.

5.3.5 Efectividad de los recursos de control de tensión

Para determinar la efectividad de los recursos de potencia reactiva se realiza un análisis de sensibilidad dQ_{in}/dQ_{bus} , que permite medir las contribuciones de potencia reactiva de los recursos de control de tensión ante un aumento de 1MVar en una cada una de las barras de interés.

En un primer análisis se filtran los recursos para el control de tensión cuya influencia sobre una barra (dQ_{gen} / dQ_{barra}) resulte superior a 10%. En la Tabla 5-7 se resumen los resultados de sensibilidad de inyección de potencia reactiva dQ/dQ sobre cada una de las barras ordenados de mayor a menor según el escenario donde se obtienen.

Al analizar en detalle estos resultados se observa que existen casos en que, debido a la saturación de los CERs del norte del SIC, la CT Guacolda se presenta como principal recurso de control. Debido a esto, al momento de determinar cuáles son los recursos más efectivos en cada barra se utilizan los resultados correspondientes a escenarios en donde no se presenta la saturación de ningún recurso de control.

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQ/dQ [MVar/MVar]
Los Changos	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,414
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,393
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,331
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,242
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,148
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,126
Cumbre	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,393
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,331
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,300
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,242
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,148
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,126
Nueva Cardones	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,393
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,331
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,242
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,234

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ [MVar/MVar]
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,148
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,126
Nueva Maitencillo	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,395
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,258
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,198
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,177
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,166
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,144
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,104
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,340
Nueva Pan de Azúcar	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,195
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,184
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,172
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,165
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,145
	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,126
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,108
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,219
Polpaico	500	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,186
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,132
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,113
	500	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,102
	500	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,101
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,534
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,393
Los Changos	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,331
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,242
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,148
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,126
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,839
Diego de Almagro	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,218
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,134
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,604
Carrera Pinto	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,399
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,253
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,107
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,499
San Andrés	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,464
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,334
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,140
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,551
Cardones	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,387
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,370
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,163
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,575
Maitencillo	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,250
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,178
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Maitencillo	0,165
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,144
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,122
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,462
Punta Colorada	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,342
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,215
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,166
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,130
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,127
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Maitencillo	0,122
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,114
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,106
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,461
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,372
Pan de Azúcar	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Cardones	0,157
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	SVC Plus	0,157
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,147
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,145
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,137
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	CTM3	0,130
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,351
	220	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	Central Ventanas	0,303
Las Palmas	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Polpaico	0,286
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,247
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,230
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,142
	220	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC	Central Ventanas	0,365
Los Vilos	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,317
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,297
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Pan de Azúcar	0,243

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQ/dQ [MVar/MVar]
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Guacolda	0,161
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	CER Cardones	0,111
Nogales	220	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC	Central Ventanas	0,427
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,360
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,335
Quillota	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,568
	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,366
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,352
Polpaico	220	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC	CER Polpaico	0,381
	220	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	Centrales S/E San Luis	0,317
	220	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	Central Ventanas	0,212

Tabla 5-7. Efectividad de los recursos de control de tensión sobre barras del SIC norte, Fase II.

5.3.6 Definición de Áreas de control de tensión

En el presente apartado se analiza la conveniencia de definición de áreas de control de tensión con el fin de identificar con facilidad los RCT que tienen mayor influencia en el control de tensión sobre las barras del sistema.

En la Tabla 5-8 se han reordenando los elementos de la Tabla 5-7, resaltando en una escala de colores escalonada (verde, amarillo y azul) los valores dQ/dQ de menor a mayor. Del mismo modo se ha puesto de color gris los valores $dQ/dQ < 0,2 \text{MVar/MVar}$ (segundo filtro).

Como se puede ver de la Tabla 5-8, los RTC de la zona norte del SIC amplían su zona de influencia debido al acercamiento eléctrico que produce la línea 2x500kV N. Cardones – N. Maitencillo – N. Pan de Azúcar – Polpaico. Lo anterior resulta claro si se compara el alcance que tiene la CT Guacolda en la Fase I versus el alcance de la misma en Fase II.

En función de los resultados obtenidos, se definen dos áreas de control de tensión considerando la influencia de los RCT sobre las barras del sistema, donde se ha definido como barra frontera la barra **Las Palmas 220kV**.

En la Tabla 5-9 se resumen los principales RTC de cada barra de la zona norte del SIC para Fase II.

ACT	BARRA	Sensibilidad máxima dQ/dQ [Mvar/Mvar] por barra de los RCT								
		SVC Plus DDA	CER Cardones	CTM3	Central Guacolda	CER Maitencillo	CER Pan de Azucar	Central Ventanas	Centrales S/E San Luis	CER Polpaico
ACT#1	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	0,84	0,22		0,13					
	CARRERA PINTO 220kV	0,60	0,40	0,11	0,25					
	SAN ANDRÉS 220kV	0,46	0,50	0,14	0,33					
	LOS CHANGOS 220kV	0,24	0,33	0,53	0,39		0,15			0,13
	LOS CHANGOS 500kV	0,24	0,33	0,41	0,39		0,15			0,13
	CUMBRE 500kV	0,24	0,33	0,30	0,39		0,15			0,13
	NUEVA CARDONES 500kV	0,24	0,33	0,23	0,39		0,15			0,13
	CARDONES 220kV	0,37	0,55	0,16	0,39					
	MAITENCILLO 220kV	0,18	0,25	0,12	0,57	0,17	0,14			
	N. MAITENCILLO 500kV	0,20	0,26	0,18	0,40		0,17		0,10	0,14
	PUNTA COLORADA 220kV	0,17	0,21	0,13	0,46	0,12	0,34	0,11	0,11	0,13
	PAN DE AZÚCAR 220kV	0,16	0,16	0,13	0,37		0,46	0,14	0,15	0,14
N. PAN DE AZÚCAR 500kV	0,16	0,20	0,15	0,34		0,18	0,11	0,13	0,17	
barras frontera	LAS PALMAS 220kV		0,14		0,23		0,35	0,30	0,25	0,29
ACT#2	LOS VILOS 220kV		0,11		0,16		0,24	0,36	0,30	0,32
	NOGALES 220kV							0,43	0,36	0,34
	QUILLOTA 220kV							0,35	0,57	0,37
	POLPAICO 220kV							0,21	0,32	0,38
	POLPAICO 500kV		0,10		0,11		0,10	0,13	0,19	0,22

Tabla 5-8: Definición de Áreas de Control de Tensión para Fase II.

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	SVC Plus/CER Cardones
	CARRERA PINTO 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda
	SAN ANDRÉS 220kV	
	CARDONES 220kV	
	LOS CHANGOS 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda/CTM3
	LOS CHANGOS 500kV	
	CUMBRE 500kV	
	NUEVA CARDONES 500kV	
	MAITENCILLO 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda
	N. MAITENCILLO 500kV	
	PUNTA COLORADA 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
	PAN DE AZÚCAR 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
N. PAN DE AZÚCAR 500kV	CT Guacolda	
barra frontera	LAS PALMAS 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
ACT#2	LOS VILOS 220kV	CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	NOGALES 220kV	CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	QUILLOTA 220kV	
	POLPAICO 220kV	
	POLPAICO 500kV	CER Polpaico

Tabla 5-9: Principales recursos de control de tensión por barra, Fase II.

Como se puede ver de la Tabla 5-9, la influencia de los RCT sobre las barras del sistema va cambiando de manera tal que la cuando un RCT deja de influir sobre una barra es porque hay otro

RCT, más cercano eléctricamente, influyendo más sobre la misma. De este modo, se puede decir que los RCT de cada ACT son:

- ✓ **ACT#1: CER Cardones/CTM3/SVC plus/CT Guacolda/CER Maitencillo/CER Pan de Azúcar**
- ✓ **ACT#2: CER Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico**
- ✓ **Barra frontera: CT Guacolda/Pan de Azúcar/Complejo Ventanas y San Luis/CER Polpaico**

Se puede ver que, según esta definición de ACT, el CER Pan de Azúcar es un RCT que tiene una influencia importante en ambas ACT.

5.3.7 Análisis de alternativas de operación en red n

Como se presentó en el capítulo 5.3.1, la operación ya en condiciones de red completa resulta en elevadas tensiones en las barras del norte del SIC, debido principalmente a la gran cantidad de potencia reactiva que inyecta el sistema de 500kV entre Polpaico y Nueva Cardones (~500MVAR en vacío).

Las condiciones más exigentes se presentan ante la ausencia de generación renovable para absorber reactivos en el sistema. En estas condiciones, aún con 5 unidades de la CT Guacolda y CTM3 en servicio (absorbiendo reactivos) y la ocupación de la totalidad de los recursos de los CERs y el SVC plus, no es posible lograr tensiones cercanas a las nominales en las barras de 500kV de la zona, lo cual también se refleja en las barras de 220kV. Con el fin de evaluar detalladamente esta condición se analiza la ocupación de los distintos recursos de control de tensión para lograr condiciones operativas aceptables en el norte del sistema.

A continuación, se realiza un análisis de manera de reflejar los recursos necesarios para lograr una operación que cumpla con los estándares normativos en condiciones normales de operación.

5.3.7.1 Caso Base

En primera instancia se analiza un escenario que contempla condiciones de noche (sin generación fotovoltaica), cuatro unidades de la CT Guacolda en servicio y con los equipos de control de reactivo (SVC+ y CERs), manteniendo la totalidad de su reserva disponible para el control de contingencia.

Este escenario resultaría en una condición de operación (en el caso que sea factible) en la cual se contaría con una importante reserva para el control de contingencias y un despacho económico (sin generación forzada para el control de tensión).

La siguiente tabla muestra los niveles de tensión obtenidos frente a esta condición.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
Noche 4 Unidades de Guacolda E/S SVC+ y CERs con aporte nulo	-129 (límite)	F/S	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)
Niveles de Tensión						
220kV			500kV			
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv[kV]	u (pu)	
S/E Diego de Almagro	224	1.184	SE CUMBRES	510	1.118	
S/E Carrera Pinto	224	1.178	SE LOS CHANGOS	510	1.113	
San Andrés	224	1.169	S/E Nva Cardones	505	1.108	
S/E Cardones	224	1.161	S/E Nva Maitencillo	510	1.092	
S/E Maitencillo	226	1.141	S/E Nva Pan de Azucar	510	1.087	
S/E Punta Colorada	228	1.131	S/E Polpaico	504	0.999	
SE LOS CHANGOS	220	1.130				
S/E Pan de Azucar	228	1.116				
S/E Las Palmas	228	1.074				
S/E Los Vilos	226	1.052				
S/E Polpaico	224	1.006				
S/E Nogales	226	1.005				
S/E Quillota	226	0.991				

Tabla 5-10 Análisis de operación en Red N - Escenario 1.

Tal como puede observarse, aun cuando la CT Guacolda se encuentra consumiendo un monto de potencia reactiva igual a su límite, las tensiones del sistema resultan extremadamente elevadas indicando que esta condición de operación no resulta factible.

5.3.7.2 Caso ERNC fotovoltaico absorbiendo Q de noche

Con el fin de mejorar estas condiciones se analiza una condición de operación contemplada por la NTSyCS respecto al control de reactivos por parte de los parques fotovoltaicos. En función de lo indicado en el Artículo 3-8 de la normativa vigente los parques fotovoltaicos deben tener la capacidad de absorber/inyectar potencia reactiva aún en condiciones de ausencia de recurso primario (P=0MW).

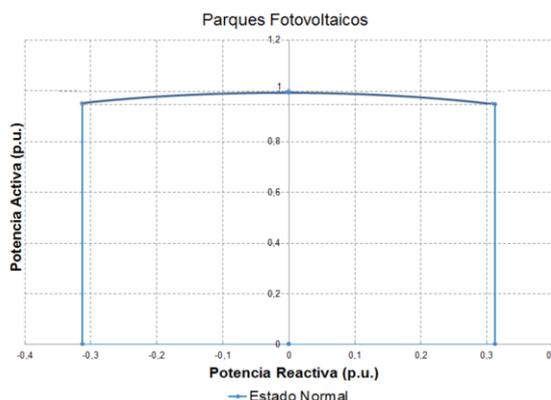


Tabla 5-11: Exigencia NTSyCS de capacidad de potencia para parques fotovoltaicos.

Bajo esta premisa se analiza esta condición con el fin de mejorar las tensiones en condiciones normales de operación. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los niveles de tensión obtenidos al considerar una absorción de reactivo de -10% de la potencia nominal de los parques fotovoltaicos.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
Noche 4 Unidades de Guacolda E/S SVC+ y CERs con aporte nulo Con control ERNC	-54	F/S	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)

Niveles de Tensión					
220kV			500kV		
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv [kV]	u (pu)
SE LOS CHANGOS	220	1.040	SE CUMBRES	510	1.029
S/E Maitencillo	226	1.036	SE LOS CHANGOS	510	1.024
S/E Cardones	224	1.035	S/E Nueva Cardones	505	1.020
San Andrés	224	1.031	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.018
S/E Punta Colorada	228	1.027	S/E Nueva Maitencillo	510	1.013
S/E Carrera Pinto	224	1.026	S/E Polpaico	504	0.975
S/E Pan de Azucar	228	1.021			
S/E Las Palmas	228	1.016			
S/E Diego de Almagro	224	1.015			
S/E Los Vilos	226	1.011			
S/E Polpaico	224	0.991			
S/E Nogales	226	0.988			
S/E Quillota	226	0.977			

Tabla 5-12. Analisis de operación en Red N – Control ERNC Noche

Tal como puede observarse, esta condición de operación permite mantener los niveles de tensión de todas las barras en valores admisibles. No obstante, siendo que esta exigencia es nueva (desde NTSyCS enero 2016), se estima que muchos parques no tienen la capacidad de realizar este tipo de control y se desconoce si los mismos lo poseerán al momento de concretarse las obras correspondientes a esta fase. En base a esto, se analizan casos sin considerar este aporte por parte de los parques fotovoltaicos.

5.3.7.3 Caso despacho forzado + CERs absorbiendo Q en régimen permanente

Con el fin de adicionar RCT a la zona, se despacha una unidad adicional de la central Guacolda de manera de colaborar con la necesaria absorción de reactivos.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
Noche 5 Unidades de Guacolda E/S SVC+ y CERs con aporte nulo	-180 (límite)	F/S	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)	0MVar (reserva)
Niveles de Tensión						
220kV			500kV			
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv[kV]	u (pu)	
S/E Diego de Almagro	224	1.149	SE CUMBRES	510	1.091	
S/E Carrera Pinto	224	1.144	SE LOS CHANGOS	510	1.086	
San Andrés	224	1.136	S/E Nva Cardones	505	1.081	
S/E Cardones	224	1.129	S/E Nva Maitencillo	510	1.067	
S/E Maitencillo	226	1.106	S/E Nva Pan de Azucar	510	1.066	
SE LOS CHANGOS	220	1.103	S/E Polpaico	504	0.993	
S/E Punta Colorada	228	1.102				
S/E Pan de Azucar	228	1.092				
S/E Las Palmas	228	1.060				
S/E Los Vilos	226	1.042				
S/E Polpaico	224	1.003				
S/E Nogales	226	1.001				
S/E Quillota	226	0.988				

Tabla 5-13. Analisis de operación en Red N - Escenario 2: 5 unidades de CT Guacolda.

Obsérvese que, aunque la absorción de potencia reactiva de la CT Guacolda se incrementa en aproximadamente 50MVar respecto al caso previo, los niveles de tensión se mantienen elevados tanto en la red de 500kV como en la red de 220kV haciendo que la operación en estas condiciones tampoco sea factible.

Dada dicha condición se relaja la condición de aporte nulo de los CERs, manteniendo esta condición para el SVC+ dado que éste resulta un equipo fundamental para el control de contingencias. De esta forma adicionalmente al control de la CT Guacolda, se adicionan como RCT los CERs de Cardones, Maitencillo y Pan de Azúcar. La Tabla 5-14 muestra esta condición de operación.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
Noche 5 Unidades de Guacolda E/S CERs controlando SVC+ con aporte nulo	-131	F/S	0MVar (reserva)	-60MVar (límite)	-26MVar (límite)	-26MVar (límite)
Niveles de Tensión						
220kV			500kV			
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv [kV]	u (pu)	
S/E Diego de Almagro	224	1.07832	SE CUMBRES	510	1.03824	
S/E Carrera Pinto	224	1.07548	SE LOS CHANGOS	510	1.03349	
San Andrés	224	1.06861	S/E Nueva Cardones	505	1.02891	
S/E Cardones	224	1.06309	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.02424	
S/E Maitencillo	226	1.05132	S/E Nueva Maitencillo	510	1.02013	
SE LOS CHANGOS	220	1.04994	S/E Polpaico	504	0.97993	
S/E Punta Colorada	228	1.0485				
S/E Pan de Azucar	228	1.04071				
S/E Las Palmas	228	1.02838				
S/E Los Vilos	226	1.02033				
S/E Polpaico	224	0.99467				
S/E Nogales	226	0.99207				
S/E Quillota	226	0.97994				

Tabla 5-14. Analisis de operación en Red N - Escenario 3: 5 unidades de CT Guacolda + CER absorbiendo Q.

Si bien la utilización de los CERs como recurso de control de tensión en red N logra relajar levemente la absorción de reactivos de la CT Guacolda, éstos quedan sin capacidad de absorción de potencia reactiva, existiendo aún tensiones del sistema fuera de los límites normativos. En base a esto se requiere la adición de recursos adicionales para el control de los niveles de tensión.

Con este fin, se incluye dentro del despacho al ciclo combinado CTM3 de manera de contar con un recurso adicional para el control. Se destaca que este despacho podría catalogarse como forzado dado que sólo se requiere para el control de tensión y no necesariamente por una condición de operación económica.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]	[MVar]
Noche 5 Unidades de Guacolda E/S CTM3 E/S CERs controlando SVC+ con aporte nulo	-102	-53 (límite)	0MVar (reserva)	-60MVar (límite)	-26MVar (límite)	-26MVar (límite)
Niveles de Tensión						
220kV			500kV			
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv [kV]	u (pu)	
S/E Diego de Almagro	224	1.0691	SE CUMBRES	510	1.02528	
S/E Carrera Pinto	224	1.06654	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.01933	
San Andrés	224	1.05991	S/E Nueva Cardones	505	1.01822	
S/E Cardones	224	1.05456	SE LOS CHANGOS	510	1.01813	
S/E Maitencillo	226	1.04616	S/E Nueva Maitencillo	510	1.01337	
S/E Punta Colorada	228	1.04332	S/E Polpaico	504	0.98317	
S/E Pan de Azucar	228	1.03592				
SE LOS CHANGOS	220	1.02676				
S/E Las Palmas	228	1.02615				
S/E Los Vilos	226	1.01956				
S/E Polpaico	224	0.99645				
S/E Nogales	226	0.99292				
S/E Quillota	226	0.98112				

Tabla 5-15. Analisis de operación en Red N - Escenario 4: 5 unidades de CT Guacolda + CER absorbiendo Q + CTM3.

El despacho de la CTM3 logra que todos los nodos de 500kV permanezcan dentro de los límites normativos respecto a las tensiones de servicio propuestas. Sin embargo, las tensiones de 220kV permanecen fuera de los límites lo cual indica que este recurso no es suficiente para el control de las tensiones del área.

Las tensiones que permanecen fuera de los rangos admisibles corresponden a las del sistema de 220kV al norte de la S/E Cardones.

Dada la imposibilidad de mayor absorción de reactivos por parte del CER de Cardones y la reserva asignada al SVC plus, las tensiones de esta área permanecen elevadas. Con el fin de reducir dichos niveles de tensión se incluye como RCT al SVC plus, resultando los niveles de tensión indicados en la siguiente tabla.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda	CTM3	SVC+	CER CAR	CER MAI	CER PAZU
	[MVA _r]	[MVA _r]	[MVA _r]	[MVA _r]	[MVA _r]	[MVA _r]
Noche 5 Unidades de Guacolda E/S CTM3 E/S CERs controlando SVC+ controlando	-82	-43	-66MVA _r (exigido)	-60MVA _r (límite)	-26MVA _r (límite)	-26MVA _r (límite)

Niveles de Tensión					
220kV			500kV		
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv [kV]	u (pu)
San Andrés	224	1.039	SE CUMBRES	510	1.017
S/E Maitencillo	226	1.039	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.013
S/E Carrera Pinto	224	1.039	SE LOS CHANGOS	510	1.010
S/E Cardones	224	1.039	S/E Nueva Cardones	505	1.009
S/E Punta Colorada	228	1.037	S/E Nueva Maitencillo	510	1.006
S/E Diego de Almagro	224	1.031	S/E Polpaico	504	0.981
S/E Pan de Azucar	228	1.030			
S/E Las Palmas	228	1.022			
SE LOS CHANGOS	220	1.020			
S/E Los Vilos	226	1.017			
S/E Polpaico	224	0.995			
S/E Nogales	226	0.992			
S/E Quillota	226	0.980			

Tabla 5-16: Analisis de operación en Red N - Escenario 5: 5 unidades de CT Guacolda + CER absorbiendo Q + CTM3 + SVC plus.

Finalmente, esta condición de operación permitiría mantener todas las tensiones en su rango admisible de operación. Sin embargo, no se considera una condición de operación adecuada por las siguientes razones:

- Para mantener los niveles de tensión dentro de rangos admisibles en red N deben utilizarse todos los recursos de control de la zona, incluyendo despachos de unidades sincrónicas que pueden catalogarse como forzados y equipos de compensación estática (SVC plus y CERs).
- Tanto las unidades sincrónicas como los equipos estáticos de control de reactivo permanecen con niveles límites para el control de sobretensiones lo cual resultaría en una condición crítica en el caso de producirse contingencias o variaciones normales del sistema que provoquen la elevación de tensión de la red.
- La desconexión de algunos de estos equipos (SVC+, CER Cardones, CTM3, unidad CT Guacolda) llevaría a las tensiones a condiciones riesgosas de operación dado que todos

estos equipos se encuentran aportando de forma significativa al control de tensión de la zona.

- Adicionalmente a las centrales Guacolda y CTM3 se encuentran unidades sincrónicas de alto costo operativo que pueden colaborar con el control de tensión de la zona. Entre las mismas se encuentran la CT Taltal, Termopacífico y El Peñón.
- Complementariamente, se verifica que el despacho de la CT Taltal colabora con el control de tensión del nodo Diego de Almagro restituyendo parte de la reserva al SVC+, lo cual adicionalmente resultaría útil en caso de que se produzca una eventual desconexión de este equipo.
- Se observa que el despacho de la CTs Termopacífico y El Peñón para el control de tensión no resulta efectivo dado que no logran restituir en gran medida la reserva de reactivos de los equipos de la zona (CER Cardones, CERs Pan de Azúcar).
- Adicionalmente, se destaca que esta condición de operación se presentaría durante todos los períodos de ausencia de sol lo que incrementaría significativamente el costo operativo del sistema dado que estas centrales deberían estar despachadas permanentemente.

Finalmente, a partir de los análisis anteriores se reafirma la necesidad de la definición de las tensiones de servicio de todas las barras de 500kV al norte de Polpaico, tales como las propuestas en la sección **5.3.2 Definición de tensiones de servicio para Fase II.**

5.3.7.4 Caso operación normal con un circuito de líneas de 500kV

La apertura de líneas de 500kV en condiciones de nula generación renovable (noche) derivaría en una reducción de la inyección de reactivos. Dado que la elevada inyección de potencia reactiva es causada por el nuevo sistema de transmisión, se evalúa la desconexión de circuitos con el fin de reducir este aporte.

Para este caso se identifican dos tramos sobre los cuales se podría operar con un único circuito en servicio dado que son los de mayor aporte de reactivo al sistema (mayor longitud):

- **Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV:** La desconexión de uno de los circuitos de este tramo podría derivar en una reducción de hasta 100MVAR de inyección al sistema. Esta operación permitiría mejorar las tensiones, pero podría ser riesgosa en caso de falla simple del circuito en servicio especialmente en caso de alto despacho de la generación renovable. Esto implicaría una operación alternada de este circuito entre día (en servicio) y noche (fuera de servicio) algo que se considera complejo (o hasta impracticable) para la operación.

- Los Changos – Cumbre 2x500kV:** La operación con uno de los circuitos de este tramo tiene la ventaja comparativa de que el mismo sólo se encuentra asociado a la central CTM3, existiendo capacidad suficiente para que la misma exporte la totalidad de su potencia por el circuito que permanece en servicio.

En base a esto se analiza el efecto sobre la operación en caso de operar con un circuito de este tramo fuera de servicio.

La siguiente tabla muestra una mejora significativa de las condiciones de operación. Tal como puede observarse, la desconexión de un circuito de la línea 2x500kV Los Changos-Cumbre permite relajar significativamente las condiciones de absorción de reactivos manteniendo todas las barras de la zona dentro de los límites normativos respecto a sus tensiones de servicio.

Características escenario	Aporte de Reactivos RCT					
	Guacolda [MVar]	CTM3 [MVar]	SVC+ [MVar]	CER CAR [MVar]	CER MAI [MVar]	CER PAZU [MVar]
Noche 5 Unidades de Guacolda E/S CTM3 E/S CERs controlando SVC+ con aporte nulo Los Changos-Cumbre C1 F/S	-34	F/S	0MVar (reserva)	-30MVar (30MVar reserva)	-19MVar (11MVar reserva)	-14MVar (16MVar reserva)

Niveles de Tensión					
220kV			500kV		
S/E	U serv[kV]	u (pu)	S/E	U serv [kV]	u (pu)
S/E Diego de Almagro	224	1.040	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.027
S/E Carrera Pinto	224	1.039	SE CUMBRES	510	1.025
San Andrés	224	1.033	S/E Nueva Cardones	505	1.024
S/E Cardones	224	1.028	S/E Nueva Maitencillo	510	1.021
S/E Maitencillo	226	1.027	SE LOS CHANGOS	510	1.007
SE LOS CHANGOS	220	1.023	S/E Polpaico	504	0.980
S/E Punta Colorada	228	1.023			
S/E Pan de Azucar	228	1.014			
S/E Las Palmas	228	1.013			
S/E Los Vilos	226	1.011			
S/E Polpaico	224	0.994			
S/E Nogales	226	0.990			
S/E Quillota	226	0.979			

Tabla 5-17: Operación con un circuito **Los Changos – Cumbre 2x500kV** fuera de servicio.

Esta condición puede ser una alternativa para mejorar las condiciones de operación tanto pre como post-contingencia.

Es importante mencionar que operar con un circuito fuera de servicio podría causar problemas de subtensión post-falla (por ejemplo, falla en circuito de líneas) en escenarios de alta inyección de potencia en la zona norte del SIC (Full-ERNC). Sin embargo, al encontrarse disponible los parques fotovoltaicos pueden controlarse de mejor manera las tensiones de la zona en el escenario de RED N de manera de poder tolerar salida de servicio de elementos de la red.

5.4 Análisis en RED N-1

En el presente apartado se analiza el impacto de diversas contingencias simples no simultáneas sobre el control de tensión del sistema post-contingencias.

5.4.1 Definición de Contingencias

Las contingencias simuladas contemplan casos de pérdida de generación, líneas de transmisión y equipos de control de voltaje y potencia reactiva (SVC, CER, reactores, etc.). En la tabla a continuación, se enuncian las contingencias contempladas para esta fase de estudio.

Tipo	Elemento
Línea 2x500kV	Los Changos - Cumbre C1
Línea 2x500kV	Cumbre - Nueva Cardones C1
Línea 2x500kV	Nueva Cardones - Nueva Maitencillo C1
Línea 2x500kV	Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar C1
Línea 2x500kV	Nueva Pan de Azúcar - Polpaico
Línea 2x220kV	Cardones - Maitencillo C3
Línea 2x220kV	Maitencillo - Abasol C1
Línea 2x220kV	Los Palmas - Los Vilos C2
Central	CT Guacolda U1
Central	CT Mejillones U3 (TG+TV)
Central	CT Nueva Ventanas
Reactor de barra	Los Changos 500kV
Reactor de barra	Nueva Cardones 500kV
Reactor de barra	Polpaico 500kV
Reactor de línea	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extremo P. de Azúcar) C1 500kV
Reactor de línea	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extremo Polpaico) C1 500kV
Reactor de línea	N. Cardones - N. Maitencillo C1 500kV
Reactor de línea	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extremo N. P. de Azúcar) C1 500V
Trafo 220/500kV	Los Changos
Trafo 220/500kV	Nueva Cardones
Trafo 220/500kV	Nueva Maitencillo
Trafo 220/500kV	Nueva Pan de Azúcar
SVC	Cardones
SVC	Maitencillo
SVC	Pan de Azúcar
SVC	Polpaico
SVC plus	Diego de Almagro
Línea 2x220kV	Abasol - Pelicano
Línea 2x220kV	Pelicano - Punta Colorada
Línea 2x220kV	Punta Colorada - Pan de Azúcar
Línea 2x220kV	Pan de Azúcar - Don Goyo
Línea 2x220kV	Pan de Azúcar - Cebada
Línea 2x220kV	Los Vilos - Nogales C1
Capacitor shunt	Pan de Azúcar 220kV
Capacitor shunt	Polpaico 220kV
Reactor de barra	Polpaico 500kV
Reactor de línea	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extremo N. Maitencillo) C1 500V
Reactor de línea	Los Changos - Cumbre (extremo Los Changos) C1 500kV

Tipo	Elemento
Reactor de línea	Los Changos - Cumbre (extremo Cumbre) C1 500kV
Reactor de línea	Cumbre - N. Cardones (extremo Cumbre) C1 500kV
Reactor de línea	Cumbre - N. Cardones (extremo N. Cardones) C1 500kV

Tabla 5-18: Conjunto de contingencias – FASE II.

5.4.2 Determinación de contingencias más exigentes

Del mismo modo que se realizó para la Fase I, a continuación, se analiza el impacto de las contingencias antes señaladas en función de los siguientes indicadores:

- ✓ Tensiones finales post-contingencia
- ✓ Variación de tensión
- ✓ Requerimientos de reactivos
- ✓ Sensibilidad post-contingencia

5.4.2.1 Tensiones finales post-contingencia

Como primer criterio se analizan los valores finales de tensión que se alcanzan en las barras del sistema post-contingencia.

En la Tabla 5-19, se muestra para cada barra y contingencia cuales son los mayores y menores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas más las propuestas para 500kV) para todos los escenarios analizados, donde se ha resaltado las tensiones fuera de los límites de tensión para Estado de Emergencia: en rojo las sobretensiones ($>1,05pu$ para barras de 500kV nominal y $>1,1pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio) y en azul las subtensiones ($<0,93pu$ para barras de 500kV nominal y $<0,90pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio).

Luego, en la Tabla 5-20 se muestra un resumen de todos los casos donde se encuentra incumplimiento normativo post-contingencia, indicando el escenario de operación donde esta condición ocurre. Se ha resaltado en rojo las sobretensiones con un valor mayor a 1,1pu. Además, los valores que se encuentran dentro de los límites de tensión para Estado de Emergencia se han puesto en color gris para dar mayor énfasis a los casos de incumplimiento normativo.

Barra 500kV nominal	Cumbre				Los Changos				Nueva Maitencillos		Nueva Pan de Azúcar		Nueva Cardones										
	Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV			Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV			Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV	Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV	Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV									
Escenario de Operación/Contingencia	Los Changos 500kV	Nueva Cardones 500kV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extr. N. Pan de Azúcar)	LCHANG_SR	CARD_SR	LCHAN-CUM_SR21	LCHAN-CUM_SR22	Reactor C1 Polpaico - PdeAz 500kV_PdeAz	LCHANG_SR	CARD_SR	LCHAN-CUM_SR21	LCHAN-CUM_SR22	LCHANG_SR	CARD_SR	LCHAN-CUM_SR21	LCHAN-CUM_SR22	Reactor C1 Polpaico - PdeAz 500kV_PdeAz	LCHANG_SR	CARD_SR	LCHAN-CUM_SR21	LCHAN-CUM_SR22
F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,115	1,090	1,085	1,082	1,052	1,127	1,082	1,094	1,074		1,079	1,067	1,055	1,052	1,077	1,067	1,056	1,054	1,055	1,096	1,082	1,068	1,065
F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,102		1,078	1,078	1,055	1,116		1,089	1,073	1,050	1,062				1,059					1,081		1,059	1,059
F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,079	1,064	1,066	1,066		1,092	1,059	1,077	1,061		1,041	1,040	1,035	1,035	1,041	1,041	1,037	1,037		1,058	1,055	1,045	1,047
F2 - Seco - Dda Alta - No-ERNC	1,061		1,051			1,072		1,058															
F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC	1,053					1,066		1,056															
F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC						1,059																	

Barra 220kV nominal	Cardones	Carraera P.	D. de Almagro	San Andrés	Maitencillo	Los Changos	
	Reactor de barra 500kV					Reactor de línea 500kV	
Escenario de Operación/Contingencia	Los Changos 500kV					Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	
F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC	1,113	1,114	1,106	1,114	1,105	1,138	1,104
F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC	1,105	1,106	1,098	1,106	1,090	1,133	1,106
F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC	1,072	1,070		1,072		1,110	1,094
F2 - Seco - Dda Alta - No-ERNC						1,095	1,081

Tabla 5-20: Tensiones máximas post-contingencia por escenario y contingencia, referidas a las tensiones de servicio.

A partir de los resultados de las simulaciones de contingencias simples, resumidos en la Tabla 5-19 y Tabla 5-20, se encuentra lo siguiente:

➤ Sobretensiones

Se observa, en general, que las sobretensiones se dan en la ACT#1 ante la **pérdida de los siguientes elementos:**

- ✓ ACT#1
 - **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV (175MVAR c/u)**
 - **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV (150MVAR c/u)**
 - **Reactor de línea de la línea Pan de Azúcar – Polpaico 500kV, extremo Pan de Azúcar (175Mvar).**
 - **SVC plus***

*produce tensiones post-falla mayores a 1,07pu en el SIC norte que, si bien está dentro de los límites normativos, podría ser demasiado alta para consumos de la zona norte como tensión CODELCO Salvador cuya tensión nominal "original" era de ~80kV antes de pasar a 110kV.

Además, se puede ver que los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los parques ERNC

podrían no participar del control de tensión, el CDC puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva (inductiva en este caso) para disminuir las tensiones de la zona.

Si bien la pérdida del reactor de línea de la línea N. Pan de Azúcar – Polpaico 500kV (175MVar c/u) deriva en tensiones que están al límite normativo en las barras Los Changos 500kV y Cumbres 500kV, no se considera una contingencia crítica ya que en estas barras no existen consumos conectados (sólo CTM3).

➤ **Subtensiones**

Se observan que las subtensiones se dan ante la **pérdida de los siguientes circuitos de línea:**

ACT#2

Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV

Cabe notar que si bien la desconexión de los circuitos de línea de 220kV de la zona norte del SIC derivan en bajas tensiones en los escenarios con alta generación ERNC, éstas contingencias no son consideradas críticas ya que la desconexión de éstos circuitos sobrecarga transitoriamente el circuito sano debido a que los escenarios de operación han sido realizados contemplando un “criterio n-1 ajustado”, considerando el automatismo de desconexión/reducción de generación de la zona norte del SIC el cual está siendo estudiado en detalle en el Estudio#2 “Evaluación de los automatismos existentes”. Para más detalle al respecto, se recomienda revisar dicho estudio.

5.4.2.2 Variación en los niveles de tensión

Este análisis se realiza con el objetivo de evaluar el impacto de las contingencias en las tensiones finales del sistema versus las tensiones que había antes de ocurrir ésta. Las variaciones de tensión son calculadas como la diferencia entre el valor post-contingencias y el valor pre-contingencia, de este modo, si luego de una contingencia las tensiones disminuyen, la variación será negativa, y viceversa.

En la Tabla 5-21 se muestra para cada barra y contingencia cuales son variaciones de tensión para todos los escenarios analizados, se resaltan en rojo las variaciones mayores a un 2% en barra de 500kV y a un 3% en barras de 220kV.

Variaciones de Tensión		Línea 2x500kV				Línea 2x220kV				Central		Reactor de barra 500kV		Reactor de línea 500kV				Trafos 220/500kV		CER/SVC plus			CCEE																		
		Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Changos - Cumbre C1	N. Cardones - N. Maitencillo	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar	N. Pan de Azúcar - Polpaico	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	Punta Colorada - Pan de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Los Changos 500KV	Nueva Cardones 500KV	Polpaico 500KV	Los Changos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Changos - Cumbre (extr. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr. N. Card.) C1	N. Cardones - N. Maitencillo 75 Mvar	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extr. N. Maitencillo)	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extr. N. Pan de Azúcar)	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extr. N. Pan de Azúcar)	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extr. Polpaico)	Los Changos	Nueva Cardones	Nueva Maitencillo	Nueva Pan de Azúcar	Diego de Almagro	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Pan de Azúcar 220KV	Polpaico 220KV
CONTINGENCIAS																																									
NODOS		MÁXIMAS VARIACIONES DE TENSIÓN (POSITIVAS) [%]																																							
Userv	[kV]																																								
Los Changos	510	-0,4	-2,3	-0,7	-0,2	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	0,1	0,0	5,6	10,1	0,3	6,8	5,1	2,2	1,7	1,7	1,2	1,0	2,9	0,7	0,2	1,8	0,2	0,4	1,3	1,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	
Cumbre	510	-0,4	-1,6	-0,9	-0,3	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	0,1	0,0	5,9	8,4	0,3	5,5	5,1	2,2	1,7	1,7	1,2	1,0	2,9	0,7	0,1	1,8	0,3	0,4	1,3	1,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	
Nva Cardones	505	-0,7	-1,2	-0,9	-0,3	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,3	0,1	0,0	6,1	7,4	0,3	4,7	4,4	1,7	1,7	1,7	1,2	1,0	2,9	0,7	0,1	1,8	0,3	0,4	1,3	1,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	
Polpaico	504	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2	-0,2	1,4	1,7	0,6	1,1	1,0	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	1,1	1,4	0,0	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	
Los Changos	220	-0,3	-1,8	-0,6	-0,2	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,9	0,1	0,0	5,4	9,9	0,3	6,7	5,1	2,2	1,7	1,7	1,2	1,0	2,9	0,7	0,1	1,8	0,2	0,4	1,3	1,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,0	
Diego de Almagro	224	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	6,4	8,1	0,1	4,8	4,4	1,0	0,9	0,9	0,6	0,4	2,5	0,2	0,0	-0,4	-0,1	0,1	4,6	1,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	
Carrera Pinto	224	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,0	6,2	7,8	0,1	4,6	4,3	1,2	1,1	1,1	0,8	0,5	2,6	0,3	0,0	-0,8	-0,1	0,2	3,3	1,5	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	
San Andrés	224	-0,2	-0,4	-0,3	-0,1	0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2	0,0	6,0	7,5	0,2	4,5	4,2	1,3	1,2	1,2	0,9	0,6	2,6	0,4	0,0	-1,0	-0,1	0,2	2,5	1,6	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	
Cardones	224	-0,3	-0,5	-0,4	-0,2	0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,2	0,0	5,9	7,4	0,2	4,5	4,1	1,4	1,3	1,3	1,0	0,7	2,7	0,5	0,0	-1,2	-0,1	0,2	2,0	1,7	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	
Maitencillo	226	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	0,3	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,1	0,7	0,3	0,0	4,7	6,1	0,2	3,4	3,1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	2,2	0,2	0,5	0,0	-0,3	-0,1	0,1	0,9	0,8	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0
Punta Colorada	228	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	0,3	0,0	0,4	0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,2	0,9	0,3	0,0	4,4	5,6	0,3	3,2	2,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	2,5	0,6	0,0	0,5	-0,2	-1,2	0,9	0,7	0,1	0,3	0,5	0,0	0,0
Pan de Azúcar	228	-0,2	-0,4	-0,3	-0,4	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,4	0,9	0,2	0,1	4,1	5,1	0,3	3,0	2,8	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	2,8	0,7	0,0	0,6	-0,1	-2,1	0,8	0,7	0,1	0,2	0,7	0,0	0,0
Las Palmas	228	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	-0,3	-0,7	1,0	0,9	0,2	0,2	2,5	3,1	0,3	1,8	1,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,8	0,8	0,0	0,4	0,0	-1,3	0,5	0,4	0,2	0,1	0,4	0,0	0,0
Los Vilos	226	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,7	0,0	-0,2	-0,4	1,3	0,8	0,2	0,3	1,7	2,1	0,3	1,2	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,3	0,8	0,0	0,2	0,0	-0,8	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0
Nogales	226	0,0	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,4	0,1	0,3	0,6	0,8	0,3	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,7	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	
Quillota	226	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,1	0,2	0,5	0,8	0,3	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	
Polpaico	224	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4	0,1	0,2	0,8	1,0	0,3	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	0,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,4	0,0	0,1	0,0	0,0		
MÍNIMAS		MÍNIMAS VARIACIONES DE TENSIÓN (NEGATIVAS) [%]																																							
Userv	[kV]																																								
Los Changos	510	-0,8	-4,4	-1,6	-0,9	-2,4	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,6	-0,3	-0,1	1,8	4,8	0,0	3,9	2,3	1,0	0,7	0,7	0,5	0,4	0,9	0,3	0,1	0,5	-0,9	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2
Cumbre	510	-0,8	-4,4	-1,6	-0,9	-2,4	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,6	-0,3	-0,1	1,8	4,8	0,0	3,9	2,3	1,0	0,7	0,7	0,5	0,4	0,9	0,3	0,1	0,5	-0,9	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2
Nva Cardones	505	-1,1	-2,4	-1,6	-0,9	-2,4	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,6	-0,3	-0,2	2,2	2,4	0,0	1,9	1,9	0,9	0,9	0,6	0,5	1,1	0,3	0,0	0,7	-0,9	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2	
Polpaico	504	-0,2	-0,5	-0,4	-0,6	-1,8	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	-0,6	-0,5	0,6	0,7	0,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	1,2	0,0	-0,1	-0,3	0,1	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,4	
Los Changos	220	-0,8	-4,4	-1,6	-0,9	-2,4	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	1,1	-0,3	-0,1	1,5	4,5	0,0	3,6	2,0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,3	0,7	0,2	-0,4	0,4	-0,9	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2
Diego de Almagro	224	-0,3	-0,6	-0,4	-0,2	-0,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	-0,8	-0,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Carrera Pinto	224	-0,5	-1,1	-0,7	-0,3	-0,9	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,2	0,0	-0,1	0,7	0,7	0,0	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	0,0	-1,4	-1,0	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	
San Andrés	224	-0,6	-1,5	-0,9	-0,4	-1,1	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,9	1,0	0,0	0,8	0,8	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,5	0,2	-0,9	-1,3	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	
Cardones	224	-0,7	-1,7	-1,1	-0,5	-1,3	-0,4	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,3	-0,1	-0,1	1,0	1,1	0,0	0,9	0,9	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,2	0,0	-2,2	-1,5	-0,3	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	
Maitencillo	226	-0,5	-1,2	-0,8	-0,6	-1,8	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	-0,2	-0,1	-0,2	0,2	-0,1	-0,1	1,0	1,1	0,0	0,9	0,8	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,9	0,2	0,0	-2,5	-0,8	-1,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,2	
Punta Colorada	228	-0,6	-1,3	-0,9	-0,9	-2,5	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	0,2	-0,1	-0,2	0,9	1,0	0,0	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	1,1	0,3	0,0	-2,0	-2,4	-3,5	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,2	
Pan de Azúcar	228	-0,6	-1,4	-0,9	-0,9	-2,8	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5	0,1	-0,2	-0,2	0,8	0,9	0,0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	1,2	0,3	0,0	-1,1	-2,1	-5,6	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	-0,3
Las Palmas	228	-0,4	-0,9	-0,6	-0,9	-3,9	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-1,1	-0,2	-7,0	-2,5	-0,5	-0,1	-0,2	-0,5	0,6	0,7	0,0	0,6	0,6	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,9	0,3	0,0	-0,8	-1,9	-5,8	0,0	0,0	-0,6	0,0	0,0	0,0	-0,5
Los Vilos	226	-0,3	-0,6	-0,4	-0,7	-3,5	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-1,0	-0,2	-5,0	-1,8	-0,7	-0,1	-0,2	-0,6	0,5	0,5	0,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0,3	0,0	-0,6	-1,4	-4,5	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,6	
Nogales	226	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-1,8	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	-1,4	-0,5	-0,3	-0,1	-0,2	-0,5	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0	-0,2	-0,5	-1,2	0,0	0,0	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,7
Quillota	226	-0,1	-0,3	-0,3	-0,4	-1,6	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-1,1	-0,4	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,9	0,0	0						

A partir de los resultados de las simulaciones de contingencias simples, resumidos en la Tabla 5-21, se encuentra lo siguiente:

➤ Variaciones de tensión positivas

Similar a lo visto en la sección anterior se encuentra que las mayores variaciones de tensión (positivas) se dan principalmente en la ACT#1 ante la pérdida de los siguientes elementos:

- ✓ ACT#1
 - Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV
 - Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV
 - SVC plus Diego de Almagro

Por otro lado, las máximas **variaciones negativas** se dan ante:

- Pérdida de un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV.
- Pérdida de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.

Adicionalmente, se observan importantes variaciones de tensión negativas en las barras más débiles del sistema (Punta Colorada 220kV, Las Palmas 220kV y Los Vilos 220kV) tras la pérdida (no simultanea) de los transformadores de 220/500kV, debido a la redistribución de los flujos por las líneas del sistema de transmisión de 220kV del SIC norte.

5.4.2.3 Variación de la inyección/absorción de reactivos

A continuación, se resumen los máximos requerimientos de potencia reactiva (RPR) encontrados para cada contingencia y en todos los escenarios de estudio. Se destacan en rojo los valores mayores a 100MVar (valor absoluto).

Contingencia	RPR inductivo [MVar]	Escenario de Operación
Reactor de barra Los Changos	-214	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Reactor de barra Cardones	-194	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea Polp - PdeAz 500kV_PdeAz	-181	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea LCHAN-CUM_LCHAN	-177	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea LCHAN-CUM_CUM	-173	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
CTM3	-137	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea Polp. - PdeAz 500kV_Pol	-123	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea CUM-NCAR_CUM	-85	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea CUM-NCAR_NCAR	-81	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor de línea N .Card.-N. Mai 500 kV	-81	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor N. Mai- N. P. de Azúcar 500kV_N.Mai	-81	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Reactor N. Mai- N. P. de Azúcar 500kV_N.PdA	-77	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
SVC Plus	-66	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
CER Cardones	-61	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Reactor de barra Polpaico 500kV	-52	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
CER Polpaico	-37	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Guacolda U1	-31	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
CER Maitencillo	-24	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Nueva Ventanas	-17	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
Trafo 220/500kV Los Changos	-2	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
Contingencia	RPR capacitivo [MVar]	Escenario de Operación
Trafo 220/500kV N. Cardones	520	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
N. Pan de Azúcar – Polpaico C1 500kV	367	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Trafo 220/500kV N. Maitencillo	198	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC

Trafo 220/500kV N. Pan de Azúcar	150	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
Los Changos - Cumbre C1 500kV	142	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Nueva Maitencillo - Nueva Cardones C1 500kV	126	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Nueva Maitencillo - N. Pan de Azúcar C1 500kV	122	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Don Goyo - Pan de Azúcar 220kV	87	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
CCEE Polpaico 220 kV 100 MVA	73	F2 - Húmedo - Dda Alta - Full-ERNC
CER Polpaico 220/19kV_100MVA	72	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Cumbre - Nueva Cardones C1 500kV	61	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Nogales - Los Vilos 220kV C1_1	48	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
Los Vilos - Las Palmas L2	47	F2 - Húmedo - Dda Baja - Full-ERNC
Pan de Azúcar - Punta Colorada 220kV C1	44	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Guacolda U1	35	F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
La Cebada - Pan de Azúcar 220kV 3	31	F2 - Seco - Dda Baja - Full-ERNC
Maitencillo - Cardones 220kV L3	25	F2 - Húmedo - Dda Alta - No-ERNC
Abasol - Maitencillo 220kV_C1	15	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Abasol - Pelicano 220kV_C1	14	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Nueva Ventanas	14	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Punta Colorada - Maitencillo 220kV C1	9	F2 - Seco - Dda Alta - Full-ERNC
Trafo 220/500kV Los Changos	4	F2 - Seco - Dda Baja - No-ERNC
CER Pan de Azúcar 40MVA	4	F2 - Húmedo - Dda Baja - No-ERNC

Tabla 5-22: Requerimiento de reactivos máximos.

