

Minuta DAOP N° 04/2024

Análisis de cortocircuitos operacionales en el Sistema Eléctrico Nacional



Índice

1	Introducción.....	3
2	Antecedentes.....	4
3	Metodología.....	5
4	Resultados y Conclusiones.....	11

Minuta DAOP N° 04/2024

Análisis de Cortocircuitos Operacionales en el Sistema Eléctrico Nacional

1 Introducción

Los cambios que se han producido en la matriz energética que componen el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con motivo de alcanzar el objetivo de descarbonizarla en un futuro cercano, particularmente, los altos niveles de generación de energías renovables variables (ERV) que continúan incrementándose con mayor incidencia mayoritariamente en la zona norte del SEN, sumado a las nuevas instalaciones de transmisión que se han puesto en servicio durante el año 2024, entregan un panorama que obliga a analizar los diversos cambios que se han producido operacionalmente en el sistema eléctrico.

Una mayor generación ERV implica una salida definitiva de servicio o menor presencia durante la operación diaria de centrales térmicas, compuestas por máquinas rotatorias que aportan mayores niveles de corriente de cortocircuito al SEN y, consecuentemente, permiten obtener un sistema de transmisión de mayor robustez, resultando en una mejor respuesta ante eventos o perturbaciones (fallas) de diversas severidades, de acuerdo con la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio vigente.

A partir de lo anteriormente descrito, la siguiente minuta contiene los resultados del cálculo de máximos niveles de cortocircuito de las principales barras del SEN, con especial énfasis en zonas con alta conexión de centrales de generación ERV. Adicionalmente, se extienden los cálculos de niveles de cortocircuito para subestaciones primarias de distribución, en cuyas instalaciones se presenta un incremento significativo de conexión de centrales PMGD de preferencia con tecnología ERV.

2 Antecedentes

2.1. Tipos de falla a simular

Para las barras consideradas dentro del cálculo de los niveles de cortocircuito operacionales, se simularán los siguientes tipos de falla:

Tipo de Falla
Trifásica
Bifásica
Bifásica a Tierra
Monofásica a Tierra

Tabla 1: Tipos de falla simuladas para la obtención de los niveles de cortocircuito en barras del SEN.

Adicionalmente, para cada punto de falla se realiza el cálculo de impedancias de secuencia positiva y cero ($R1$, $X1$, $R0$ y $X0$), con las cuales se logra obtener una red equivalente del sistema.

2.2. Definición de potencia de cortocircuito

Se define la potencia de cortocircuito (en MVA) en cualquier nodo del sistema, como la máxima corriente que puede circular si hay una falla de cortocircuito en ese nodo. Es una práctica recurrente utilizar el nivel de cortocircuito trifásico.

2.3. Factores influyentes en los niveles de cortocircuito en barras

Los tres principales factores que influyen en los niveles de cortocircuito operacionales son los siguientes:

- Densidad de los parques ERV: o la concentración de múltiples parques de generación ERV en una proximidad eléctrica uno del otro.
- Escasez de generación sincrónica: o la falta de suficiente soporte de máquinas síncronas en servicio debido a los retiros anticipados o al despacho económico.
- La dispersión de la red: que refleja la lejanía eléctrica de la zona en la que se conectan los parques, es decir, lo lejos que están de los principales centros de generación sincrónica y carga, además de lo enmallada y/o interconectada que está la red eléctrica en esa zona.

2.4. Consecuencias de una red con bajos niveles de cortocircuito operacionales

Una red con bajos niveles de cortocircuito operacionales, sufre importantes deterioros relacionados con la seguridad del sistema de transmisión, en particular:

- Notorios cambios en los niveles de tensión después de ocurrida una desconexión de equipos compensadores de potencia reactiva.
- Mayor riesgo de inestabilidad después de un evento de contingencia.

- Una menor sensibilidad de los sistemas de protecciones debido a la reducción de la corriente de falla medida, más aún cuando estos sistemas funcionan en base a esa variable de decisión.

3 Metodología

La base de datos de simulación en formato DigSilent PowerFactory del Sistema Eléctrico Nacional utilizada para este análisis, corresponde a la publicada por el Coordinador Eléctrico Nacional durante el mes de octubre de 2024, en la cual se incorporaron todas aquellas instalaciones de transmisión y generación que tuvieran una real incidencia en el nivel de cortocircuito operacional en instalaciones del SEN, y cuya entrada en servicio estaba fijada hasta el 31 de diciembre de 2024.

A partir de la base DigSilent descrita anteriormente, se elaboraron distintos escenarios de despacho de generación y condiciones topológicas del sistema de transmisión del SEN. Para cada escenario se realizaron simulaciones de cortocircuito en las principales barras del sistema de transmisión, para cada una de las zonas que componen el SEN, obteniendo el nivel de cortocircuito respectivo.

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito, se utilizó el “método completo”, el cual, mediante el cálculo de un flujo de potencia, inicializa las tensiones pre falla en las barras. Dichas tensiones son incrementadas 1.1 veces, según el ajuste del parámetro “factor de voltaje c”, tal como se presenta a continuación:

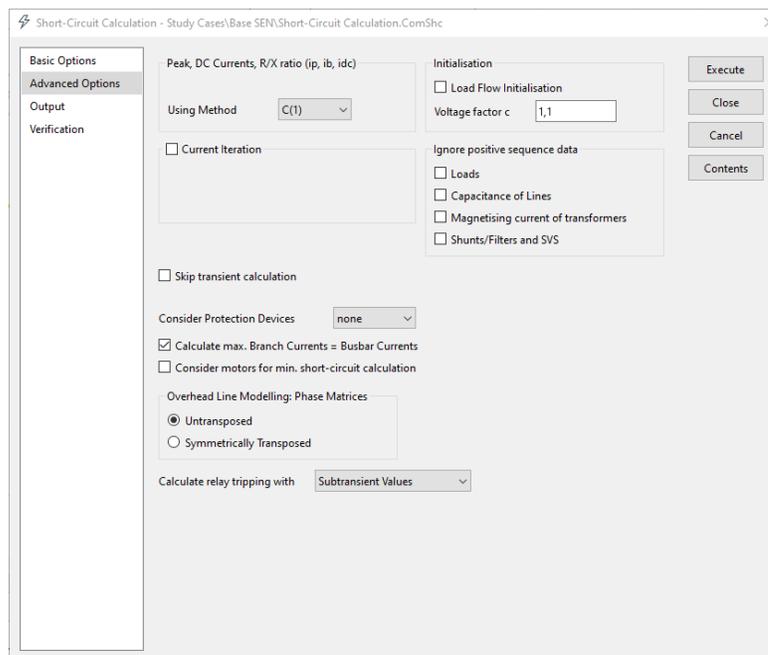


Figura 1. Configuración de las opciones avanzadas del método completo en software DigSilent PowerFactory.

A continuación, se realiza un resumen del acondicionamiento de la base de simulación en formato DigSilent PowerFactory utilizada en el estudio:

3.1. Instalaciones nuevas que entrarán en servicio en el SEN hasta diciembre de 2024

A continuación, se presentan las instalaciones cuyos proyectos están en ejecución y que, según su cronograma, entrarían en servicio hasta el 31 de diciembre de 2024, las cuales son incorporadas dentro de la base DigSilent utilizada para realizar los cálculos de niveles de cortocircuito en el SEN:

A.- Instalaciones de Generación

GENERACIÓN
Parque Solar Fotovoltaico Tamarico
Parque Fotovoltaico Desierto de Atacama
PFV Leyda

Tabla 2: Proyectos de generación en construcción considerados en servicio a diciembre 2024.

B.- Instalaciones de Transmisión

TRANSMISIÓN
S/E Seccionadora Liqcau 220/110 kV
Nueva Línea 2x220 kV Lagunas - Nueva Pozo Almonte, tendido primer circuito
Aumento de Capacidad Líneas 2x220 kV Frontera - María Elena y 2x220 kV María Elena - Kimal
Tendido segundo circuito Línea 2x220 kV Nueva Chuquicamata - Calama
Nueva Línea 2x500 kV Parinas - Likanantai (Monte Mina), energizada en 220 kV
Nueva Línea 4x220 kV desde S/E Nueva Los Pelambres a Seccionamiento del segmento de la Línea 2x220 kV Los Piuquenes - Tap Mauro
Nueva S/E Seccionadora Los Poetas 66kV
S/E Nueva Casablanca 220/66 kV - Etapa N°1
Nueva Línea 2x220 kV Nueva Alto Melipilla - Nueva Casablanca - La Pólvora - Agua Santa
Nueva S/E El Ruil
Nueva S/E La Señoraza 220/66 kV
Nueva Línea 2x66 kV Los Varones - El Avellano
Ampliación S/E Mulchén y seccionamiento línea 1x220 kV Charrúa - Temuco
Nueva Línea 2x66 kV Nueva Valdivia - Picarte, tendido del Primer Circuito

Tabla 3: Proyectos de transmisión en construcción considerados en servicio a diciembre 2024.

3.2. Escenarios Operacionales para el cálculo de cortocircuitos en el SEN, horizonte 2024

A continuación, se presentan los escenarios modelados en la base DigSilent utilizados para el cálculo de niveles de cortocircuitos en el SEN:

a) Zona Norte Grande:

○ **Escenario ZNG-1: Baja Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica.
- Inercia mínima de 7,5 [GVAs]: en servicio las centrales CTH, Angamos U1, Cochrane U1, Cochrane U2, Cerro Pabellón y Chapiquiña.
- Generación térmica en la Zona Norte Chico sólo de central Guacolda, con 2 unidades a mínimo técnico. Central Los Molles con 1 unidad en servicio.
- Sistema de transmisión de 500 kV y 220 kV enmallado, las siguientes particularidades: línea 2x500 kV Kimal - Los Changos con un circuito abierto en ambos extremos. Líneas 2x220 kV Parinas - Monte Mina, 2x220 Andes - Monte Mina y 2x220 kV Monte Mina - Nueva Zaldívar cerradas en ambos extremos. Línea 1x110 kV Mejillones - Antofagasta cerrada en ambos extremos y abierto el seccionador 52HS de S/E Antofagasta. S/E Guardiamarina operando con las barras de 110 kV seccionadas, con los paños de línea hacia las SS/EE Esmeralda y La Portada conectados a una barra y los paños de línea hacia las SS/EE Mejillones y Antofagasta, más el consumo de S/E Guardiamarina, conectados en la barra contraria. Abierto el interruptor 52H1 en S/E Tap Off Uribe y cerrado el interruptor 52H4 en S/E Esmeralda. Líneas 220 kV O'Higgins - Coloso C1 y 110 kV Alto Norte - Antofagasta seccionadas en S/E Liqcau, con todos los extremos de las líneas resultantes cerrados y enmalladas a través del transformador 220/110 kV de S/E Liqcau.
- CCSS en 500 kV conectadas en SS/EE Los Changos, Cumbre, Nueva Pan de Azúcar y Polpaico.

