

## Minuta DAOP N° 01/2021

Análisis de cortocircuitos operacionales en S/E  
Crucero.

Actualización de Minuta DAOP N° 01/2020



## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Análisis .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Resultados y Conclusiones .....</b>	<b>27</b>

## **Minuta DAOP N° 01/2021**

### **Análisis de cortocircuitos en S/E Crucero**

#### **1 Introducción**

En la minuta DAOP N° 01/2020 se verificó el dimensionamiento de aquellos interruptores de poder de la S/E Crucero en condición límite, con respecto a su capacidad de ruptura, luego de la puesta en servicio de los transformadores 500/220 kV de S/E Kimal y de la línea 2x500 kV Changos - Kimal. A través de una estimación de los máximos niveles de cortocircuitos operacionales a los que estos equipos estarían sometidos, de acuerdo con escenarios de operación reales, se propuso una alternativa para operar con seguridad el sistema eléctrico en la zona Norte Grande sin superar las capacidades de ruptura de los interruptores identificados en dicho documento.

Como consecuencia de la puesta en servicio de nuevas obras en el entorno de S/E Crucero, como por ejemplo las SS/EE Nueva Chuquicamata y Frontera, así como también la ejecución de obras de reemplazo de interruptores por equipos de mayor capacidad, se hace necesario actualizar la evaluación del impacto de estas obras sobre los niveles de cortocircuito operacionales de los interruptores existentes en S/E Crucero, para efectos de proponer medidas de mitigación transitorias mientras no se concreten las obras de ampliación en S/E Kimal, que contemplan el traslado de las líneas 2x220 kV Crucero - María Elena, 2x220 kV Crucero - Laberinto, 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata y 2x220 kV Crucero - Tocopilla. Además, se estudiarán las alternativas de operación durante el desarrollo de los trabajos del proyecto de ampliación en S/E Kimal, los cuales contemplan la desconexión secuencial de las mencionadas líneas para concretar su traslado hacia S/E Kimal.

## 2 Antecedentes

De acuerdo con la minuta DAOP N° 01/2020 y las obras de reemplazo de interruptores en S/E Crucero, los interruptores en condición límite son los siguientes:

S/E	Paños	Elemento que conecta	Capacidad de Ruptura [kA]
Crucero	52JR	Acoplador	16,0 (*)
	52JT1	Transformador 220/23 kV N°1	16,0
	52J6	Línea 220 kV Chacaya – Crucero	16,0
	52J6A	Línea 220 kV Central Tocopilla - Crucero 6A	16,0
	52J6B	Línea 220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata C2	16,0

(\*) Equipo reemplazado por un interruptor con capacidad de ruptura de 50 kA.

**Tabla N°1**

Cabe destacar que, en forma posterior a la emisión de la citada minuta 2020, se produjo el reemplazo del interruptor 52JR de S/E Crucero por uno de mayor capacidad de ruptura (50 kA). Además, los interruptores 52JT1 y 52J6 se encuentran desvinculados del servicio y en proceso de reemplazo. Por lo tanto, los interruptores mencionados fueron excluidos del presente análisis, quedando circunscrito a los interruptores 52J6A y 52J6B.

## 3 Análisis

Para el desarrollo de esta minuta se utilizó la base de datos del SEN modelada con el software Digsilent Power Factory vigente al mes de marzo de 2021, en la cual se modelaron las instalaciones correspondientes al proyecto de Ampliación de S/E Kimal. Por otra parte, para el cálculo de cortocircuitos se consideró el método IEC utilizando un factor de tensión pre falla  $c = 1.1$ , con un tiempo de apertura de interruptores de 40 ms.

Además, en estos cálculos se determinó la corriente inicial simétrica de cortocircuito ( $I_{kss}$ ), en condiciones Line Out (Figura 1a) y Open End (Figura 1b).