Tal como puede observarse, las contingencias identificadas como críticas en los análisis de tensiones absolutas y variaciones de tensión demandan un mayor requerimiento de reactivo por parte del sistema. Puede observarse que la pérdida de reactores y unidades sincrónicas (sub-excitadas) deriva en importantes montos de RPR inductivos para el sistema. De igual modo se observa que la pérdida de circuitos de línea y transformadores 220/500kV deriva en importantes montos de RPR capacitivos para el sistema.

En función de los montos de RPR post-contingencia, se encuentra que las contingencias más críticas desde este punto de vista son:

✓ RPR inductivos

- Reactor de barra Los Changos 500kV (175MVA)
- Reactor de barra Cardones 500kV (175MVA)
- Reactores de línea Polpaico - Pan de Azúcar 500kV (175MVA c/u)
- Reactores de línea Los Changos - Cumbre (150MVA c/u)
- CTM3

✓ RPR Capacitivos

- Transformador 220/500kV Nueva Cardones
- Circuito de línea de N. Pan de Azúcar - Polpaico 2x500kV
- Transformador 220/500kV N. Maitencillo
- Transformador 220/500kV N. Pan de Azúcar
- Circuito de línea de Los Changos - Cumbre 2x500kV
- Circuito de línea de Nueva Maitencillo - Nueva Cardones 2x500kV
- Circuito de línea de Pan de Azúcar 2x500kV

Cabe notar que la pérdida de los transformadores 500/220kV derivan en una caída de las tensiones debido a que el reactivo necesario para absorber los excedentes de las líneas de 500kV, dejan de fluir por el transformador. Se destaca que, si bien esta contingencia calificada como

severidad 8 y deprime las tensiones de la zona, en todos los casos las mismas se encuentran dentro de los rangos admisibles en condiciones de emergencia.

5.4.2.4 Sensibilidad dv/dQ en red N-1

En la Tabla 5-23 se resumen las máximas sensibilidades dv/dQ [%/MVAr] post-contingencia para todos los escenarios evaluados, donde los valores mayores a 0,1%/MVAr han sido destacados con color rojo.

A partir de los resultados del análisis de sensibilidad dv/dQ post-contingencia resumidos en la Tabla 5-23, se encuentra que éstos aumentan en general en todas las barras respecto de los resultados obtenidos para red n, lo cual se explica por el hecho de que tras las contingencia el sistema requiere de recursos de potencia reactiva que son suministrados por los RCT, llegando éstos muchas veces a sus límites, con lo cual las barras que en red n tenían un control de tensión (barras PV), en red n-1 son barras de potencia reactiva fija (barras PQ).

En consideración de las ACT propuestas anteriormente, se encuentra que las mayores sensibilidades post-contingencia se dan en las barras de la ACT#1, tras la desconexión (no simultaneas) de los siguientes elementos:

- **Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
- **Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV**
- **Reactor de línea de la línea Pan de Azúcar - Polpaico 500kV**
- **SVC Plus Diego de Almagro**
- **Transformador 220/500kV Nueva Pan de Azúcar**



[Ir al índice](#)

	CONTINGENCIAS	Sensibilidad red N-1																																																								
		Línea 2x500kV	Línea 2x220kV										Central	Reactor de barra 500kV	Reactor de línea 500kV								Trafos 220/500kV	CER/SVC plus	CCEE																																	
NODOS	Userv [kV]	Cumbre - Nueva Cardones C1	Los Chingos - Cumbre C1	N. Cardones - N. Maitencillo	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar	N. Pan de Azúcar - Polpaico	Cardones - Maitencillo C3	Maitencillo - Abasol C1	Abasol - Pelicano	Pelicano - Punta Colorada	Los Palmas - Los Vilos C2	Punta Colorada - Pan de Azúcar	Pan de Azúcar - Don Goyo	Pan de Azúcar - Cebada	Los Vilos - Nogales C1	CT Mejillones U3 (TG+TV)	CT Guacolda U1	CT Nueva Ventanas	Los Chingos 500KV	Nueva Cardones 500kV	Polpaico 500kV	Los Chingos - Cumbre (extr. Los Chan.) C1	Los Chingos - Cumbre (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (ext. Cumbre) C1	Cumbre - N. Cardones (extr.N. Card.) C1	N. Cardones - N. Maitencillo 75 Mvar	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extr.N. Maitencillo)	N. Maitencillo - N. Pan de Azúcar (extr.N. Pan de Azúcar)	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extr. N. Pan de Azúcar)	N. Pan de Azúcar - Polpaico (extr. Polpaico)	Los Chingos	Nueva Cardones	Nueva Maitencillo	Nueva Pan de Azúcar	Diego de Almagro	Cardones	Polpaico	Maitencillo	Pan de Azúcar	Pan de Azúcar220kV	Polpaico 220kV																	
		Sensibilidad dv/dQ en Red n-1 [%/Mvar]																																																								
Los Chingos	510	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,11	0,10	0,03	0,11	0,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03														
Cumbre	510	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,11	0,10	0,03	0,11	0,11	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03											
Nva Cardones	505	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,09	0,08	0,02	0,08	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02									
Polpaico	504	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01										
Los Chingos	220	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,12	0,11	0,04	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04								
Diego de Almagro	224	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,19	0,18	0,02	0,19	0,19	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,10	0,09	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02						
Carrera Pinto	224	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,15	0,15	0,02	0,15	0,15	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02						
San Andrés	224	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,14	0,13	0,03	0,14	0,14	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03						
Cardones	224	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,11	0,02	0,11	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02				
Maitencillo	226	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,11	0,10	0,01	0,10	0,10	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01					
Punta Colorada	228	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,10	0,10	0,03	0,10	0,10	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03				
Pan de Azúcar	228	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03		
Las Palmas	228	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,12	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		
Los Vilos	226	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Nogales	226	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		
Quillota	226	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
Polpaico	224	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabla 5-23: Sensibilidades dv/dQ red n-1, Fase II.

5.4.2.5 Resumen de contingencias más exigentes Fase II

A continuación, se hace un resumen de las contingencias más críticas encontradas de acuerdo a los cuatro criterios de análisis realizados anteriormente.

➤ **Sobretensiones**

✓ ACT#1

- Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV (175MVAR c/u)
- Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV (150MVAR c/u)
- Reactor de línea de la línea Pan de Azúcar – Polpaico 500kV, extremo Pan de Azúcar (175Mvar).
- SVC plus Diego de Almagro

➤ **Subtensiones**

✓ ACT#2

- Circuito Don Goyo – Pan de Azúcar 220kV

➤ **Variaciones de tensión positivas**

✓ ACT#1

- Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV
- Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV
- SVC plus Diego de Almagro

➤ **Variaciones de tensión negativas**

- Pérdida de un circuito de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV.
- Pérdida de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV

➤ **RPR inductivos**

- Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV (175MVAR c/u)
- Reactores de línea Los Changos - Cumbre (150MVAR c/u)
- Reactores de línea Polpaico – Pan de Azúcar 500kV (175MVAR c/u)
- CTM3

➤ **RPR Capacitivos**

- Transformador 220/500kV Nueva Cardones
- Circuito de línea de N. Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV
- Transformador 220/500kV N. Maitencillo
- Transformador 220/500kV N. Pan de Azúcar
- Circuito de línea de Los Changos - Cumbre 2x500kV
- Circuito de línea de Nueva Maitencillo – Nueva Cardones 2x500kV
- Circuito de línea de Pan de Azúcar 2x500kV

➤ **Sensibilidad dv/dQ red n-1**

- Reactores de barra Los Changos y Nueva Cardones 500kV

- Reactores de línea de la línea Los Changos – Cumbre 500kV
- Reactor de línea de la línea Pan de Azúcar - Polpaico 500kV
- SVC Plus Diego de Almagro
- Transformador 220/500kV Nueva Pan de Azúcar

En consideración de los cuatro análisis realizados anteriormente para red n-1, se encuentra que las contingencias más críticas son aquellas que aparecen en al menos tres de los cuatro análisis realizados anteriormente, éstas son las siguientes:

- 1. Reactor de barra Los Changos (175MVar)**
- 2. Reactor de barra Cardones (175MVar)**
- 3. Reactores de línea Los Changos - Cumbre (150MVar c/u)**
- 4. Reactores de línea Polpaico – Nueva Pan de Azúcar 500kV (175Mvar c/u)**
- 5. SVC Plus Diego de Almagro**

5.4.3 Análisis red n-1 con un circuito Los Changos-Cumbre fuera de servicio

Considerando la propuesta de operación detallada en la sección **5.3.7.4 Caso operación normal con un circuito de líneas de 500kV** realizada para red n, se analiza la condición en red n-1 de la red para todas las contingencias y casos de estudio. Cabe destacar que esta condición de operación permite operar con mejores condiciones de regulación de tensión en red n ya que los equipos de control de tensión absorben menores cantidades de los reactivos generados por el sistema de transmisión.

A continuación, se presenta una tabla con los niveles de tensión post-contingencia considerando la operación con un circuito Los Changos-Cumbre fuera de servicio. Se destaca que sólo existe una leve violación (se presenta en escenarios sin CTM3 en servicio) y corresponde a la tensión de la barra de Los Changos 500kV ante la desconexión de su reactor de barra.

[Ir al índice](#)

Tensiones Finales en red N-1			RED N	CONTINGENCIAS																								
				01 Lne LChan-Cumb C1 500kV	02 Lne Cumb-NCard C1 500kV	03 Lne NMaI-NCard C1 500kV	04 Lne NMaI-NPAzu C1 500kV	05 Lne NPAzu-Pol C1 500kV	06 Mait - Card C1 220kV	07 Mait-Abasol C1 220kV	08 LViI-Lpalm C2 220kV	09 Guacolda U1	10 CTM3	11 Reactor B. Lchan 500kV	12 Reactor B. NCard 500kV	13 Reactor L. Ncard-NMait 500kV	14 Reactor L. NPAzu-NMait 500kV	15 Reactor L. NPAzu-Pol 500kV	16 Reactor B. Pol 500kV	17 SVC Plus	18 CER Cardones	19 CER Maitencillo	20 CER Polpaico	21 CER Pan de Azu	22 Trafo LChan 500/220kV	23 Trafo NCard 525/230/34.5kV	24 Trafo NMait 525/230/34.5kV	25 Trafo NPAzu 525/230/34.5kV
NODOS		Us [kV]		Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																								
S/E Los Changos	510	1.000	1.000	0.995	0.993	0.997	1.000	0.999	1.000	1.000	1.001	0.990	1.053	1.018	1.007	1.004	1.011	1.001	1.003	1.003	1.001	1.001	1.001	0.999	1.003	1.002	1.003	
S/E Cumbre	510	1.010	1.010	1.003	1.000	1.006	1.009	1.009	1.010	1.010	1.010	1.009	1.041	1.034	1.019	1.015	1.024	1.012	1.014	1.014	1.011	1.011	1.011	1.010	1.013	1.012	1.013	
S/E Nva Cardones	505	1.006	1.006	1.000	0.996	1.002	1.006	1.005	1.006	1.007	1.007	1.007	1.029	1.033	1.016	1.012	1.021	1.008	1.011	1.010	1.007	1.007	1.008	1.006	1.010	1.008	1.010	
S/E Nueva Maitencillo	510	1.006	1.006	1.001	0.999	1.000	1.005	1.005	1.006	1.006	1.006	1.012	1.025	1.025	1.012	1.013	1.024	1.008	1.009	1.009	1.007	1.007	1.008	1.006	1.008	1.009	1.010	
S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.021	1.021	1.017	1.015	1.010	1.014	1.020	1.020	1.019	1.022	1.028	1.036	1.036	1.025	1.029	1.043	1.024	1.021	1.021	1.019	1.022	1.018	1.021	1.021	1.017	1.018	
S/E Polpaico	504	0.997	0.997	0.995	0.995	0.994	0.986	0.996	0.997	0.996	0.996	0.994	1.000	1.002	0.998	1.000	1.004	1.002	0.998	0.997	0.997	0.999	0.997	0.997	0.997	0.997	0.999	
S/E Los Changos	220	1.016	1.016	1.012	1.010	1.014	1.016	1.015	1.016	1.016	1.016	1.018	1.069	1.031	1.021	1.019	1.025	1.017	1.019	1.018	1.017	1.017	1.017	1.016	1.018	1.017	1.018	
S/E Diego de Almagro	224	1.028	1.028	1.026	1.025	1.027	1.028	1.027	1.027	1.027	1.028	1.027	1.027	1.035	1.035	1.030	1.029	1.032	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028	
S/E Carrera Pinto	224	1.032	1.032	1.030	1.028	1.031	1.033	1.031	1.032	1.032	1.032	1.031	1.046	1.046	1.036	1.034	1.041	1.033	1.049	1.038	1.033	1.032	1.032	1.032	1.032	1.032	1.033	
S/E San Andrés	224	1.031	1.031	1.028	1.026	1.029	1.031	1.030	1.031	1.031	1.031	1.029	1.049	1.048	1.036	1.033	1.042	1.032	1.043	1.038	1.031	1.031	1.031	1.031	1.023	1.029	1.032	
S/E Cardones	224	1.029	1.029	1.026	1.025	1.027	1.029	1.027	1.029	1.029	1.030	1.028	1.050	1.049	1.035	1.032	1.042	1.030	1.038	1.037	1.030	1.030	1.030	1.029	1.022	1.027	1.031	
S/E Maitencillo	226	1.036	1.036	1.033	1.032	1.033	1.035	1.035	1.035	1.036	1.038	1.035	1.047	1.049	1.040	1.040	1.047	1.037	1.039	1.039	1.038	1.036	1.037	1.036	1.037	1.036	1.035	
S/E Punta Colorada	228	1.034	1.034	1.031	1.030	1.029	1.033	1.033	1.033	1.033	1.036	1.033	1.045	1.048	1.039	1.040	1.050	1.036	1.037	1.037	1.036	1.035	1.038	1.034	1.036	1.031	1.017	
S/E Pan de Azúcar	228	1.028	1.028	1.024	1.023	1.021	1.027	1.027	1.030	1.029	1.029	1.026	1.038	1.042	1.032	1.035	1.047	1.030	1.031	1.030	1.029	1.029	1.034	1.027	1.030	1.026	1.003	
S/E Las Palmas	228	1.017	1.017	1.015	1.014	1.013	1.016	1.017	1.018	1.021	1.018	1.022	1.027	1.026	1.020	1.022	1.029	1.019	1.019	1.019	1.018	1.019	1.018	1.019	1.018	1.016	1.001	
S/E Los Vilos	226	1.010	1.010	1.009	1.008	1.008	1.008	1.010	1.011	1.004	1.010	1.012	1.019	1.019	1.014	1.015	1.021	1.013	1.012	1.013	1.011	1.012	1.013	1.010	1.012	1.010	1.001	
S/E Nogales	226	0.989	0.989	0.988	0.988	0.987	0.984	0.989	0.989	0.988	0.989	0.991	0.992	0.991	0.990	0.990	0.993	0.990	0.989	0.989	0.989	0.987	0.989	0.989	0.988	0.987	0.987	
S/E Quillota	226	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.983	0.985	0.985	0.985	0.985	0.986	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	
S/E Polpaico	224	0.997	0.997	0.997	0.996	0.992	0.997	0.998	0.997	0.997	0.996	0.999	1.000	0.998	0.999	1.002	1.000	0.998	0.998	0.998	1.001	0.998	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	
NODOS		Us [kV]		Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																								
S/E Los Changos	510	0.972	0.972	0.975	0.965	0.962	0.963	0.958	0.973	0.975	0.974	0.972	0.973	1.014	0.990	0.982	0.979	0.984	0.977	0.975	0.973	0.976	0.973	0.976	0.975	0.976	0.969	0.976
S/E Cumbre	510	0.985	0.985	0.979	0.970	0.977	0.961	0.984	0.985	0.983	0.986	0.991	1.007	1.005	0.994	0.990	0.996	0.988	0.984	0.982	0.986	0.984	0.985	0.985	0.986	0.976	0.985	
S/E Nva Cardones	505	0.982	0.982	0.975	0.966	0.973	0.956	0.981	0.982	0.980	0.983	0.989	0.998	1.003	0.991	0.987	0.994	0.984	0.981	0.979	0.982	0.980	0.982	0.982	0.982	0.972	0.982	
S/E Nueva Maitencillo	510	0.987	0.987	0.982	0.979	0.976	0.954	0.986	0.987	0.984	0.987	0.994	0.998	1.002	0.993	0.993	1.002	0.990	0.986	0.984	0.987	0.985	0.986	0.987	0.980	0.979	0.988	
S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.000	1.000	0.995	0.994	0.991	0.960	0.999	1.000	0.999	0.996	1.004	1.011	1.014	1.007	1.011	1.022	1.003	1.002	1.000	1.002	1.000	1.002	1.000	0.996	0.995	1.006	
S/E Polpaico	504	0.972	0.972	0.971	0.970	0.968	0.954	0.972	0.972	0.971	0.967	0.980	0.978	0.979	0.975	0.976	0.981	0.978	0.973	0.973	0.973	0.970	0.973	0.972	0.971	0.970	0.973	
S/E Los Changos	220	0.991	0.991	0.980	0.977	0.985	0.981	0.989	0.991	0.991	0.987	1.001	1.036	1.015	1.005	1.000	1.010	0.993	0.996	0.993	0.993	0.990	0.993	0.992	0.996	0.989	0.989	
S/E Diego de Almagro	224	0.990	0.990	0.989	0.988	0.988	0.985	0.989	0.990	0.989	0.990	0.991	0.992	0.993	0.991	0.991	0.992	0.990	0.980	0.988	0.990	0.990	0.990	0.990	0.986	0.985	0.989	
S/E Carrera Pinto	224	0.989	0.989	0.987	0.985	0.983	0.980	0.987	0.989	0.988	0.989	0.991	0.994	0.994	0.989	0.991	0.993	0.990	0.982	0.985	0.989	0.986	0.989	0.989	0.981	0.980	0.987	
S/E San Andrés	224	0.987	0.987	0.984	0.982	0.983	0.975	0.984	0.987	0.986	0.987	0.990	0.993	0.995	0.990	0.989	0.991	0.988	0.983	0.981	0.987	0.986	0.987	0.987	0.977	0.976	0.983	
S/E Cardones	224	0.986	0.986	0.983	0.980	0.982	0.973	0.983	0.986	0.985	0.987	0.989	0.993	0.996	0.990	0.989	0.992	0.987	0.984	0.980	0.987	0.985	0.986	0.986	0.975	0.974	0.983	
S/E Maitencillo	226	0.997	0.997	0.994	0.990	0.991	0.976	0.997	0.996	0.995	0.996	1.002	1.004	1.006	1.001	1.001	1.006	0.999	0.996	0.994	0.998	0.996	0.997	0.997	0.970	0.995	0.987	
S/E Punta Colorada	228	0.988	0.988	0.986	0.982	0.979	0.957	0.989	0.986	0.985	0.989	0.995	0.995	0.998	0.992	0.993	0.999	0.991	0.988	0.986	0.989	0.987	0.987	0.988	0.965	0.967	0.963	
S/E Pan de Azúcar	228	0.984	0.984	0.982	0.979	0.974	0.948	0.984	0.982	0.979	0.986	0.991	0.990	0.992	0.988	0.989	0.996	0.987	0.984	0.983	0.985	0.982	0.983	0.984	0.969	0.961	0.945	
S/E Las Palmas	228	0.960	0.960	0.958	0.956	0.952	0.917	0.960	0.958	0.952	0.962	0.969	0.967	0.968	0.964	0.966	0.972	0.960	0.960	0.958	0.961	0.953	0.961	0.961	0.949	0.943	0.922	
S/E Los Vilos	226	0.963	0.963	0.961	0.959	0.956	0.926	0.963	0.961	0.953	0.964	0.971	0.968	0.969	0.966	0.968	0.972	0.963	0.963	0.960	0.963	0.954	0.964	0.963	0.954	0.950	0.930	
S/E Nogales	226	0.964	0.964	0.962	0.962	0.960	0.949	0.964	0.963	0.962	0.964	0.968	0.967	0.968	0.966	0.967	0.969	0.964	0.964	0.962	0.964	0.954	0.965	0.964	0.960	0.959	0.956	
S/E Quillota	226	0.953	0.953	0.952	0.951	0.949	0.940	0.953	0.952	0.951	0.954	0.963	0.959	0.959	0.955	0.956	0.961	0.953	0.952	0.952	0.952	0.952	0.952	0.954	0.953	0.950	0.949	0.950
S/E Polpaico	224	0.972	0.972	0.971	0.970	0.968	0.959	0.971	0.971	0.970	0.972	0.975	0.974	0.975	0.973	0.974	0.977	0.973	0.971	0.971	0.972	0.962	0.971	0.972	0.970	0.968	0.969	

Tabla 5-24: Tensiones máximas y mínimas, propuesta operación con un circuito de Los Changos – Cumbre 2x500kV fuera de servicio.

La siguiente figura muestra la simulación dinámica de la pérdida del reactor de barra de los Changos considerando un circuito de la línea Los Changos – Cumbres 2x500kV fuera de servicio. De la figura se puede ver que se obtienen las mismas conclusiones que en el análisis estático.

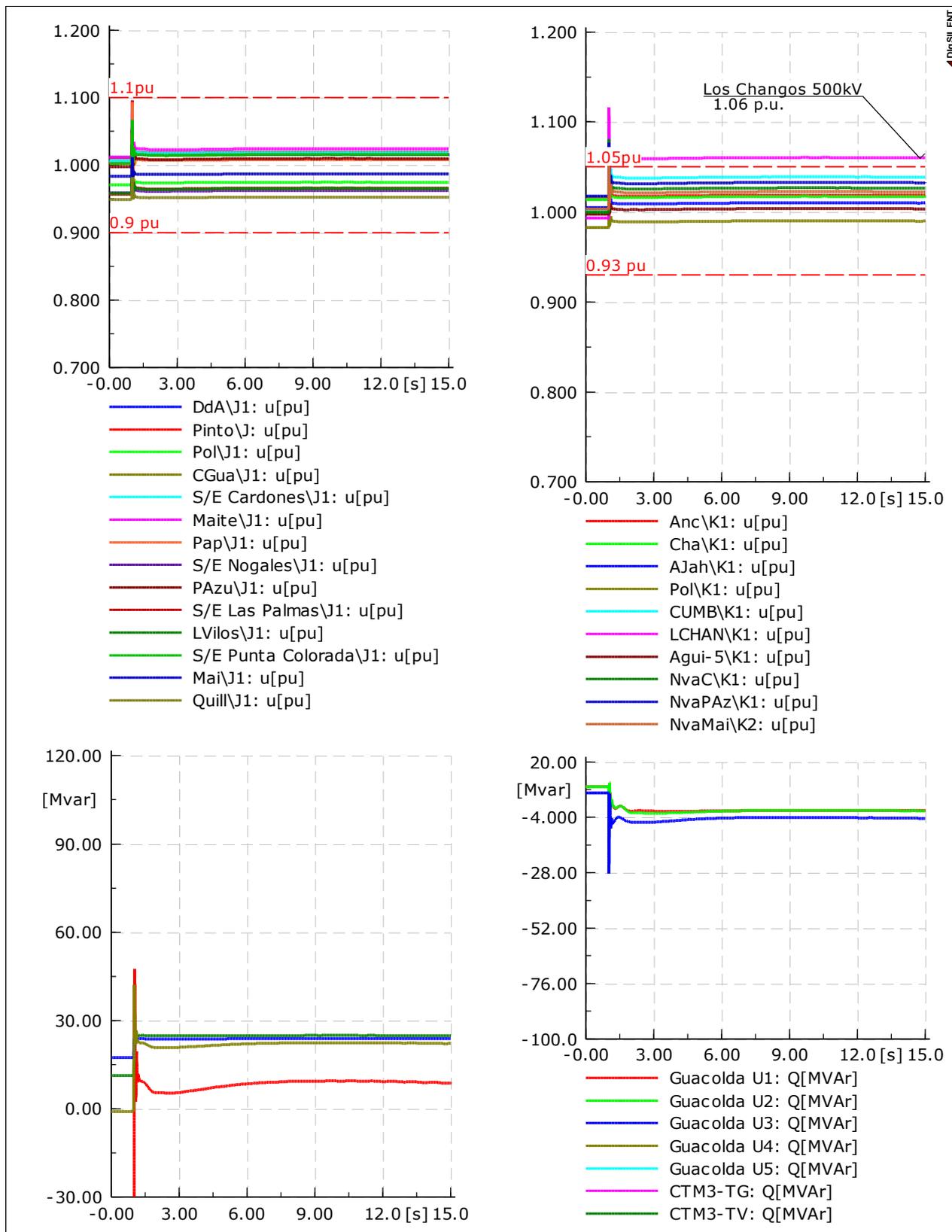


Figura 5-11: Simulación pérdida reactor de barra los Changos con un circuito de la línea Los Changos – Cumbres 2x500kV fuera de servicio.

5.4.4 Análisis desconexión conjunta reactor – circuito de línea 500kV

Dado que las únicas contingencias que provocan violaciones de tensión son las relacionadas con la salida de servicio de los reactores de las subestaciones Los Changos, Nueva Cardones y Nueva Pan de Azúcar, puede considerarse como alternativa a la operación con un único circuito entre Los Changos y Cumbre, que la desconexión del reactor cause la desconexión de su línea adyacente (propuesto para Fase I).

Esta condición de operación mantendría a los equipos de control de reactivos con mínimas reservas para la absorción lo cual sería compensado con la desconexión de la línea de transmisión ante la salida de reactores. Cabe destacar que generalmente las contingencias de mayor impacto para el sistema provocan subtensión por lo cual no se presentarían condiciones críticas desde este punto de vista.

En la Tabla 5-25 se muestran los valores máximos y mínimos de tensión obtenidos para todos los escenarios de estudio. Tal como puede observarse, considerando la desconexión simultánea de reactor y línea, sólo se presentan tensiones levemente mayores al límite normativo ante la salida de servicio del reactor de la S/E Nueva Cardones. En la Figura 5-12 se muestra la respuesta dinámica de esta contingencia sobre el escenario más crítico (mayor nivel de sobretensión) de la misma pueden extraerse las mismas conclusiones que del análisis estático.

Como se puede ver de la Tabla 5-25, en red N-1 siguen existiendo tensiones elevadas tras la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV, aun considerando la desconexión de circuito de línea adyacente. Sin embargo, ya se había visto para red n la necesidad de operar con despacho forzado de unidades térmicas. Por lo que se concluye que la desconexión conjunta reactor-circuito de línea adyacente es una medida factible y eficaz si, además se considera el despacho forzado de unidades sincrónicas capaces de controlar tensión en el SIC norte. En la Figura 5-13 se muestra el estado del sistema tras la desconexión reactor de barra N. Cardones 500kV con desconexión de circuito de línea adyacente en escenario de hidrología húmeda – demanda baja - sin ERNC y despacho forzado de CTM3.



Tensiones Finales en red N-1			RED N	CONTINGENCIAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				01 Lne LCharin-Cumb C1 500kV	02 Lne Cumb-NCard C1 500kV	03 Lne NMaí-Ncard C1 500kV	04 Lne NMaí-NPAzu C1 500kV	05 Lne NPAzu-Pol C1 500kV	06 Maít - Card C1 220kV	07 Maít-Abasol C1 220kV	08 LVII-Lpalm C2 220kV	09 Guacolda U1	10 CTM3	11 Reactor B. Lchan + Línea 500kV	12 Reactor B. Ncard + Línea 500kV	13 Reactor L. Ncard-NMaít 500kV	14 Reactor L. NPAzu-NMaít 500kV	15 Reactor NPAzu-Pol + Línea 500kV	16 Reactor B. Pol 500kV	17 SVC Plus	18 CER Cardones	19 CER Maitencillo	20 CER Polpaico	21 CER Pan de Azu	22 Trafo LChan 500/220kV	23 Trafo NCard 525/230/34.5kV	24 Trafo NMaít 525/230/34.5kV	25 Trafo NPAzu 525/230/34.5kV																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
NODOS		Us [kV]	Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
S/E Los Chagos	510	1.024	1.000	1.020	1.017	1.021	1.025	1.023	1.024	1.025	1.025	1.031	1.049	1.054	1.037	1.030	1.025	1.026	1.033	1.032	1.026	1.025	1.039	1.027	1.027	S/E Cumbre	510	1.029	1.010	1.024	1.020	1.025	1.029	1.027	1.029	1.029	1.030	1.036	1.038	1.059	1.042	1.036	1.029	1.031	1.039	1.037	1.031	1.030	1.031	1.030	1.044	1.032	1.032	S/E Nva Cardones	505	1.020	1.006	1.012	1.010	1.016	1.021	1.018	1.020	1.021	1.022	1.026	1.026	1.046	1.033	1.028	1.021	1.023	1.031	1.029	1.022	1.021	1.022	1.021	1.034	1.023	1.024	S/E Nueva Maitencillo	510	1.016	1.006	1.010	1.008	1.010	1.016	1.014	1.016	1.016	1.017	1.020	1.019	1.034	1.026	1.025	1.016	1.019	1.025	1.023	1.018	1.017	1.018	1.016	1.023	1.021	1.021	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.024	1.016	1.019	1.017	1.015	1.024	1.022	1.024	1.024	1.025	1.027	1.026	1.039	1.032	1.035	1.024	1.027	1.031	1.030	1.026	1.025	1.027	1.024	1.028	1.027	1.032	S/E Polpaico	504	0.999	0.997	0.998	0.997	0.996	0.988	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	1.000	1.004	1.002	1.003	0.988	1.005	1.002	1.001	1.000	1.002	1.000	0.999	1.001	1.000	1.001	S/E Los Chagos	220	1.037	1.016	1.032	1.030	1.033	1.041	1.034	1.036	1.037	1.037	1.047	1.066	1.071	1.054	1.047	1.041	1.040	1.050	1.048	1.039	1.037	1.039	1.038	1.055	1.038	1.040	S/E Diego de Almagro	224	1.032	1.028	1.030	1.029	1.031	1.034	1.031	1.032	1.033	1.032	1.030	1.035	1.057	1.042	1.035	1.034	1.033	1.078	1.047	1.033	1.033	1.033	1.033	1.033	1.025	1.032	1.033	S/E Carrera Pinto	224	1.041	1.032	1.036	1.034	1.038	1.043	1.039	1.041	1.042	1.041	1.037	1.046	1.067	1.053	1.047	1.044	1.043	1.075	1.057	1.043	1.042	1.043	1.042	1.027	1.040	1.043	S/E San Andrés	224	1.043	1.031	1.036	1.033	1.038	1.045	1.039	1.042	1.043	1.042	1.039	1.049	1.069	1.055	1.049	1.045	1.045	1.069	1.060	1.045	1.043	1.045	1.043	1.025	1.041	1.045	S/E Cardones	224	1.042	1.029	1.035	1.032	1.038	1.046	1.039	1.042	1.043	1.042	1.040	1.050	1.069	1.056	1.050	1.046	1.045	1.063	1.060	1.045	1.043	1.045	1.043	1.024	1.041	1.045	S/E Maitencillo	226	1.042	1.036	1.038	1.037	1.038	1.044	1.040	1.041	1.042	1.045	1.045	1.047	1.059	1.051	1.049	1.044	1.044	1.051	1.050	1.045	1.043	1.044	1.042	1.044	1.039	1.041	S/E Punta Colorada	228	1.041	1.034	1.037	1.035	1.035	1.042	1.039	1.045	1.042	1.044	1.044	1.045	1.057	1.049	1.049	1.043	1.043	1.049	1.048	1.044	1.042	1.045	1.041	1.045	1.037	1.020	S/E Pan de Azúcar	228	1.035	1.028	1.031	1.029	1.027	1.035	1.033	1.037	1.037	1.037	1.038	1.038	1.050	1.043	1.045	1.035	1.038	1.042	1.041	1.037	1.036	1.041	1.035	1.040	1.033	1.005	S/E Las Palmas	228	1.023	1.017	1.019	1.018	1.018	1.022	1.022	1.024	1.026	1.022	1.022	1.027	1.034	1.029	1.030	1.022	1.026	1.028	1.025	1.023	1.027	1.023	1.026	1.023	1.003	1.003	S/E Los Vilos	226	1.017	1.010	1.014	1.012	1.013	1.014	1.016	1.017	1.009	1.014	1.013	1.019	1.024	1.021	1.021	1.014	1.019	1.020	1.020	1.018	1.017	1.019	1.017	1.019	1.016	1.004	S/E Nogales	226	0.990	0.988	0.989	0.989	0.989	0.986	0.990	0.991	0.989	0.988	0.986	0.992	0.994	0.985	0.993	0.986	0.993	0.992	0.992	0.991	0.991	0.991	0.990	0.991	0.990	0.989	S/E Quillota	226	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.983	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.985	0.985	0.985	0.985	0.983	0.986	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	S/E Polpaico	224	0.999	0.997	0.998	0.998	0.997	0.993	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999	0.999	1.002	1.000	1.001	0.993	1.002	1.000	1.000	0.999	1.003	0.999	0.999	1.000	0.999	0.999
NODOS		Us [kV]	Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
S/E Los Chagos	510	0.998	0.964	0.995	0.987	0.992	0.981	0.997	0.998	0.997	0.999	1.011	1.013	1.010	1.005	1.002	0.981	1.000	0.998	0.998	0.998	0.997	0.998	1.004	0.994	0.999	S/E Cumbre	510	1.003	0.981	0.999	0.990	0.996	0.982	1.003	1.004	1.001	1.004	1.016	1.007	1.018	1.011	1.007	0.982	1.005	1.003	1.003	1.004	1.002	1.003	1.004	1.009	0.998	1.004	S/E Nva Cardones	505	0.995	0.979	0.987	0.980	0.987	0.972	0.995	0.996	0.992	0.996	1.007	0.998	1.009	1.004	1.000	0.972	0.997	0.995	0.995	0.995	0.993	0.995	0.995	1.001	0.989	0.996	S/E Nueva Maitencillo	510	0.996	0.985	0.991	0.987	0.986	0.967	0.998	0.998	0.993	0.997	1.007	0.998	1.006	1.002	1.002	0.968	0.998	0.996	0.996	0.997	0.994	0.996	0.996	0.994	0.994	0.999	S/E Nueva Pan de Azucar	510	1.010	1.000	1.006	1.003	0.998	0.972	1.011	1.011	1.006	1.011	1.014	1.011	1.017	1.014	1.018	0.972	1.011	1.010	1.010	1.010	1.007	1.010	1.010	1.007	1.010	1.017	S/E Polpaico	504	0.975	0.970	0.973	0.972	0.970	0.958	0.975	0.975	0.973	0.972	0.983	0.978	0.980	0.979	0.980	0.958	0.975	0.975	0.975	0.976	0.971	0.976	0.976	0.975	0.972	0.978	S/E Los Chagos	220	1.018	0.979	1.013	1.002	1.010	0.997	1.017	1.018	1.016	1.017	1.040	1.034	1.031	1.026	1.024	0.997	1.018	1.018	1.018	1.018	1.016	1.018	1.016	1.018	1.012	1.023	S/E Diego de Almagro	224	0.982	0.979	0.981	0.980	0.981	0.978	0.981	0.982	0.982	0.982	0.994	0.983	0.985	0.984	0.983	0.978	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.976	0.977	0.991	S/E Carrera Pinto	224	0.984	0.978	0.982	0.980	0.981	0.977	0.982	0.984	0.983	0.984	0.997	0.986	0.990	0.987	0.986	0.977	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.972	0.975	0.988	S/E San Andrés	224	0.985	0.978	0.982	0.979	0.982	0.976	0.982	0.985	0.984	0.985	0.997	0.988	0.992	0.989	0.988	0.976	0.985	0.985	0.985	0.985	0.984	0.985	0.985	0.969	0.973	0.987	S/E Cardones	224	0.987	0.979	0.983	0.981	0.983	0.977	0.984	0.987	0.986	0.987	0.997	0.990	0.995	0.992	0.990	0.977	0.987	0.987	0.987	0.987	0.986	0.987	0.987	0.970	0.974	0.989	S/E Maitencillo	226	1.003	0.995	0.999	0.995	0.997	0.985	1.004	1.003	1.000	1.002	1.010	1.004	1.009	1.007	1.006	0.985	1.004	1.003	1.003	1.004	1.002	1.003	1.003	0.979	0.997	0.994	S/E Punta Colorada	228	0.994	0.986	0.990	0.987	0.984	0.968	0.994	0.990	0.990	0.994	1.001	0.995	1.000	0.998	0.998	0.969	0.994	0.994	0.994	0.994	0.991	0.994	0.994	0.974	0.972	0.963	S/E Pan de Azúcar	228	0.986	0.979	0.983	0.980	0.977	0.960	0.986	0.984	0.981	0.987	0.996	0.989	0.993	0.990	0.992	0.960	0.986	0.986	0.986	0.983	0.987	0.986	0.986	0.977	0.967	0.938	S/E Las Palmas	228	0.960	0.954	0.957	0.955	0.952	0.926	0.960	0.958	0.951	0.961	0.975	0.962	0.966	0.964	0.965	0.926	0.960	0.960	0.960	0.960	0.954	0.960	0.960	0.953	0.943	0.908	S/E Los Vilos	226	0.964	0.959	0.962	0.960	0.958	0.933	0.964	0.962	0.955	0.966	0.975	0.966	0.969	0.967	0.968	0.933	0.964	0.964	0.964	0.964	0.958	0.965	0.964	0.959	0.951	0.924	S/E Nogales	226	0.967	0.965	0.966	0.965	0.963	0.952	0.968	0.967	0.965	0.968	0.971	0.967	0.969	0.968	0.969	0.952	0.968	0.967	0.967	0.967	0.961	0.967	0.967	0.965	0.963	0.958	S/E Quillota	226	0.958	0.954	0.956	0.955	0.954	0.944	0.958	0.957	0.956	0.958	0.965	0.959	0.961	0.960	0.961	0.944	0.958	0.958	0.958	0.958	0.950	0.958	0.958	0.957	0.954	0.953	S/E Polpaico	224	0.973	0.972	0.972	0.972	0.970	0.961	0.979	0.979	0.972	0.974	0.978	0.974	0.978	0.974	0.976	0.961	0.976	0.973	0.973	0.974	0.969	0.973	0.974	0.973	0.973	0.972

Tabla 5-25: Tensiones máximas y mínimas propuesta desconexión conjunta reactor-circuito de línea adyacente.

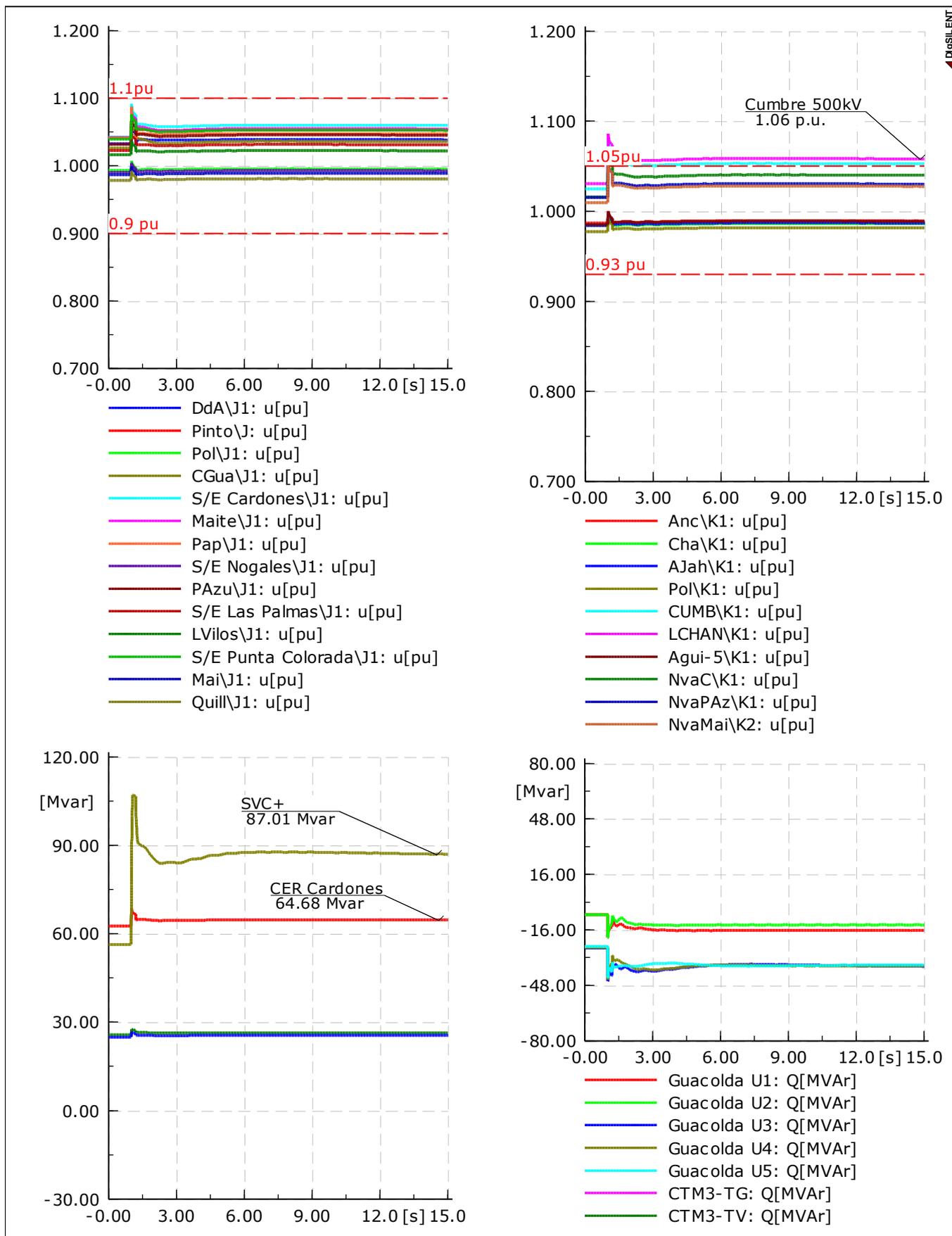


Figura 5-12: Desconexión reactor de barra N. Cardones 500kV con desconexión de circuito de línea adyacente, escenario de hidrología húmeda – demanda baja . sin ERNC.

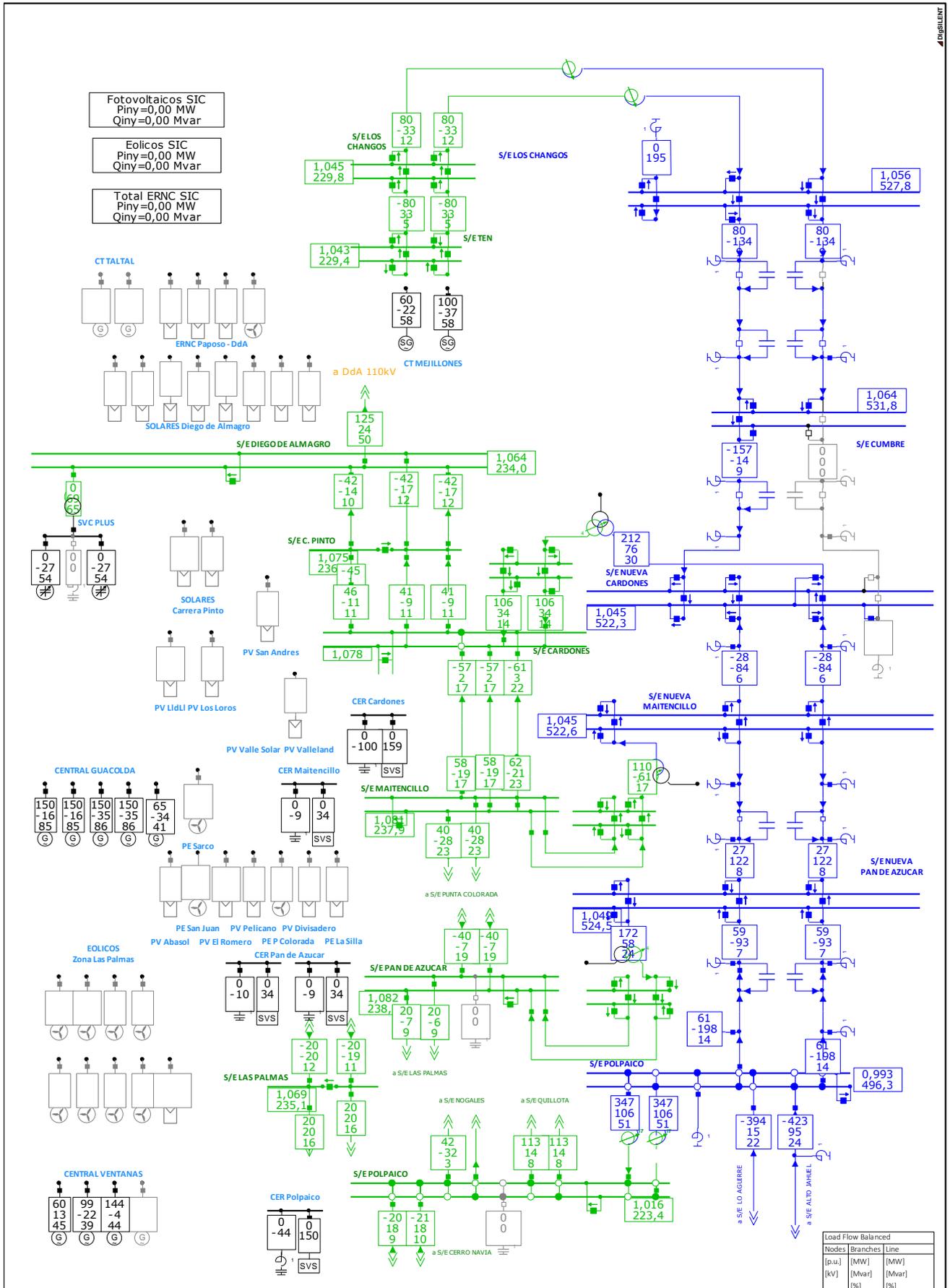


Figura 5-13: Desconexión reactor de barra N. Cardones 500kV con desconexión de circuito de línea adyacente, escenario de hidrología húmeda – demanda baja - sin ERNC + despacho forzado CTM3.

5.5 Principales resultados y conclusiones de Fase II

En función de lo analizado para las condiciones de red N y red N-1, se encuentra que las condiciones para el control de tensión de la zona en estudio resultan críticas y están influenciadas directamente por el corredor Nueva Cardones – Nueva Maitencillo – Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV. Siendo que este sistema no fue diseñado para estar “auto-compensado” (inyecta al sistema cerca de 500MVAR en vacío), se prevé que, adicional a los problemas de sobretensión en la zona norte del SIC encontrados en Fase I producto de la pérdida de un reactor, existirán problemas de sobretensión en condiciones normales de operación. Por otro lado, en la zona centro no se observan problemas de control de tensión, si bien los requerimientos de reactivos son grandes ante fallas de pérdidas de circuito de línea como Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV, el sistema lo soporta sin problemas.