○ **Escenario ZNG-2: Alta Inercia**

- Escenario nocturno. Sin presencia de generación ERNC fotovoltaica.
- Generación térmica en base a carbón en servicio, más todas las unidades de las centrales Atacama y Kelar, más las centrales Cerro Pabellón, Chapiquiña y Térmica Cerro Dominador.
- Zona Norte Chico en su escenario de alta inercia.

b) Zona Norte Chico:

○ **Escenario ZNCH-1: Baja Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica.
- Generación térmica sólo de central Guacolda, con 2 unidades a mínimo técnico.
- Central Los Molles con 1 unidad en servicio.
- Sistema de transmisión de 500 kV y 220 kV enmallado.
- CCSS en 500 kV conectadas en SS/EE Los Changos, Cumbre, Nueva Pan de Azúcar y Polpaico.
- Al norte de S/E Maitencillo (Zona Norte Grande) con inercia mínima de 7,5 [GVAs]: en servicio las centrales CTH, Angamos U1, Cerro Pabellón y Chapiquiña.

- En la Zona Centro Norte en servicio una central a carbón (Campiche o Nueva Ventanas, la de menor inercia), sin ciclos combinado en servicio.

○ **Escenario ZNCH-2: Alta inercia**

- Escenario nocturno. Sin presencia de generación ERNC fotovoltaica.
- Generación térmica de central Guacolda, con 5 unidades a plena carga y 2 unidades de central Taltal a plena carga.
- Central Los Molles con 2 unidades en servicio.
- Sistema de transmisión de 500 kV y 220 kV enmallado.
- CCSS en 500 kV conectadas en SS/EE Los Changos, Cumbre y Nueva Pan de Azúcar, en bypass en S/E Polpaico.
- Zona Norte Grande en su escenario de alta inercia.
- En la Zona Centro Norte en servicio 5 ciclos combinados (San Isidro I, San Isidro II, Nehuenco I, Nehuenco II y Nueva Renca), 1 unidad de central Quintero y 2 centrales a carbón (Campiche y Nueva Ventanas).

c) Zona Centro Norte:

○ **Escenario ZCN-1: Baja Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología húmeda y demanda baja.
- Sistema de transmisión de 500 kV y 220 kV enmallado. Sistemas de 110 kV de las zonas metropolitana y quinta región operando normal.
- En servicio una central a carbón (Campiche o Nueva Ventanas, la de menor inercia), sin ciclos combinado en servicio.
- 1 unidad en servicio en las centrales Alfalfal, Alfalfal II, Maitenes, Queltehues, Las Lajas y Sauzal.
- Altas transferencias de carga en las líneas de 500 kV desde S/E Charrúa hacia S/E Alto Jahuel.

○ **Escenario ZCN-2: Alta Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología seca y demanda alta.
- Sistema de transmisión de 500 kV y 220 kV enmallado. Sistemas de 110 kV de las zonas metropolitana y quinta región operando normal.
- En servicio 5 ciclos combinados (San Isidro I, San Isidro II, Nehuenco I, Nehuenco II y Nueva Renca), 1 unidad de central Quintero y 2 centrales a carbón (Campiche y Nueva Ventanas).
- Todas las unidades en servicio de las centrales Alfalfal, Alfalfal II, Maitenes, Queltehues, Las Lajas, Guayacán, Florida, Volcán, Puntilla y Sauzal.
- Bajas transferencias de carga en las líneas de 500 kV desde S/E Charrúa hacia S/E Alto Jahuel.

d) Zona Centro Sur:

○ **Escenario ZCS-1: Baja Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología seca y demanda baja.
- Sistema de transmisión de 500 kV, 220 kV y 154 kV enmallado entre las SS/EE Alto Jahuel y Ancoa.
- A nivel de generación, en servicio 1 unidad de las centrales Cipreses, Isla y Ojos de Agua, y ambas unidades de central Candelaria. Fuera de servicio las centrales Colbún, Machicura, Chiburgo, Pehuenche, Los Hierros I, La Mina, Río Colorado, La Higuera, La Confluencia, San Andrés, Convento Viejo, El Paso, San Clemente, Loma Alta, Los Hierros II, Curillinque, Dos Valles, Palacios y Corrales.

○ **Escenario ZCS-2: Alta Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología húmeda y demanda alta.
- Sistema de transmisión de 500 kV, 220 kV y 154 kV enmallado entre las SS/EE Alto Jahuel y Ancoa.
- A nivel de generación, en servicio 2 unidades de las centrales Colbún, Machicura, Chiburgo, Pehuenche, Los Hierros I, La Mina, Río Colorado, La Higuera, La Confluencia, San Andrés, Convento Viejo, Isla, tres unidades de central El Paso y Cipreses, centrales San Clemente, Loma Alta, Los Hierros II, Curillinque, Ojos de Agua, Dos Valles, Palacios y Corrales. Central Candelaria fuera de servicio.

e) Zona Sur:

○ **Escenario ZS-1: Baja Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología seca y demanda baja.
- Sistema de transmisión de 220 kV enmallado entre las SS/EE Charrúa y Melipulli.
- A nivel de generación, en servicio la central Rucatayo, 1 unidad de central Angostura (la de menor inercia), 1 unidad de central Antihue, centrales Trapén y Trincao a plena carga, más la inyección de Planta Valdivia. Parques eólicos San Pedro I, San Pedro II, Renaico, Renaico II, Aurora, San Gabriel, Tolpán, Malleco, Puelche Sur, Los Olmos, San Matías, Campo Lindo y La Cabaña en servicio. Fuera de servicio la central Canutillar. Para la zona de Charrúa, considerar en servicio 1 unidad de central Ralco, 1 unidad de central Antuco, central Palmucho y central Santa María.

○ **Escenario ZS-2: Alta Inercia**

- Escenario diurno. Alta presencia de generación ERNC fotovoltaica. Hidrología húmeda y demanda alta.
- Sistema de transmisión de 220 kV enmallado entre las SS/EE Charrúa y Melipulli.
- A nivel de generación, en servicio y a plena carga 2 unidades de central Canutillar, central Rucatayo, 2 de central Carilafquén, 2 de central Malalcahuello, 3 de central Angostura, 3 de central Pullinque, 5 de central Pilmaiquén, Capullo, Correntoso, Palmar, Nalcas, Callao, Bonito, Feo, MC3, Cumbres, 2 de central Licán, 2 de central Pulelfu, más la generación de Planta Valdivia. Parques eólicos San Pedro I, San Pedro II, Renaico, Renaico II, Aurora, San Gabriel, Tolpán, Malleco, Puelche Sur, Los Olmos, Campo Lindo y La Cabaña en servicio. Fuera de servicio las centrales Antihue, Calle Calle, Chuyaca, Trapén, Chiloé, Quellón, Degañ y Trincao. Para la zona de Charrúa, considerar en servicio 4 unidades de central El Toro, 2 unidades de central Ralco, 2 unidades de central Antuco, 2 unidades de central Pangué, central Palmucho, 2 unidades de central Rucúe, 2 unidades de central Quilleco, 2 unidades de central Mampil, 2 unidades de central Peuchén y central Santa María.

4 Resultados y Conclusiones

A continuación, se presentan los valores de cortocircuito operacionales calculados para una selección de barras del SEN, por zonas, para los distintos escenarios de alta/baja inercia, para todas las fallas consideradas: Trifásica, Bifásica, Bifásica a tierra y Monofásica. Adicionalmente, se presenta un gráfico de los niveles de cortocircuito para fallas trifásicas en barra, para escenarios de baja y alta inercia, para cada una de las zonas del SEN. Los anexos 1 y 2 contienen todos los resultados de niveles de cortocircuito, junto a cada uno de los gráficos asociados a cada una de las fallas simuladas.

4.1. Escenarios Baja y Alta Inercia – Zona Norte Grande del SEN

N°	Barra	lcc3 [kA]	lcc3 [kA]	lcc2 [kA]	lcc2 [kA]	lcc2T [kA]	lcc2T [kA]	lcc1 [kA]	lcc1 [kA]
		Baja Inercia	Alta Inercia						
1	Andes 220 kV	8,63	8,08	6,38	6,67	10,70	10,14	9,50	9,81
2	Ana María 220 kV	13,04	12,09	9,81	10,44	11,95	11,88	10,01	10,35
3	Atacama 220 kV	9,80	17,72	7,73	15,11	11,72	19,68	10,98	19,56
4	Calama 110 kV	6,10	5,42	4,59	4,45	7,31	6,65	6,69	6,48
5	Calama Nueva 220 kV	9,05	8,36	7,15	7,32	8,97	8,62	8,45	8,52
6	Capricornio 220 kV	6,86	8,06	5,55	6,92	6,41	7,49	5,62	6,32
7	Centinela 220 kV	8,41	8,28	6,54	7,07	7,66	7,84	6,97	7,36
8	Chacaya 220 kV	10,05	16,95	7,94	14,38	11,66	18,57	10,98	18,58
9	Chuquicamata 220 kV	8,83	8,24	7,04	7,24	8,73	8,47	8,20	8,30
10	Collahuasi 220 kV	5,79	5,35	4,56	4,61	5,07	4,97	4,17	4,14
11	Cóndores 220 kV	4,75	4,11	3,77	3,55	4,88	4,42	4,46	4,26
12	Crucero 220 kV	19,68	19,23	14,32	16,63	18,71	19,27	16,35	18,03
13	Domeyko 220 kV	11,41	11,52	8,68	9,78	11,99	12,36	10,97	11,94
14	El Cobre 220 kV	15,01	16,47	11,27	13,95	14,23	15,74	12,82	14,68
15	El Lince 110 kV	1,60	1,67	1,37	1,44	1,43	1,49	1,01	1,03
16	Encuentro 220 kV	23,13	21,57	16,19	18,53	24,72	23,89	21,72	23,97
17	Escondida 220 kV	10,48	10,63	8,06	9,03	10,29	10,74	9,30	10,02
18	Esmeralda 220 kV	3,49	3,97	2,88	3,42	3,50	3,95	3,29	3,65
19	Esperanza 220 kV	7,84	7,73	6,14	6,61	7,03	7,29	6,32	6,64
20	Farellón 220 kV	7,97	7,81	6,13	6,70	7,94	8,00	7,39	7,81
21	Frontera 220 kV	8,58	7,64	6,48	6,56	7,38	7,12	6,10	6,12
22	Geoglifos 220 kV	6,42	5,59	4,96	4,85	6,88	6,27	6,31	6,17
23	Kapatur 220 kV	25,56	31,88	19,29	26,88	29,35	34,56	27,24	35,36

N°	Barra	Icc3 [kA] Baja Inercia	Icc3 [kA] Alta Inercia	Icc2 [kA] Baja Inercia	Icc2 [kA] Alta Inercia	Icc2T [kA] Baja Inercia	Icc2T [kA] Alta Inercia	Icc1 [kA] Baja Inercia	Icc1 [kA] Alta Inercia
24	Kimal 220 kV	23,84	22,68	16,59	19,42	27,18	26,44	23,33	26,35
25	Kimal 500 kV	8,82	10,03	6,54	8,52	8,75	9,99	7,83	9,36
26	Laberinto 220 kV	15,95	17,44	11,89	14,75	15,49	17,02	14,00	16,11
27	Lagunas 220 kV	8,19	6,97	6,14	6,00	8,94	8,01	8,13	7,95
28	La Negra 110 kV	6,53	6,59	5,41	5,70	6,80	6,89	6,80	7,03
29	Monte Mina 220 kV	11,05	10,77	8,28	8,95	10,24	10,31	9,23	9,69
30	Los Changos 220 kV	25,38	31,46	19,14	26,55	30,95	36,48	28,03	36,81
31	Los Changos 500 kV	12,51	13,14	9,10	11,07	12,74	13,50	11,29	12,99
32	Mantos Blancos 220 kV	6,62	7,55	5,37	6,48	6,00	6,88	4,99	5,47
33	María Elena 220 kV	16,06	14,51	11,50	12,37	16,82	15,86	15,01	15,76
34	Mejillones 220 kV	9,96	16,42	7,88	13,94	11,17	17,20	10,59	17,16
35	Miraje 220 kV	18,32	17,82	13,19	15,26	19,25	19,20	17,44	19,46
36	Nueva Chuquicamata 220 kV	9,61	8,92	7,59	7,83	9,39	9,09	8,77	8,89
37	Nueva Pozo Almonte 220 kV	5,43	4,69	4,22	4,05	5,59	5,08	5,08	4,91
38	Nueva Zaldívar 220 kV	11,98	12,16	9,08	10,28	11,69	12,19	10,54	11,44
39	O'Higgins 220 kV	16,25	19,82	12,21	16,85	15,45	18,72	14,10	17,26
40	Parinacota 220 kV	1,47	1,13	1,23	0,98	1,91	1,47	1,79	1,45
41	Parinas 220 kV	13,99	13,65	10,43	11,14	15,34	15,39	14,44	15,17
42	Parinas 500 kV	12,88	12,19	9,20	10,23	11,21	11,28	9,14	9,67
43	Pozo Almonte 220 kV	5,22	4,52	4,07	3,91	5,35	4,88	4,85	4,69
44	Pozo Almonte 23 kV	2,79	2,38	2,38	2,06	3,07	2,65	3,18	2,74
45	Puerto Patache 220 kV	5,49	4,82	4,30	4,20	6,09	5,56	5,60	5,46
46	Pukará 66 kV	3,20	2,51	2,48	2,18	3,49	2,82	3,11	2,81
47	Roncacho 220 kV	1,31	1,01	1,08	0,88	1,42	1,12	1,30	1,12
48	Quiani 66 kV	2,82	2,21	2,14	1,92	2,72	2,29	2,40	2,23
49	Salar 220 kV	8,67	8,09	6,91	7,10	8,56	8,30	8,05	8,15
50	San Simón 220 kV	5,84	5,11	4,51	4,44	5,70	5,32	5,14	5,07
51	Tamarugal 66 kV	1,35	1,22	1,10	1,06	1,21	1,13	0,88	0,87
52	Tap Off Dolores 110 kV	1,56	1,48	1,32	1,29	1,51	1,47	1,26	1,23
53	Tap Off Vitor 2 Móvil 110 kV	1,00	0,95	0,85	0,83	1,35	1,28	1,28	1,24
54	Tarapacá 220 kV	5,59	4,90	4,38	4,27	6,44	5,86	5,89	5,74
55	Uribe 110 kV	2,98	2,91	2,43	2,52	3,43	3,38	3,45	3,52
56	Zaldívar 220 kV	11,91	12,09	9,03	10,22	11,62	12,11	10,47	11,35

Tabla 4. Niveles de Cortocircuito Escenario de Baja y Alta Inercia – Zona Norte Grande – Falla Trifásica, Falla Bifásica, Falla Bifásica a tierra y Falla Monofásica.

De la tabla anterior, se observa una diferencia considerable en los valores de corriente de cortocircuito operacionales para el máximo y el mínimo, para falla trifásica, en los escenarios de baja y alta inercia, siendo el máximo valor de 31,88 [kA] que se presenta en la barra Kapatun 220 kV y el mínimo valor de 0,95 [kA] obtenido en el Tap Off Víctor 2 Móvil 110 kV.

Al contrastar los valores obtenidos, se observa que las barras con alto enmallamiento, que son nodos a los cuales se conecta un número importante de líneas de transmisión, y aquellas barras en las cuales se conectan máquinas síncronas en forma directa, o se encuentran eléctricamente cercanas a máquinas síncronas, presentan los mayores niveles de cortocircuito (Kapatun 220 kV, Los Changos 220 kV, Kimal 220 kV y Encuentro 220 kV, con valores sobre los 20 [kA]). Por otro lado, las barras o Tap Off ubicados en el extremo de la zona, sin tener una cercanía eléctrica con alguna máquina síncrona y con tensiones menores a 220 kV, presentan los menores valores para los niveles de cortocircuito, mostrando este comportamiento para todas las fallas en barra simuladas.

Los valores de corriente de cortocircuito operacionales para cada una de las fallas simuladas en barras evidencian claramente los escenarios acondicionados, presentando niveles de cortocircuito para el caso de alta inercia por sobre los niveles resultantes del caso de baja inercia, concluyendo que en un escenario de mayor inercia se presenta un mayor índice de fortaleza de la red de transmisión. Sin embargo, debido a las condiciones de los escenarios, se presentan, excepcionalmente, niveles de cortocircuito levemente mayores para el escenario de baja inercia en comparación con el escenario de alta inercia, para algunas barras (por ejemplo: Crucero 220 kV, Encuentro 220 kV, Kimal 220 kV y Miraje 220 kV), debido particularmente a la contribución de los parques de tecnología ERV en la ejecución del método de cálculo del software.

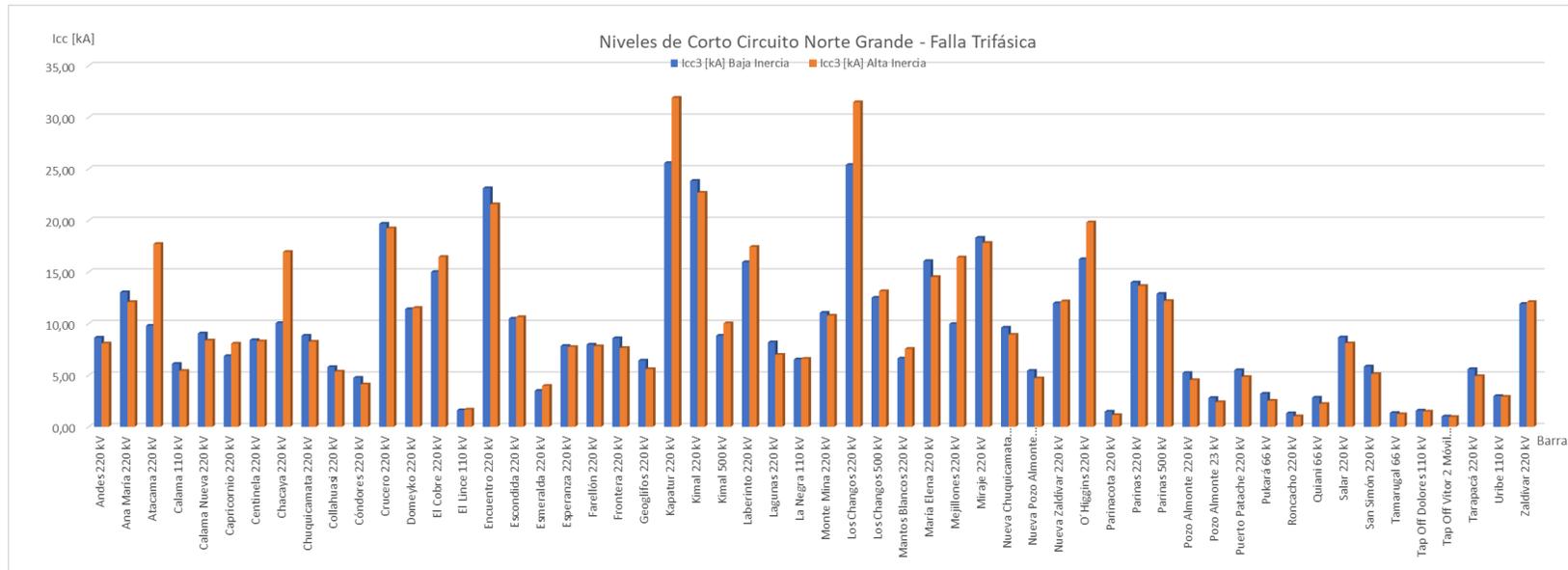


Gráfico 1. Niveles de cortocircuito en [kA] para barras del Norte Grande del SEN, para falla trifásica, escenario con alta y baja inercia.

El gráfico anterior se remite únicamente al caso de falla trifásica en barras del norte grande del SEN, que permite observar con mayor claridad la diferencia entre los niveles de cortocircuito para los casos de alta inercia y baja inercia, presentándose las mayores diferencias en barras donde se ponen en servicio máquinas síncronas, ya sea con conexión directa de una central a la barra o se encuentran cercanas eléctricamente a los puntos de conexión de dichas máquinas al sistema de transmisión.

4.2. Escenario Baja y Alta Inercia – Zona Norte Chico del SEN

N°	Barra	Icc3 [kA]		Icc2 [kA]		Icc2T [kA]		Icc1 [kA]	
		Baja Inercia	Alta Inercia						
1	Agua Amarga 220 kV	14,10	13,80	10,97	11,67	12,26	12,78	10,05	10,35
2	Algarrobal 220 kV	16,42	15,42	12,51	13,14	14,20	14,12	11,12	11,40
3	Alto del Carmen 110 kV	1,75	1,82	1,50	1,57	1,72	1,81	1,38	1,42
4	Cabildo 110 kV	0,99	0,96	0,85	0,83	1,46	1,44	1,45	1,35
5	Caldera 110 kV	1,40	1,43	1,20	1,24	1,28	1,32	0,93	0,96
6	Cardones 110 kV	8,51	8,91	7,01	7,70	10,03	10,66	10,02	10,83
7	Cardones 220 kV	20,19	17,37	14,75	14,88	22,59	20,15	20,41	20,41
8	Carrera Pinto 220 kV	14,53	11,33	10,25	9,80	15,17	12,77	13,60	13,03
9	Casas Viejas 110 kV	1,47	1,44	1,27	1,25	1,58	1,65	1,96	2,07
10	Centella 220 kV	8,29	8,82	6,86	7,47	7,85	8,30	7,22	7,53
11	Cerrillos 110 kV	4,32	4,23	3,56	3,66	4,14	4,22	3,78	3,85
12	Combarbalá 66 kV	0,49	0,48	0,42	0,42	0,49	0,48	0,37	0,36
13	Copayapu 110 kV	8,38	8,77	6,90	7,58	9,61	10,20	9,68	10,43
14	Copiapó 110 kV	2,37	2,43	2,02	2,11	2,15	2,25	1,72	1,78
15	Cumbre 220 kV	18,80	15,83	13,44	13,52	22,32	19,40	19,56	19,59
16	Cumbre 500 kV	12,87	11,36	9,12	9,58	12,09	11,29	10,31	10,49
17	Damascal 110 kV	3,79	3,71	3,20	3,18	3,47	3,44	2,56	2,49
18	Diego de Almagro 110 kV	8,87	6,95	6,52	6,04	11,46	9,38	10,05	9,26
19	Diego de Almagro 220 kV	11,49	8,88	8,16	7,73	11,60	9,76	10,47	9,90
20	Don Goyo 220 kV	11,19	11,34	8,76	9,25	10,21	10,37	8,81	9,00
21	Don Héctor 220 kV	13,92	13,09	10,60	10,98	14,19	13,58	13,06	13,19
22	El Peñón 110 kV	7,45	7,12	6,14	6,14	7,34	7,25	6,70	6,62
23	El Peñón 66 kV	4,39	4,24	3,73	3,67	4,84	4,73	4,92	4,81
24	El Salado 110 kV	3,66	3,30	2,94	2,87	3,21	3,07	2,49	2,45
25	Hernán Fuentes 110 kV	2,71	2,79	2,30	2,41	2,48	2,61	2,02	2,09
26	Illapa 220 kV	15,58	11,66	10,70	10,17	17,41	14,03	14,93	13,98
27	Illapel 110 kV	1,55	1,50	1,32	1,30	1,64	1,62	1,62	1,60
28	Incahuasi 110 kV	1,33	2,66	1,14	2,30	1,29	2,56	1,02	1,90
29	La Cebada 220 kV	13,17	13,66	10,19	11,01	14,36	14,79	13,71	14,43
30	La Ruca 110 kV	4,26	3,87	3,48	3,35	5,02	4,76	4,67	4,52
31	Las Palmas 220 kV	12,32	12,88	9,62	10,42	12,72	13,07	12,05	12,70
32	Los Vilos 220 kV	9,46	10,18	7,78	8,61	9,59	10,17	8,83	9,35
33	Maitencillo 110 kV	7,49	8,81	6,32	7,59	8,90	10,44	9,12	10,65
34	Maitencillo 220 kV	24,22	24,73	17,94	20,61	25,96	26,34	23,86	26,45
35	Marquesa 66 kV	1,26	1,21	1,09	1,05	1,19	1,13	0,96	0,91

N°	Barra	Icc3 [kA] Baja Inercia	Icc3 [kA] Alta Inercia	Icc2 [kA] Baja Inercia	Icc2 [kA] Alta Inercia	Icc2T [kA] Baja Inercia	Icc2T [kA] Alta Inercia	Icc1 [kA] Baja Inercia	Icc1 [kA] Alta Inercia
36	Monte Patria 66 kV	1,97	1,97	1,68	1,71	1,92	1,95	1,70	1,70
37	Nueva Cardones 220 kV	20,41	17,65	14,95	15,09	22,08	19,83	20,16	20,17
38	Nueva Cardones 500 kV	12,96	11,14	9,33	9,46	12,01	10,98	10,23	10,24
39	Nueva Maitencillo 220 kV	24,25	24,70	17,97	20,60	25,92	26,27	23,83	26,36
40	Nueva Maitencillo 500 kV	13,25	12,32	9,86	10,40	12,54	12,01	10,78	11,08
41	Nueva Pan de Azúcar 220 kV	21,50	21,25	16,50	17,66	22,76	22,34	21,23	22,17
42	Nueva Pan de Azúcar 500 kV	12,98	12,34	9,95	10,44	12,58	12,09	10,83	11,06
43	Ovalle 66 kV	3,40	3,30	2,87	2,86	4,63	4,58	4,44	4,41
44	Pan de Azúcar 110 kV	13,84	14,23	11,40	12,20	18,67	19,11	17,65	18,65
45	Pan de Azúcar 220 kV	17,74	17,64	13,89	14,83	19,55	19,27	18,55	19,33
46	Paposo 220 kV	3,20	2,81	2,52	2,44	4,11	3,70	3,85	3,69
47	Punitaqui 66 kV	1,11	1,08	0,95	0,94	1,09	1,09	0,87	0,86
48	Punta Colorada 220 kV	16,83	16,31	12,76	13,48	14,92	14,88	12,69	13,02
49	Punta Sierra 220 kV	14,23	14,92	10,98	12,01	24,84	26,00	18,94	20,68
50	Quereo 110 kV	2,84	2,78	2,43	2,40	3,60	3,57	3,64	3,60
51	Quínquimo 1 110 kV	1,21	1,18	1,05	1,02	1,50	1,56	1,95	1,84
52	Quínquimo 2 110 kV	1,35	1,32	1,16	1,14	1,26	1,24	1,06	1,04
53	Salamanca 110 kV	1,24	1,20	1,06	1,04	1,23	1,21	1,12	1,10
54	San Andrés 220 kV	15,15	12,68	11,16	10,92	14,69	13,14	13,50	13,22
55	Talinay 220 kV	10,26	10,44	8,08	8,50	9,84	9,95	9,20	9,40
56	Vallenar 110 kV	3,75	3,99	3,20	3,45	3,89	4,21	3,54	3,73
57	Verbenas 220 kV	10,69	10,46	8,47	8,92	10,05	10,14	9,36	9,65
58	Vicuña 110 kV	2,12	2,07	1,80	1,77	1,95	1,91	1,35	1,29

Tabla 5. Niveles de Cortocircuito Escenario de Baja y Alta Inercia – Zona Norte Chico – Falla Trifásica, Falla Bifásica, Falla Bifásica a tierra y Falla Monofásica.

De la tabla anterior, se observa una diferencia considerable en los valores de corriente de cortocircuito para el máximo y el mínimo, para falla trifásica, en los escenarios de baja y alta inercia, siendo el máximo valor 24,73 [kA] que se presenta en la barra Maitencillo 220 kV y el mínimo valor 0,48 [kA] obtenido en la barra Combarbalá 66 kV.

Al contrastar los valores obtenidos se observa que las barras con alto enmallamiento, que son nodos a los cuales se conecta un número importante de líneas de transmisión, y aquellas barras en las cuales se conectan máquinas síncronas en forma directa, o se encuentran eléctricamente cercanas a máquinas síncronas, presentan los mayores niveles de cortocircuito (Maitencillo 220 kV, que corresponde al punto de conexión de las 5 unidades de la central Guacolda, con niveles de cortocircuito por sobre los 20 [kA] para la mayoría de las fallas simuladas). Por otro lado, las barras que no tienen fuentes activas interconectadas presentan los niveles de cortocircuito más bajos para

ambos casos con baja inercia y alta inercia, por ejemplo: Combarbalá 66 kV, Cabildo 110 kV y Punitaqui 66 kV, además, no poseen cercanía eléctrica con alguna máquina síncrona, presentándose este comportamiento para todas las fallas en barra simuladas.

Los valores de corriente de cortocircuito operacionales para cada una de las fallas simuladas en barras evidencian claramente los escenarios acondicionados. En el caso de la zona Norte Chico, se presenta la particularidad de obtener niveles de cortocircuitos mayores para la mayoría de las barras en el caso de baja inercia, lo que se explica debido a que esta zona cuenta con una inercia baja, debido a la importante contribución de los parques fotovoltaicos en el escenario de baja inercia, la cual solo aumenta dependiendo del número de unidades de la central Guacolda conectada al sistema de transmisión a través de la barra Maitencillo 220 kV.

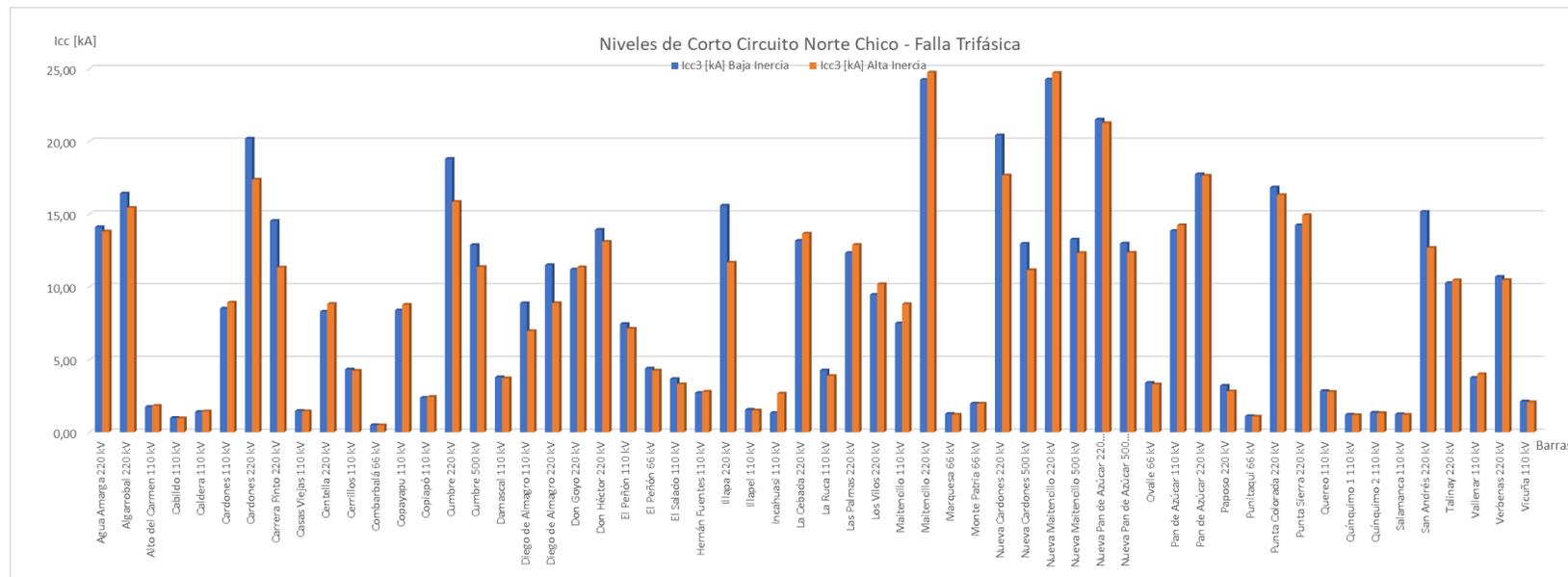


Gráfico 2. Niveles de cortocircuito en [kA] para barras del Norte Chico del SEN, para falla trifásica, escenario con alta y baja inercia.

El gráfico anterior se remite únicamente al caso de falla trifásica en barras del norte chico del SEN, que permite observar la diferencia entre los niveles de cortocircuito para los casos de alta inercia y baja inercia, presentándose la particularidad de obtener niveles de cortocircuitos mayores para la mayoría de barras en el caso de baja inercia, lo que se explica debido a que esta zona del SEN cuenta con una inercia baja que solo aumenta dependiendo del número de unidades de la central Guacolda conectada al sistema de transmisión a través de la barra Maitencillo 220 kV.

4.3. Escenario Baja y Alta Inercia – Zona Centro Norte del SEN

N°	Barra	icc3 [kA]	icc3 [kA]	icc2 [kA]	icc2 [kA]	icc2T [kA]	icc2T [kA]	icc1 [kA]	icc1 [kA]
		Baja Inercia	Alta Inercia						
1	Agua Santa 220 kV	13,05	21,16	11,00	18,21	14,16	20,42	13,52	18,30
2	Alfalfal 220 kV	10,01	13,18	8,58	11,39	11,46	13,96	11,50	13,98
3	Alhué 66 kV	1,37	1,26	1,17	1,09	1,27	1,18	0,97	0,89
4	Alto Jahuel 220 kV	21,31	31,47	17,86	26,98	28,96	38,70	27,06	37,71
5	Alto Jahuel 500 kV	11,38	16,95	9,49	14,49	13,65	18,15	12,94	17,30
6	Batuco 1 110 kV	11,74	12,73	10,01	10,95	10,79	11,66	8,96	9,15
7	Batuco 2 110 kV	11,82	12,81	10,10	11,03	10,89	11,76	9,13	9,31
8	Bollenar 110 kV	4,92	4,95	4,23	4,28	4,61	4,64	3,53	3,45
9	Casablanca 66 kV	10,16	10,49	8,76	9,08	10,37	10,51	10,26	10,32
10	Catemu 44 kV	2,89	2,81	2,52	2,44	2,79	2,71	2,34	2,26
11	Cerro Navia 220 kV	19,30	29,43	16,08	25,16	24,01	32,44	22,64	31,20
12	Chena 220 kV	19,20	28,33	16,07	24,28	22,45	29,85	21,26	27,99
13	Chocalán 66 kV	1,39	1,29	1,20	1,12	1,30	1,21	1,07	1,00
14	Curacaví 44 kV	1,89	1,78	1,65	1,55	2,62	2,43	2,39	2,25
15	El Maitén 66 kV	3,34	3,32	2,88	2,88	3,34	3,35	3,28	3,25
16	El Manzano 1 (STM) 220 kV	16,10	23,31	13,36	19,80	16,16	21,45	14,27	17,27
17	El Manzano 2 (STM) 220 kV	16,02	23,23	13,35	19,82	15,10	20,57	12,25	14,30
18	El Melón 44 kV	2,12	2,06	1,86	1,79	2,09	2,01	1,90	1,85
19	El Monte 66 kV	1,59	1,56	1,37	1,36	1,54	1,52	1,31	1,27
20	El Paico 66 kV	1,99	1,97	1,72	1,71	1,92	1,92	1,68	1,65
21	El Peumo 66 kV	2,90	2,65	2,46	2,30	3,06	2,83	3,12	2,91
22	El Salto 220 kV	13,00	16,67	10,95	14,31	13,14	15,74	11,60	12,96
23	El Totoral (Litoral) 66 kV	4,03	3,97	3,49	3,44	4,11	4,07	3,40	3,33
24	Hospital 66 kV	3,96	3,89	3,43	3,38	4,08	3,98	4,07	3,96
25	Isla de Maipo 66 kV	2,10	2,03	1,82	1,77	1,93	1,86	1,52	1,47
26	La Manga 66 kV	1,71	1,59	1,47	1,38	1,62	1,53	1,39	1,31
27	Las Arañas 66 kV	3,34	3,09	2,84	2,69	4,12	3,84	4,15	3,91
28	Leyda 110 kV	5,49	5,53	4,66	4,72	5,89	5,90	5,81	5,79
29	Litoral Central 66 kV	7,32	7,41	6,31	6,43	7,05	7,12	5,95	5,87
30	Lo Aguirre 220 kV	18,12	26,42	15,18	22,70	22,62	29,42	21,48	28,73
31	Lo Aguirre 500 kV	11,03	17,09	9,13	14,52	12,49	17,19	11,70	15,61
32	Lo Boza 1 110 kV	17,93	21,39	15,29	18,48	16,38	19,27	10,65	10,94
33	Lo Boza 2 110 kV	17,95	21,42	15,31	18,51	16,35	19,22	10,69	11,06
34	Los Almendros 220 kV	13,75	17,87	11,70	15,41	13,61	16,72	12,16	13,89
35	Los Maquis 220 kV	8,16	8,21	6,73	6,85	8,62	8,35	8,19	8,03

N°	Barra	lcc3 [kA] Baja Inercia	lcc3 [kA] Alta Inercia	lcc2 [kA] Baja Inercia	lcc2 [kA] Alta Inercia	lcc2T [kA] Baja Inercia	lcc2T [kA] Alta Inercia	lcc1 [kA] Baja Inercia	lcc1 [kA] Alta Inercia
36	Maipo 220 kV	21,16	31,12	17,73	26,68	28,36	37,69	26,64	36,85
37	Malloco 110 kV	6,28	6,39	5,41	5,54	5,85	5,91	3,78	3,78
38	Mandinga 66 kV	1,75	1,63	1,50	1,41	1,63	1,53	1,39	1,29
39	Melipilla 110 kV	8,52	8,74	7,29	7,53	8,46	8,53	8,35	8,22
40	Nogales 220 kV	16,18	27,31	13,56	23,33	16,80	25,41	15,63	21,81
41	Nueva Lampa 220 kV	16,66	24,26	13,90	20,74	17,16	22,91	15,57	19,10
42	Nueva Ventanas 220 kV	13,42	20,89	11,44	18,03	14,53	21,52	14,00	21,09
43	Polpaico 220 kV	20,25	34,77	16,65	29,39	23,28	34,19	22,01	31,58
44	Polpaico 500 kV	10,83	17,14	8,93	14,47	11,80	16,59	10,92	14,51
45	Punta Peuco 110 kV	7,98	8,25	6,81	7,08	8,59	8,71	8,53	8,63
46	Quilapilún 220 kV	12,19	10,96	10,06	9,18	12,81	10,90	11,87	10,16
47	Quillota 220 kV	16,92	35,60	14,10	30,40	20,55	35,39	19,85	34,30
48	Río Aconcagua 220 kV	15,32	23,45	12,87	20,15	15,05	21,26	13,21	16,44
49	Río Blanco 44 kV	0,89	0,88	0,78	0,76	0,84	0,83	0,47	0,46
50	Rungue 44 kV	1,65	1,62	1,44	1,41	1,64	1,61	1,16	1,14
51	San Luis 220 kV	15,69	35,90	13,13	30,80	21,85	40,64	20,41	41,17
52	Santa Marta 1 110 kV	19,25	22,43	16,46	19,40	17,39	19,94	11,16	11,56
53	Santa Marta 2 110 kV	19,27	22,47	16,48	19,43	17,39	19,92	11,23	11,68
54	Santa Rosa (CGE) 66 kV	2,22	2,03	1,89	1,76	2,16	2,00	2,05	1,90
55	Secc. Alto Melipilla 220 kV	12,40	16,09	10,45	13,81	12,98	15,64	12,54	14,80

Tabla 6. Niveles de Cortocircuito Escenario de Baja y Alta Inercia – Zona Centro Norte – Falla Trifásica, Falla Bifásica, Falla Bifásica a tierra y Falla Monofásica

De la tabla anterior, se observa una diferencia considerable en los valores de corriente de cortocircuito operacionales para el máximo y el mínimo, para falla trifásica, en los escenarios de baja y alta inercia, siendo el máximo valor de 35,90 [kA] que se presenta en la barra San Luis 220 kV y el mínimo valor de 0,88 [kA] obtenido en la barra Río Blanco 44 kV.

Al contrastar los valores obtenidos, se observa que las barras con alto enmallamiento, que son nodos a los cuales se conecta un número importante de líneas de transmisión, y aquellas barras en las cuales se conectan máquinas síncronas en forma directa, o se encuentran eléctricamente cercanas a máquinas síncronas, presentan los mayores niveles de cortocircuito (San Luis 220 kV, Quillota 220 kV, Polpaico 220 kV, Alto Jahuel 220 kV y Maipo 220 kV), presentando valores de cortocircuito por sobre los 30 [kA]. Además, las barras de entrada (puntos de inyección) al anillo de la zona metropolitana evidencian su alto nivel de enmallamiento, presentando niveles de cortocircuito superiores a los 20 [kA], por ejemplo: Chena 220 kV, Cerro Navia 220 kV y Lo Aguirre 220 kV. Por otro lado, las barras de 44 kV de la Quinta Región y las barras de 66 kV de la Sexta Región presentan los niveles de cortocircuito más bajos para ambos casos con baja inercia y alta inercia, debido a que no tienen fuentes activas interconectadas, siendo barras exclusivamente de consumo y, principalmente,

radiales, por ejemplo: Río Blanco 44 kV, Alhué 66 kV, Chocalán 66 kV, El Monte 66 kV, La Manga 66 kV, Rungue 44 kV, Mandinga 66 kV, Curacaví 44 kV y El Paico 66 kV.

Los valores de corriente de cortocircuito operacionales para cada una de las fallas simuladas en barras evidencian claramente los escenarios acondicionados, presentando niveles de cortocircuito para el caso de alta inercia por sobre los niveles resultantes del caso de baja inercia, concluyendo que un escenario de mayor inercia presenta un mayor índice de fortaleza de la red de transmisión. Sin embargo, debido a las condiciones de los escenarios, se presentan, excepcionalmente, niveles de cortocircuito levemente mayores para el escenario de baja inercia en comparación con el escenario de alta inercia, para algunas barras, (por ejemplo: Quilapilún 220 kV), debido particularmente a la contribución de los parques de tecnología ERV en la ejecución del método de cálculo del software.

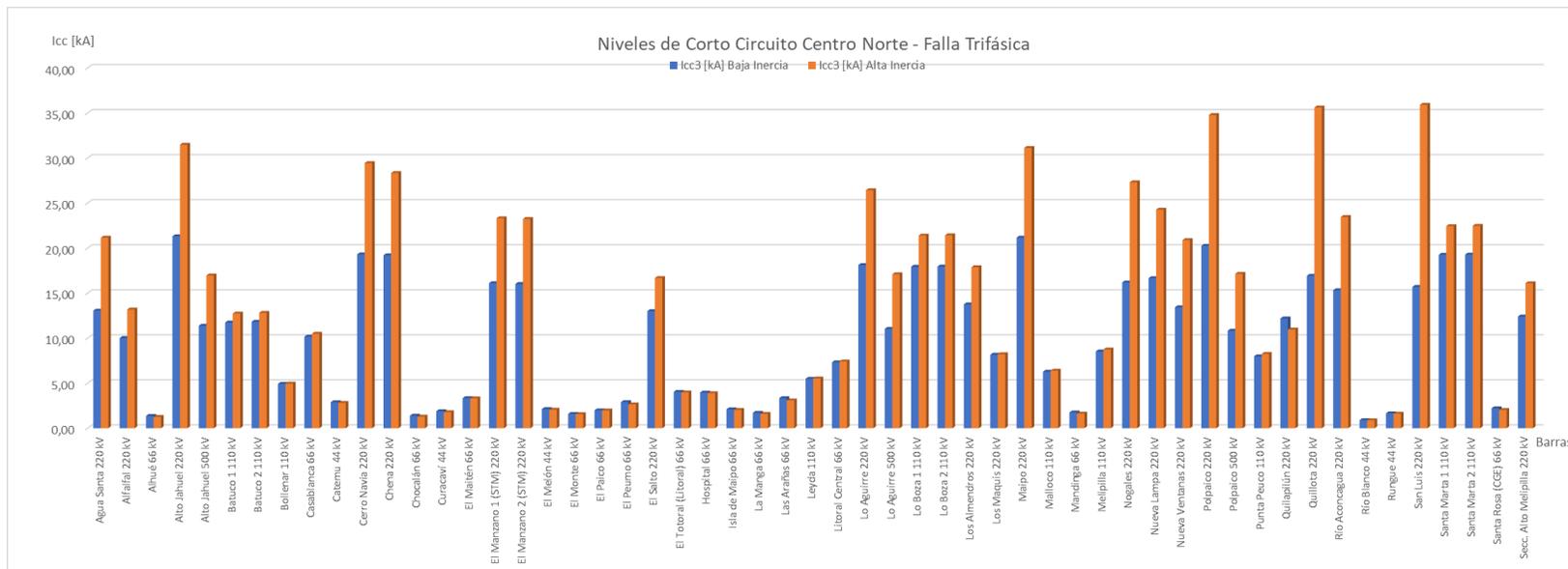


Gráfico 3. Niveles de cortocircuito en [kA] para barras del Centro Norte del SEN, para falla trifásica, escenario con alta y baja inercia.

El gráfico anterior se remite únicamente al caso de falla trifásica en barras del centro norte del SEN, que permite observar con mayor claridad la diferencia entre los niveles de cortocircuito para los casos de alta inercia y baja inercia, presentándose las mayores diferencias en barras donde se ponen en servicio máquinas síncronas y aquellas que poseen un alto nivel de enmallamiento.

4.4. Escenario Baja y Alta Inercia – Zona Centro Sur del SEN

N°	Barra	Icc3 [kA]		Icc2 [kA]		Icc2T [kA]		Icc1 [kA]	
		Baja Inercia	Alta Inercia						
1	Alameda 66 kV	3,49	3,39	3,02	2,94	4,26	4,16	4,37	4,22
2	Alcones 66 kV	1,86	2,01	1,57	1,71	1,79	1,96	1,72	1,82
3	Ancoa 220 kV	16,16	31,37	13,39	26,88	19,83	32,34	19,15	32,05
4	Ancoa 500 kV	11,01	17,77	8,80	15,06	12,28	17,61	11,42	16,15
5	Cachapoal 66 kV	4,68	4,47	4,04	3,88	4,77	4,57	4,83	4,63
6	Candelaria 220 kV	15,27	17,64	12,83	15,30	15,80	17,71	14,61	16,09
7	Cauquenes 66 kV	1,05	1,00	0,87	0,83	1,02	0,98	0,94	0,90
8	Chacahuín 66 kV	3,34	3,99	2,89	3,44	4,41	5,12	4,42	5,08
9	Chillán 66 kV	3,82	3,78	3,33	3,32	4,57	4,54	4,67	4,57
10	Chimbarongo 66 kV	2,09	1,98	1,81	1,72	3,14	2,95	2,79	2,64
11	Chumaquito 66 kV	2,46	2,34	2,13	2,03	2,33	2,22	2,10	1,96
12	Cocharcas 66 kV	2,56	2,46	2,18	2,10	2,50	2,41	2,39	2,31
13	Colbún 220 kV	16,11	31,27	13,36	26,79	19,78	32,24	19,11	31,97
14	Colchagua 66 kV	3,82	3,58	3,30	3,10	4,56	4,28	4,74	4,41
15	Constitución 66 kV	3,18	3,12	2,63	2,58	3,88	3,81	3,85	3,76
16	Curicó 1 66 kV	3,08	3,00	2,69	2,63	2,89	2,81	2,43	2,36
17	Curicó 2 66 kV	5,53	5,70	4,77	4,93	5,12	5,23	4,12	4,17
18	El Manzano CGE 66 kV	1,26	1,15	1,10	1,01	1,21	1,09	0,83	0,73
19	Graneros 66 kV	2,72	2,62	2,35	2,27	2,63	2,52	2,46	2,35
20	Hualañé 66 kV	0,69	0,66	0,60	0,57	0,66	0,62	0,57	0,55
21	Hualte 66 kV	1,41	1,34	1,21	1,15	1,31	1,25	0,98	0,94
22	Itahue 220 kV	8,45	11,07	7,16	9,53	8,61	10,60	8,08	9,39
23	Itahue 66 kV	11,81	12,92	10,14	11,15	15,86	17,05	15,56	16,82
24	La Esperanza (CGE) 66 kV	1,97	2,37	1,66	2,01	2,07	2,59	2,10	2,64
25	La Palma 66 kV	3,90	4,17	3,35	3,59	3,60	3,82	2,63	2,68
26	La Ronda 66 kV	3,81	3,68	3,29	3,19	3,90	3,74	3,90	3,73
27	La Vega 66 kV	0,85	0,81	0,71	0,68	0,81	0,78	0,69	0,66
28	Larqui 66 kV	2,34	2,33	2,03	2,03	2,19	2,17	1,73	1,66
29	Las Cabras 66 kV	1,68	1,56	1,46	1,37	1,59	1,46	1,11	1,01
30	Licantén 66 kV	0,57	0,54	0,50	0,46	0,56	0,52	0,46	0,43
31	Lihueimo 66 kV	1,42	1,49	1,21	1,28	1,31	1,37	1,11	1,15
32	Loreto 66 kV	2,01	1,89	1,74	1,64	1,91	1,81	1,67	1,59
33	Malloa 66 kV	4,89	4,76	4,23	4,13	6,56	6,38	6,54	6,34
34	Maule 220 kV	6,92	8,63	5,92	7,50	6,92	8,28	6,32	7,11
35	Nancagua 66 kV	2,37	2,24	2,06	1,95	2,28	2,16	1,75	1,64

N°	Barra	icc3 [kA] Baja Inercia	icc3 [kA] Alta Inercia	icc2 [kA] Baja Inercia	icc2 [kA] Alta Inercia	icc2T [kA] Baja Inercia	icc2T [kA] Alta Inercia	icc1 [kA] Baja Inercia	icc1 [kA] Alta Inercia
36	Nirivilo 66 kV	2,41	2,40	2,05	2,05	2,25	2,24	1,78	1,76
37	Paniahue 66 kV	1,20	1,24	1,03	1,06	1,10	1,13	0,89	0,91
38	Panguilemo 66 kV	6,85	7,91	5,90	6,83	6,62	7,49	5,71	6,11
39	Parronal 66 kV	0,80	0,77	0,69	0,67	0,77	0,73	0,67	0,65
40	Paso Hondo 66 kV	2,06	1,96	1,61	1,54	3,21	3,10	2,66	2,55
41	Pelequén 66 kV	3,87	3,73	3,35	3,23	3,75	3,59	3,57	3,40
42	Placilla (CGE) 66 kV	2,71	2,56	2,34	2,22	2,62	2,49	2,13	1,99
43	Portezuelo 110 kV	2,88	2,75	2,36	2,29	3,24	3,26	3,22	3,21
44	Portezuelo 1 66 kV	2,29	2,92	1,93	2,47	2,77	4,34	2,81	4,02
45	Portezuelo 2 66 kV	2,55	2,92	2,14	2,47	3,49	4,34	3,38	4,02
46	Pueblo Seco 154 kV	5,12	5,34	4,43	4,69	4,77	5,00	3,56	3,55
47	Puente Negro 220 kV	12,64	20,40	10,66	17,60	12,59	18,76	11,63	15,03
48	Quelentaro 110 kV	6,23	6,15	5,03	5,10	17,62	37,13	9,70	11,27
49	Quelentaro 220 kV	7,74	7,98	6,44	6,79	8,96	9,28	8,80	9,29
50	Quilmo 66 kV	2,39	2,38	2,04	2,04	2,22	2,20	1,78	1,71
51	Quinta 66 kV	1,84	1,74	1,59	1,50	2,02	1,88	1,98	1,86
52	Ranguilí 66 kV	0,62	0,59	0,53	0,51	0,59	0,55	0,49	0,47
53	Rapel 220 kV	7,82	8,08	6,51	6,88	9,13	9,49	8,96	9,47
54	Rauquén 66 kV	3,88	3,81	3,40	3,34	3,75	3,69	3,43	3,35
55	Retiro 66 kV	1,72	1,78	1,49	1,54	1,66	1,73	1,42	1,39
56	San Rafael (CGE) 66 kV	5,64	6,08	4,86	5,26	5,37	5,75	4,23	4,34
57	San Carlos 1 66 kV	1,85	1,77	1,58	1,52	1,75	1,68	1,49	1,44
58	San Carlos 2 66 kV	1,31	1,25	1,11	1,05	1,25	1,20	1,01	0,96
59	San Clemente 66 kV	3,63	4,65	3,13	4,01	3,63	4,44	3,25	3,63
60	San Vicente T.T. 1 66 kV	3,05	2,91	2,67	2,56	2,90	2,77	2,57	2,44
61	San Vicente T.T. 2 66 kV	2,37	2,25	2,05	1,95	2,21	2,08	1,61	1,53
62	Santa Elvira 66 kV	4,31	4,21	3,64	3,57	4,43	4,35	4,40	4,30
63	Solís 154 kV	9,48	11,46	8,08	9,89	13,15	15,17	12,57	14,91
64	Talca 66 kV	7,15	8,82	6,16	7,62	7,07	8,38	6,64	7,54
65	Teno 154 kV	7,96	9,22	6,80	7,95	8,89	9,89	8,83	9,75
66	Tinguiririca 220 kV	10,99	16,03	9,38	14,04	10,97	15,05	9,94	12,05
67	Tres Esquinas 66 kV	1,96	2,07	1,69	1,79	1,86	1,94	1,37	1,39
68	Tuniche 66 kV	3,04	2,90	2,63	2,51	2,90	2,75	2,55	2,46
69	Villa Alegre 66 kV	2,06	2,20	1,79	1,90	2,01	2,13	1,81	1,81

Tabla 7. Niveles de Cortocircuito Escenario de Baja y Alta Inercia – Zona Centro Sur – Falla Trifásica, Falla Bifásica, Falla Bifásica a tierra y Falla Monofásica

De la tabla anterior, se observa una diferencia considerable en los valores de corriente de cortocircuito operacionales para el máximo y el mínimo, para falla trifásica, en los escenarios de baja y alta inercia, siendo el máximo valor de 31,37 [kA] que se presenta en la barra Ancoa 220 kV y el mínimo valor de 0,54 [kA] obtenido en la barra Licantén 66 kV.

Al contrastar los valores obtenidos, se observa que las barras con interconexión de máquinas síncronas, o se encuentran eléctricamente cercanas a dichas máquinas, presentan los mayores niveles de cortocircuito (Colbún 220 kV y Ancoa 220 kV, con niveles de cortocircuito por sobre los 30 [kA] para todas las fallas en barra simuladas). Por otro lado, las barras que no tienen fuentes activas interconectadas presentan los niveles de cortocircuito más bajos para ambos casos con baja inercia y alta inercia, por ejemplo: Licantén 66 kV, Ranguilí 66 kV, Hualañé 66 kV y Parronal 66 kV, además, no poseen cercanía eléctrica con alguna máquina síncrona, presentándose este comportamiento para todas las fallas en barra simuladas.

Los valores de corriente de cortocircuito operacionales para cada una de las fallas simuladas en barras evidencian claramente los escenarios acondicionados, presentando niveles de cortocircuito para el caso de alta inercia por sobre los niveles resultantes del caso de baja inercia, concluyendo que un escenario de mayor inercia presenta un mayor índice de fortaleza de la red de transmisión. Sin embargo, debido a las condiciones de los escenarios, se presentan, excepcionalmente, niveles de cortocircuito levemente mayores para el escenario de baja inercia en comparación con el escenario de alta inercia, para algunas barras (por ejemplo: San Vicente de Tagua-Tagua 66 kV), debido particularmente a la contribución de los parques de tecnología ERV en la ejecución del método de cálculo del software.

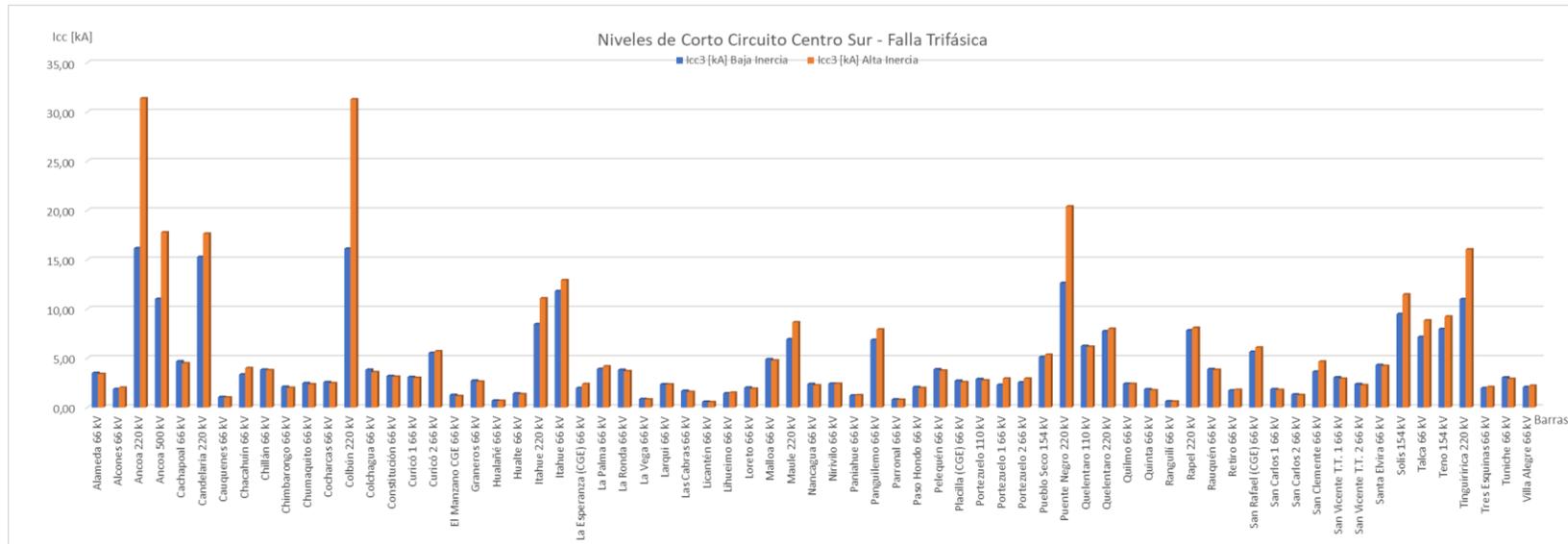


Gráfico 4. Niveles de cortocircuito en [kA] para barras del Centro Sur del SEN, para falla trifásica, escenario con alta y baja inercia.

El gráfico anterior se remite únicamente al caso de falla trifásica en barras del centro sur del SEN, que permite observar con mayor claridad la diferencia entre los niveles de cortocircuito para los casos de alta inercia y baja inercia, presentándose las mayores diferencias en barras donde se ponen en servicio máquinas síncronas y aquellas que poseen un alto nivel de enmallamiento.

4.5. Escenario Baja y Alta Inercia – Zona Sur del SEN

N°	Barra	Icc3 [kA]		Icc2 [kA]		Icc2T [kA]		Icc1 [kA]	
		Baja Inercia	Alta Inercia						
1	Aihuapí 110 kV	3,44	4,44	2,93	3,79	3,58	4,42	3,59	4,21
2	Cabrero 66 kV	5,04	5,18	4,32	4,47	4,69	4,80	3,75	3,76
3	Cautín 220 kV	9,27	10,35	7,59	8,85	9,37	10,36	8,48	9,12
4	Cerros de Huichahue 220 kV	6,04	6,43	5,04	5,47	5,90	6,30	5,57	5,73
5	Charrúa 220 kV	24,67	41,87	19,37	35,47	32,50	47,57	29,47	47,90
6	Charrúa 500 kV	10,74	16,55	8,57	14,07	12,29	16,90	11,45	16,08
7	Chiloé 220 kV	2,68	2,35	2,22	1,95	3,12	2,83	3,07	2,74
8	Chirre 110 kV	3,84	4,90	3,27	4,18	4,01	4,90	4,03	4,71
9	Cholguán 220 kV	11,75	14,27	9,87	12,57	10,57	13,04	7,97	8,62
10	Ciruelos 220 kV	6,83	7,18	5,68	6,11	7,15	7,53	6,82	7,05
11	Concepción 220 kV	7,19	8,04	6,05	7,04	7,40	8,10	7,03	7,59
12	Curanilahue 66 kV	2,23	2,02	1,89	1,70	2,00	1,79	1,28	1,20
13	Degañ 110 kV	4,45	3,56	3,63	2,92	5,43	4,59	5,30	4,38
14	Duqueco 220 kV	12,55	15,14	9,95	12,68	11,76	13,90	10,42	11,68
15	Duqueco 66 kV	5,84	5,83	4,76	4,81	7,81	7,67	7,39	7,39
16	El Avellano 66 kV	8,79	8,93	7,16	7,44	10,28	10,40	10,20	10,42
17	El Rosal 220 kV	13,68	17,35	11,04	14,74	12,59	15,69	10,50	11,86
18	Entre Ríos 220 kV	20,33	29,75	16,33	25,55	22,09	29,55	20,73	27,52
19	Entre Ríos 500 kV	10,65	16,35	8,51	13,90	11,80	16,25	11,01	15,17
20	Frutillar 66 kV	3,82	3,68	3,27	3,16	3,74	3,64	3,24	3,13
21	Frutillar Norte 220 kV	5,16	5,78	4,19	4,74	6,04	6,64	5,83	6,37
22	Guindo 220 kV	7,82	10,66	6,59	10,14	8,68	11,27	8,75	11,65
23	Hualpén 220 kV	8,24	10,81	6,92	10,05	10,46	12,76	10,19	13,54
24	Hualqui 220 kV	7,88	10,34	6,62	9,58	7,42	10,13	6,88	8,20
25	Lagunillas 220 kV	7,95	12,15	6,69	12,13	10,79	14,90	10,30	16,92
26	Laja 66 kV	3,39	3,35	2,94	2,92	3,34	3,32	2,92	2,88
27	Lastarria 220 kV	7,12	7,61	5,93	6,51	6,84	7,35	5,92	6,09
28	Laurel 220 kV	6,03	6,13	5,02	5,21	6,79	6,95	6,55	6,65
29	Lebu 66 kV	1,20	1,04	1,01	0,86	1,09	0,92	0,65	0,58
30	Los Ángeles 1 66 kV	3,31	3,30	2,81	2,84	4,18	4,21	4,19	4,20
31	Los Ángeles 2 66 kV	8,78	8,95	6,93	7,25	10,84	10,99	10,22	10,53
32	Los Negros 66 kV	1,25	1,29	1,08	1,11	1,17	1,20	0,99	0,98
33	Los Peumos 220 kV	6,96	7,51	5,72	6,40	6,54	7,06	5,66	5,86
34	Los Sauces 66 kV	0,99	1,27	0,80	1,04	0,99	1,21	0,81	0,90
35	Los Tambores 66 kV	5,43	5,39	4,75	4,77	5,33	5,35	4,47	4,35

N°	Barra	Icc3 [kA] Baja Inercia	Icc3 [kA] Alta Inercia	Icc2 [kA] Baja Inercia	Icc2 [kA] Alta Inercia	Icc2T [kA] Baja Inercia	Icc2T [kA] Alta Inercia	Icc1 [kA] Baja Inercia	Icc1 [kA] Alta Inercia
36	Los Varones 220 kV	12,06	14,46	9,64	12,17	11,26	13,27	9,73	10,80
37	Melipulli 1 220 kV	4,65	5,27	3,86	4,40	5,74	6,36	5,55	6,12
38	Melipulli 2 220 kV	4,65	5,27	3,86	4,40	5,74	6,36	5,55	6,12
39	Mulchén 220 kV	18,83	26,31	14,33	21,47	18,89	25,47	17,95	23,20
40	Nahuelbuta 66 kV	1,29	1,68	0,96	1,29	1,29	1,56	1,08	1,26
41	Negrete 66 kV	4,44	4,35	3,23	3,26	3,55	3,56	2,32	2,29
42	Nueva Ancud 220 kV	2,87	2,62	2,39	2,18	3,08	2,89	3,02	2,79
43	Nueva Pichirropulli 220 kV	6,21	6,73	5,14	5,69	6,82	7,34	6,60	6,99
44	Penco 66 kV	5,17	5,10	4,45	4,43	4,87	4,85	4,21	4,09
45	Pichil 66 kV	3,69	3,64	3,17	3,16	3,42	3,41	2,54	2,44
46	Puerto Montt 220 kV	4,65	5,28	3,86	4,40	5,75	6,38	5,56	6,13
47	Rahue 220 kV	5,48	6,22	4,52	5,22	6,18	6,86	5,98	6,57
48	Río Malleco 220 kV	12,73	15,08	10,13	12,78	12,71	14,77	11,22	12,59
49	Río Tolteén 220 kV	8,03	8,76	6,65	7,50	7,64	8,38	6,42	6,66
50	Santa Bárbara 66 kV	1,00	0,96	0,85	0,82	0,92	0,88	0,63	0,61
51	Santa Clara 220 kV	18,44	25,62	14,54	21,61	16,90	22,89	14,14	16,80
52	Temuco 220 kV	9,15	10,20	7,50	8,72	9,32	10,29	8,49	9,12
53	Tineo 220 kV	5,10	5,76	4,21	4,80	6,23	6,92	6,04	6,68
54	Traiguén 66 kV	1,57	1,51	1,35	1,31	1,52	1,48	1,24	1,20
55	Tres Pinos 66 kV	1,57	1,36	1,33	1,14	1,42	1,22	0,88	0,76
56	Valdivia 220 kV	6,10	6,18	5,08	5,25	7,09	7,23	6,85	6,94

Tabla 8. Niveles de Cortocircuito Escenario de Baja y Alta Inercia – Zona Sur – Falla Trifásica, Falla Bifásica, Falla Bifásica a tierra y Falla Monofásica

De la tabla anterior, se observa una diferencia considerable en los valores de corriente de cortocircuito operacionales para el máximo y el mínimo, para falla trifásica, en los escenarios de baja y alta inercia, siendo el máximo valor de 41,87 [kA] que se presenta en la barra Charrúa 220 kV y el mínimo valor de 0,96 [kA] obtenido en la barra Santa Bárbara 66 kV.

Al contrastar los valores obtenidos, se observa que las barras con interconexión de máquinas síncronas y alto nivel de enmallamiento, presentan los mayores niveles de cortocircuito (Charrúa 220 kV y Entre Ríos 220 kV). Por otro lado, las barras que no tienen fuentes activas interconectadas presentan los niveles de cortocircuito más bajos para ambos casos con baja inercia y alta inercia (por ejemplo: Santa Bárbara 66 kV, Lebu 66 kV y Los Sauces 66 kV). Además, no poseen cercanía eléctrica con alguna máquina síncrona, presentándose este comportamiento para todas las fallas en barra simuladas.

Los valores de corriente de cortocircuito operacionales para cada una de las fallas simuladas en barras evidencian claramente los escenarios acondicionados, presentando niveles de cortocircuito para el caso de alta inercia por sobre los niveles resultantes del caso de

baja inercia, concluyendo que un escenario de mayor inercia presenta un mayor índice de fortaleza de la red de transmisión. Sin embargo, debido a las condiciones de los escenarios, se presentan, excepcionalmente, niveles de cortocircuito levemente mayores para el escenario de baja inercia en comparación con el escenario de alta inercia, para algunas barras (por ejemplo: Chiloé 220 kV), debido particularmente a la contribución de los parques de tecnología ERV en la ejecución del método de cálculo del software.

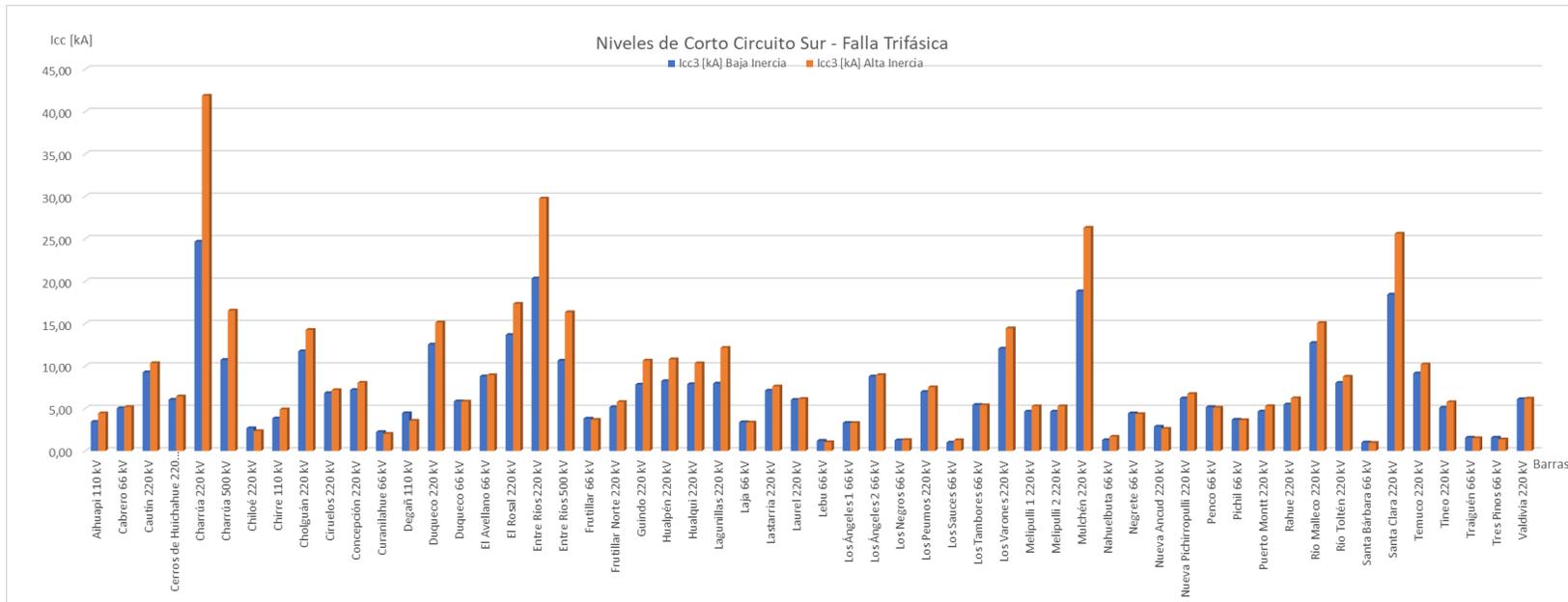


Gráfico 5. Niveles de cortocircuito en [kA] para barras del Sur del SEN, para falla trifásica, escenario con alta y baja inercia.

El gráfico anterior se remite únicamente al caso de falla trifásica en barras del sur del SEN, que permite observar con mayor claridad la diferencia entre los niveles de cortocircuito para los casos de alta inercia y baja inercia, presentándose las mayores diferencias en barras donde se ponen en servicio máquinas síncronas y aquellas que poseen un alto nivel de enmallamiento.

Anexo 1: Resultados de niveles de cortocircuito operacionales

Anexo 2: Gráficos de niveles de cortocircuito operacionales para un conjunto de barras seleccionadas

Anexo 3: Base de datos de simulación DigSilent PowerFactory