

Minuta DAOP N° 01/2023

Operación de la Zona Quinta Región Costa
con la entrada en servicio de la S/E Río Aconcagua
y la conexión de un segundo transformador
220/110 kV en S/E Agua Santa.
Complemento de Minuta DAOP N° 01/2019.



Minuta DAOP N° 01/2023

Operación de la Zona Quinta Región Costa con la entrada en servicio de la S/E Río Aconcagua y la conexión de un segundo transformador 220/110 kV en S/E Agua Santa. Complemento de Minuta DAOP N° 01/2019.

1 Introducción

El presente documento complementa la Minuta DAOP N° 01/2019, que en su momento analizó la operación de la Zona Quinta Región Costa con indisponibilidad de la generación local, adecuando en esta oportunidad las condiciones operativas de los escenarios actuales considerando la puesta en servicio de la S/E Río Aconcagua, la reciente conexión del segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa y el eventual paso a Estado de Reserva Estratégica (ERE) de la central Ventanas 2, con el objetivo de mantener condiciones de seguridad de servicio para el abastecimiento de esta zona frente a la ocurrencia de contingencias simples.

2 Antecedentes

La denominada Zona Quinta Región Costa, para los fines de análisis de esta minuta, se abastece de energía eléctrica a través del sistema de transmisión compuesto por las líneas 2x220 kV San Luis - Agua Santa, 2x110 kV Las Vegas - San Pedro y 1x110 kV Quillota - San Pedro, por el transformador 220/110 kV de S/E Ventanas, además de la generación local de las centrales Ventanas 2, Colmito, Los Vientos y algunos PMG. Adicionalmente, en horario diurno se cuenta con la generación de la central Santiago Solar, la cual se puede conectar de manera radial hacia la S/E Las Vegas, abriendo la línea 110 kV Santiago Solar - Cerro Navia.

Las restricciones de transmisión más relevantes impuestas por protecciones de esta zona corresponden a la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro en el extremo Quillota, la línea 1x110 kV San Pedro - Miraflores en el extremo San Pedro y la línea 1x110 kV San Pedro - Peñablanca en el extremo San Pedro, correspondientes a 1440 [A] (274 [MVA] a 110 [kV]), 640 [A] (122 [MVA] a 110 [kV]) y 1200 [A] (229 [MVA] a 110 [kV]), respectivamente. Cabe señalar que las transferencias por la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, se ven afectadas por la demanda de la Zona Quinta Región Costa y por las demandas asociadas a la línea 2x110 kV San Pedro - Las Vegas.

Por otra parte, la demanda de la Zona Quinta Región Costa se calcula como la suma algebraica de las transferencias a través del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas en el lado de 220 kV, de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa en el lado de 220 kV, de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro en S/E Quillota, de la línea 2x110 kV Las Vegas - San Pedro en S/E San Pedro, y del total de generación local.

Cabe destacar que, en la denominada Zona Quinta Región Cordillera, entró en servicio el 2022 la S/E Río Aconcagua, la cual cuenta con un transformador 220/110 kV, seccionando en 220 kV la línea 2x220 kV Nogales - Polpaico, y en 110 kV las líneas 1x110 kV Esperanza - Nueva Panquehue y Esperanza - Chagres. La incorporación de la S/E Río Aconcagua podría entregar alternativas de

operación para la Zona Quinta Región Costa, ya sea entregando un nuevo punto de inyección a través de la línea 1x110 kV Esperanza - Las Vegas (operada normalmente abierta), o bien transfiriendo consumos hacia la Zona Quinta Región Cordillera. En ese sentido, las principales restricciones de transmisión a considerar son los límites térmicos de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV Esperanza - Las Vegas y 2x110 kV Río Aconcagua - Esperanza (55 [MVA] a 25°C con sol y a tensión nominal).

Finalmente, mencionar que a comienzos de julio 2023 se ejecutó el proyecto de ampliación de S/E Agua Santa, el cual incluye la conexión de un segundo transformador 220/110 kV, junto con el seccionamiento de las barras de 220 kV y 110 kV para mitigar las severidades 8 y 9 que indica la NTSyCS. Luego de la conexión de este proyecto, la central Ventanas 2 se acogería al Estado de Reserva Estratégica (ERE), quedando indisponible para la operación, por lo que se analizará la operación de la Zona Quinta Región Costa bajo estas nuevas condiciones.