Al igual como ocurre para Fase I, se puede ver que, en general, los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los nuevos parques ERNC podrían no participar del control de tensión (aunque está estipulado en la NTSyCS enero 2016), el CDC puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva (inductiva en este caso) para disminuir las tensiones de la zona, tal como lo hace en la actualidad con los parques existentes. En consideración de lo anterior, se encuentra que los parques ERNC tienen un gran potencial para el control de tensión (sea en modo PV o PQ) sobre todo en la zona norte del SIC donde se proyecta un importante aumento en la capacidad instalada de parques fotovoltaicos.

A continuación, se resumen las principales conclusiones obtenidas de los análisis realizados para Fase II.

5.5.1 Operación en red N

A partir de los análisis realizados se extraen las siguientes conclusiones:

- **El nuevo corredor 2x500kV Nueva Cardones - Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar - Polpaico no fue diseñado para estar “auto-compensado”**, es decir, tiene un comportamiento capacitivo por lo que se prevé que inyectará potencia reactiva al sistema, empeorando las condiciones de sobretensión post-contingencia observadas en la Fase I del estudio. Esto implica que, al operar con todos sus equipos en servicio, los recursos de control de tensión de la zona estarán aún más exigidos, absorbiendo dicha potencia reactiva para ajustarse a las consignas de tensión.
- A partir de los escenarios estudiados, se observa que las tensiones del norte del SIC presentan niveles elevados en condición de red completa, en muchos casos inadmisibles si se consideran tensiones de servicio iguales a las nominales.

- Adicionalmente, se encuentra en que en la mayoría de los escenarios de estudio los CERs y el SVC Plus del norte del SIC presentan una gran ocupación de su capacidad, y hasta en ciertos casos, éstos se encuentran saturados (absorbiendo reactivos). Del mismo modo, las unidades sincrónicas de la CT Guacolda y CTM3 presentan condiciones de sub-excitación considerables en la mayoría de los escenarios.
- Se encuentra que los escenarios con alta generación ERNC en la zona norte del SIC son los menos críticos de los escenarios estudiados, debido a que, si bien los parques ERNC podrían no participar del control de tensión, el CDC puede asignarles una consigna fija de potencia reactiva (inductiva en este caso) para disminuir las tensiones de la zona.
- A partir del análisis de efectividad de los recursos para el control de tensión, se encuentra que es posible definir dos áreas de control de tensión. En la tabla a continuación, se resumen las ACT propuestas junto con los RTC más influyentes en cada barra del sistema.

ACT	Barra	Recursos para el control de tensión
ACT#1	DIEGO DE ALMAGRO 220kV	SVC Plus/CER Cardones
	CARRERA PINTO 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda
	SAN ANDRÉS 220kV	
	CARDONES 220kV	
	LOS CHANGOS 220kV	SVC Plus/CER Cardones/ CT Guacolda/CTM3
	LOS CHANGOS 500kV	
	CUMBRE 500kV	
	NUEVA CARDONES 500kV	
	MAITENCILLO 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda
	N. MAITENCILLO 500kV	
	PUNTA COLORADA 220kV	CER Cardones/ CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
	PAN DE AZÚCAR 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar
N. PAN DE AZÚCAR 500kV	CT Guacolda	
barra frontera	LAS PALMAS 220kV	CT Guacolda/ CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
ACT#2	LOS VILOS 220kV	CER Pan de Azúcar/ CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	NOGALES 220kV	CT Ventanas/ CT San Luis/ CER Polpaico
	QUILLOTA 220kV	
	POLPAICO 220kV	
	POLPAICO 500kV	CER Polpaico

Tabla 5-26: ACT y principales recursos de control de tensión por barra, Fase II.

- Al igual como se vio para Fase I, las barras que presentan mayores sensibilidades en condiciones de operación normal de la red resultan: **Los Changos 500kV y 220kV, Cumbre 500kV, Nueva Cardones 500kV, Las Palmas 220kV, Los Vilos 220kV y Punta Colorada 220kV**. Esto se debe a que su distancia eléctrica a los puntos de

control (Pan de Azúcar y Nogales) no se ve alterada por la puesta en servicio del nuevo sistema de 500kV.

5.5.2 Operación en red n-1

A partir de los análisis realizados en red n-1 se extraen las siguientes conclusiones:

- Se encuentra que las contingencias más exigentes para el sistema, son la desconexión (no simultanea) de alguno de los siguientes elementos:
 - i. **Reactor de barra Los Changos (175MVar)**
 - ii. **Reactor de barra Cardones (175MVar)**
 - iii. **Reactores de línea Los Changos - Cumbre (150MVar c/u)**
 - iv. **Reactores de línea Polpaico – Nueva Pan de Azúcar 500kV (175Mvar c/u)**
 - v. **SVC Plus Diego de Almagro**
- Tras la ocurrencia de alguna de las contingencias listadas anteriormente, el sistema experimenta elevados niveles de tensión, en algunos casos, muy por encima de los establecidos en la NTSyCS para Estado de Emergencia.

5.6 Recomendaciones y propuestas Fase II

Las condiciones de operación de la red bajo la topología de la fase en estudio resultan complejas debido a la inyección de reactivos del nuevo sistema de transmisión. Esto provoca que los RCT no resulten suficientes para el control de las tensiones tanto de red N como red N-1. Por este motivo se proponen medidas operativas a saber:

5.6.1 Operación en red n

En consideración de los resultados y conclusiones obtenidos para red n en Fase II se evalúan alternativas para la operación:

Tensiones de servicio

La propuesta para la definición de tensiones de servicio es la siguiente:

- ✓ **Los Changos: 510kV**
- ✓ **Cumbre: 510kV**
- ✓ **Nueva Cardones: 505kV**
- ✓ **Nueva Maitencillo: 510kV**
- ✓ **Nueva Pan de Azúcar: 510kV**

Operación con los CCSS

- Se recomienda operar con los CCSS de la línea Nueva. Pan de Azúcar-Polpaico 2x500kV fuera de servicio para transferencias menores a 800MW.

- En cuanto a los CCSS de las líneas entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar, se recomienda la operación con los mismos en servicio para todo nivel de transferencia.

Apertura de líneas de 500kV

La operación con un circuito del tramo Los Changos-Cumbre fuera de servicio permite relajar significativamente las condiciones de absorción de reactivos manteniendo todas las barras de la zona dentro de los límites normativos respecto a sus tensiones de servicio.

Esta condición puede ser una alternativa para mejorar las condiciones de operación tanto pre como post-contingencia.

Absorción ERNC de noche

Alternativamente, la operación de los parques fotovoltaicos absorbiendo potencia reactiva en escenarios "de noche" muestra ser una opción efectiva en el control de tensión en red n. No obstante, siendo que se desconoce si los parques contarán con dicha capacidad para el momento de la puesta en servicio de las nuevas obras, puede considerarse como una medida complementaria a la propuesta de **Apertura de líneas de 500kV**.

5.6.2 Operación en red n-1

En consideración de los resultados y conclusiones obtenidos para red n-1 en Fase II se evalúan alternativas para la operación:

Apertura de circuito líneas de 500kV Los Changos-Cumbre

Como se mencionó anteriormente, la operación con un circuito del tramo Los Changos-Cumbre fuera de servicio permite relajar significativamente las condiciones de absorción de reactivos manteniendo todas las barras de la zona dentro de los límites normativos respecto a sus tensiones de servicio.

Esta condición puede ser una alternativa para mejorar las condiciones de operación tanto pre como post-contingencia.

Desconexión conjunta reactor-circuito de línea 500kV

De decidirse operar con la red completa, es posible afrontar la desconexión de los reactores de las barras Los Changos y Nueva Cardones si los mismos desconectan en simultáneo un circuito de línea adyacente. Cabe destacar que esta condición permitiría operar con todos los elementos de la red en servicio a costa de un despacho forzado para mantener las tensiones en red n dentro de los límites establecidos por la NTSyCS para operación en Estado Normal y dar margen a los RCT para el control de contingencias.

A continuación, se describen los tres casos de desconexión de reactor con la consiguiente apertura automática del circuito adyacente.

- ✓ Ante la pérdida del reactor de barra de Los Changos 500kV (175MVAR), se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV, de manera de causar la apertura de esta línea.
- ✓ Ante la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV (175MVAR), se produzca la apertura simultánea de los interruptores de uno de los circuitos de la línea Cumbre - Nueva Cardones 2x500kV, de manera de causar la apertura de esta línea.
- ✓ Ante la pérdida de un reactor de línea (150MVAR) de uno de los circuitos la línea Los Changos - Cumbre, se produzca la apertura los interruptores uno de los circuitos de la línea Los Changos – Cumbre 2x500kV, produciendo la apertura de esta línea.

La apertura automática de los circuitos de línea propuesta anteriormente, se implementaría a través de un ajuste que de orden de desenganche directo del circuito correspondiente tras la pérdida de reactor. Estas acciones permiten un desempeño satisfactorio del sistema si se considera además el despacho forzado de unidades en el SIC norte.

6 DESARROLLO FASE III

6.1 Escenarios de análisis

Para el análisis de esta fase del estudio se consideraron los siguientes escenarios específicos:

- 5 escenarios con transferencias SING→SIC: 4 escenarios considerando la variabilidad de la demanda y la generación ERNC, más 1 escenario con máxima generación térmica en el centro del SIC.
- 3 escenarios con transferencias SIC→SING, considerando variabilidad de demanda y generación ERNC.
- 1 Escenario con transferencias nulas por la interconexión.
- 1 escenario con máximas transferencias Kapatur → Los Changos sin generación en la S/E TEN.
- 1 escenario con demanda baja mínima (7000MW)

A continuación, se muestran las principales características de estos escenarios específicos, donde las barras indican el porcentaje respecto del valor total o máximo según tecnología de generación, demanda y generación por zona:

Escenario:	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERNC_DB_HS	F3 - E02_Max_SING-SIC_NERNC_DB_HS	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS	F3 - E04_Max_SING-SIC_NERNC_DA_HS	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
Generacion Total [MW]	8277	8289	10880	10917	8348
+ HIDRAULICO [%]	17	18	20	25	64
+ TERMICO [%]	46	82	50	75	36
+ EOLICO [%]	12	0	11	0	0
+ SOLAR [%]	25	0	19	0	0
Reserva CF SING [MW] (Efectiva)	142	171	156	135	131
Reserva CF SIC [MW] (Efectiva)	171	154	199	172	251
Reserva CF TOTAL [MW] (Efectiva)	313	325	355	307	383
Demanda Neta SING [MW]	2304	2379	2710	2747	2280
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1126	1126	1202	1216	1126
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	4484	4484	6480	6480	4484
Demanda Neta TOTAL [MW]	7914	7989	10392	10443	7889
EDAC SING [MW]	767	767	767	767	767
EDAC SIC [MW]	1055	1055	1483	1483	1055
EDAC TOTAL [MW]	1822	1822	2250	2250	1822
TRANSF NPAZU -> POL 2x500kv [MW]	1496	619	1506	553	-986
TRANSF LCHAN -> CUMB 2x500kv [MW]	903	895	921	886	-877
TRANSF CHA -> ANC 2x500kv [MW]	298	724	1039	849	1772
GEN CHARRUA [MW]	788	1528	1815	1952	2473
GEN ANCOA [MW]	250	200	363	849	1125
GEN SAN LUIS [MW]	196	740	340	1460	340
GEN VENTANAS [MW]	371	634	747	817	271
GEN GUACOLDA [MW]	195	750	195	750	750
GEN EOLICA SIC [MW]	856	0	1039	0	0
GEN SOLAR SIC [MW]	1230	0	1248	0	0
GEN EOLICA SING [MW]	141	0	141	0	0
GEN SOLAR SING [MW]	954	0	854	0	0
GEN LOS CHANGOS [MW]	881	1457	1432	1722	0
GEN CHACAYA [MW]	303	626	477	626	626
GEN CRUCERO [MW]	848	1127	665	1249	704

Tabla 6-1. Resumen escenarios FASE III . Escenarios 1 al 5

Escenario:	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNIC_DB_HH	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERNIC_DA_HH	F3 - E08_0Transf_NERNIC_DB	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERNIC_DA_HS	F3 - E10_Max_Kap-IChan_CERNIC_DB_HS	F3 - E11_CERNIC_DBmin_HS (7000MW)
Generación Total [MW]	8225	10957	8252	10912	8358	7265
+ HIDRAULICO [%]	42	49	33	23	17	19
+ TERMICO [%]	15	51	67	77	46	60
+ EOLICO [%]	14	0	0	0	12	9
+ SOLAR [%]	29	0	0	0	25	13
Reserva CF SING [MW] (Efectiva)	202	195	175	135	179	169
Reserva CF SIC [MW] (Efectiva)	232	211	137	82	171	188
Reserva CF TOTAL [MW] (Efectiva)	434	406	312	217	350	357
Demanda Neta SING [MW]	2280	2706	2357	2747	2349	2141
Demanda Neta SIC NORTE [MW]	1112	1216	1126	1216	1126	943
Demanda Neta SIC RESTO [MW]	4484	6474	4484	6480	4484	3935
Demanda Neta TOTAL [MW]	7875	10396	7966	10443	7958	7019
EDAC SING [MW]	767	767	767	767	767	767
EDAC SIC [MW]	1055	1483	1055	1483	1055	914
EDAC TOTAL [MW]	1822	2250	1822	2250	1822	1681
TRANSF NPAZU -> POL 2x500kV [MW]	549	949	116	569	1496	930,0553
TRANSF LCHAN -> CUMB 2x500kV [MW]	545	793	33	886	888	903,9555
TRANSF CHA -> ANC 2x500kV [MW]	894	2017	1155	665	303	840,4436
GEN CHARRUA [MW]	1582	3022	1857	1754	788	1460,757
GEN ANCOA [MW]	560	1125	306	767	250	250
GEN SAN LUIS [MW]	0	1000	556	1700	196	195,8
GEN VENTANAS [MW]	144	634	820	847	371	470
GEN GUACOLDA [MW]	195	750	725	750	195	280
GEN EOLICA SIC [MW]	973	0	0	0	856	569,7315
GEN SOLAR SIC [MW]	1476	0	0	0	1230	424,1535
GEN EOLICA SING [MW]	152	0	0	0	141	60,808
GEN SOLAR SING [MW]	915	0	0	0	954	585,4167
GEN LOS CHANGOS [MW]	150	250	507	1722	538	813,8929
GEN CHACAYA [MW]	290	626	626	626	461	626
GEN CRUCERO [MW]	181	984	1169	1249	1108	868,4

Tabla 6-2: Resumen escenarios FASE III . Escenarios 6 al 11

El detalle de los flujos de potencia en estos escenarios se presenta en el documento "EE-ES-2016-1402-RC_Estudio 3-Anexo I_Flujos de Potencia".

6.2 Análisis en RED N

6.2.1 Impacto de las nuevas obras

Respecto a la condición de operación de las fases anteriores de estudio, la Fase III representa la interconexión SIC – SING mediante el doble circuito de 220kV Los Changos – Kapatur.

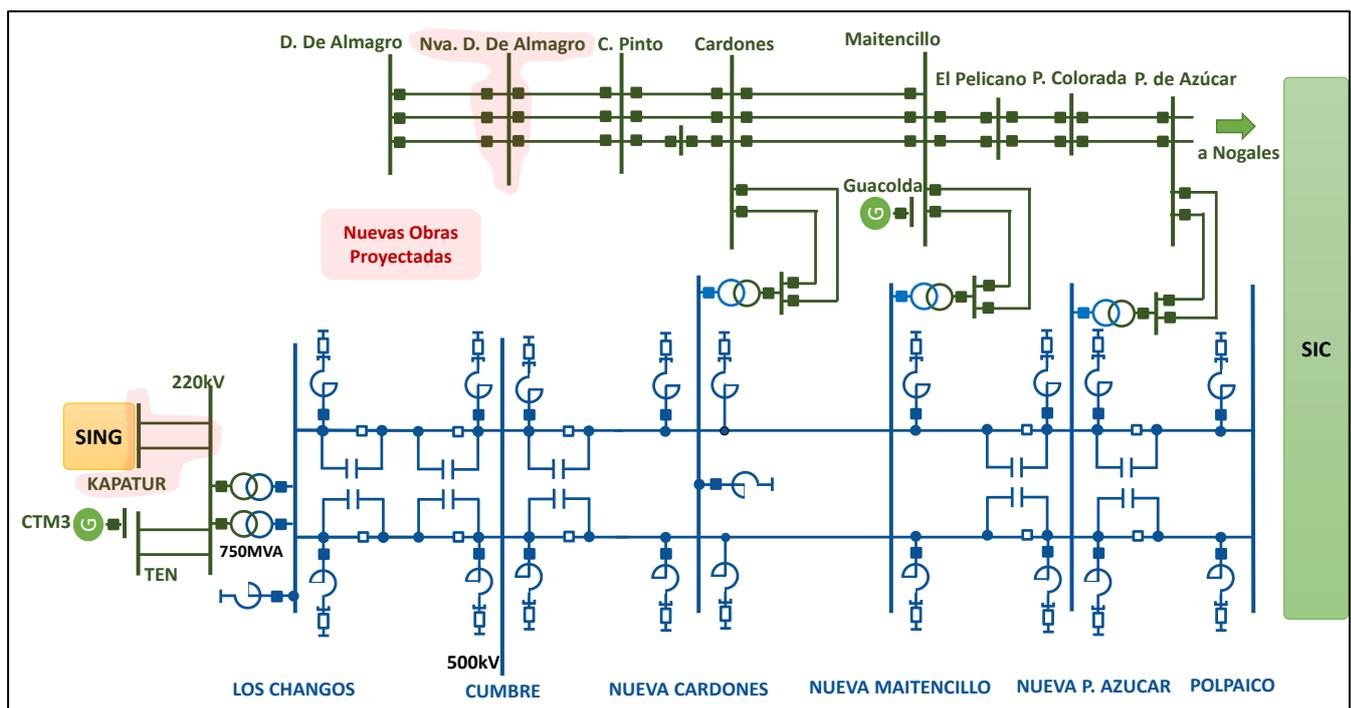


Figura 6-1: Topología de Fase III.

Respecto al control de tensión es importante tener en consideración los siguientes puntos:

- La conexión con el SING permite contar con un mejor control de tensión en las barras de 500kV del norte del sistema debido a las unidades de generación conectadas en la S/E TEN.
- La unificación de los sistemas trae asociada la posibilidad de una gran variabilidad en las transferencias por el sistema troncal (respetando los diferentes despachos económicos que se puedan presentar) debido a la gran capacidad del mismo. Esto agrega un variable de sumo interés a la hora de evaluar el control de tensión y la operación del sistema.

6.2.2 Tensiones y reservas en red N

Como punto de partida para analizar los escenarios de estudio se presenta un resumen de los resultados de los flujos de potencia, indicando las tensiones de las barras de la zona, y la utilización de los recursos de control de tensión en la misma. En el caso de las barras de 500kV desde Los Changos a Polpaico se utilizan, a priori, tensiones de nominales para calcular los niveles en pu.

En la Tabla 6-3 se resumen las tensiones en red N, donde se han resaltado los valores que están fuera de la NTSyCS para Estado de Emergencia.

A partir de Tabla 6-3 se pueden resumir las siguientes características de los escenarios:

- ✓ En condiciones de red completa en muchos escenarios la tensión en Nueva Pan de Azúcar 500kV es superior a 1.03pu de 500kV.
- ✓ La barra Cumbre 500kV presenta niveles de tensión fuera de la NTSyCS para Estado Normal (sobretensión) en base a la tensión nominal de 500kV.
- ✓ Las barras de Los Changos y Nueva Cardones presentan tensiones de operación cercanas de 500kV (con variabilidad en ambos sentidos) dependiendo del sentido y los niveles de transferencia por los circuitos que ubicados entre ellas.
- ✓ La S/E Domeyko presenta condiciones de bajas tensiones en todos los escenarios de estudio debido a los elevados niveles de demanda proyectados en la zona.
- ✓ Las barras de 220kV y 500kV (Polpaico) del centro del SIC se encuentran en todos los casos en tensiones levemente inferiores a sus tensiones de servicio actuales. Esto resulta una **condición necesaria** para evitar las que las barras de 500kV del norte, especialmente las de Nueva Pan de Azúcar, alcancen valores muy elevados.

Tensiones en red N		ESCENARIO											
		E01_Max_SING-SIC_CERNC_DB_HS	E02_Max_SING-SIC_NERNC_DB_HS	E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS	E04_Max_SING-SIC_NERNC_DA_HS	E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH	E07_Max_SIC-SING_NERNC_DA_HH	E08_0Transf_NERNC_DB	E09_Max_SING-SICCEN_NERNC_DA_HS	E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	
NODOS		Us [kV]	Tensiones en red N [p.u. de tensión de servicio]										
S/E Los Changos	500		1,023	1,018	1,027	1,009	1,024	1,011	0,991	1,012	1,002	1,022	1,009
S/E Cumbre	500		1,023	1,020	1,022	1,011	1,036	1,027	1,012	1,026	1,008	1,021	1,013
S/E Nva Cardones	500		1,006	1,005	1,003	0,997	1,023	1,015	1,003	1,012	0,995	1,004	0,999
S/E Nueva Maitencillo	500		1,021	1,018	1,016	1,009	1,025	1,026	1,012	1,022	1,010	1,019	1,014
S/E Nueva Pan de Azucar	500		1,037	1,017	1,028	1,017	1,031	1,041	1,024	1,033	1,019	1,034	1,025
S/E Polpaico	504		0,984	0,990	0,973	0,983	0,982	0,982	0,992	0,993	0,987	0,981	1,012
S/E Parinacota	220		0,989	1,026	1,009	1,016	0,999	0,989	0,993	0,997	1,015	0,989	1,013
S/E Crucero	220		1,030	1,032	1,030	1,022	1,033	1,032	1,024	1,030	1,023	1,025	1,033
S/E Encuentro	220		1,030	1,033	1,030	1,023	1,034	1,032	1,024	1,030	1,023	1,025	1,033
S/E Kapatur	220		1,011	1,029	1,032	1,019	1,022	1,024	1,028	1,035	1,020	1,010	1,017
S/E Laberinto	220		1,011	1,025	1,018	1,012	1,022	1,023	1,015	1,027	1,013	1,004	1,020
S/E Los Changos	220		1,011	1,029	1,032	1,019	1,022	1,024	1,029	1,036	1,021	1,010	1,017
S/E Domeyko	220		0,992	1,004	0,986	0,982	0,995	0,996	0,983	1,004	0,982	0,985	0,998
S/E Diego de Almagro	224		1,013	1,034	1,008	1,011	1,018	1,011	1,024	1,007	1,011	1,012	1,014
S/E Carrera Pinto	224		1,016	1,035	1,012	1,020	1,020	1,002	1,026	1,016	1,019	1,013	1,018
S/E San Andrés	224		1,014	1,030	1,010	1,021	1,016	0,999	1,022	1,017	1,021	1,012	1,018
S/E Cardones	224		1,014	1,027	1,010	1,021	1,012	1,001	1,019	1,017	1,020	1,012	1,018
S/E Maitencillo	226		1,017	1,025	1,015	1,021	1,018	1,011	1,023	1,021	1,022	1,016	1,024
S/E Punta Colorada	228		1,012	1,016	1,005	1,013	1,020	1,003	1,020	1,021	1,017	1,008	1,017
S/E Pan de Azúcar	228		1,012	1,007	0,996	1,003	1,016	0,998	1,012	1,015	1,010	1,004	1,012
S/E Las Palmas	228		1,008	1,006	0,979	1,006	1,016	0,966	1,007	1,011	1,008	0,980	1,005
S/E Los Vilos	226		1,000	1,004	0,985	1,005	1,015	0,973	1,006	1,007	1,006	0,981	1,005
S/E Nogales	226		0,978	0,984	0,985	0,989	1,001	0,973	0,996	0,987	0,987	0,974	0,990
S/E Quillota	226		0,970	0,977	0,977	0,990	0,994	0,964	0,993	0,980	0,988	0,967	0,984
S/E Polpaico	224		0,983	0,996	0,983	0,988	1,004	0,983	0,993	0,999	0,986	0,981	0,995

Tabla 6-3: Tensiones en red completa.

Las tablas siguientes muestran la potencia reactiva absorbida/inyectada por los equipos de control de tensión del sistema, junto con las reservas de reactivos inductivos/capacitivos disponibles en los mismos.

Se puede observar que tanto en el escenario con cero transferencias (Escenario 8), como en el escenario de demanda baja mínima, los recursos de control de tensión del norte del SIC se encuentran con bajas reservas, lo cual evidencia una condición exigente de operación por elevadas tensiones en red completa.

RESERVAS EN RED N	Capacidad Total		E01 Max_SING-SIC CERN_C_DB_HS					E02 Max_SING-SIC NERNC_DB_HS					E03 Max_SING-SIC CERN_C_DA_HS					E04 Max_SING-SIC NERNC_DA_HS					E05 Max_SIC-SING NERNC_DB_HH				
	Qmax	Qmin	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap
CT Tarapacá	30	-30	30	-30	17	47	13	30	-30	-1	29	31	30	-30	1	31	29	30	-30	-1	29	31	30	-30	-6	24	36
CT Angamos	198	-198	99	-99	5	104	94	198	-198	13	211	185	198	-198	67	265	131	198	-198	35	233	163	-	-	-	-	-
CT Norgener	94	-63	94	-63	17	79	77	94	-63	-22	40	116	47	-11	-6	5	53	94	-63	9	71	85	94	-63	-21	42	115
CT Tocopilla	163	-109	119	-79	15	95	104	163	-109	50	159	113	103	-57	-18	38	121	191	-127	90	217	101	88	-59	12	71	76
CT Cochrane	191	-116	191	-116	22	139	169	191	-116	19	136	172	232	-127	15	142	217	188	-115	32	147	155	223	-125	12	137	211
Complejo Chacaya	238	-201	112	-75	72	147	40	238	-201	37	238	201	185	-165	61	226	125	238	-201	120	320	119	238	-201	67	268	171
SVC Domeyko	120	-80	120	-80	115	195	5	120	-80	99	179	21	120	-80	117	197	3	120	-80	111	191	9	120	-80	77	157	43
SVC Plus	140	-52	140	-52	-45	7	185	140	-52	-12	40	152	140	-52	17	69	123	140	-52	-47	5	187	140	-52	-10	42	150
CER Cardones	100	-60	100	-60	15	75	85	100	-60	-28	32	128	100	-60	56	116	44	100	-60	53	113	47	100	-60	-28	32	128
CER Maitencillo	24	-28	24	-28	-6	22	30	24	-28	-4	24	28	24	-28	-1	27	25	24	-28	2	30	22	24	-28	-1	27	25
CER Pan de Azúcar	48	-56	48	-56	-35	21	83	48	-56	-10	46	58	48	-56	7	63	41	48	-56	-24	32	72	48	-56	-34	22	82
CTM3 + IEM	362	-196	362	-196	12	208	350	362	-196	16	212	346	362	-196	80	276	283	362	-196	41	237	322	-	-	-	-	-
CT Guacolda	403	-158	213	-82	8	90	205	403	-158	-40	118	444	213	-82	27	109	186	403	-158	-20	138	424	403	-158	11	169	392
Complejo San Luis	379	-266	212	-19	39	58	173	379	-266	43	309	335	212	-19	151	170	61	799	-410	380	791	419	219	-146	98	243	122
Complejo Ventanas	395	-285	231	-168	70	237	161	395	-285	-29	256	424	513	-374	171	545	342	513	-374	42	417	471	164	-117	-9	108	173
CER Polpaico	100	-65	100	-65	6	71	94	100	-65	28	93	72	100	-65	43	108	57	100	-65	74	139	26	100	-65	-14	51	114

Tabla 6-4: Reservas de reactivos – Escenarios 1 a 5.

RESERVAS EN RED N	Capacidad Total		E06 Max_SIC-SING CERN_C_DB_HH					E07 Max_SIC-SING NERNC_DA_HH					E08 OTransf NERNC_DB			E09 Max_SING-SICCEN NERNC_DA_HS					E10 Max_Kap-Lchan CERN_C_DB_HS					E11 CERN_C_DBmin HS (7000MW)						
	Qmax	Qmin	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap	Qmax	Qmin	Qgen	ResInd	ResCap					
CT Tarapacá	30	-30	30	-30	16	46	14	30	-30	11	41	19	30	-30	-4	26	34	30	-30	-2	28	32	30	-30	18	48	12	30	-30	-6	24	36
CT Angamos	198	-198	99	-99	3	102	96	99	-99	2	101	97	99	-99	-33	66	132	198	-198	27	225	171	198	-198	85	283	113	99	-99	-19	80	118
CT Norgener	94	-63	47	-31	-4	27	51	94	-22	38	60	56	94	-22	-12	10	106	94	-63	8	71	85	94	-63	34	97	60	94	-63	15	78	79
CT Tocopilla	163	-109	44	-29	12	41	33	191	-116	10	125	181	218	-134	14	148	205	191	-127	88	215	103	119	-79	34	113	85	119	-79	18	98	101
CT Cochrane	191	-116	-	-	-	-	223	-125	24	149	200	191	-116	23	139	169	188	-115	32	147	156	383	-233	45	278	337	211	-122	17	139	194	
Complejo Chacaya	238	-201	179	-161	34	195	145	238	-201	95	296	143	238	-201	26	227	212	238	-201	118	318	121	175	-138	115	253	60	238	-201	68	269	170
SVC Domeyko	120	-80	120	-80	69	149	51	120	-80	125	205	-5	120	-80	91	171	29	120	-80	108	188	12	120	-80	126	206	-6	120	-80	51	131	69
SVC Plus	140	-52	140	-52	2	54	138	140	-52	-13	39	153	140	-52	-50	2	190	140	-52	-46	6	186	140	-52	-50	2	190	140	-52	-48	4	188
CER Cardones	100	-60	100	-60	31	91	69	100	-60	12	72	88	100	-60	-54	6	154	100	-60	55	115	45	100	-60	25	85	75	100	-60	-5	55	105
CER Maitencillo	24	-28	24	-28	2	30	22	24	-28	-2	26	26	24	-28	-12	16	36	24	-28	1	29	23	24	-28	-4	24	28	24	-28	-16	12	40
CER Pan de Azúcar	48	-56	48	-56	-24	32	72	48	-56	4	60	44	48	-56	-44	12	92	48	-56	9	65	39	48	-56	-13	43	61	48	-56	-36	20	84
CTM3 + IEM	362	-196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	362	-196	30	226	332	-	-	-	-	-	-	362	-196	-32	164	394
CT Guacolda	403	-158	213	-82	23	105	190	403	-158	-10	148	414	403	-158	-75	83	478	403	-158	-23	135	427	213	-82	11	92	202	120	-35	5	40	115
Complejo San Luis	379	-266	-	-	-	-	580	-265	257	522	323	371	-139	26	165	345	1059	-562	434	997	625	212	-19	48	67	164	212	-19	-6	13	217	
Complejo Ventanas	395	-285	164	-117	39	156	125	446	-323	36	359	410	513	-374	-66	308	579	513	-374	55	429	458	231	-168	82	250	149	282	-206	36	243	246
CER Polpaico	100	-65	100	-65	-5	60	105	100	-65	-5	60	105	100	-65	19	84	81	100	-65	29	94	71	100	-65	18	83	82	100	-65	-55	10	155

Tabla 6-5: Reservas de reactivos – Escenarios 6 a 11.

6.2.3 Tensiones de servicio

A continuación, se muestran las tensiones de servicio inicialmente propuestas para esta fase de estudio, en base al análisis de red N en todos los escenarios de estudio:

- ✓ Los Changos: **500kV**
- ✓ Cumbre: **505kV**
- ✓ Nueva Cardones: **500kV**
- ✓ Nueva Maitencillo: **505kV**
- ✓ Nueva Pan de Azúcar: **510kV**
- ✓ Polpaico: **500kV**

La tabla siguiente muestra los valores en pu de los escenarios en red N considerando la propuesta de tensiones de servicio.

Tensiones en red N con propuesta de tensiones de servicio para 500kV		ESCENARIO										
		E01_Max_SING-SIC_CERNC_DB_HS	E02_Max_SING-SIC_NERNC_DB_HS	E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS	E04_Max_SING-SIC_NERNC_DA_HS	E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH	E07_Max_SIC-SING_NERNC_DA_HH	E08_0Transf_NERNC_DB	E09_Max_SING-SICCEN_NERNC_DA_HS	E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)
NODOS	Us [kV]	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
		Tensiones en red N [p.u. de tensión de servicio]										
S/E Los Changos	500	1,023	1,018	1,027	1,009	1,024	1,011	0,991	1,012	1,002	1,022	1,009
S/E Cumbre	505	1,012	1,010	1,012	1,001	1,026	1,017	1,002	1,016	0,998	1,011	1,003
S/E Nva Cardones	500	1,006	1,005	1,003	0,997	1,023	1,015	1,003	1,012	0,995	1,004	0,999
S/E Nueva Maitencillo	505	1,011	1,007	1,006	0,999	1,015	1,016	1,002	1,012	1,000	1,009	1,004
S/E Nueva Pan de Azucar	510	1,017	0,997	1,008	0,997	1,011	1,021	1,004	1,013	0,999	1,013	1,005
S/E Polpaico	500	0,992	0,998	0,981	0,991	0,990	0,990	1,000	1,001	0,995	0,989	1,020
S/E Parinacota	220	0,989	1,026	1,009	1,016	0,999	0,989	0,993	0,997	1,015	0,989	1,013
S/E Crucero	220	1,030	1,032	1,030	1,022	1,033	1,032	1,024	1,030	1,023	1,025	1,033
S/E Encuentro	220	1,030	1,033	1,030	1,023	1,034	1,032	1,024	1,030	1,023	1,025	1,033
S/E Kapatur	220	1,011	1,029	1,032	1,019	1,022	1,024	1,028	1,035	1,020	1,010	1,017
S/E Laberinto	220	1,011	1,025	1,018	1,012	1,022	1,023	1,015	1,027	1,013	1,004	1,020
S/E Los Changos	220	1,011	1,029	1,032	1,019	1,022	1,024	1,029	1,036	1,021	1,010	1,017
S/E Domeyko	220	0,992	1,004	0,986	0,982	0,995	0,996	0,983	1,004	0,982	0,985	0,998
S/E Diego de Almagro	224	1,013	1,034	1,008	1,011	1,018	1,011	1,024	1,007	1,011	1,012	1,014
S/E Carrera Pinto	224	1,016	1,035	1,012	1,020	1,020	1,002	1,026	1,016	1,019	1,013	1,018
S/E San Andrés	224	1,014	1,030	1,010	1,021	1,016	0,999	1,022	1,017	1,021	1,012	1,018
S/E Cardones	224	1,014	1,027	1,010	1,021	1,012	1,001	1,019	1,017	1,020	1,012	1,018
S/E Maitencillo	226	1,017	1,025	1,015	1,021	1,018	1,011	1,023	1,021	1,022	1,016	1,024
S/E Punta Colorada	228	1,012	1,016	1,005	1,013	1,020	1,003	1,020	1,021	1,017	1,008	1,017
S/E Pan de Azúcar	228	1,012	1,007	0,996	1,003	1,016	0,998	1,012	1,015	1,010	1,004	1,012
S/E Las Palmas	228	1,008	1,006	0,979	1,006	1,016	0,966	1,007	1,011	1,008	0,980	1,005
S/E Los Vilos	226	1,000	1,004	0,985	1,005	1,015	0,973	1,006	1,007	1,006	0,981	1,005
S/E Nogales	226	0,978	0,984	0,985	0,989	1,001	0,973	0,996	0,987	0,987	0,974	0,990
S/E Quillota	226	0,970	0,977	0,977	0,990	0,994	0,964	0,993	0,980	0,988	0,967	0,984
S/E Polpaico	224	0,983	0,996	0,983	0,988	1,004	0,983	0,993	0,999	0,986	0,981	0,995

Tabla 6-6: Tensiones en red completa en referencia a tensiones de servicio.

Se observa que, con las tensiones de servicio propuestas, los niveles de operación se encuentran dentro de los rangos admisibles de acuerdo a los límites establecidos para operación en Estado Normal según la NTSyCS.

6.2.4 Operación CCSS Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

En el presente apartado se analiza la operación de los capacitores serie del tramo Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV y su impacto en las tensiones del área. En este sentido se evalúa la conveniencia para la operación del bypass de los capacitores serie del tramo en cuestión.

Como premisa para el análisis deben considerarse los siguientes puntos:

- La operación con los capacitores fuera de servicio (“bypasseados”) colabora con el control de las sobretensiones provocadas por el exceso de reactivos generados por las líneas de transmisión. Esta condición se ve acentuada en escenarios de bajas transferencias por el sistema de 500kV las que pueden presentarse asiduamente por este vínculo (posibilidad de transferencias en ambos sentidos).
- En contrapartida, en escenarios de altas transferencias por este vínculo, la operación con los capacitores fuera de servicio puede resultar en una condición no satisfactoria debido a posibles niveles de tensión reducidos en el sistema y fundamentalmente a la redistribución de flujos causada por el incremento de la impedancia vista del sistema de 500kV lo que provocaría un aumento de los flujos por el sistema de 220kV (el cual puede encontrarse operando con altas transferencias).

En función de este último punto se evalúa la operación del bypass de estos capacitores en un escenario de máxima transferencia SING→SIC (hidrología seca), demanda baja, con ERNC, alcanzando 1500MVA por el tramo Nueva Pan de Azúcar-Polpaico 500kV. Sobre este escenario base, se muestran condiciones de red N y N-1 considerando la operación con los CCSS fuera de servicio y operativos. En la Figura 6-2 se muestra el estado del sistema en este escenario.

La siguiente figura muestra la operación con los capacitores serie operativos. Tal como puede observarse se encuentran niveles adecuados de tensión y transferencias por el sistema de 220kV.

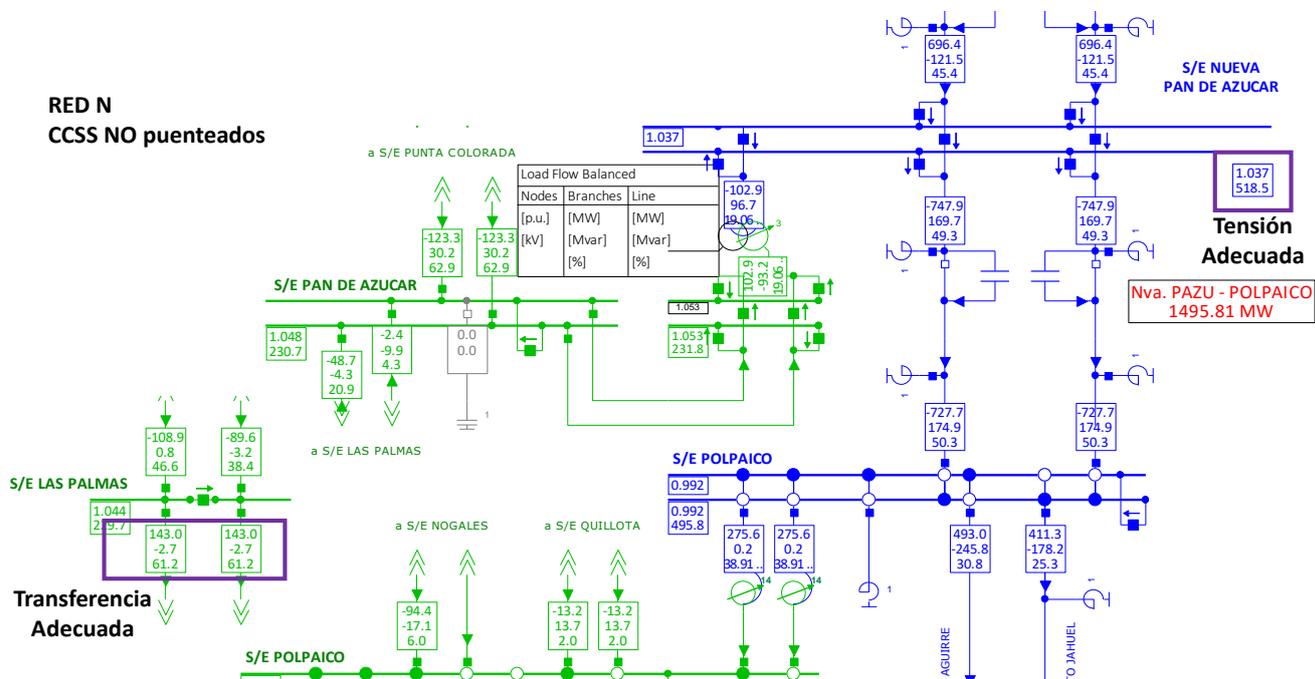


Figura 6-3: Operación CCSS, caso 1.

En caso de producirse la desconexión de uno de los circuitos del tramo Nueva Pan de Azúcar-Polpaico, se obtiene el siguiente escenario:

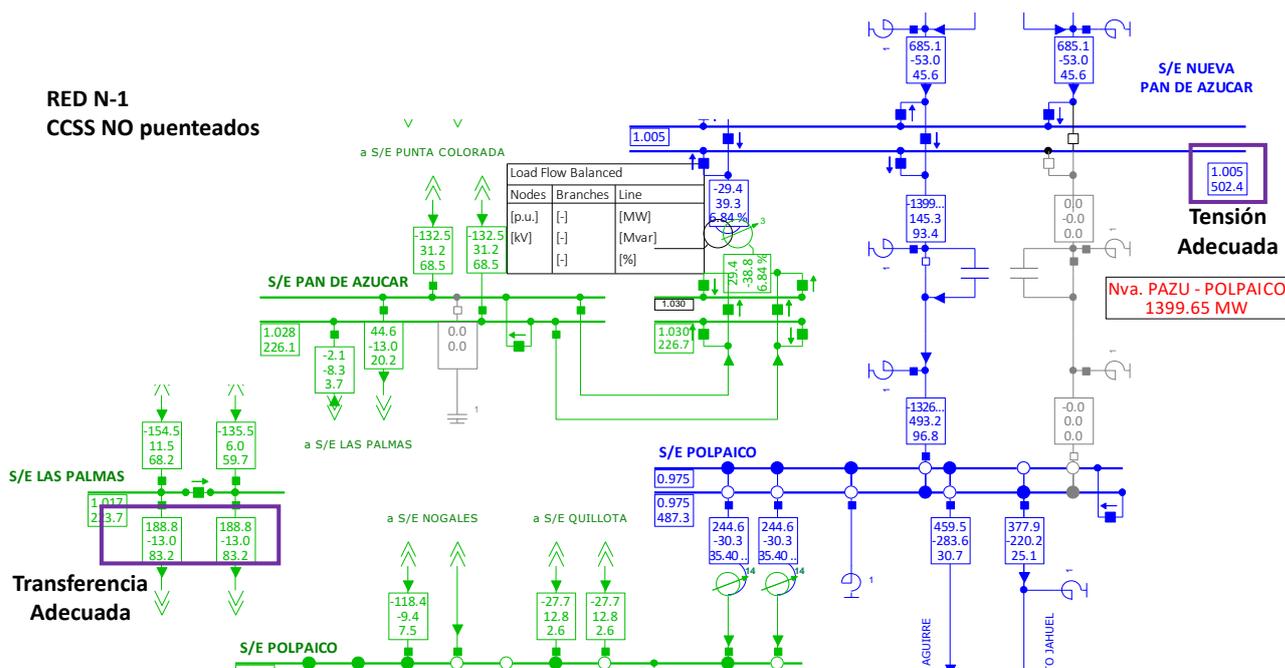


Figura 6-4: Operación CCSS, caso 2.

Obsérvese que las tensiones se mantienen en niveles admisibles y la redistribución de flujos por el sistema de 220kV debido al aumento de la impedancia vista por el sistema de 500kV resulta reducida no produciendo violaciones respecto la capacidad de las líneas de transmisión.

Sobre el mismo escenario se analiza la operación con los CCSS fuera de servicio. La siguiente figura muestra el resultado del flujo de potencia en condiciones de Red N.

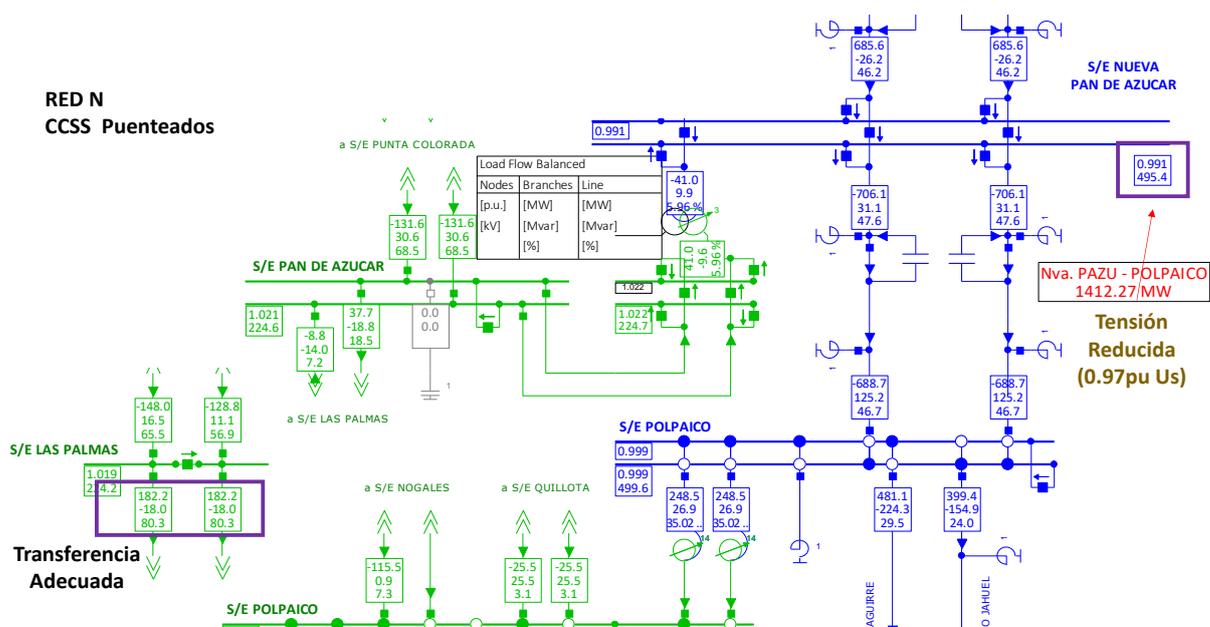


Figura 6-5: Operación CCSS, caso 3.

Las tensiones del sistema de 500kV resultan reducidas complejizando la operación del sistema. A su vez se registra un mayor flujo de potencia por el sistema de 220kV respecto al caso de mantener estos equipos operativos.

Más allá de lo mencionado las condiciones críticas para este caso resultan las de red N-1 en ante las cuales las impedancias vistas del sistema de 500kV aumentan significativamente. La siguiente figura muestra el escenario post-contingencia luego de producida la desconexión de un circuito del tramo Nueva Pan de Azúcar-Polpaico.