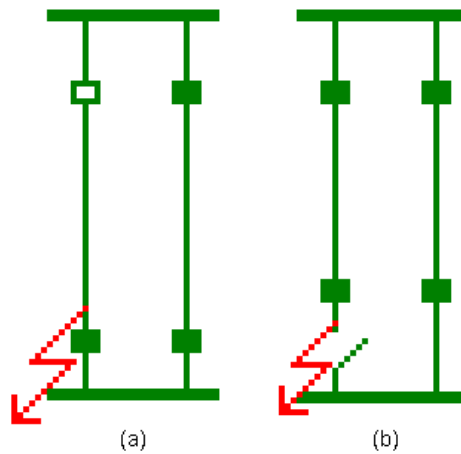


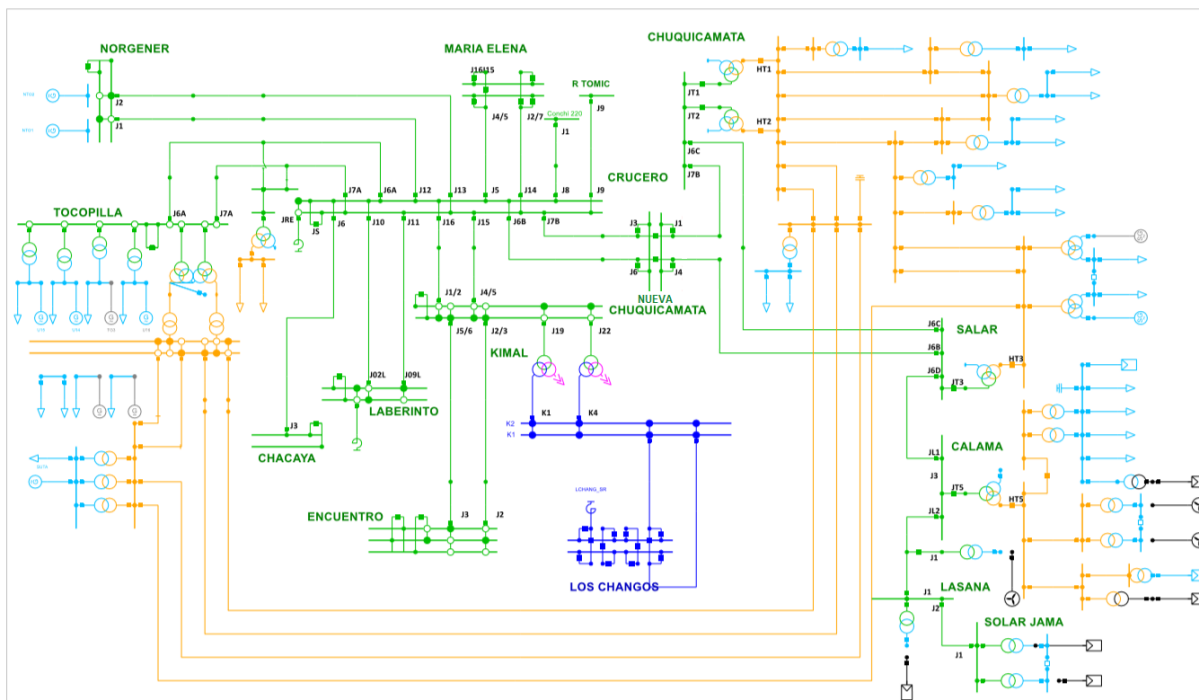
Figura N°1

## 1. Escenario Base y Análisis de Alternativas Operacionales

Como escenario base, en la zona de influencia, se consideraron las siguientes unidades generadoras en servicio:

- Central Norgener (NTO1 y NTO2).
- Central Tocopilla (U14, U15 y U16).
- Central Cerro Pabellón (TG1 y TG2).
- Central Cochrane (CCH1 y CCH2).
- Central Angamos (ANG1 y ANG2).
- Central Andina (CTA).
- Central Hornitos (CTH).
- Central Mejillones (CTM1, CTM2, CTM3-TG y CTM3-TV).
- Central Kelar (TG1 y TV)
- Central IEM.

Con respecto al sistema de transmisión, se consideraron en servicio todas las líneas de 220 kV de la zona, así como también un transformador 500/220 kV de S/E Kimal y un circuito de la línea 2x500 kV Los Changos – Kimal, ver figura N°2. Adicionalmente, se consideró en servicio la nueva línea 220 kV Nueva Chuquicamata - Calama, la cual no tiene mayor impacto en el nivel de cortocircuito (menos de 0.03 kA).



**Figura N°2**

Conforme con lo anterior, se muestra a continuación un resumen de los máximos niveles de cortocircuitos en los paños de 220 kV de la zona estudiada, calculados según la metodología descrita anteriormente:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura [kA]	Tipo de Falla	Ikss Máx. [kA]	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	19,08	119,26%
	52J6B	16	2f-t	20,03	125,20%

**Tabla N°2**

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A (línea 220 kV Central Tocopilla - Crucero 6A) y 52J6B (línea 220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata C2) ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 19% y 25%, respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima operacional en la zona Norte Grande, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

Como alternativa de operación se plantea la desconexión del único circuito que opera conectado de la línea 2x500 kV Changos - Kimal y del único transformador 500/220 kV de S/E Kimal que se encuentran en servicio en el caso base. En esa configuración, se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	11,41	71,31%
	52J6B	16	2f-t	12,43	77,69%

**Tabla N°3**

De la tabla N°3, se puede concluir que la operación de las líneas 2x500 kV Changos - Kimal y de los transformadores 500/220 kV de S/E Kimal desconectados resulta suficiente para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

Sin embargo, ante la necesidad de mantener en servicio el enlace de 500 kV entre las SS/EE Changos y Kimal, debido a la alta penetración de centrales ERNC en la zona en algunos horarios del día, se proponen las siguientes medidas operacionales:

- a) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Kimal:

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Kimal desconectados. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	3f	11,90	74,39%
	52J6B	16	3f	12,94	80,90%

**Tabla N°4**

De la tabla N°4, se puede concluir que la medida operacional propuesta resulta suficiente para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

- b) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya:

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectados ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,95	99,69%
	52J6B	16	2f-t	16,90	105,64%

**Tabla N°5**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 100% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 6%, por lo que en este escenario se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

b.1) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto, de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, más la apertura del interruptor 52JS de S/E Crucero:

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectados ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de la apertura del interruptor 52JS de S/E Crucero, separando las barras de 220 kV. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,41	90,08%
	52J6B	16	2f-t	15,49	96,80%

**Tabla N°6**

De la tabla N°6, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos. Cabe destacar que los interruptores 52J6A y 52J6B se encuentran conectados a la barra N°2 de 220 kV de S/E Crucero, por lo que se exploró la posibilidad de abrir solo el circuito de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto asociado a la mencionada barra, sin lograr reducir lo suficiente el nivel de cortocircuito.