3 Análisis de la Operación

3.1 Operación de la Zona Quinta Región Costa con un transformador 220/110 kV en S/E Agua Santa

Se realizaron simulaciones de contingencias simples en el sistema de transmisión que abastece a la Zona Quinta Región Costa, considerando la condición normal de operación, es decir, con la S/E Río Aconcagua alimentando exclusivamente la Zona Quinta Región Cordillera (sistema 110 kV Río Aconcagua - Esperanza - Las Vegas abierto en algún punto) y la existencia de un solo transformador 220/110 kV en S/E Agua Santa. Se identificó que la desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de esta zona, al poner en riesgo la desconexión por protecciones de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro.

Con este antecedente, los montos de generación local obtenidos para que dicha contingencia no provoque la operación de protecciones en la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, para distintos rangos de demanda en la zona, se resume en la siguiente tabla:

Demanda Zona Quinta Región Costa [MW]	Línea 2x110 kV San Pedro-Las Vegas [MVA]	Línea 1x110 kV Quillota-San Pedro [MVA]	Generación Central Ventanas 2 [MW]	Generación Central Los Vientos [MW]	Generación Central Colmito [MW]
0 - 355	168	163	F/S	F/S	F/S
356 - 417	178	159	1 - 100	F/S	F/S
418 - 484	188	155	101 - 200	F/S	F/S
485 - 590	106	138	200	1 - 120	F/S
591 - 628	141	130	200	120	1 - 57
485 - 527	195	155	200	F/S	1 - 57
528 - 628	141	130	200	1 - 120	57
356 - 459	85	145	F/S	1 - 120	F/S
460 - 502	92	145	F/S	120	1 - 57
356 - 398	174	163	F/S	F/S	1 - 57
399 - 502	92	145	F/S	120	1 - 57
418 - 527	97	142	100	1 - 120	F/S
528 - 569	103	142	100	120	1 - 57

Demanda Zona Quinta Región Costa [MW]	Línea 2x110 kV San Pedro-Las Vegas [MVA]	Línea 1x110 kV Quillota-San Pedro [MVA]	Generación Central Ventanas 2 [MW]	Generación Central Los Vientos [MW]	Generación Central Colmito [MW]
418 - 464	185	160	100	F/S	1 - 57
465 - 569	103	142	100	120	1 - 57

La tabla anterior muestra que la Zona Quinta Región Costa, con demandas del orden de 355 [MW], y las correspondientes demandas asociadas a las líneas 2x110 kV San Pedro - Las Vegas y 1x110 kV Quillota - San Pedro, se pueden abastecer prescindiendo de generación local.

A su vez, esta demanda se puede abastecer en su totalidad sólo recurriendo a la generación base de la central Ventanas 2, hasta un monto de 484 [MW]. Para los casos en donde no se cuenta con la central Ventanas 2, la central Los Vientos permite abastecer con seguridad hasta una demanda de 459 [MW], mientras que con la central Colmito se puede abastecer con seguridad una demanda de 398 [MW].

Por otra parte, frente a la contingencia del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa, la carga por la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro aumenta en un valor que equivale a un 52% de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre ambas instalaciones, adicionando un factor de seguridad sobre el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño San Pedro de S/E Quillota:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.52 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.52 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$$

En función de lo anterior, en caso de que la última expresión no se pueda cumplir ni tampoco existan disponibles otras inyecciones de generación local, se perderá el nivel de seguridad de servicio de la zona. En este caso, se deberán efectuar maniobras de apertura en el sistema de transmisión para minimizar la profundidad de falla ante una contingencia, optando por radializar la carga del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa del resto, esto es:

- Apertura de la línea 2x110 kV Torquemada - Miraflores en alguno de sus extremos.
- Apertura de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV San Pedro - Peñablanca - Miraflores y 1x110 kV San Pedro - Miraflores, ya sea en el extremo San Pedro o de manera cruzada, según la carga previa del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa.