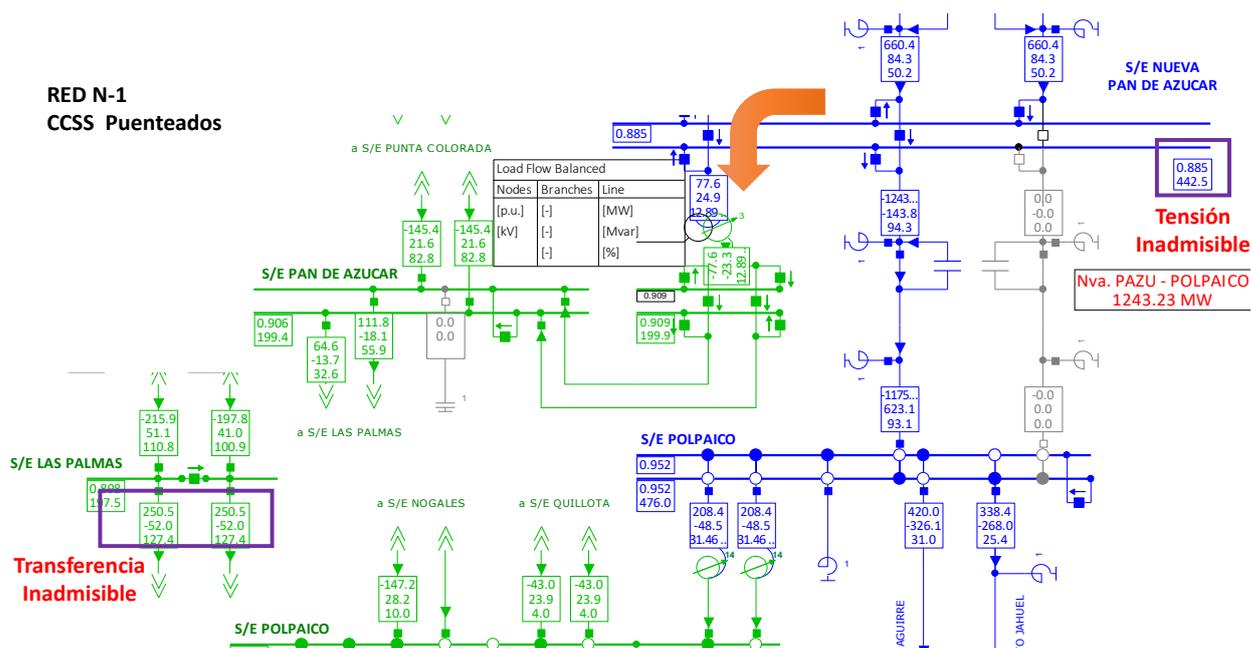


Figura 6-6: Operación CCSS, caso 4.

Tal como puede observarse, el sistema no tolera esta contingencia encontrándose subtensiones inadmisibles en el sistema de 500kV y flujos de potencia inadmisibles por el sistema de 220kV debido a la redistribución de flujos.

En base al análisis realizado, se concluye que para altas transferencias se requiere la operación con los CCSS del tramo Nueva Pan de Azúcar – Polpaico en servicio.

En este contexto resulta importante evaluar el impacto que posee la operación de estos capacitores sobre escenarios de baja transferencia. En este sentido se evalúan 3 escenarios con baja transferencia y control de tensión reducido en la zona norte del sistema. Los mismos poseen las siguientes características:

Escenario	Transferencia N. Pan de Azúcar - Polpaico	Transferencia SING-SIC (Los Changos -Cumbre 500kV)	Unidades Guacolda	ERNC
1	29MW	498MW	3 (425MW)	NO
2	292MW	797MW	3 (425MW)	NO
3	-341MW	91MW	3 (425MW)	NO

Tabla 6-7: Operación CCSS con bajas transferencias.

Tensiones Finales en red N-1	Red N	CONTINGENCIA																														
		Lineas								Centrales							Reactores						CERs y SVCs									
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
NODOS	Us [kV]	Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																														
S/E Los Changos	500 1,019	1,001	1,014	1,011	1,016	1,016	1,018	1,019	1,020	1,019	1,020	1,020	1,021	1,019	1,021	1,047	1,039	1,027	1,024	1,032	1,025	1,014	1,027	1,026	1,021	1,019	1,021	1,028	1,022	1,020	1,021	
S/E Cumbre	505 1,025	1,014	1,019	1,014	1,020	1,020	1,023	1,025	1,025	1,023	1,024	1,025	1,025	1,022	1,026	1,048	1,055	1,037	1,033	1,044	1,033	1,022	1,036	1,035	1,028	1,024	1,027	1,031	1,030	1,026	1,028	
S/E Nva Cardones	500 1,023	1,015	1,016	1,010	1,017	1,017	1,021	1,023	1,023	1,020	1,022	1,023	1,022	1,021	1,024	1,043	1,058	1,037	1,032	1,045	1,032	1,020	1,036	1,034	1,026	1,022	1,025	1,028	1,029	1,024	1,026	
S/E Nueva Maitencillo	505 1,027	1,019	1,021	1,022	1,020	1,020	1,025	1,026	1,027	1,026	1,027	1,027	1,027	1,027	1,027	1,042	1,054	1,038	1,037	1,052	1,037	1,024	1,038	1,037	1,030	1,026	1,029	1,031	1,027	1,029	1,030	
S/E Nueva Pan de Azucar	510 1,032	1,026	1,028	1,028	1,027	1,024	1,031	1,032	1,032	1,031	1,032	1,032	1,033	1,032	1,033	1,045	1,054	1,041	1,044	1,060	1,044	1,030	1,041	1,040	1,035	1,031	1,035	1,036	1,032	1,034	1,039	
S/E Polpaico	500 0,995	0,992	0,993	0,993	0,993	0,988	0,995	0,995	0,995	0,994	0,995	0,996	0,995	0,995	0,996	1,001	1,005	0,999	1,001	1,008	1,008	0,994	1,000	0,999	0,997	0,994	0,996	0,997	0,995	0,996	0,998	
S/E Parinacota	220 0,998	0,996	0,997	0,997	0,997	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,977	0,995	1,000	0,991	0,998	1,000	1,000	0,998	0,998	0,999	0,998	0,993	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,997	0,998	0,998	
S/E Crucero	220 1,030	1,028	1,030	1,029	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,024	1,027	1,033	1,022	1,030	1,034	1,033	1,031	1,031	1,032	1,031	1,024	1,031	1,031	1,031	1,030	1,030	1,030	1,031	1,030	1,031	
S/E Encuentro	220 1,031	1,029	1,030	1,030	1,030	1,030	1,031	1,031	1,031	1,031	1,025	1,028	1,034	1,022	1,031	1,034	1,033	1,032	1,031	1,032	1,031	1,025	1,032	1,032	1,031	1,031	1,031	1,030	1,031	1,031	1,031	
S/E Kapatur	220 1,038	1,028	1,036	1,034	1,037	1,037	1,038	1,038	1,038	1,038	1,035	1,037	1,037	1,034	1,038	1,054	1,049	1,043	1,041	1,046	1,041	1,032	1,043	1,042	1,039	1,038	1,039	1,036	1,040	1,039	1,039	
S/E Laberinto	220 1,028	1,024	1,027	1,026	1,027	1,027	1,028	1,028	1,028	1,028	1,025	1,026	1,028	1,021	1,028	1,034	1,033	1,030	1,029	1,031	1,029	1,015	1,030	1,030	1,028	1,028	1,028	1,027	1,029	1,028	1,028	
S/E Los Changos	220 1,039	1,029	1,037	1,035	1,037	1,037	1,039	1,039	1,039	1,038	1,036	1,038	1,038	1,035	1,039	1,055	1,051	1,044	1,042	1,047	1,042	1,033	1,044	1,043	1,040	1,039	1,040	1,037	1,041	1,040	1,040	
S/E Domeyko	220 1,005	1,003	1,004	1,004	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,004	1,004	1,005	1,002	1,005	1,008	1,007	1,006	1,005	1,006	1,005	0,976	1,006	1,006	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	
S/E Diego de Almagro	224 1,011	1,009	1,009	1,008	1,009	1,009	1,009	1,011	1,011	1,012	1,012	1,012	1,012	1,011	1,012	1,034	1,052	1,027	1,023	1,041	1,023	1,010	1,068	1,035	1,016	1,011	1,014	1,017	1,004	1,011	1,013	
S/E Carrera Pinto	224 1,024	1,019	1,020	1,018	1,021	1,021	1,021	1,023	1,024	1,025	1,024	1,025	1,025	1,024	1,025	1,046	1,062	1,039	1,035	1,052	1,035	1,022	1,066	1,047	1,029	1,023	1,026	1,030	1,011	1,023	1,026	
S/E San Andrés	224 1,027	1,022	1,023	1,020	1,024	1,024	1,024	1,027	1,028	1,029	1,028	1,029	1,029	1,027	1,029	1,049	1,064	1,042	1,038	1,054	1,038	1,026	1,060	1,050	1,033	1,027	1,030	1,033	1,011	1,027	1,030	
S/E Cardones	224 1,029	1,023	1,024	1,020	1,025	1,025	1,025	1,029	1,029	1,030	1,030	1,030	1,030	1,029	1,030	1,049	1,065	1,043	1,039	1,055	1,040	1,027	1,054	1,051	1,034	1,029	1,032	1,035	1,010	1,029	1,032	
S/E Maitencillo	226 1,038	1,032	1,034	1,033	1,033	1,033	1,037	1,037	1,038	1,040	1,038	1,038	1,039	1,038	1,038	1,055	1,068	1,050	1,048	1,064	1,048	1,036	1,054	1,051	1,044	1,037	1,040	1,042	1,036	1,033	1,037	
S/E Punta Colorada	228 1,038	1,032	1,034	1,034	1,033	1,032	1,037	1,042	1,039	1,039	1,038	1,038	1,039	1,038	1,039	1,053	1,064	1,048	1,048	1,064	1,049	1,036	1,051	1,049	1,043	1,037	1,043	1,042	1,038	1,036	1,019	
S/E Pan de Azúcar	228 1,033	1,027	1,029	1,029	1,027	1,026	1,031	1,035	1,034	1,033	1,032	1,032	1,033	1,033	1,033	1,045	1,055	1,042	1,043	1,058	1,044	1,031	1,043	1,041	1,036	1,032	1,039	1,036	1,033	1,033	1,000	
S/E Las Palmas	228 1,021	1,017	1,018	1,018	1,017	1,016	1,020	1,022	1,024	1,020	1,020	1,021	1,021	1,021	1,021	1,028	1,034	1,026	1,027	1,036	1,028	1,020	1,027	1,026	1,023	1,020	1,024	1,023	1,021	1,021	1,001	
S/E Los Vilos	226 1,013	1,010	1,011	1,011	1,011	1,009	1,012	1,014	1,006	1,012	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,018	1,022	1,017	1,017	1,024	1,019	1,012	1,017	1,016	1,014	1,012	1,015	1,014	1,013	1,013	1,001	
S/E Nogales	226 0,987	0,986	0,986	0,986	0,986	0,985	0,986	0,987	0,985	0,986	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987	0,989	0,990	0,988	0,988	0,991	0,990	0,986	0,988	0,988	0,987	0,985	0,987	0,987	0,987	0,987	0,986	
S/E Quillota	226 0,979	0,978	0,979	0,979	0,978	0,977	0,979	0,979	0,978	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,979	0,981	0,982	0,980	0,981	0,983	0,982	0,979	0,980	0,980	0,980	0,978	0,980	0,980	0,979	0,979	0,979	
S/E Polpaico	224 0,997	0,996	0,996	0,996	0,996	0,994	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	0,997	1,000	1,002	0,999	1,000	1,003	1,003	0,997	0,999	0,999	0,998	0,995	0,998	0,998	0,997	0,998	0,998	

Tabla 6-8: Tensiones máximas [pu] con operación CCSS en servicio.

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA																														
			Lineas								Centrales								Reactores							CERs y SVCs							
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
NODOS	Us [kV]	Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]																															
S/E Los Changos	500 1,014	0,993	1,007	1,005	1,010	1,010	1,013	1,013	1,014	1,014	1,013	1,009	1,008	1,019	1,011	1,039	1,031	1,019	1,017	1,024	1,017	1,007	1,019	1,018	1,015	1,013	1,015	1,016	1,014	1,014	1,015		
S/E Cumbre	505 1,013	0,995	1,004	1,000	1,008	1,007	1,011	1,013	1,013	1,013	1,018	1,017	1,016	1,022	1,018	1,033	1,039	1,022	1,018	1,029	1,018	1,008	1,021	1,019	1,015	1,013	1,014	1,015	1,013	1,014	1,016		
S/E Nva Cardones	500 1,012	0,998	1,003	0,996	1,005	1,005	1,010	1,011	1,012	1,012	1,017	1,015	1,014	1,021	1,015	1,028	1,042	1,022	1,017	1,030	1,017	1,008	1,021	1,019	1,013	1,011	1,013	1,013	1,012	1,013	1,014		
S/E Nueva Maitencillo	505 1,021	1,011	1,014	1,017	1,013	1,012	1,019	1,021	1,021	1,021	1,019	1,015	1,014	1,027	1,015	1,033	1,045	1,028	1,028	1,042	1,028	1,018	1,029	1,027	1,023	1,020	1,023	1,022	1,019	1,022	1,025		
S/E Nueva Pan de Azucar	510 1,028	1,021	1,023	1,024	1,022	1,017	1,027	1,028	1,028	1,025	1,023	1,018	1,016	1,032	1,017	1,038	1,047	1,034	1,037	1,053	1,037	1,026	1,034	1,033	1,030	1,027	1,030	1,029	1,027	1,029	1,035		
S/E Polpaico	500 0,990	0,988	0,989	0,988	0,988	0,982	0,990	0,990	0,990	0,986	0,985	0,981	0,979	0,995	0,979	0,996	1,001	0,994	0,996	1,003	1,003	0,990	0,995	0,994	0,992	0,989	0,992	0,992	0,991	0,991	0,993		
S/E Parinacota	220 0,990	0,988	0,990	0,989	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,966	0,994	0,998	0,991	0,991	0,992	0,991	0,991	0,990	0,991	0,990	0,984	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,989	0,990	0,990			
S/E Crucero	220 1,021	1,018	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,021	1,021	1,021	1,017	1,026	1,031	1,022	1,022	1,023	1,022	1,021	1,021	1,022	1,021	1,012	1,021	1,021	1,021	1,021	1,021	1,019	1,021	1,021			
S/E Encuentro	220 1,021	1,018	1,020	1,020	1,021	1,021	1,021	1,021	1,021	1,021	1,017	1,027	1,032	1,022	1,023	1,024	1,023	1,022	1,021	1,022	1,021	1,013	1,021	1,021	1,021	1,021	1,021	1,019	1,021	1,021			
S/E Kapatur	220 1,029	1,019	1,026	1,024	1,027	1,027	1,028	1,029	1,029	1,029	1,031	1,033	1,033	1,034	1,036	1,041	1,037	1,032	1,030	1,034	1,030	1,020	1,031	1,031	1,029	1,029	1,029	1,022	1,029	1,030			
S/E Laberinto	220 1,019	1,014	1,017	1,017	1,018	1,018	1,018	1,018	1,019	1,019	1,020	1,025	1,028	1,021	1,022	1,024	1,022	1,020	1,019	1,021	1,019	1,001	1,020	1,019	1,019	1,018	1,019	1,016	1,019	1,019			
S/E Los Changos	220 1,029	1,019	1,026	1,025	1,027	1,027	1,029	1,029	1,029	1,029	1,032	1,034	1,034	1,035	1,037	1,043	1,038	1,032	1,031	1,035	1,031	1,021	1,032	1,031	1,030	1,029	1,030	1,022	1,029	1,030			
S/E Domeyko	220 1,001	0,998	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,002	1,004	1,005	1,002	1,003	1,004	1,003	1,002	1,002	1,002	1,002	0,960	1,002	1,002	1,001	1,001	1,001	1,000	1,001	1,002			
S/E Diego de Almagro	224 1,009	1,006	1,007	1,006	1,007	1,007	1,007	1,009	1,009	1,009	1,009	1,008	1,008	1,011	1,008	1,020	1,038	1,013	1,010	1,026	1,010	1,008	1,055	1,021	1,010	1,009	1,009	1,009	1,004	1,009			
S/E Carrera Pinto	224 1,020	1,015	1,016	1,015	1,017	1,016	1,017	1,019	1,020	1,021	1,021	1,019	1,018	1,024	1,019	1,033	1,049	1,026	1,023	1,038	1,023	1,018	1,054	1,033	1,021	1,019	1,021	1,021	1,010	1,020			
S/E San Andrés	224 1,023	1,016	1,018	1,016	1,018	1,018	1,019	1,022	1,023	1,024	1,024	1,021	1,020	1,027	1,021	1,036	1,052	1,030	1,027	1,042	1,027	1,020	1,047	1,036	1,024	1,022	1,024	1,024	1,010	1,022			
S/E Cardones	224 1,023	1,016	1,018	1,016	1,019	1,018	1,019	1,023	1,024	1,025	1,025	1,022	1,021	1,029	1,022	1,038	1,053	1,031	1,028	1,043	1,028	1,021	1,043	1,038	1,026	1,023	1,025	1,025	1,009	1,023			
S/E Maitencillo	226 1,033	1,027	1,029	1,029	1,028	1,028	1,032	1,032	1,033	1,035	1,033	1,030	1,029	1,038	1,029	1,044	1,058	1,039	1,038	1,053	1,039	1,031	1,043	1,040	1,037	1,033	1,035	1,034	1,032	1,030			
S/E Punta Colorada	228 1,033	1,027	1,029	1,029	1,028	1,026	1,032	1,038	1,034	1,035	1,031	1,028	1,027	1,038	1,027	1,044	1,055	1,039	1,040	1,055	1,040	1,032	1,042	1,039	1,036	1,033	1,038	1,034	1,033	1,032			
S/E Pan de Azúcar	228 1,028	1,022	1,024	1,025	1,023	1,020	1,027	1,030	1,029	1,027	1,024	1,020	1,019	1,033	1,019	1,038	1,047	1,034	1,036	1,050	1,036	1,026	1,035	1,033	1,030	1,027	1,034	1,029	1,029	1,029			
S/E Las Palmas	228 1,017	1,014	1,015	1,015	1,014	1,011	1,017	1,018	1,021	1,015	1,013	1,010	1,009	1,021	1,009	1,024	1,030	1,022	1,023	1,032	1,024	1,017	1,023	1,021	1,019	1,016	1,021	1,019	1,018	1,018			
S/E Los Vilos	226 1,010	1,008	1,009	1,008	1,008	1,005	1,010	1,011	1,003	1,008	1,007	1,004	1,003	1,013	1,004	1,015	1,019	1,014	1,014	1,021	1,016	1,009	1,014	1,013	1,011	1,008	1,012	1,011	1,010	1,010			
S/E Nogales	226 0,985	0,985	0,985	0,984	0,984	0,983	0,985	0,985	0,984	0,984	0,984	0,982	0,982	0,987	0,982	0,987	0,982	0,987	0,982	0,987	0,990	0,989	0,985	0,987	0,987	0,986	0,984	0,986	0,986	0,985			
S/E Quillota	226 0,978	0,977	0,977	0,977	0,977	0,976	0,978	0,978	0,977	0,977	0,976	0,975	0,975	0,979	0,975	0,980	0,981	0,979	0,979	0,982	0,981	0,978	0,979	0,979	0,978	0,976	0,978	0,978	0,978	0,978			
S/E Polpaico	224 0,995	0,994	0,994	0,994	0,994	0,991	0,995	0,995	0,994	0,993	0,992	0,990	0,990	0,997	0,990	0,998	0,999	0,997	0,997	1,001	1,000	0,995	0,997	0,997	0,995	0,992	0,996	0,996	0,995	0,996			

Tabla 6-9: Tensiones mínimas [pu] con operación CCSS en servicio.

De la tabla pueden extraerse las siguientes conclusiones:

En caso de operar con los CCSS operativos en escenarios de transferencias reducidas por el sistema de 500kV se encuentran niveles de tensión elevados en condiciones de red completa (límites o levemente excedidos respecto a lo exigido por la NTSyCS). A su vez esta condición de operación obliga a que los recursos de control de tensión de la zona (especialmente los contenidos en el área de control a la cual pertenece la S/E Nueva Pan de Azúcar) se encuentren operando cercanos a sus límites de absorción de reactivo con el fin de controlar las sobretensiones.

Con respecto al estado del sistema en red N-1, las contingencias sobre la red con mayor impacto corresponden a la desconexión de reactores o equipos de compensación (SVC, CERs) dado que son las que tienden a elevar las tensiones del sistema. Puede observarse que se encuentran tensiones mayores a lo establecido en la NTSyCS en barras de 500kV como Nueva Pan de Azúcar, aun cuando se han definido tensiones de servicio. En consideración de lo anterior y de igual modo a como se observó para Fase II, se encuentra conveniente que los CCSS se encuentren puenteados para transferencias NORTE→SUR menores a 800MW y para transferencias SUR→NORTE menores a 1000MW, para un buen control de tensión.

Respecto a los CCSS, se recomienda operar con los CCSS de las líneas entre Los Changos – Cumbres – Nueva Cardones y Nueva Maitencillo - Nueva Pan de Azúcar 500kV para todo nivel de transferencia.

Con respecto a los CCSS del enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV esto no es recomendable ya que en escenarios con transferencias reducidas por el sistema de 500kV se encuentran niveles de tensión elevados en condiciones de red. Por lo tanto, resulta conveniente que los mismos modifiquen su estado de operación para lograr un buen control de tensión, en el siguiente modo:

- a. Transferencias Norte → Sur menores a 800MW: fuera de servicio
Transferencias Norte → Sur mayores a 800MW: operativos
- b. Transferencias Sur→Norte menores a 1000MW: fuera de servicio,
Transferencias Sur→Norte mayores a 1000MW: operativos

Finalmente, conforme a los resultados de los perfiles de carga previstos para la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, se espera que estos umbrales sean alcanzados diariamente, por los que el fabricante deberá validar la posibilidad de realizar maniobras frecuentes sobre los interruptores de los CCSS.

6.2.5 Barras más débiles en red N

El presente análisis tiene como objetivo identificar aquellas barras del sistema interconectado (que resulten influenciadas por el nuevo sistema de 500kV) que poseen una mayor sensibilidad a las variaciones de tensión en la red. Estas barras resultarán de especial interés para la evaluación y determinación de la operación y control de los escenarios post-contingencia.

La Figura 6-7, Figura 6-8 y Figura 6-9 muestran las sensibilidades dv/dQ de todas las barras del subsistema norte en todos los escenarios. De las mismas puede notarse que:

- La barra de la S/E Parinacota presentan la mayor sensibilidad más de 6 veces mayor a la barra que le sigue en sensibilidad, por lo que no se incluye en las gráficas, pero se puede ver en la tabla Figura 6-10. Se aclara que este nivel de sensibilidad resulta coherente con el actualmente encontrado en esta barra (previo a la interconexión).
- iii. Las barras de 220kV que presentan mayores sensibilidades en condiciones de operación normal de la red resultan las de las SS/EE Las Palmas, Los Vilos y Punta Colorada;

De forma similar a lo visto para fases anteriores, los niveles sensibilidad de las barras de las SS/EE Las Palmas y Los Vilos resultan prácticamente independientes del escenario de operación, lo cual indica que los recursos de control relacionados con máquinas sincrónicas (variabilidad de despacho) no poseen influencia directa sobre estas barras, fundamentado en su lejanía eléctrica con las centrales de generación. Cabe destacar que estas barras se encuentran eléctricamente cercanas a parques ERNC pero los mismos no se consideran participantes del control de tensión.

- iv. Las barras de 500kV con mayor sensibilidad corresponde a las de la S/E Los Changos, particularmente en los escenarios de hidrología húmeda, con transferencias SIC→SING. Esto se debe a la ausencia de generación en la S/E Ten, lo que resulta en una disminución del control de tensión sobre esta barra.

Esta sensibilidad mejora significativamente con el despacho de CTM3 o IEM evidenciando la relación directa de control de tensión de este recurso con dicha barra.

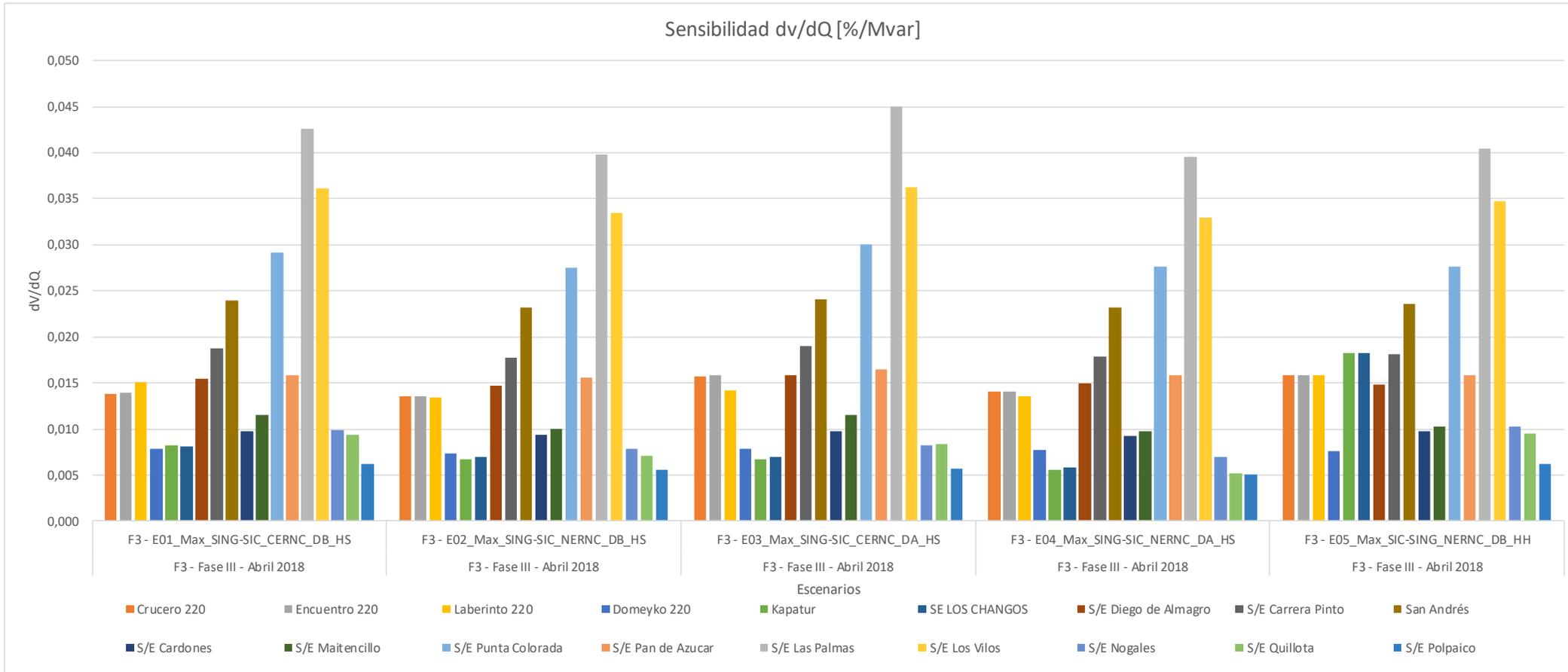


Figura 6-7. dv/dQ barras de 220kV – Escenarios 1 a 5

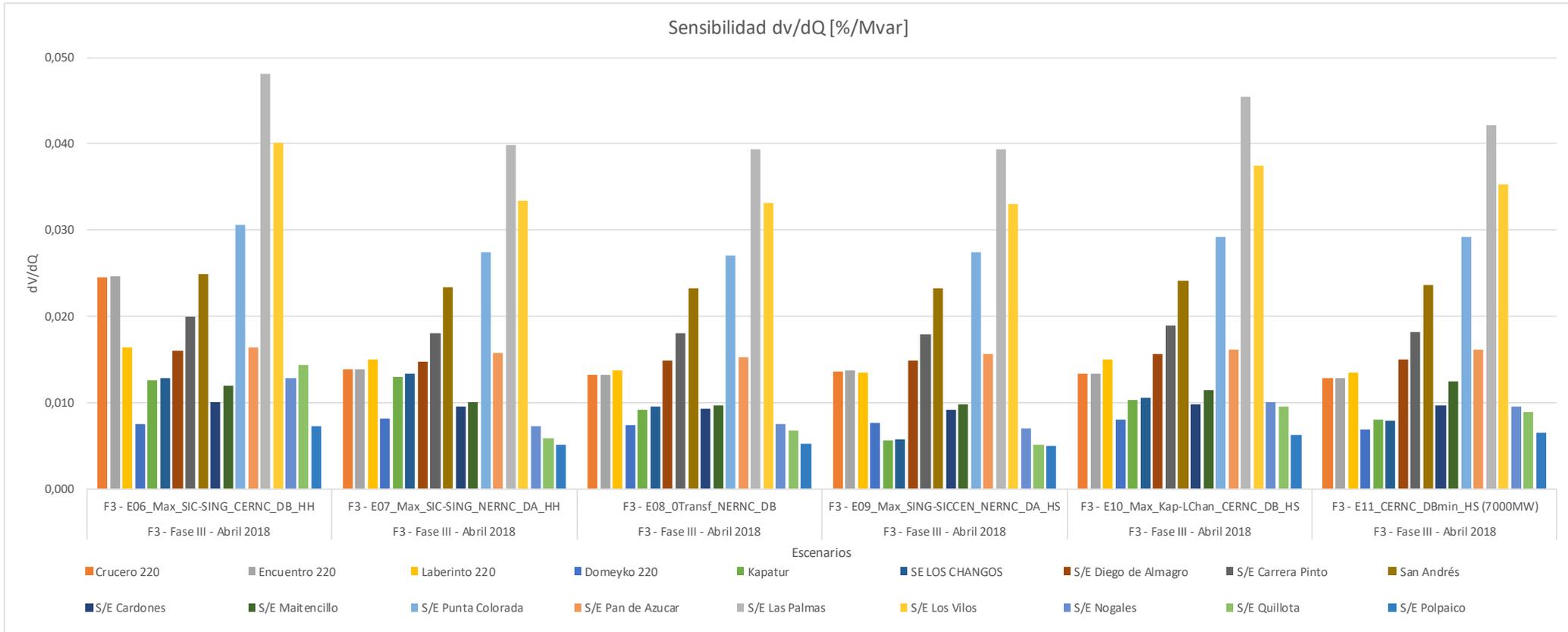


Figura 6-8. dv/dQ barras de 220kV – Escenarios 6 a 11

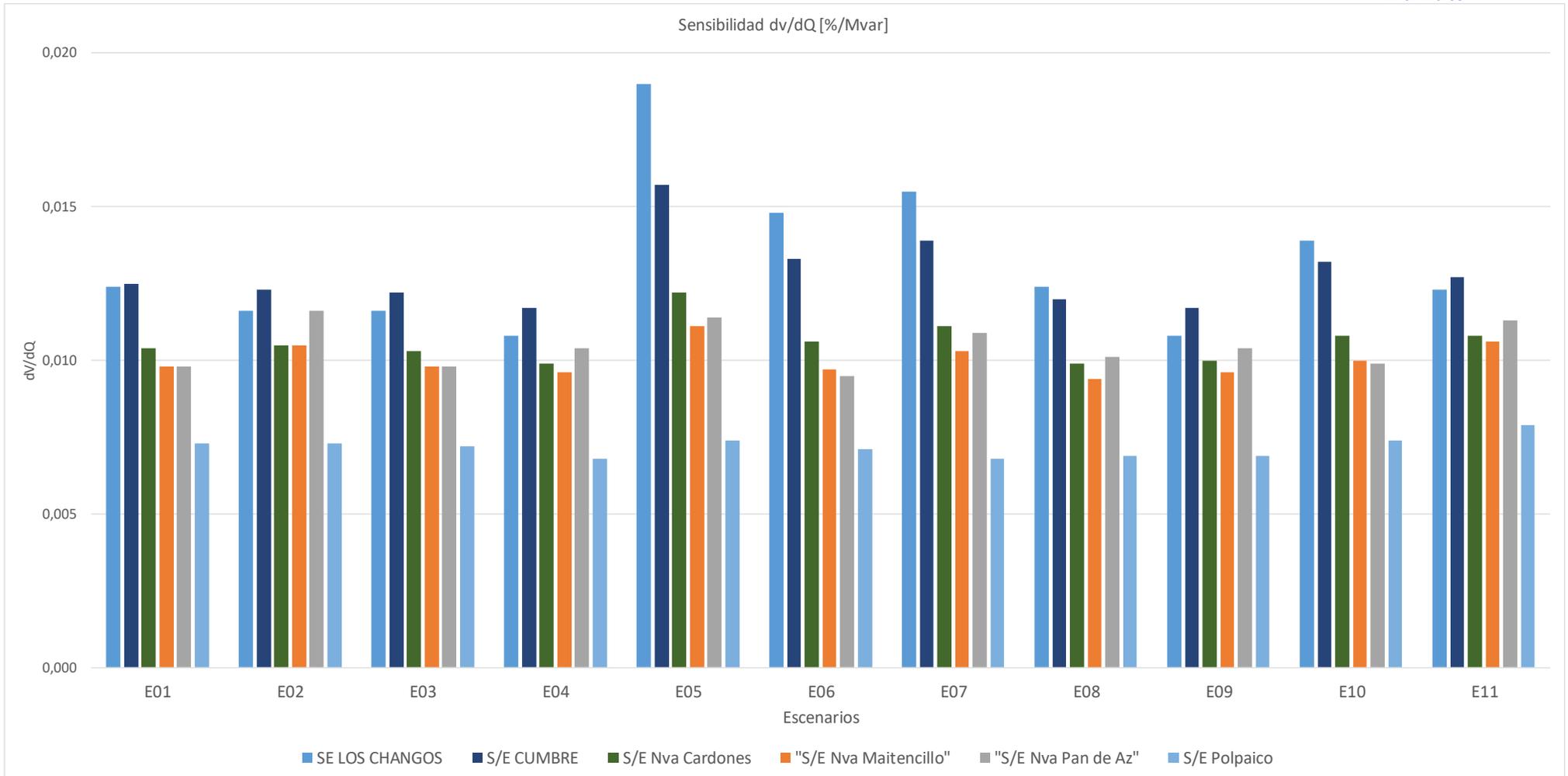


Figura 6-9. dv/dQ barras de 500kV

Con el fin de identificar las barras con mayor sensibilidad del sistema en cualquier condición de operación, a continuación, se muestran los máximos valores de dv/dQ encontrados en cada barra de estudio independientemente del escenario. Las mismas se encuentran ordenadas de izquierda a derecha siguiendo una referencia Norte \rightarrow Sur.

Luego, en la tabla siguiente, se detallan las máximas sensibilidades dv/dQ junto con el escenario de operación en donde se presentó dicho máximo.

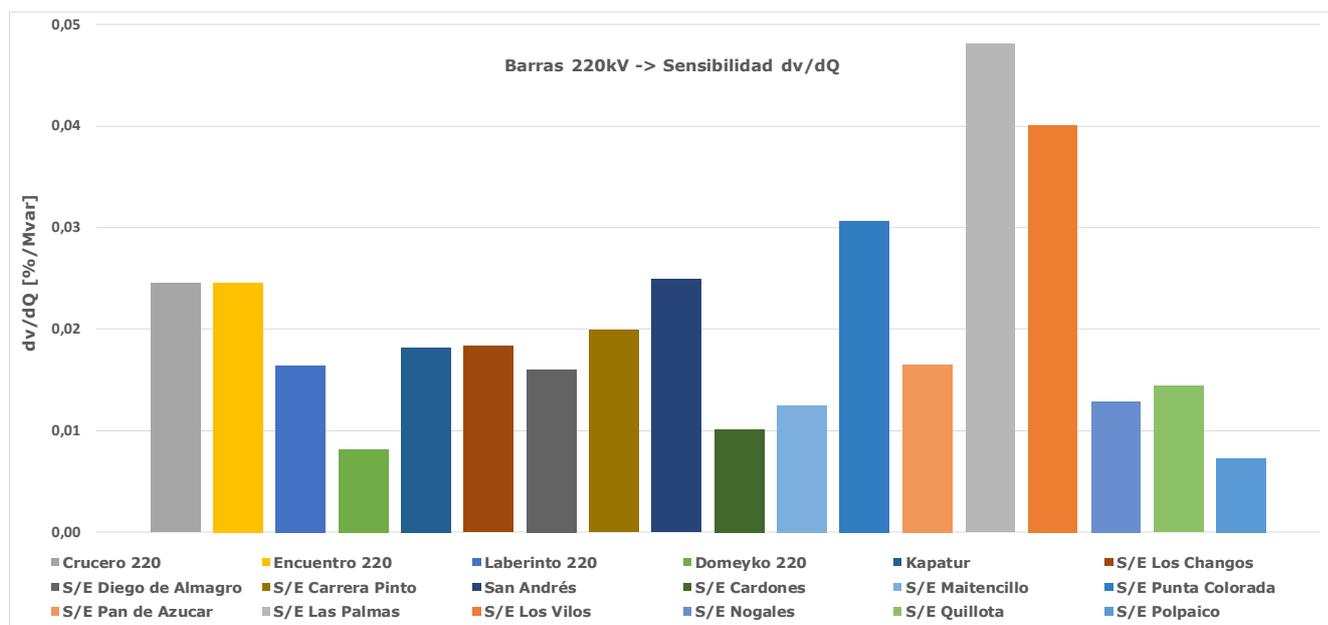


Figura 6-10. Máximos dv/dQ barras 220kV

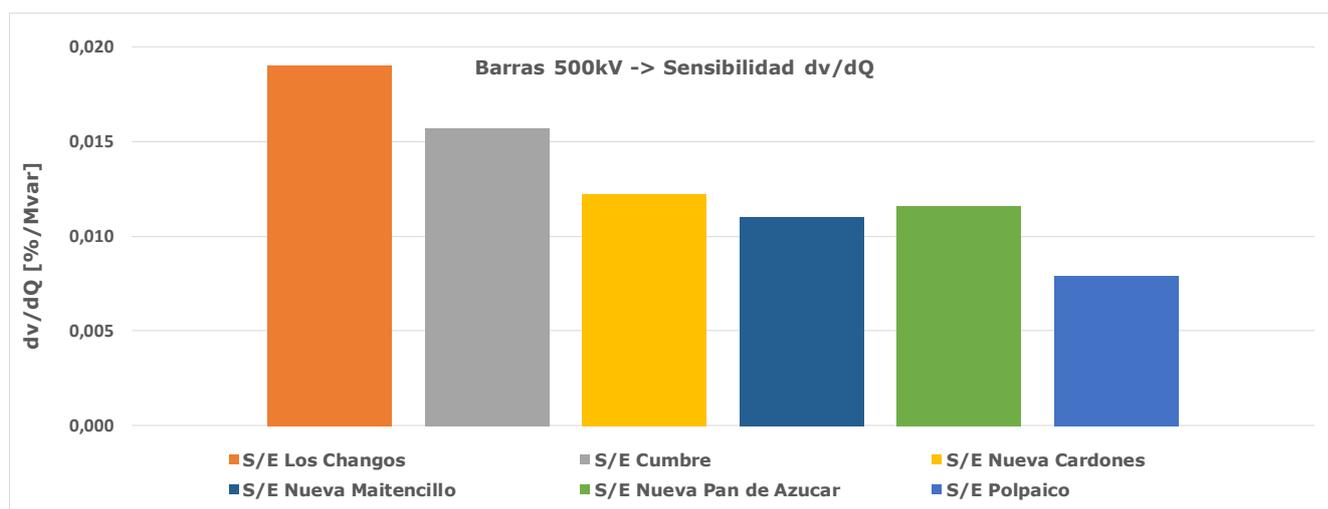


Figura 6-11. Máximos dv/dQ barras 500kV

Id_barra	Barra	Vnom [kV]	dv/dQ [%/Mvar]	Escenario de Operación
1	S/E Los Changos	500	0,019	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
2	S/E Cumbre	500	0,0157	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
3	S/E Nueva Cardones	500	0,0122	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
4	S/E Nueva Maitencillo	500	0,011	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
5	S/E Nueva Pan de Azucar	500	0,0116	F3 - E02_Max_SING-SIC_NERNC_DB_HS
6	S/E Polpaico	500	0,0079	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)
7	Parinacota	220	0,3469	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
8	Crucero 220	220	0,0245	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
9	Encuentro 220	220	0,0246	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
10	Laberinto 220	220	0,0164	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
11	Domeyko 220	220	0,0081	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERNC_DA_HH
12	Kapatur	220	0,0182	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
13	S/E Los Changos	220	0,0183	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH
14	S/E Diego de Almagro	220	0,016	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
15	S/E Carrera Pinto	220	0,0199	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
16	San Andrés	220	0,0249	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
17	S/E Cardones	220	0,0101	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
18	S/E Maitencillo	220	0,0125	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)
19	S/E Punta Colorada	220	0,0306	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
20	S/E Pan de Azucar	220	0,0165	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS
21	S/E Las Palmas	220	0,0481	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
22	S/E Los Vilos	220	0,0401	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
23	S/E Nogales	220	0,0129	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
24	S/E Quillota	220	0,0144	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH
25	S/E Polpaico	220	0,0073	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH

Tabla 6-10. Máximos dv/dQ

Tal como puede observarse en la Tabla 6-10, los valores máximos de sensibilidad se encuentran en un escenario de hidrología húmeda, alto despacho renovable y transferencias SIC→SING. Estas condiciones son indicativas de un reducido despacho de generación sincrónica en la zona norte del SIC y en la S/E TEN.

En resumen, y tal como fue mencionado, las barras que presentan una mayor sensibilidad en condiciones de Red N resultan:

- ✓ **Los Changos 500kV:** en condiciones de ausencia del despacho de la S/E TEN.
- ✓ **Parinacota 220kV:** en todos los escenarios de operación.
- ✓ **Las Palmas 220kV:** en todos los escenarios de operación.
- ✓ **Los Vilos 220kV:** en todos los escenarios de operación.

6.2.6 Efectividad de los recursos de control de tensión

Para determinar la efectividad de los recursos de potencia reactiva se realiza un análisis de sensibilidad dQ_{iny}/dQ_{bus} , que permite medir las contribuciones de potencia reactiva de los recursos de control de tensión ante un aumento de 1MVar en una cada una de las barras de interés.

En un primer análisis se filtran los recursos para el control de tensión cuya influencia sobre una barra (dQ_{gen}/dQ_{barra}) resulte superior a 10%, donde dQ_{gen} será calculado como la suma de las contribuciones individuales de las unidades pertenecientes a una misma central o conjunto de ellas.

En la siguiente tabla se presenta la contribución de potencia reactiva de cada uno de los recursos de control sobre todas las barras pertenecientes a la zona norte del sistema. Los mismos se ordenan en función de su sensibilidad de inyección de potencia reactiva dQ/dQ sobre cada una de las barras.

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ[Mvar/Mvar]
S/E Los Changos	500	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	Central Angamos	0,327
	500	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERNC_DB_HS	CTM3 + IEM	0,299
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	SVC Domeyko	0,287
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Cardones	0,199
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Mejillones	0,184
	500	F3 - E08_0Transf_NERNC_DB	Central KeLar	0,166
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Guacolda	0,138
S/E Cumbre	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Cardones	0,240
	500	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	Central Angamos	0,222
	500	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERNC_DB_HS	CTM3 + IEM	0,203
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	SVC Domeyko	0,202
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Guacolda	0,166
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Mejillones	0,129
	500	F3 - E08_0Transf_NERNC_DB	Central KeLar	0,111
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Pan de Azucar	0,103
S/E Nueva Cardones	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Cardones	0,261
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Guacolda	0,181
	500	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	Central Angamos	0,160
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	SVC Domeyko	0,149
	500	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	CTM3 + IEM	0,147
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Pan de Azucar	0,112
S/E Nueva Maitencillo	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Cardones	0,211
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Guacolda	0,208
	500	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	CER Pan de Azucar	0,142
	500	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERNC_DB_HS	Central Angamos	0,112
	500	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH	CER Polpaico	0,109
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	SVC Domeyko	0,109
	500	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	CTM3 + IEM	0,107
S/E Nueva Pan de Azucar	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	Central Guacolda	0,176
	500	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	CER Pan de Azucar	0,173
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERNC_DB_HH	CER Cardones	0,171
	500	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERNC_DB_HH	CER Polpaico	0,140
	500	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS	Central Ventanas	0,106
S/E Polpaico	500	F3 - E11_CERNC_DBmin_HS (7000MW)	CER Polpaico	0,200
	500	F3 - E09_Max_SING-SIC_CEN_NERNC_DA_HS	Centrales S/E San Luis	0,154
	500	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERNC_DA_HS	Central Ventanas	0,132

Tabla 6-11. Asociación de barras con recursos de control de tensión – Barras 500kV.

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ[Mvar/Mvar]
Parinacota	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CTTAR	0,739
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,266
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_DA_HS	Central TOCopilla	0,228
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,213
	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Cochrane	0,162
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Norgener	0,134
Crucero 220	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,340
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_DA_HS	Central TOCopilla	0,309
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,273
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CTTAR	0,232
	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Cochrane	0,213
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Norgener	0,182
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Angamos	0,116
Encuentro 220	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,340
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_DA_HS	Central TOCopilla	0,306
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,273
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CTTAR	0,233
	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Cochrane	0,216
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Norgener	0,181
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Angamos	0,116
Laberinto 220	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,447
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,309
	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Angamos	0,198
	220	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS	CTM3 + IEM	0,179
	220	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH	Central TOCopilla	0,126
Domeyko 220	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,825
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,109
Kapatur	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Angamos	0,438
	220	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS	CTM3 + IEM	0,380
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,372
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,239
	220	F3 - E08_0Transf_NERN_C_DB	Central KeLar	0,228
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	CER Cardones	0,147
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Guacolda	0,102
S/E Los Changos	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Angamos	0,431
	220	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS	CTM3 + IEM	0,395
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,367
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,235
	220	F3 - E08_0Transf_NERN_C_DB	Central KeLar	0,224
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	CER Cardones	0,151
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Guacolda	0,105

Tabla 6-12. Asociación de barras con recursos de control de tensión – Barras 220kV SING

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ[Mvar/Mvar]
S/E Diego de Almagro	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	SVC Plus	0,800
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Cardones	0,194
S/E Carrera Pinto	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	SVC Plus	0,526
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Cardones	0,360
San Andrés	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Cardones	0,454
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	SVC Plus	0,321
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_H	Central Guacolda	0,121
S/E Cardones	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Cardones	0,504
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	SVC Plus	0,181
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_H	Central Guacolda	0,141
S/E Maitencillo	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_H	Central Guacolda	0,394
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Cardones	0,213
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Maitencillo	0,161
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Pan de Azucar	0,125
S/E Punta Colorada	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Pan de Azucar	0,306
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_H	Central Guacolda	0,259
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Cardones	0,169
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Maitencillo	0,108
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,103
S/E Pan de Azucar	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	CER Pan de Azucar	0,426
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_H	Central Guacolda	0,152
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Cardones	0,118
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,117
	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,107
S/E Las Palmas	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Pan de Azucar	0,305
	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,293
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,245
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_D	Centrales S/E San Luis	0,204
S/E Los Vilos	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,360
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,281
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_D	Centrales S/E San Luis	0,267
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Pan de Azucar	0,207
S/E Nogales	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,430
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_D	Centrales S/E San Luis	0,346
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,314
S/E Quillota	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_D	Centrales S/E San Luis	0,576
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,345
	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,321
S/E Polpaico	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_H	CER Polpaico	0,364
	220	F3 - E09_Max_SING-SICCEN_NERN_C_D	Centrales S/E San Luis	0,265
	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_H	Central Ventanas	0,210

Tabla 6-13. Asociación de barras con recursos de control de tensión – Barras 220kV SIC

Los principales recursos de control se resumen a continuación para cada barra monitoreada:

SubEstación	Recurso Principal de Control
S/E Parinacota	CTTAR
S/E Crucero 220	SVC Domeyko
S/E Encuentro 220	
S/E Laberinto 220	
S/E Domeyko 220	
S/E Los Changos	CTM3 + IEM / CT Angamos
S/E Kapatur	
S/E Cumbre	CER Cardones
S/E Nueva Cardones	
S/E Nueva Maitencillo	
S/E San Andrés	
S/E Cardones	
S/E Diego de Almagro	SVC Plus
S/E Carrera Pinto	
S/E Nueva Pan de Azucar	Central Guacolda
S/E Maitencillo	
S/E Punta Colorada	CER Pan de Azucar
S/E Pan de Azucar	
S/E Las Palmas	
S/E Los Vilos	Central Ventanas
S/E Nogales	Central Ventanas
S/E Quillota	Centrales S/E San Luis
S/E Polpaico	CER Polpaico

Tabla 6-14. Principales recursos de control de tensión

A continuación, se muestra el detalle de los principales recursos sobre las barras que fueron identificadas con mayores niveles de sensibilidad en red completa:

Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ[Mvar/Mvar]
S/E Los Changos	500	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Angamos	0,327
	500	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS	CTM3 + IEM	0,299
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,287
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	CER Cardones	0,199
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,184
	500	F3 - E08_OTransf_NERN_C_DB	Central KeLar	0,166
	500	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Guacolda	0,138
Barra	Vnom [kV]	Escenario	RCT	dQdQ[Mvar/Mvar]
Parinacota	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CTTAR	0,739
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	SVC Domeyko	0,266
	220	F3 - E09_Max_SING-SICEN_NERN_C_DA_HS	Central TOcopilla	0,228
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	Central Mejillones	0,213
	220	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS	Central Cochrane	0,162
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Norgener	0,134
S/E Punta Colorada	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Pan de Azucar	0,306
	220	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH	Central Guacolda	0,259
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Cardones	0,169
	220	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)	CER Maitencillo	0,108
S/E Las Palmas	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Polpaico	0,103
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Pan de Azucar	0,305
	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_HS	Central Ventanas	0,293
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Polpaico	0,245
	220	F3 - E09_Max_SING-SICEN_NERN_C_DA_HS	Centrales S/E San Luis	0,204
S/E Los Vilos	220	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_HS	Central Ventanas	0,360
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Polpaico	0,281
	220	F3 - E09_Max_SING-SICEN_NERN_C_DA_HS	Centrales S/E San Luis	0,267
	220	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH	CER Pan de Azucar	0,207

Tabla 6-15. Principales recursos de control de tensión.