Por otra parte, ante la necesidad de mantener unidas las barras de 220 kV de S/E Crucero (interruptor 52JS cerrado), debido a la alta penetración de centrales ERNC en la zona en algunos horarios del día, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

b.2) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto, de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, más las unidades U14 y U15 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectados ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto, desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de las unidades U14 y U15 de central Tocopilla fuera de servicio (la unidad U16 se encuentra en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:



S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,42	96,38%
	52J6B	16	2f-t	16,01	100,06%

**Tabla N°7**

De la tabla N°7, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas no resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores, en particular el interruptor 52J6B se encuentra al 100,06 % de su capacidad de ruptura, por lo cual se propone medida operacional siguiente.

b.3) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto, de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, más la unidad U16 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectados ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto, desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de la unidad U16 de central Tocopilla fuera de servicio (las unidades U14 y U15 se encuentran en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,87	92,95%
	52J6B	16	2f-t	15,20	94,99%

**Tabla N°8**

De la tabla N°8, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

## **2. Secuencia de Trabajos de la Obra de Ampliación en S/E Kimal.**

El proyecto de ampliación en S/E Kimal contempla el traslado de los paños de S/E Crucero hacia S/E Kimal de las líneas 2x220 kV Crucero - María Elena, 2x220 kV Crucero - Laberinto, 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata y 2x220 kV Crucero - Tocopilla. Según lo señalado por el desarrollador del proyecto, se contempla la desconexión secuencial de las mencionadas líneas para concretar su traslado hacia S/E Kimal, según el siguiente cronograma:

Etapa	Descripción
1	Desconexión de un circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - María Elena y 2x220 kV Crucero - Laberinto.
2	Energización del primer circuito de las nuevas líneas 2x220 Kimal - María Elena y 2x220 kV Kimal - Laberinto.
3	Desconexión del restante circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - María Elena y 2x220 kV Crucero - Laberinto.
4	Energización del segundo circuito de las nuevas líneas 2x220 Kimal - María Elena y 2x220 kV Kimal - Laberinto.
5	Desconexión de un circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - Tocopilla y 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata.
6	Energización del primer circuito de las nuevas líneas 2x220 Kimal - Tocopilla y 2x220 kV Kimal - Nueva Chuquicamata.
7	Desconexión del restante circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - Tocopilla y 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata.
8	Energización del segundo circuito de las nuevas líneas 2x220 Kimal - Tocopilla y 2x220 kV Kimal - Nueva Chuquicamata.

Tabla N°9

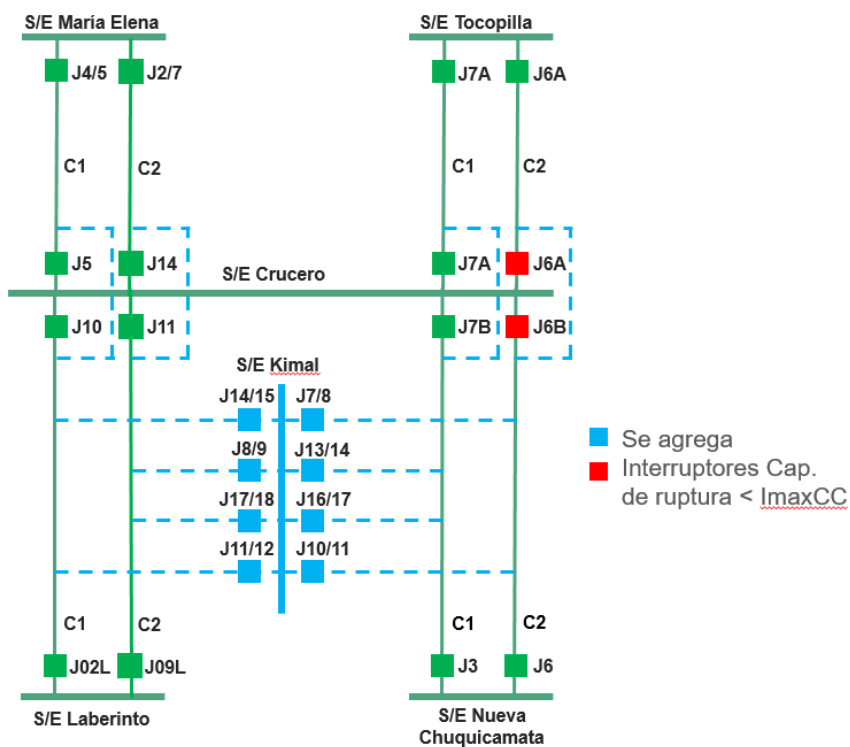


Figura N°3

Cabe destacar que el traslado de las líneas asociadas a los interruptores 52J6A y 52J6B de S/E Crucero se contempla para la etapa 7 del cronograma anterior, por lo que sólo se analizarán las condiciones operacionales hasta la etapa 6.

### 2.1. Etapa 1

Con respecto al escenario base, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con un circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - Laberinto y 2x220 kV Crucero - María Elena desconectados (etapa 1 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°4.

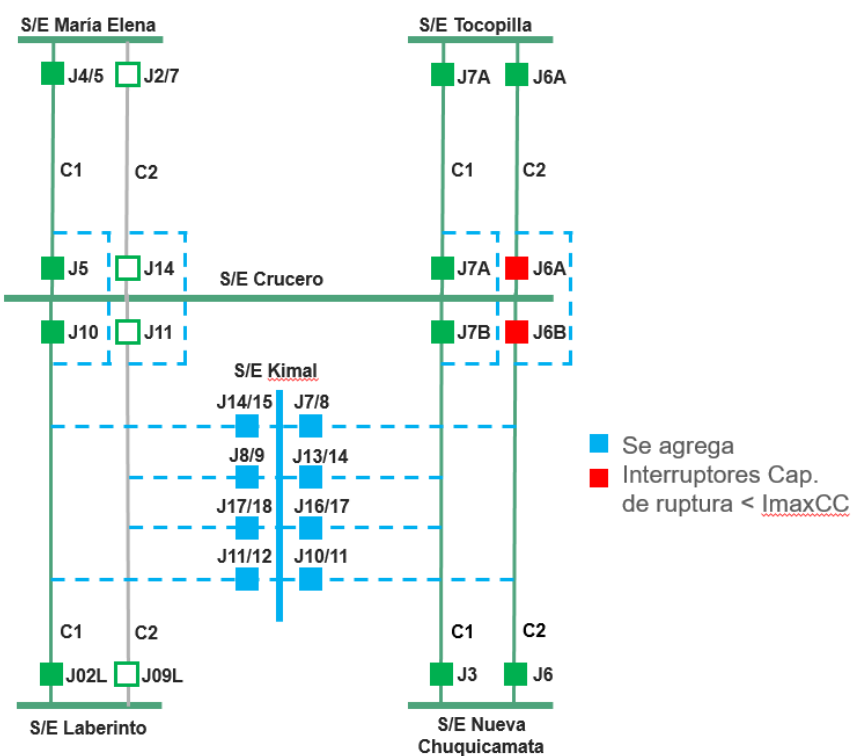


Figura N°4

Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	18,25	114,04%
	52J6B	16	2f-t	19,20	119,97%

Tabla N°10

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A y 52J6B ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 14% y 20%, respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima en la zona, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

- a) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya:

Con respecto al escenario Etapa 1, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectado el segundo circuito de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,92	99,53%
	52J6B	16	2f-t	16,88	105,48%

**Tabla N°11**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 100% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 5%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

- a.1) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de las unidades U14 y U15 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 1, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectado el segundo circuito de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de las unidades U14 y U15 de central Tocopilla fuera de servicio (la unidad U16 se encuentra en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,40	96,22%
	52J6B	16	2f-t	15,98	99,90%

**Tabla N°12**

De la tabla N°12, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos. En particular, el interruptor 52J6B se encuentra aproximadamente al 100% de su capacidad de ruptura.

a.2) Desconexión de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto y de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de la unidad U16 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 1, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero desconectado el segundo circuito de la línea 1x220 kV Crucero - Laberinto y desconectada la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya, además de la unidad U16 de central Tocopilla fuera de servicio (las unidades U14 y U15 se encuentran en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,85	92,79%
	52J6B	16	2f-t	15,17	94,83%

**Tabla N°13**

De la tabla N°13, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

## **2.2. Etapa 2**

En este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con un circuito de las nuevas líneas 2x220 kV Kimal - María Elena y 2x220 kV Kimal - Laberinto conectados (etapa 2 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°5.

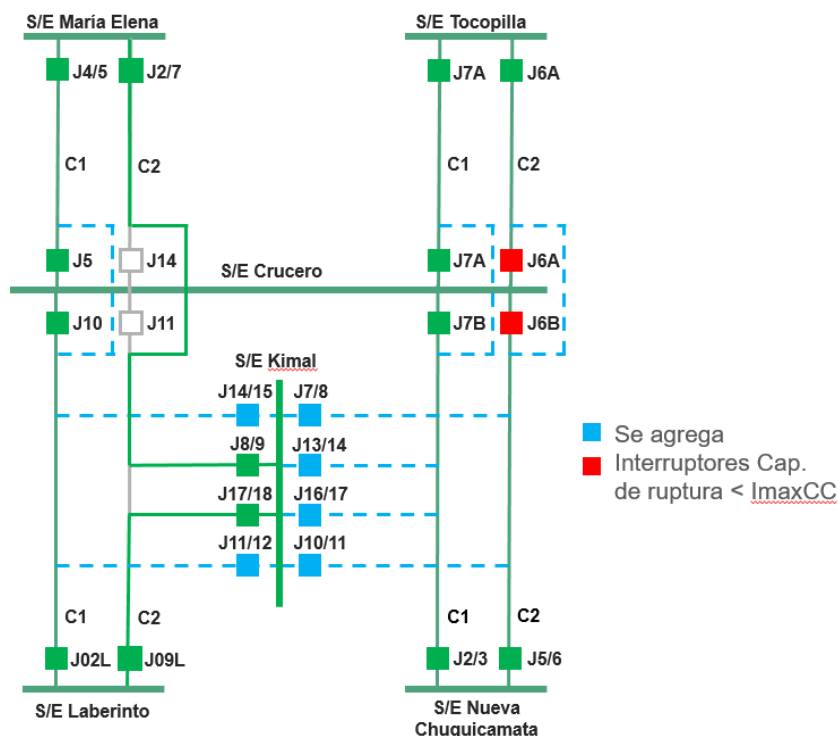


Figura N°5

Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	18,89	118,08%
	52J6B	16	2f-t	19,84	124,01%

Tabla N°14

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A y 52J6B ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 18% y 24%, respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima en la zona, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

- a) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 2, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	16,04	100,23%
	52J6B	16	2f-t	16,99	106,18%

**Tabla N°15**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 100% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 5%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

a.1) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto, más las unidades U14 y U15 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 2, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas, además de las unidades U14 y U15 de central Tocopilla fuera de servicio (la unidad U16 se encuentra en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,51	96,92%
	52J6B	16	2f-t	16,10	100,60%

**Tabla N°16**

De la tabla N°16, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas no resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores, en particular el interruptor 52J6B se encuentra al 100,60 % de su capacidad de ruptura, por lo cual se proponen las medidas operacionales siguientes.

a.2) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto, más la unidad U16 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 2, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto, 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas, además de la unidad U16 de central Tocopilla fuera de servicio (las unidades U14 y U15 se encuentran en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

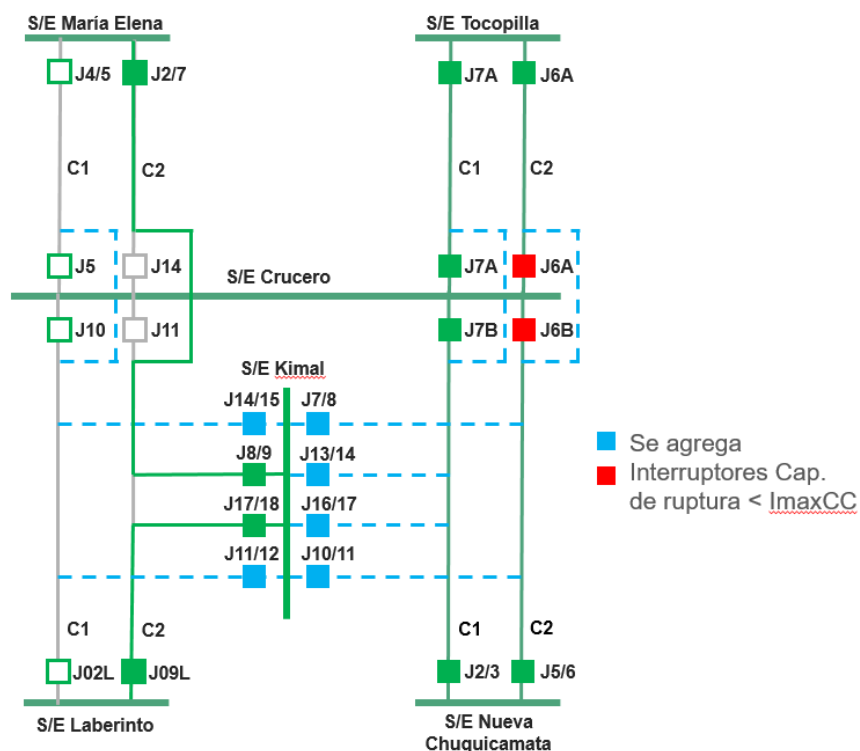
S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,96	93,50%
	52J6B	16	2f-t	15,28	95,53%

**Tabla N°17**

De la tabla N°17, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

### 2.3. Etapa 3

En este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con los circuitos restantes de las líneas 1x220 kV Crucero - Laberinto y 1x220 kV Crucero - María Elena desconectados (etapa 3 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°6.



**Figura N°6**



Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	17,64	110,23%
	52J6B	16	3f	18,61	116,30%

**Tabla N°18**

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A y 52J6B ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 10% y 16% respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima en la zona, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

- a) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 3, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,63	97,71%
	52J6B	16	2f-t	16,58	103,64%

**Tabla N°19**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 98% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 4%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

- a.1) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto, más las unidades U14 y U15 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 3, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas, además de las unidades U14 y U15 de central Tocopilla fuera de servicio (la unidad U16 se encuentra en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,11	94,41%
	52J6B	16	2f-t	15,69	98,06%

**Tabla N°20**

De la tabla N°20, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

a.2) Desconexión de las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto, más la unidad U16 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 3, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con las líneas 1x220 kV Crucero - Chacaya y 1x220 kV Kimal - Laberinto desconectadas, además de la unidad U16 de central Tocopilla fuera de servicio (las unidades U14 y U15 se encuentran en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

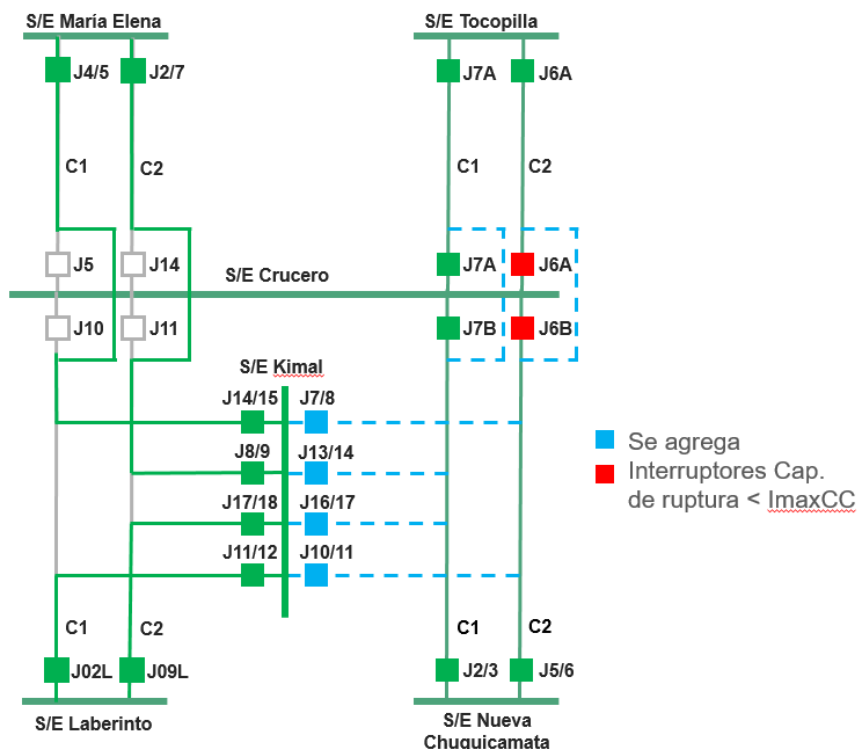
S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,56	91,01%
	52J6B	16	2f-t	14,89	93,04%

**Tabla N°21**

De la tabla N°21, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

#### **2.4. Etapa 4**

En este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con los segundos circuitos de las líneas 2x220 kV Kimal - Laberinto y 2x220 kV Kimal - María Elena conectados (etapa 4 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°7.



**Figura N°7**

Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	18,16	113,51%
	52J6B	16	3f	19,18	119,85%

**Tabla N°22**

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A y 52J6B ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 14% y 20% respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima en la zona, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

- a) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 4, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,63	97,71%
	52J6B	16	2f-t	16,58	103,64%

**Tabla N°23**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 98% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 4%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales de los puntos siguientes.

a.1) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto, más las unidades U14 y U15 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 4, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados, además de las unidades U14 y U15 de central Tocopilla fuera de servicio (la unidad U16 se encuentra en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,13	94,53%
	52J6B	16	2f-t	15,71	98,19%

**Tabla N°24**

De la tabla N°24, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

a.2) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto, más la unidad U16 de S/E Tocopilla fuera de servicio:

Con respecto al escenario Etapa 4, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados, además de la unidad U16 de central Tocopilla fuera de servicio (las unidades U14 y U15 se encuentran en servicio). Se obtienen los siguientes resultados:

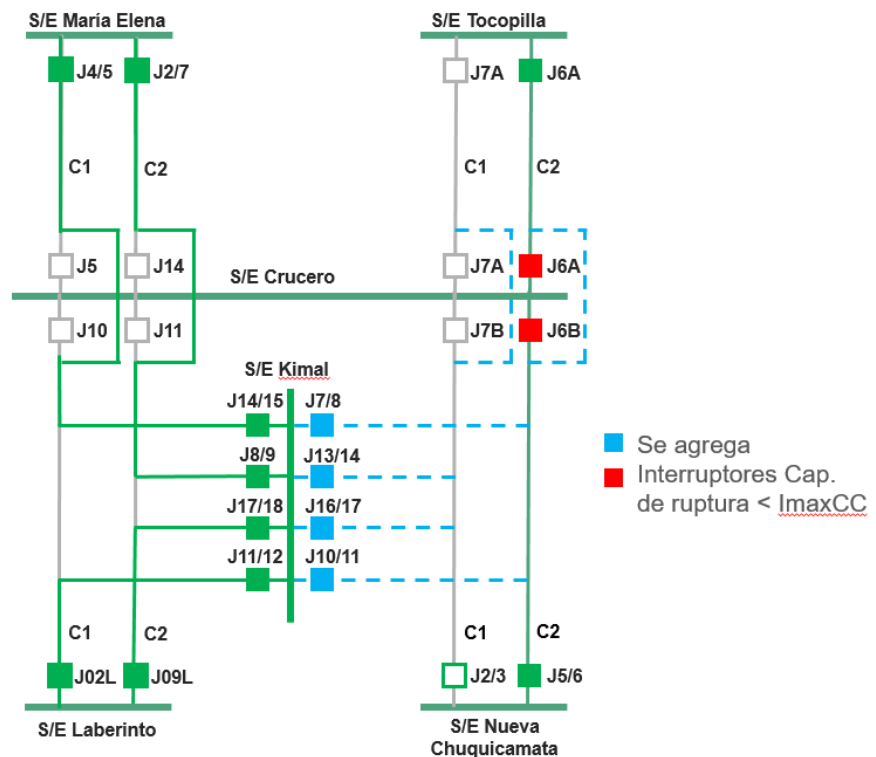
S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,56	91,01%
	52J6B	16	2f-t	14,89	93,04%

**Tabla N°25**

De la tabla N°25, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

### 2.5. Etapa 5

En este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con un circuito de las líneas 2x220 kV Crucero - Tocopilla y 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata desconectados (etapa 5 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°8.



**Figura N°8**

Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	15,78	98,61%
	52J6B	16	3f	17,91	111,93%

**Tabla N°26**

- a) Transferencia del circuito 2 de la línea 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata (interruptor 52J6B) hacia el interruptor de transferencia (52JR) de S/E Crucero.

Con respecto a los resultados de la tabla N° 26, se observa que solo el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en 12%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA, no requiriéndose la desconexión de circuitos de transmisión.

Adicionalmente, se comenta que se exploró la desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de un circuito de la línea 2x220 kV Kimal – Laberinto, considerándose las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, sin resultados satisfactorios, quedando sobrepasada la capacidad de ruptura del interruptor 52J6B en aproximadamente 0,9%, según se detalla a continuación:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,14	88,36%
	52J6B	16	3f	16,15	100,91%

**Tabla N°27**

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales del punto siguiente.

- a.1) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 5, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados. Se obtienen los siguientes resultados:

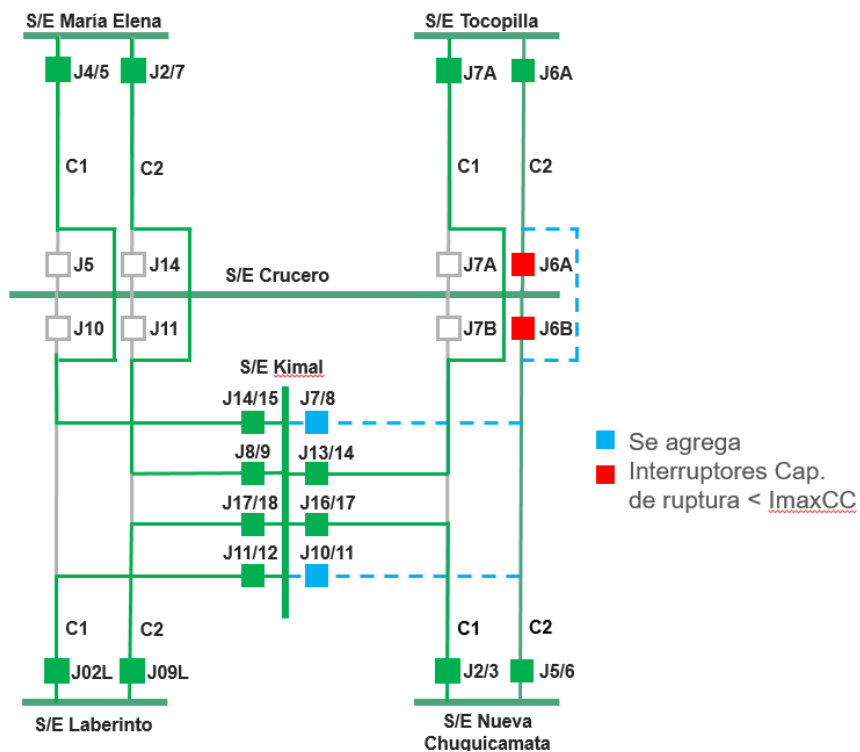
S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	13,26	82,89%
	52J6B	16	3f	15,16	94,76%

**Tabla N°28**

De la tabla N°28, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

## 2.6. Etapa 6

En este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con un circuito de las nuevas líneas 2x220 kV Kimal - Tocopilla y 2x220 kV Kimal - Nueva Chuquicamata conectados (etapa 6 del proyecto de ampliación en S/E Kimal), ver figura N°9.



**Figura N°9**

Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	3f	17,50	109,36%
	52J6B	16	3f	18,69	116,80%

**Tabla N°29**

Se observa que, en este escenario, los interruptores 52J6A y 52J6B ven sobrepasadas sus capacidades de ruptura en 9% y 17% respectivamente. Por lo anterior, se deben definir alternativas de operación que permitan reducir transitoriamente la corriente de cortocircuito máxima en la zona, de manera de no sobrepasar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos.

- a) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de un circuito de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 6, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y un circuito de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	3f	15,75	98,43%
	52J6B	16	3f	16,94	105,85%

**Tabla N°30**

Se observa que el interruptor 52J6A de S/E Crucero opera aproximadamente al 98% de su capacidad de ruptura. Sin embargo, el interruptor 52J6B ve sobrepasada su capacidad de ruptura en aproximadamente 6%, por lo que se propone su transferencia hacia el interruptor 52JR, el cual tiene una capacidad de 50 kA.

Por otra parte, en caso de indisponibilidad del interruptor 52JR de S/E Crucero, se proponen las medidas operacionales del punto siguiente.

- a.1) Desconexión de la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y de ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto:

Con respecto al escenario Etapa 6, para este escenario se consideraron las mismas instalaciones de generación y transmisión en servicio, pero con la línea 1x220 kV Crucero - Chacaya y los dos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto desconectados. Se obtienen los siguientes resultados:

S/E	Paños	Capacidad de Ruptura kA	Tipo de Falla	Ikss Máx. kA	Estado de criticidad
Crucero	52J6A	16	2f-t	14,88	93,02%
	52J6B	16	3f	15,99	99,92%

**Tabla N°31**



De la tabla N°31, se puede concluir que las medidas operacionales propuestas resultan suficientes para reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos.

### 2.7. Etapa 7

Esta etapa considera la desconexión de los restantes circuitos de las líneas 2x220 kV Crucero - Tocopilla y 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata, quedando sus interruptores 52J6A y 52J6B de S/E Crucero desconectados, en consecuencia, no se requiere análisis de operacionales al no haber interruptores sobrepasados en su capacidad de ruptura, ver figura N°10.

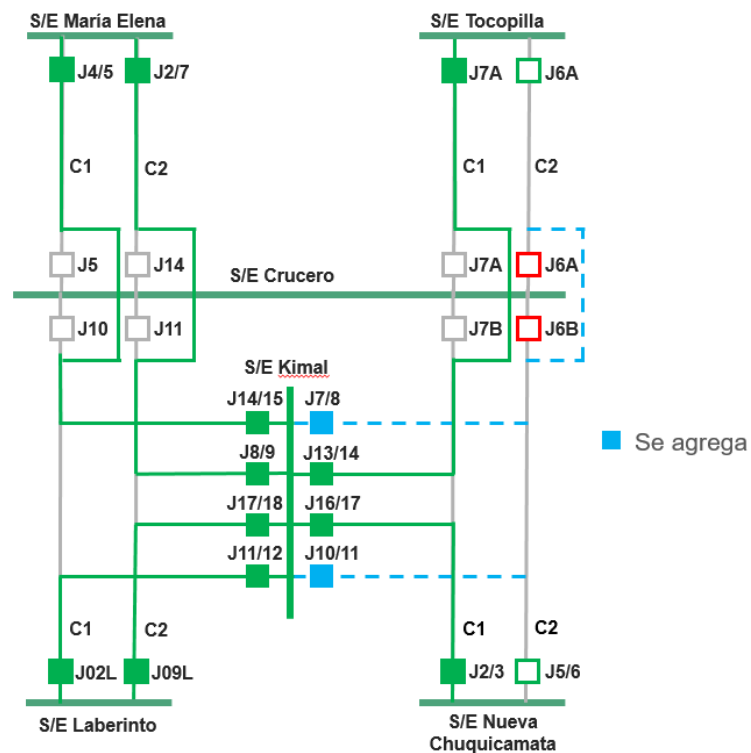
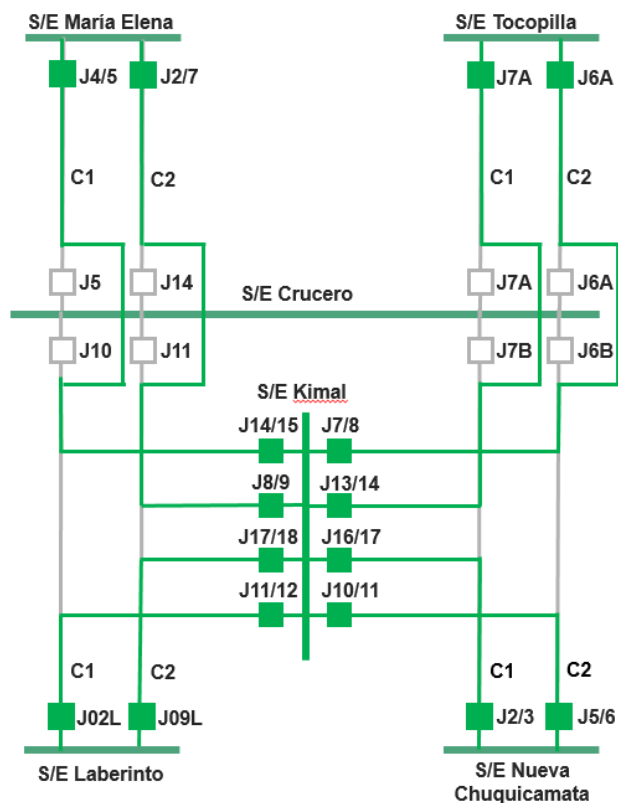


Figura N°10

**2.8. Etapa 8**

Esta etapa considera la puesta en servicio de las nuevas líneas 2x220 kV Kimal - Tocopilla y 2x220 kV Kimal - Nueva Chuquicamata, quedando los interruptores 52J6A y 52J6B de S/E Crucero fuera de servicio y superándose los problemas de capacidad de ruptura de los interruptores de S/E Crucero, ver figura N°11.



**Figura N°11**

## 4 Resultados y Conclusiones

De acuerdo con los resultados de los cálculos de los niveles máximos de corrientes de cortocircuito operacional, para el escenario base mostrado en la Tabla N°2, se aprecia que las capacidades de ruptura de 2 interruptores de 220 kV de S/E Crucero estarían actualmente superadas.

A partir de los resultados mostrados en las Tablas N°3, N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8, se establecen alternativas inmediatas para operar transitoriamente el sistema eléctrico de la zona Norte Grande sin superar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos, mientras no se concreten las etapas finales del proyecto S/E Kimal (cambio de la conexión de las SS/EE Nueva Chuquicamata, María Elena, Laberinto y Tocopilla desde S/E Crucero hacia la S/E Kimal en 220 kV).

Cabe señalar que en el Escenario Base descrito en la presente Minuta (Análisis, punto 3), para lograr reducir el nivel de cortocircuito por debajo de la capacidad de ruptura de los interruptores comprometidos, se requiere aplicar las siguientes medidas operacionales:

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas				
	1	2	3 (*)	4	5
Línea 220 kV Crucero - Chacaya			X	X	X
Dos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Kimal		X			
Dos circuitos de la línea 2x220 kV Crucero - Laberinto			X	X	X
Interruptor seccionador 52JS de S/E Crucero				X	
Central Tocopilla (U16)					X
Ambos transformadores 500/220 kV de S/E Kimal	X				

(\*) Requiere transferencia del circuito 2 de la línea 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata (interruptor 52J6B) hacia el interruptor de transferencia (52JR) de S/E Crucero.

Es importante destacar que, para definir el orden de las alternativas propuestas, se priorizó la realización de modificaciones topológicas en la red en función de los niveles de seguridad de la operación, descritos en la normativa vigente, dejando en última prioridad aquellas medidas que comprometan la disponibilidad de generación eficiente en la zona.

Por otra parte, durante las distintas etapas de puesta en servicio del proyecto de ampliación en S/E Kimal, descritas en la Tabla N°9, se establecen a partir de los resultados mostrados entre las Tablas N°10 y N°31 las alternativas para operar transitoriamente el sistema eléctrico en la zona Norte Grande, sin superar las capacidades de ruptura de los interruptores antes descritos:

### Etapa 1

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas		
	1 (*)	2	3
Línea 220 kV Crucero - Chacaya	X	X	X
Circuito restante de la línea 1x220 kV Crucero - Laberinto	X	X	X
Central Tocopilla (U14 y U15)			X
Central Tocopilla (U16)		X	

### Etapa 2

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas	
	1 (*)	2
Línea 220 kV Crucero - Chacaya	X	X
Circuito restante de la línea 1x220 kV Crucero - Laberinto	X	X
Línea 1x220 kV Kimal - Laberinto	X	X
Central Tocopilla (U16)		X

### Etapa 3

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas		
	1 (*)	2	3
Línea 220 kV Crucero - Chacaya	X	X	X
Línea 1x220 kV Kimal - Laberinto	X	X	X
Central Tocopilla (U14 y U15)			X
Central Tocopilla (U16)		X	

### Etapa 4

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas		
	1 (*)	2	3
Línea 220 kV Crucero - Chacaya	X	X	X
Línea 2x220 kV Kimal - Laberinto	X	X	X
Central Tocopilla (U14 y U15)			X
Central Tocopilla (U16)		X	

### Etapa 5

Instalación requerida fuera de servicio (a partir del Caso Base descrito)	Alternativas	
	1 (*)	2
Línea 220 kV Crucero - Chacaya		X
Línea 2x220 kV Kimal - Laberinto		X

(\*) Requiere transferencia del circuito 2 de la línea 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata (interruptor 52J6B) hacia el interruptor de transferencia (52JR) de S/E Crucero.

Etapa 6

<b>Instalación requerida fuera de servicio</b> (a partir del Caso Base descrito)	<b>Alternativas</b>	
	<b>1 (*)</b>	<b>2</b>
Línea 220 kV Crucero - Chacaya	X	X
Un circuito de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto	X	
Ambos circuitos de la línea 2x220 kV Kimal - Laberinto		X

(\*) Requiere transferencia del circuito 2 de la línea 2x220 kV Crucero - Nueva Chuquicamata (interruptor 52J6B) hacia el interruptor de transferencia (52JR) de S/E Crucero.

Finalmente, se debe destacar que el traslado de las líneas asociadas a los interruptores 52J6A y 52J6B de S/E Crucero se contempla para la etapa 7 del cronograma presentado en la Tabla N°9, por lo que a partir de ese momento no se observan interruptores sobrepasados en cuanto a su capacidad de ruptura.