



Jornada Técnica

“Aumento de niveles de cortocircuito en subestaciones críticas del Sistema Eléctrico Nacional”



Metodología de cálculo de cortocircuitos. Análisis e impactos.

Alex Santander G. / Gerencia de Planificación de la Transmisión

28 de agosto de 2017

Contenido

- Metodología de cálculo de cortocircuitos empleada por el Coordinador.
- Valores proyectados en el mediano y largo plazo.
- Posibles soluciones e impacto en el reemplazo de equipos y diseño de red.

Metodología de cálculo de cortocircuitos empleada por el Coordinador

Metodología de cálculo de cortocircuitos

Anexo Técnico de la NT: Cálculo de Nivel Máximo de Cortocircuito

INTERNATIONAL
STANDARD

IEC
60909-0

First edition
2001-07

Short-circuit currents in three-phase
a.c. systems –

Part 0:
Calculation of currents

This **English-language** version is derived from the original **ilingual** publication by leaving out all French-language pages. Missing page numbers correspond to the French-language pages.



Reference number
IEC 60909-0:2001 (E)



Se sustenta en la Norma
**IEC 60909 (2001): “Short-
Circuit current in three-
phase a.c. systems”**

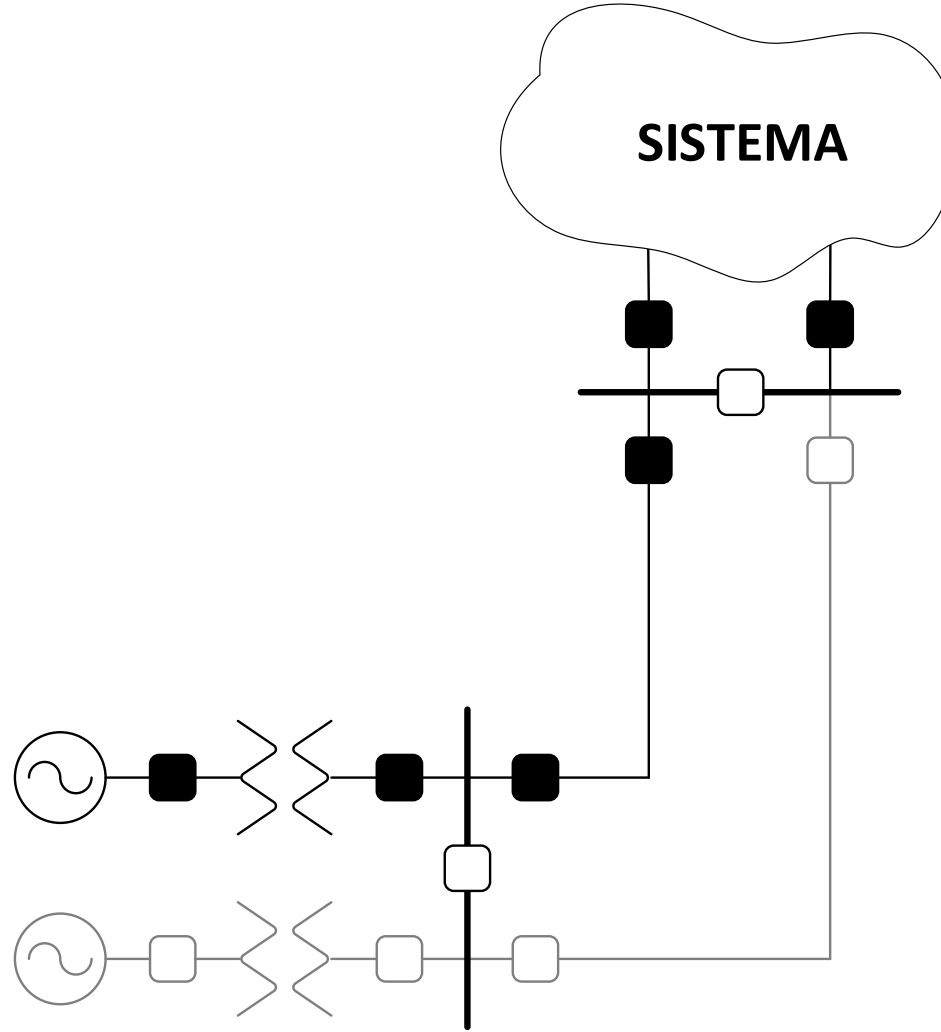
ANEXO TÉCNICO:
**Cálculo de Nivel Máximo
de Cortocircuito**

Metodología de cálculo de cortocircuitos

- Se debe utilizar la base de datos del Sistema Eléctrico Nacional, disponible en la web del Coordinador.
- Supuestos:
 - ✓ Durante el tiempo de duración del cortocircuito, no existen:
 - Cambio en el tipo de falla.
 - Cambios topológicos en la red.
 - ✓ Impedancia de transformadores referida a posición nominal de los tap.
 - ✓ Magnitudes de resistencia de arco e impedancia de falla se consideran despreciables.

Metodología de cálculo de cortocircuitos

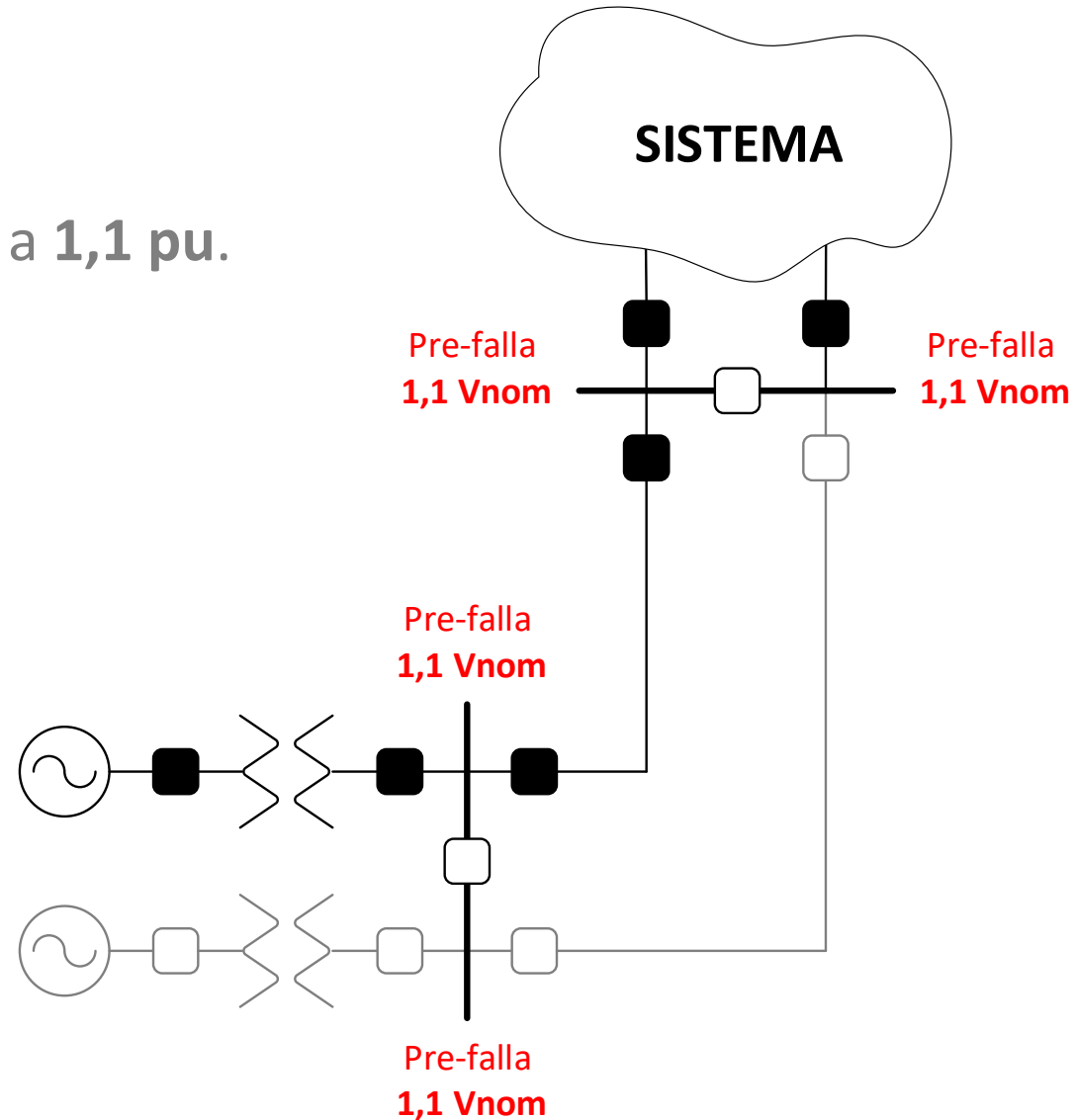
Condiciones:



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Condiciones:

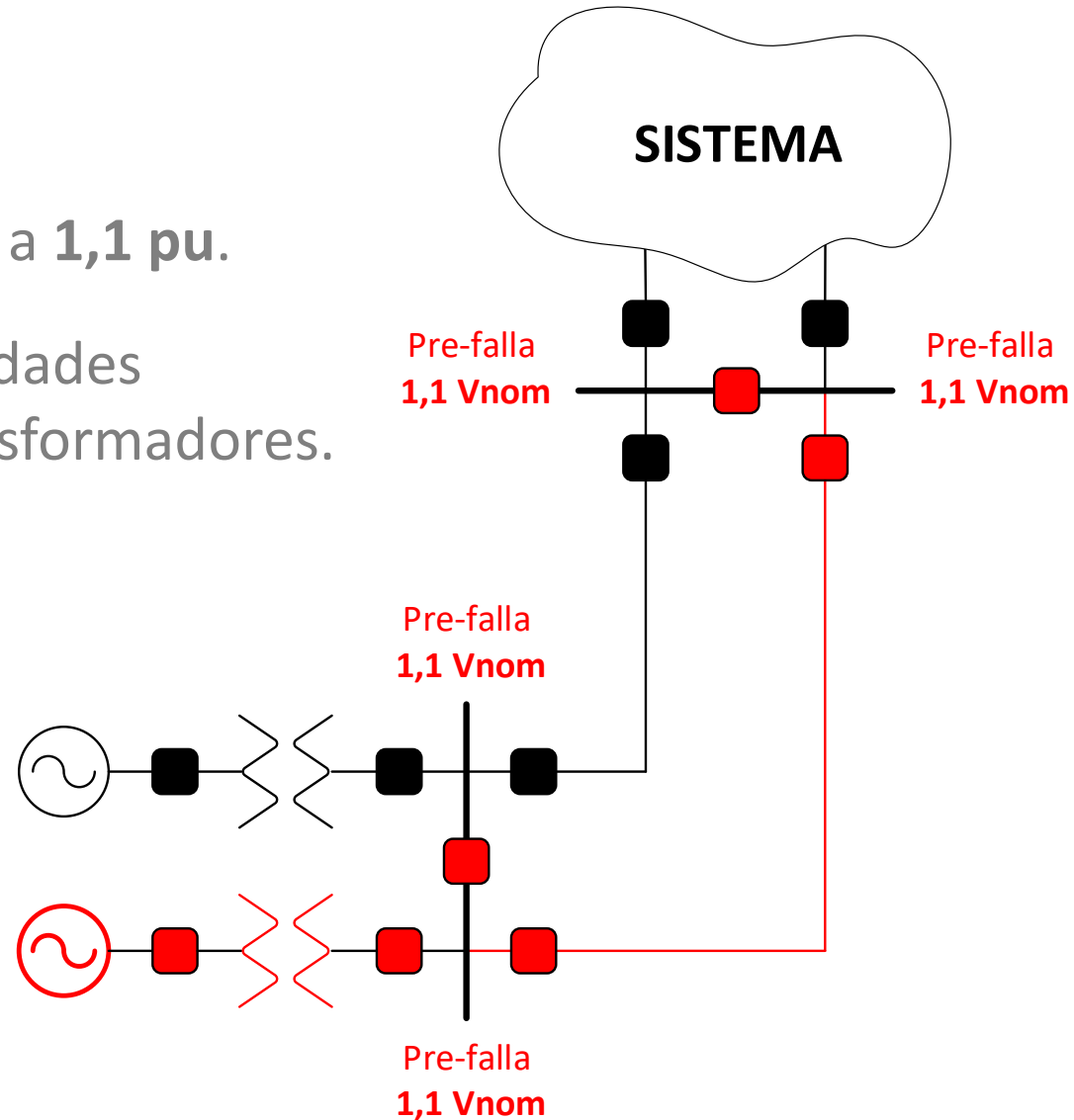
1. Factor de tensión (**c**) igual a **1,1 pu**.



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Condiciones:

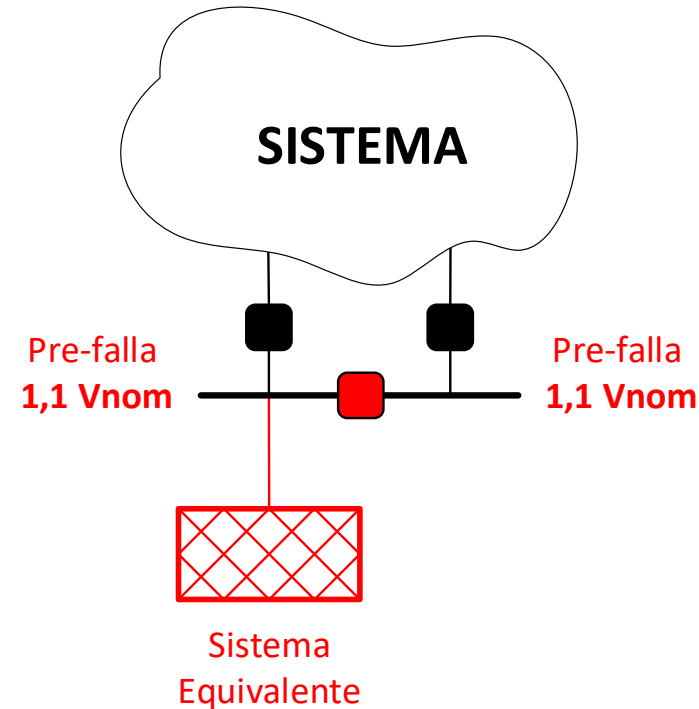
1. Factor de tensión (c) igual a **1,1 pu**.
2. Conexión de todas las unidades generadoras, líneas y transformadores.
Máximo enmallamiento.