Se puede observar que cuando las centrales de la S/E TEN no se encuentran despachadas (escenarios de hidrología húmeda), el control sobre las barras de Los Changos recae sobre el SVC Domeyko, el CER de Cardones y la Central Mejillones. Por otra parte, cuando estas centrales están despachadas, resultan el principal recurso de control sobre estos nodos junto con la CT Angamos.

Para el caso de Las Palmas y Los Vilos los recursos de control se corresponden con el CER de Pan de Azúcar, la central Ventanas y el CER Polpaico. Estos recursos se encuentran relativamente alejados de estas barras reduciendo la efectividad del control algo que se evidencia en la constancia de alta sensibilidad en todos los escenarios de estudio.

Si bien cada barra del sistema cuenta con un RCT que presenta mayor efectividad para su control, en general la misma es controlada por múltiples recursos evidenciando la relevancia de estos equipos sobre la zona. En función de esto, en el siguiente apartado se analiza la posibilidad de definición de áreas de control de tensión.

6.2.7 Definición de Áreas de control de tensión

En el presente apartado se analiza la conveniencia de definición de áreas de control de tensión con el fin de identificar con facilidad los RCT que tienen mayor influencia en el control de tensión sobre las barras del sistema.

En base a los resultados de los análisis de sensibilidad dQ/dQ , se establecen las siguientes áreas de control de tensión (ACT):

1. **ACT 1:** Barras de Laberinto, Crucero y Encuentro (zona SING). Esta área comprende la mayoría de las barras del SING monitoreadas. Las mismas comparten los recursos de control y pueden ser discriminadas de las áreas definidas posteriormente.
2. **ACT 2:** Barras desde Kapatun 220kV hasta Las Palmas 200kV (incluyendo barras de 500kV entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar). La eficacia de los recursos de control de tensión sobre las barras de toda esta área y la reducción de la impedancia por el nuevo sistema de 500kV derivan en la necesidad de considerar a este tramo como una sola área de control. A pesar de esto, se evaluará reducir los grupos de control sobre barras determinadas al momento de recomendar la asignación de reservas.
3. **ACT 3:** Barras de Los Vilos 220kV hasta Polpaico (500/220kV).



AREA	SubEstación	Recursos asociados
ACT 1	S/E Parinacota	SVC Domeyko CT Tarapacá Complejo Chacaya CT Tocopilla CT Cochran CT Norgener CT Kelar
	S/E Crucero 220	
	S/E Encuentro 220	
	S/E Laberinto 220	
	S/E Domeyko 220	
ACT 2	S/E Los Changos	CT Angamos CTM3 IEM SVC Plus CER Cardones CT Guacolda CER Maitencillo CER Pan de Azúcar
	S/E Kapatur	
	S/E Cumbre	
	S/E Nueva Cardones	
	S/E Nueva Maitencillo	
	S/E San Andrés	
	S/E Cardones	
	S/E Diego de Almagro	
	S/E Carrera Pinto	
	S/E Nueva Pan de Azucar	
	S/E Maitencillo	
	S/E Punta Colorada	
	S/E Pan de Azucar	
S/E Las Palmas		
ACT 3	S/E Los Vilos	Central Ventanas Centrales S/E San Luis CER Polpaico
	S/E Nogales	
	S/E Quillota	
	S/E Polpaico	

Tabla 6-16. Áreas de control de Tensión preliminares y recursos asociados

A pesar de estos, los análisis posteriores de contingencias en el sistema muestran un gran aporte los recursos de las áreas 1 y 3 ante contingencias en el área 2 (como salida de servicio de reactores y líneas de 500kV. Considerando esto se concluye que no se puede definir áreas de control de tensión con recursos de control aislados (particulares a cada área) dentro de los elementos monitoreados. Además, se puede ver que las contingencias en las áreas 1 y 3 no verán un gran efecto de los recursos de control de área 2, pero contingencias en el área 2 sí ocupan recursos de control de las áreas adyacentes.



6.3 Análisis en RED N-1

En el presente apartado se analizan el impacto de diversas contingencias tendientes a evaluar el impacto que las mismas causan sobre el sistema. Las mismas contemplan casos de pérdida de generación, líneas de transmisión y equipos de control de reactivos (SVC, CER, reactores).

6.3.1 Definición de Contingencias

En la tabla a continuación se resumen los elementos que serán evaluados en Red N-1, para la Fase III del estudio.

CONTINGENCIAS
01 Lne Los Changos - Cumbre C1 500kV
02 Lne Cumbre - Nva Cardones C1 500kV
03 Lne Nva Maitencillo - Nva cardones C1 500kV
04 Lne Nva Maitencillo - Nva Pan de Azúcar C1 500kV
05 Lne Nva Pan de Azúcar - Polpaico C1 500kV
06 Maitencillo - Cardones C1 220kV
07 Maitencillo - Abasol(P. Colorada) C1 220kV
08 Los Vilos - Las Palmas C2 220kV
09 CT Guacolda U1
10 CTM3
11 CT Tarapaca
12 CT Cochrane U2
13 CT Tocopilla U16
14 IEM
15 CT Angamos U1
16 Reactor Barra Los Changos 500kV
17 Reactor Barra Nva Cardones 500kV
18 Reactor Línea Nva Cardones - Nva Maitencillo 500kV
19 Reactor Línea Nva Pan de Azu - Nva Maitencillo 500kV
20 Reactor Línea Nva Pan de Azu - Polpaico 500kV
21 Reactor Línea Polpaico - Nva Pan de Azu 500kV
22 SVC Domeyko
23 SVC Plus
24 CER Cardones
25 CER Maitencillo
26 CER Polpaico
27 CER Pan de Azúcar
28 Transformador Los Changos 500/220kV
29 Transformador Nva Cardones 525/230/34.5kV
30 Transformador Nva Maitencillo 525/230/34.5kV
31 Transformador Nva Pan de Azúcar 525/230/34.5kV

Tabla 6-17: Conjunto de contingencias simples mínimas a analizar en Fase III.

6.3.2 Determinación de contingencias más exigentes

Del mismo modo que se realizó para la Fase I y Fase II, a continuación, se analiza el impacto de las contingencias antes señaladas en función de los siguientes indicadores:

- ✓ Tensiones finales post-contingencia
- ✓ Variación de tensión
- ✓ Requerimientos de reactivos
- ✓ Sensibilidad post-contingencia

6.3.2.1 Tensiones finales post-contingencia

Como primer criterio se analizan los valores finales de tensión que se alcanzan en las barras del sistema post-contingencia.

De la Tabla 6-18 a la Tabla 6-21 se muestra para cada barra y contingencia cuales son los mayores y menores valores de tensión (en pu de las tensiones de servicio actualmente definidas más las propuestas para 500kV) para todos los escenarios analizados, donde se ha resaltado las tensiones fuera de los límites de tensión para Estado de Emergencia: en rojo las sobretensiones ($>1,05pu$ para barras de 500kV nominal y $>1,1pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio) y en azul las subtensiones ($<0,93pu$ para barras de 500kV nominal y $<0,90pu$ para barras de 220kV nominal, referidos a las tensiones de servicio).

Como se puede ver de la Tabla 6-18 a la Tabla 6-21, no se presentan incumplimientos normativos ante ninguna de las contingencias analizadas (para todos los escenarios de estudio).

Se determinan las contingencias más críticas en base a las que provocan las mayores tensiones post-contingencia, éstas son:

- ✓ **Reactores Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
- ✓ **Central de CT Angamos U1**
- ✓ **Línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV**

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA														
			Lineas								Centrales						
NODOS		Us [kV]	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
			Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]														
S/E Los Changos	500	1,027	1,010	1,023	1,018	1,023	1,017	1,026	1,027	1,026	1,027	1,034	1,032	1,035	1,036	1,037	1,034
S/E Cumbre	505	1,026	1,006	1,013	1,012	1,020	1,018	1,024	1,026	1,026	1,023	1,026	1,020	1,026	1,025	1,033	1,027
S/E Nva Cardones	500	1,023	1,005	1,012	1,008	1,016	1,014	1,020	1,023	1,022	1,019	1,020	1,014	1,019	1,020	1,026	1,021
S/E Nueva Maitencillo	505	1,016	1,010	1,011	1,011	1,010	1,012	1,016	1,016	1,015	1,016	1,024	1,018	1,023	1,021	1,030	1,025
S/E Nueva Pan de Azucar	510	1,021	1,016	1,017	1,017	1,016	1,012	1,021	1,020	1,020	1,020	1,021	1,029	1,024	1,028	1,026	1,035
S/E Polpaico	500	1,020	1,017	1,018	1,018	1,016	1,004	1,020	1,020	1,019	1,022	1,026	1,023	1,025	1,026	1,028	1,025
S/E Parinacota	220	1,026	1,024	1,025	1,025	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,027	1,011	1,024	1,028	1,027	1,027
S/E Crucero	220	1,033	1,031	1,032	1,032	1,032	1,032	1,033	1,033	1,033	1,033	1,035	1,034	1,039	1,044	1,036	1,034
S/E Encuentro	220	1,034	1,031	1,033	1,032	1,033	1,032	1,033	1,034	1,034	1,033	1,035	1,035	1,040	1,044	1,036	1,035
S/E Kapatur	220	1,035	1,026	1,033	1,032	1,034	1,035	1,035	1,035	1,035	1,035	1,036	1,034	1,035	1,038	1,037	1,036
S/E Laberinto	220	1,027	1,023	1,026	1,025	1,026	1,027	1,026	1,027	1,027	1,027	1,028	1,025	1,027	1,028	1,027	1,028
S/E Los Changos	220	1,036	1,026	1,034	1,033	1,034	1,035	1,035	1,036	1,036	1,035	1,036	1,035	1,035	1,038	1,037	1,036
S/E Domeyko	220	1,004	1,003	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,005	1,003	1,004	1,005	1,004	1,005
S/E Diego de Almagro	224	1,034	1,031	1,032	1,032	1,033	1,033	1,033	1,033	1,034	1,034	1,035	1,035	1,035	1,036	1,035	1,035
S/E Carrera Pinto	224	1,035	1,031	1,032	1,032	1,033	1,033	1,034	1,034	1,035	1,036	1,038	1,036	1,037	1,039	1,038	1,038
S/E San Andrés	224	1,030	1,025	1,027	1,027	1,028	1,029	1,029	1,030	1,030	1,032	1,035	1,033	1,034	1,036	1,035	1,035
S/E Cardones	224	1,027	1,021	1,023	1,022	1,024	1,025	1,025	1,026	1,027	1,029	1,032	1,030	1,031	1,033	1,032	1,032
S/E Maitencillo	226	1,025	1,020	1,021	1,021	1,021	1,022	1,024	1,024	1,025	1,028	1,034	1,029	1,032	1,033	1,040	1,032
S/E Punta Colorada	228	1,021	1,018	1,019	1,018	1,018	1,020	1,020	1,025	1,021	1,021	1,028	1,023	1,027	1,028	1,035	1,026
S/E Pan de Azúcar	228	1,016	1,013	1,013	1,013	1,012	1,014	1,015	1,017	1,016	1,016	1,024	1,018	1,023	1,023	1,031	1,023
S/E Las Palmas	228	1,016	1,011	1,013	1,011	1,011	1,009	1,015	1,016	1,016	1,010	1,016	1,012	1,015	1,015	1,021	1,017
S/E Los Vilos	226	1,015	1,011	1,013	1,011	1,012	1,005	1,015	1,016	1,009	1,010	1,013	1,009	1,012	1,013	1,018	1,012
S/E Nogales	226	1,001	0,999	1,000	0,999	0,999	0,990	1,000	1,001	0,999	0,998	0,995	0,996	0,994	0,994	0,997	0,994
S/E Quillota	226	0,994	0,993	0,993	0,993	0,993	0,988	0,994	0,994	0,993	0,992	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990	0,990
S/E Polpaico	224	1,004	1,002	1,003	1,002	1,003	0,995	1,004	1,004	1,004	1,002	0,999	1,001	0,999	0,999	1,001	0,999

Tabla 6-18. Tensiones máximas en red N-1 por barra y contingencia (1-15).

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA														
			Lineas								Centrales						
NODOS		Us [kV]	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
			Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]														
S/E Los Changos	500	0,991	0,956	0,981	0,980	0,987	0,984	0,990	0,991	0,991	0,989	1,008	0,964	0,961	0,959	1,010	0,943
S/E Cumbre	505	0,998	0,981	0,989	0,987	0,995	0,986	0,997	0,998	0,998	0,999	1,007	0,980	0,978	0,976	1,011	0,963
S/E Nva Cardones	500	0,995	0,980	0,986	0,978	0,988	0,976	0,994	0,995	0,995	0,996	1,005	0,986	0,984	0,982	1,009	0,972
S/E Nueva Maitencillo	505	0,999	0,987	0,992	0,987	0,988	0,973	0,998	0,999	0,999	0,997	1,007	0,986	0,984	0,982	1,010	0,973
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,997	0,990	0,993	0,992	0,987	0,967	0,996	0,996	0,997	0,998	1,005	0,990	0,987	0,986	1,007	0,978
S/E Polpaico	500	0,981	0,966	0,967	0,965	0,963	0,950	0,969	0,981	0,979	0,982	0,987	0,984	0,985	0,988	0,990	0,986
S/E Parinacota	220	0,989	0,984	0,987	0,986	0,987	0,986	0,988	0,989	0,988	0,989	0,990	0,932	0,977	0,982	0,991	0,980
S/E Crucero	220	1,022	1,015	1,022	1,021	1,022	1,021	1,022	1,022	1,022	1,022	1,023	1,000	1,004	1,011	1,024	1,008
S/E Encuentro	220	1,023	1,015	1,022	1,022	1,023	1,022	1,023	1,023	1,023	1,023	1,023	1,000	1,004	1,011	1,024	1,009
S/E Kapatur	220	1,010	0,992	1,004	1,000	1,004	0,999	1,007	1,010	1,010	1,010	1,018	0,994	1,000	1,000	1,022	0,984
S/E Laberinto	220	1,004	0,993	1,000	0,998	1,000	0,997	1,002	1,004	1,004	1,004	1,014	0,990	0,990	0,993	1,015	0,985
S/E Los Changos	220	1,010	0,991	1,004	1,000	1,004	0,999	1,007	1,010	1,010	1,010	1,018	0,994	1,001	1,000	1,023	0,984
S/E Domeyko	220	0,982	0,963	0,979	0,979	0,982	0,978	0,982	0,982	0,982	0,982	0,983	0,955	0,955	0,957	0,983	0,948
S/E Diego de Almagro	224	1,007	1,006	1,006	1,005	1,006	1,005	1,006	1,007	1,007	1,007	1,010	1,006	1,006	1,006	1,011	1,006
S/E Carrera Pinto	224	1,002	0,999	1,000	0,999	1,000	0,999	1,000	1,002	1,001	1,002	1,015	1,000	1,014	1,014	1,016	1,000
S/E San Andrés	224	0,999	0,995	0,996	0,995	0,997	0,996	0,997	0,999	0,998	0,999	1,014	0,997	1,013	1,013	1,016	0,996
S/E Cardones	224	1,001	0,996	0,997	0,996	0,998	0,997	0,998	1,001	1,000	1,001	1,015	0,998	1,009	1,009	1,018	0,997
S/E Maitencillo	226	1,011	1,003	1,006	1,000	1,004	0,994	1,009	1,010	1,010	1,010	1,022	1,009	1,013	1,013	1,025	1,007
S/E Punta Colorada	228	1,003	0,995	0,997	0,992	0,991	0,978	1,001	1,001	1,000	1,002	1,013	1,001	1,009	1,008	1,016	1,000
S/E Pan de Azúcar	228	0,996	0,990	0,992	0,988	0,984	0,968	0,995	0,996	0,993	0,997	1,003	0,997	1,000	0,999	1,006	0,991
S/E Las Palmas	228	0,966	0,964	0,964	0,964	0,962	0,937	0,966	0,965	0,960	0,967	0,985	0,966	0,983	0,986	0,988	0,965
S/E Los Vilos	226	0,973	0,969	0,970	0,968	0,966	0,944	0,972	0,972	0,967	0,974	0,991	0,973	0,988	0,987	0,993	0,972
S/E Nogales	226	0,973	0,964	0,965	0,964	0,963	0,952	0,966	0,972	0,972	0,973	0,982	0,972	0,978	0,977	0,983	0,971
S/E Quillota	226	0,964	0,957	0,958	0,957	0,956	0,948	0,959	0,964	0,963	0,964	0,973	0,963	0,970	0,970	0,975	0,962
S/E Polpaico	224	0,981	0,968	0,968	0,968	0,966	0,958	0,970	0,981	0,980	0,981	0,987	0,982	0,985	0,984	0,987	0,981

Tabla 6-19. Tensiones mínimas en red N-1 por barra y contingencia (1-15).

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA															
			Reactores					CERs y SVCs										
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
NODOS	Us [kV]		Máximas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]															
S/E Los Changos	500	1,027	1,049	1,044	1,032	1,029	1,036	1,029	1,022	1,026	1,026	1,027	1,027	1,027	1,021	1,029	1,025	1,028
S/E Cumbre	505	1,026	1,035	1,050	1,035	1,031	1,040	1,030	1,018	1,027	1,029	1,026	1,026	1,027	1,019	1,029	1,020	1,029
S/E Nva Cardones	500	1,023	1,028	1,048	1,032	1,028	1,038	1,027	1,017	1,023	1,025	1,023	1,023	1,024	1,016	1,025	1,017	1,026
S/E Nueva Maitencillo	505	1,016	1,025	1,033	1,022	1,022	1,033	1,023	1,014	1,017	1,017	1,016	1,016	1,017	1,014	1,017	1,018	1,023
S/E Nueva Pan de Azúcar	510	1,021	1,028	1,031	1,025	1,029	1,039	1,029	1,019	1,021	1,019	1,021	1,021	1,022	1,020	1,017	1,020	1,032
S/E Polpaico	500	1,020	1,023	1,026	1,022	1,024	1,032	1,042	1,020	1,021	1,020	1,020	1,024	1,021	1,020	1,020	1,019	1,021
S/E Parrinacota	220	1,026	1,027	1,027	1,026	1,026	1,026	1,026	1,020	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,025	1,026	1,026	1,026
S/E Crucero	220	1,033	1,038	1,037	1,035	1,034	1,036	1,034	1,029	1,034	1,034	1,033	1,033	1,034	1,031	1,034	1,033	1,034
S/E Encuentro	220	1,034	1,039	1,038	1,035	1,035	1,036	1,034	1,030	1,034	1,034	1,034	1,034	1,034	1,032	1,034	1,033	1,034
S/E Kapatur	220	1,035	1,048	1,042	1,038	1,037	1,039	1,036	1,028	1,037	1,036	1,035	1,035	1,035	1,033	1,037	1,035	1,036
S/E Laberinto	220	1,027	1,032	1,030	1,028	1,027	1,028	1,027	1,013	1,027	1,027	1,027	1,027	1,027	1,026	1,028	1,027	1,027
S/E Los Changos	220	1,036	1,049	1,043	1,039	1,037	1,040	1,037	1,029	1,038	1,037	1,036	1,036	1,036	1,034	1,038	1,036	1,037
S/E Domeyko	220	1,004	1,007	1,006	1,005	1,005	1,005	1,005	0,981	1,005	1,005	1,004	1,004	1,004	1,004	1,005	1,004	1,005
S/E Diego de Almagro	224	1,034	1,035	1,037	1,035	1,034	1,035	1,034	1,033	1,050	1,035	1,034	1,034	1,034	1,033	1,032	1,033	1,034
S/E Carrera Pinto	224	1,035	1,038	1,041	1,037	1,036	1,038	1,035	1,034	1,040	1,038	1,035	1,034	1,035	1,034	1,031	1,034	1,035
S/E San Andrés	224	1,030	1,035	1,039	1,033	1,032	1,034	1,032	1,030	1,034	1,035	1,031	1,030	1,031	1,030	1,026	1,029	1,031
S/E Cardones	224	1,027	1,032	1,036	1,030	1,029	1,031	1,028	1,026	1,029	1,032	1,027	1,027	1,027	1,026	1,021	1,025	1,028
S/E Maitencillo	226	1,025	1,030	1,035	1,028	1,028	1,038	1,030	1,024	1,028	1,027	1,026	1,025	1,025	1,024	1,025	1,031	1,025
S/E Punta Colorada	228	1,021	1,027	1,032	1,024	1,026	1,035	1,024	1,020	1,024	1,023	1,022	1,021	1,024	1,022	1,023	1,022	1,013
S/E Pan de Azúcar	228	1,016	1,021	1,026	1,019	1,021	1,032	1,021	1,014	1,018	1,017	1,016	1,016	1,020	1,016	1,018	1,014	1,004
S/E Las Palmas	228	1,016	1,016	1,022	1,018	1,019	1,026	1,020	1,014	1,016	1,016	1,016	1,016	1,017	1,014	1,016	1,014	1,004
S/E Los Vilos	226	1,015	1,015	1,020	1,017	1,018	1,023	1,020	1,014	1,015	1,016	1,015	1,016	1,016	1,014	1,015	1,014	1,007
S/E Nogales	226	1,001	1,001	1,003	1,002	1,002	1,004	1,005	1,000	1,001	1,001	1,001	1,001	1,002	1,001	1,000	1,001	1,000
S/E Quillota	226	0,994	0,994	0,996	0,995	0,995	0,998	0,999	0,994	0,994	0,995	0,994	0,995	0,995	0,994	0,994	0,993	0,994
S/E Polpaico	224	1,004	1,004	1,007	1,005	1,006	1,008	1,011	1,004	1,004	1,005	1,004	1,006	1,005	1,004	1,005	1,003	1,005

Tabla 6-20. Tensiones máximas en red N-1 por barra y contingencia (15-31).

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA															
			Reactores					CERs y SVCs										
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
NODOS	Us [kV]	MÍNIMAS	Mínimas Tensiones [p.u. de tensión de servicio]															
S/E Los Changos	500 0,991		0,991	1,005	0,997	0,995	1,000	0,994	0,979	0,992	0,991	0,992	0,992	0,991	0,985	0,993	0,989	0,993
S/E Cumbre	505 0,998		1,002	1,012	1,004	1,001	1,006	1,000	0,993	1,000	0,994	0,998	0,998	0,998	0,998	0,992	0,995	0,999
S/E Nva Cardones	500 0,995		1,003	1,013	1,003	0,999	1,005	0,998	0,993	0,998	0,991	0,995	0,995	0,995	0,996	0,988	0,992	0,996
S/E Nueva Maitencillo	505 0,999		1,002	1,012	1,005	1,005	1,013	1,003	0,997	1,001	0,996	0,999	0,998	1,000	0,999	0,994	0,995	1,001
S/E Nueva Pan de Azucar	510 0,997		1,002	1,006	1,001	1,005	1,016	1,002	0,996	0,997	0,995	0,997	0,996	0,997	0,996	0,993	0,994	1,001
S/E Polpaico	500 0,981		0,984	0,986	0,983	0,985	0,990	0,993	0,980	0,980	0,979	0,981	0,979	0,981	0,980	0,970	0,968	0,985
S/E Parinacota	220 0,989		0,991	0,990	0,989	0,989	0,989	0,989	0,979	0,989	0,988	0,989	0,988	0,989	0,986	0,988	0,988	0,989
S/E Crucero	220 1,022		1,024	1,023	1,023	1,023	1,023	1,023	1,011	1,023	1,022	1,022	1,022	1,022	1,020	1,022	1,022	1,022
S/E Encuentro	220 1,023		1,024	1,024	1,023	1,023	1,023	1,023	1,011	1,023	1,023	1,023	1,023	1,023	1,020	1,022	1,023	1,023
S/E Kapatur	220 1,010		1,022	1,016	1,013	1,012	1,014	1,012	0,998	1,011	1,009	1,010	1,010	1,010	1,000	1,008	1,006	1,011
S/E Laberinto	220 1,004		1,010	1,007	1,005	1,005	1,005	1,005	0,981	1,004	1,003	1,004	1,004	1,004	0,998	1,003	1,001	1,004
S/E Los Changos	220 1,010		1,022	1,016	1,013	1,012	1,014	1,012	0,998	1,011	1,009	1,010	1,010	1,010	1,000	1,007	1,005	1,011
S/E Domeyko	220 0,982		0,983	0,983	0,982	0,982	0,982	0,982	0,931	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,976	0,982	0,982	0,982
S/E Diego de Almagro	224 1,007		1,009	1,011	1,009	1,008	1,010	1,007	1,006	0,995	1,005	1,007	1,007	1,007	1,007	1,003	1,006	1,007
S/E Carrera Pinto	224 1,002		1,006	1,008	1,004	1,003	1,006	1,003	1,001	1,000	0,997	1,002	1,002	1,002	1,001	0,992	0,995	1,002
S/E San Andrés	224 0,999		1,004	1,007	1,002	1,001	1,004	1,001	0,997	0,998	0,993	0,999	0,999	0,999	0,998	0,987	0,990	0,999
S/E Cardones	224 1,001		1,006	1,009	1,004	1,003	1,006	1,003	0,999	1,000	0,994	1,000	1,001	1,001	0,999	0,987	0,990	1,001
S/E Maitencillo	226 1,011		1,016	1,019	1,014	1,014	1,019	1,015	1,009	1,011	1,008	1,010	1,011	1,011	1,010	0,984	1,004	1,006
S/E Punta Colorada	228 1,003		1,008	1,011	1,006	1,007	1,014	1,007	1,001	1,002	1,000	1,002	1,003	1,004	1,001	0,981	0,988	0,979
S/E Pan de Azúcar	228 0,996	1,000	1,003	0,999	1,001	1,007	1,001	0,995	0,995	0,993	0,996	0,995	0,995	0,995	0,985	0,987	0,959	
S/E Las Palmas	228 0,966	0,970	0,972	0,969	0,970	0,977	0,973	0,965	0,966	0,965	0,966	0,967	0,968	0,966	0,956	0,957	0,936	
S/E Los Vilos	226 0,973	0,976	0,978	0,975	0,977	0,982	0,980	0,973	0,973	0,972	0,973	0,974	0,975	0,973	0,966	0,966	0,952	
S/E Nogales	226 0,973	0,975	0,976	0,974	0,975	0,978	0,979	0,972	0,973	0,972	0,973	0,973	0,973	0,972	0,965	0,964	0,969	
S/E Quillota	226 0,964	0,966	0,967	0,965	0,966	0,970	0,971	0,964	0,964	0,964	0,964	0,965	0,965	0,964	0,959	0,958	0,962	
S/E Polpaico	224 0,981	0,982	0,983	0,982	0,983	0,986	0,987	0,980	0,981	0,980	0,981	0,979	0,981	0,980	0,970	0,969	0,982	

Tabla 6-21. Tensiones mínimas en red N-1 por barra y contingencia (15-31).

6.3.2.2 Variación en los niveles de tensión

Este análisis se realiza con el objetivo de evaluar el impacto de las contingencias en las tensiones finales del sistema versus las tensiones que había antes de ocurrir ésta. Las variaciones de tensión son calculadas como la diferencia entre el valor post-contingencias y el valor pre-contingencia, de este modo, si luego de una contingencia las tensiones disminuyen, la variación será negativa, y viceversa.

En la Tabla 6-22 y Tabla 6-23 se muestra para cada barra y contingencia cuales son variaciones de tensión para todos los escenarios analizados, se resaltan en rojo las variaciones mayores a un 2% en barra de 500kV y a un 3% en barras de 220kV.

A partir de los resultados de las simulaciones de contingencias simples, resumidos en la Tabla 6-22 y Tabla 6-23, se encuentra lo siguiente:

➤ **Máximas variaciones positivas**

- ✓ **Pérdida del SVC Plus (impacto local)**
- ✓ **Pérdida de Reactores shunt Los Changos y Nueva Cardones (500kV)**
- ✓ **Pérdida de reactor de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico, extremo Nueva Pan de Azúcar**

➤ **Máximas variaciones negativas**

Por otro lado, las máximas variaciones negativas se dan ante:

- ✓ **Pérdida de una unidad de CT Angamos y CT Tarapacá**
- ✓ **SVC Domeyko (impacto local)**
- ✓ **Circuito de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV**
- ✓ **Circuito de línea Los Changos – Cumbres 2x500kV**

Tensiones Finales en red N-1		CONTINGENCIA														
		Lineas								Centrales						
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
NODOS	Userv [kV]	MAXIMAS VARIACIONES DE TENSION (POSITIVAS) [%]														
S/E Los Changos	500	-1,6	-0,3	-0,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	0,8	1,3	1,1	1,7	1,0
S/E Cumbre	505	-1,0	-0,5	-0,8	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	1,5	0,9	1,5	1,4	2,3	1,4
S/E Nva Cardones	500	-0,7	-0,5	-0,9	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	1,5	0,9	1,4	1,5	2,3	1,5
S/E Nueva Maitencillo	505	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	0,8	1,2	1,4	2,2	1,3
S/E Nueva Pan de Azucar	510	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	1,4	0,8	1,3	1,4	2,2	1,3
S/E Polpaico	500	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	0,5	0,8	0,7	1,2	0,9
S/E Parinacota	220	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,2	1,1	1,1	0,2	0,1
S/E Crucero	220	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	1,4	1,4	0,3	0,2
S/E Encuentro	220	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	1,4	1,4	0,3	0,2
S/E Kapatur	220	-0,6	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,8	1,3	1,1	1,4	0,7
S/E Laberinto	220	-0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,5	1,2	0,6	0,4
S/E Los Changos	220	-0,6	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,8	1,4	1,1	1,5	0,8
S/E Domeyko	220	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,6	0,4	0,2	0,2
S/E Diego de Almagro	224	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,9	0,2
S/E Carrera Pinto	224	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,3	0,4	0,4	1,0	0,4
S/E San Andrés	224	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,6	0,3	0,5	0,6	1,1	0,6
S/E Cardones	224	-0,3	-0,2	-0,4	-0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2	0,7	0,4	0,6	0,6	1,2	0,6
S/E Maitencillo	226	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,9	0,5	0,8	0,9	1,5	0,8
S/E Punta Colorada	228	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,4	0,0	0,4	1,1	0,5	1,0	1,0	1,8	1,0
S/E Pan de Azúcar	228	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	1,2	0,5	1,0	1,1	1,9	1,1
S/E Las Palmas	228	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,2	0,4	1,0	0,5	0,9	1,0	1,6	0,9
S/E Los Vilos	226	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,5	0,3	0,8	0,4	0,7	0,8	1,3	0,8
S/E Nogales	226	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,4	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4
S/E Quillota	226	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,2	0,4	0,4	0,6	0,4
S/E Polpaico	224	-0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5
NODOS	Userv [kV]	MAXIMAS VARIACIONES DE TENSION (NEGATIVAS) [%]														
S/E Los Changos	500	-4,0	-1,1	-1,6	-1,0	-1,8	-0,5	0,0	-0,1	-0,3	0,5	-3,0	-3,1	-3,2	0,7	-4,8
S/E Cumbre	505	-2,9	-1,4	-2,2	-1,4	-2,4	-0,8	-0,1	-0,1	-0,3	0,9	-2,4	-2,5	-2,6	1,2	-3,9
S/E Nva Cardones	500	-2,4	-1,7	-2,6	-1,6	-2,7	-0,9	-0,1	-0,1	-0,4	0,9	-1,9	-2,0	-2,1	1,2	-3,2
S/E Nueva Maitencillo	505	-2,1	-1,7	-2,1	-2,0	-3,5	-1,1	-0,1	-0,2	-0,5	0,8	-1,7	-1,8	-1,9	1,0	-2,8
S/E Nueva Pan de Azucar	510	-2,1	-1,8	-2,2	-2,6	-4,6	-1,4	-0,1	-0,2	-0,5	0,7	-1,5	-1,6	-1,8	1,0	-2,6
S/E Polpaico	500	-2,4	-2,2	-2,4	-2,6	-4,0	-2,0	0,0	-0,2	-0,4	0,1	-0,7	-0,8	-1,0	0,0	-1,1
S/E Parinacota	220	-0,7	-0,2	-0,2	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-6,1	-1,6	-1,0	0,1	-1,2
S/E Crucero	220	-0,9	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	-2,3	-1,9	-1,3	0,1	-1,5
S/E Encuentro	220	-0,9	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	-2,4	-2,0	-1,3	0,1	-1,5
S/E Kapatur	220	-3,0	-0,8	-1,0	-0,6	-1,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,3	-2,7	-2,7	-2,7	0,4	-4,3
S/E Laberinto	220	-1,6	-0,4	-0,6	-0,3	-0,7	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,1	-2,5	-2,4	-2,2	0,2	-2,9
S/E Los Changos	220	-3,0	-0,8	-1,0	-0,6	-1,1	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,3	-2,8	-2,7	-2,7	0,4	-4,3
S/E Domeyko	220	-2,0	-0,4	-0,7	-0,3	-0,7	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	-2,9	-2,9	-2,7	0,1	-3,7
S/E Diego de Almagro	224	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,3	-0,4	0,2	-0,5
S/E Carrera Pinto	224	-0,7	-0,5	-0,7	-0,5	-0,9	-0,4	0,0	0,0	-0,1	0,2	-0,6	-0,6	-0,7	0,3	-1,0
S/E San Andrés	224	-1,0	-0,7	-0,9	-0,7	-1,2	-0,5	0,0	-0,1	-0,1	0,3	-0,8	-0,8	-0,9	0,4	-1,3
S/E Cardones	224	-1,1	-0,8	-1,1	-0,8	-1,4	-0,6	-0,1	-0,1	-0,1	0,4	-0,9	-0,9	-1,0	0,5	-1,5
S/E Maitencillo	226	-1,3	-1,0	-1,5	-1,2	-2,2	-0,6	-0,1	-0,1	-0,2	0,4	-0,9	-1,0	-1,0	0,5	-1,6
S/E Punta Colorada	228	-1,4	-1,1	-1,6	-1,8	-3,0	-0,8	-0,2	-0,2	-0,3	0,5	-1,0	-1,1	-1,2	0,6	-1,8
S/E Pan de Azúcar	228	-1,4	-1,2	-1,5	-1,9	-3,5	-0,9	-0,2	-0,3	-0,4	0,5	-1,0	-1,1	-1,3	0,6	-2,0
S/E Las Palmas	228	-1,4	-1,2	-1,5	-1,8	-4,3	-1,0	-0,2	-0,7	-0,6	0,2	-1,0	-1,2	-1,4	0,3	-2,0
S/E Los Vilos	226	-1,2	-1,1	-1,3	-1,6	-3,9	-0,9	-0,1	-0,9	-0,5	0,1	-0,9	-1,0	-1,1	0,1	-1,7
S/E Nogales	226	-1,0	-1,0	-1,1	-1,2	-2,2	-0,9	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,5	-0,4	-0,5	-0,1	-0,7
S/E Quillota	226	-1,0	-0,9	-1,0	-1,1	-2,0	-0,9	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	-0,1	-0,5
S/E Polpaico	224	-1,3	-1,2	-1,3	-1,5	-2,3	-1,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,4	-0,4	-0,5	0,0	-0,7

Tabla 6-22. Deltas máximos de Tensión por barra. Contingencias 1 a 15.

Tensiones Finales en red N-1		CONTINGENCIA															
		Reactores					CERs y SVCs						Transformadores				
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
NODOS	Userv [kV]	MAXIMAS VARIACIONES DE TENSION (POSITIVAS) [%]															
S/E Los Changos	500	2,7	2,0	0,8	0,4	1,2	0,4	-0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5	0,4	0,1	0,3
S/E Cumbre	505	1,8	2,3	0,9	0,5	1,4	0,5	-0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	0,1	0,4
S/E Nva Cardones	500	1,3	2,4	0,9	0,6	1,5	0,6	-0,1	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,8	0,2	0,4
S/E Nueva Maitencillo	505	0,9	1,8	0,7	0,7	2,0	0,8	-0,1	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,6
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,7	1,4	0,5	0,9	2,6	1,1	-0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	1,1
S/E Polpaico	500	0,4	0,6	0,2	0,4	1,2	2,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5
S/E Parinacota	220	0,5	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
S/E Crucero	220	0,7	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
S/E Encuentro	220	0,7	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
S/E Kapatur	220	1,7	1,4	0,6	0,3	0,9	0,2	-0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	-0,2	0,2	0,0	0,2
S/E Laberinto	220	0,8	0,6	0,2	0,1	0,4	0,1	-0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,1
S/E Los Changos	220	1,8	1,5	0,6	0,3	0,9	0,2	-0,3	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	-0,2	0,2	0,1	0,2
S/E Domeyko	220	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	-1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S/E Diego de Almagro	224	0,3	0,9	0,2	0,1	0,5	0,1	0,0	3,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
S/E Carrera Pinto	224	0,5	1,2	0,3	0,2	0,6	0,2	0,0	2,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,1
S/E San Andrés	224	0,7	1,4	0,5	0,3	0,9	0,3	0,0	1,6	0,8	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,2
S/E Cardones	224	0,8	1,6	0,5	0,3	1,0	0,3	-0,1	1,2	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	-0,1	0,2
S/E Maitencillo	226	0,6	1,1	0,4	0,4	1,3	0,5	-0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	0,1
S/E Punta Colorada	228	0,6	1,1	0,4	0,5	1,7	0,7	-0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	-0,4
S/E Pan de Azúcar	228	0,6	1,1	0,3	0,6	2,0	0,9	0,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	-0,1	-0,8
S/E Las Palmas	228	0,4	0,8	0,2	0,4	1,5	1,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0	-0,4
S/E Los Vilos	226	0,3	0,6	0,2	0,3	1,2	1,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	-0,2
S/E Nogales	226	0,2	0,4	0,1	0,2	0,8	1,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S/E Quillota	226	0,2	0,4	0,1	0,2	0,7	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S/E Polpaico	224	0,2	0,4	0,1	0,3	0,9	1,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
NODOS	Userv [kV]	MAXIMAS VARIACIONES DE TENSION (NEGATIVAS) [%]															
S/E Los Changos	500	0,0	0,9	0,4	0,2	0,5	0,1	-1,3	-0,1	-0,3	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,8	0,1	0,1
S/E Cumbre	505	0,0	1,5	0,6	0,3	0,8	0,2	-0,9	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	0,0	-0,9	-0,6	-1,1	0,1
S/E Nva Cardones	500	0,0	1,8	0,7	0,4	0,9	0,3	-0,6	-0,1	-0,5	0,0	-0,1	0,0	-0,7	-0,7	-1,2	0,1
S/E Nueva Maitencillo	505	0,0	1,2	0,5	0,5	1,2	0,4	-0,5	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	0,0	-0,5	-1,0	-1,4	0,2
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,0	0,9	0,4	0,7	1,8	0,5	-0,4	-0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,0	-0,4	-1,4	-1,6	0,3
S/E Polpaico	500	0,0	0,3	0,1	0,2	0,6	1,2	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,3	0,0	-0,1	-2,0	-2,1	0,1
S/E Parinacota	220	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0
S/E Crucero	220	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	0,0
S/E Encuentro	220	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1	-0,1	0,0
S/E Kapatur	220	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	-1,7	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-1,1	-0,2	-0,4	0,0
S/E Laberinto	220	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	-2,5	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,1	-0,2	0,0
S/E Los Changos	220	0,0	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	-1,7	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-1,2	-0,3	-0,5	0,0
S/E Domeyko	220	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	-0,1	-0,2	0,0
S/E Diego de Almagro	224	0,0	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	-1,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5	-0,4	0,0
S/E Carrera Pinto	224	0,0	0,5	0,2	0,1	0,3	0,1	-0,2	-0,8	-0,7	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,9	-0,7	0,0
S/E San Andrés	224	0,0	0,6	0,3	0,2	0,4	0,1	-0,2	-0,5	-0,9	0,0	0,0	0,0	-0,2	-1,2	-0,9	0,0
S/E Cardones	224	0,0	0,7	0,3	0,2	0,4	0,1	-0,3	-0,3	-1,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-1,4	-1,0	0,0
S/E Maitencillo	226	0,0	0,7	0,3	0,3	0,6	0,2	-0,2	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-2,7	-0,6	-0,4
S/E Punta Colorada	228	0,0	0,6	0,3	0,4	0,9	0,3	-0,2	-0,1	-0,3	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-2,2	-1,5	-2,4
S/E Pan de Azúcar	228	0,0	0,6	0,2	0,4	1,1	0,3	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,2	-1,3	-1,7	-3,9
S/E Las Palmas	228	0,0	0,4	0,2	0,3	0,6	0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,2	-1,2	-1,6	-3,1
S/E Los Vilos	226	0,0	0,3	0,1	0,2	0,4	0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-1,1	-1,5	-2,2
S/E Nogales	226	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,1	-0,9	-1,0	-0,4
S/E Quillota	226	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,9	-1,0	-0,2
S/E Polpaico	224	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,5	0,0	-0,1	-1,1	-1,2	0,0

Tabla 6-23. Deltas máximos de Tensión por barra. Contingencias 15 a 31.

6.3.2.3 Variación de la inyección/absorción de reactivos

A continuación, se enuncia para cada contingencia, cual es la variación máxima de absorción/inyección de reactivos de los recursos de control, y para qué escenario se presenta.

Contingencia	RPR Total [Mvar]	Escenario de Operación
Línea Nva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1	559	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Angamos U1	546	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
Cochrane U2	463	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
U16	458	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
CTTAR	450	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
Línea Los Changos - Cumbre 500kV C1	417	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Línea Nva Maitencillo - Nva Cardones 500kV C1	386	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Línea Nva Maitencillo - Nva Pan de Azúcar 500kV C1	342	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Línea Cumbre - Nva Cardones 500kV C1	297	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Transformador Nva Maitencillo 500/220kV	271	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
CTM1	252	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
Transformador Nva Cardones 500/200kV	240	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH
Línea Maitencillo - Cardones 220kV L3	225	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
SVC Domeyko	224	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
Transformador Los Changos 500/220kV	99	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Guacolda U1	82	F3 - E07_Max_SIC-SING_NERN_C_DA_HH
Transformador Pan de Azúcar 500/220kV	76	F3 - E06_Max_SIC-SING_CERN_C_DB_HH
CER Cardones	69	F3 - E03_Max_SING-SIC_CERN_C_DA_HS
CER Polpaico	50	F3 - E04_Max_SING-SIC_NERN_C_DA_HS

Tabla 6-24. Requerimiento de reactivos máximos (inyección)

Contingencia	RPR Total [Mvar]	Escenario de Operación
Cochrane U2	-398	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
IEM	-305	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS
U16	-288	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Angamos U1	-223	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Reactor Nva Cardones 500kV	-218	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH
Reactor Los Changos 500kV	-218	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
CTM3	-205	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS
Reactor C1 Polpaico - PdeAz 500kV_PdeAz	-198	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)
CTM1	-178	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
CTTAR	-178	F3 - E10_Max_Kap-LChan_CERN_C_DB_HS
Reactor C1 Polpaico - PdeAz 500kV_PoI	-144	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)
Reactor Nva Card - Nva Mait 500 kV	-91	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH
SVC Plus	-82	F3 - E01_Max_SING-SIC_CERN_C_DB_HS
Reactor Nva Mait - Nva PdAzr 500kV_NvaPdAz	-81	F3 - E05_Max_SIC-SING_NERN_C_DB_HH
CER Cardones	-55	F3 - E08_0Transf_NERN_C_DB
Guacolda U1	-50	F3 - E11_CERN_C_DBmin_HS (7000MW)

Tabla 6-25. Requerimiento de reactivos máximos (absorción)

Se resaltan el color gris las contingencias que requieren una mayor inyección/absorción de reactivos por parte de los equipos de control del sistema. Se debe tener presente que en esta fase (Fase III) se cuenta con mayores equipos de control, por lo que el monto total mostrado resulta de la suma de todos ellos.

En la Tabla 6-26 se muestran los principales aportes de reactivos para las contingencias más exigentes en cuanto a requerimientos de los mismos, en los escenarios respectivos.

En escenarios de hidrología húmeda, donde se maximizan las transferencias SIC →SING, la pérdida de unidades de generación del SING produce una variación de las transferencias por todo el sistema, por lo que producen variaciones considerables de reactivos en el sistema (inyección), debido a la potencia reactiva inyectada en red N de la máquina que se desconecta más el aumento natural de la demanda de potencia reactiva del sistema de transmisión en estado post-contingencia.

Lo contrario ocurre cuando se desconecta una unidad de generación del SING, en escenarios de hidrología seca, es decir, donde se maximizan las transferencias SING →SIC. En este caso, la reducción de la potencia reactiva inyectada por el sistema respecto a su estado en red N, se explica porque las tensiones tienden a ser más altas en el SING debido a que éste es exportador de potencia. Luego, con la pérdida de la unidad, las transferencias se reducen, por lo que las tensiones tienden a subir y los RCT absorben potencia reactiva para contrarrestar este aumento de la tensión.

En cuanto a la **pérdida de los reactores de barra**, se observa que ambos escenarios se corresponden con condiciones de ausencia de generación en la S/E TEN. En el caso del reactor de Los Changos el principal aporte proviene de la CT Angamos, el CER de Cardones y el SVC Domeyko. En el caso de reactor de Nueva Cardones el aporte principal es por parte de la CT Guacolda, el CER de Cardones y el SVC Domeyko.

En el caso de la pérdida de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV, el caso más exigente se da en condiciones de máximas transferencias Norte→Sur (1500MW por este circuito). Se observa que, debido al aumento de la carga por el circuito sano, se requiere una gran inyección de reactivos por parte de los equipos de control del centro del SIC, principalmente el CER Polpaico y las centrales de San Luis y Ventanas. A su vez, también se presenta un gran aporte por parte de Guacolda y el CER de Cardones.