Previo a la ejecución de estas maniobras, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa provocará la pérdida de la totalidad de los consumos que abastece.
- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de la sub-zona resultante, al poner en riesgo la desconexión por protecciones ya sea de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, o bien del

transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre estas instalaciones, adicionando un factor de seguridad bajo el pick up de las protecciones involucradas:

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.85 * \text{Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

$$\text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota)} + 0.40 * \text{Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 171 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

, donde 171 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de la protección de sobrecorriente del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota (ajustado en 900 [A]).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up) para esta topología radializada de la zona, se tiene:

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.85 * \text{Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$$

$$\text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota)} + 0.40 * \text{Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 153.9 \text{ [MVA]} \approx 155 \text{ [MVA]}$$

3.2 Operación de la Zona Quinta Región Costa con el apoyo de S/E Río Aconcagua

Con la finalidad de aumentar los márgenes de operación de la Zona Quinta Región Costa, se exploró la posibilidad de enmallarla con el sistema 110 kV Río Aconcagua - Esperanza - Las Vegas, sin embargo, la baja capacidad de los conductores de estas líneas no permite su operación con suficiente seguridad. Lo anterior fue demostrado en los estudios de conexión del proyecto Río Aconcagua y fue refrendado con las simulaciones ejecutadas con motivo de esta Minuta.

Debido a lo anterior, se plantea la posibilidad de alimentar los consumos de S/E Las Vegas radialmente a través del sistema 110 kV Río Aconcagua - Esperanza - Las Vegas, además de la apertura del enlace 2x110 kV Las Vegas - Cerro Navia. Con lo anterior, se transferirían alrededor de 40 [MW] de consumos hacia las mencionadas líneas de la Zona Quinta Región Cordillera, las cuales como se mencionó anteriormente, cuentan con una capacidad de 55 [MVA] a 25°C con sol a tensión nominal, por lo que no se ve comprometida su operación. Junto con lo anterior, se debe realizar la apertura del sistema de 110 kV de la Zona Quinta Región Cordillera en la S/E Nueva Panquehue.

Lo propuesto es factible de realizar separando las barras de 110 kV de S/E Las Vegas, dejando conectados a una de ellas la línea 1x110 kV Esperanza - Las Vegas, los transformadores N°1, N°2, N°3 y N°5 y la línea 110 kV Las Vegas - Llay-Llay (Cristalerías Chile), en tanto que a la barra contraria quedarían conectadas la central Los Vientos y las líneas 2x110 kV San Pedro - Las Vegas, 1x110 kV Las Vegas - Santiago Solar y 1x110 kV Las Vegas - Cerro Navia. Con respecto a esta última, se recomienda su operación abierta en S/E Las Vegas, en tanto que la generación de la central Santiago Solar se recomienda radial hacia S/E Las Vegas o hacia S/E Cerro Navia, de acuerdo con las necesidades del sistema en ese momento.

Bajo este escenario operacional, se identificó que la desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio

de esta zona, al poner en riesgo la desconexión por protecciones de las líneas 1x110 kV Quillota - San Pedro y 1x110 San Pedro - Miraflores, dependiendo de la generación de central Los Vientos.

Con este antecedente, los montos de generación local obtenidos para que dicha contingencia no provoque la operación de protecciones de las líneas mencionadas, para distintos rangos de demanda en la zona, se resume en la siguiente tabla:

Demanda Zona Quinta Región Costa [MW]	Línea 2x110 kV San Pedro-Las Vegas [MVA]	Línea 1x110 kV Quillota-San Pedro [MVA]	Generación Central Ventanas 2 [MW]	Generación Central Los Vientos [MW]	Generación Central Colmito [MW]
0 - 455	67.9	138.4	F/S	F/S	F/S
456 - 526	74.3	135.6	1 - 100	F/S	F/S
527 - 594	80.7	129.3	101 - 200	F/S	F/S
456 - 506	58.8	84.3	F/S	1 - 120	F/S
507 - 553	56.4	81.1	F/S	120	1 - 57
456 - 494	71.3	135.7	F/S	F/S	1 - 57
495 - 553	56.4	81.1	F/S	1 - 120	57

La tabla anterior muestra que la Zona Quinta Región Costa, con demandas del orden de 455 [MW], y las correspondientes demandas asociadas a la línea 2x110 kV San Pedro - Las Vegas, se pueden abastecer prescindiendo de generación local (con respecto a los 355 [MW] del escenario 3.1).

A su vez, esta demanda se puede abastecer en su totalidad sólo recurriendo a la generación base de la central Ventanas 2, hasta un monto de 594 [MW] (con respecto a los 484 [MW] del escenario 3.1).

Para los casos en donde no se cuenta con la central Ventanas 2, la central Los Vientos permite abastecer con seguridad hasta una demanda de 506 [MW], mientras que con la central Colmito se puede abastecer con seguridad una demanda de 494 [MW]. Cabe destacar que en los casos que se cuenta únicamente con la generación de la central Los Vientos, la limitación está dada por la línea 110 kV San Pedro - Miraflores y no por la línea 110 kV Quillota - San Pedro.

Por otra parte, frente a la contingencia del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa (solo uno en servicio), la carga por la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro aumenta en un valor que equivale a un 58% de la carga del transformador desconectado (con respecto al 52% del escenario 3.1). Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre ambas instalaciones, adicionando un factor de seguridad sobre el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño San Pedro de S/E Quillota:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.58 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.58 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$$

Adicional a lo anterior, frente a la contingencia del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa, la carga por la línea 1x110 kV San Pedro - Miraflores aumenta en un valor que equivale a 30% de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario respetar

la relación de los flujos de potencia entre ambas instalaciones, adicionando un factor de seguridad sobre el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño H2 de S/E San Pedro:

$Tx (LT 110 \text{ kV San Pedro-Miraflores}) + 0.3 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Agua Santa}) < 122 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$Tx (LT 110 \text{ kV San Pedro-Miraflores}) + 0.3 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Agua Santa}) < 109,8 \text{ [MVA]} \approx 110 \text{ [MVA]}$

En función de lo anterior, en caso de que las últimas expresiones no se puedan cumplir ni tampoco existan disponibles otras inyecciones de generación local, se perderá el nivel de seguridad de servicio de la zona. En este caso, se deberán efectuar maniobras de apertura en el sistema de transmisión para minimizar la profundidad de falla ante una contingencia, optando por radializar la carga del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa del resto, esto es:

- Apertura de la línea 2x110 kV Torquemada - Miraflores en alguno de sus extremos.
- Apertura de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV San Pedro - Peñablanca - Miraflores y 1x110 kV San Pedro - Miraflores, ya sea en el extremo San Pedro o de manera cruzada, según la carga previa del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa.

Previo a la ejecución de estas maniobras, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa provocará la pérdida de la totalidad de los consumos que abastece.
- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de la sub-zona resultante, al poner en riesgo la desconexión por protecciones ya sea de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, o bien del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre estas instalaciones, adicionando un factor de seguridad bajo el pick up de las protecciones involucradas:

$Tx (LT 110 \text{ kV Quillota-San Pedro}) + Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$

$Tx (ATR N°5 220/110 \text{ kV S/E Quillota}) + 0.44 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 171 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$

, donde 171 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de la protección de sobrecorriente del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota (ajustado en 900 [A]).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), para esta topología radializada de la zona, se tiene:

$Tx (LT 110 \text{ kV Quillota-San Pedro}) + Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$

$Tx (ATR N°5 220/110 \text{ kV S/E Quillota}) + 0.44 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 153.9 \text{ [MVA]} \approx 155 \text{ [MVA]}$

3.3 Operación de la Zona Quinta Región Costa con un segundo transformador 220/110 kV en S/E Agua Santa

Recientemente, se ha ejecutado el proyecto de ampliación de S/E Agua Santa, el cual incluye la conexión de un segundo transformador 220/110 kV y la normalización de las barras de 220 kV y 110 kV de esta subestación. Con la concreción de este proyecto, la central Ventanas 2 se acogería al Estado de Reserva Estratégica (ERE), quedando indisponible para la operación. Bajo estas condiciones, se identificó que la desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de esta zona, al poner en riesgo la desconexión por protecciones de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro. Lo anterior, considerando que el sistema 110 kV Río Aconcagua - Esperanza - Las Vegas opera abierto en algún punto, sin conectarse con la Zona Quinta Región Costa.

Con este antecedente, los montos de generación local obtenidos para que dichas contingencias no provoquen desconexiones adicionales de instalaciones de la zona, para distintos rangos de demanda en la zona, se resumen en la siguiente tabla:

Demanda Zona Quinta Región Costa [MW]	Línea 2x110 kV San Pedro-Las Vegas [MVA]	Línea 1x110 kV Quillota-San Pedro [MVA]	Generación Central Los Vientos [MW]	Generación Central Colmito [MW]
0 - 483	177	183	F/S	F/S
484 - 624	97	174	1 - 120	F/S
625 - 675	104	177	120	1 - 57
484 - 534	184	185	F/S	1 - 57
535 - 675	104	177	1 - 120	57

La tabla anterior muestra que la Zona Quinta Región Costa, con demandas del orden de 483 [MW], y las correspondientes demandas asociadas a la línea 2x110 kV San Pedro - Las Vegas, se pueden abastecer prescindiendo de generación local (con respecto a los 455 [MW] del escenario 3.2).