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Condiciones:

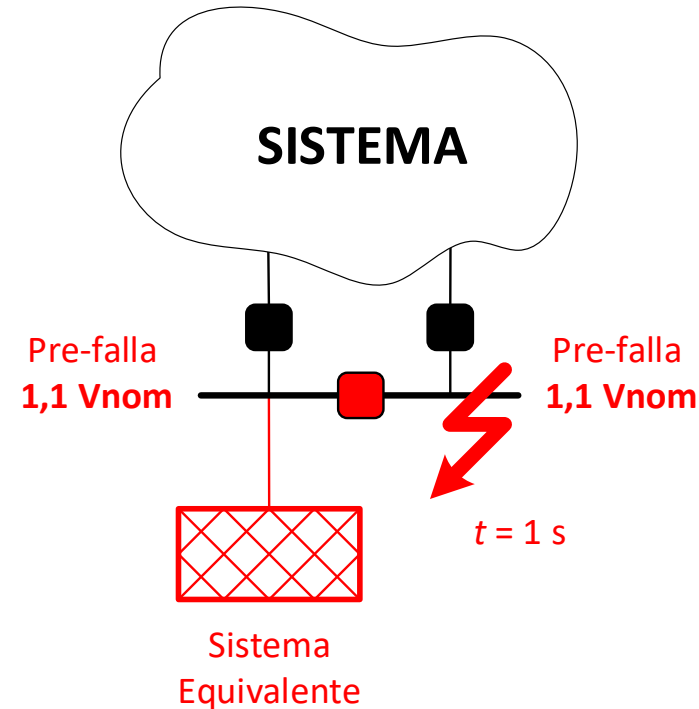
1. Factor de tensión (**c**) igual a **1,1 pu**.
2. Conexión de todas las unidades generadoras, líneas y transformadores. **Máximo enmallamiento.**
3. De usar **sistemas equivalentes**, deberá utilizarse la **mínima impedancia de cortocircuito** equivalente que corresponde a la máxima contribución.



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Condiciones:

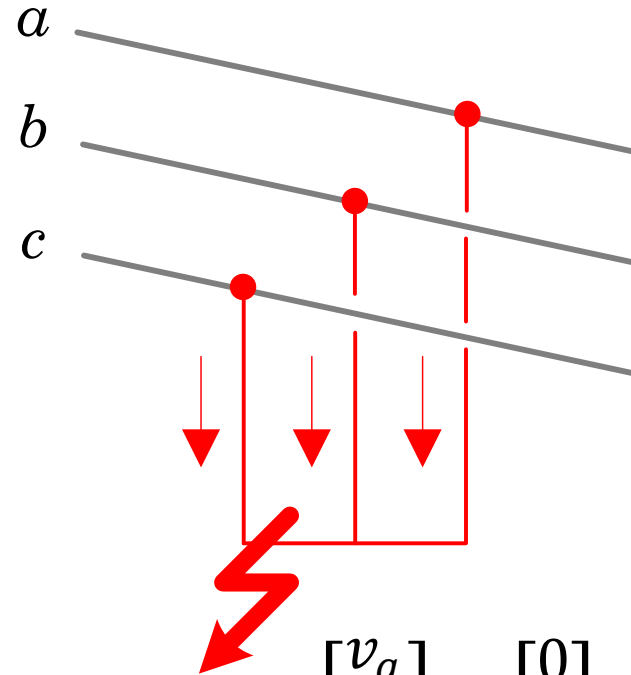
1. Factor de tensión (**c**) igual a **1,1 pu**.
2. Conexión de todas las unidades generadoras, líneas y transformadores.
Máximo enmallamiento.
3. De usar **sistemas equivalentes**, deberá utilizarse la **mínima impedancia de cortocircuito** equivalente que corresponde a la máxima contribución.
4. Duración del **cortocircuito** igual a un **(1) segundo**.



Metodología de cálculo de cortocircuitos

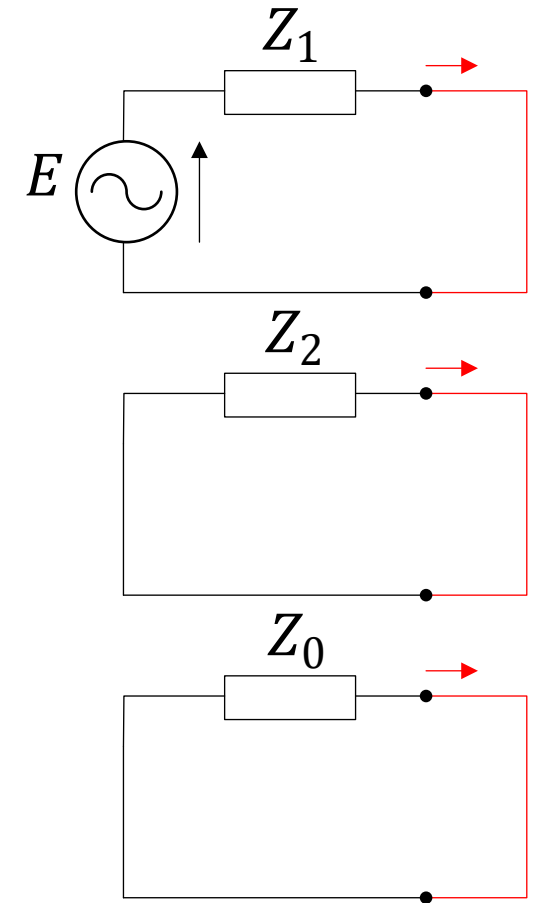
Tipos de falla:

1. Trifásica.
2. Bifásica aislada de tierra.
3. Bifásica a tierra.
4. Monofásica a tierra.



$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I_{falla} = \frac{E}{Z_1}$$



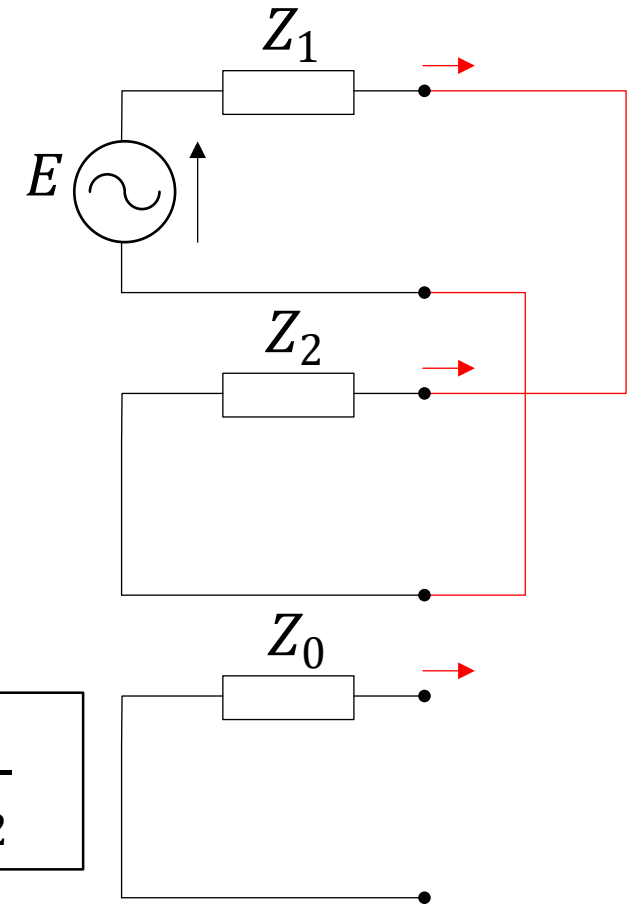
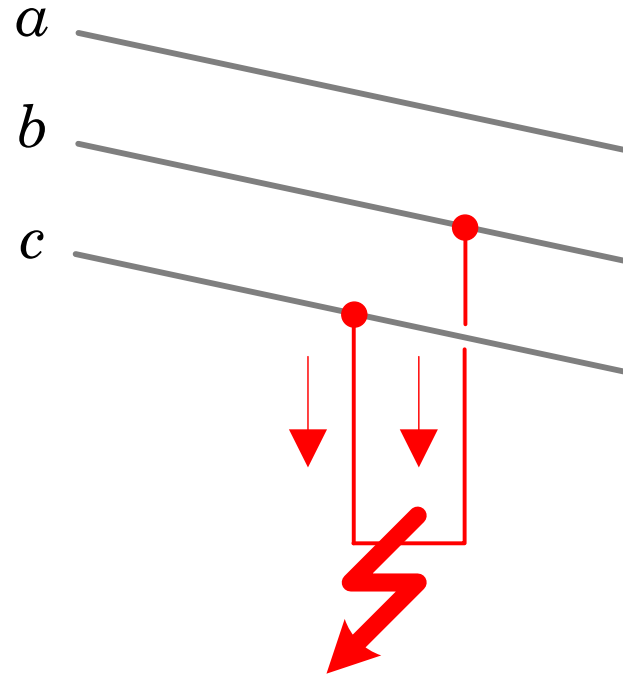
$$\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}$$

Metodología de cálculo de cortocircuitos

Tipos de falla:

1. Trifásica.
2. Bifásica aislada de tierra.
3. Bifásica a tierra.
4. Monofásica a tierra.



$$\begin{bmatrix} v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_c \\ v_b \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -i_c \\ -i_b \end{bmatrix}$$

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$i_0 = 0$$

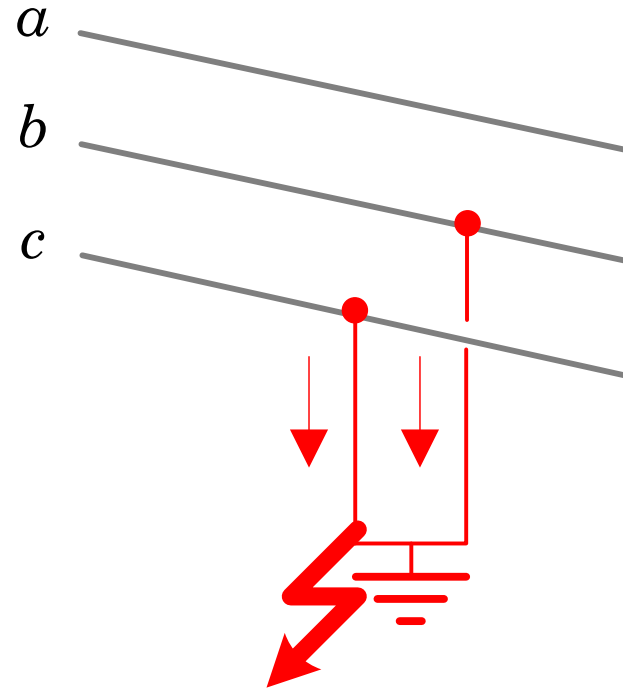
$$v_1 = v_2$$

$$I_{falla} = \sqrt{3} \cdot \frac{E}{Z_1 + Z_2}$$

Metodología de cálculo de cortocircuitos

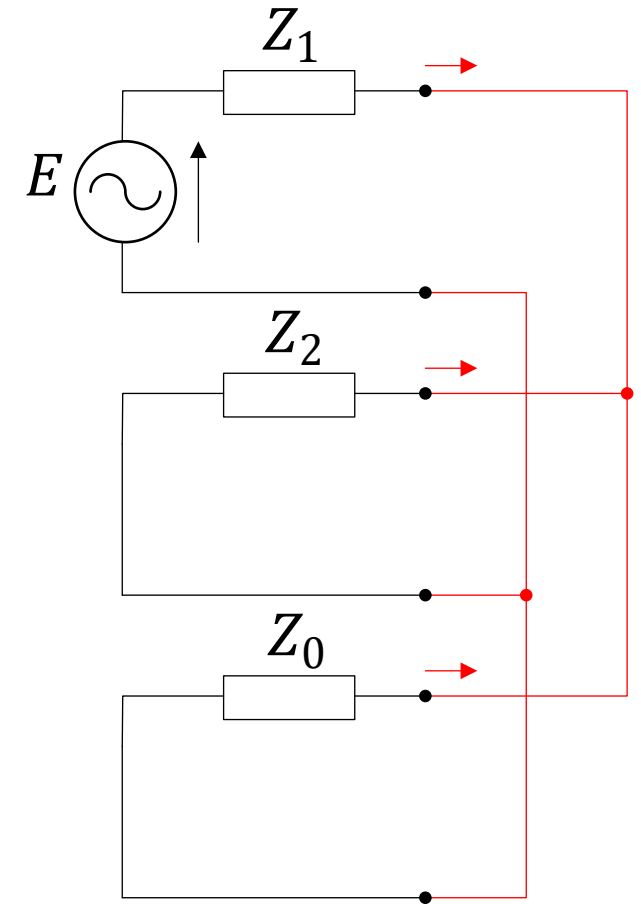
Tipos de falla:

1. Trifásica.
2. Bifásica aislada de tierra.
3. **Bifásica a tierra.**
4. Monofásica a tierra.



$$\begin{bmatrix} v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad i_a = 0$$

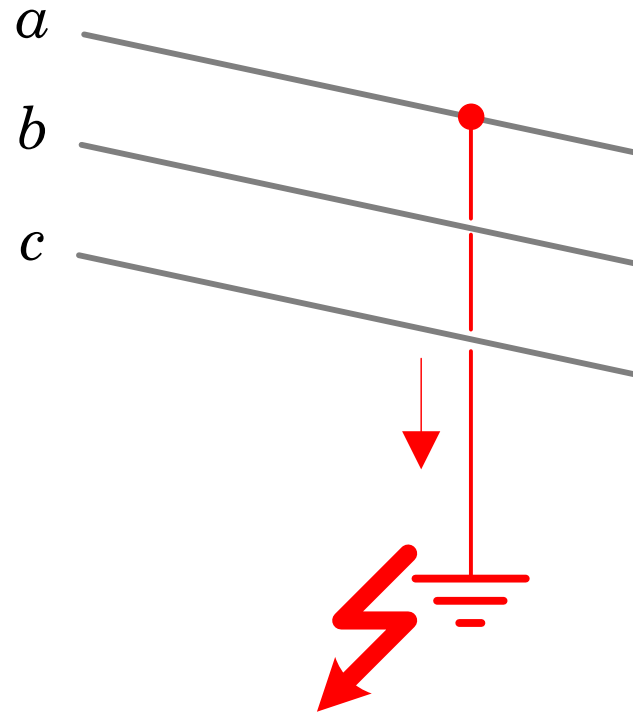
$$\begin{aligned} i_0 + i_1 + i_2 &= 0 \\ v_0 = v_1 = v_2 &= \frac{v_a}{3} \end{aligned}$$



Metodología de cálculo de cortocircuitos

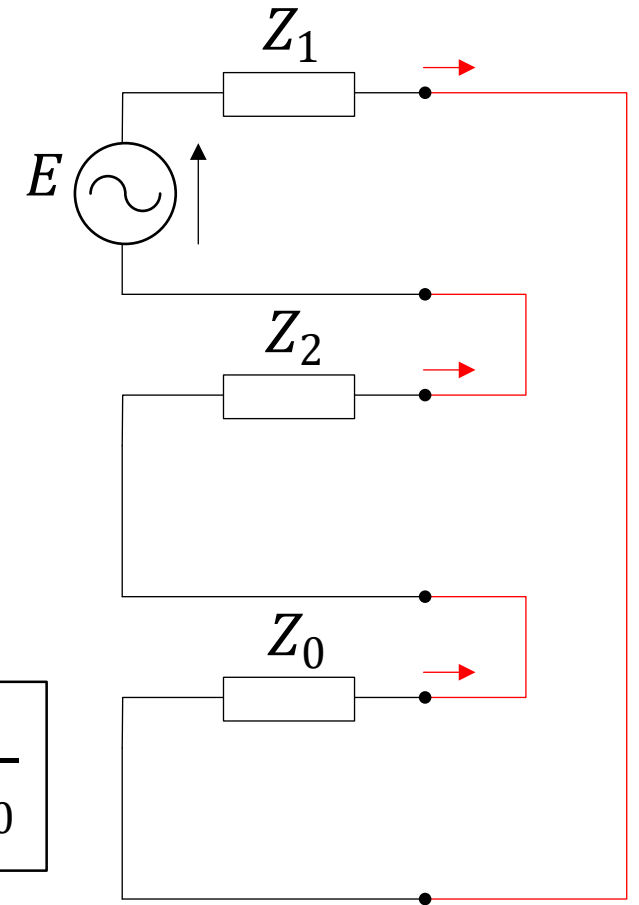
Tipos de falla:

1. Trifásica.
2. Bifásica aislada de tierra.
3. Bifásica a tierra.
4. **Monofásica a tierra.**



$$v_a = 0 \quad \left[\begin{matrix} i_b \\ i_c \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} \right] \quad \left| \quad \begin{matrix} i_0 = i_1 = i_2 = \frac{i_a}{3} \\ v_0 + v_1 + v_2 = 0 \end{matrix} \right.$$

$$I_{falla} = 3 \cdot \frac{E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Componentes de la corriente de cortocircuito a determinar:

- a) Corriente de cortocircuito simétrica inicial: I''_K (r.m.s);
- b) Corriente de cortocircuito máxima instantánea: i_p ;
- c) Corriente de cortocircuito simétrica de interrupción: I_b (r.m.s);
- d) Componente continua de la corriente de cortocircuito: i_{dc} ;
- e) Corriente de cortocircuito asimétrica de interrupción: I_{AsI} (r.m.s);
- f) Corriente de cortocircuito de régimen permanente: I_K (r.m.s); y
- g) Corriente de cortocircuito de equivalente térmico: I_{th} (r.m.s).

Metodología de cálculo de cortocircuitos

¿Para qué se utiliza el máximo nivel de cortocircuito calculado?

Artículo 3-3 de la NTSyCS:

“Las instalaciones de unidades generadoras que operen interconectadas a un SI y las instalaciones del ST deberán cumplir con las siguientes exigencias mínimas y condiciones básicas:

... c) Deberán soportar al menos el máximo nivel de corriente de cortocircuito existente en cada punto del SI. Las condiciones y la forma en que se calcule el máximo nivel de corriente de cortocircuito se establecen en el Anexo Técnico “Cálculo del Nivel Máximo de Cortocircuito...”

Metodología de cálculo de cortocircuitos

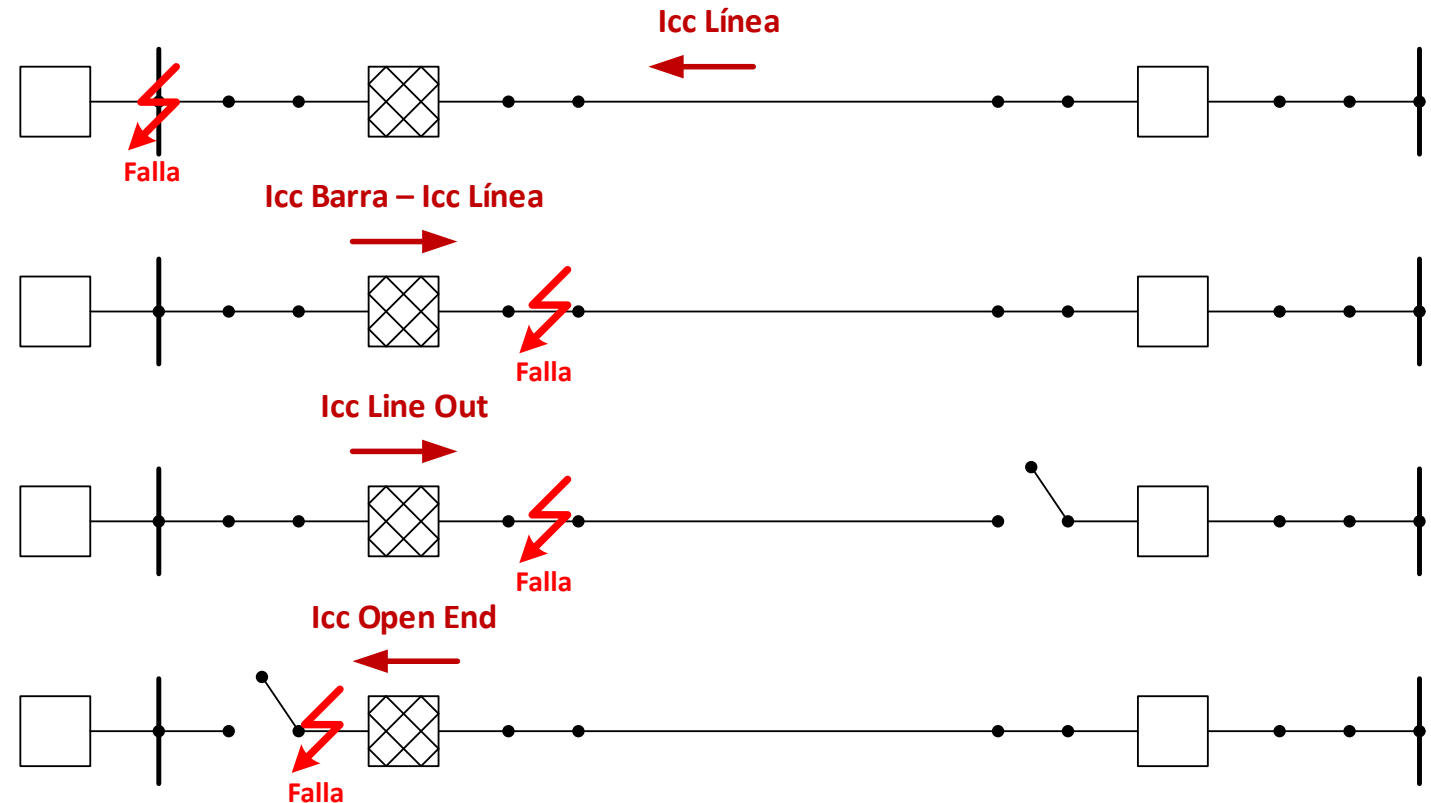
Capacidad de ruptura de interruptores

Icc Línea: Corriente que circula por el interruptor cuando hay un cortocircuito en la barra.

Icc Barra – Icc Línea: Corriente que circula por el interruptor cuando hay un cortocircuito en el lado línea de éste.

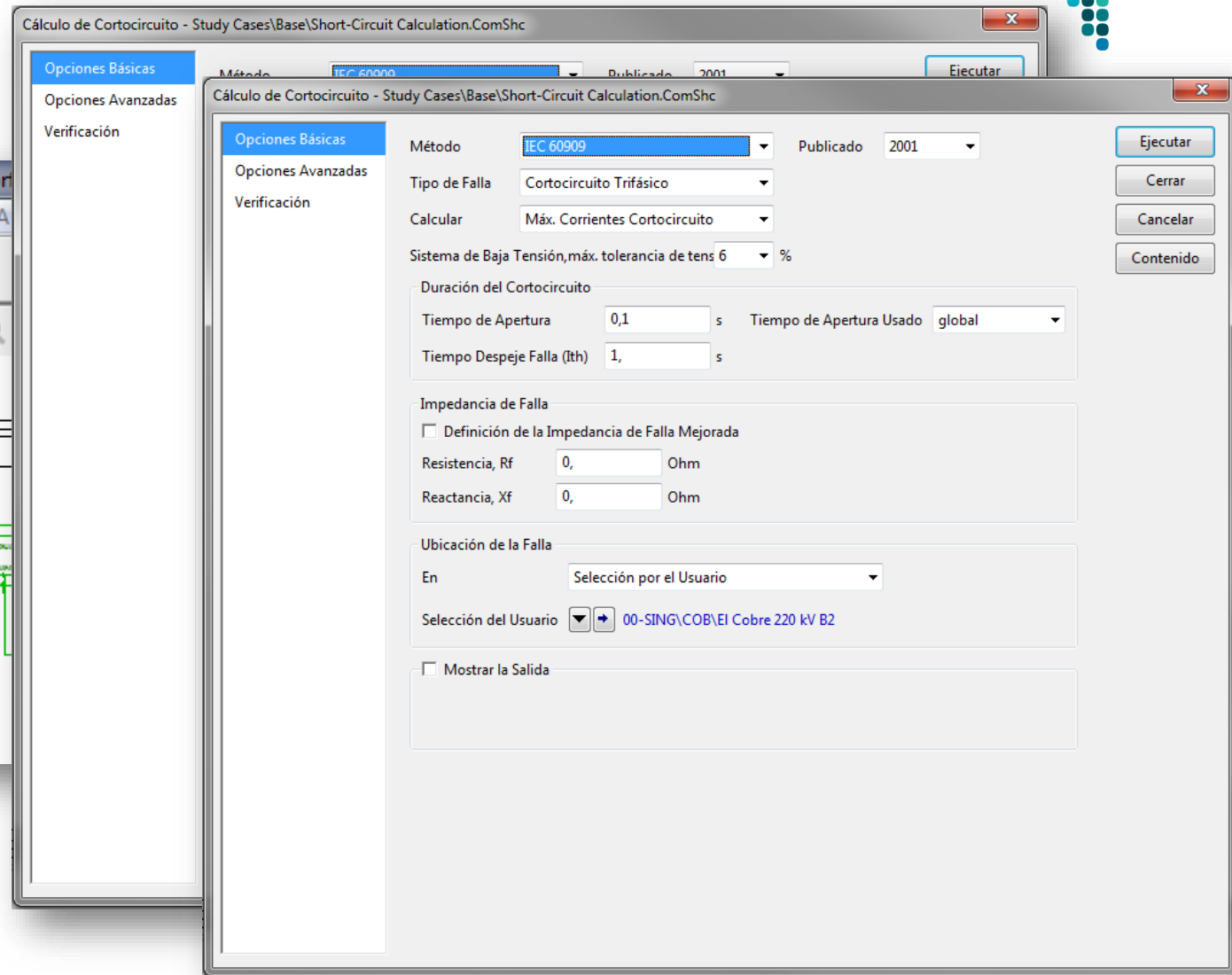
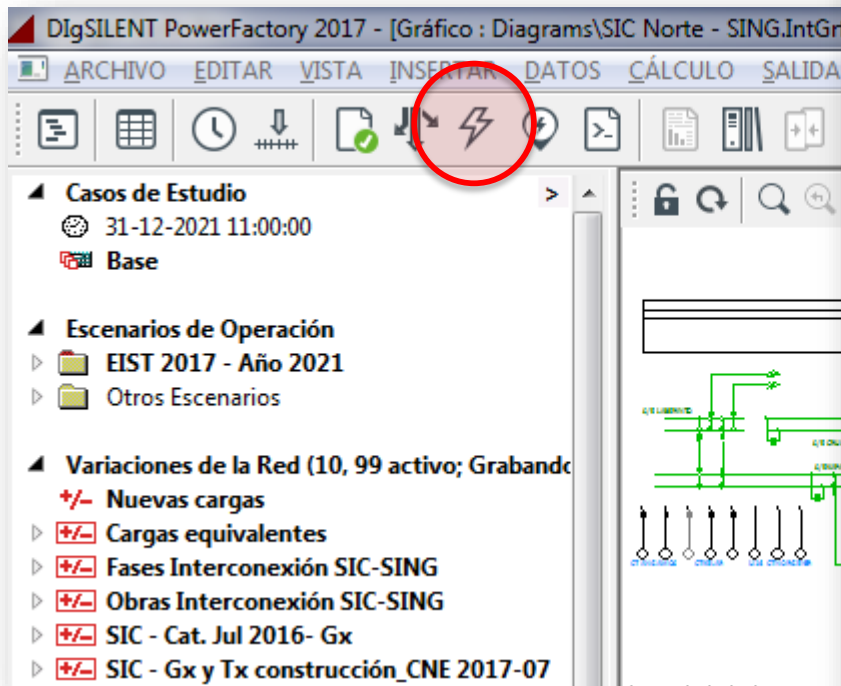
Icc Line Out: Corriente que circula por el interruptor cuando la línea que lo conecta está desconectada en su otro extremo y ocurre un cortocircuito en el lado línea de éste.

Icc Open End: Corriente que circula por el interruptor cuando el extremo adyacente a la barra está abierto y el cortocircuito ocurre en el lado barra del interruptor.



Metodología de cálculo de cortocircuitos

Base de datos utilizada



Valores proyectados en el mediano y
largo plazo

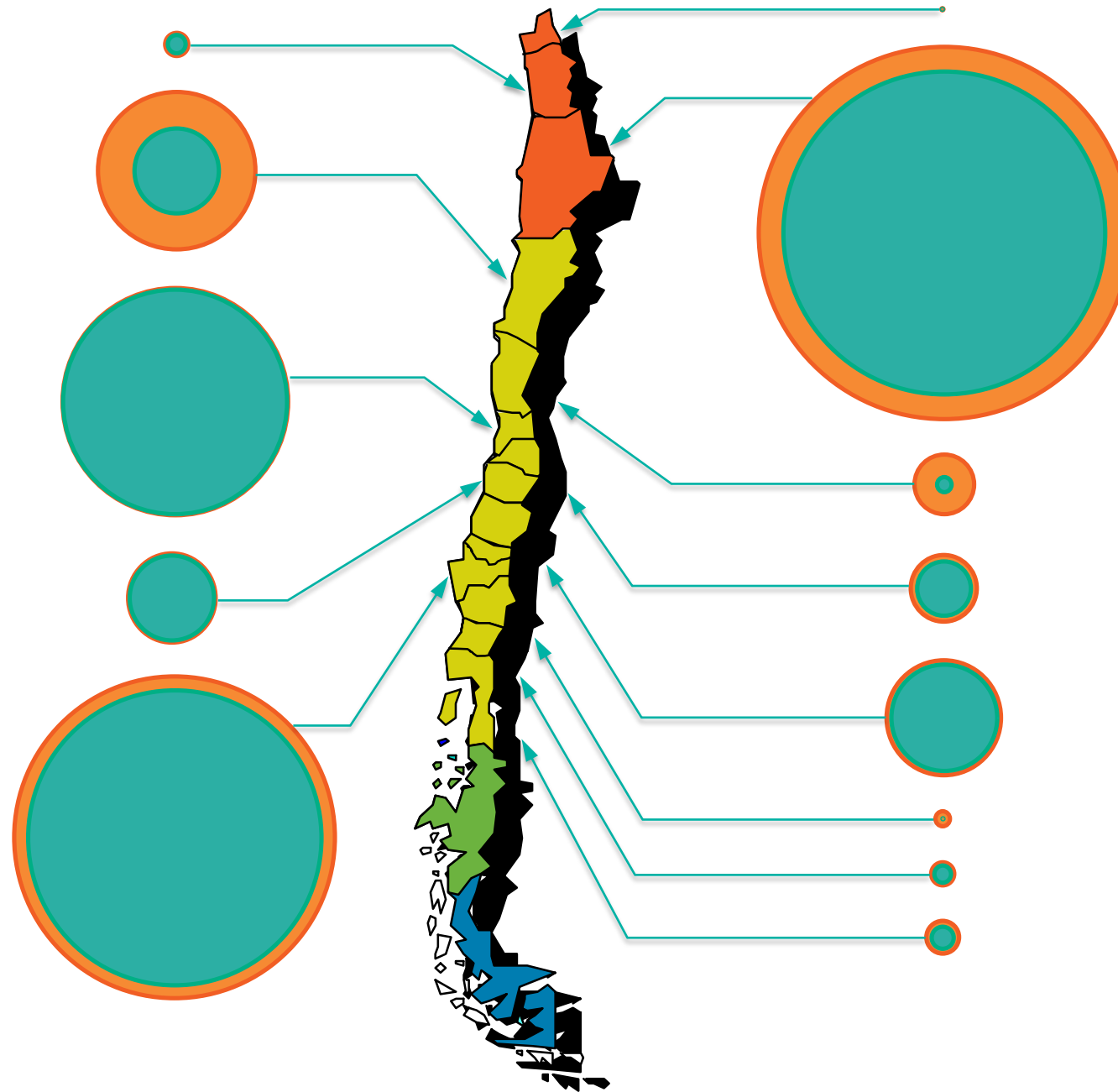
Características actuales del sistema

Escala:

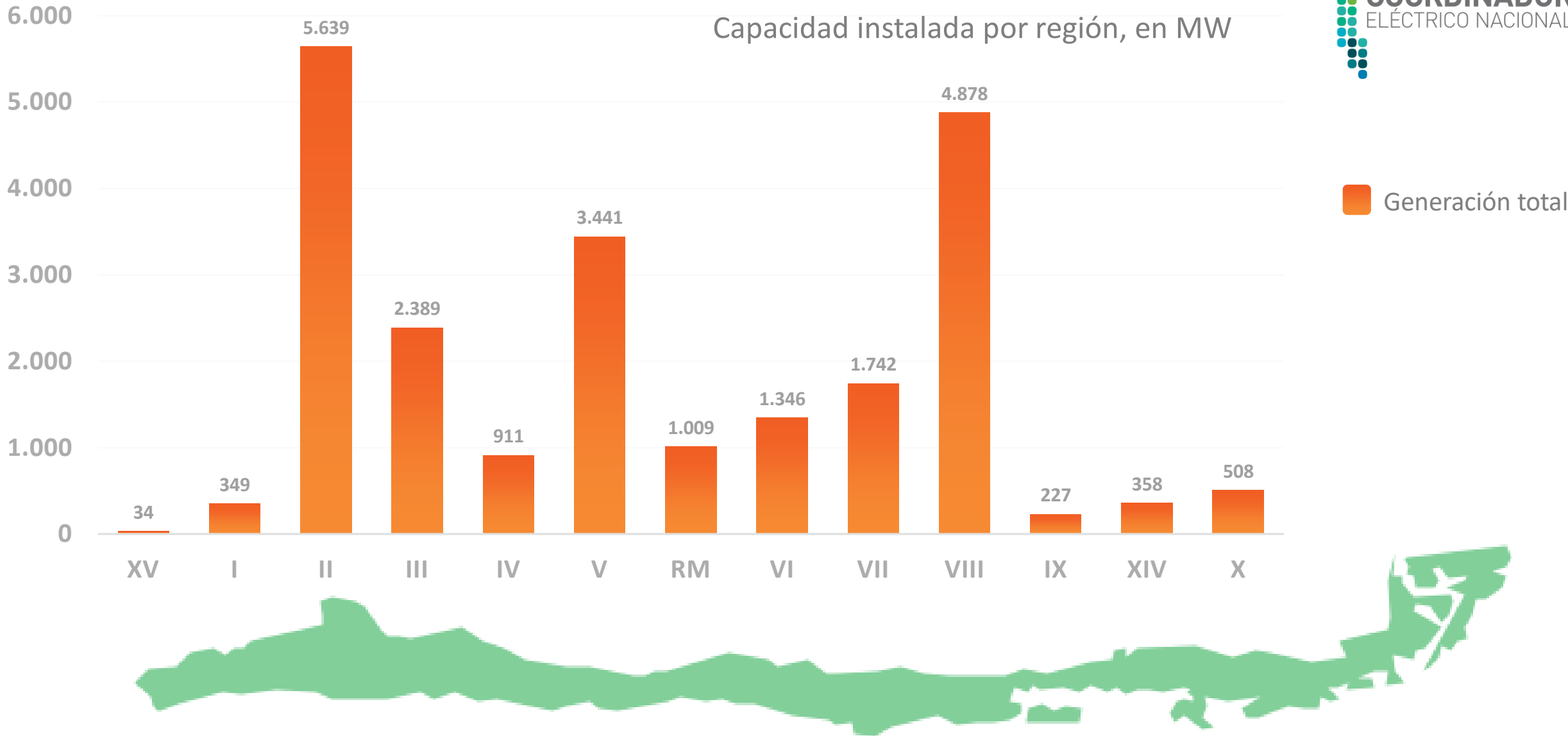
 1.500 MW de capacidad instalada

 Generación total

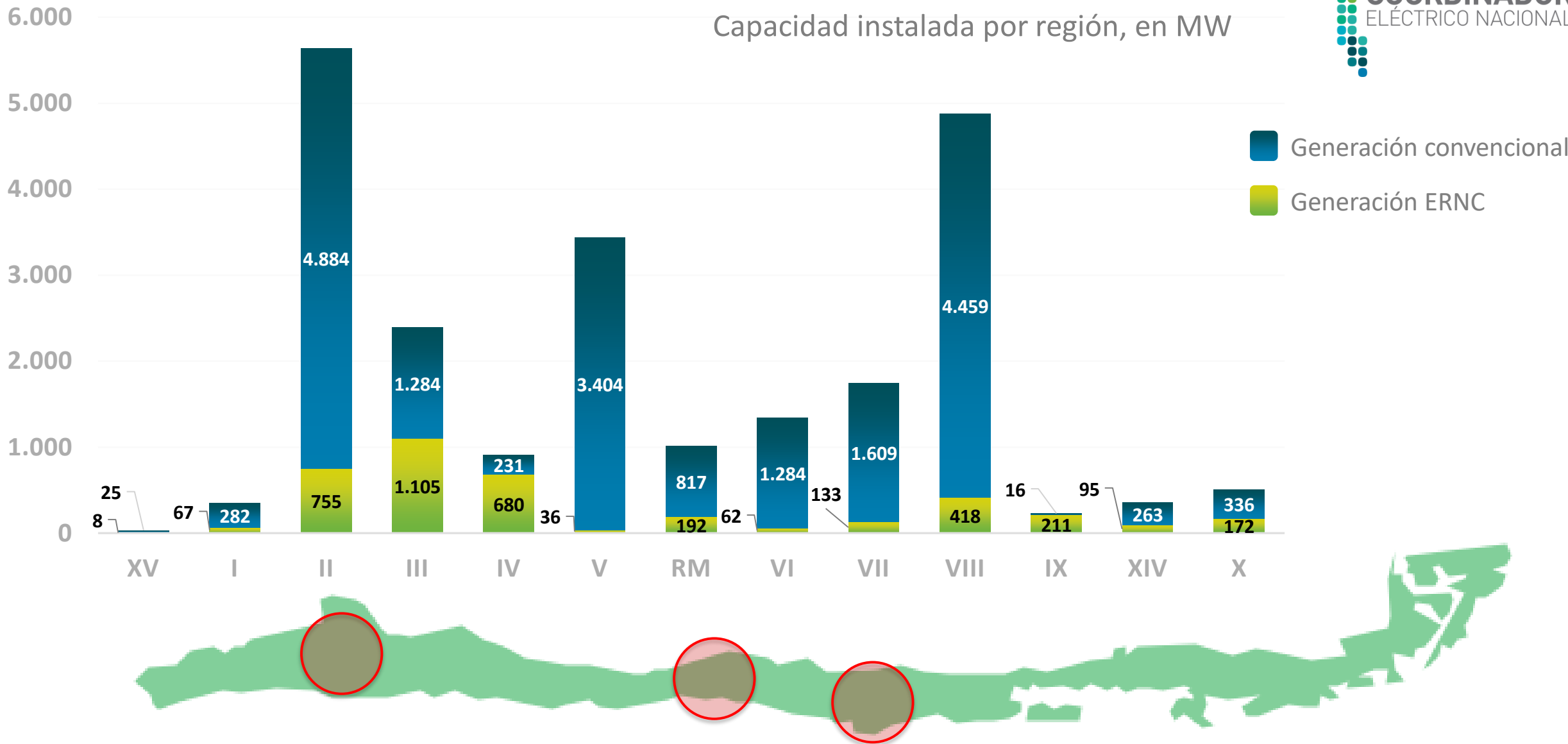
 Generación convencional



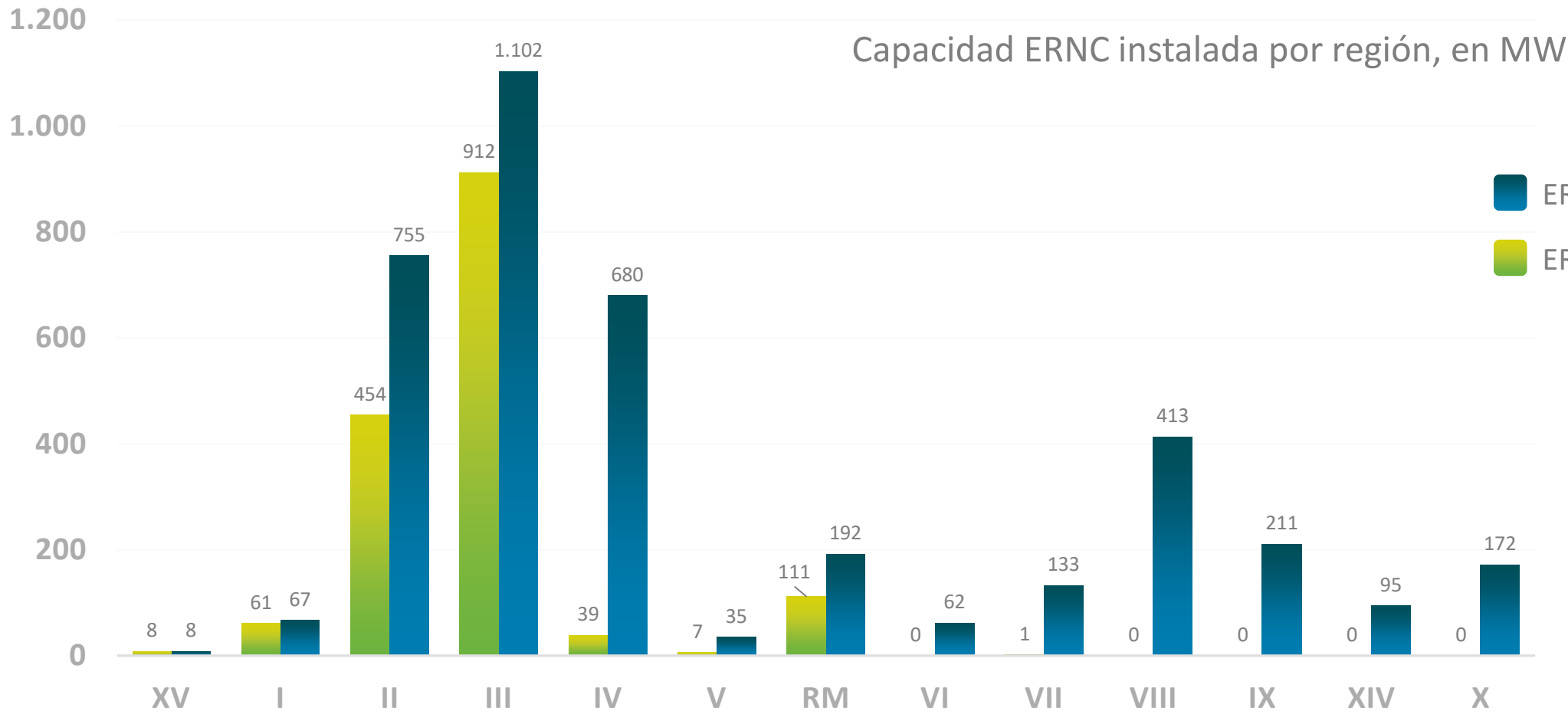
Características actuales del sistema



Características actuales del sistema

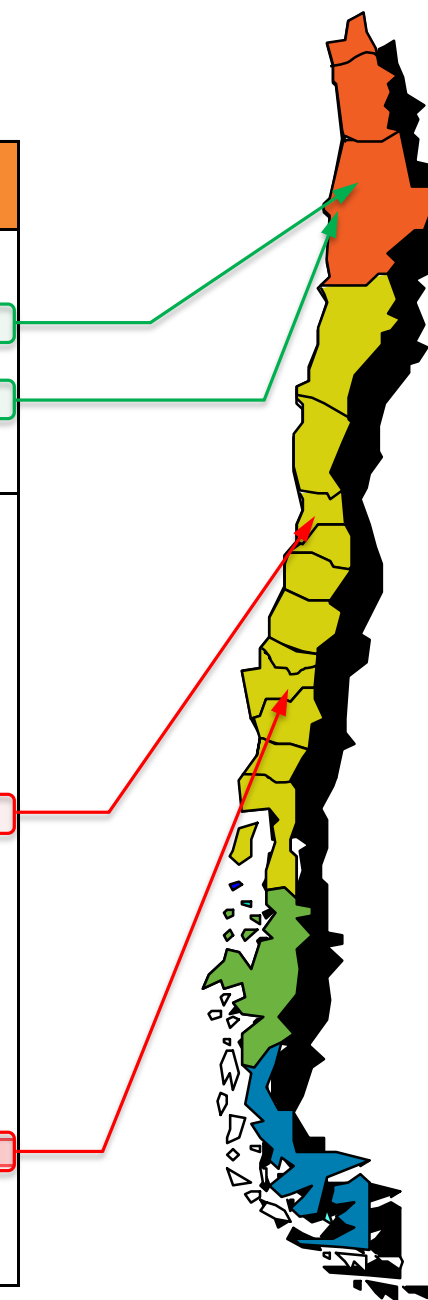


Características actuales del sistema



Niveles de cortocircuito actuales

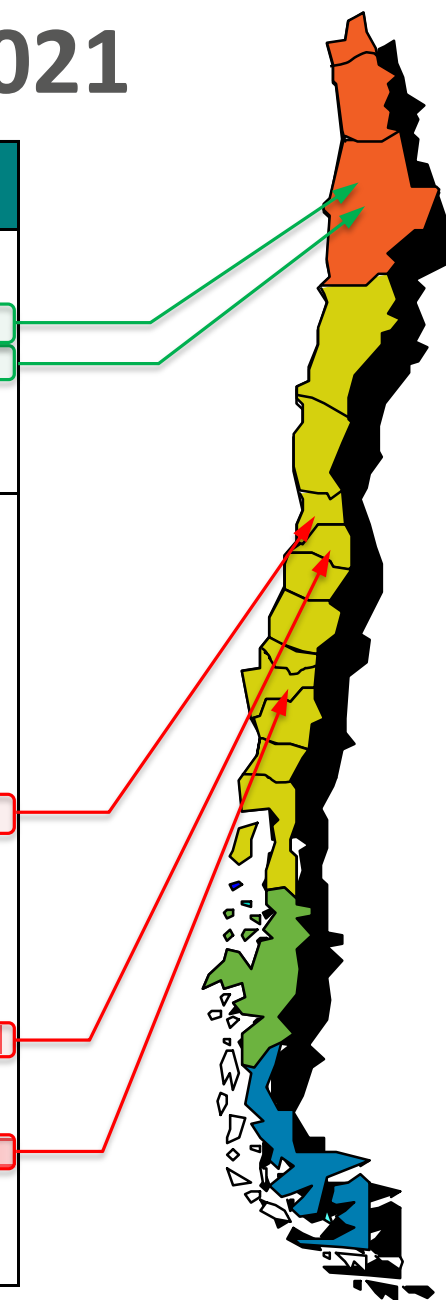
Barra	3F	2F	2FT	1FT	Máximo 2017
Parinacota 220	1,0	0,8	1,1	1,1	1,1
Lagunas 220	8,6	7,3	8,3	7,8	8,6
Crucero 220	22,3	18,9	21,8	20,4	22,3
Encuentro 220	22,2	18,8	21,7	20,1	22,2
Chacaya 220	19,5	17,1	21,9	22,8	22,8
Laberinto 220	15,0	13,0	14,7	13,9	15,0
Domeyko 220	9,1	7,9	9,7	9,8	9,8
Paposo 220	4,9	4,0	5,7	5,6	5,7
Diego de Almagro 220	6,9	6,7	5,7	7,4	7,4
Carrera Pinto 220	5,6	5,4	4,7	6,1	6,1
Cardones 220	9,8	9,7	8,3	11,2	11,2
Maitencillo 220	12,0	11,9	10,4	12,2	12,2
Pan de Azúcar 220	5,8	5,8	5,0	6,8	6,8
Nogales 220	31,0	30,9	26,8	19,2	31,0
Quillota 220	38,2	38,1	33,0	36,5	38,2
San Luis 220	38,7	38,7	33,5	44,2	44,2
Polpaico 220	36,5	36,4	31,6	31,4	36,5
Lo Aguirre 220	23,3	23,1	20,1	24,6	24,6
Cerro Navia 220	29,2	29,0	25,2	29,7	29,7
Chena 220	28,6	28,4	24,7	27,8	28,6
Los Almendros 220	15,8	15,7	13,7	12,4	15,8
Alto Jahuel 220	32,4	32,2	28,0	37,6	37,6
Itahue 220	10,9	10,9	9,4	12,6	12,6
Ancoa 220	29,2	29,1	25,0	28,9	29,2
Charrúa 220	46,1	46,1	39,5	50,0	50,0
Temuco 220	8,8	8,8	7,7	8,4	8,8
Valdivia 220	6,8	6,8	5,9	7,5	7,5
Puerto Montt 220	4,3	4,3	3,8	5,0	5,0



(*) Valores en kA

Niveles de cortocircuito esperados al 2021

Barra	3F	2F	2FT	1FT	Máximo 2021
Parinacota 220	2,3	1,9	2,2	2,1	2,3
Lagunas 220	10,8	8,8	10,5	10,0	10,8
Crucero 220	26,4	22,0	25,7	23,4	26,4
Encuentro 220	30,2	24,7	29,9	28,0	30,2
Chacaya 220	18,5	15,9	17,8	16,5	18,5
Laberinto 220	18,4	15,6	17,4	15,8	18,4
Domeyko 220	10,6	9,1	11,0	10,9	11,0
Paposo 220	6,1	4,7	6,7	6,5	6,7
Diego de Almagro 220	14,6	11,8	13,9	13,2	14,6
Carrera Pinto 220	14,6	11,9	13,9	13,2	14,6
Cardones 220	23,7	19,2	23,9	23,5	23,9
Maitencillo 220	28,4	22,6	27,3	26,3	28,4
Pan de Azúcar 220	18,7	14,9	17,9	16,7	18,7
Nogales 220	33,7	28,6	29,8	20,1	33,7
Quillota 220	40,9	35,0	39,5	36,3	40,9
San Luis 220	40,7	35,0	43,8	45,3	45,3
Polpaico 220	44,1	37,6	41,5	36,9	44,1
Lo Aguirre 220	27,0	23,2	24,4	19,0	27,0
Cerro Navia 220	35,0	29,9	33,9	32,1	35,0
Chena 220	34,6	29,7	33,3	31,4	34,6
Los Almendros 220	21,7	18,8	21,8	21,4	21,8
Alto Jahuel 220	41,8	36,0	45,8	47,5	47,5
Itahue 220	11,2	9,7	12,5	12,8	12,8
Ancoa 220	31,0	26,4	32,7	33,2	33,2
Charrúa 220	50,7	43,4	51,4	51,2	51,4
Temuco 220	9,4	8,1	9,1	8,3	9,4
Valdivia 220	8,1	6,6	8,7	8,6	8,7
Puerto Montt 220	6,8	5,3	7,4	7,2	7,4



(*) Valores en kA

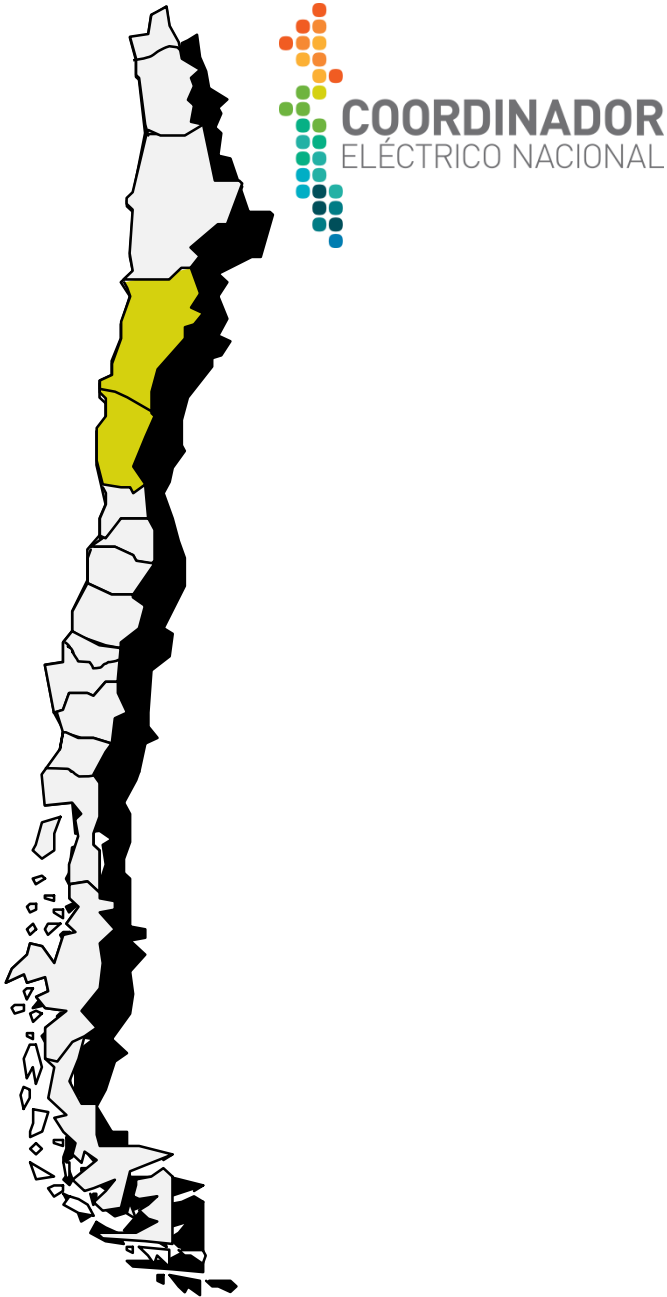
Evolución de cortocircuitos

Línea de interconexión
SIC-SING en 500 kV

Adecuaciones sistema
de 220 kV en Norte
Chico



Barra	Máximo 2017	Máximo 2021	Variación porcentual
Parinacota 220	1,1	2,3	116%
Lagunas 220	8,6	10,8	26%
Crucero 220	22,3	26,4	18%
Encuentro 220	22,2	30,2	36%
Chacaya 220	22,8	18,5	-19%
Laberinto 220	15,0	18,4	23%
Domeyko 220	9,8	11,0	12%
Paposo 220	5,7	6,7	19%
Diego de Almagro 220	7,4	14,6	97%
Carrera Pinto 220	6,1	14,6	138%
Cardones 220	11,2	23,9	113%
Maitencillo 220	12,2	28,4	132%
Pan de Azúcar 220	6,8	18,7	175%
Nogales 220	31,0	33,7	9%
Quillota 220	38,2	40,9	7%
San Luis 220	44,2	45,3	2%
Polpaico 220	36,5	44,1	21%
Lo Aguirre 220	24,6	27,0	10%
Cerro Navia 220	29,7	35,0	18%
Chena 220	28,6	34,6	21%
Los Almendros 220	15,8	21,8	38%
Alto Jahuel 220	37,6	47,5	26%
Itahue 220	12,6	12,8	2%
Ancoa 220	29,2	33,2	14%
Charrúa 220	50,0	51,4	3%
Temuco 220	8,8	9,4	7%
Valdivia 220	7,5	8,7	16%
Puerto Montt 220	5,0	7,4	49%

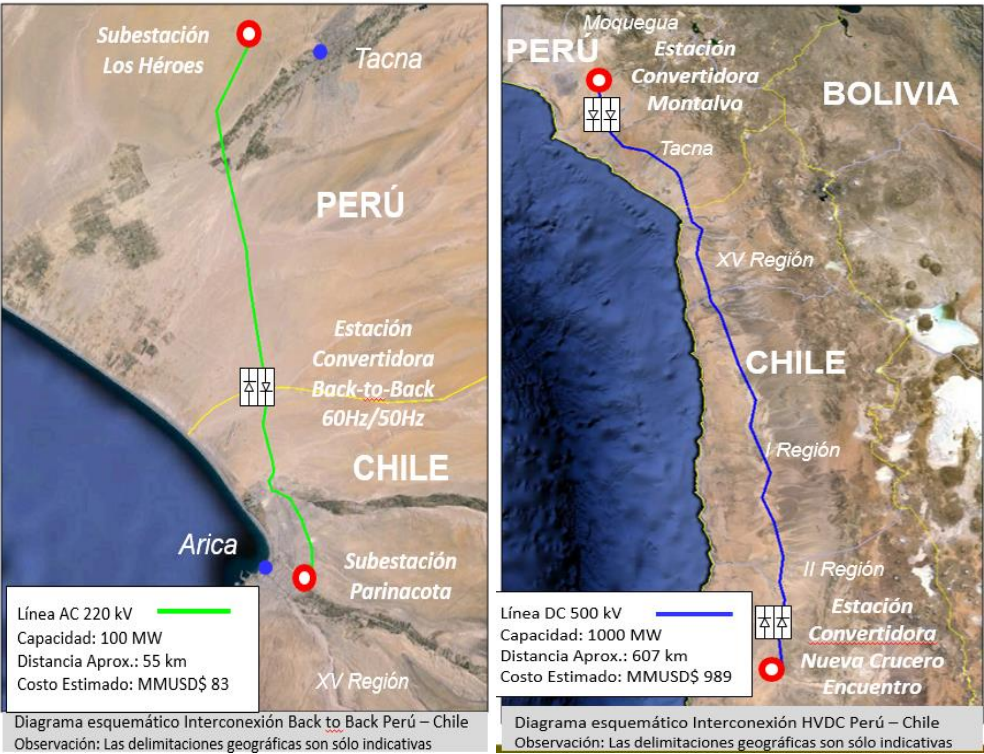


(*) Valores en kA

Evolución de cortocircuitos

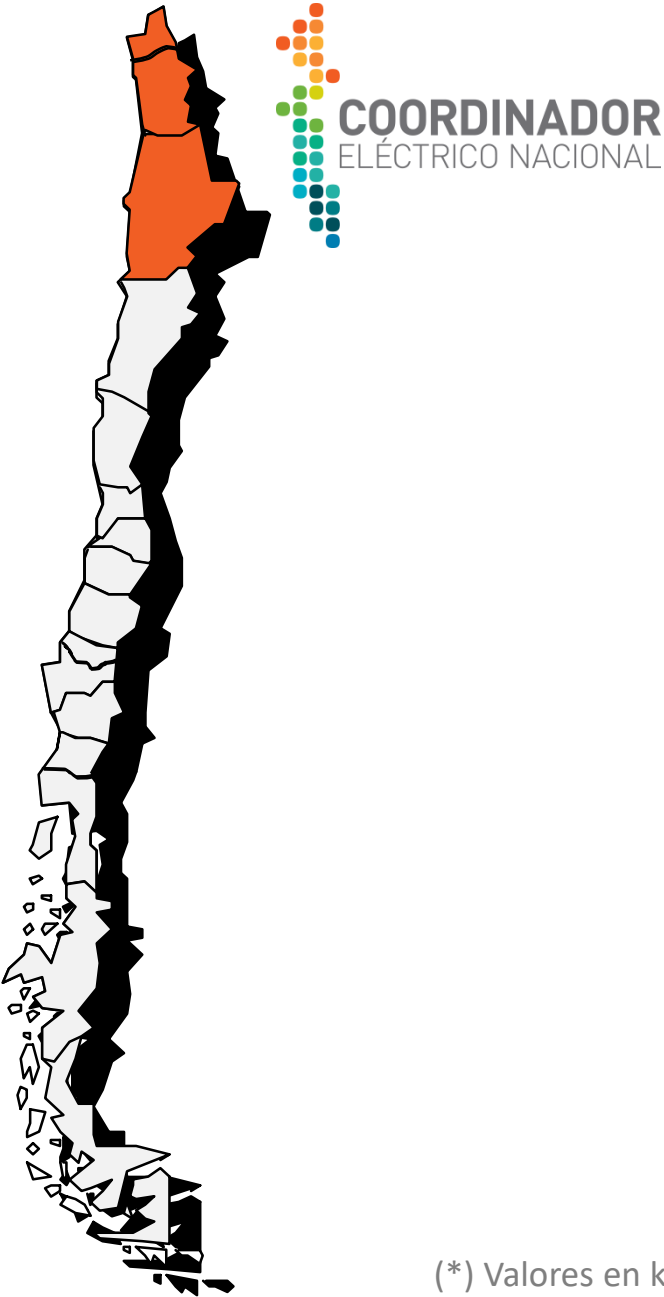
Nuevas líneas en 220 kV en las zonas de Arica e Iquique, y líneas en 500 kV al SING Centro

Interconexión con Perú



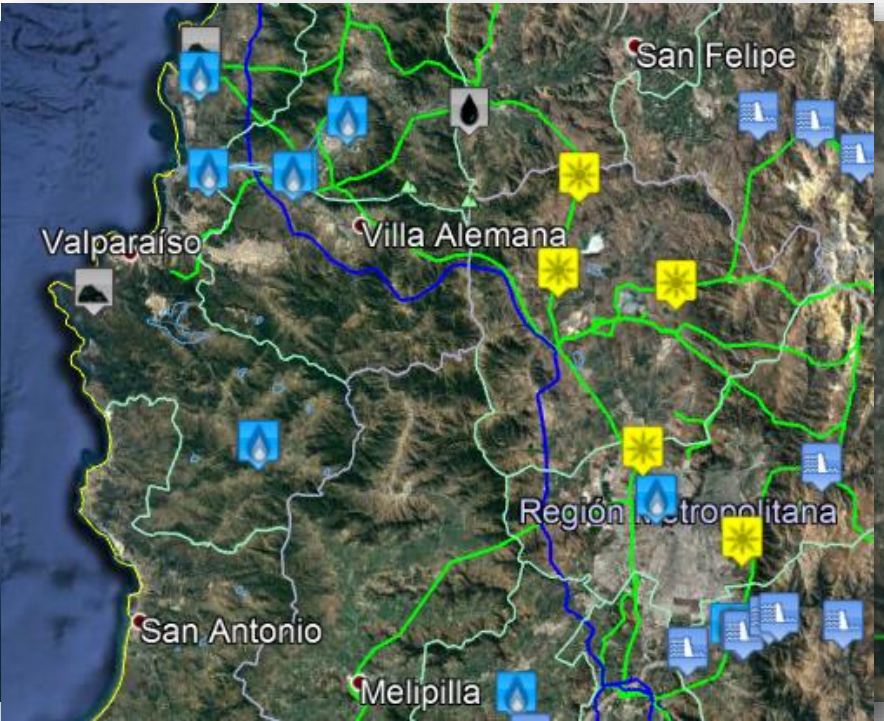
Nivel de cortocircuito puede definir tecnología del convertidor: VSC / LCC

Barra	Máximo 2017	Máximo 2021	Variación porcentual
Parinacota 220	1,1	2,3	116%
Lagunas 220	8,6	10,8	26%
Crucero 220	22,3	26,4	18%
Encuentro 220	22,2	30,2	36%
Chacaya 220	22,8	18,5	-19%
Laberinto 220	15,0	18,4	23%
Domeyko 220	9,8	11,0	12%
Paposo 220	5,7	6,7	19%
Diego de Almagro 220	7,4	14,6	97%
Carrera Pinto 220	6,1	14,6	138%
Cardones 220	11,2	23,9	113%
Maitencillo 220	12,2	28,4	132%
Pan de Azúcar 220	6,8	18,7	175%
Nogales 220	31,0	33,7	9%
Quillota 220	38,2	40,9	7%
San Luis 220	44,2	45,3	2%
Polpaico 220	36,5	44,1	21%
Lo Aguirre 220	24,6	27,0	10%
Cerro Navia 220	29,7	35,0	18%
Chena 220	28,6	34,6	21%
Los Almendros 220	15,8	21,8	38%
Alto Jahuel 220	37,6	47,5	26%
Itahue 220	12,6	12,8	2%
Ancoa 220	29,2	33,2	14%
Charrúa 220	50,0	51,4	3%
Temuco 220	8,8	9,4	7%
Valdivia 220	7,5	8,7	16%
Puerto Montt 220	5,0	7,4	49%

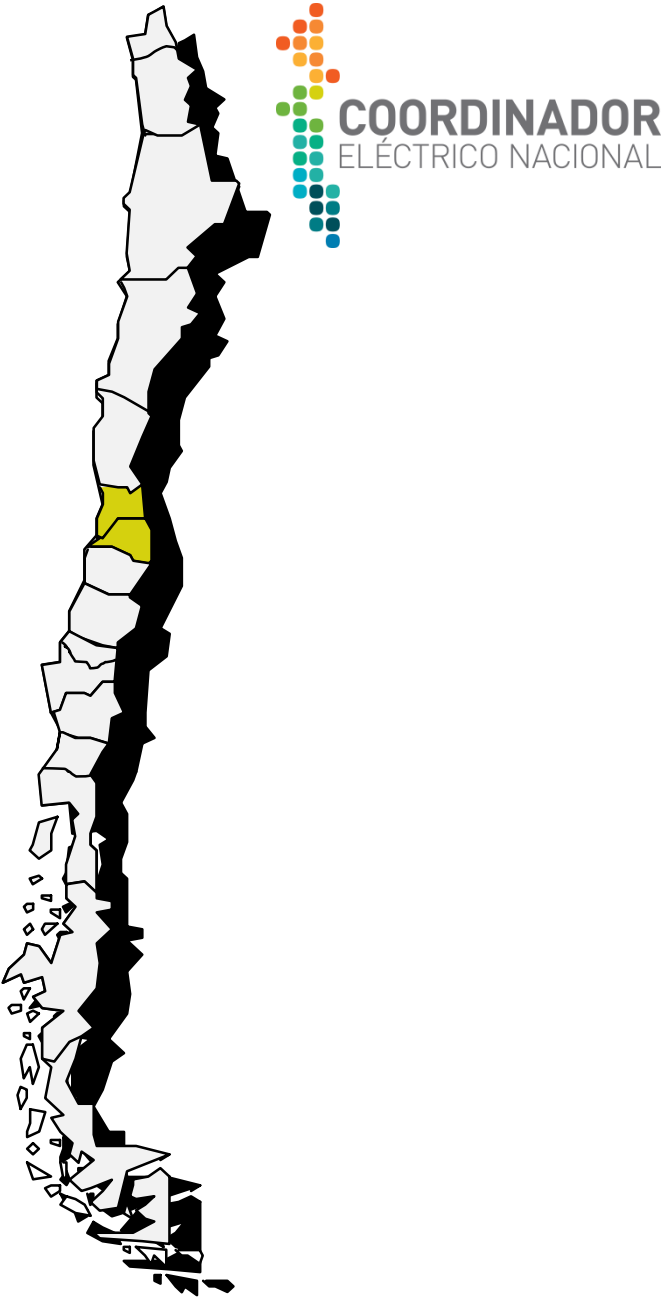


(*) Valores en kA

Evolución de cortocircuitos

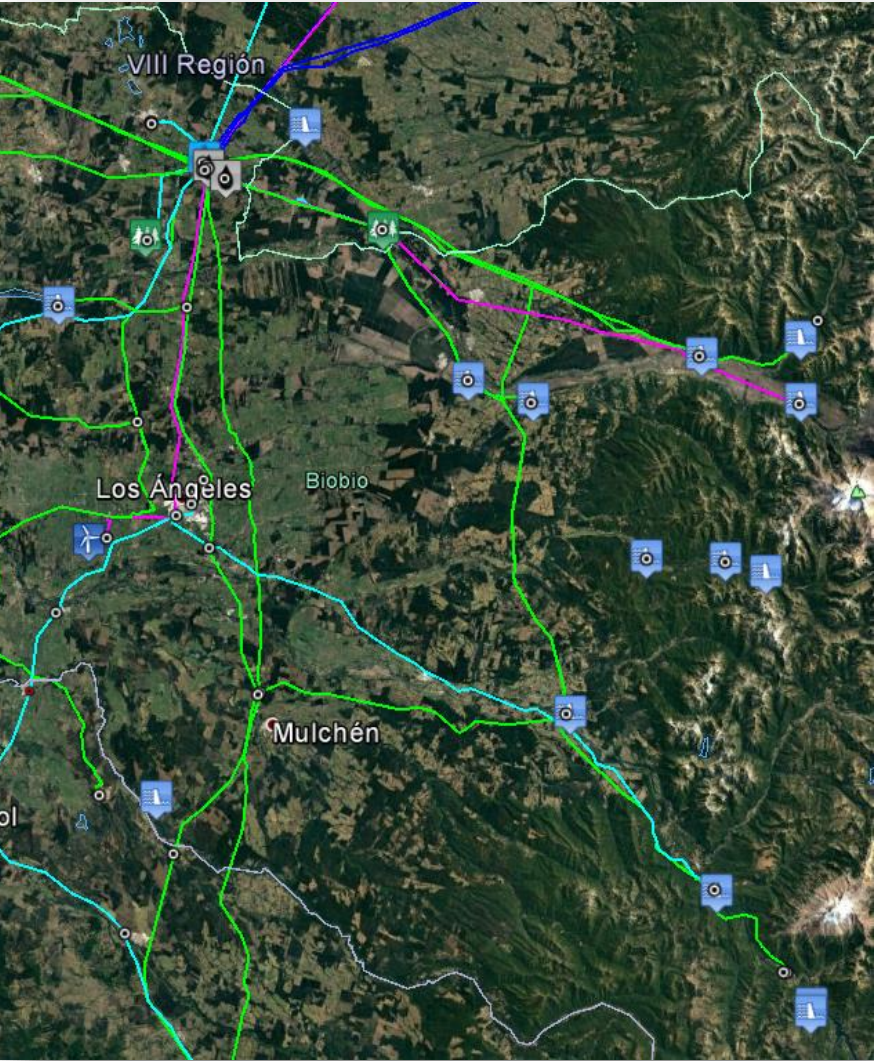


Barra	Máximo 2017	Máximo 2021	Variación porcentual
Parinacota 220	1,1	2,3	116%
Lagunas 220	8,6	10,8	26%
Crucero 220	22,3	26,4	18%
Encuentro 220	22,2	30,2	36%
Chacaya 220	22,8	18,5	-19%
Laberinto 220	15,0	18,4	23%
Domeyko 220	9,8	11,0	12%
Paposo 220	5,7	6,7	19%
Diego de Almagro 220	7,4	14,6	97%
Carrera Pinto 220	6,1	14,6	138%
Cardones 220	11,2	23,9	113%
Maitencillo 220	12,2	28,4	132%
Pan de Azúcar 220	6,8	18,7	175%
Nogales 220	31,0	33,7	9%
Quillota 220	38,2	40,9	7%
San Luis 220	44,2	45,3	2%
Polpaico 220	36,5	44,1	21%
Lo Aguirre 220	24,6	27,0	10%
Cerro Navia 220	29,7	35,0	18%
Chena 220	28,6	34,6	21%
Los Almendros 220	15,8	21,8	38%
Alto Jahuel 220	37,6	47,5	26%
Itahue 220	12,6	12,8	2%
Ancoa 220	29,2	33,2	14%
Charrúa 220	50,0	51,4	3%
Temuco 220	8,8	9,4	7%
Valdivia 220	7,5	8,7	16%
Puerto Montt 220	5,0	7,4	49%

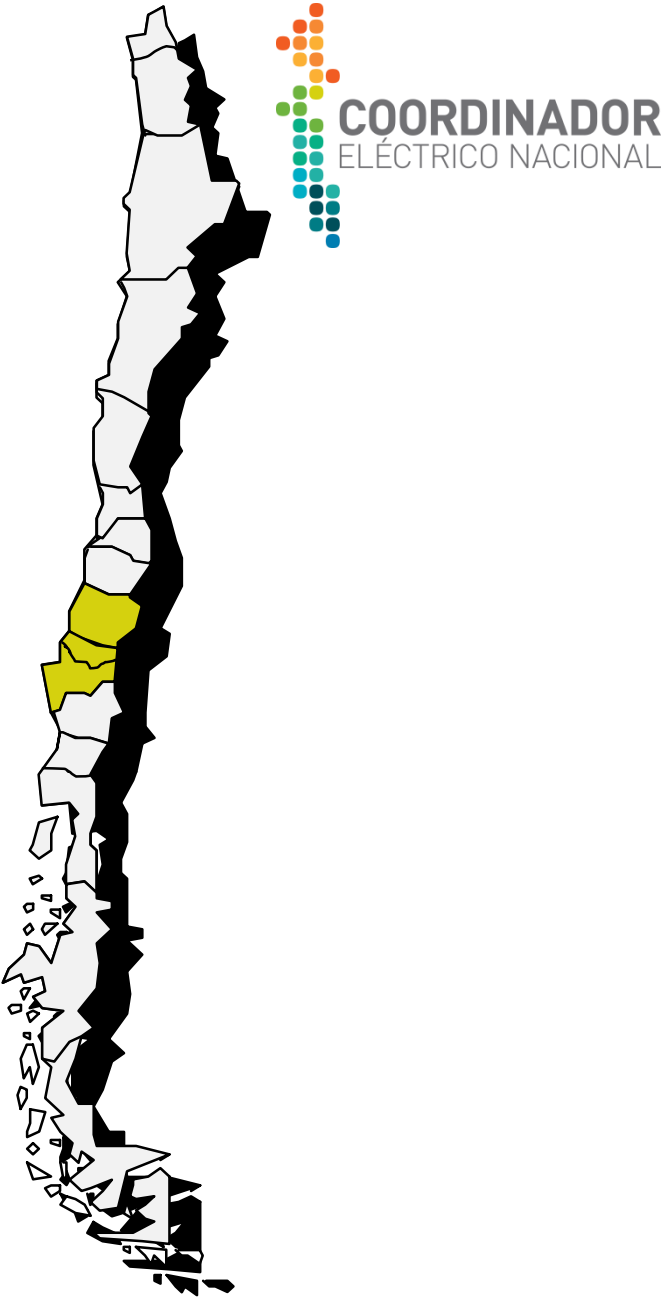


(*) Valores en kA

Evolución de cortocircuitos



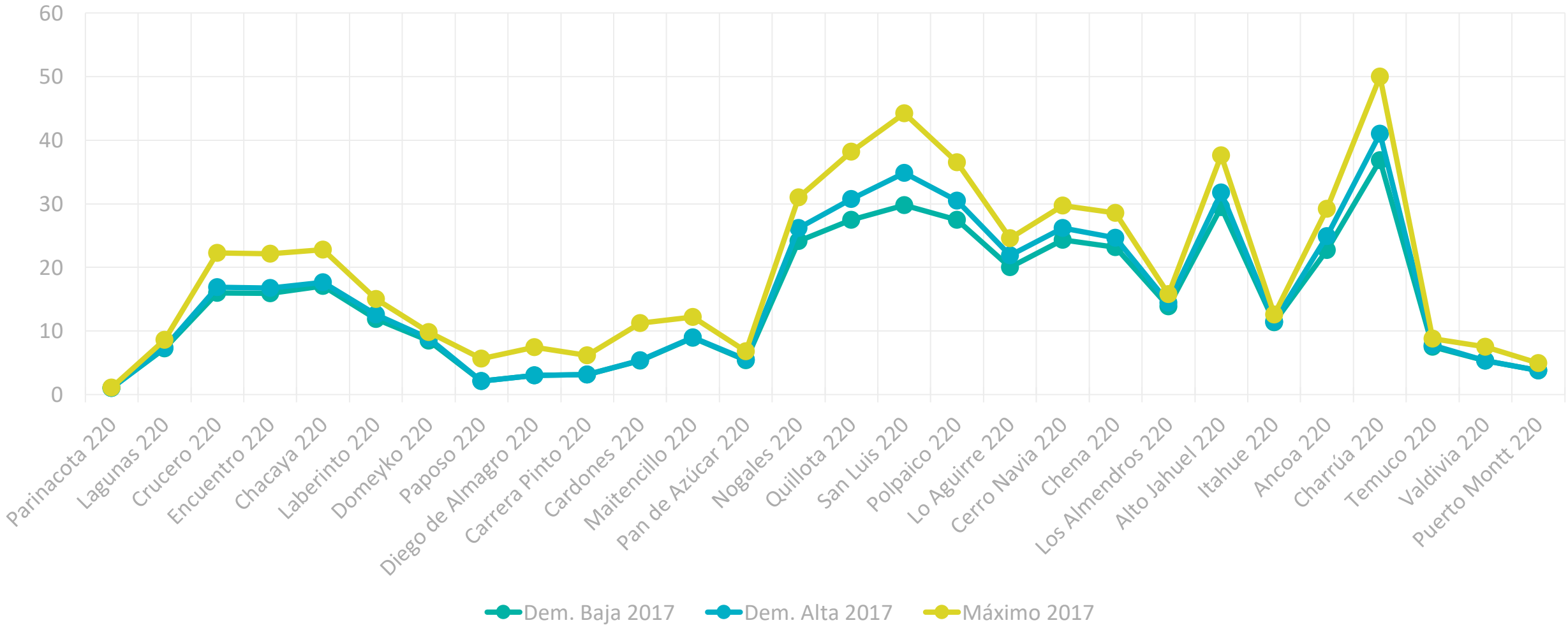
Barra	Máximo 2017	Máximo 2021	Variación porcentual
Parinacota 220	1,1	2,3	116%
Lagunas 220	8,6	10,8	26%
Crucero 220	22,3	26,4	18%
Encuentro 220	22,2	30,2	36%
Chacaya 220	22,8	18,5	-19%
Laberinto 220	15,0	18,4	23%
Domeyko 220	9,8	11,0	12%
Paposo 220	5,7	6,7	19%
Diego de Almagro 220	7,4	14,6	97%
Carrera Pinto 220	6,1	14,6	138%
Cardones 220	11,2	23,9	113%
Maitencillo 220	12,2	28,4	132%
Pan de Azúcar 220	6,8	18,7	175%
Nogales 220	31,0	33,7	9%
Quillota 220	38,2	40,9	7%
San Luis 220	44,2	45,3	2%
Polpaico 220	36,5	44,1	21%
Lo Aguirre 220	24,6	27,0	10%
Cerro Navia 220	29,7	35,0	18%
Chena 220	28,6	34,6	21%
Los Almendros 220	15,8	21,8	38%
Alto Jahuel 220	37,6	47,5	26%
Itahue 220	12,6	12,8	2%
Ancoa 220	29,2	33,2	14%
Charrúa 220	50,0	51,4	3%
Temuco 220	8,8	9,4	7%
Valdivia 220	7,5	8,7	16%
Puerto Montt 220	5,0	7,4	49%



(*) Valores en kA

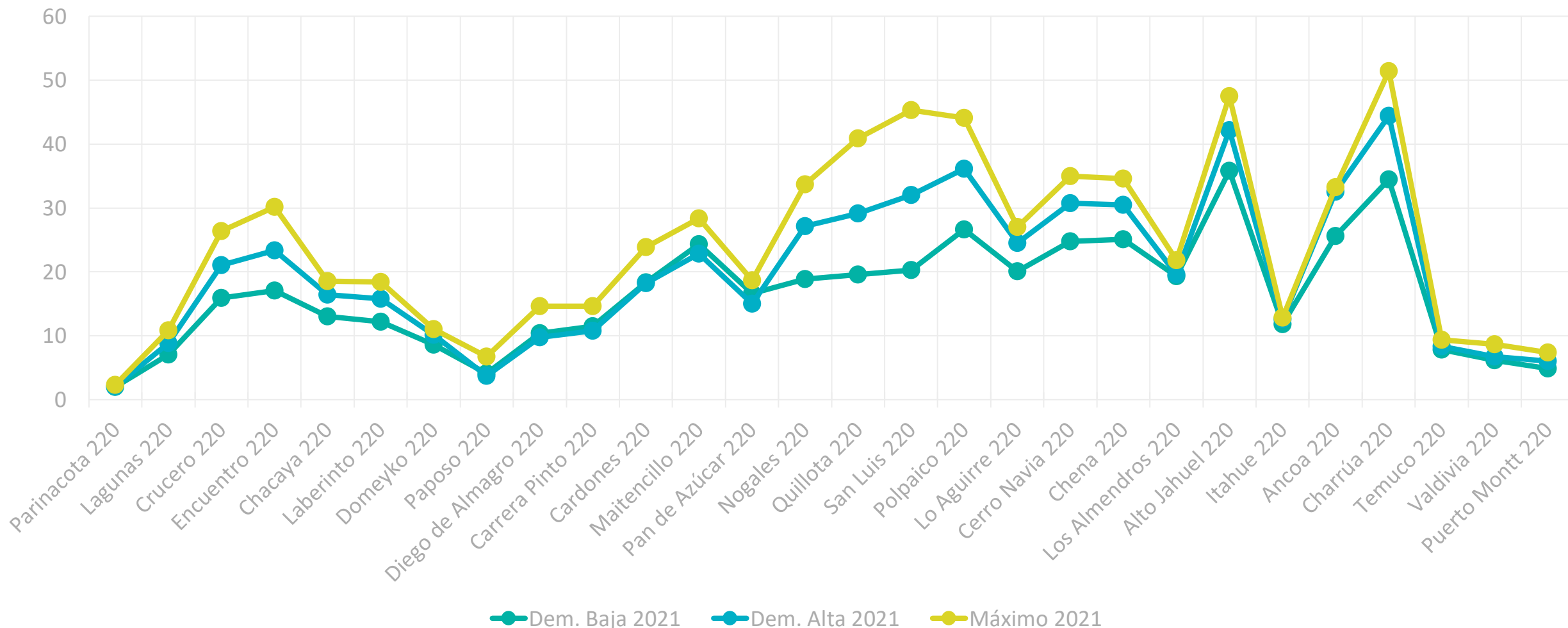
Comparación niveles de cortocircuito actuales

Anexo NT vs Escenarios Operacionales



Comparación niveles de cortocircuito al año 2021

Anexo NT vs Escenarios Operacionales



Proyección del sistema e impacto en los niveles de cortocircuito

Nueva subestación Taltal y posible enmallamiento entre 220 kV y 500 kV en la zona.

Nuevas líneas de transmisión frente a eventual incrementos de consumo minero en la zona cordillera.

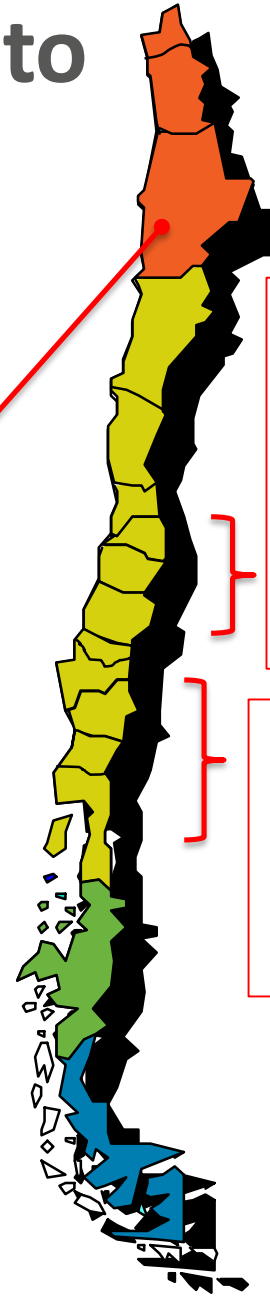
Incremento de consumo en Santiago.

Posible interconexión internacional.

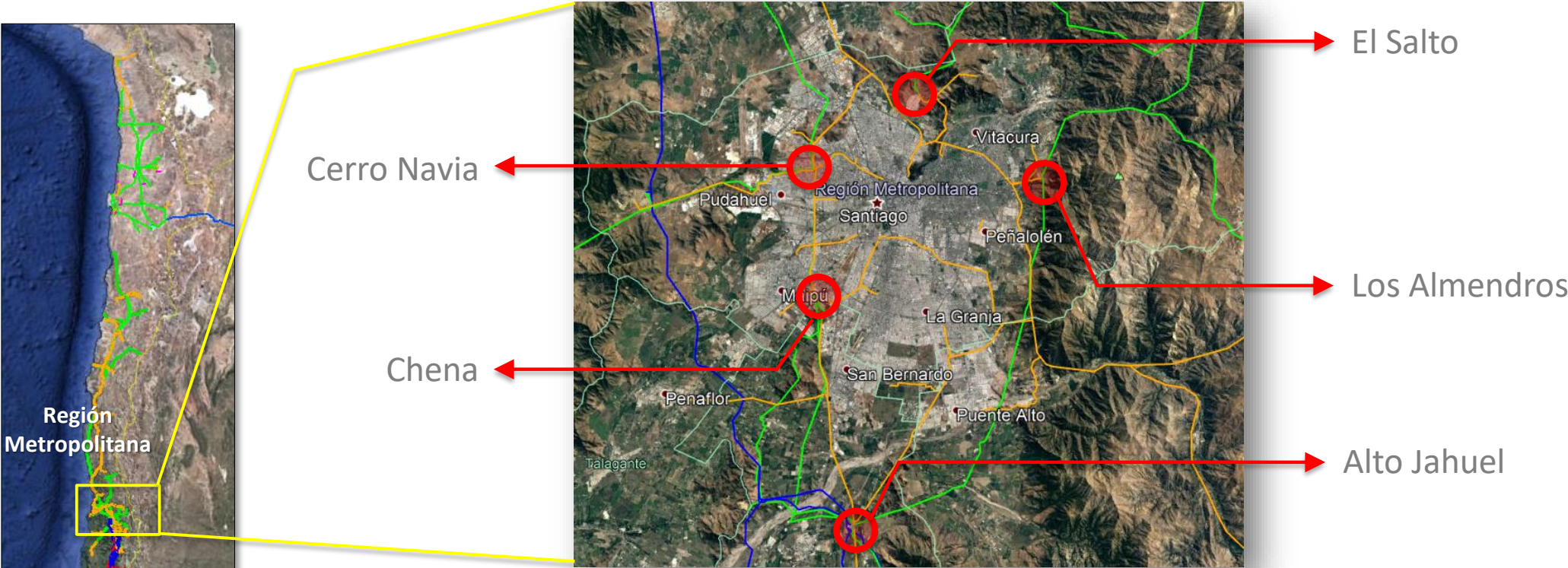
Nuevas líneas para abastecer demanda en zona centro.

Incremento de generación, principalmente eólica, en el sur.

Nuevas líneas de transmisión entre la VIII y la X región.



Niveles de cortocircuito en barras de 110 kV



Barra	3F	2F	2FT	1FT	Máximo 2021
Cerro Navia 110	54,0	46,2	54,0	53,3	54,0
El Salto 110	37,0	31,9	36,3	34,5	37,0
Los Almendros 110	38,2	33,0	40,7	41,2	41,2
Alto Jahuel 110	26,9	23,2	31,0	31,8	31,8
Chena 110	49,3	42,4	50,5	50,3	50,5

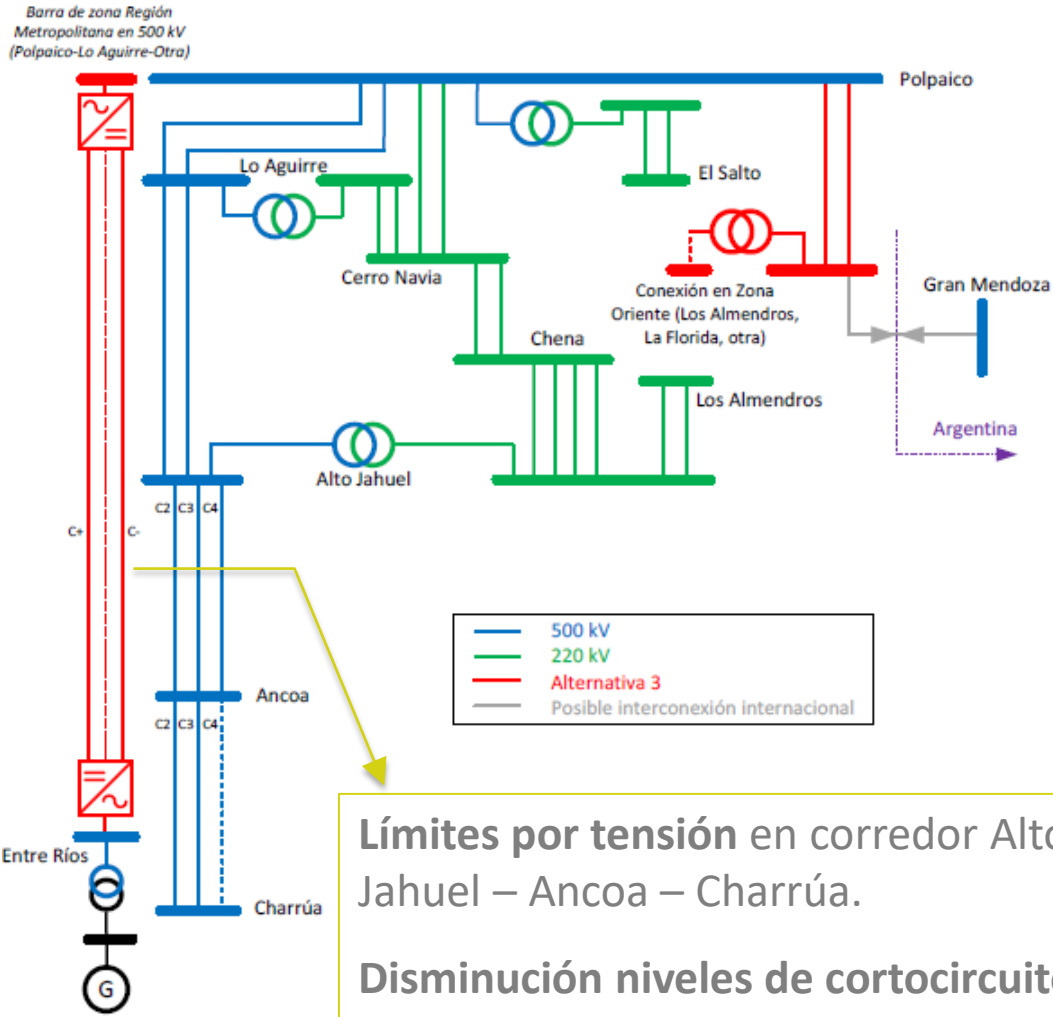
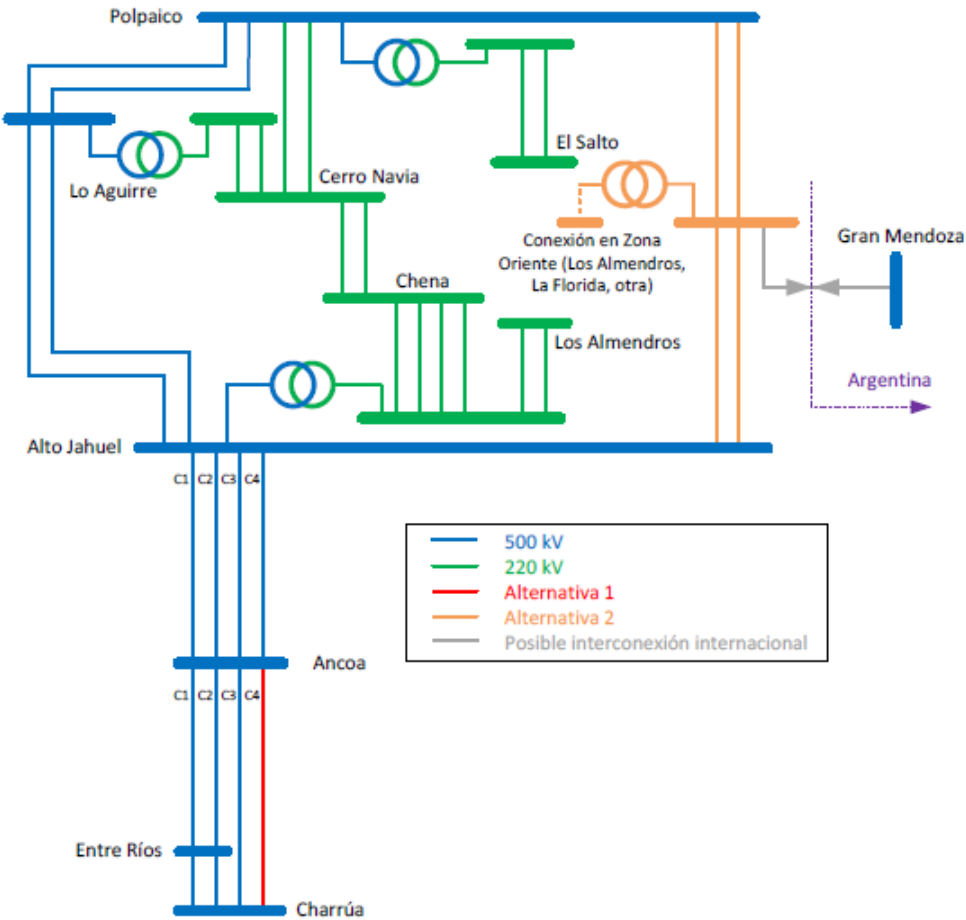
Posibles soluciones e impacto en el
reemplazo de equipos y diseño de red

Soluciones de largo plazo

Posibles medidas de acción:

- En casos justificados, normalizar interruptores que vean sobrepasada su capacidad de ruptura.
- Reducir el acoplamiento del sistema:
 - ✓ Zonas independientes con posible apoyo entre ellas si es necesario.
 - ✓ División / Partición de barra en dos barras con igual configuración. Alto impacto.
 - ✓ Desconexión, temporal o permanente, de algunas líneas de una subestación (by-pass).
 - ✓ Instalación de reactores en serie, Back-to-Back, HVDC.

Caso Centro-Sur: Visión de largo plazo



¡Muchas gracias!

Jornada Técnica

“Aumento de niveles de cortocircuito en subestaciones críticas del Sistema Eléctrico Nacional”

**Metodología de cálculo de cortocircuitos.
Análisis e impactos.**

Alex Santander G. / Gerencia de Planificación de la Transmisión

28 de agosto de 2017