Requerimientos de inyección de reactivos			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
Pérdida Nva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1 - Escenario 10			
CER Polpaico	18	134	115
CER Cardones	25	97	72
Complejo Ventanas	82	150	68
Complejo San Luis	48	109	61
Central Guacolda	11	68	58
CER Pan de Azúcar	-13	40	52
Central Angamos	85	131	46
SVC Plus	-50	-25	25
CER Maitencillo	-4	20	24
Central Mejillones	115	131	15
Pérdida Línea Los Changos - Cumbre 500kV C1 - Escenario 10			
Central Angamos	85	154	69
CER Polpaico	18	83	65
CER Cardones	25	82	57
CER Pan de Azúcar	-13	24	37
Central Guacolda	11	44	34
Complejo Ventanas	82	114	32
Complejo San Luis	48	79	31
Central Mejillones	115	139	24
SVC Plus	-50	-30	20
CER Maitencillo	-4	13	17
Pérdida Angamos U1 - Escenario 07			
Central Mejillones	95	177	82
Complejo Ventanas	36	115	79
CER Cardones	12	89	78
Central Guacolda	-10	52	62
Complejo San Luis	257	302	45
CER Pan de Azúcar	4	41	37
CER Polpaico	-5	30	35
Central Tocopilla	10	43	33
SVC Plus	-13	14	27
CER Maitencillo	-2	20	21
Central Cochrane	24	42	18
Central Norgener	38	56	18
CTTAR	11	25	15

Requerimientos de absorción de reactivos			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
Pérdida reactor Los Changos 500kV - Escenario 10			
Central Angamos	85	24	-61
CER Cardones	25	-4	-29
SVC Domeyko	126	97	-29
Central Mejillones	115	100	-15
Central Guacolda	11	-4	-15
CER Pan de Azúcar	-13	-25	-13
SVC Plus	-50	-60	-10
Pérdida reactor Nva Cardones 500kV - Escenario 05			
Central Guacolda	11	-29	-40
CER Cardones	-28	-61	-32
SVC Domeyko	77	46	-31
SVC Plus	-10	-33	-23
Central Mejillones	67	48	-19
CER Pan de Azúcar	-34	-50	-16
CER Maitencillo	-1	-14	-13
CER Polpaico	-13	-26	-13
Pérdida Cochrane U2 - Escenario 10			
SVC Domeyko	126	68	-58
Central Angamos	85	27	-57
Central Cochrane	45	-5	-50
Central Mejillones	115	78	-37
CER Cardones	25	-7	-32
Central Tocopilla	34	7	-27
CER Pan de Azúcar	-13	-34	-21
CER Polpaico	18	-2	-20
Central Guacolda	11	-10	-20
Central Norgener	34	17	-17
CTTAR	18	4	-14

Tabla 6-26. Distribución de requerimientos de inyección/absorción de reactivos ante contingencias de interés

6.3.2.4 Sensibilidad en red N-1

A continuación, se resumen las máximas dv/dQ encontradas en las barras del sistema de todas las contingencias analizadas. Se aclara que la S/E Parinacota se analiza de forma aislada debido a que presenta una sensibilidad significativamente mayor a las demás barras del sistema, ya en red completa.

NODOS	Userv [kV]	Máxima sensibilidad red N-1 [%/ MVar]
S/E Los Changos	500	0,03
S/E Cumbre	505	0,02
S/E Nva Cardones	500	0,02
S/E Nueva Maitencillo	505	0,02
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,02
S/E Polpaico	500	0,01
S/E Parinacota	220	0,49
S/E Crucero	220	0,04
S/E Encuentro	220	0,04
S/E Kapatur	220	0,04
S/E Laberinto	220	0,03
S/E Los Changos	220	0,04
S/E Domeyko	220	0,06
S/E Diego de Almagro	224	0,09
S/E Carrera Pinto	224	0,07
S/E San Andrés	224	0,06
S/E Cardones	224	0,04
S/E Maitencillo	226	0,02
S/E Punta Colorada	228	0,07
S/E Pan de Azúcar	228	0,10
S/E Las Palmas	228	0,08
S/E Los Vilos	226	0,05
S/E Nogales	226	0,02
S/E Quillota	226	0,02
S/E Polpaico	224	0,02

Tabla 6-27. Máximas sensibilidades red N-1 por barra

A continuación, se muestra las sensibilidades de estos nodos ante todas las contingencias:

A continuación, se muestran para todas las barras y en todos los escenarios, las correspondientes sensibilidades dv/dQ.

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA															
			Lineas								Centrales							
NODOS		Us [kV]	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
			Sensibilidad en red N-1 [%/MVar]															
S/E Los Changos	500	0,019	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
S/E Cumbre	505	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Nva Cardones	500	0,012	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
S/E Nueva Maitencillo	505	0,011	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,012	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Polpaico	500	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Parinacota	220	0,347	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,49	0,35	0,34	0,34	0,35
S/E Crucero	220	0,025	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
S/E Encuentro	220	0,025	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
S/E Kapatur	220	0,018	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04
S/E Laberinto	220	0,016	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
S/E Los Changos	220	0,018	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04
S/E Domeyko	220	0,008	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,05	0,05	0,01	0,06
S/E Diego de Almagro	224	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,06	0,06	0,09	0,02
S/E Carrera Pinto	224	0,020	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,07	0,02
S/E San Andrés	224	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,03
S/E Cardones	224	0,010	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01
S/E Maitencillo	226	0,013	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Punta Colorada	228	0,031	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
S/E Pan de Azúcar	228	0,017	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
S/E Las Palmas	228	0,048	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
S/E Los Vilos	226	0,040	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
S/E Nogales	226	0,013	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Quillota	226	0,014	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Polpaico	224	0,007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabla 6-28: Sensibilidad red N-1. Contingencias 1 a 15.

Tensiones Finales en red N-1		Red N	CONTINGENCIA															
			Reactores					CERs y SVCs						Transformadores				
			16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
NODOS	Us [kV]		Sensibilidad en red N-1 [%/MVar]															
S/E Los Changos	500	0,019	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Cumbre	505	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Nva Cardones	500	0,012	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
S/E Nueva Maitencillo	505	0,011	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Nueva Pan de Azucar	510	0,012	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Polpaico	500	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Parinacota	220	0,347	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
S/E Crucero	220	0,025	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Encuentro	220	0,025	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Kapatur	220	0,018	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Laberinto	220	0,016	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Los Changos	220	0,018	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Domeyko	220	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,04	0,01
S/E Diego de Almagro	224	0,016	0,02	0,09	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E Carrera Pinto	224	0,020	0,02	0,06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
S/E San Andrés	224	0,025	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
S/E Cardones	224	0,010	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
S/E Maitencillo	226	0,013	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
S/E Punta Colorada	228	0,031	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07
S/E Pan de Azúcar	228	0,017	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,10
S/E Las Palmas	228	0,048	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
S/E Los Vilos	226	0,040	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
S/E Nogales	226	0,013	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
S/E Quillota	226	0,014	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
S/E Polpaico	224	0,007	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Tabla 6-29: Sensibilidad red N-1. Contingencias 15 a 30.

Del análisis anterior se encuentra que las barras más sensibles en red N-1 son:

- ✓ **Parinacota:** Ante la pérdida de la CT Tarapacá.
- ✓ **Pan de Azúcar:** Ante la pérdida del transformador de Nueva Pan de Azúcar 500/220.
- ✓ **Las Palmas:** Ante la pérdida del transformador de Nueva Pan de Azúcar 500/220.
- ✓ **Diego de Almagro 220kV:** Pérdida de IEM y reactor de Nueva Pan de Azúcar - Polpaico.

A continuación, se muestra la sensibilidad de estas barras y estas contingencias en todos los escenarios de estudio.

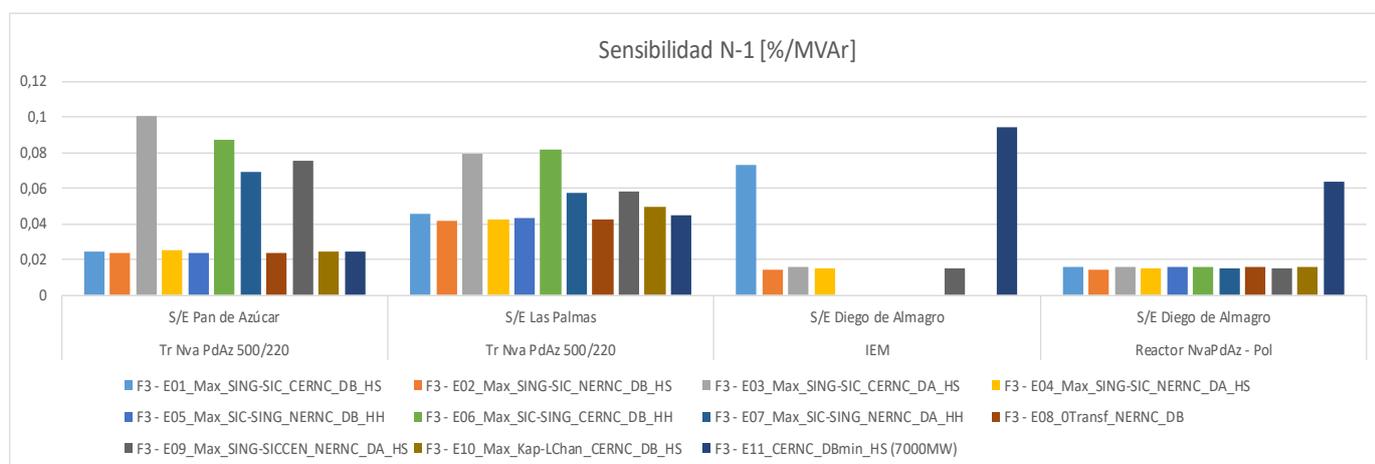


Figura 6-12: dv/dQ en red N-1. Barras más sensibles.

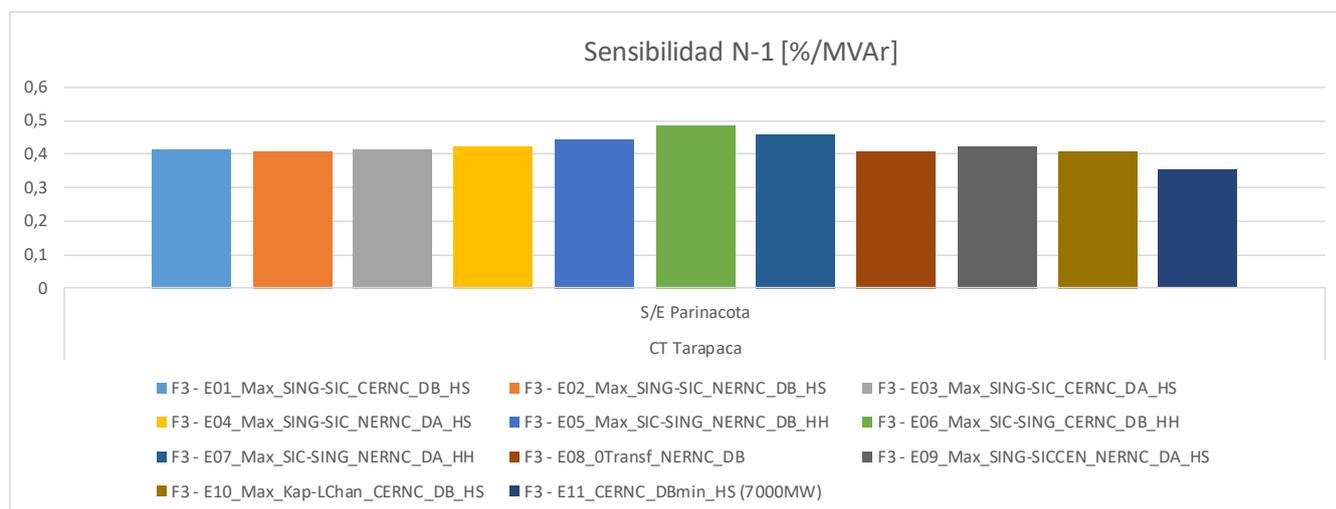


Figura 6-13. dv/dQ en red N-1. Barras de Parinacota.

De la figura anterior, se puede ver que la sensibilidad dv/dQ en la barra Parinacota 220kV, ante la pérdida de la CT Tarapacá, es similar en todos los escenarios de operación, lo cual se explica por la ausencia de control de tensión en la cercanía de este nodo tras la pérdida de esta central.

En cuanto a la barra de Diego de Almagro 220kV, se observa que las condiciones de alta sensibilidad se presentan en escenarios particulares en donde se parte de condiciones de bajas reservas en el SVC plus y se produce la saturación del mismo en N-1.

En el caso de las barras de Las Palmas, las mismas son unas de las más sensibles en red N, lo cual está asociado a la lejanía de los controles de tensión. Esto resulta extensivo a las barras de Pan de Azúcar 220kV en los casos en donde se produce la saturación del CER de Pan de Azúcar. Ante la pérdida del transformador de Nueva Pan de Azúcar 500kV, se incrementa la impedancia entre estos nodos y los demás recursos de control de tensión por lo que resulta coherente el incremento de la sensibilidad.

Específicamente los máximos valores se dan en el escenario de máximas transferencias Norte→Sur (SING-SIC), con elevada generación ERNC, en donde además de la saturación del CER de Pan de Azúcar por la salida de servicio del Transformador, se presentan grandes transferencias en 220kV en la zona.

6.3.2.5 Resumen de contingencias más exigentes

En base a los resultados en red N-1 se encuentra que las contingencias más exigentes corresponden a:

- 1. Pérdida de una central del SING.**
- 2. Reactores Los Changos y Nueva Cardones 500kV**
- 3. Línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV**
- 4. Perdida de SVC Plus y Domeyko (impacto local)**

6.4 Análisis de contingencias

Al evaluar la pérdida de los reactores en el sistema, tanto para condiciones de máximas transferencias como para condiciones de transferencias nulas, se encuentra que las mismas resultan en un impacto significativamente menor sobre el sistema que en las fases de estudio anteriores (Fase I y Fase II), específicamente los reactores de barra de Los Changos y Nueva Cardones. A continuación, se realiza un análisis de estas contingencias en escenarios de estudio puntuales a fin de evaluar los recursos de reactivos que las mismas requieren del sistema.

Al momento de analizar cuáles son los recursos más efectivos para controlar estas contingencias, y poder agruparlos para asociarles reservas necesarias, se considera que todo recurso será eficiente si cumple con los siguientes criterios:

- Presenta una sensibilidad dQ/dQ mayor a 0.1 MVA/MVAr sobre la/s barras más afectada/s a la contingencia.
- Presenta una sensibilidad dQ/dQ menor a 0.1 MVA/MVAr, pero la relación entre su sensibilidad dQ/dQ y la sensibilidad del recurso más efectivo mayor a 0.45.
- Absorbe/inyecta una potencia reactiva equivalente al 10% de lo que representa la contingencia (cuantificable en este caso).

Mediante el análisis de los escenarios de estudio se definirán recursos principales y secundarios para el control de contingencias, teniendo en cuenta la eficiencia y la necesidad de contar con alguno de los recursos de control.

6.4.1 Pérdida de unidades de generación

Los análisis realizados sobre los diferentes escenarios de estudio muestran que las contingencias asociadas a pérdida de grandes montos de generación en el SING derivan en un gran impacto en el sistema, independientemente del sentido de transferencias por la interconexión. Se debe tener en cuenta que como condición conservadora se consideró que la potencia necesaria para equilibrar el sistema provenga de las unidades de generación hidráulicas del sur del sistema.

Para emular la respuesta real del sistema ante esta contingencia se realizan simulaciones dinámicas de pérdida de generación en el SING para escenarios con máximas transferencias por la interconexión en ambos sentidos.

Se debe tener en cuenta que la reserva primaria ante la pérdida de generación en el SING vendrá desde ambos subsistemas, por lo que no todo será importado desde el SIC. Por otro lado, en el caso de contar con un control secundario automático (AGC) se deberá contemplar que, si esta reserva proviene desde el SIC, no se superen los límites de transferencias por la interconexión

(900MW). Ambas condiciones derivan en que el impacto de estas contingencias sea menor que el presentado en los flujos de potencia.

A continuación, se muestran los resultados del flujo de potencia ante la pérdida de la unidad 1 de la CT Angamos para todos los escenarios de estudio.

Tensiones Finales		CONTINGENCIA		Angamos U1								
		Escenarios										
NODOS	Us [kV]	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
Tensiones en red N-1 [p.u. de tensión de servicio]												
S/E Los Changos	500	1,033	1,026	1,034	1,015	-	0,999	0,943	1,007	1,008	1,031	1,018
S/E Cumbre	505	1,027	1,023	1,024	1,011	-	1,009	0,963	1,013	1,008	1,024	1,015
S/E Nva Cardones	500	1,021	1,018	1,016	1,007	-	1,009	0,972	1,009	1,005	1,018	1,012
S/E Nva Maitencillo	505	1,025	1,019	1,018	1,007	-	1,011	0,973	1,008	1,008	1,021	1,016
S/E Nva Pan de Azúcar	510	1,030	1,007	1,019	1,005	-	1,017	0,978	1,008	1,008	1,026	1,016
S/E Polpaico	500	1,000	1,002	0,988	0,991	-	0,986	0,989	0,991	0,997	0,998	1,025
S/E Parinacota	220	0,990	1,027	1,010	1,016	-	0,986	0,980	0,997	1,016	0,990	1,014
S/E Crucero	220	1,032	1,034	1,031	1,023	-	1,027	1,008	1,030	1,023	1,026	1,034
S/E Encuentro	220	1,032	1,034	1,031	1,024	-	1,028	1,009	1,030	1,024	1,026	1,035
S/E Kapatúr	220	1,018	1,034	1,036	1,022	-	1,014	0,984	1,035	1,024	1,016	1,025
S/E Laberinto	220	1,014	1,028	1,020	1,014	-	1,018	0,985	1,027	1,015	1,007	1,024
S/E Los Changos	220	1,018	1,035	1,036	1,022	-	1,014	0,984	1,036	1,025	1,016	1,025
S/E Domeyko	220	0,993	1,005	0,987	0,983	-	0,994	0,948	1,004	0,983	0,987	0,999
S/E Diego de Almagro	224	1,015	1,035	1,010	1,012	-	1,010	1,019	1,006	1,012	1,014	1,016
S/E Carrera Pinto	224	1,020	1,038	1,015	1,022	-	1,000	1,016	1,014	1,022	1,017	1,022
S/E San Andrés	224	1,020	1,035	1,015	1,024	-	0,996	1,009	1,015	1,024	1,017	1,023
S/E Cardones	224	1,020	1,032	1,016	1,025	-	0,997	1,004	1,015	1,025	1,018	1,023
S/E Maitencillo	226	1,025	1,031	1,023	1,025	-	1,008	1,007	1,019	1,026	1,024	1,032
S/E Punta Colorada	228	1,022	1,023	1,013	1,018	-	1,000	1,001	1,018	1,022	1,017	1,026
S/E Pan de Azúcar	228	1,023	1,014	1,004	1,008	-	0,996	0,991	1,012	1,015	1,012	1,022
S/E Las Palmas	228	1,017	1,009	0,986	1,008	-	0,965	0,986	1,007	1,011	0,988	1,013
S/E Los Vilos	226	1,008	1,005	0,991	1,007	-	0,972	0,989	1,003	1,007	0,989	1,012
S/E Nogales	226	0,983	0,983	0,988	0,989	-	0,971	0,989	0,984	0,988	0,978	0,994
S/E Quillota	226	0,974	0,976	0,979	0,990	-	0,962	0,988	0,977	0,989	0,971	0,987
S/E Polpaico	224	0,988	0,997	0,987	0,989	-	0,981	0,986	0,995	0,987	0,985	0,999

Figura 6-14. Tensiones frente a la pérdida de CT Angamos U1.

Los escenarios considerados son los que representan un mayor impacto en las tensiones:

- **Esc 02:** Máximas Transf SING→SIC - SIN ERNC - Hidrología Seca - Dda Baja
- **Esc 07:** Máximas Transfs SIC→SING - SIN ERNC - Hidrología Húmeda - Dda Alta

A continuación, se muestran los resultados de la pérdida de la CT Angamos U1 en ambos escenarios.

- Escenario SING→SIC: Se observa que de los 280MW desconectados las transferencias se reducen en 165MW por lo tanto el control de frecuencia del SING provee 130MW.
- Escenario SIC→SING: Se observa que de los 250MW desconectados las transferencias se incrementan en 184MW por lo tanto el control de frecuencia del SING provee 80MW.

Además de presentarse un aporte local al control de frecuencia que reduce el impacto en las transferencias desde el SIC, también el aporte al control desde el SIC resulta distribuido y no se presenta sólo en algunas unidades hidráulicas como fue considerado en el flujo de potencia

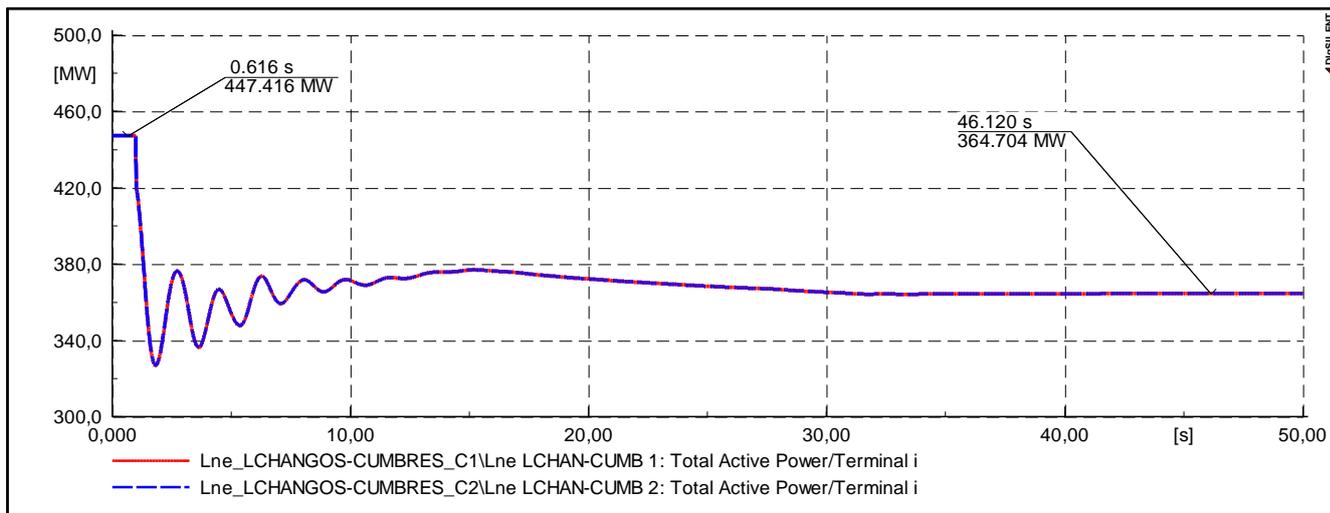


Figura 6-15. Transferencias – Escenario 02 (SING→SIC)

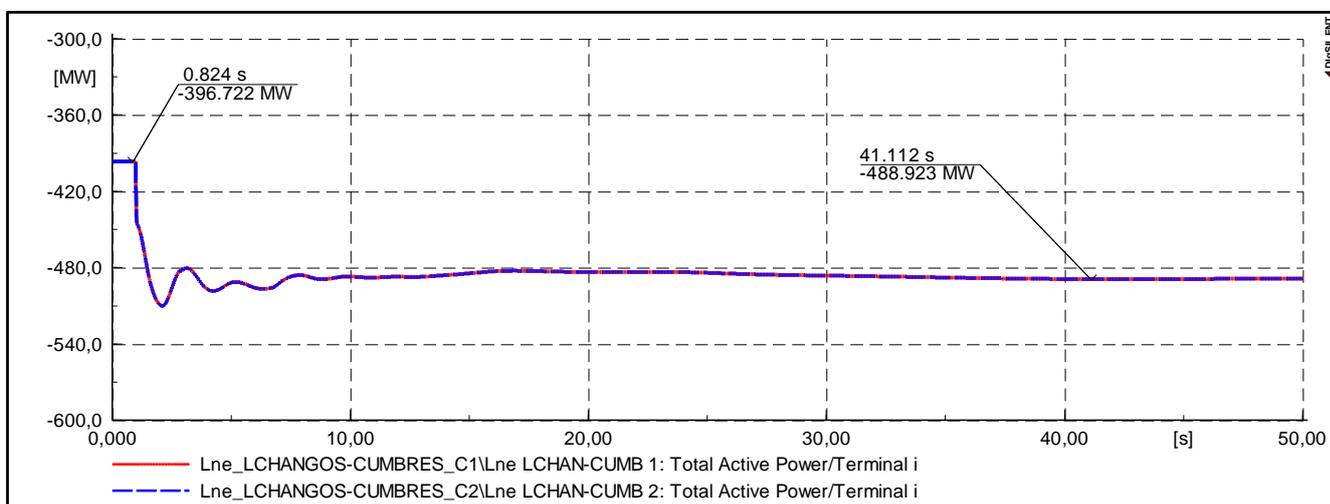


Figura 6-16. Transferencias – Escenario 07 (SIC→SING)

Al observar el impacto en las tensiones del sistema se encuentra que, debido a la distribución del aporte de potencia activa ante la contingencia, el impacto sobre la tensión en los changos es menor (0.97pu vs 0.943), cayendo dentro de los límites admisibles de operación en red N.

A su vez, ante ninguna de las contingencias (máximas transferencias en ambos sentidos de flujo) se observan condiciones de inestabilidad transitoria, con un gran margen en este sentido.

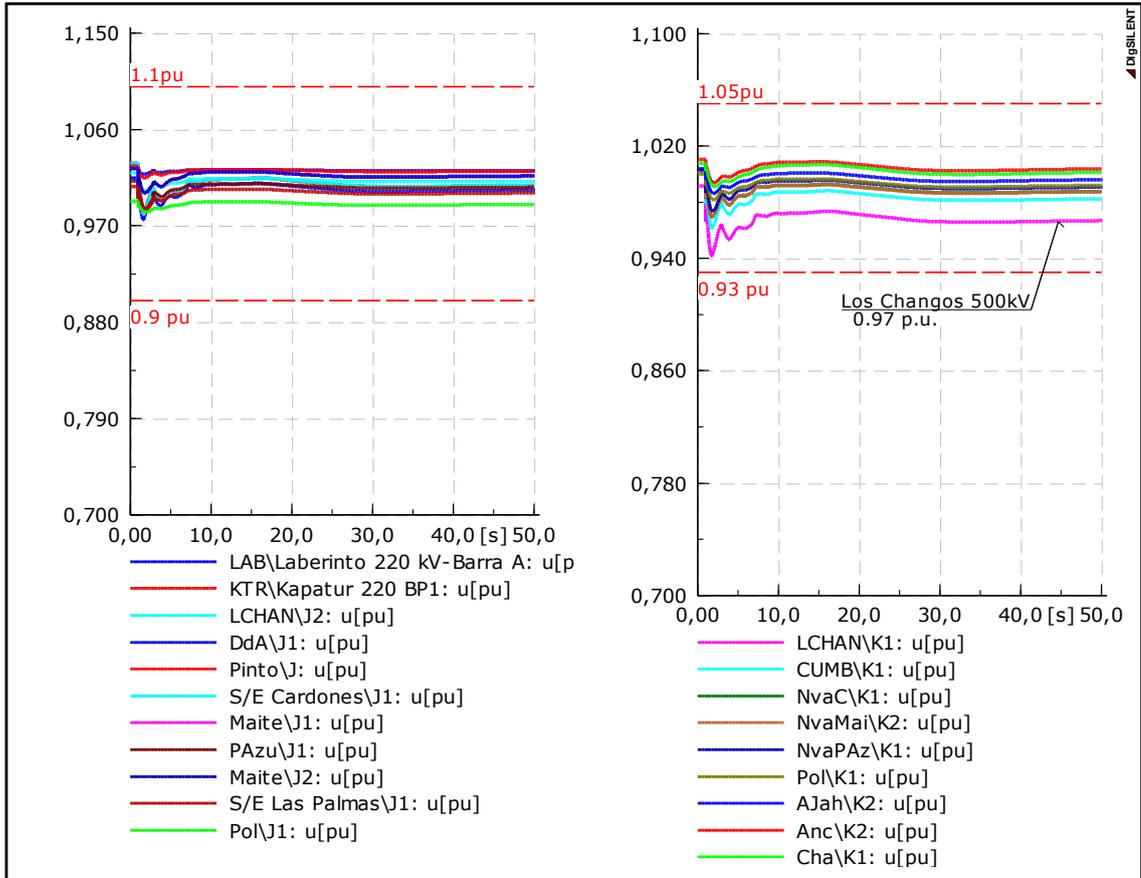


Figura 6-17. Tensiones - Escenario 07 (SIC → SING)

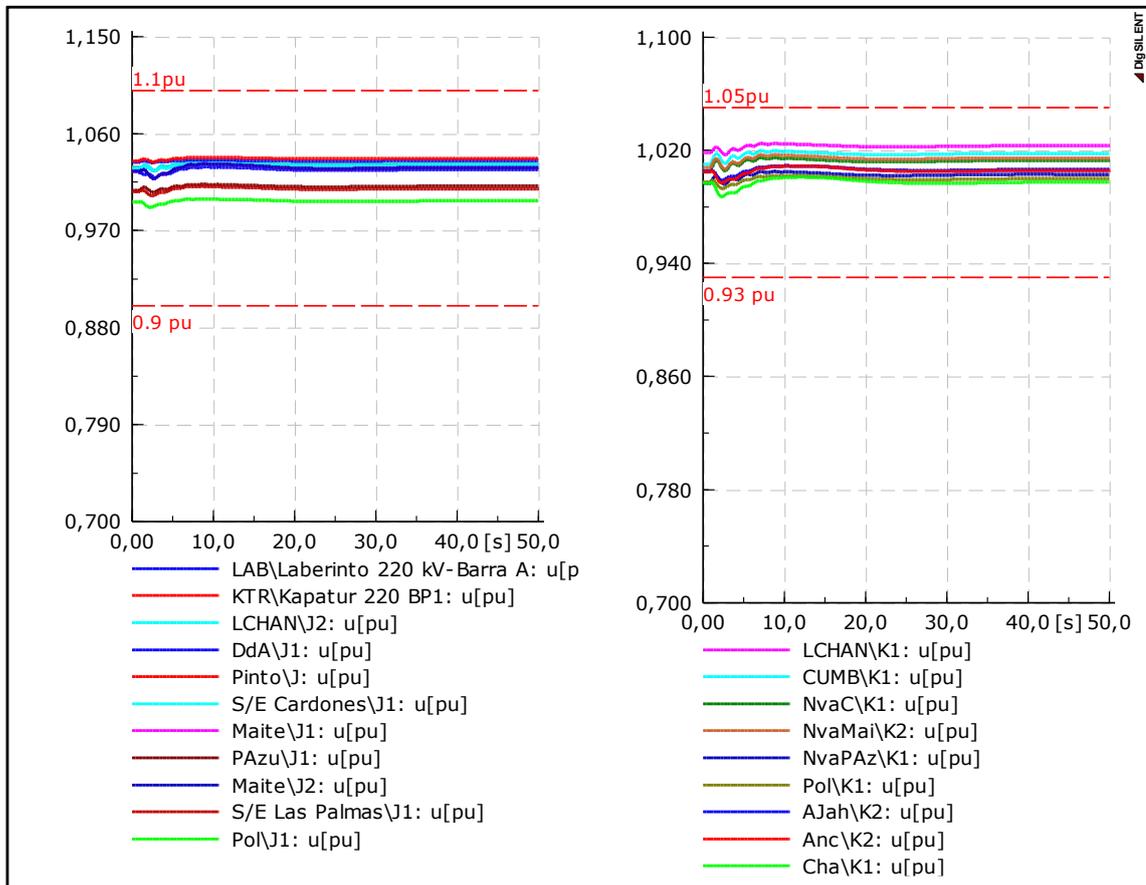


Figura 6-18. Tensiones - Escenario 02 (SING → SIC)

6.4.2 Reactor Los Changos

A continuación, se muestran las tensiones obtenidas para esta contingencia en todos los escenarios de estudio:

Tensiones Finales		Reactor Los Changos										
		Escenarios										
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
NODOS	Us [kV]	Tensiones en red N-1 [p.u. de tensión de servicio]										
S/E Los Changos	500	1,046	1,040	1,049	1,029	1,024	1,039	0,991	1,036	1,021	1,048	1,031
S/E Cumbre	505	1,029	1,025	1,027	1,015	1,026	1,035	1,002	1,033	1,011	1,029	1,019
S/E Nva Cardones	500	1,018	1,016	1,014	1,007	1,023	1,028	1,003	1,025	1,005	1,017	1,011
S/E Nva Maitencillo	505	1,019	1,016	1,014	1,006	1,015	1,025	1,002	1,021	1,007	1,018	1,013
S/E Nva Pan de Azucar	510	1,023	1,002	1,014	1,003	1,011	1,028	1,004	1,020	1,005	1,021	1,012
S/E Polpaico	500	0,995	0,999	0,984	0,992	0,990	0,993	1,000	1,003	0,997	0,993	1,023
S/E Parinacota	220	0,991	1,027	1,011	1,017	0,999	0,994	0,993	0,999	1,017	0,991	1,014
S/E Crucero	220	1,033	1,034	1,032	1,024	1,033	1,038	1,024	1,032	1,024	1,028	1,035
S/E Encuentro	220	1,033	1,035	1,033	1,024	1,034	1,039	1,024	1,033	1,025	1,028	1,035
S/E Kapatur	220	1,022	1,038	1,041	1,026	1,022	1,041	1,028	1,048	1,028	1,024	1,028
S/E Laberinto	220	1,016	1,029	1,022	1,015	1,022	1,031	1,015	1,032	1,016	1,010	1,025
S/E Los Changos	220	1,022	1,039	1,042	1,027	1,022	1,042	1,029	1,049	1,029	1,025	1,028
S/E Domeyko	220	0,994	1,005	0,988	0,983	0,995	1,000	0,983	1,007	0,984	0,988	1,000
S/E Diego de Almagro	224	1,015	1,035	1,010	1,012	1,018	1,013	1,024	1,009	1,012	1,014	1,015
S/E Carrera Pinto	224	1,019	1,038	1,015	1,023	1,020	1,006	1,026	1,021	1,022	1,017	1,022
S/E San Andrés	224	1,019	1,035	1,014	1,025	1,016	1,004	1,022	1,024	1,024	1,017	1,023
S/E Cardones	224	1,019	1,032	1,015	1,025	1,012	1,006	1,019	1,025	1,025	1,017	1,023
S/E Maitencillo	226	1,022	1,029	1,020	1,024	1,018	1,016	1,023	1,027	1,025	1,021	1,030
S/E Punta Colorada	228	1,016	1,020	1,010	1,016	1,020	1,008	1,020	1,027	1,021	1,014	1,022
S/E Pan de Azúcar	228	1,016	1,011	1,000	1,006	1,016	1,003	1,012	1,021	1,013	1,008	1,017
S/E Las Palmas	228	1,011	1,008	0,982	1,008	1,016	0,970	1,007	1,014	1,010	0,983	1,008
S/E Los Vilos	226	1,002	1,006	0,988	1,006	1,015	0,976	1,006	1,010	1,007	0,984	1,007
S/E Nogales	226	0,980	0,985	0,986	0,989	1,001	0,975	0,996	0,988	0,987	0,976	0,992
S/E Quillota	226	0,971	0,978	0,978	0,990	0,994	0,966	0,993	0,981	0,989	0,969	0,985
S/E Polpaico	224	0,985	0,997	0,985	0,989	1,004	0,985	0,993	1,000	0,987	0,982	0,997

Tabla 6-30. Pérdida reactor Los Changos

Tomando los resultados de la tabla, se analizan los siguientes escenarios:

- E03: Máximas transferencias SING → SIC - con ERNC – Dda Alta – Hidrología seca.

Este escenario presenta condiciones de operación con las centrales de la S/E TEN y Kelar despachada, sin saturación de los recursos de control de tensión del sistema (ver capítulo 6.2.2).

A continuación, se muestran la absorción de reactivos para la contingencia junto con la efectividad dQ/dQ sobre la barra de Los Changos. En este caso, se observan grandes aportes de reactivos en todos los recursos de control donde la efectividad es mayor a **0.1MVar/MVar**.

Considerando como relevante todo recurso que aporte más de 15MVar (aproximadamente el 10% del reactivo desprendido ante la contingencia) a la contingencia, se observa que la relación entre la efectividad (sensibilidad dQ/dQ) del recurso menos relevante sobre el principal es de **0.46**.

Requerimientos de absorción de reactivos			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
Pérdida reactor Los Changos 500kV - ESCENARIO 3			
Central Angamos	67	26	-41
Central TEN	80	53	-26
CER Cardones	56	31	-25
Central Kelar	34	10	-24
SVC Domeyko	117	98	-19
Central Guacolda	27	14	-13
Central Mejillones	61	49	-11
CER Pan de Azúcar	7	-3	-11
SVC Plus	17	8	-9
CER Polpaico	43	36	-7
Complejo Ventanas	171	164	-7
CER Maitencillo	-1	-8	-6
Central Tocopilla	-18	-23	-5

Escenario 03	
Recurso	dQ/dQ
Central Angamos	0,217
TEN	0,141
CER Cardones 220/20.4	0,132
Central KELar	0,127
SVC Domeyko 220/19.5 kV	0,101
Central Guacolda	0,068
Central Mejillones	0,060
CER Pan de Azucar	0,057
SVC Plus	0,047
CER Polpaico	0,039
Central Ventanas	0,035
CER Maitencillo	0,034
Central TOCopilla	0,024
Centrales S/E San Luis	0,018
Central Cocharne	0,016
CTTAR	0,013
Central Norgener	0,009

Tabla 6-31. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Los Changos

En este caso, los recursos de control de tensión más importantes para esta contingencia resultan en una absorción total de 135MVAR. Se debe tener en cuenta que este monto no resulta tan elevado considerando la capacidad conjunta de todos estos recursos de control de tensión.

- E08: Escenarios con transferencias SIC-SING cercanas a cero – Sin ERNC – Dda baja

Este escenario presenta condiciones de operación con las centrales de la S/E TEN en servicio. A su vez se cuenta con 2 unidades de la CT Kelar y una unidad en la CT Angamos. El escenario presenta bajas reservas en los CERs y SVC del norte del SIC (ver capítulo 6.2.2), sin saturación de los mismos.

En la Tabla 6-32 se muestran la absorción de reactivos para la contingencia junto con la efectividad dQ/dQ sobre la barra de Los Changos. En este caso, se encuentra que existen RCT en condición de absorción de reactivos en montos considerables (mayores a 15MVAR).

Requerimientos de absorción de reactivos			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
Pérdida reactor Los Changos 500kV - ESCENARIO 08			
Central Kelar	-31	-63	-32
Central Angamos	-33	-63	-29
SVC Domeyko	91	66	-25
Central Guacolda	-75	-96	-21
Central Mejillones	26	10	-16
SVC Plus	-50	-64	-14
CER Maitencillo	-12	-19	-7
Central Tocopilla	14	7	-6
CER Cardones	-54	-61	-6
CER Pan de Azúcar	-44	-49	-5
CER Polpaico	19	14	-5
Complejo Ventanas	-66	-71	-5

Escenario 08	
Recurso	dQ/dQ
Central Kelar	0,166
Central Angamos	0,153
SVC Domeyko	0,132
CER Cardones	0,129
Central Guacolda	0,086
Central Mejillones	0,083
CER Pan de Azucar	0,052
SVC Plus	0,044
Central TOCopilla	0,034
CER Maitencillo	0,029
CER Polpaico	0,022
Central Ventanas	0,019
Central Cocharne	0,018
Central Norgener	0,017
Centrales S/E San Luis	0,016
CTTAR	0,014

Tabla 6-32. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Los Changos.

En este caso la potencia reactiva absorbida por los principales recursos considerados es de **123MVar**.

- E06: Escenarios con transferencias SIC→SING - Con ERNC - Dda baja

A continuación, se muestran los requerimientos en un escenario en donde no se cuenta con el despacho de las centrales de TEN, ni con la CT Kelar en servicio. A su vez, sólo se cuenta con una unidad de la CT Angamos despachada.

Requerimientos de absorción de reactivos			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
Pérdida reactor Los Changos 500kV - ESCENARIO 06			
Central Angamos	3	-37	-40
SVC Domeyko	69	30	-39
CER Cardones	31	2	-30
Central Mejillones	34	11	-22
Central Guacolda	23	8	-15
CER Pan de Azúcar	-24	-37	-12
SVC Plus	2	-8	-11
CER Polpaico	-5	-15	-10
CER Maitencillo	2	-5	-7
CTTAR	16	10	-7
Central Tocopilla	12	6	-5
Central Norgener	-4	-9	-5
Complejo Ventanas	39	35	-4

Escenario 06	
Recurso	dQ/dQ
Central Angamos	0,217
SVC Domeyko 220/19.5 kV	0,208
CER Cardones 220/20.4	0,161
Central Mejillones	0,122
Central Guacolda	0,081
CER Pan de Azucar	0,067
SVC Plus 220/13.9kV_100MVA	0,058
CER Polpaico 220/19kV_100MVA	0,056
Maitencillo 220/13.8kV_40MVA	0,041
CTTAR	0,036
Central TOCopilla	0,029
Central Norgener	0,027
Central Ventanas	0,023

Tabla 6-33. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Los Changos.

Se observa una absorción de 130MVar por parte de los recursos principales. Ante la ausencia de los demás recursos principales de control se observa un incremento del aporte de los demás recursos de control, particularmente en los más efectivos.

Al evaluar estos escenarios se encuentra que existe un grupo principal de recursos para el control de tensión sobre esta barra, y un grupo de recursos secundarios que ayudarían a controlar la misma ante la ausencia/saturación de alguno de los principales. En todos los escenarios se alcanzaron niveles admisibles post contingencia con una absorción de reactivos total de 130MVar en los mismos.

Falla Reactor Los Changos		
Recursos principales	Recursos secundarios	Reserva total
Central Angamos	Central Mejillones Central Guacolda	-130MVar
CTM3 e IEM		
CER Cardones		
Central Kelar		
SVC Domeyko		

Tabla 6-34. Reservas para falla en reactor Los Changos

Se aclara que escenarios con un menor despacho térmico en el SING se corresponden a condiciones de hidrología húmeda e importación de energía desde el SIC, en los cuales el reactor de Los Changos se encuentra fuera de servicio en red completa.

6.4.3 Reactor Nueva Cardones

A continuación, se muestran las tensiones obtenidas para esta contingencia en todos los escenarios de estudio, tras la pérdida del reactor de barra Nueva Cardones 500kV.

Tensiones Finales		CONTINGENCIA		Reactor Nva Cardones								
		Escenarios										
		E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
NODOS	Us [kV]	Tensiones en red N-1 [p.u. de tensión de servicio]										
S/E Los Changos	500	1,034	1,029	1,037	1,018	1,044	1,025	1,005	1,026	1,011	1,034	1,021
S/E Cumbre	505	1,029	1,026	1,028	1,016	1,050	1,035	1,020	1,035	1,012	1,028	1,020
S/E Nva Cardones	500	1,025	1,024	1,022	1,014	1,048	1,034	1,023	1,035	1,013	1,023	1,020
S/E Nva Maitencillo	505	1,025	1,022	1,019	1,012	1,033	1,030	1,016	1,029	1,012	1,022	1,020
S/E Nva Pan de Azúcar	510	1,027	1,006	1,018	1,007	1,025	1,031	1,015	1,027	1,009	1,024	1,018
S/E Polpaico	500	0,997	1,001	0,986	0,994	0,995	0,995	1,003	1,005	0,998	0,995	1,026
S/E Parinacota	220	0,990	1,027	1,010	1,016	1,002	0,991	0,994	0,998	1,016	0,990	1,013
S/E Crucero	220	1,031	1,033	1,031	1,023	1,037	1,035	1,026	1,031	1,023	1,026	1,034
S/E Encuentro	220	1,032	1,034	1,031	1,024	1,038	1,035	1,026	1,032	1,024	1,027	1,034
S/E Kapatur	220	1,016	1,033	1,036	1,022	1,037	1,033	1,037	1,042	1,024	1,017	1,023
S/E Laberinto	220	1,013	1,027	1,020	1,014	1,029	1,027	1,019	1,030	1,014	1,007	1,023
S/E Los Changos	220	1,016	1,034	1,036	1,023	1,037	1,033	1,038	1,043	1,024	1,017	1,023
S/E Domeyko	220	0,993	1,004	0,987	0,983	0,998	0,998	0,985	1,006	0,983	0,987	0,999
S/E Diego de Almagro	224	1,017	1,037	1,011	1,014	1,023	1,014	1,027	1,015	1,013	1,015	1,021
S/E Carrera Pinto	224	1,022	1,041	1,017	1,025	1,028	1,008	1,031	1,028	1,024	1,019	1,027
S/E San Andrés	224	1,022	1,039	1,017	1,028	1,027	1,007	1,030	1,032	1,027	1,019	1,028
S/E Cardones	224	1,022	1,036	1,019	1,028	1,025	1,009	1,028	1,033	1,028	1,020	1,028
S/E Maitencillo	226	1,025	1,033	1,023	1,027	1,028	1,019	1,031	1,032	1,028	1,024	1,035
S/E Punta Colorada	228	1,020	1,023	1,013	1,019	1,030	1,011	1,027	1,032	1,023	1,016	1,028
S/E Pan de Azúcar	228	1,019	1,013	1,003	1,009	1,026	1,005	1,018	1,026	1,016	1,011	1,023
S/E Las Palmas	228	1,013	1,010	0,984	1,009	1,022	0,972	1,011	1,018	1,012	0,985	1,013
S/E Los Vilos	226	1,004	1,007	0,989	1,008	1,020	0,978	1,009	1,012	1,008	0,986	1,011
S/E Nogales	226	0,981	0,985	0,987	0,989	1,003	0,976	0,997	0,989	0,988	0,977	0,994
S/E Quillota	226	0,972	0,978	0,978	0,990	0,996	0,967	0,994	0,981	0,989	0,969	0,987
S/E Polpaico	224	0,986	0,998	0,986	0,989	1,007	0,986	0,994	1,001	0,988	0,983	0,999

Tabla 6-35. Pérdida reactor Nueva Cardones

El análisis de los recursos más efectivos en red completa sobre Nueva Cardones en todos los escenarios resulta:

Barra	RCT	MAX dQdQ [Mvar/Mvar]
S/E Nueva Cardones	CER Cardones	0,261
	Central Guacolda	0,181
	Central Angamos	0,160
	SVC Domeyko	0,149
	CTM3 + IEM	0,147
	CER Pan de Azucar	0,112

Tabla 6-36. Máximos dQ/dQ

Tomando los resultados de la Tabla 6-35, se analizan los siguientes escenarios:

- E03: Máximas transferencias SING → SIC - con ERNC – Dda Alta – Hidrología seca.

Este escenario presenta condiciones de operación con las centrales CTM3, IEM, Angamos y Kelar despachadas, sin saturación de los recursos de control de tensión del sistema.

ESCENARIO 03				Escenario 03	
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]	Recurso	dQ/dQ
CER Cardones	56	15	-41	CER Cardones	0,231
Central Guacolda	27	6	-21	Central Guacolda	0,119
Central Angamos	67	48	-19	Central Angamos	0,107
CER Pan de Azúcar	7	-11	-18	CER Pan de Azucar	0,101
SVC Plus	17	3	-15	SVC Plus	0,081
CER Polpaico	43	31	-12	CER Polpaico	0,070
Central TEN	80	67	-12	TEN	0,069
Complejo Ventanas	171	160	-11	Central Ventanas	0,063
Central Kelar	34	23	-11	Central KELar	0,062
CER Maitencillo	-1	-12	-11	Maitencillo	0,059
SVC Domeyko	117	109	-9	SVC Domeyko	0,050
Complejo San Luis	151	145	-6	Centrales S/E San Luis	0,032
Central Mejillones	61	55	-5	Central Mejillones	0,030
				Central TOCopilla	0,012
				Central Cocharne	0,008

Tabla 6-37. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Nueva Cardones

En este caso se presenta una absorción de 120MVar por parte de los recursos más eficientes, a pesar de eso, por ser un escenario con buen control de tensión y reservas, se presenta una buena absorción por parte de muchos recursos en menores medidas, que hace a un buen nivel de tensión post-contingencia.