A su vez, esta demanda se puede abastecer en su totalidad sólo recurriendo a la generación de la central Los Vientos, hasta un monto de 624 [MW], o bien con la generación de central Colmito, hasta un monto de 534 [MW] (con respecto a los 506 [MW] y los 494 [MW] del escenario 3.2, respectivamente).

Bajo este escenario operacional, frente a la contingencia del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas, la carga por la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro aumenta en un valor que equivale a un 46% de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre ambas instalaciones, adicionando un factor de seguridad sobre el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño San Pedro de S/E Quillota:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.46 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.46 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$$

En función de lo anterior, en caso de que la última expresión no se pueda cumplir ni tampoco existan disponibles otras inyecciones de generación local, se perderá el nivel de seguridad de servicio de la zona. En este caso, se deberán efectuar maniobras de apertura en el sistema de transmisión para minimizar la profundidad de falla ante una contingencia, optando por radializar la carga de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa del resto, esto es:

- Apertura de la línea 2x110 kV Torquemada - Miraflores en alguno de sus extremos.
- Apertura de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV San Pedro - Peñablanca - Miraflores y 1x110 kV San Pedro - Miraflores, ya sea en el extremo San Pedro o de manera cruzada.

Previo a la ejecución de estas maniobras, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La desconexión intempestiva de uno de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa, provocaría que el transformador que quede en servicio asuma la totalidad de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario considerar el límite impuesto por las protecciones de ambos transformadores, adicionando un factor de seguridad:

$$Tx \text{ (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 366 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

, donde 366 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de las protecciones de sobrecorriente de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa (ajustadas en 960 [A] en el lado de 220 kV y a 1920 [A] en el lado de 110 kV).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx \text{ (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa)} < 329 \text{ [MVA]} \approx 330 \text{ [MVA]}$$

- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de la sub-zona resultante, al poner en riesgo la desconexión por protecciones ya sea de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, o bien del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre estas instalaciones, adicionando un factor de seguridad bajo el pick up de las protecciones involucradas:

$$Tx \text{ (LT 110 kV Quillota-San Pedro)} + 0.85 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

$$Tx \text{ (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota)} + 0.40 * Tx \text{ (ATR 220/110 kV S/E Ventanas)} < 171 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

, donde 171 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de la protección de sobrecorriente del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota (ajustado en 900 [A]).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), para esta topología radializada de la zona, se tiene:

$$Tx (LT 110 \text{ kV Quillota-San Pedro}) + 0.85 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 246.6 \text{ [MVA]} \approx 250 \text{ [MVA]}$$

$$Tx (ATR N°5 220/110 \text{ kV S/E Quillota}) + 0.40 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 153.9 \text{ [MVA]} \approx 155 \text{ [MVA]}$$

3.4 Operación de la Zona Quinta Región Costa con un segundo transformador 220/110 kV en S/E Agua Santa y con el apoyo de S/E Río Aconcagua

Finalmente, en caso de indisponibilidad parcial de la generación local de la Zona Quinta Región Costa (Los Vientos y Colmito), se plantea la posibilidad de alimentar los consumos de S/E Las Vegas radialmente a través del sistema 110 kV Río Aconcagua - Esperanza - Las Vegas, además de la apertura del enlace 2x110 kV Las Vegas - Cerro Navia, tal como se explicó en el escenario operacional 3.2.

Bajo este escenario 3.4, se identificó que la desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de esta zona, al poner en riesgo la desconexión por protecciones de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro.

Con este antecedente, los montos de generación local obtenidos para que dichas contingencias no provoquen desconexiones adicionales de instalaciones de la zona, para distintos rangos de demanda en la zona, se resumen en la siguiente tabla:

Demanda Zona Quinta Región Costa [MW]	Línea 2x110 kV San Pedro-Las Vegas [MVA]	Línea 1x110 kV Quillota-San Pedro [MVA]	Generación Central Los Vientos [MW]	Generación Central Colmito [MW]
0 - 620	84	169	F/S	F/S
621 - 786	-11	155	1 - 120	F/S
621 - 674	89	171	F/S	1 - 57

La tabla anterior muestra que la Zona Quinta Región Costa, con demandas del orden de 620 [MW], y las correspondientes demandas asociadas a la línea 2x110 kV San Pedro - Las Vegas, se pueden abastecer prescindiendo de generación local (con respecto a los 483 [MW] del escenario 3.3).

A su vez, esta demanda se puede abastecer en su totalidad sólo recurriendo a la generación de la central Los Vientos, hasta un monto de 786 [MW], o bien a la generación de central Colmito, hasta un monto de 674 [MW] (con respecto a los 624 [MW] y los 534 [MW] del escenario 3.3, respectivamente).

Por otra parte, frente a la contingencia del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas, la carga por la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro aumenta en un valor que equivale a un 49% de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre ambas instalaciones, adicionando un factor de seguridad sobre el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño San Pedro de S/E Quillota:

$$Tx (LT 110 \text{ kV Quillota-San Pedro}) + 0.49 * Tx (ATR 220/110 \text{ kV S/E Ventanas}) < 274 \text{ [MVA]} * \text{Factor de Seguridad}$$

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.49 * Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 246.6 [MVA] \approx 250 [MVA]$$

En función de lo anterior, en caso de que la última expresión no se pueda cumplir ni tampoco existan disponibles otras inyecciones de generación local, se perderá el nivel de seguridad de servicio de la zona. En este caso, se deberán efectuar maniobras de apertura en el sistema de transmisión para minimizar la profundidad de falla ante una contingencia, optando por radializar la carga de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa del resto, esto es:

- Apertura de la línea 2x110 kV Torquemada - Miraflores en alguno de sus extremos.
- Apertura de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV San Pedro - Peñablanca - Miraflores y 1x110 kV San Pedro - Miraflores, ya sea en el extremo San Pedro o de manera cruzada.

Previo a la ejecución de estas maniobras, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La desconexión intempestiva de uno de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa, provocaría que el transformador que quede en servicio asuma la totalidad de la carga del transformador desconectado. Esto significa que en todo momento será necesario considerar el límite impuesto por las protecciones de ambos transformadores, adicionando un factor de seguridad:

$$Tx (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa) < 366 [MVA] * \text{Factor de Seguridad}$$

, donde 366 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de las protecciones de sobrecorriente de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa (ajustadas en 960 [A] en el lado de 220 kV y a 1920 [A] en el lado de 110 kV).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), se tiene:

$$Tx (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa) < 329 [MVA] \approx 330 [MVA]$$

- La desconexión intempestiva del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas es la contingencia más crítica que compromete la seguridad de servicio de la sub-zona resultante, al poner en riesgo la desconexión por protecciones ya sea de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, o bien del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota. Esto significa que en todo momento será necesario respetar la relación de los flujos de potencia entre estas instalaciones, adicionando un factor de seguridad bajo el pick up de las protecciones involucradas:

$$Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 274 [MVA] * \text{Factor de Seguridad}$$

$$Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.44 * Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 171 [MVA] * \text{Factor de Seguridad}$$

, donde 171 [MVA] equivale a la potencia aparente a tensión nominal del pick up de la protección de sobrecorriente del transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota (ajustado en 900 [A]).

Tomando en consideración un Factor de Seguridad de 0.9 (margen de 10% bajo el pick up), para esta topología radializada de la zona, se tiene:

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 246.6 [MVA] \approx 250 [MVA]}$$

$$\text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.44*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 153.9 [MVA] \approx 155 [MVA]}$$

4 Conclusiones

Este documento ha presentado una actualización del análisis operacional de la Zona Quinta Región Costa, para verificar las condiciones que permiten mantener condiciones de seguridad de servicio para su abastecimiento frente a contingencias simples, identificando que, para ciertos niveles de demanda, se requiere disponer del despacho forzado de generación local adicional.

Dichas demandas corresponden a la suma algebraica de las transferencias a través del transformador 220/110 kV de S/E Ventanas, de los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa, de la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro, de la línea 2x110 kV Las Vegas - San Pedro, y del total de generación local.

La generación local adicional dependerá de la relación de los flujos de potencia entre la transformación 220/110 kV de S/E Agua Santa (medido en 220 kV) y las líneas 1x110 kV Quillota - San Pedro (medido en Quillota) y 1x110 kV San Pedro - Miraflores (medido en San Pedro), de manera de procurar que no se activen los pick up de las protecciones de sobrecorriente asociadas a los paños San Pedro de S/E Quillota y Miraflores de S/E San Pedro, frente a contingencia simple. Dichas relaciones son las siguientes:

a) Condición de operación con un transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio (escenario descrito en el numeral 3.1):

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.52*Tx (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa) < 250 [MVA]}$$

En este escenario operacional, los análisis indican que la Zona Quinta Región Costa se podría abastecer prescindiendo de generación local hasta demandas del orden de 355 [MW].

b) Condición de operación con consumos de S/E Las Vegas alimentados desde S/E Esperanza (escenario descrito en el numeral 3.2):

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.58*Tx (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa) < 250 [MVA]}$$
$$\text{Tx (LT 110 kV San Pedro-Miraflores) + 0.30*Tx (ATR 220/110 kV S/E Agua Santa) < 110 [MVA]}$$

En este escenario operacional, los análisis indican que la Zona Quinta Región Costa se podría abastecer prescindiendo de generación local hasta demandas del orden de 455 [MW].

Por otra parte, con la entrada en operación del segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa, la generación local adicional dependerá de la relación de los flujos de potencia entre el transformador 220/110 kV de S/E Ventanas (medido en 220 kV) y la línea 1x110 kV Quillota - San

Pedro (medido en Quillota), de manera de procurar que no se active el pick up de la protección de sobrecorriente asociada al paño San Pedro de S/E Quillota, frente a contingencia simple. Dichas relaciones son las siguientes:

c) Condición de operación con un segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio (escenario descrito en el numeral 3.3):

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.46*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]}$$

En este escenario operacional, los análisis indican que la Zona Quinta Región Costa se podría abastecer prescindiendo de generación local hasta demandas del orden de 483 [MW].

d) Condición de operación con un segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio y con consumos de S/E Las Vegas alimentados desde S/E Esperanza (escenario descrito en el numeral 3.4):

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.49*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]}$$

En este escenario operacional, los análisis indican que la Zona Quinta Región Costa se podría abastecer prescindiendo de generación local hasta demandas del orden de 620 [MW].

En caso de que no sea posible cumplir con las relaciones anteriores, se perderá el nivel de seguridad de servicio de la zona, requiriendo efectuar maniobras operacionales para minimizar la profundidad de falla ante una contingencia. Estas maniobras son:

- Apertura de la línea 2x110 kV Torquemada - Miraflores en alguno de sus extremos.
- Apertura de los circuitos que componen las líneas 1x110 kV San Pedro - Peñablanca - Miraflores, ya sea en el extremo San Pedro o de manera cruzada, según la carga previa de el o los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa que se encuentren en servicio.

Con estas maniobras ejecutadas, se deberá monitorear la carga por el o los transformadores 220/110 kV de S/E Agua Santa que se encuentren en servicio y la relación de los flujos de potencia entre el transformador 220/110 kV de S/E Ventanas (medido en 220 kV) con la línea 1x110 kV Quillota - San Pedro (medido en Quillota) o bien con el transformador N°5 220/110 kV de S/E Quillota (medido en 110 kV), de manera de procurar que no se activen los respectivos pick up de las protecciones de sobrecorriente. Dichas relaciones son las siguientes:

a) Para la condición de operación con un transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio (escenario descrito en el numeral 3.1):

$$\text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.85*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]}$$

$$\text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.40*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 155 [MVA]}$$

b) Para la condición de operación con consumos de S/E Las Vegas alimentados desde S/E Esperanza (escenario descrito en el numeral 3.2):

$$\begin{aligned} & \text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]} \\ & \text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.44*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 155 [MVA]} \end{aligned}$$

c) Para la condición de operación con un segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio (escenario descrito en el numeral 3.3):

$$\begin{aligned} & \text{Tx (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa) < 330 [MVA]} \\ & \text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + 0.85*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]} \\ & \text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.40*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 155 [MVA]} \end{aligned}$$

d) Para la condición de operación con un segundo transformador 220/110 kV de S/E Agua Santa en servicio y con consumos de S/E Las Vegas alimentados desde S/E Esperanza (escenario descrito en el numeral 3.4):

$$\begin{aligned} & \text{Tx (ATR's 220/110 kV S/E Agua Santa) < 330 [MVA]} \\ & \text{Tx (LT 110 kV Quillota-San Pedro) + Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 250 [MVA]} \\ & \text{Tx (ATR N°5 220/110 kV S/E Quillota) + 0.44*Tx (ATR 220/110 kV S/E Ventanas) < 155 [MVA]} \end{aligned}$$