- E08: Escenarios con transferencias SIC-SING cercanas a cero – Sin ERNC – Dda baja

En este caso se presenta la contingencia para un escenario con transferencias nulas por la interconexión, y sin despacho en CTM3 e IEM.

El escenario presenta bajas reservas en los CERs y SVC del norte del SIC, sin saturación de los mismos.

ESCENARIO 08				Escenario 08	
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]	Recurso	dQ/dQ
Central Guacolda	-75	-113	-38	CER Cardones	0,216
SVC Plus	-50	-71	-21	Central Guacolda	0,144
Central Kelar	-31	-49	-18	CER Pan de Azucar	0,087
Central Angamos	-33	-50	-16	Central KELar	0,079
SVC Domeyko	91	77	-14	SVC Plus	0,074
CER Maitencillo	-12	-25	-13	Central Angamos	0,072
CER Polpaico	19	9	-10	SVC Domeyko	0,062
Central Mejillones	26	17	-9	CER Maitencillo	0,049
Complejo Ventanas	-66	-75	-9	Central Mejillones	0,039
Complejo San Luis	26	19	-7	CER Polpaico	0,037
CER Cardones	-54	-61	-7	Central Ventanas	0,031
CER Pan de Azúcar	-44	-50	-6	Centrales S/E San Luis	0,027
Central Tocopilla	14	10	-4	Central TOCopilla	0,016
				Central Cocharne	0,009
				Central Norgener	0,008

Tabla 6-38. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Nueva Cardones

Ante la saturación de los CERs. Se observa que las centrales Kelar y Angamos aportan recursos para control de tensión considerables.

- E05: Máximas transferencias SIC → SING - Sin ERNC – Dda Baja – Hidrología Húmeda

Este escenario se presenta con máximas transferencias SIC→SING, con el reactor de Los Changos desenergizado. A su vez no se encuentran despachadas las centrales CTM3, IEM, Angamos y Kelar.

Debido a las elevadas transferencias SIC → SING y las consiguientes pérdidas en las líneas, los CERs y SVC norte del SIC se encuentran con márgenes tanto capacitivos como inductivos en para su operación.

ESCENARIO 05				Escenario 05	
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]	Recurso	dQ/dQ
Central Guacolda	11	-29	-40	CER Cardones	0,261
CER Cardones	-28	-61	-32	Central Guacolda	0,181
SVC Domeyko	77	46	-31	SVC Domeyko 220/19.5 kV	0,149
SVC Plus	-10	-33	-23	CER Pan de Azucar	0,112
Central Mejillones	67	48	-19	Central Mejillones	0,096
CER Pan de Azúcar	-34	-50	-16	SVC Plus	0,090
Maitencillo	-1	-14	-13	Maitencillo	0,060
CER Polpaico	-13	-26	-13	CER Polpaico	0,060
Complejo San Luis	98	91	-7	Centrales S/E San Luis	0,034
Complejo Ventanas	-9	-15	-5	Central Cocharne	0,024
Central Cochane	12	7	-5	Central TOCopilla	0,023
Central Tocopilla	12	8	-5	Central Ventanas	0,022
Central Norgener	-21	-25	-5	Central Norgener	0,022
CTTAR	-6	-10	-4	CTTAR	0,018

Tabla 6-39. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Nueva Cardones

Se encuentra una absorción total por parte de los recursos más efectivos para este escenario de 162MVar.

Al evaluar estos escenarios se encuentra que existen un grupo principal de recursos para el control de tensión sobre esta barra, y un grupo de recursos secundarios que ayudarían a controlar la misma ante la ausencia o saturación de alguno de los principales. En todos los escenarios, se alcanzaron niveles admisibles post-contingencia con una absorción de reactivos total (peor condición) de 160MVar en los mismos.

Falla Reactor Nva Cardones		
Recursos principales	Recursos secundarios	Reserva total
CER Cardones	CTM3 e IEM	-160MVar
Central Guacolda	SVC Plus	
Central Angamos	CT Kelar	
CER Pan de Azúcar	SVC Domeyko	

Tabla 6-40. Reservas para falla en reactor Los Changos

6.4.4 Pérdida Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV C1

A continuación, se muestran las tensiones obtenidas para esta contingencia en todos los escenarios de estudio, tras la pérdida de un circuito de la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV.

Tensiones Finales		CONTINGENCIA										
		Línea Nva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1										
		Escenarios										
NODOS	Us [kV]	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11
Tensiones en red N-1 [p.u. de tensión de servicio]												
S/E Los Changos	500	1,013	1,016	1,016	1,007	1,017	1,006	0,984	1,012	1,000	1,004	1,002
S/E Cumbre	505	0,997	1,006	0,995	0,999	1,018	1,011	0,992	1,016	0,995	0,986	0,993
S/E Nva Cardones	500	0,988	1,001	0,984	0,994	1,014	1,008	0,993	1,012	0,992	0,976	0,988
S/E Nva Maitencillo	505	0,987	1,002	0,980	0,995	1,004	1,007	0,988	1,012	0,996	0,973	0,989
S/E Nva Pan de Azucar	510	0,985	0,987	0,973	0,992	0,997	1,009	0,986	1,012	0,993	0,967	0,984
S/E Polpaico	500	0,975	0,986	0,960	0,979	0,968	0,982	0,982	0,990	0,984	0,950	1,004
S/E Parinacota	220	0,988	1,026	1,008	1,016	0,998	0,988	0,991	0,997	1,015	0,986	1,012
S/E Crucero	220	1,029	1,032	1,028	1,022	1,032	1,030	1,022	1,030	1,022	1,021	1,032
S/E Encuentro	220	1,029	1,032	1,029	1,023	1,032	1,030	1,022	1,030	1,023	1,022	1,032
S/E Kapatur	220	1,006	1,028	1,027	1,018	1,017	1,021	1,023	1,035	1,020	0,999	1,014
S/E Laberinto	220	1,008	1,025	1,016	1,012	1,020	1,021	1,012	1,027	1,013	0,997	1,019
S/E Los Changos	220	1,005	1,028	1,027	1,018	1,016	1,021	1,023	1,035	1,020	0,999	1,014
S/E Domeyko	220	0,991	1,003	0,985	0,982	0,994	0,996	0,981	1,004	0,982	0,978	0,997
S/E Diego de Almagro	224	1,010	1,033	1,005	1,011	1,017	1,010	1,022	1,007	1,010	1,007	1,012
S/E Carrera Pinto	224	1,010	1,033	1,005	1,019	1,017	0,999	1,022	1,016	1,018	1,004	1,014
S/E San Andrés	224	1,007	1,029	1,001	1,020	1,012	0,996	1,017	1,017	1,019	1,000	1,013
S/E Cardones	224	1,005	1,025	1,000	1,019	1,008	0,997	1,013	1,017	1,019	0,998	1,012
S/E Maitencillo	226	1,003	1,022	0,999	1,019	1,011	1,005	1,015	1,021	1,019	0,994	1,015
S/E Punta Colorada	228	0,993	1,011	0,981	1,010	1,010	0,996	1,006	1,020	1,014	0,978	1,005
S/E Pan de Azúcar	228	0,992	1,001	0,968	1,000	1,002	0,991	0,994	1,014	1,007	0,969	0,999
S/E Las Palmas	228	0,981	0,999	0,946	1,002	0,993	0,957	0,982	1,009	1,005	0,937	0,983
S/E Los Vilos	226	0,976	0,997	0,958	1,001	0,994	0,964	0,985	1,005	1,002	0,944	0,985
S/E Nogales	226	0,967	0,979	0,973	0,985	0,990	0,967	0,989	0,985	0,983	0,952	0,980
S/E Quillota	226	0,960	0,973	0,966	0,987	0,985	0,959	0,988	0,978	0,986	0,948	0,975
S/E Polpaico	224	0,973	0,990	0,972	0,983	0,993	0,978	0,985	0,995	0,981	0,958	0,985

Tabla 6-41. Pérdida línea Nueva Pan de Azúcar - Polpaico

El análisis de los recursos más efectivos en red completa sobre Nueva Pan de Azúcar y Polpaico 500kV en todos los escenarios resulta:

Barra	RCT	MAX dQdQ [Mvar/Mvar]
SS/EE Nva Pan de Azucar Y Polpaico 500kV	CER Polpaico	0,364
	Centrales S/E San Luis	0,265
	Central Ventanas	0,210
	Central Guacolda	0,176
	CER Pan de Azucar	0,173
	CER Cardones	0,171

Tabla 6-42. Máximos dQ/dQ

En este caso los principales recursos de control se encuentran concentrados en este grupo de recursos.

Tomando los resultados de la tabla anterior, se analizan los siguientes escenarios, evaluando la estabilidad dinámica mediante simulaciones temporales de dicha contingencia, en escenarios de máximas transferencias en ambos sentidos de flujo.



- E10: Máximas transferencias Kap-LChan - con ERNC – Dda Baja – Hidrología seca.

Este escenario presenta 1500MW de transferencias entre Nueva Pan de Azúcar y Polpaico (transferencias máximas). A su vez, tiene la particularidad de contar con transferencias máximas SING→SIC (900MW) sin despacho de centrales en la S/E TEN.

Este caso es el que representa una mayor depresión post-contingencia en las barras al sur de Pan de Azúcar.

A continuación, se muestra el aporte de reactivos de las unidades del sistema ante esta contingencia

ESCENARIO 10			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
CER Polpaico	18	134	115
CER Cardones	25	97	72
Complejo Ventanas	82	150	68
Complejo San Luis	48	109	61
Central Guacolda	11	68	58
CER Pan de Azúcar	-13	40	52
Central Angamos	85	131	46
SVC Plus	-50	-25	25
CER Maitencillo	-4	20	24
Central Mejillones	115	131	15
Central Tocopilla	34	40	6
Central Cochrane	45	51	5
Central Norgener	34	38	4

Escenario 10	
Recurso	dQ/dQ
CER Pan de Azucar	0,155
CER Cardones 220/20.4	0,145
CER Polpaico 220/19kV_100MVA	0,133
Central Guacolda	0,113
Central Angamos	0,083
Central Ventanas	0,070
Centrales S/E San Luis	0,065
Maitencillo 220/13.8kV_40MVA_3	0,057
SVC Plus 220/13.9kV_100MVA	0,051
SVC Domeyko 220/19.5 kV	0,039
Central Mejillones	0,021

Tabla 6-43. Requerimientos de reactivos ante falla y efectividad sobre barra Nueva Pan de Azúcar.

Se observa un aporte de 430MVAR por parte de los principales recursos de control, para condiciones de máximas transferencias Norte → Sur por este enlace.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación dinámica de dicha contingencia en el escenario de máximas transferencias en sentido Norte→Sur, para evaluar la estabilidad del sistema.

Se observa que a pesar de ser el escenario con un mayor impacto en cuanto a las tensiones en el centro del SIC y al sur de Pan de Azúcar (220kV), no se presentan condiciones de inestabilidad transitoria, ni sub-tensiones límites en las barras del sistema. También se observa el aporte distribuido al control de tensión por parte de las unidades de Ventanas y San Luis, como también la CT Guacolda y los CERs del norte (CER Cardones principalmente).

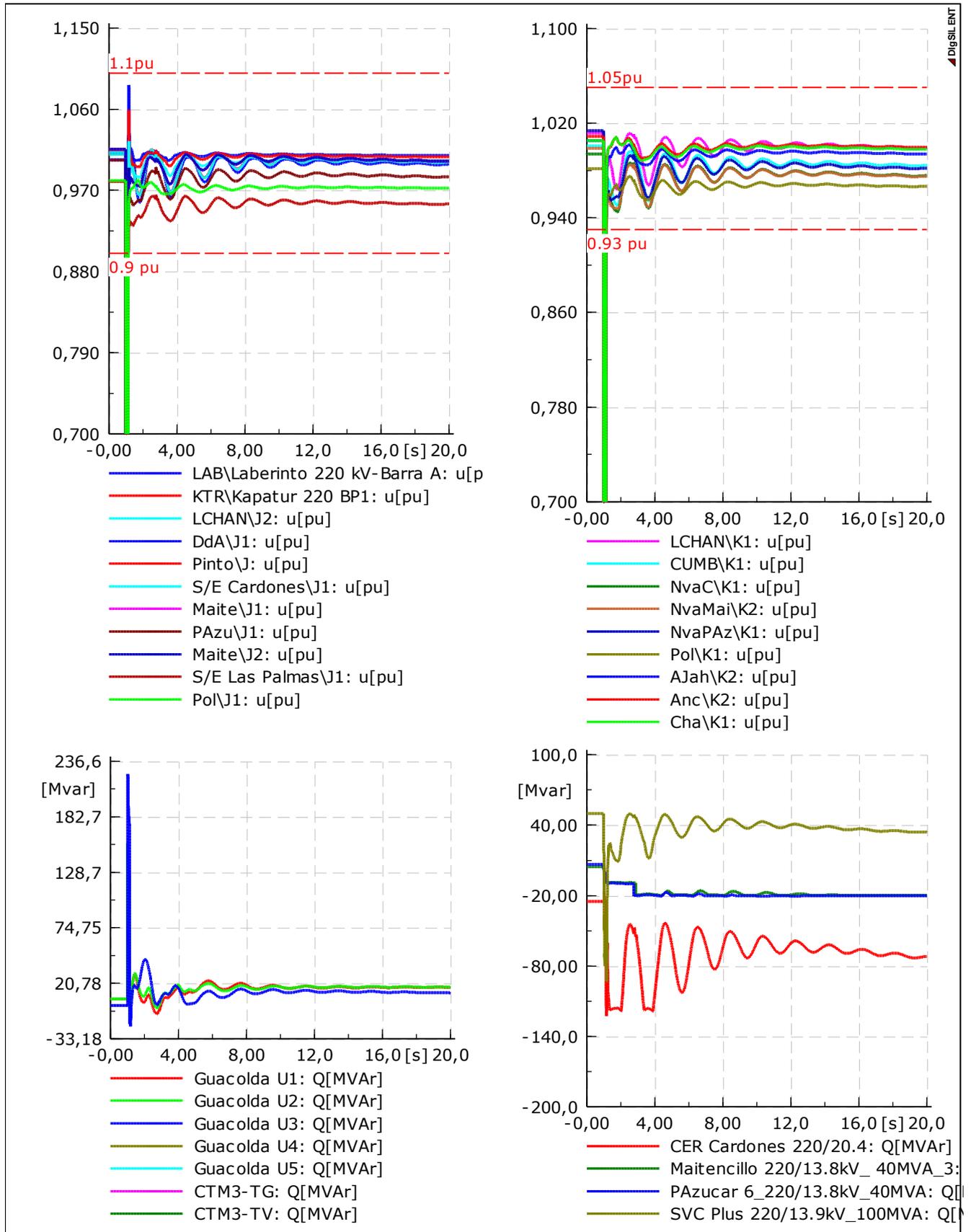


Figura 6-19. Tensiones SIC-SING y reactivos SIC Norte

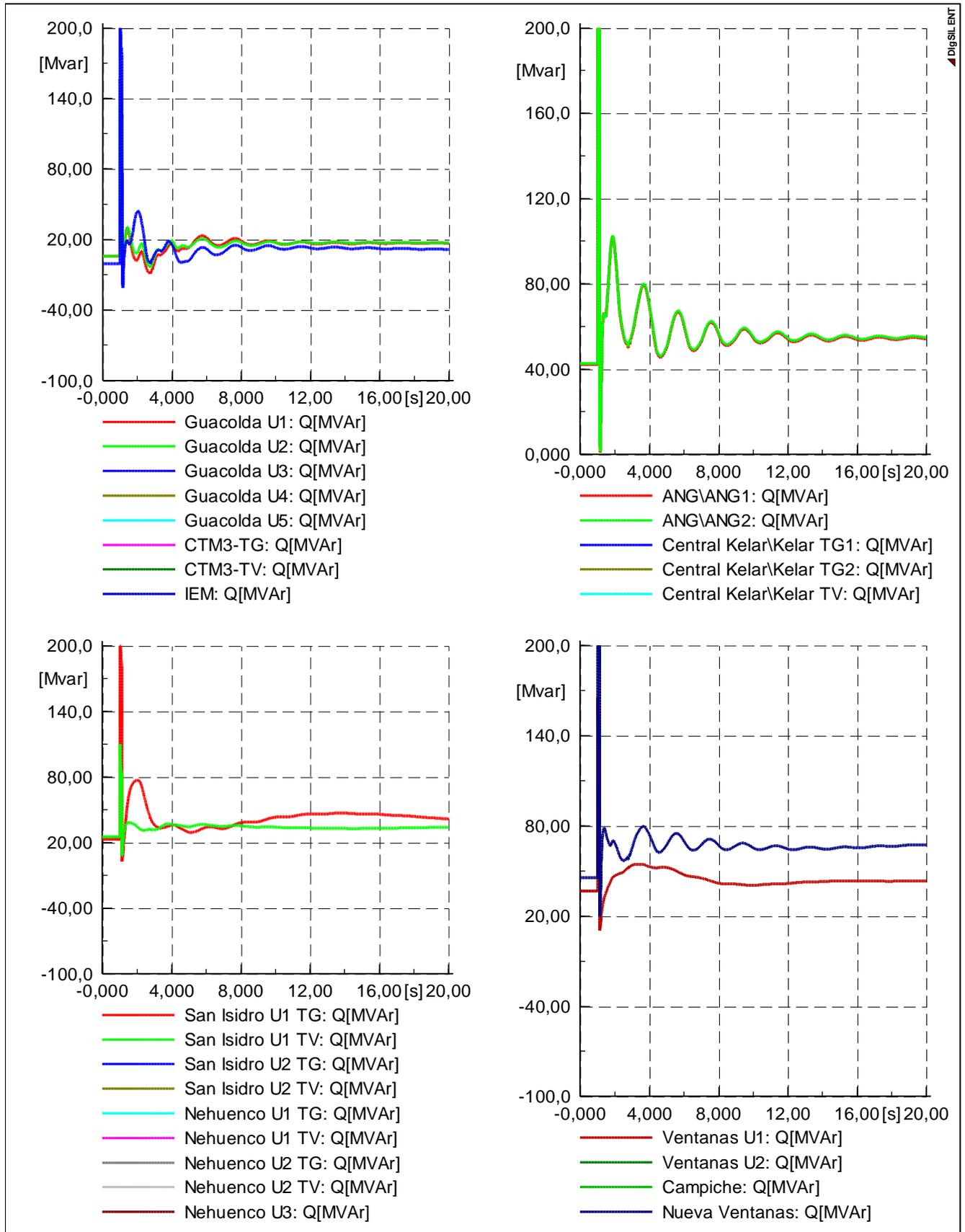


Figura 6-20. Reactivos de generadores

- Escenario 07: Transferencias SIC→SING – Sin ERNC – Hidrología Húmeda

En este caso se presenta un escenario con elevadas transferencias en sentido Sur→Norte por el enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV. A su vez, se presentan los CCSS de este enlace fuera de servicio, permitiendo mejorar el control de tensión, pero incrementando la impedancia del enlace, lo cual tiene un mayor impacto luego del N-1 al incrementarse la transferencia por el circuito sano.

A continuación, se muestra el aporte de reactivos de las unidades del sistema ante esta contingencia.

ESCENARIO 07			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
CER Polpaico	-5	34	39
Complejo San Luis	257	295	38
CER Pan de Azúcar	4	42	38
Complejo Ventanas	36	72	36
Central Guacolda	-10	23	33
CER Cardones	12	41	29
Central Angamos	2	14	12
Maitencillo	-2	10	11
SVC Plus	-13	-2	10
Central Mejillones	95	103	9
SVC Domeyko	125	130	5
Central Tocopilla	10	13	3
Central Cochrane	24	25	2
Central Norgener	38	39	2
CTTAR	11	12	2

Tabla 6-44. Requerimientos de reactivos ante falla

Se observa un aporte de 210MVAR por parte de los principales recursos de control, para condiciones con elevadas transferencias en sentido Sur→Norte por el enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación dinámica de dicha contingencia en los escenarios de máximas transferencias sentido Sur→Norte, para evaluar la estabilidad del sistema.

Se observa que no se presentan condiciones de inestabilidad transitoria, ni sub-tensiones límites en las barras del sistema.

También se observa el aporte distribuido al control de tensión por parte de las unidades de Ventanas y San Luis, como también la CT Guacolda y los CERs del norte (CER Cardones principalmente).

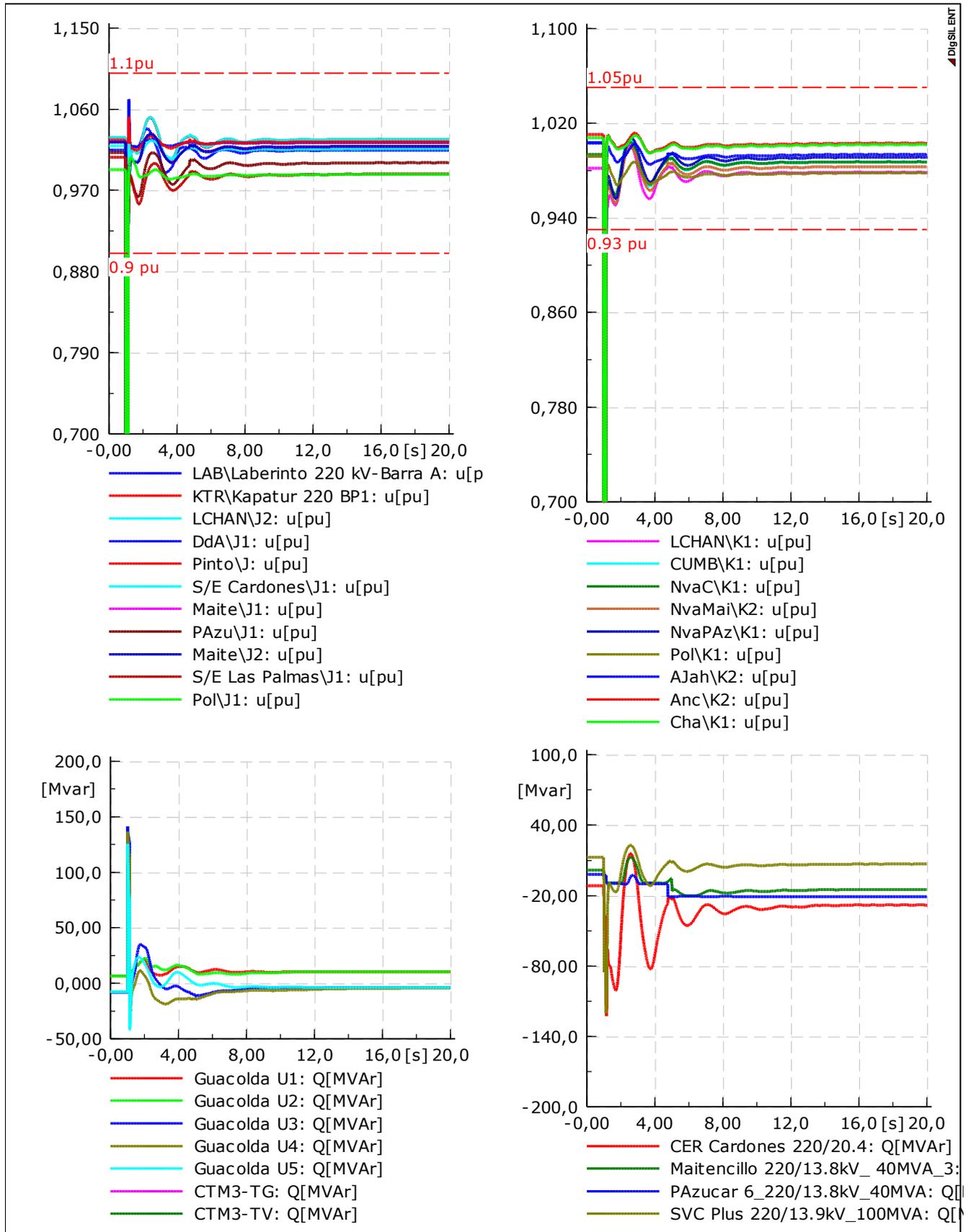


Figura 6-21. Tensiones SIC-SING y reactivos SIC Norte

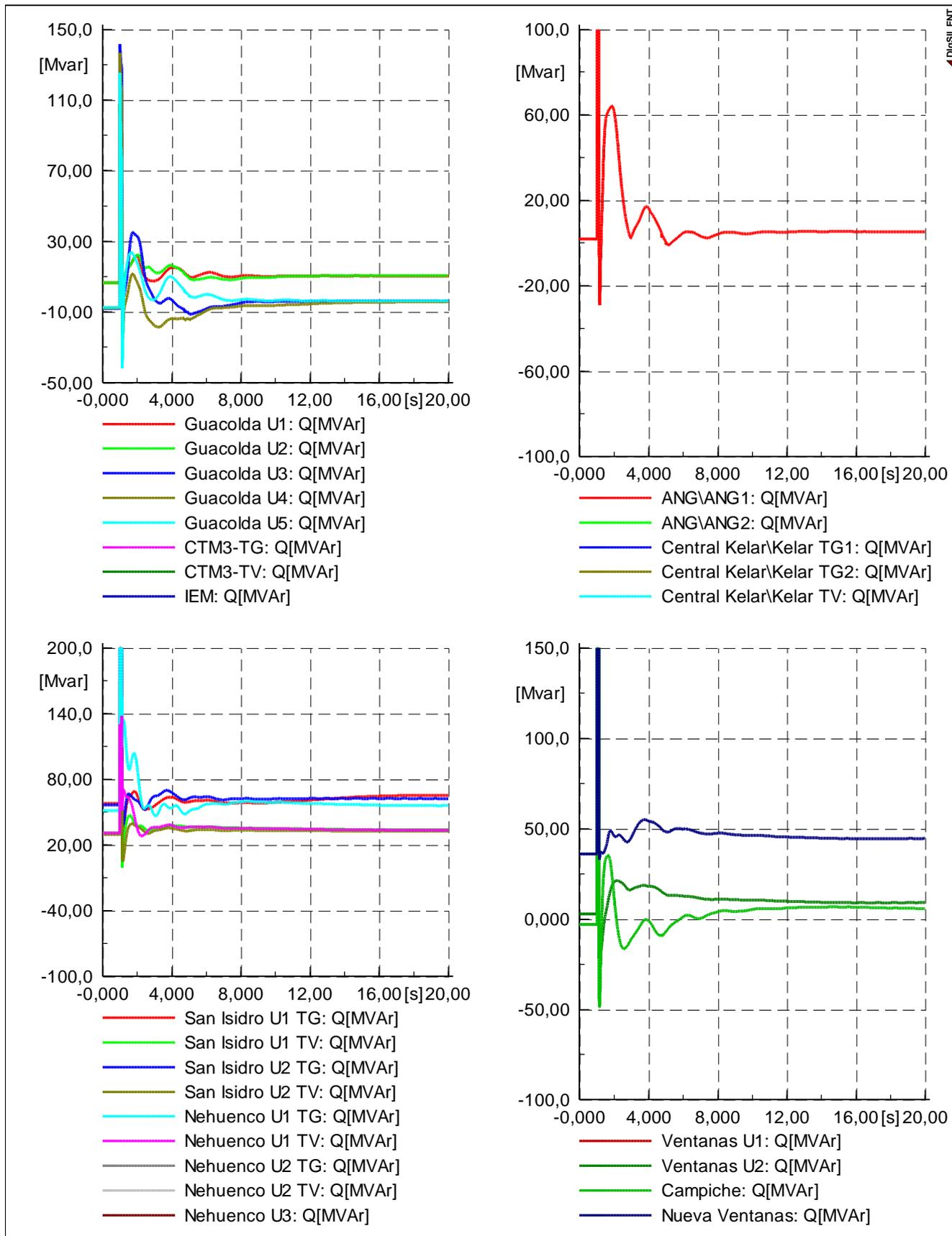


Figura 6-22. Reactivos de generadores

- Escenario 08: Transferencias cercanas a cero Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV

En este caso no se presentan problemas de tensión ante la salida de servicio de la línea debido a que la misma es principalmente capacitiva.

A continuación, se muestra el aporte de reactivos de las unidades del sistema ante esta contingencia.

ESCENARIO 08			
Nombre RCT	Qiny_N [Mvar]	Qiny_N-1 [Mvar]	RPR [Mvar]
CER Polpaico	19	41	22
Complejo Ventanas	-66	-52	14
Complejo San Luis	26	40	14
CER Pan de Azúcar	-44	-42	3
Central Guacolda	-75	-74	1
CER Cardones	-54	-53	1

Tabla 6-45. Requerimientos de reactivos ante falla

Se observa un aporte de 50MVAR por parte de los principales recursos de control, para condiciones de transferencias cercanas a cero por este enlace.

Para esta contingencia existe un grupo principal de recursos de control, pero la reserva necesaria para afrontar la misma depende en gran medida de los niveles de transferencias por este enlace. Analizando las condiciones más exigentes, abarcando todos los escenarios de operación se puede concluir:

Falla Nva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1		
Recursos principales	Recursos secundarios	Reserva total
CER Polpaico	Central Angamos CER Maitencillo	Maximas Norte -->Sur 430MVAR
Centrales San Luis		Cercanas a Cero 50MVAR
CER Pan de Azúcar		
Centrales Ventanas		Maximas Sur --> Norte 210MVAR
Central Guacolda		
CER Cardones		

Tabla 6-46. Reservas para falla Nva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV C1

Se aclara, que los resultados de las simulaciones dinámicas de esta contingencia aquí presentados verifican la factibilidad de operar con las CCSS en las condiciones recomendadas en el apartado 6.2.4 Operación CCSS Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV.

6.5 Sensibilidad: ERNC con control de tensión

En este apartado se realiza un análisis de sensibilidad de los resultados contemplando un control de tensión continuo por parte de los proyectos renovables del sistema, en sus nodos de media tensión.

En la tabla siguiente se resumen los máximos encontrados por contingencia.

CONTINGENCIAS	ERNC MODO							
	PQ				PV			
	Máximos [pu]		Mínimos [pu]		Máximos [pu]		Mínimos [pu]	
	500 kV	220 kV						
01 Lne Los Changos - Cumbre C1 500kV	1,020	1,031	0,956	0,957	1,018	1,032	0,978	0,963
02 Lne Cumbre - Nva Cardones C1 500kV	1,023	1,034	0,967	0,958	1,023	1,033	0,979	0,963
03 Lne Nva Maitencillo - Nva cardones C1 500kV	1,022	1,033	0,965	0,957	1,019	1,033	0,978	0,963
04 Lne Nva Maitencillo - Nva Pan de Azúcar C1 500kV	1,023	1,034	0,963	0,956	1,023	1,033	0,975	0,963
05 Lne Nva Pan de Azúcar - Polpaico C1 500kV	1,022	1,035	0,950	0,937	1,019	1,033	0,965	0,960
06 Maitencillo - Cardones C1 220kV	1,026	1,035	0,969	0,959	1,026	1,033	0,981	0,964
07 Maitencillo - Abasol(P. Colorada) C1 220kV	1,027	1,036	0,981	0,964	1,027	1,033	0,981	0,964
08 Los Vilos - Las Palmas C2 220kV	1,026	1,036	0,979	0,960	1,026	1,033	0,979	0,964
09 CT Guacolda U1	1,027	1,036	0,982	0,964	1,027	1,033	0,982	0,964
10 CTM3	1,034	1,038	0,987	0,973	1,033	1,035	0,986	0,972
11 CT Tarapaca	1,032	1,036	0,964	0,932	1,031	1,034	0,984	0,963
12 CT Cochrane U2	1,035	1,040	0,961	0,955	1,033	1,035	0,984	0,969
13 CT Tocopilla U16	1,036	1,044	0,959	0,957	1,034	1,037	0,986	0,969
14 IEM	1,040	1,040	0,990	0,975	1,035	1,036	0,987	0,974
15 CT Angamos U1	1,035	1,038	0,943	0,948	1,033	1,035	0,986	0,963
16 Reactor Barra Los Changos 500kV	1,049	1,049	0,984	0,966	1,048	1,041	0,983	0,965
17 Reactor Barra Nva Cardones 500kV	1,050	1,043	0,986	0,967	1,036	1,036	0,985	0,966
18 Reactor Línea Nva Cardones - Nva Maitencillo 500kV	1,035	1,039	0,983	0,965	1,031	1,033	0,983	0,965
19 Reactor Línea Nva Pan de Azu - Nva Maitencillo 500kV	1,032	1,037	0,985	0,966	1,029	1,033	0,984	0,966
20 Reactor Línea Nva Pan de Azu - Polpaico 500kV	1,044	1,040	0,990	0,970	1,037	1,034	0,989	0,968
21 Reactor Línea Polpaico - Nva Pan de Azu 500kV	1,033	1,037	0,993	0,971	1,038	1,033	0,992	0,969
22 SVC Domeyko	1,024	1,034	0,979	0,931	1,023	1,031	0,980	0,945
23 SVC Plus	1,027	1,050	0,980	0,964	1,027	1,033	0,981	0,964
24 CER Cardones	1,029	1,038	0,979	0,964	1,025	1,033	0,980	0,964
25 CER Maitencillo	1,027	1,036	0,981	0,964	1,027	1,033	0,981	0,964
26 CER Polpaico	1,027	1,036	0,979	0,965	1,027	1,033	0,979	0,965
27 CER Pan de Azúcar	1,027	1,036	0,981	0,965	1,027	1,033	0,981	0,964
28 Transformador Los Changos 500/220kV	1,025	1,034	0,980	0,964	1,021	1,032	0,980	0,964
29 Transformador Nva Cardones 525/230/34.5kV	1,029	1,038	0,970	0,956	1,029	1,033	0,982	0,963
30 Transformador Nva Maitencillo 525/230/34.5kV	1,028	1,036	0,968	0,957	1,025	1,033	0,980	0,964
31 Transformador Nva Pan de Azúcar 525/230/34.5kV	1,033	1,037	0,985	0,936	1,035	1,033	0,986	0,959

Tabla 6-47. Resumen Tensiones Máximas y Mínimas en red N-1 post-contingencia

Se observa una mejora en todas las tensiones post-contingencia, principalmente ante la pérdida del reactor de barra de Nueva Cardones 500kV, el SVC plus y el reactor de Los Changos 500kV en la red de 220kV, entre otras contingencias. Este análisis permite concluir la importancia de contar con un control continuo de tensión por parte de los proyectos de generación renovables del sistema, que ayuda de forma significativa en la operación del sistema y la respuesta del mismo ante contingencias.

A su vez, si este control de tensión se realizara de manera conjunta entre grupos de parques que se encuentran en puntos eléctricamente cercanos, se podría lograr un mejor aprovechamiento de este recurso y un mejor control de tensión en las barras del sistema.

A continuación, se muestra el aporte/absorción de reactivos de todo el sistema para las contingencias y escenarios más exigentes. Se observa que en algunos casos, el hecho de que la

contingencia sea en un punto lejano al punto en donde los proyectos controlan tensión, deriva en una menor contribución de los mismos a contrarrestarla.

Esc	Contingencia	Aporte total de reactivos ERNC		
		Red N	Red N-1	Delta
E03	Reactor Los Changos	-170	-204	-34
	Reactor Nva Cardones	-170	-214	-44
	Línea Nva PdA - Polp. 500kV	-170	-72	98
	Transformador Nva PdA	-170	-141	29
E06	Reactor Los Changos	-250	-298	-48
	Reactor Nva Cardones	-250	-302	-52
	Línea Nva PdA - Polp. 500kV	-250	-212	38
	Transformador Nva PdA	-250	-215	35

Tabla 6-48. Resumen inyección/absorción de reactivos totales ante contingencias más exigentes

6.6 Operación en Demanda Baja mínima – Despacho CT Guacolda

Se analiza en este apartado la operación en del sistema en condiciones de demanda baja mínima (~7000MW totales), específicamente en los que respecta a la zona norte del SIC y la interconexión.

Resulta de particular interés sobre este escenario evaluar condiciones de baja carga sobre los nuevos enlaces de 500kV al norte de Polpaico a fin de determinar los recursos necesarios para controlar las elevadas tensiones en barras del sistema. Las condiciones más exigentes para evaluar esta operación resultan escenarios sin generación renovable, y con reducida/nula generación por parte de la CT Guacolda.

6.6.1 Análisis red N

Se generan con este criterio escenarios con diferentes niveles de transferencias por el enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV (enlace con mayor inyección de reactivos en vacío):

- E01 - A: Sin ERNC / Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 0 MW / 0U CT Guacolda
- E02 - A: Sin ERNC / Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 100 MW / 0U CT Guacolda
- E03 - A: Sin ERNC / Nueva Pan de Azúcar – Polpaico -100 MW / 0U CT Guacolda
- E04 - A: Sin ERNC / Nueva Pan de Azúcar – Polpaico -300 MW / 0U CT Guacolda

Como condición de partida, los mismos no consideran unidades de la CT Guacolda en servicio, a fin de verificar la factibilidad de operar en esa condición. Por otro lado, el despacho de unidades del SING se corresponde a criterio económicos (Corridas PCP), derivando en el despacho de centrales cercanas al nodo Kapatur, como lo son: Angamos, IEM y CTM3.

A continuación, se resumen los niveles de tensión del sistema en condiciones de red N:

Escenarios		E01-A	E02-A	E03-A	E04-A
Transf. SING-->SIC	[MW]	750	900	630	400
Transf. Nva PdA->Pol	[MW]	0	120	-100	-300
Despacho CT Guacolda	U/[MW]	0/0	0/0	0/0	0/0
Barras	Us [kV]	Tensiones [pu]			
S/E Los Changos	500	1,001	0,996	1,004	1,005
S/E Cumbre	505	1,004	0,998	1,009	1,013
S/E Nva Cardones	500	1,004	0,999	1,009	1,014
S/E Nva Maitencillo	505	1,012	1,008	1,017	1,019
S/E Nva Pan de Azucar	510	1,017	1,013	1,020	1,022
S/E Polpaico	500	1,012	1,011	1,010	1,007
S/E Encuentro	220	1,032	1,029	1,034	1,030
S/E Kapatur	220	1,024	1,021	1,027	1,028
S/E Laberinto	220	1,026	1,022	1,027	1,027
S/E Los Changos	220	1,024	1,021	1,027	1,028
S/E Diego de Almagro	224	1,015	1,014	1,016	1,020
S/E Carrera Pinto	224	1,024	1,023	1,026	1,030
S/E San Andrés	224	1,026	1,024	1,028	1,032
S/E Cardones	224	1,026	1,024	1,029	1,032
S/E Maitencillo	226	1,038	1,037	1,044	1,046
S/E Punta Colorada	228	1,036	1,034	1,041	1,042
S/E Pan de Azúcar	228	1,029	1,026	1,032	1,033
S/E Las Palmas	228	1,022	1,021	1,023	1,022
S/E Los Vilos	226	1,018	1,017	1,018	1,016

Tabla 6-49. Resumen Tensiones en red N

No se generan escenarios con mayores transferencias Norte→Sur por el enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV debido a que se alcanza el límite de transferencia SING→SIC (900MW) en este mismo sentido.

Se encuentra que los escenarios presentan tensiones elevadas en red completa en el nodo Nueva Pan de Azúcar (por encima de sus niveles de servicio: 510kV). Las mismas se encuentran dentro de los límites de operación admisibles por Norma Técnica, lo cual es resultado de la completa utilización de los recursos de control de tensión de la zona norte del SIC: CERs Pan de Azúcar, Maitencillo, Cardones y SVC Plus. A su vez, se encuentra la necesidad de contar con una elevada absorción de reactivos desde el centro del SIC a fin de partir de tensiones relativamente bajas desde Polpaico (utilización de recursos del SIC Centro/Sur).

Considerando esto, se procede a analizar el impacto de las contingencias asociadas a pérdidas de equipos de compensación shunt, a fin de evaluar el impacto que esto representa en las tensiones de la zona norte del SIC, estando los recursos de control locales ya saturados en red completa.

6.6.2 Análisis red N-1

Como contingencias testigo se analizan:

- Pérdida de reactor de barra Los Changos
- Pérdida de reactor de barra Nueva Cardones
- Pérdida de reactor de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV, extremo Nueva PdA.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Contingencia:		Reactor Los Changos				Reactor Nva Cardones				Reactor Nva PdA-Pol			
Escenarios		E01-A	E02-A	E03-A	E04-A	E01-A	E02-A	E03-A	E04-A	E01-A	E02-A	E03-A	E04-A
Transf. SING-->SIC	[MW]	800	900	700	500	800	900	700	500	800	900	700	500
Transf. Nva PdA->Pol	[MW]	0	100	-100	-300	0	100	-100	-300	0	100	-100	-300
Despacho CT Guacolda	U/[MW]	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Barras	Us [kV]	Tensiones [pu]				Tensiones [pu]				Tensiones [pu]			
S/E Los Changos	500	1,024	1,019	1,031	1,031	1,017	1,014	1,025	1,026	1,012	1,009	1,020	1,021
S/E Cumbre	505	1,022	1,016	1,033	1,037	1,029	1,025	1,042	1,046	1,021	1,017	1,034	1,038
S/E Nva Cardones	500	1,020	1,014	1,031	1,035	1,034	1,031	1,049	1,053	1,025	1,022	1,039	1,043
S/E Nva Maitencillo	505	1,025	1,021	1,035	1,037	1,037	1,036	1,050	1,052	1,038	1,036	1,051	1,053
S/E Nva Pan de Azucar	510	1,028	1,024	1,036	1,037	1,038	1,037	1,049	1,050	1,047	1,045	1,058	1,059
S/E Polpaico	500	1,015	1,014	1,015	1,012	1,019	1,019	1,020	1,016	1,022	1,022	1,023	1,019
S/E Encuentro	220	1,034	1,031	1,036	1,033	1,034	1,030	1,036	1,032	1,033	1,030	1,035	1,032
S/E Kapatour	220	1,035	1,031	1,039	1,039	1,031	1,028	1,036	1,037	1,029	1,026	1,034	1,035
S/E Laberinto	220	1,030	1,026	1,032	1,031	1,028	1,025	1,031	1,030	1,028	1,025	1,030	1,029
S/E Los Changos	220	1,035	1,032	1,040	1,041	1,032	1,029	1,037	1,038	1,030	1,027	1,035	1,036
S/E Diego de Almagro	224	1,027	1,022	1,042	1,045	1,043	1,043	1,062	1,066	1,036	1,035	1,055	1,058
S/E Carrera Pinto	224	1,036	1,032	1,051	1,054	1,052	1,052	1,070	1,074	1,045	1,044	1,063	1,067
S/E San Andrés	224	1,038	1,034	1,052	1,055	1,053	1,053	1,071	1,074	1,046	1,046	1,064	1,067
S/E Cardones	224	1,038	1,034	1,052	1,055	1,053	1,053	1,070	1,073	1,046	1,046	1,063	1,066
S/E Maitencillo	226	1,049	1,049	1,064	1,066	1,061	1,065	1,080	1,082	1,060	1,064	1,079	1,081
S/E Punta Colorada	228	1,047	1,045	1,058	1,059	1,057	1,059	1,073	1,074	1,060	1,062	1,076	1,077
S/E Pan de Azúcar	228	1,039	1,036	1,048	1,048	1,049	1,049	1,060	1,061	1,055	1,055	1,066	1,067
S/E Las Palmas	228	1,029	1,027	1,033	1,031	1,035	1,035	1,041	1,039	1,039	1,039	1,045	1,043
S/E Los Vilos	226	1,022	1,021	1,025	1,023	1,027	1,027	1,030	1,028	1,029	1,029	1,033	1,031

Tabla 6-50. Resumen Tensiones en red N-1

Se observa que en los escenarios 03 y 04 resultan los más críticos, lo cual se debe a que los mismos presentan niveles de transferencias bajos en todos los enlaces de 500kV entre Los Changos y Polpaico. En ambos escenarios la pérdida del reactor de Nueva Pan de Azúcar – Polpaico y el reactor de Nueva Cardones derivan en sobretensiones por fuera de norma técnica.

Debido a que se encuentran saturados los recursos de control de tensión estáticos, se analiza el despacho forzado de unidades sincrónicas (CT Guacolda), sobre el escenario 04. A partir de este escenario se generan dos casos adicionales con 1 y 2 unidades de la CT Guacolda en servicio. Se despachan primero las unidades 3 y 4 (menor costo variable), aclarando que las mismas poseen una mayor capacidad de control que las unidades 1 y 2. A continuación se muestran los resultados sobre estos escenarios.

Contingencia:		Reactor Los Changos			Reactor Nva Cardones			Reactor Nva PdA-Pol		
Escenarios		E04-A	E04-B	E04-C	E04-A	E04-B	E04-C	E04-A	E04-B	E04-C
Transf. SING-->SIC	[MW]	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Transf. Nva PdA->Pol	[MW]	-300	-170	-40	-300	-170	-40	-300	-170	-40
Despacho CT Guacolda	unid/[MW]	0/0	1/150	2/300	0/0	1/150	2/300	0/0	1/150	2/300
Barras	Us [kV]	Tensiones [pu]			Tensiones [pu]			Tensiones [pu]		
S/E Los Changos	500	1,031	1,030	1,020	1,026	1,024	1,013	1,021	1,019	1,008
S/E Cumbre	505	1,037	1,035	1,026	1,046	1,043	1,032	1,038	1,035	1,024
S/E Nva Cardones	500	1,035	1,033	1,025	1,053	1,049	1,038	1,043	1,040	1,029
S/E Nva Maitencillo	505	1,037	1,036	1,029	1,052	1,049	1,040	1,053	1,050	1,040
S/E Nva Pan de Azucar	510	1,037	1,036	1,030	1,050	1,047	1,039	1,059	1,056	1,048
S/E Polpaico	500	1,012	1,014	1,014	1,016	1,018	1,017	1,019	1,021	1,021
S/E Encuentro	220	1,033	1,033	1,033	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032
S/E Kapatur	220	1,039	1,039	1,039	1,037	1,036	1,036	1,035	1,034	1,034
S/E Laberinto	220	1,031	1,031	1,031	1,030	1,030	1,030	1,029	1,029	1,029
S/E Los Changos	220	1,041	1,040	1,040	1,038	1,037	1,037	1,036	1,035	1,035
S/E Diego de Almagro	224	1,045	1,040	1,028	1,066	1,058	1,043	1,058	1,051	1,036
S/E Carrera Pinto	224	1,054	1,049	1,037	1,074	1,067	1,052	1,067	1,060	1,045
S/E San Andrés	224	1,055	1,050	1,039	1,074	1,067	1,053	1,067	1,060	1,046
S/E Cardones	224	1,055	1,050	1,039	1,073	1,066	1,052	1,066	1,060	1,046
S/E Maitencillo	226	1,066	1,059	1,049	1,082	1,073	1,059	1,081	1,072	1,058
S/E Punta Colorada	228	1,059	1,055	1,047	1,074	1,068	1,056	1,077	1,071	1,059
S/E Pan de Azúcar	228	1,048	1,046	1,039	1,061	1,057	1,048	1,067	1,063	1,054
S/E Las Palmas	228	1,031	1,031	1,028	1,039	1,038	1,034	1,043	1,042	1,038
S/E Los Vilos	226	1,023	1,023	1,022	1,028	1,028	1,025	1,031	1,031	1,028

Tabla 6-51. Resumen Tensiones en red N-1 – Despacho Forzado

Se encuentra que resulta necesario un despacho forzado de 2 unidades de la CT Guacolda para poder admitir la contingencia asociada a la pérdida del reactor de línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV (extremo Nueva Pan de Azúcar).

A continuación se cuantifican los aportes a la absorción de reactivos de los recursos de control de tensión para esta contingencia.

Recursos del sistema		Absorción de reactivos [MVar]		
		red N	red N-1	Aporte a contingencia
Centrales Kapatur / TEN	CT Angamos	-88	-107	-41 MVar
	CTM3	-67	-82	
	IEM	-49	-61	
CT Guacolda	U3 + U4	-34	-72	-38 MVar
CERs + SVC	SVC Plus	-68	-69	-15 MVar
	CER Cardones	-53	-63	
	CER Maitencillo	-26	-27	
	CER PdA 1+2	-50	-53	
SIC Centro	Nodo Ventanas	1	-25	-50 MVar
	Nodo San Luis	-4	-25	
	CER Polpaico	-60	-61	

Tabla 6-52. Aporte al control de tensión de recursos del sistema ante contingencia más exigente

Las figuras siguientes muestran los flujos de potencia para este escenario en red N y N-1.

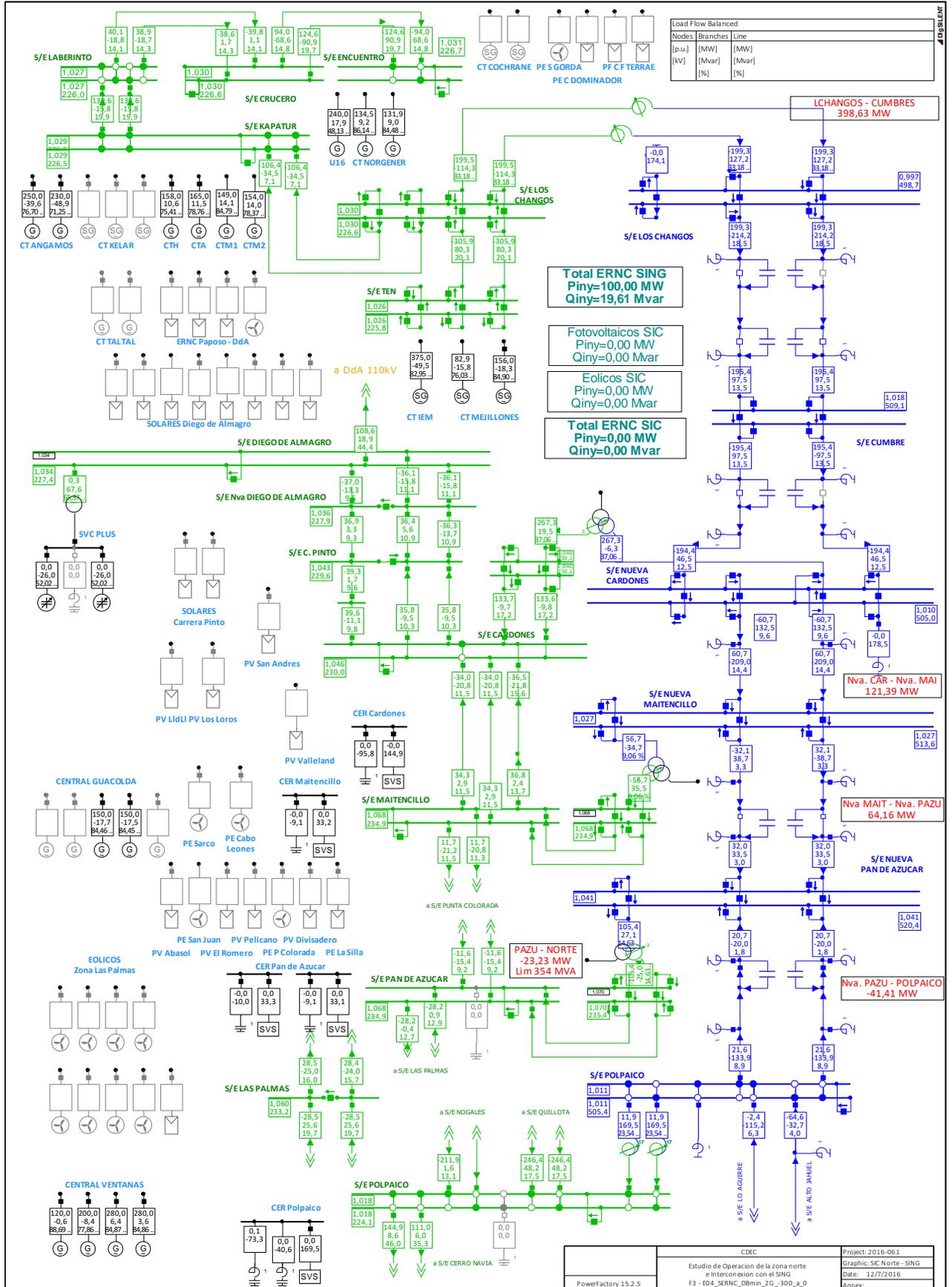


Figura 6-23. Flujo en red N - E04-C

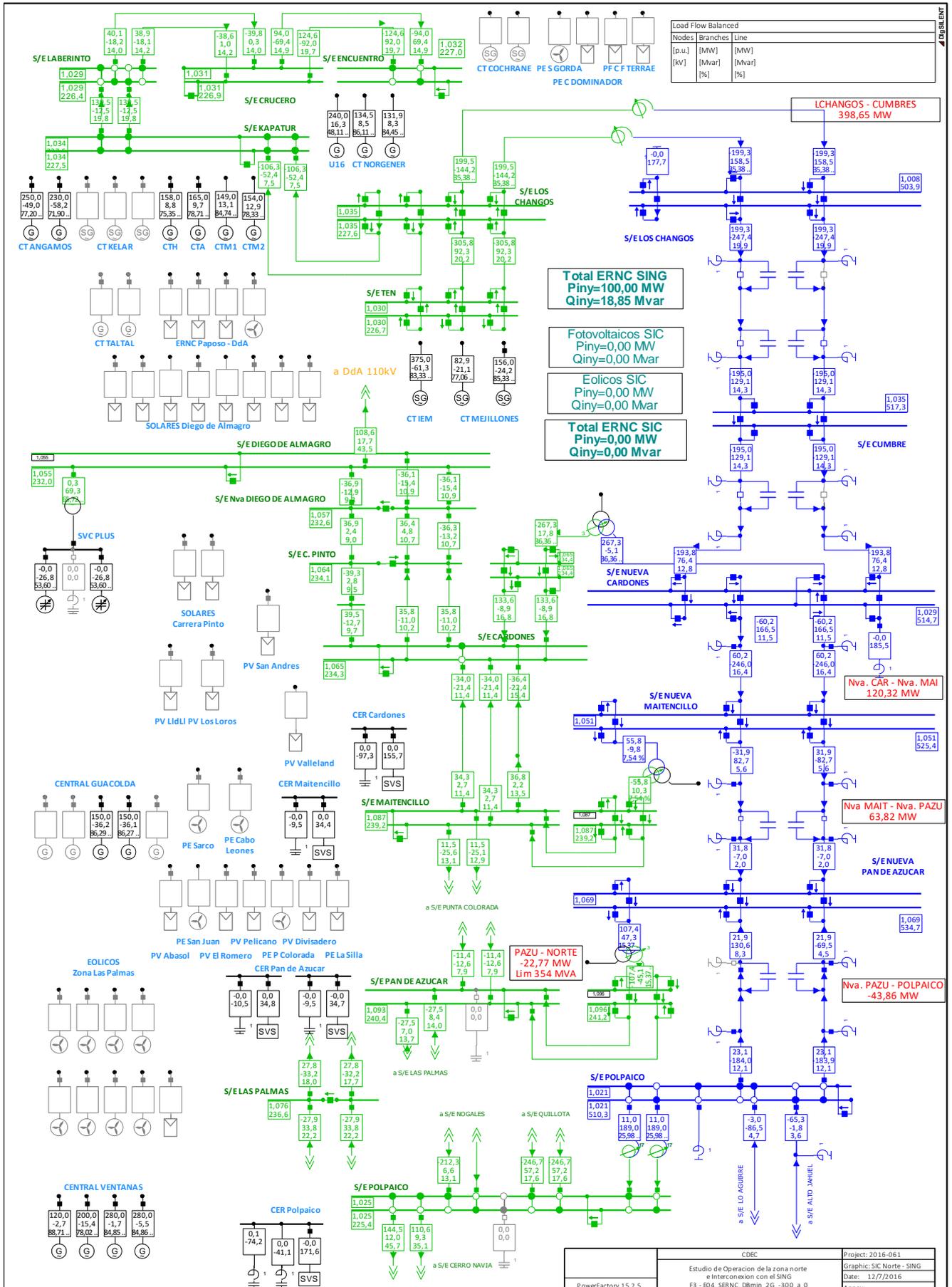


Figura 6-24. Flujo en red N-1 - E04-C

6.6.3 Sensibilidad despacho SING

Los escenarios presentados consideran un despacho económico de las unidades del SING, lo cual deriva en un buen control de tensión en las barras cercanas al nodo Kapatur. En este caso se analiza la sensibilidad de los resultados al reducir las unidades en servicio en la cercanía de este nodo.

Partiendo del Escenario más crítico (E04-C) se procede a disminuir el control de tensión local en Kapatur mediante el reemplazo de IEM y CTM3 por unidades de la CT Cochrane, y se evalúan las contingencias en reactores del sistema.

Escenarios		E05-A			E05-B		
Transf. SING-->SIC	[MW]	300			300		
Transf. Nva PdA->Pol	[MW]	-120			0		
Despacho CT Guacolda	unid/[MW]	2/300			3/450		
Contingencia:		<i>Reactor Los Changos</i>	<i>Reactor Nva Cardones</i>	<i>Reactor Nva PdA-Pol</i>	<i>Reactor Los Changos</i>	<i>Reactor Nva Cardones</i>	<i>Reactor Nva PdA-Pol</i>
Barras	Us [kV]	Tensiones [pu]					
S/E Los Changos	500	1,043	1,034	1,028	1,032	1,023	1,017
S/E Cumbre	505	1,046	1,051	1,042	1,035	1,040	1,032
S/E Nva Cardones	500	1,042	1,055	1,045	1,032	1,044	1,035
S/E Nva Maitencillo	505	1,042	1,053	1,053	1,033	1,043	1,044
S/E Nva Pan de Azucar	510	1,041	1,050	1,059	1,034	1,042	1,051
S/E Polpaico	500	1,017	1,020	1,023	1,016	1,019	1,023
S/E Encuentro	220	1,027	1,026	1,026	1,030	1,029	1,028
S/E Kapatur	220	1,055	1,050	1,047	1,055	1,050	1,047
S/E Laberinto	220	1,033	1,031	1,030	1,034	1,032	1,031
S/E Los Changos	220	1,057	1,052	1,048	1,058	1,052	1,049
S/E Diego de Almagro	224	1,046	1,061	1,053	1,031	1,045	1,038
S/E Carrera Pinto	224	1,055	1,069	1,061	1,041	1,054	1,047
S/E San Andrés	224	1,056	1,069	1,062	1,042	1,055	1,048
S/E Cardones	224	1,056	1,068	1,061	1,042	1,055	1,048
S/E Maitencillo	226	1,061	1,070	1,069	1,047	1,057	1,056
S/E Punta Colorada	228	1,058	1,067	1,070	1,047	1,056	1,059
S/E Pan de Azúcar	228	1,050	1,058	1,064	1,041	1,049	1,055
S/E Las Palmas	228	1,035	1,040	1,043	1,030	1,035	1,039
S/E Los Vilos	226	1,026	1,029	1,032	1,023	1,027	1,029

Tabla 6-53. Resumen Tensiones en red N-1 – Despacho Forzado

Se observa que al disminuir el control de tensión en la zona de Kapatur (escenarios sin generación en S/E TEN) resulta necesario el despacho forzado de 3 unidades de la CT Guacolda para controlar las tensiones ante la pérdida de reactores en el sistema de transmisión (condición límite en el caso de reactor Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 500kV).

Se concluye que, a fin de operar de forma segura el sistema en condiciones de demanda baja, resulta necesario el despacho forzado de 3 unidades de la CT Guacolda para controlar tensiones en la zona norte del SIC.

6.7 Transferencias SIC-SING – Reservas de Reactivos

En condiciones de hidrología húmeda y sin considerar aportes de fuentes renovables pueden presentarse condiciones de altas transferencias SIC→SING. En estos casos resulta necesario evaluar la cantidad mínima de unidades sincrónicas -inercia- necesarias en la región del SING para asegurar un desempeño angular estable ante la pérdida de grandes bloques de potencia.

En el "*Estudio 1 – Control de Frecuencia y Determinación de Reservas*" se estudian y determinan las condiciones límites que deben contemplarse para asegurar el correcto desempeño global del sistema ante una contingencia de severidad 5. Específicamente, se determinan las restricciones de mínima inercia para alcanzar la operación a plena carga por los principales enlaces del sistema de transmisión troncal de 500kV.

En función de dicho análisis el mencionado estudio determina un escenario de mínima inercia en el SING para condiciones de altas transferencias SIC-SING y demanda neta mínima. Las principales características del mismo se presentan a continuación.

6.7.1 Mínima Inercia SING

En escenarios de hidrología húmeda PCP (Escenario 16 - JUNIO 2018) se esperan flujos en sentido SIC SUR → SIC CENTRO → SIC NORTE → SING. Las condiciones más exigentes se presentan durante la noche, donde prácticamente todo el sistema de transmisión troncal desde CHARRÚA a LOS CHANGOS 500kV opera con altas transferencias, encontrándose el sistema con bajas demandas.

Para representar y estudiar estas condiciones se desarrolla un escenario de partida el cual contempla: demanda baja, hidrología húmeda, sin ERNC, donde se maximizan las transferencias SUR → NORTE y se minimiza la generación de la región norte (térmica). La Tabla 6-54 – Escenario de mínima inercia – Norte Polpaico resume las unidades sincrónicas despachadas desde POLPAICO 500kV al norte, junto con los niveles de inercia, reservas por área y transferencias por los enlaces más relevantes. Respecto a la inercia se separan los [MWs] correspondientes a cada región y se calcula la pendiente ROCOF (*Rate of Change of Frequency*) considerando la inercia SING post-contingencia (pendiente local inicial) y la reserva total y un monto de desbalance neto equivalente a 393MW.

CASO:		Minima Inercia SING
Unidades SING	Detalle	P [MW]
	U16	400
	ANG1	110
	CTH	100
	CTTAR	140
	CTA	100
	CTM1	90
	CTM2	90
	NTO1	65
	NTO2	65
	U14	75
	U15	75
	TOTAL	1310
	Reserva Efectiva [MW]	Total
SING		137
SIC		436
BESS		51
Termica		200
Hidráulica		322
Inercia [MVAs]	SING*	9361
	ATACAMA	3222
	SIC (resto)	29048
	TOTAL	41474
ROCOF [Hz/s]	SING*	1.05
	SISTEMA	0.24
Transferencia [MW]	CHARRUA > ANCOA	2089
	ANCOA > ALTO JAHUEL	2657
	ALTO JAHUEL > POLPAICO	1793
	POLPAICO > PAN DE AZÚCAR	1458
	CARDONES > LOS CHANGOS	911

*No contempla a la unidad de mayor despacho (U16 H=3065 MVAs)

Tabla 6-54 – Escenario de mínima inercia – Norte Polpaico

La respuesta de este escenario frente a la pérdida de una unidad sincrónica del SING resulta límite para mantener la estabilidad en cuanto a estabilidad angular y back-swing de tensión.

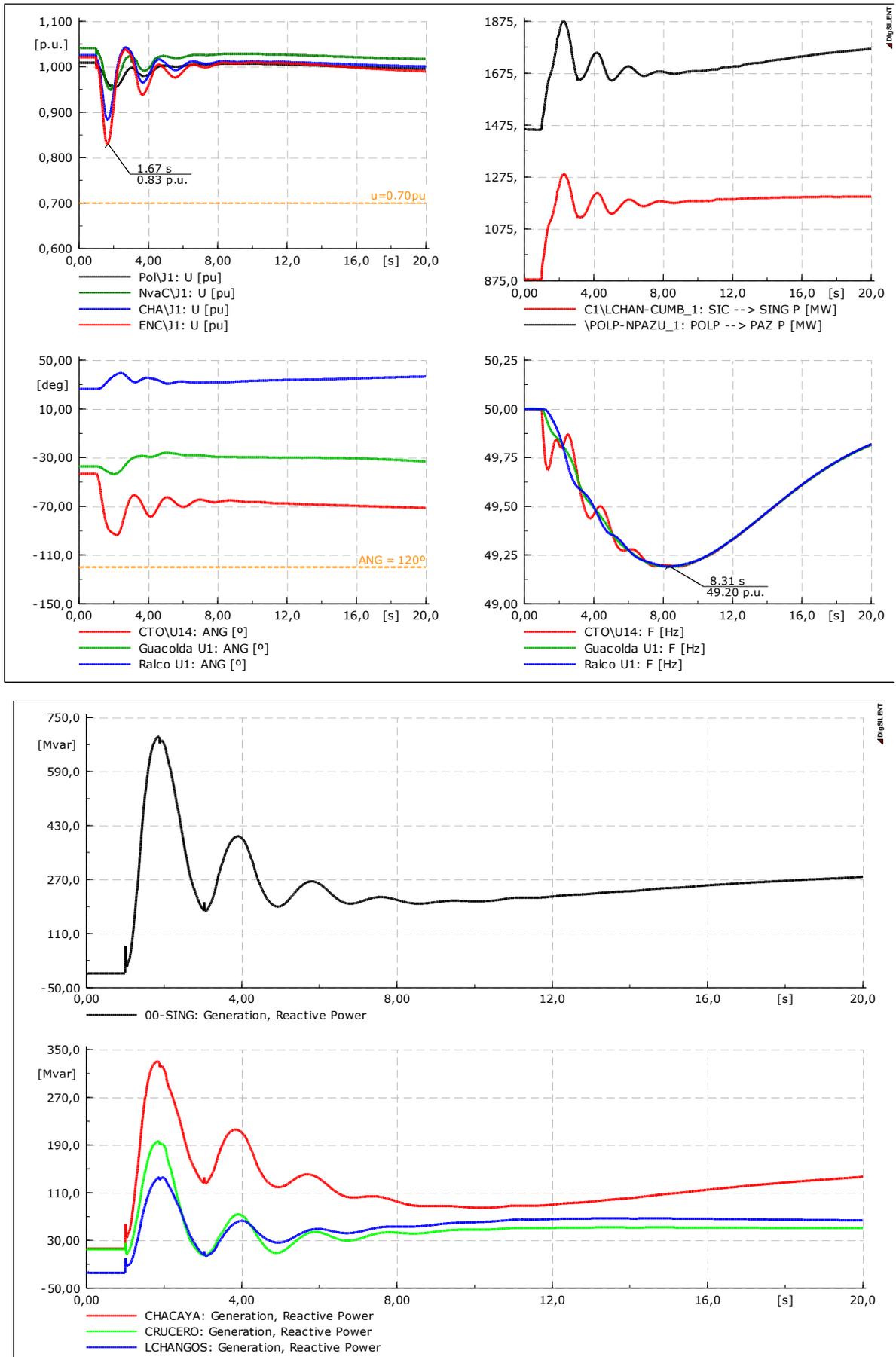


Figura 6-25: Respuesta dinámica – Escenario mínima inercia.

La respuesta presentada en la figura previa muestra el caso considerado límite para mantener un adecuado desempeño respecto a las excursiones angulares y respuesta transitoria de la tensión.

Sobre la base de este escenario de demanda baja e hidrología húmeda se realiza un análisis de reservas de potencia reactiva para mantener márgenes de seguridad aceptables en la operación.

Se presenta aquí un análisis del tipo POTENCIA – TENSIÓN (PV) el cual se realiza tomando las siguientes premisas:

- Partiendo de un caso de demanda baja, se escalan de forma homogénea todas las demandas del SING. No se alteran otros consumos del sistema.
- Durante el análisis no se alteran los despachos de potencia activa de las unidades generadoras.
- Se considera como slack al nodo Ventanas.

Las siguientes gráficas resumen los resultados obtenidos. A partir de estos resultados se obtienen los márgenes de seguridad obtenidos para cada nivel de reserva reactiva adicional. El margen se calcula como la relación entre la potencia transmitida y el nivel de transferencia que lleva al sistema a una condición de colapso en tensión.

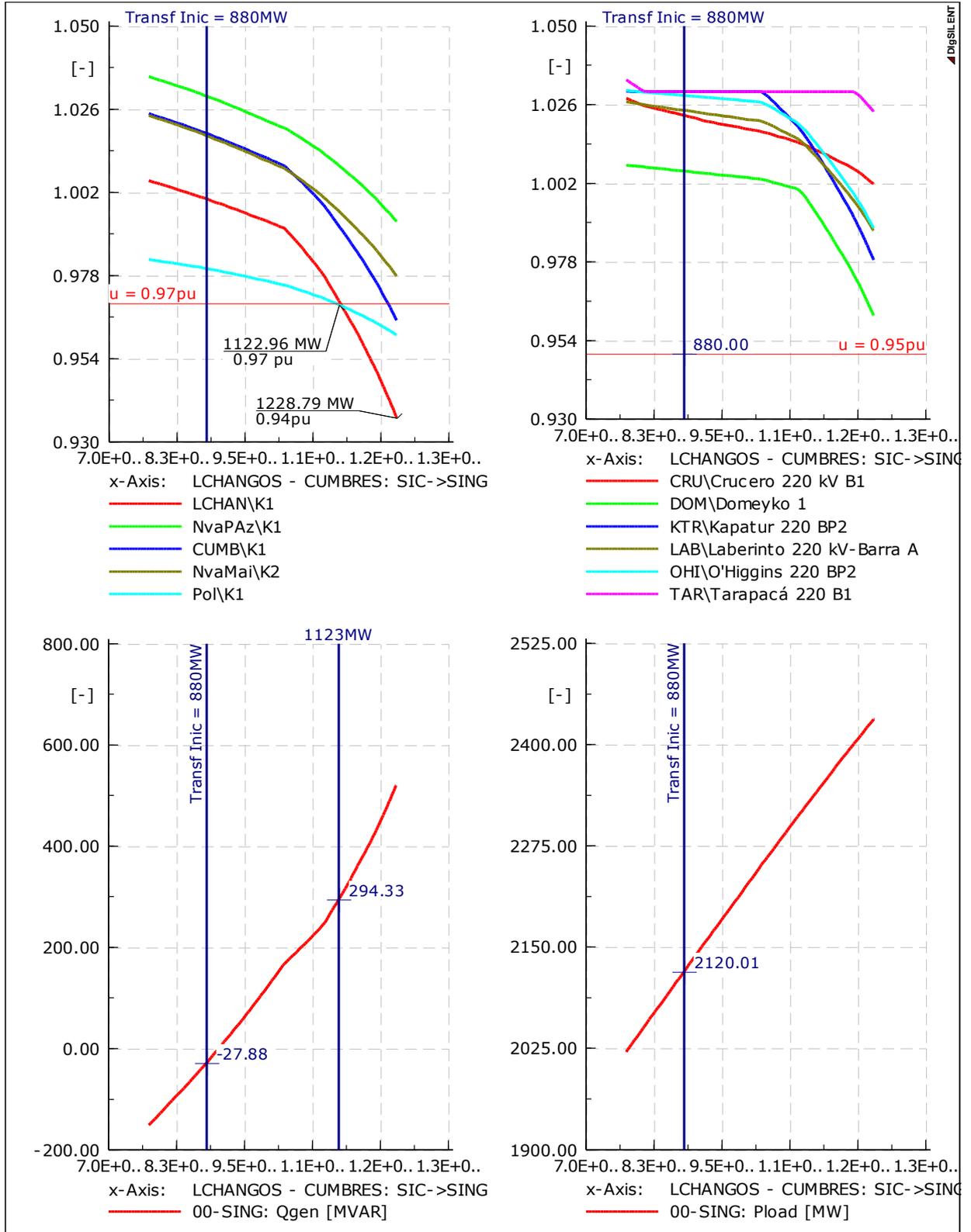


Figura 6-26. Análisis de reservas de reactivos



Transferencia [MW]			Potencia Reactiva [MVar]			Punto de operación	
Inicial	Límite tensión NT	Colapso	Inicial	Límite tensión NT	Punto de no convergencia	Respecto a límite NT	Respecto a límite de no convergencia
880	1123	1229	-27.9	294.3	520.39	77%	71.6%

Tabla 6-55 – Márgenes Red N

Tal como puede observarse, el punto de operación resulta un 78% de la transferencia que alcanza el límite de tensión exigido por la NTSyCS para condiciones normales de operación y un 71.6% respecto las condiciones de colapso (no convergencia del flujo de potencia) lo cual se considera adecuado para la operación.

Estos márgenes se consideran adecuados validando que las unidades despachadas en el SING permiten el control de la tensión aportando 294MVar.

Unidad	Qmax [MVar]	Límite tensión NT		Punto de no convergencia	
		Qinyectado [MVar]	Reserva [MVar]	Qinyectado [MVar]	Reserva [MVar]
ANG1	99.00	99.00	0	99.00	0
CTA	63.00	27.60	35	63.00	0
CTH	63.00	27.60	35	63.00	0
CTM1	52.95	24.84	28	52.95	0
CTM2	59.19	24.84	34	59.19	0
CTTAR	30.00	13.60	16	30.00	0
NTO1	46.95	3.90	43	22.41	25
NTO2	46.95	3.90	43	22.41	25
U14	44.10	9.41	35	16.71	27
U15	44.10	9.41	35	16.71	27
U16	75.00	50.16	25	75.00	0
Total	624.24	294.25	330	520.39	104

Tabla 6-56 – Reservas de potencia en unidades sincrónicas despachadas

Tal como puede observarse en la tabla precedente, las unidades sincrónicas despachadas en este escenario permiten disponer de un margen de reserva de potencia reactiva para el control de tensión de régimen permanente en el SING. Sumado a esto, cabe destacar que los límites de reactivos utilizados corresponden a los proporcionados en la base de datos pudiendo ser mayores en algunos casos.

En base a la evolución dinámica presentada en la Figura 6-25: Respuesta dinámica – Escenario mínima inercia. y el resultado del análisis estático, se establece que el escenario presentado resulta límite respecto al mínimo número de unidades sincrónicas despachadas en el SING para lograr un correcto desempeño tanto en condiciones transitorias como permanentes.

De manera similar a lo realizado en el apartado anterior, se analizan los márgenes operativos en cuanto a la estabilidad en tensión del sistema, considerando en este caso la indisponibilidad de un elemento serie del ST.

Se analizan las siguientes condiciones:

- Operación sin un circuito del enlace Los Changos – Cumbre 500kV.
- Operación sin un circuito del enlace Polpaico – Nueva Pan de Azúcar 500kV
- Operación sin un Auto-transformador 500/220kV S/E Los Changos.

Las figuras a continuación resumen los resultados obtenidos. De éstas se derivan los resultados y los márgenes de seguridad que se presentan en la Tabla 6-57.

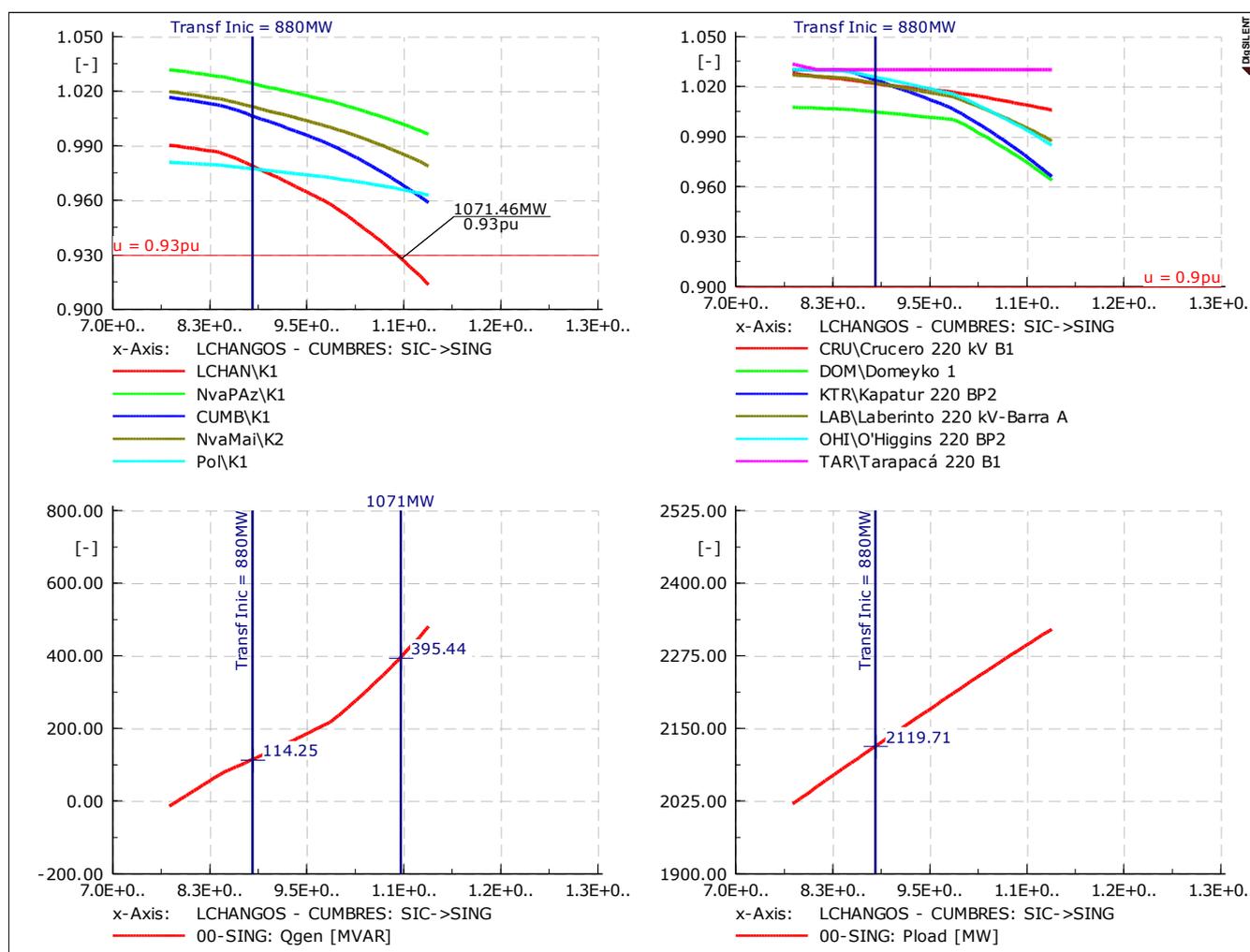


Figura 6-27: Análisis de reserva de reactivo. N-1 Los Changos – Cumbre 500kV C1.

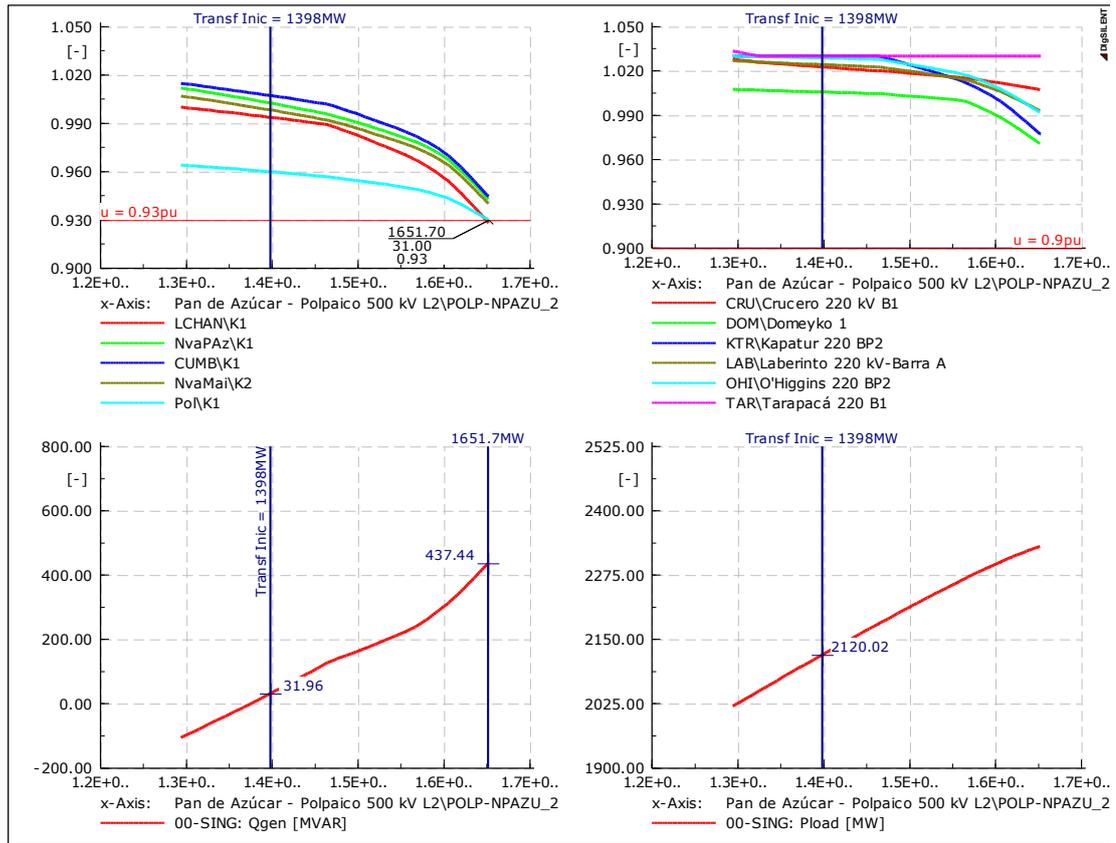


Figura 6-28: Análisis de reserva de reactivo. N-1 Polpaico – Nueva Pan de Azúcar 500kV C1

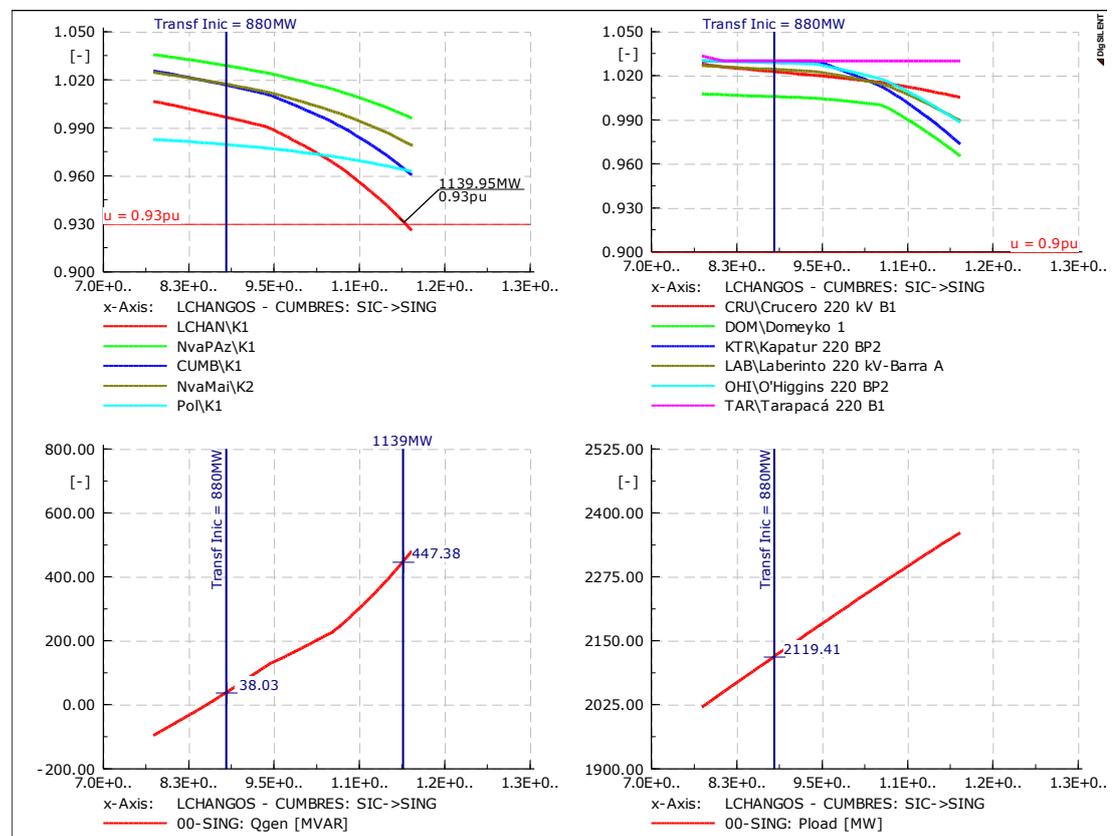


Figura 6-29. Análisis de reserva de reactivo N-1 Transformador Los Changos 500/220kV



N-1	Transferencia [MW]		Potencia Reactiva [MVar]		Punto de operación
	Inicial	Límite NT	Respecto a límite NT	Límite NT	Respecto a límite NT
L CHAN-CUM	880	1071	114	395	82%
L POL-NPAZU	1398	1651	32	437	84.6%
Tr Los Changos	880	1140	38	447	77%

Tabla 6-57 – Márgenes Red N-1

Del análisis realizado se destaca que:

- 1) Para contemplar condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING deben existir un número mínimo de unidades sincrónicas en servicio para poder afrontar la contingencia más crítica la cual resulta la pérdida de la unidad de mayor potencia en el SING.
- 2) Para lograr la estabilidad angular y en tensión en condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING, resulta necesario el despacho de unidades sincrónicas que totalizan una inercia de $\sim 12426[MVA*s]$ ($9361[MVA*s]$ post-contingencia). Un conjunto de unidades con esta cantidad de inercia podría ser: ANG1, CTA, CTH, CTM1, CTM2, CTTAR, NTO1, NTO2, U14, U15, U16.
- 3) En esas condiciones se obtienen adecuados márgenes respecto a los límites de tensión exigidos por la NTSyCS tanto en condiciones de red N como de red N-1. Las unidades sincrónicas presentadas poseen una capacidad de inyección potencia reactiva de 624MVar (según límites de potencia asignados a cada unidad en la base de datos, lo cual puede resultar conservador).

Tanto en condiciones de red N como de red N-1 se requiere la inyección de entre 300MVar y 400MVar de potencia reactiva para mantener las tensiones dentro de los entornos exigidos por la NTSyCS. Las unidades sincrónicas participantes del despacho resultan suficientes para mantener la estabilidad del sistema y guardar adecuados márgenes respecto al punto de colapso validando la operación del escenario planteado tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

6.8 Principales resultados y conclusiones de Fase III

En función de lo analizado para las condiciones de red N y red N-1, se encuentra que las condiciones para el control de tensión están influenciadas directamente por la interconexión con el SING, en este sentido, a nivel general se puede decir lo siguiente:

La incorporación más relevante en topología de Fase III corresponde a la interconexión SIC-SING a través de la línea de doble circuito Kapatur – Los Changos 2x220kV. Con la interconexión, el nodo LOS CHANGOS pasa a disponer de un control de tensión más robusto (desde el SING), lo cual mejora el desempeño respecto a lo apreciado en las Fases I y II. No obstante, no se alteran las características intrínsecas del sistema de transmisión, de modo que se debe operar de forma condicionada, contemplando los significativos excedentes de potencia reactiva en condiciones normales, previamente mencionados. En particular, los problemas se asocian a la región comprendida entre POLPAICO y NUEVA CARDONES, donde el sistema de transmisión no cuenta con compensación shunt suficiente en condiciones normales.

A continuación, se resumen las principales conclusiones obtenidas de los análisis realizados para Fase III.

6.8.1 Operación en red n

A partir de los análisis realizados en red n se extraen las siguientes conclusiones:

Áreas de control de tensión

En base a los resultados de los análisis de sensibilidad dQ/dQ , se establecen las siguientes áreas de control de tensión (ACT):

- **ACT 1:** Barras de Laberinto, Crucero y Encuentro (zona SING). Esta área comprende la mayoría de las barras del SING monitoreadas. Las mismas comparten los recursos de control y pueden ser discriminadas de las áreas definidas posteriormente.
- **ACT 2:** Barras desde Kapatur 220kV hasta Las Palmas 200kV (incluyendo barras de 500kV entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar). La eficacia de los recursos de control de tensión sobre las barras de toda esta área y la reducción de la impedancia por el nuevo sistema de 500kV derivan en la necesidad de considerar a este tramo como una sola área de control. A pesar de esto, se evaluará reducir los grupos de control sobre barras determinadas al momento de recomendar la asignación de reservas.
- **ACT 3:** Barras de Los Vilos 220kV hasta Polpaico (500/220kV).

Definición de tensiones de servicio

Se registran tensiones inadmisibles en las barras de 500kV considerando tensiones nominales. En base a esto, se definen las siguientes tensiones de servicio:

- ✓ Los Changos 500kV: **500kV**
- ✓ Cumbre 500kV: **505kV**
- ✓ Nueva Cardones 500kV: **500kV**
- ✓ Nueva Maitencillo 500kV: **505kV**
- ✓ Nueva Pan de Azúcar 500kV: **510kV**
- ✓ Polpaico 500kV: **500kV**

Barras más débiles

A continuación, se muestran las barras más sensibles junto a los principales recursos de control de tensión asociados a estas:

Barra	Vnom [kV]	dv/dQ max [%/Mvar]	Principal recurso de control
S/E Los Changos	500	0,019	CT Angamos / CTM3
S/E Parinacota	220	0,35	CT Tarapacá
S/E Las Palmas	220	0,048	CER Pan de Azúcar
S/E Los Vilos	220	0,04	Central Ventanas

6.8.2 Operación en red n-1

A partir de los análisis realizados en red n-1 se extraen las siguientes conclusiones:

Contingencias más críticas

Se encuentra que es factible soportar la pérdida de los reactores de barra del sistema sin caer en incumplimientos normativos, considerando las tensiones de servicio propuestas, para todos los niveles de transferencias por los enlaces de 500kV, aún en escenarios sin generación en la S/E TEN.

No obstante, se determinan las contingencias más críticas a partir del impacto en las tensiones y los requerimientos de reactivos del sistema, las que se detallan a continuación:

- ✓ **Pérdida de reactor de barra de 500kV S/E Los Changos.**
- ✓ **Pérdida de reactor de barra de 500kV Nueva Cardones.**
- ✓ **Pérdida línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico.**
- ✓ **Pérdida de generación en el SING.**

De mismo modo se encuentra que los escenarios más críticos en cuanto al control de tensión se corresponden a casos de **bajas transferencias por los enlaces de 500kV sin disponibilidad**

de generación renovable. Al respecto se encuentra que, a fin de operar de forma segura el sistema en condiciones de demanda baja, resulta necesario el despacho forzado de 3 unidades de la CT Guacolda para controlar tensiones en la zona norte del SIC.

Reservas de potencia reactiva

Para afrontar las contingencias más críticas definidas se encuentra necesario contar con un aporte al control de tensión distribuido en muchos recursos del sistema. A continuación, se muestran los requerimientos necesarios encontrados para las condiciones más exigentes.

Recursos principales	Recursos secundarios	Reserva total
Falla Reactor Los Changos		
Central Angamos	Central Mejillones Central Guacolda	-130MVar
CTM3 e IEM		
CER Cardones		
Central Kelar		
SVC Domeyko		
Falla Reactor Nva Cardones		
CER Cardones	CTM3 e IEM SVC Plus CT Kelar SVC Domeyko	-160MVar
Central Guacolda		
Central Angamos		
CER Pan de Azúcar		
Falla Nva Pan de Azúcar - Polpaico 500kV C1		
CER Polpaico	Central Angamos CER Maitencillo	Maximas Norte -->Sur 430MVar
Centrales San Luis		
CER Pan de Azúcar		Cercanas a Cero 50MVar
Centrales Ventanas		
Central Guacolda		Maximas Sur --> Norte 210MVar
CER Cardones		

Operación de los parques ERNC

Se analizó la sensibilidad de operar con los proyectos renovables del sistema con un control de tensión continuo. En estos casos se observa una mejora significativa en los resultados obtenidos para todas las contingencias evaluadas. Salvo en las contingencias más críticas definidas, se observa que se tienen tensiones dentro de los límites de red N ante las contingencias consideradas.

Análisis de mínima inercia en el SING

Del análisis realizado se destaca que:

Para contemplar condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING deben existir un número mínimo de unidades sincrónicas en servicio para poder afrontar la contingencia más crítica la cual resulta la pérdida de la unidad de mayor potencia en el SING.

6.9 Recomendaciones y propuestas Fase III

A continuación, se resumen las propuestas de operación para Fase III.

Operación de CCSS de 500kV

- 1) CCSS de las líneas entre Los Changos y Nueva Pan de Azúcar 500kV: Se recomienda la operación con los mismos en servicio para todo nivel de transferencia.
- 2) CCSS del enlace Nueva Pan de Azúcar – Polpaico:
Resulta conveniente que los mismos modifiquen su estado de operación para lograr un buen control de tensión:
 - a. Transferencias Norte → Sur menores a 800MW: fuera de servicio
Transferencias Norte → Sur mayores a 800MW: operativos
 - b. Transferencias Sur→Norte menores a 1000MW: fuera de servicio,
Transferencias Sur→Norte mayores a 1000MW: operativos

Conforme a los resultados de los perfiles de carga previstos para la línea Nueva Pan de Azúcar – Polpaico 2x500kV, se espera que estos umbrales sean alcanzados diariamente, por lo que el fabricante deberá validar la posibilidad de realizar maniobras frecuentes sobre los interruptores de los CCSS.

Se analizó la factibilidad de mantener un estado de operación permanente de los mismos para evitar su accionamiento sucesivo ante las condiciones de transferencia:

- ✓ Se encuentra necesaria la operación con los CCSS operativos para condiciones de máximas transferencias Norte→Sur para evitar sobrecargas en 220kV y una caída significativa de las tensiones ante la falla de un enlace, por lo cual su operación puenteada para todo nivel de transferencia no se considera factible.
- ✓ Por otro lado, se estima posible la operación de los capacitores series del tramo operativos independientemente del nivel de transferencia. En este contexto es importante destacar que la operación con bajas transferencias provocará tensiones límites o levemente excedidas tanto en condiciones de red N o red N-1 y la saturación de los RCT respecto a la absorción de reactivos asociados al área de control de tensión de la S/E Nueva Pan de Azúcar.

Operación de los reactores de barra

En los escenarios con máximas transferencias SIC→SING (900MW), para un mejor perfil de tensión resulta conveniente operar con el reactor de barra de Los Changos fuera de servicio. Por

otro lado, no se vio la necesidad de operar el reactor de barra de Nueva Cardones, ni siquiera para elevadas transferencias SING→SIC, ni en ninguna de las otras condiciones de operación.

Análisis de mínima inercia en el SING

- 1) Para lograr la estabilidad angular y en tensión en condiciones de mínima demanda sistémica y altas transferencias en sentido SIC→SING, resulta necesario el despacho de las siguientes unidades sincrónicas: ANG1, CTA, CTH, CTM1, CTM2, CTTAR, NTO1, NTO2, U14, U15, U16 que totalizan una inercia de 12426[MVA*s] (9361[MVA*s] post-contingencia).
- 2) Considerando los límites de inercia anteriores se obtienen adecuados márgenes respecto a los límites de tensión exigidos por la NTSyCS tanto en condiciones de red N como de red N-1. Las unidades sincrónicas presentadas poseen una capacidad de inyección potencia reactiva de 624MVAR (según límites de potencia asignados a cada unidad en la base de datos, lo cual puede resultar conservador).

Tanto en condiciones de red N como de red N-1 se requiere la inyección de entre 300MVAR y 400MVAR de potencia reactiva para mantener las tensiones dentro de los entornos exigidos por la NTSyCS. Las unidades sincrónicas participantes del despacho resultan suficientes para mantener la estabilidad del sistema y guardar adecuados márgenes respecto al punto de colapso validando la operación del escenario planteado tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco