

# INFORME TÉCNICO

## ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO DE INSTALACIONES COMUNES



Gerencia de Planificación de la Transmisión

Departamento de Integridad del Sistema

Noviembre de 2019

1911-DIS-EDIC-ITE-01-V1

## CONTROL DEL DOCUMENTO

---

### APROBADO POR

Versión	Aprobado por	Cargo
1	Juan Carlos Araneda T.	Gerente de Planificación de la Transmisión

### REVISADO POR

Versión	Revisado por	Cargo
1	Erick Zbinden A.	Jefe Departamento de Integridad del Sistema

### REALIZADO POR

Versión	Realizado por	Cargo
1 A	Miguel Monasterio A.	Líder de Proyecto. Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema
	Carla Hernández O'.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema
	Felipe Neira M.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema
	Nicolás Cáceres G.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema
	Patricio Lagos R.	Ingeniero Departamento de Integridad del Sistema

### REGISTRO DE CAMBIOS

Fecha	Autor	Versión	Descripción del Cambio
28-11-2019	Departamento de Integridad del Sistema	1	Aprobado para publicación
18-11-2019	Departamento de Integridad del Sistema	A	Confección del documento

## CONTENIDO

---

<b>1</b>	<b>INDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ABREVIATURAS</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>21</b>
8.1	ETAPA 1: SELECCIÓN DE SUBESTACIONES Y TIPOS DE ANÁLISIS A REALIZAR	22
8.2	ETAPA 2: LEVANTAMIENTO DE ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL SEN	23
8.3	ETAPA 3: DESARROLLO DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS.	23
<b>9</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>26</b>
9.1	SUBESTACIÓN ALTO BONITO	28
9.2	SUBESTACIÓN BATUCO	30
9.3	SUBESTACIÓN CABILDO	31
9.4	SUBESTACIÓN CASTRO	33
9.5	SUBESTACIÓN CHARRÚA	35
9.6	SUBESTACIÓN CHOAPA	35
9.7	SUBESTACIÓN COSTANERA	36
9.8	SUBESTACIÓN ILLAPEL	38
9.9	SUBESTACIÓN LO AGUIRRE	38
9.10	SUBESTACIÓN LO BOZA	40
9.11	SUBESTACIÓN LO VALLEDOR	40
9.12	SUBESTACIÓN LOS ALMENDROS	41
9.13	SUBESTACIÓN MAIPÚ	43
9.14	SUBESTACIÓN MARBELLA	44
9.15	SUBESTACIÓN MULCHÉN	44

9.16	SUBESTACIÓN PAJARITOS	45
9.17	SUBESTACIÓN QUILLOTA	47
9.18	SUBESTACIÓN QUINQUIMO	47
9.19	SUBESTACIÓN SAN BERNARDO	49
9.20	SUBESTACIÓN SANTA RAQUEL	50
9.21	SUBESTACIÓN SANTA ROSA SUR	52
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>58</b>
<b>12</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>

## 1 INDICE DE ILUSTRACIONES

---

<i>Ilustración 1: Esquema con etapas de la metodología de trabajo EDIC 2019 .....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 2: Identificación de tramo de barra con mayor cargabilidad – S/E Alto Bonito.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 3: Ubicación de tensiones de paso y de contacto – S/E Alto Bonito.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 4: Resumen del diagnóstico de equipos de corriente continua.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 5: Resumen del diagnóstico de equipos de corriente alterna .....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 6: Cantidad de SS/EE con <math>T_p</math> y <math>T_c</math> sobre límites tolerables .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 7: Cantidad de SS/EE con tramos de barra sobrecargados .....</i>	<i>56</i>

## 2 ÍNDICE DE TABLAS

---

<i>Tabla 1: Condición más crítica de SS/AA, Capacidad de Barras y MPT .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2: Listado de subestaciones por tipo de componente común .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Criterios para clasificar instalaciones según capacidades o tensiones tolerables.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Alto Bonito. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4. Diagnóstico de capacidad de barras de S/E Alto Bonito.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5. Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Alto Bonito.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6. Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Alto Bonito .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 7. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Batuco. ....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 8: Resultados de capacidad de barra - S/E Batuco 110 kV.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 9: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Batuco.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 10: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Batuco .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 11. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Cabildo. ....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 12: Resultados de capacidad de barra - S/E Cabildo 110 kV .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 13: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Cabildo.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 14: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Cabildo .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 15. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Castro. ....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 16: Resultados de capacidad de barra - S/E Castro 110 kV.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 17: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Castro.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 18: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Castro.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 19: Resultados de capacidad de barra - S/E Charrúa 220 kV .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 20: Resultados de capacidad de barra - S/E Choapa 110 kV.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 21. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Costanera. ....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 22: Resultados de capacidad de barra - S/E Costanera 110 kV.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 23: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Costanera.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 24: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Costanera .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 25: Resultados de capacidad de barra - S/E Illapel 110 kV.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 26. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Lo Aguirre. ....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 27: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Aguirre 110 kV.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 28: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Lo Aguirre.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 29: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Lo Aguirre .....</i>	<i>40</i>

<i>Tabla 30: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Boza 110 kV .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 31: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Valledor 110 kV .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 32: Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Los Almendros.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 33: Resultados de capacidad de barra - S/E Los Almendros 110 kV.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 34: Resultados de capacidad de barra - S/E Los Almendros 220 kV.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 35: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Los Almendros .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 36: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Los Almendros.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 37: Resultados de capacidad de barra - S/E Maipú 110 kV.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 38: Resultados de capacidad de barra - S/E Marbella 110 kV.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 39: Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Mulchén.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 40: Resultados de capacidad de barra - S/E Mulchén 220 kV.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 41: Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Pajaritos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 42: Resultados de capacidad de barra - S/E Pajaritos 110 kV .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 43: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Pajaritos .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 44: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Pajaritos.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 45: Resultados de capacidad de barra - S/E Quillota 110 kV .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 46: Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Quinquimo. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 47: Resultados de capacidad de barra - S/E Quinquimo 110 kV .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 48: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Quinquimo.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 49: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Quinquimo .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 50: Resultados de capacidad de barra - S/E San Bernardo 110 kV .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 51: Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Santa Raquel.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 52: Resultados de capacidad de barra - S/E Santa Raquel 110 kV.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 53: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Santa Raquel.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 54: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Santa Raquel.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 55: Resultados de capacidad de barra - S/E Santa Rosa Sur 110 kV .....</i>	<i>52</i>

### 3 ABREVIATURAS

---

AC	: Corriente Alterna (del inglés: <i>Alternating Current</i> ).
AT	: Anexo Técnico
BD	: Base de Datos
BDIT	: Base de Datos de Información Técnica.
CB	: Capacidad de Barra.
CNE	: Comisión Nacional de Energía.
DC	: Corriente Continua (del inglés: <i>Direct Current</i> ).
DIS	: Departamento de Integridad del Sistema.
DIT	: Departamento de Información Técnica
DPL	: Del inglés <i>DigSilent Programming Language</i> .
EDIC	: Estudio de Instalaciones Comunes
FIT	: Formulario de Información Técnica.
IEEE	: Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (del inglés: <i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> ).
IT	: Información Técnica.
MEF	: Método de Elementos Finitos
MPT	: Malla de Puesta a Tierra
NT	: Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
SEN	: Sistema Eléctrico Nacional.
SI	: Sistema Interconectado
SIP	: Sistema de Información Pública.
SS/AA	: Servicios Auxiliares.
S/E, SS/EE	: Subestación, Subestaciones.

- $T_p$  : Tensión de Paso, diferencia de potencial que experimenta una persona con una separación de un (1) metro entre sus pies, sin tocar ningún objeto conectado a tierra.
- $T_c$  : Tensión de Contacto, diferencia de potencial que experimenta una persona a través de su cuerpo, si se encuentra tocando una estructura metálica al ocurrir una falla.

## 4 RESUMEN EJECUTIVO

---

### INTRODUCCIÓN

En el contexto del proceso de planificación de la transmisión, el presente estudio busca diagnosticar el estado de las instalaciones comunes de las subestaciones que son parte de la Propuesta Anual de Expansión de la Transmisión 2019 [1], en adelante la Propuesta, elaborada por este Coordinador. Los análisis desarrollados se encuentran orientados a identificar de manera temprana las instalaciones que puedan ver comprometida su capacidad o márgenes seguros de operación de sus componentes comunes, producto de las obras de ampliación.

Para llevar a cabo lo anterior, se diagnosticaron un total de veinte y un (21) subestaciones, enfocando los análisis en tres componentes comunes principales, estos son, los sistemas de Servicios Auxiliares (SS/AA), Mallas de Puesta a Tierra (MPT) y Capacidad de Barras (CB); para un escenario actual y otro futuro, correspondientes a los años 2019 y año 2024 respectivamente.

### METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el Estudio de Instalaciones Comunes 2019 (EDIC-2019), se aplica una metodología de trabajo secuencial constituida por tres (3) etapas, las que en conjunto tienen por objetivo evaluar los SS/AA, MPT y CB de las subestaciones con obras de ampliación incorporadas, y a partir de ello, realizar análisis orientados a la verificación de su condición para una operación segura.

En primera instancia se realiza una identificación de las subestaciones que son parte de la Propuesta de Expansión del Coordinador 2019 y mediante la aplicación de criterios desarrollados de manera específica para los fines de este estudio, se seleccionan las subestaciones que serán consideradas dentro del alcance del EDIC-2019.

Posteriormente, se realiza un levantamiento de la información técnica de las instalaciones bajo análisis haciendo uso de los antecedentes que se encuentran en la plataforma Infotécnica, disponible en nuestro sitio web [2]. Adicionalmente, en caso de ser necesario, se solicitó información a las empresas coordinadas y se definieron criterios para estimar información técnica no disponible.

El estudio considera la definición de dos (2) horizontes temporales de análisis, correspondientes a los años 2019 y 2024, así como escenarios de estudio específicos para cada tipo de análisis, los que se orientan al diagnóstico y evaluación de las condiciones de diseño de las instalaciones.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se realiza una clasificación de las subestaciones según el estado actual y futuro detectado en cada uno de los componentes analizados, identificando aquellas subestaciones que en la actualidad presentan una condición subestándar y aquellas que hacia el año 2024 requerirán de una adecuación adicional de sus componentes.

## PRINCIPALES RESULTADOS

En la *Tabla 1* se identifica para cada subestación la condición más crítica detectada por tipo de componente analizado, para los años 2019 y 2024. Junto a ello, se presentan las instalaciones clasificadas según los criterios de diagnóstico correspondientes a los estados normal, alerta, crítico o de incumplimiento de la instalación. De los resultados resumidos, se precisa lo siguiente:

- Para todas las subestaciones existe al menos un equipo de los sistemas de SS/AA que presenta una condición de sobrecarga, ya sea para el año 2019 como 2024.
- En la condición actual, un total de dos (2) de las subestaciones analizadas presenta al menos un tramo de barra en condición de sobrecarga. Hacia el año 2024, este número aumenta a ocho (8) de las subestaciones analizadas, lo que se explica por el aumento de los flujos de potencia producto de la conexión de las obras ampliación.
  - Año 2019: Maipú 110 kV y Choapa 110 kV
  - Año 2024: Batuco 110 kV, Costanera 110 kV, Illapel 110 kV, Pajaritos 110 kV, San Bernardo 110 kV y Santa Rosa Sur 110 Kv.
- Ocho (8), de un total de diez (10) subestaciones analizadas, presentan al menos una zona con tensiones de paso y de contacto sobre los límites tolerables para su condición actual. Estas son: Alto Bonito 110 kV, Cabildo 110 kV, Castro 110 kV, Costanera 110 kV, Los Almendros 220/110 kV, Pajaritos 110 kV, Santa Raquel 110 kV y Quinquimo 110 kV. Las zonas con incumplimiento se ubican mayoritariamente en los alrededores de los cercos de las subestaciones. Esta situación se mantiene al año 2024 al conectar las obras de ampliación.

Tabla 1: Condición más crítica de SS/AA, Capacidad de Barras y MPT

Subestación	SS/AA				Capacidad Barras				MPT			
	Año 2019		Año 2024		Año 2019		Año 2024		Año 2019		Año 2024	
	Elemento SS/AA	Estado	Elemento SS/AA	Estado	Tramo Barra	Estado	Tramo Barra	Estado	Zona	Estado	Zona	Estado
Batuco 110kV	B. Baterías	●	B. Baterías	●	B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	Tc1	●	Tc1	●
Cabildo 110kV	B. Baterías	●	B. Baterías	●	B1_B1_H1-1	●	B1_B1_H1-1	●	Tc1	●	Tc1	●
Costanera 110kV	G. Electrógeno	●	G. Electrógeno	●	B1_H1-1_HT1-1	●	B1_H1-1_HT1-1	●	Tc1	●	Tc1	●
Lo Aguirre 110kV	Cargador	●	Cargador	●	B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	Tc1	●	Tc1	●
Lo Boza 110kV	N/A				B2_B2_H2	●	B2_B2_H2	●	N/A			
Lo Valledor 110kV	N/A				B2_B2_H2	●	B2_B2_H2	●	N/A			
Maipú 110kV	N/A				B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	N/A			
Pajaritos 110kV	Cargador	●	Cargador	●	B2_B2_H2	●	B2_B2_H2	●	Tc1	●	Tc1	●
San Bernardo 110kV	N/A				B2_B2_H2	●	B2_B2_H2	●	N/A			
Santa Rosa Sur 110kV	N/A				B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	N/A			
Santa Raquel 110kV	Cargador	●	Cargador	●	B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	Tc1	●	Tc1	●
Alto Bonito 110kV	B. Baterías	●	B. Baterías	●	B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	Tc1	●	Tc1	●
Castro 110kV	B. Baterías	●	B. Baterías	●	B1_H2_H1	●	B1_H2_H1	●	Tc1	●	Tc1	●
Charrúa 220kV	N/A				B1_J1_JT5	●	B1_J1_JT5	●	N/A			
Choapa 110kV	N/A				B1_H4_H5	●	B1_H4_H5	●	N/A			
Illapel 110kV	N/A				B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	N/A			
Los Almendros 110kV	Cargador	●	Cargador	●	BT_HS_HT1	●	B1_H3_HT2	●	Tc1	●	Tc1	●
Los Almendros 220kV	N/A				B1_JT1_JS1	●	B1_J3_J2	●	N/A			
Marbella 110kV	N/A				B1_H1_HT1	●	B1_H1_HT1	●	N/A			
Mulchén 220kV	Cargador	●	Cargador	●	B1_J3_J5	●	B2_J4_J6	●	N/A			
Quillota 110kV	N/A				B1_HT_HT3	●	B1_HT_HT3	●	N/A			
Quinquimo 110kV	Cargador	●	Cargador	●	B1_B1_H1	●	B1_B1_H1	●	Tc1	●	Tc1	●

● Incumplimiento    ● Alerta    N/A: No aplica análisis según criterios del estudio  
● Crítico    ● Normal

## CONCLUSIONES

A raíz de los resultados obtenidos y de los análisis desarrollados para cada componente considerado como instalación común en el presente estudio, se concluye lo siguiente:

### Servicios Auxiliares

- De la totalidad de las subestaciones analizadas, se advierte que los equipos de corriente continua son los que presentan mayoritariamente una condición de sobrecarga. Los resultados muestran que los bancos de baterías y cargadores de un total de nueve (9) y de diez (10) subestaciones, respectivamente, presentan dicha condición.
- Las sobrecargas detectadas para los equipos de corriente continua y alterna se mantienen para los análisis correspondientes a los años 2019 y 2024, por lo que el estado de los SS/AA no se ve mayormente impactados por la inclusión de las obras de ampliación, son que obedecen a condiciones preexistentes. Únicamente el Transformador de SS/AA de S/E Lo Aguirre evoluciona a un nivel de sobrecarga al año 2024.

### Mallas de Puesta a Tierra

- Del análisis de la condición actual se desprende que las tensiones  $T_c$  tienen un mayor grado de incumplimiento, manteniéndose esta situación para el año 2024. Lo anterior da cuenta que los incumplimientos detectados no son atribuibles a las ampliaciones de las subestaciones, sino que obedecen a condiciones de preexistencia.
- Las SS/EE Alto Bonito 110 kV, Cabildo 110 kV y Castro 110 kV presentan incumplimientos de sus tensiones  $T_c$  y  $T_p$  tolerables de manera simultánea.
- Como resultado de los incumplimientos detectados en las MPT existentes, se recomienda verificar el cumplimiento de las tensiones  $T_p$  y  $T_c$  con mediciones en terreno, particularmente de las zonas identificadas como críticas en el presente Informe, y definir planes de normalización independiente de que puedan ejecutarse obras de ampliación futuras.

### Capacidad de Barras

- El efecto de las obras de ampliación se manifiesta en los aumentos de flujos de potencia de las subestaciones, y por el consiguiente, en el aumento de la cantidad de subestaciones con al menos un tramo de barra en condición de sobrecarga. Para el año 2024, un total de ocho (8) subestaciones presentan tramos de barra que evolucionan a un estado de sobrecarga.

Ello representa un aumento respecto de las dos (2) subestaciones con tramos de barra sobrecargados al año 2019.

- Para las dos (2) subestaciones con tramos de barra sobrecargados en su condición actual, correspondientes a la S/E Maipú 110 kV y S/E Choapa, se recomienda analizar la necesidad de establecer políticas de restricción operativas frente a las condiciones y escenarios bajo los cuales podrían ocurrir las sobrecargas, o bien establecer refuerzos adicionales para recibir las potenciales obras de ampliación.

## 5 INTRODUCCIÓN

---

La Propuesta elaborada por este Coordinador en cumplimiento de lo establecido en el Artículo 91° de la Ley de Transmisión [3], definió un conjunto de obras nuevas y de ampliación para los distintos segmentos del sistema de Transmisión, cuyo impacto en las instalaciones existentes constituye un elemento de análisis a tener en cuenta al momento de evaluar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NT) vigente.

En particular, resulta relevante verificar si las instalaciones del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) que son objeto de ampliación, ya sea por la conexión de nuevos elementos o por el aumento de capacidad de los equipos existentes, se encuentran aptas para recibir las conexiones de los proyectos de ampliación. Como consecuencia de dichas conexiones, se prevé, entre otros efectos, un aumento en los flujos de potencia y los niveles de cortocircuito, lo que potencialmente puede degradar el desempeño del SEN.

Frente a este escenario, las instalaciones comunes existentes en las subestaciones constituyen un foco de análisis en el proceso de planificación de la transmisión dado su impacto en las siguientes dimensiones:

- Seguridad del sistema: para lo cual se considera necesario determinar el estado de MPT, en atención a su importancia para mantener condiciones de seguridad para las personas y equipos.
- Calidad y continuidad del servicio: se analizan los niveles de carga de los SS/AA de modo de garantizar el funcionamiento de los sistemas de protección, control y protección de la subestación.
- Acceso abierto a instalaciones: se desarrollan análisis de flujos de potencia a efectos de comprobar la capacidad de las barras para recibir nuevos paños en la subestación.

El Coordinador, de acuerdo con las atribuciones definidas en el Artículo 2-23 de la NT, y en su rol de preservar la seguridad del servicio del sistema y verificar el cumplimiento normativo de las instalaciones que se incorporan al Sistema Interconectado (SI), entrega el EDIC en su versión 2019 cuyo propósito es presentar un diagnóstico temprano de los SS/AA, MPT y CB de las subestaciones que contemplan obras de ampliación en la Propuesta 2019 del Coordinador.

El presente Informe resume los valores más exigentes por cada tipo de análisis del EDIC-2019, los que son sintetizados en los resultados entregados en la sección 9. Adicionalmente, dada la extensión de los resultados obtenidos, se dejan a disposición de cualquier interesado los resultados detallados para cada caso en la sección *Anexos*.

Finalmente, es necesario precisar que las recomendaciones y conclusiones del presente estudio no eximen la responsabilidad de cada empresa coordinada de comprobar el cumplimiento normativo de sus instalaciones. Del mismo modo, las empresas que eventualmente se adjudiquen las obras de ampliación deberán desarrollar los estudios e ingeniería requeridos para la conexión de sus proyectos.

## 6 OBJETIVOS

---

El EDIC-2019 tiene como objetivo presentar un diagnóstico temprano de los SS/AA, MPT y de la CB, para el conjunto de SS/EE del SEN que podrían recibir futuras obras de ampliación, según la Propuesta del Coordinador.

El Informe enfoca sus análisis en verificar tempranamente, que las instalaciones comunes de una S/E, entendiéndose como tal los SS/AA, la MPT y la CB, cumplen con las características técnicas mínimas necesarias para operar de forma segura en un escenario actual y otro futuro, correspondientes a los años 2019 y 2024, respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos, y con la finalidad de que el SEN proporcione un servicio eléctrico seguro y de calidad, se identifican tempranamente los refuerzos o adecuaciones que son requeridos para que las instalaciones existentes subsanen las potenciales situaciones de incumplimiento que hayan sido detectadas, y que pudiesen afectar el proceso de expansión eléctrico previsto. Asimismo, si el diagnóstico determina que la obra de ampliación trae consigo una condición subestándar para la instalación existente, se advierte oportunamente la necesidad de modificar o rediseñar soluciones de ingeniería que permitan mantener los estándares de seguridad y calidad de servicio que el país requiere, considerando el continuo crecimiento de la red eléctrica nacional.

En particular, el desarrollo del EDIC-2019 considera los siguientes objetivos específicos:

- Calcular los niveles de carga en los equipos que componen los SS/AA de las subestaciones bajo estudio, de modo de verificar las holguras existentes respecto de sus capacidades nominales.
- Verificar si las tensiones de paso ( $T_p$ ) y tensiones de contacto ( $T_c$ ) de las MPT en las subestaciones bajo estudio, se encuentran dentro de los rangos admisibles conforme a los estándares nacionales e internacionales en esta materia, tales como el reglamento NSEG 5 En. 71 [4] y los estándares IEEE Std. 80-2013 [5] o IEEE Std. 81-2012 [6].
- Determinar los flujos de carga por cada tramo de barra en las subestaciones bajo estudio, a efectos de comprobar si las capacidades nominales en régimen permanente de las barras, o sus tramos, soportan las corrientes circulantes por ellos.
- Establecer las necesidades de adecuación o reemplazo de instalaciones a razón de la incorporación de las obras de ampliación.

- Realizar recomendaciones frente a las potenciales condiciones subestándares o de riesgo que sean detectadas.

## 7 ALCANCE

El alcance del EDIC-2019 abarca el desarrollo de las siguientes actividades:

- Desarrollo de tres (3) estudios específicos orientados al diagnóstico de los SS/AA, MPT y de la CB. En la *Tabla 2* se identifica con un ticket verde el tipo de análisis EDIC que aplica para cada subestación, según los criterios de selección definidos en la sección 8.1. Las subestaciones marcadas con una equis en color rojo no requieren el tipo de análisis que se indica conforme el mismo criterio.

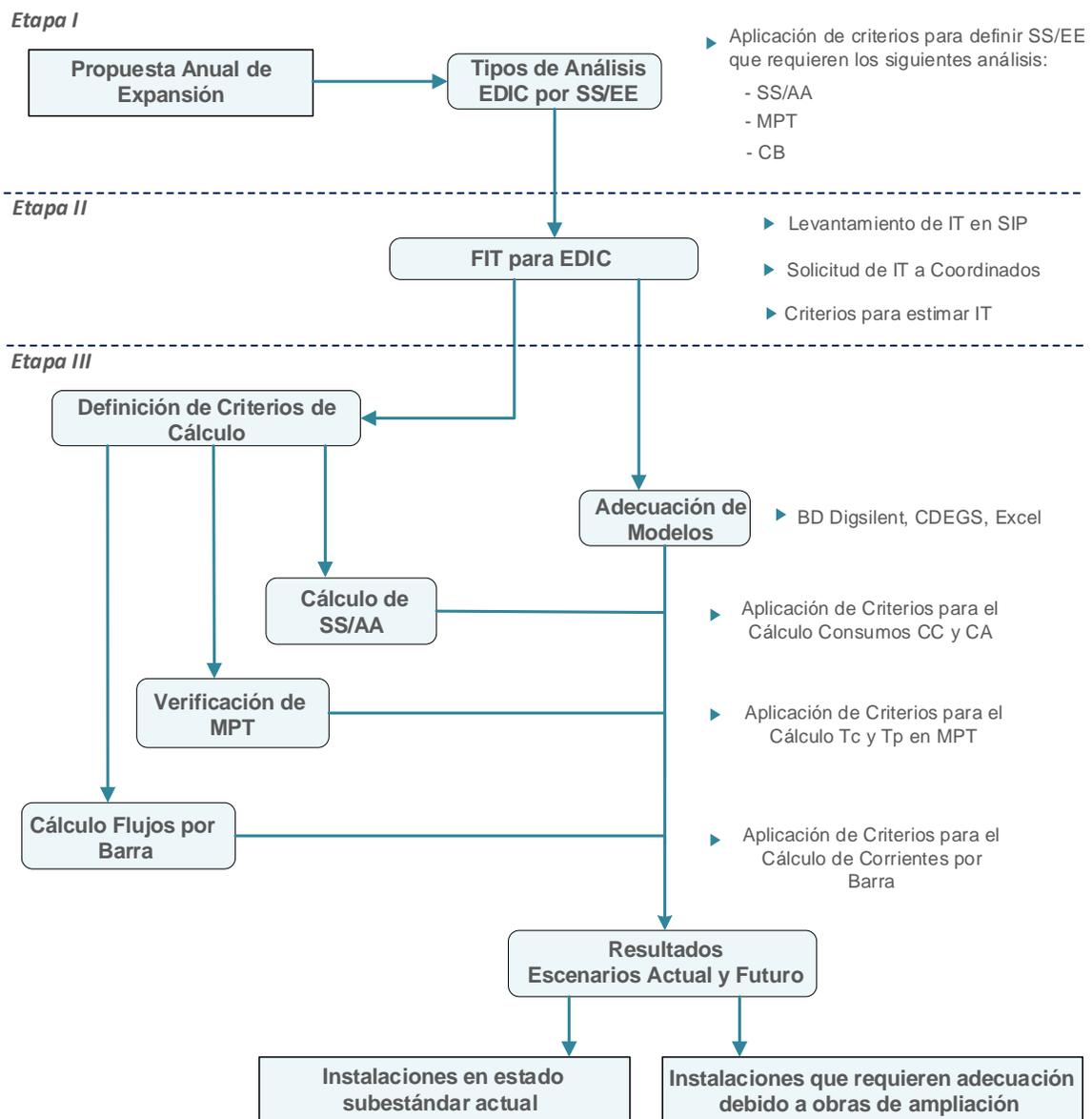
*Tabla 2: Listado de subestaciones por tipo de componente común*

Nombre de la S/E	Nivel de Tensión [kV]	Tipo de Análisis		
		SS/AA	MPT	CB
Alto Bonito	110	✓	✓	✓
Batuco	110	✓	✓	✓
Cabildo	110	✓	✓	✓
Castro	110	✓	✓	✓
Charrúa	220	✗	✗	✓
Choapa	110	✗	✗	✓
Costanera	110	✓	✓	✓
Illapel	110	✗	✗	✓
Lo Aguirre	110	✓	✓	✓
Lo Boza	110	✗	✗	✓
Lo Valledor	110	✗	✗	✓
Los Almendros	220/110	✓	✓	✓
Maipú	110	✗	✗	✓
Marbella	110	✗	✗	✓
Mulchén	220	✓	✗	✓
Pajaritos	110	✓	✓	✓
Quillota	110	✗	✗	✓
Quinquimo	110	✓	✓	✓
San Bernardo	110	✗	✗	✓
Santa Raquel	110	✓	✓	✓
Santa Rosa Sur	110	✗	✗	✓

- Recopilar y consolidar la información técnica, según el alcance de cada estudio específico.
- Definición de criterios, para estimar parámetros técnicos y clasificar el estado de las instalaciones.
- Desarrollo de planillas de cálculo para determinar los requerimientos de capacidad de los siguientes componentes de SS/AA:
  - Bancos de baterías.
  - Cargadores de baterías.
  - Transformadores de SS/AA.
  - Grupos electrógenos.
- Modelación de las MPT en software CDEGS® y la realización de simulaciones para diagnosticar el estado de las instalaciones, considerando la evolución de los niveles de cortocircuito y las ampliaciones previstas en cada subestación.
- Desarrollo de una base datos (BD) específica en software Digsilent para calcular los flujos de potencia en cada tramo de barra de las subestaciones, tanto en su condición actual como futura.
- Análisis de resultados y conclusiones del estudio.

## 8 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La *Ilustración 1* corresponde a una representación esquemática del desarrollo metodológico para realizar el EDIC-2019. Como se señala anteriormente, éste se compone de tres (3) análisis específicos, los que se realizan según sus metodologías y memorias de cálculos individuales, las que se encuentran contenidas en los *Anexos 1, 2 y 3* del presente Informe.



*Ilustración 1: Esquema con etapas de la metodología de trabajo EDIC 2019*

En las siguientes secciones se describen de manera secuencial, cada una de las tres (3) etapas que conforman la metodología de trabajo, las que han sido desarrolladas con el propósito de reproducir el comportamiento eléctrico esperado de las instalaciones comunes a las obras de ampliación de una subestación, y a partir de ello, realizar análisis orientados a la verificación de su capacidad y operación segura.

## 8.1 ETAPA 1: SELECCIÓN DE SUBESTACIONES Y TIPOS DE ANÁLISIS A REALIZAR

Las subestaciones que requieren análisis de sus instalaciones comunes son seleccionadas a partir de la Propuesta del Coordinador como parte del ejercicio de expansión de la transmisión correspondiente al año 2019. Del grupo de subestaciones y obras de expansión, se seleccionan aquellas que cumplan de manera simultánea con los siguientes criterios:

- Las subestaciones deben encontrarse en servicio y entregadas a la operación.
- La tensión nominal de la subestación debe corresponder a niveles de 100 kV o superior.
- Las obras propuestas consideradas serán aquellas asociadas a ampliaciones de subestaciones existentes.

Una vez seleccionado el grupo de subestaciones de interés, se determina el tipo de análisis EDIC que requiere cada una de ellas, para lo cual se verifica que se cumplan las siguientes condiciones:

- *Análisis de SS/AA*: cuando la obra de ampliación contemple la conexión de nuevos paños en alguno de los patios existentes en la subestación.
- *Análisis de MPT*: cuando la obra de ampliación conecte o modifique instalaciones tal que aumenten los niveles de cortocircuito residual en la subestación.
- *Análisis de CB*: cuando la obra de ampliación conecte o modifique instalaciones tal que aumenten los flujos de potencia circulantes en subestación.

En relación con los horizontes temporales de evaluación considerados, se plantean dos (2) escenarios de modo de identificar la evolución que experimentarán las instalaciones en las siguientes situaciones:

- Año 2019: correspondiente a la condición de operación para el año de publicación de la Propuesta del Coordinador.
- Año 2024: correspondiente a la condición futura de la subestación para el año de puesta en servicio de las ampliaciones previstas en la Propuesta del Coordinador.

## 8.2 ETAPA 2: LEVANTAMIENTO DE ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL SEN

La información técnica para el desarrollo del EDIC-2019 corresponderá a los antecedentes técnicos entregados por los propietarios de las instalaciones en cumplimiento del Artículo 5 del Anexo Técnico: Información Técnica de Instalaciones y Equipamiento [7]. Dichos antecedentes se encuentran a libre disposición de cualquier interesado en la plataforma de Infotécnica disponible en nuestro sitio web [2].

Para los casos que requirieron antecedentes adicionales, o bien complementar aquellos existentes, se solicitó a las empresas coordinadas el envío de información adicional siguiendo los procesos de solicitud y actualización de información del Departamento de Información Técnica (DIT) del Coordinador. La información entregada fue incorporada a la Base de Datos de Información Técnica (BDIT) disponible en la plataforma de Infotécnica.

La información técnica de las obras de ampliación previstas en cada subestación se obtendrá:

- De los informes de ingeniería conceptual desarrollados como parte de la Propuesta del Coordinador [1].
- Mediante criterios para estimar información técnica, aplicando una regla de homologación a partir de instalaciones de similares características existentes en el SEN.

Finalmente, como resultado de esta etapa, se genera un Formulario de Información Técnica (FIT) para cada una de las subestaciones por tipo de análisis, con el propósito de consolidar la información necesaria para los estudios.

## 8.3 ETAPA 3: DESARROLLO DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS.

Con los antecedentes recabados en la etapa 2 se construye y ajusta la modelación de las instalaciones bajo análisis en softwares especializados para estudios eléctricos y se aplican los procedimientos de cálculo específicos para cada tipo de análisis.

La fase de adecuación de modelos contempla el desarrollo de lo siguiente:

- *BD para SS/AA*: consistente en el desarrollo de planillas automatizadas de cálculo formato *.xls*, las que permiten determinar los niveles de carga de los equipos AC y DC de los SS/AA de la subestación.
- *BD para MPT*: consistente en la modelación en software CDEGS® de las subestaciones bajo análisis, considerando los tipos de suelo, geometrías de las MPT y líneas con cables de

guardia. A partir de este desarrollo, se llevan a cabo las simulaciones, basadas en el Método de Elementos Finitos (MEF), para la obtención de las tensiones  $T_p$  y  $T_c$  en la subestación.

- *BD para capacidad de barras*: consistente en la representación en software Digsilent de las barras y paños que conforman la subestación utilizando redes independientes para cada una de ellas. En esta BD, adicionalmente, se implementan rutinas de cálculo en DPL para facilitar la ejecución de las simulaciones de flujos de potencia.

A partir de las BD de cálculo para cada tipo de análisis, se obtienen los resultados que permiten determinar el estado en el que se encuentran las instalaciones comunes analizadas, dada sus capacidades de diseño y márgenes tolerables para operación segura de las instalaciones. Para clasificar las instalaciones se aplican las siguientes definiciones:

- *Estado Normal* (color verde): el elemento evaluado presenta valores bajos respecto de su capacidad de diseño o márgenes seguros de operación.
- *Estado de Alerta* (color amarillo): el elemento evaluado presenta valores medios respecto de su capacidad de diseño o márgenes seguros de operación.
- *Estado Crítico* (color rojo): el elemento evaluado presenta un nivel muy ajustado respecto de la capacidad de diseño o márgenes seguros de operación.
- *Incumplimiento* (color morado): los valores calculados para los elementos evaluados superan su capacidad de diseño o márgenes seguros de operación. Las instalaciones en este estado requieren un aumento de sus capacidades nominales o análisis específicos que profundicen las condiciones detectadas.

En la *Tabla 3*, se presenta la métrica utilizada para diagnosticar las instalaciones:

*Tabla 3. Criterios para clasificar instalaciones según capacidades o tensiones tolerables.*

Criterio	Estado	Código de Color
El valor calculado se encuentra entre el 0% y 50% de la capacidad nominal o tensión tolerable.	Normal	VERDE
El valor calculado se encuentra entre el 51% y 84% de la capacidad nominal o tensión tolerable.	Alerta	AMARILLO

<b>Criterio</b>	<b>Estado</b>	<b>Código de Color</b>
El valor calculado se encuentra entre el 85% y 100% de la capacidad nominal o tensión tolerable.	<b>Crítico</b>	<b>ROJO</b>
El valor calculado es mayor que la capacidad nominal o tensión tolerable.	<b>Incumplimiento</b>	<b>MORADO</b>

Como resultado de esta etapa se identifican aquellos componentes y equipamiento que requieren ser reforzados debido a dos (2) situaciones:

- Instalaciones en estado crítico en su condición actual.
- Instalaciones que requieren adecuación producto de las obras de ampliación.

## 9 ANÁLISIS Y RESULTADOS

---

En esta sección se presentan para cada subestación, los análisis y resultados obtenidos en el marco del desarrollo de los estudios específicos para el diagnóstico de los SS/AA, MPT y CB que conforman el EDIC-2019.

En las secciones 9.1 a 9.21 se resumen los resultados con los valores más exigentes para cada subestación y por tipo de análisis realizado, siguiendo la métrica para el diagnóstico de las instalaciones indicada en la sección anterior.

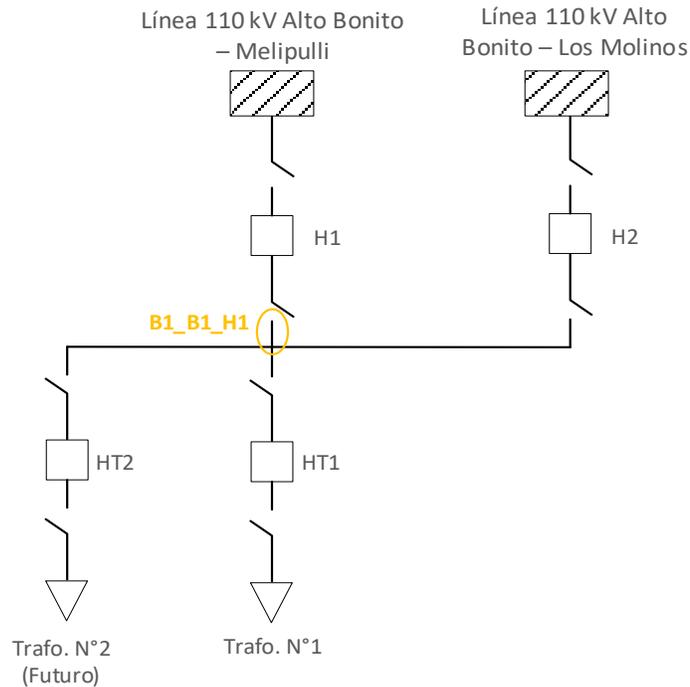
Los resultados son presentados de la siguiente manera:

- **SS/AA:** se muestra de manera resumida el valor más alto de carga del banco de baterías, cargador de baterías, el transformador de SS/AA y el grupo electrógeno para cada subestación. Como complemento de las tablas de la presente sección, en el *Anexo 4*, *Anexo 5* y *Anexo 6* se entrega en detalle las cargas resultantes a cada equipo de SS/AA, así como planillas empleadas para los cálculos en corriente alterna y corriente continua.
- **Capacidad de barra:** se identifica el tramo de barra con el valor más alto de carga y su magnitud correspondiente. Para la numeración de los tramos de barra se utiliza la siguiente nomenclatura:

*Nombre Barra \_ Nombre Paño 1 \_ Nombre Paño 2*

Los resultados con el detalle de las cargas por cada tramo de la subestación se presentan en el *Anexo 7*. Junto a lo anterior, en el *Anexo 8* se presentan diagramas unilineales simplificados de las subestaciones bajo análisis para facilitar la ubicación de los tramos de barra más exigidos.

A modo de ejemplo, en la *Ilustración 2*, se muestra el tramo de barra 2 ubicado entre el paño H1 y la barra 2, el que corresponde al tramo con mayor cargabilidad para la S/E Alto Bonito 110 kV.



*Ilustración 2: Identificación de tramo de barra con mayor cargabilidad – S/E Alto Bonito*

- **MPT:** se identifican las zonas de la subestación con las tensiones  $T_P$  y  $T_C$  más elevadas. Los puntos con la numeración de las tensiones  $T_P$  y  $T_C$  que se muestran en las tablas de la presente sección, se identifican para cada subestación en el *Anexo 9*

A modo de ejemplo, en la *Ilustración 3* se presenta una muestra de las tensiones  $T_P$  y  $T_C$  obtenidas para el caso de S/E Alto Bonito.

Adicionalmente, debe tenerse presente que desde el Anexo 10 al Anexo 13, se presentan los Informes de Modelación y de Diagnóstico que dieron origen a los resultados de las MPT.

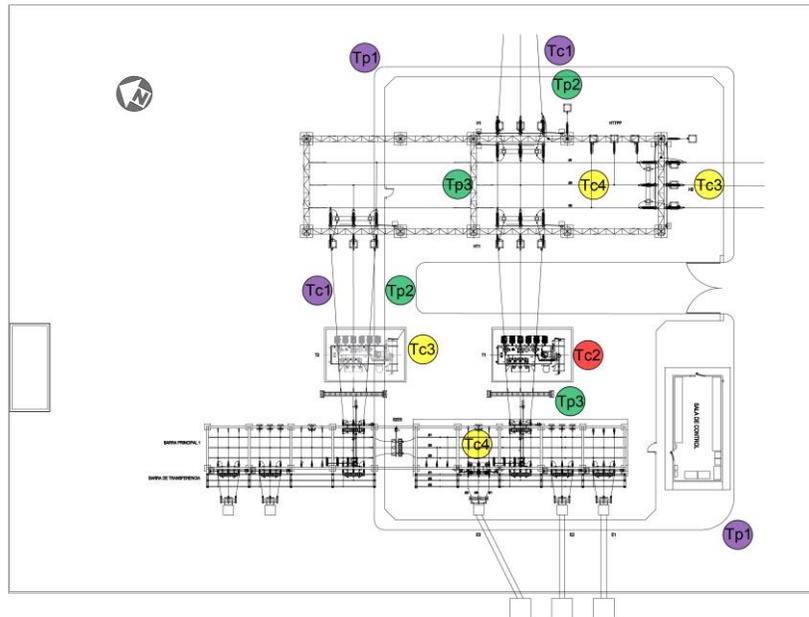


Ilustración 3: Ubicación de tensiones de paso y de contacto – S/E Alto Bonito

## 9.1 SUBESTACIÓN ALTO BONITO

- SS/AA:** El banco de baterías evoluciona a un nivel de sobrecarga producto de la ampliación de la subestación. En el caso de los cargadores de baterías y transformador de SS/AA, éstos se encuentran en un nivel medio y bajo respectivamente, no existiendo problemas de carga asociados a la obra de ampliación. Las sobrecargas en los elementos de corriente continua superiores a 2000% dan cuenta de una sobreestimación de los consumos informados.

Tabla 4. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Alto Bonito.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Alto Bonito 110 kV	Banco de Baterías	N°1	97%	6108%	104%	6116%
	Cargador	N°1	78%	2237%	80%	2239%
	Transformador	N°1	43%	40%	48%	45%
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** La instalación de un nuevo transformador AT/MT de 30 MVA, no compromete la cargabilidad de los tramos de barra más exigidos en la subestación al año 2024. El valor máximo de carga, tanto para 2019 como 2024, es de 69%.

Tabla 5. Diagnóstico de capacidad de barras de S/E Alto Bonito.

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Alto Bonito 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,549	69%	0,549	69%
	Red N-1	HT1 abierto	B1_B1_H1	0,548	69%	0,549	69%

- **MPT:** Los valores  $T_p$  y  $T_c$  calculados en el patio de equipos de la S/E se encuentran dentro de los rangos de estado normal. Se detecta una zona ubicada en el perímetro exterior del patio cuyos valores de  $T_p$  y  $T_c$  resultan mayores que las tensiones tolerables.

Tabla 6. Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Alto Bonito

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Alto Bonito	Cerco (exterior)	Tp1	3847	2513,7	153%	3887	2513,7	155%
	Cerco (interior)	Tp2	1165,4	2513,7	46%	1178	2513,7	47%
	Patio S/E	Tp3	399,3	2513,7	16%	403,5	2513,7	16%

Tabla 7. Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Alto Bonito

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Alto Bonito	Cerco (exterior)	Tc1	4170	748,3	557%	3050	748,3	408%
	Transf. N°1	Tc2	705,6	748,3	94%	737,4	748,3	99%
	Cerco (interior)	Tc3	549,3	748,3	73%	571,3	748,3	76%
	Patio S/E	Tc4	393,0	748,3	53%	405,2	748,3	54%

## 9.2 SUBESTACIÓN BATUCO

- **SS/AA:** Se advierten problemas de sobrecarga en los elementos de corriente continua destinados a alimentar los consumos de los sistemas de comunicación de la subestación. Adicionalmente, se presenta sobrecarga en el transformador de SS/AA la que corresponde a una condición actual no atribuible a la ampliación de la subestación.

Tabla 8. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Batuco.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Batuco 110 kV	Banco de Baterías	N°2 (C)	156%	S/I	156%	S/I
	Cargador	N°2 (C)	118%	S/I	118%	S/I
	Transformador	N°1	105%	S/I	110%	S/I
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** Al año 2019 no se tienen tramos de barra con sobrecarga para las condiciones N ó N-1 de la subestación. El estado de la subestación evoluciona al año 2024 a una condición de sobrecarga al considerar la indisponibilidad de los paños de línea H1 ó H2. Lo anterior es ocasionado por el aumento de los flujos de potencia debido a la conexión de la cuarta unidad de transformación AT/MT de 50 MVA

Tabla 9: Resultados de capacidad de barra - S/E Batuco 110 kV

S/E	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Batuco 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,328	43%	0,459	60%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,656	86%	0,919	120%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,656	86%	0,919	120%

- **MPT:** No se advierten tensiones que superen los valores tolerables en la S/E tanto para el año 2019 como para el 2024. Todos los equipos al interior de la S/E presentan tensiones en rangos de estado normal, existiendo una zona de alerta en el cerco exterior de la S/E (Tc1).

Tabla 10: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Batuco

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Batuco	Cerco (exterior)	Tp1	113,4	2530,1	4%	115,3	2523,7	5%
	Cerco (interior)	Tp2	34,2	2530,1	1%	23,3	2523,7	1%
	Patio S/E	Tp3	11,6	2530,1	0%	11,8	2523,7	0%

Tabla 11: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Batuco

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Batuco	Cerco (exterior)	Tc1	465,6	753,6	62%	473,4	751,7	63%
	Cerco (interior)	Tc2	93,1	753,6	12%	94,7	751,7	13%
	Patio S/E	Tc3	46,6	753,6	6%	47,3	751,7	6%

### 9.3 SUBESTACIÓN CABILDO

- **SS/AA:** Se advierte que todos los elementos de SS/AA se encuentran sobrecargados, ya sea considerando la evaluación con consumos estimados o informados.

Tabla 12. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Cabildo.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Cabildo 110 kV	Banco de Baterías	N°1	206%	709%	219%	723%
	Cargador	N°1	172%	429%	177%	434%

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Cabildo 110 kV	Transformador	N°1	301%	254%	326%	274%
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** La obra de ampliación correspondiente a la habilitación del transformador de reserva, si bien determina un aumento en la cargabilidad máxima de los tramos de barra del orden de 30% al año 2024, no ocasiona que la subestación evolucione a un estado crítico.

Tabla 13: Resultados de capacidad de barra - S/E Cabildo 110 kV

S/E	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Cabildo 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1-1	0,161	48%	0,235	70%
	Red N-1	HT1 abierto	B1_B1_H1-1	0,000	0%	0,069	21%

- **MPT:** De los resultados obtenidos para las tensiones  $T_p$ , se advierten dos zonas con tensiones mayores a las tolerable, en los alrededores del cerco de la S/E y de los bancos de condensadores. Las tensiones  $T_c$  se ubican por sobre los valores tolerables para toda el área del reticulado de la MPT.

Tabla 14: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Cabildo

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Cabildo	Cerco	Tp1	3303,4	2697,3	122%	3303	2697,3	122%
	BBCC	Tp2	2085,8	2697,3	77%	2086	2697,3	77%
	Camino interior	Tp3	1058,9	2697,3	39%	1059	2697,3	39%
	89-HT	Tp4	716,6	2697,3	27%	716,6	2697,3	27%

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Cabildo	Transf. N°1	Tp5	374,4	2697,3	14%	374,4	2697,3	14%

Tabla 15: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Cabildo

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Cabildo	BBCC	Tc1	7030	796,8	882%	7030	796,8	882%
	Casa Control	Tc2	4950	796,8	621%	4950	796,8	621%
	Patio S/E	Tc3	2880	796,8	361%	2880	796,8	361%

#### 9.4 SUBESTACIÓN CASTRO

- **SS/AA:** Se presentan niveles de carga correspondientes a estado crítico o sobrecarga para los bancos de baterías y cargadores, independiente de si la evaluación se realiza con consumos estimados o informados. El transformador de SS/AA presenta estado normal para todos los casos analizados.

Tabla 16. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Castro.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Castro 110 kV	Banco de Baterías	N°1	139%	224%	150%	235%
	Cargador	N°1	96%	130%	100%	133%
	Transformador	N°1	19%	2%	21%	5%
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** La máxima cargabilidad de los tramos de barra se mantiene bajo el 40% para los años 2019 y 2024, lo que implica un estado normal de estas instalaciones. La

propuesta de un nuevo transformador AT/MT de 16 MVA no determina un aumento en la cargabilidad máxima de las barras.

Tabla 17: Resultados de capacidad de barra - S/E Castro 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Castro 110 kV	Red N	-	B1_H2_H1	0,121	23%	0,121	23%
	Red N-1	H2 abierto	B1_H2_H1	0,201	38%	0,202	38%

- MPT:** Para ambos horizontes de análisis se advierten tensiones  $T_p$  y  $T_c$  en rangos de incumplimiento, principalmente asociados a los extremos del reticulado de la MPT. Adicionalmente para el año 2024 se aprecia un aumento de las tensiones en la zona del patio de 23 kV, influenciado por el aumento de la corriente residual que fluye hacia la MPT, pese a esto los rangos de tensión en esta zona permanecen en una condición de alerta ubicándose por debajo de límites tolerables.

Tabla 18: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Castro

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Castro	Cerco (exterior)	Tp1	4842,6	2738,2	177%	5508	2738,2	201%
	Casa Control	Tp2	2909,4	2738,2	106%	3309	2738,2	121%
	Patio 23kV	Tp3	1459,5	2738,2	53%	1660	2738,2	61%
	Camino interior	Tp4	976,2	2738,2	36%	1110	2738,2	41%
	Equipos S/E	Tp5	492,9	2738,2	18%	560,7	2738,2	20%

Tabla 19: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Castro

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Castro	Cerco (exterior)	Tc1	8260	805,5	1026%	9320	805,5	1157%
	Cerco (interior)	Tc2	5780	805,5	718%	6480	805,5	805%
	Patio S/E	Tc3	3290	805,5	408%	3640	805,5	452%

## 9.5 SUBESTACIÓN CHARRÚA

- **Capacidad de Barras:** En condiciones de red N, los tramos de barras de S/E Charrúa 220 kV presentan un estado normal, manteniendo su carga bajo el 50% para ambos años de estudio. Considerando el aumento de los flujos en la subestación ocasionado por el repotenciamiento del nuevo tramo generado desde la S/E Mulchén hasta la S/E Charrúa, se incrementa la cargabilidad del tramo de barra más exigido a un valor de 61% al año 2024. La condición anterior no representa una restricción para esta subestación.

Tabla 20: Resultados de capacidad de barra - S/E Charrúa 220 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Charrúa 220 kV	Red N	-	B1_J1_JT5	1,106	42%	1,169	44%
	Red N-1	JT6 abierto	B1_J1_JT5	1,555	58%	1,620	61%

## 9.6 SUBESTACIÓN CHOAPA

- **Capacidad de Barras:** Para los años 2019 y 2024 se detectan sobrecargas en tramos de barra, los que no se ven mayormente impactados por el aumento de capacidad de la línea 110

kV Choapa – Illapel. Los tramos de barra con sobrecarga se deben a la inyección de potencia asociada a la línea de transmisión del Generador Los Olivos.

Tabla 21: Resultados de capacidad de barra - S/E Choapa 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Choapa 110 kV	Red N	-	B1_H4_H5	0,645	105%	0,645	105%
	Red N-1	H4 abierto	B1_H3_H4	0,645	105%	0,645	105%
	Red N-1	H4 abierto	B1_H4_H5	0,645	105%	0,645	105%

## 9.7 SUBESTACIÓN COSTANERA

- **SS/AA:** El banco de baterías presenta un nivel de carga crítico al considerar consumos estimados. La condición evoluciona a sobrecarga si se consideran consumos informados. El grupo electrógeno muestra un nivel de sobrecarga independiente del tipo de consumo que se utilice para realizar la evaluación.

Tabla 22. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Costanera.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Costanera 110 kV	Banco de Baterías	N°1	85%	101%	92%	108%
	Cargador	N°1	68%	75%	69%	77%
	Transformador	N°2	64%	34%	68%	39%
	Grupo Electrónico	N°1	440%	282%	489%	347%

- **Capacidad de Barras:** Para el escenario más exigente al año 2024, se tiene un tramo de barra en condición de sobrecarga para la condición N de la subestación. Para el caso en que el nuevo transformador AT/MT 50 MVA se mantenga como reserva en la subestación, la

condición de carga corresponderá a la contingencia del paño HT1, alcanzando un valor de cargabilidad de 68% para el tramo más exigido.

Tabla 23: Resultados de capacidad de barra - S/E Costanera 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Costanera 110 kV	Red N	-	B1_H1-1_HT1-1	0,131	34%	0,394	102%
	Red N-1	HT1 abierto	B1_H1-1_HT1-1	0,000	0%	0,263	68%

- **MPT:** Las tensiones  $T_p$  calculadas para los años 2019 y 2024 se encuentran en estado normal. En relación con las tensiones  $T_c$  se identifica una zona riesgosa en estado de incumplimiento, ubicada en el perímetro exterior del área de la MPT. Sin embargo, todos los equipos y estructuras de la S/E se encuentran en rangos de tensión por debajo de los límites tolerables.

Tabla 24: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Costanera

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Costanera	Cerco (exterior)	Tp1	255,7	2549,4	10%	257,1	2549,4	10%
	Cerco (interior)	Tp2	81,8	2549,4	3%	82,3	2549,4	3%
	Patio S/E	Tp3	57	2549,4	2%	57,3	2549,4	2%

Tabla 25: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Costanera

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Costanera	Cerco (exterior)	Tc1	917,1	759,6	121%	918,6	759,6	121%
	Cerco (interior)	Tc2	509,1	759,6	67%	511,9	759,6	67%
	Patio S/E	Tc3	280,9	759,6	37%	282,4	759,6	37%

## 9.8 SUBESTACIÓN ILLAPEL

- **Capacidad de Barras:** Para el año 2024 se prevé una condición de sobrecarga, tanto para una condición de red N como N-1. El aumento de capacidad de la línea 110 kV Chopa - Illapel aumenta los flujos en la subestación, ocasionando que los tramos de barras más exigidos evolucionen en su condición de alerta a sobrecarga.

Tabla 26: Resultados de capacidad de barra - S/E Illapel 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Illapel 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,318	83%	0,604	158%
	Red N	-	B1_B1_H2	0,176	46%	0,462	121%
	Red N-1	H3 abierto	B1_B1_H1	0,182	47%	0,402	105%
	Red N-1	H3 abierto	B1_B1_H2	0,182	47%	0,402	105%

## 9.9 SUBESTACIÓN LO AGUIRRE

- **SS/AA:** Los elementos encargados de alimentar los sistemas de comunicaciones se encuentran en sobrecarga en su condición actual. Adicionalmente, el transformador de SS/AA evoluciona a un estado de sobrecarga producto de la ampliación en la subestación.

Tabla 27. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Lo Aguirre.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Lo Aguirre 110 kV	Banco de Baterías	N°2 (C)	297%	S/I	297%	S/I
	Cargador	N°2 (C)	452%	S/I	452%	S/I
	Transformador	N°1	95%	S/I	107%	S/I
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** El tramo de barra más exigido experimenta un aumento en su cargabilidad hasta alcanzar un valor de 93%, debido a la inclusión del nuevo transformador

AT/MT de 50 MVA en la subestación. A pesar de ello, no se tienen tramos sobrecargados para los años 2019 y 2014 en condición N ó N-1.

Tabla 28: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Aguirre 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Lo Aguirre 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,055	16%	0,318	93%
	Red N-1	HT1-1 abierto	B1_B1_HT2	0,000	0%	0,263	77%

- **MPT:** Las tensiones  $T_P$  y  $T_C$  calculadas para los años 2019 y 2014 se encuentran en un estado normal en la S/E, ubicándose por debajo de los límites tolerables. Se identifica una zona en estado crítico, la que se encuentra ubicada al borde del reticulado de la MPT, en las cercanías del cerco perimetral.

Tabla 29: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Lo Aguirre

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	$T_p$ /Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	$T_p$ /Tolerable [%]
Lo Aguirre	Cerco (exterior)	Tp1	232,0	2560,8	9%	232	2560,8	9%
	Camino interior	Tp2	95,5	2560,8	4%	95,5	2560,8	4%
	Casa Control	Tp3	72,8	2560,8	3%	72,8	2560,8	3%
	89-T1	Tp4	50,0	2560,8	2%	50,0	2560,8	2%
	Tranf. N°1	Tp5	27,3	2560,8	1%	27,3	2560,8	1%

Tabla 30: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Lo Aguirre

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Lo Aguirre	Cerco (exterior)	Tc1	747,3	762,5	98%	747,3	762,5	98%
	Casa Control	Tc2	330,3	762,5	43%	330,3	762,5	43%
	Camino interior (lado cerco)	Tc3	260,8	762,5	34%	260,8	762,5	34%
	Camino interior (lado equipos)	Tc4	191,3	762,5	25%	191,3	762,5	25%
	Transf. N°1	Tc5	121,8	762,5	16%	121,8	762,5	16%

### 9.10 SUBESTACIÓN LO BOZA

- **Capacidad de Barras:** El proyecto de reemplazo del transformador N°4 para aumentar su capacidad de 25 MVA a 50 MVA, ocasiona que los tramos de barra más exigidos evolucionen de un estado de alerta a crítico hacia el año 2024. No obstante, esta condición no produce la aparición de tramos con sobrecarga para red N ó N-1.

Tabla 31: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Boza 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Lo Boza 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,397	39%	0,462	45%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,798	78%	0,930	91%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,798	78%	0,930	91%

### 9.11 SUBESTACIÓN LO VALLEDOR

- **Capacidad de Barras:** La obra de ampliación consistente en el aumento de capacidad de la línea Tap Lo Valledor – Lo Valledor C1 y C2, no compromete la cargabilidad de los tramos de barra más exigidos en la subestación. El valor máximo se ubica en el orden de 65%, lo que

significa un estado de alerta en la subestación. Esta condición deberá tenerse presente en el eventual escenario de conexión de nuevos transformadores AT/MT en esta subestación.

Tabla 32: Resultados de capacidad de barra - S/E Lo Valledor 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1A		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Lo Valledor 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,230	23%	0,329	32%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,462	45%	0,662	65%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,462	45%	0,662	65%

## 9.12 SUBESTACIÓN LOS ALMENDROS

- **SS/AA:** Los cargadores de batería asociados a los consumos de los sistemas de comunicación se encuentran sobrecargados. El grupo electrógeno evoluciona a un estado crítico producto de la ampliación en la subestación.

Tabla 33. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Los Almendros.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Los Almendros 110 kV	Banco de Baterías	N°2 (C)	90%	S/I	90%	S/I
	Cargador	N°3 (C)	109%	S/I	109%	S/I
	Transformador	N°1	24%	S/I	26%	S/I
	Grupo Electrónico	N°1	75%	S/I	87%	S/I

- **Capacidad de Barras:** Los tramos de barra de S/E Los Almendros 110 kV y 220 kV presentan estados normales y de alerta al año 2019, situación que no se ve desmejorada al incluir la nueva unidad de transformación 220/110 kV de 400 MVA propuesta en esta subestación.

Tabla 34: Resultados de capacidad de barra - S/E Los Almendros 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Los Almendros 110 kV	Red N	-	B1_H2_HS	1,073	34%	1,078	34%
	Red N-1	HT1 abierto	B1_H3_HT2	N/B	N/B	2,098	67%
	Red N-1	HT-1 transferido	BT_HS_HT1	2,098	67%	1,103	35%

Tabla 35: Resultados de capacidad de barra - S/E Los Almendros 220 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Los Almendros 220 kV	Red N	-	B1_JT1_JS1	1,056	34%	0,381	12%
	Red N-1	J2-1 abierto	B1_JT1_JS1	1,062	34%	0,354	11%
	Red N-1	JT1-1 abierto	B1_J3_J2	N/B	N/B	1,056	34%

- **MPT:** Todas las tensiones  $T_p$  se encuentran bajo los valores tolerables de tensión. Para el caso de las tensiones  $T_c$ , se tienen que la totalidad de los equipos se encuentra en una zona de estado crítico, acentuándose dicha condición a valores sobre los tolerables en las zonas del cerco de la S/E.

Tabla 36: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Los Almendros

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Los Almendros	Cerco (exterior)	Tp1	1071,6	2519,7	43%	1136	2519,7	45%
	Cerco (interior)	Tp2	325,0	2519,7	13%	344,4	2519,7	14%
	Casa Control	Tp3	218,3	2519,7	9%	231,4	2519,7	9%

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Los Almendros	GIS 220kV	Tp4	111,7	2519,7	4%	118,3	2519,7	5%
	Transformador	Tp5	111,7	2519,7	4%	118,3	2519,7	5%
	GIS 110kV	Tp6	111,7	2519,7	4%	118,3	2519,7	5%

Tabla 37: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Los Almendros

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Los Almendros	Cerco (exterior)	Tc1	3271,6	750,0	436%	2768	750,0	369%
	Cerco (interior)	Tc2	2010,8	750,0	268%	2095	750,0	279%
	Camino interior	Tc3	1380,4	750,0	184%	1423	750,0	190%
	GIS 220kV	Tc4	750,0	750,0	100%	750	750,0	100%
	Transformador	Tc5	750,0	750,0	100%	750	750,0	100%
	GIS 110kV	Tc6	750,0	750,0	100%	750	750,0	100%

### 9.13 SUBESTACIÓN MAIPÚ

- **Capacidad de Barras:** La S/E presenta sobrecarga en su estado actual para los tramos indicados en la *Tabla 38*. Esta condición es alcanzada para el escenario E1S, esto es, considerando una condición de diseño en la que los transformadores operen de manera simultánea a su máxima capacidad. La anterior sobrecarga se ve acentuada al año 2024 debido al aumento de capacidad de 22,4 MVA a 50 MVA propuesto para esta subestación.

Tabla 38: Resultados de capacidad de barra - S/E Maipú 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Maipú 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,183	54%	0,256	75%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,366	107%	0,511	150%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,366	107%	0,511	150%

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Maipú 110 kV	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_HS1	0,235	69%	0,380	111%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_HS1	0,235	69%	0,380	111%
	Red N-1	HS1 abierto	B2_B2_H2	0,235	69%	0,380	111%

#### 9.14 SUBESTACIÓN MARBELLA

- **Capacidad de Barras:** La obra de ampliación consistente en el aumento de capacidad de la línea 110 kV Marbella – Quillota no supone un incremento en la cargabilidad de las barras en subestación Marbella 110kV, manteniéndose todos los tramos de barra en estado normal para los años 2019 y 2024.

Tabla 39: Resultados de capacidad de barra - S/E Marbella 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Marbella 110 kV	Red N	-	B1_H1_HT1	0,120	24%	0,195	39%
	Red N-1	HT1 abierto	B1_H1_HT1	0,185	37%	0,192	39%

#### 9.15 SUBESTACIÓN MULCHÉN

- **SS/AA:** Todos los cargadores de baterías se encuentran sobrecargados, tanto en su condición actual como futura. El transformador de SS/AA presenta estado crítico si se consideran consumos informados; No obstante, esta situación no se presenta al considerar consumos estimados.

Tabla 40. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Mulchén.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Mulchén 220 kV	Banco de Baterías	N°2	36%	61%	40%	66%
	Cargador	N°1	101%	122%	105%	126%

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Mulchén 220 kV	Transformador	N°1	49%	93%	56%	100%
	Grupo Electrónico	N°1	24%	74%	29%	82%

- **Capacidad de Barras:** No se advierten sobrecargas para ninguno de los tramos de barra en condición de red N ó N-1. Este mismo escenario se mantiene para los años 2019 y 2024, ocurriendo un leve incremento del orden de 3% de cargabilidad asociado al tramo más cargado en el año 2024 respecto del 2019.

Tabla 41: Resultados de capacidad de barra - S/E Mulchén 220 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Mulchén 220 kV	Red N	-	B2_J4_J6	0,575	40%	0,623	43%
	Red N-1	J7 transferido	B1_J3_J5	1,300	89%	0,515	35%
	Red N-1	J3 abierto	B2_J4_J6	1,179	81%	1,224	84%

## 9.16 SUBESTACIÓN PAJARITOS

- **SS/AA:** Todos los bancos de baterías y cargadores se encuentran sobrecargados en la actualidad. Adicionalmente, el Transformador presenta un estado crítico para ambos consumos y años de análisis.

Tabla 42. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Pajaritos.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Pajaritos 110 kV	Banco de Baterías	N°2 (C)	156%	S/I	156%	S/I
	Cargador	N°2 (C)	197%	S/I	197%	S/I
	Transformador	N°1	87%	S/I	90%	S/I

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Pajaritos 110 kV	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** La inclusión de un nuevo transformador AT/MT de 50 MVA ocasiona que la máxima cargabilidad del año 2019, correspondiente a un valor de 78% evolucione a una condición de sobrecarga del orden de 104% bajo condición de red N-1.

Tabla 43: Resultados de capacidad de barra - S/E Pajaritos 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Pajaritos 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,395	39%	0,528	52%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,794	78%	1,062	104%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,794	78%	1,062	104%

- **MPT:** Las tensiones  $T_p$  se ubican por debajo de los límites tolerables, identificándose solo una zona en estado crítico, localizada en el cerco perimetral de la S/E. Las tensiones  $T_c$  muestran zonas en estado de incumplimiento asociadas principalmente a lugares de tránsito en la S/E, mientras que las zonas donde se encuentran ubicados los equipos primarios de la S/E presentan estado crítico.

Tabla 44: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Pajaritos

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Pajaritos	Cerco (exterior)	Tp1	2343,4	2686,4	87%	2379,2	2686,4	89%
	Camino interior	Tp2	715,0	2686,4	27%	725,9	2686,4	27%
	Sala Control	Tp3	482,3	2686,4	18%	489,7	2686,4	18%
	Sala Celdas	Tp4	482,3	2686,4	18%	489,7	2686,4	18%

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tp ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Pajaritos	Patio S/E	Tp5	249,7	2686,4	9%	253,5	2686,4	9%

Tabla 45: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Pajaritos

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	Tc ≤ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Pajaritos	Cerco (exterior)	Tc1	4740	793	598%	4800	793	605%
	Cerco (interior)	Tc2	2770	793	349%	2800	793	353%
	Camino interior	Tc3	1780	793	224%	1800	793	227%
	Patio S/E	Tc4	793	793	100%	793	793	100%

### 9.17 SUBESTACIÓN QUILLOTA

- **Capacidad de Barras:** El proyecto de cambio de conductor del tramo 110kV Quillota – Marbella no implica un aumento significativo en la cargabilidad de las barras más exigidas de S/E Quillota 110kV. En condiciones normales, los tramos de barra mantienen un estado normal con un valor máximo de alrededor del 30% para ambos años, mientras que en condición N-1 alcanzan la condición de alerta, con un 55% de carga.

Tabla 46: Resultados de capacidad de barra - S/E Quillota 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Quillota 110 kV	Red N	-	B1_HT_HT3	0,644	30%	0,654	31%
	Red N-1	HT5 abierto	B1_HT_HT3	1,180	55%	1,180	55%

### 9.18 SUBESTACIÓN QUINQUIMO

- **SS/AA:** los bancos de baterías y cargadores presentan un estado crítico o de sobrecarga, tanto para consumos estimados como informados. El transformador de SS/AA se encuentra en

un estado crítico si la evaluación se realiza con consumos estimados; por el contrario, si se consideran consumos informados el estado corresponde a normal.

Tabla 47. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Quinquimo.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Quinquimo 110 kV	Banco de Baterías	Nº1	100%	109%	107%	117%
	Cargador	Nº1	213%	226%	219%	231%
	Transformador	Nº1	90%	38%	98%	47%
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** Los tramos de barra mantienen su condición en estado normal para los años 2019 y 2024. La inclusión del nuevo transformador AT/MT de 20 MVA no genera aumentos apreciables de cargabilidad en los tramos más exigidos en esta subestación.

Tabla 48: Resultados de capacidad de barra - S/E Quinquimo 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1B		Año 2024 - E2B	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Quinquimo 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,196	40%	0,196	40%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,220	44%	0,220	44%

- **MPT:** Las tensiones  $T_p$  calculadas, se encuentran por debajo de los valores de tensión seguros, identificando una zona en estado de alerta, asociada principalmente al perímetro de

la S/E. Las tensiones  $T_c$  muestran que existen zonas en estado de incumplimiento también ubicadas en el perímetro de la S/E.

Tabla 49: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Quinquimo

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Quinquimo	Cerco	Tp1	2055,1	2695,8	76%	2055	2695,8	76%
	Camino interior	Tp2	434,7	2695,8	16%	434,9	2695,8	16%
	Patio S/E	Tp3	232,2	2695,8	9%	232,4	2695,8	9%

Tabla 50: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Quinquimo

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Quinquimo	Camino interior	Tc1	4300	796,3	540%	4300	796,3	540%
	Casa Control	Tc2	3130	796,3	393%	3130	796,3	393%
	Patio 23kV	Tc3	1960	796,3	246%	1960	796,3	246%
	52-HT1	Tc4	796	796,3	100%	796	796,3	100%

### 9.19 SUBESTACIÓN SAN BERNARDO

- **Capacidad de Barras:** Se detectan tramos en estado crítico para el escenario E1A, el que corresponde al caso menos exigente estudiado. Con la ejecución de la obra de ampliación consistente en el aumento de capacidad de la línea Tap San Bernardo – San Bernardo C1 y

C2, aumenta la cargabilidad máxima a un valor de 152% para los mismos tramos de barra al año 2024.

Tabla 51: Resultados de capacidad de barra - S/E San Bernardo 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1A		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
San Bernardo 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,379	50%	0,583	76%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,759	99%	1,166	152%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,759	99%	1,166	152%

## 9.20 SUBESTACIÓN SANTA RAQUEL

- **SS/AA:** Los bancos de baterías y cargadores que alimentan a los sistemas de comunicación se encuentran sobrecargados, tanto para los años 2019 y 2024. Los restantes elementos de SS/AA se encuentran en estado de alerta o normal.

Tabla 52. Diagnóstico de capacidad de componentes de SS/AA de S/E Santa Raquel.

S/E	Elemento SS/AA	ID	Año 2019		Año 2024	
			Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]	Consumos Estimados [%]	Consumos Informados [%]
Santa Raquel 110 kV	Banco de Baterías	N°2 (C)	187%	S/I	187%	S/I
	Cargador	N°2 (C)	364%	S/I	364%	S/I
	Transformador	N°3	63%	S/I	65%	S/I
	Grupo Electrónico	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

- **Capacidad de Barras:** Entre los años 2019 y 2024 se tiene un aumento de 15% en la cargabilidad de los tramos de barra más exigidos; no obstante, el aumento de capacidad de 22,4 MVA a 50 MVA propuesto en el Transformador AT/MT N°4 no genera una condición de sobrecarga en ninguno de los casos analizados.

Tabla 53: Resultados de capacidad de barra - S/E Santa Raquel 110 kV

Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Santa Raquel 110 kV	Red N	-	B1_B1_H1	0,388	38%	0,461	45%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,777	76%	0,924	91%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,777	76%	0,924	91%

- **MPT:** Los valores obtenidos para las tensiones  $T_p$  se encuentran por debajo de los valores tolerables para toda el área de la S/E. Caso contrario a las tensiones  $T_c$ , que muestran incumplimiento que todo el patio de la S/E.

Tabla 54: Cumplimiento de tensiones de paso en S/E Santa Raquel

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]	$T_p \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tp/Tolerable [%]
Santa Raquel	Cerco (exterior)	Tp1	746,5	2568,6	29%	780,7	2568,6	30%
	Cerco (interior)	Tp2	316,5	2568,6	12%	316,5	2568,6	12%
	A. Pedestal T6	Tp3	239,1	2568,6	9%	239,1	2568,6	9%
	Casa Control	Tp4	161,8	2568,6	6%	161,8	2568,6	6%
	Transf. N°5	Tp5	84,4	2568,6	3%	84,4	2568,6	3%

Tabla 55: Cumplimiento de tensiones de contacto en S/E Santa Raquel

S/E	Zona	N°	Año 2019			Año 2024		
			$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]	$T_c \leq$ [V]	Tolerable [V]	Tc/Tolerable [%]
Santa Raquel	Cerco (exterior)	Tc1	5422,6	763,8	710%	5657	763,8	741%
	Cerco (interior)	Tc2	3869,6	763,8	507%	4026	763,8	527%
	Patio S/E	Tc3	3093,2	763,8	405%	3210	763,8	420%

## 9.21 SUBESTACIÓN SANTA ROSA SUR

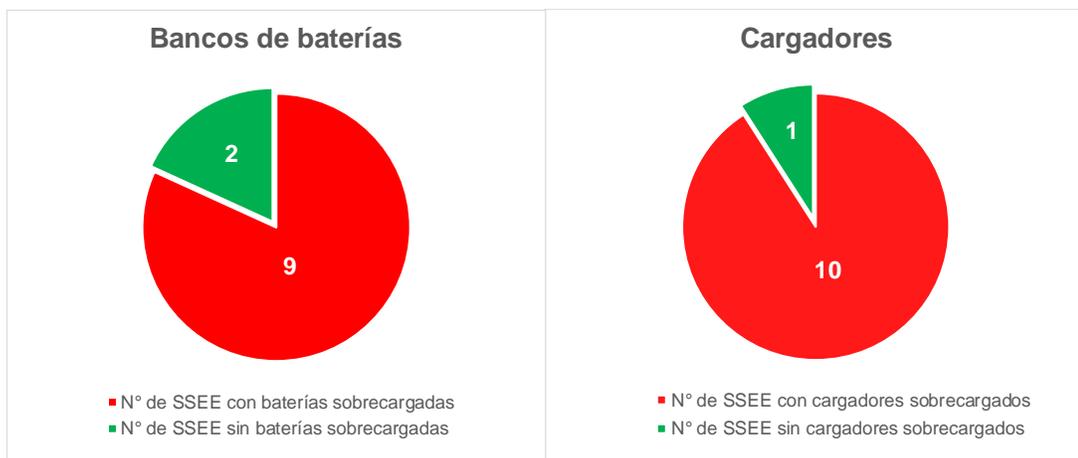
- **Capacidad de Barras:** Los tramos de barra más exigidos evolucionan de un estado crítico a uno de sobrecarga leve en el período 2019 a 2024 para una condición de red N-1. El aumento de capacidad propuesto para la línea 110 kV Tap Santa Raquel - Santa Raquel explica el aumento de los flujos de potencia en el escenario E2S.

Tabla 56: Resultados de capacidad de barra - S/E Santa Rosa Sur 110 kV

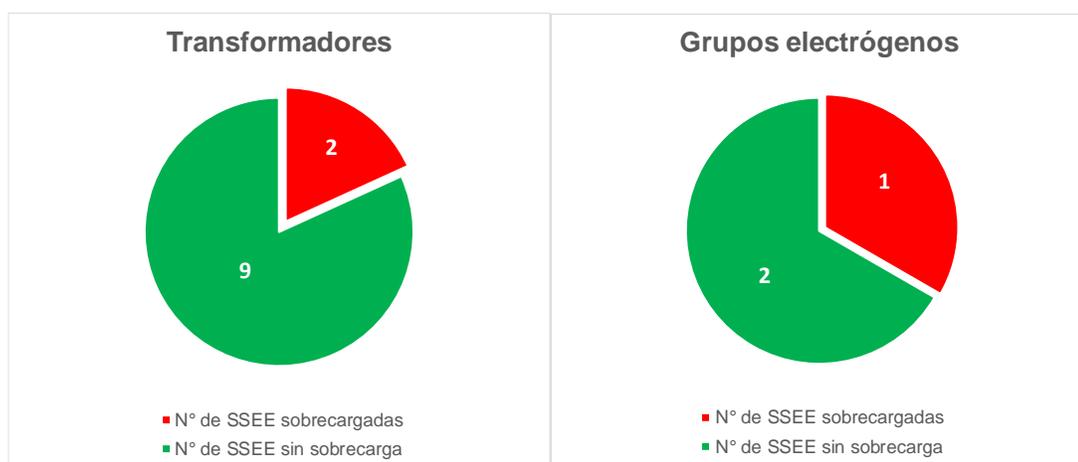
Subestación	Condición	Contingencia	Tramo de Barra	Año 2019 - E1S		Año 2024 - E2S	
				Corriente [kA]	Carga [%]	Corriente [kA]	Carga [%]
Santa Rosa Sur 110 kV	Red N	-	B2_B2_H2	0,343	45%	0,387	51%
	Red N-1	H1 abierto	B2_B2_H2	0,687	90%	0,774	101%
	Red N-1	H2 abierto	B1_B1_H1	0,687	90%	0,774	101%

## 10 CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos para los SS/AA, se observa que las subestaciones presentan un comportamiento mixto en cuanto a los niveles de carga de los equipos de corriente continua y corriente alterna. La *Ilustración 4* muestra que los bancos de baterías y cargadores se caracterizan por presentar predominantemente un estado de sobrecarga, alcanzando un total de nueve (9) y diez (10) subestaciones, respectivamente. La situación es opuesta para el caso de los transformadores y grupos electrógenos de la *Ilustración 5*, cuyos resultados evidencian que no existe sobrecarga en un total de nueve (9) y dos (2) subestaciones, respectivamente.



*Ilustración 4: Resumen del diagnóstico de equipos de corriente continua*

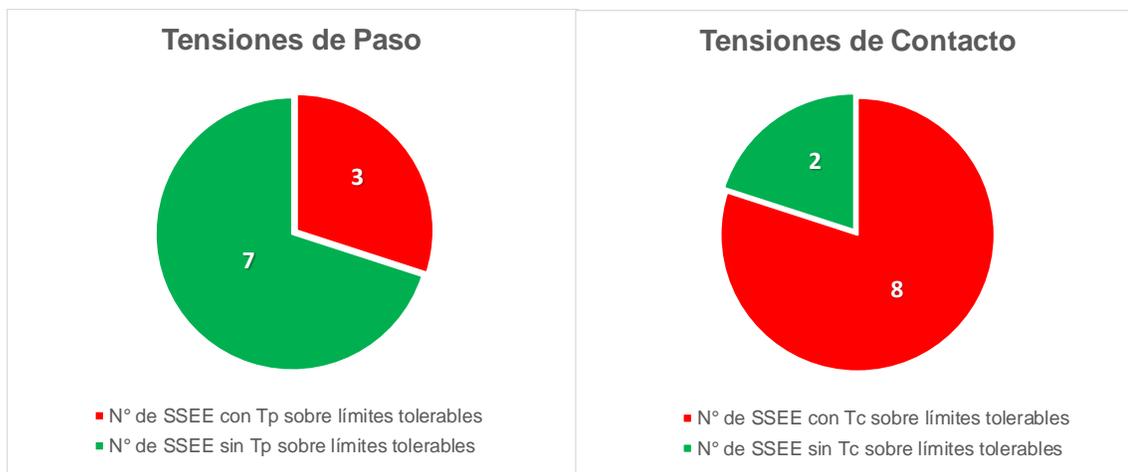


*Ilustración 5: Resumen del diagnóstico de equipos de corriente alterna*

Adicionalmente, se destaca lo siguiente:

- Los resultados mostrados en las Ilustraciones anteriores corresponden al escenario más exigente considerando los consumos estimados e informados. Sin perjuicio de ello, se recomienda a los propietarios de las instalaciones complementar los consumos informados con mediciones efectivas en las instalaciones, con el propósito de validar la criticidad detectada en cada uno de los equipos de SS/AA.
- El Transformador de SS/AA de S/E Lo Aguirre constituye al único caso que aumenta su cargabilidad al año 2024 producto de la conexión de nuevos paños como parte de las obras de ampliación previstas. Lo anterior no exime el requerimiento de validar la capacidad de los SS/AA previo a la materialización de los nuevos proyectos en cada subestación.

2. Para el caso de las MPT, el cumplimiento de las tensiones  $T_p$  y  $T_c$  respecto de las tensiones tolerables muestra un comportamiento mixto, según el tipo de tensión calculada. De la *Ilustración 6* se desprende que las tensiones  $T_c$  presentan un mayor grado de incumplimiento, alcanzando un total de ocho (8) subestaciones para el año 2019. La misma estadística se mantiene al año 2024, por lo que la criticidad en el diagnóstico de las MPT no es atribuible a las obras de expansión previstas en la red.



*Ilustración 6: Cantidad de SS/EE con  $T_p$  y  $T_c$  sobre límites tolerables*

De los resultados obtenidos se advierten las siguientes situaciones:

- Las tres (3) subestaciones que presentan tensiones  $T_p$  sobre los valores tolerables también presentan sus tensiones  $T_c$  con incumplimientos. Este grupo está conformado por las siguientes subestaciones: Alto Bonito 110 kV, Cabildo 110 kV y Castro 110 kV.

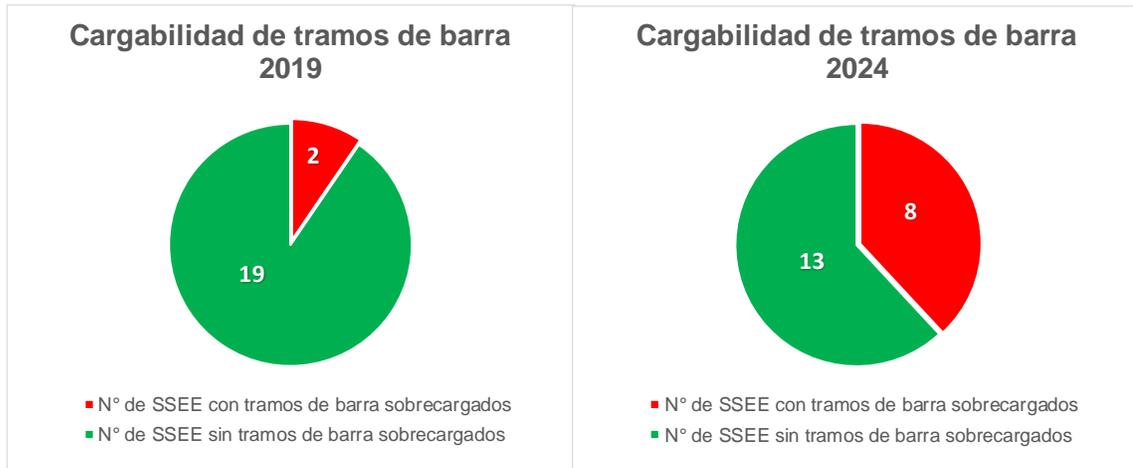
- Los incumplimientos de las tensiones tolerables ocurren mayoritariamente en los alrededores de los cercos exteriores de la subestación. Para las siguientes subestaciones las zonas con incumplimientos se presentan solamente en el perímetro de la MPT: Alto Bonito 110 kV, Costanera 110 kV, Los Almendros 220/110 kV y Pajaritos 110 kV.

Es importante considerar que los incumplimientos y condiciones críticas detectadas para las MPT corresponden a resultados de simulaciones cuyos modelos se encuentran basados en la información técnica disponible en fuentes oficiales de este Coordinador. En este contexto, se recomienda que el propietario verifique el cumplimiento normativo de las instalaciones existentes que recibirán obras de ampliación, mediante mediciones en terreno, que permitan confirmar lo siguiente:

- Valores de resistividad del terreno para los casos de las subestaciones Cabildo 110 kV y Quinquimo 110 kV, en cuyos casos no se contó con informes de medición.
- Desviación de los valores de resistencia de MPT respecto de los valores de diseño de la instalación.
- Cumplimiento de las tensiones  $T_p$  y  $T_c$  en las subestaciones, particularmente de las zonas identificadas como críticas en el presente Informe.

El propietario debe tener presente que la documentación de referencia para efectos de desarrollar los análisis en materia de MPT corresponden al estándar IEEE Std. 80-2013 [5] y el Anexo Técnico: Cálculo de Nivel Máximo de Cortocircuito [8]. Adicionalmente, podrán utilizarse los valores referenciales de corriente de cortocircuito que se presentan en el Estudio de Integridad del Sistema 2019 (EIST 2019) [9].

3. En relación con los resultados de capacidad de barras, se observa que el número de subestaciones con al menos un tramo de barra en condición de sobrecarga aumenta de un total de dos (2) a un total de ocho (8) al año 2024, tal como se presenta en la *Ilustración 7*. La condición anterior se explica por el aumento de los flujos de potencia debido a la conexión de las obras de ampliación previstas en cada subestación.



*Ilustración 7: Cantidad de SS/EE con tramos de barra sobrecargados*

Respecto de las subestaciones con tramos de barra sobrecargados, destaca lo siguiente:

- La conexión de nuevos Transformadores AT/MT para suplir el aumento de consumos de distribución, tiene un efecto directo en la cargabilidad de los tramos de barra para el caso de las subestaciones radiales. Al año 2024, del total de ocho (8) subestaciones con tramos de barra sobrecargados, seis (6) corresponden a subestaciones de tipo radial: Batuco 110 kV, Costanera 110 kV, Maipú 110 kV, Pajaritos 110 kV, San Bernardo 110 kV y Santa Rosa Sur 110 kV.
- De las subestaciones con tramos sobrecargados, resaltan los casos de S/E Maipú 110 kV y S/E Choapa cuyos niveles de sobrecarga se obtienen para la condición de diseño actual de las instalaciones.

Las condiciones de sobrecarga detectadas corresponden a escenarios de análisis exigentes basados en las capacidades de diseño de las instalaciones, por lo que se recomiendan los siguientes planes de acción:

- Para instalaciones con tramos sobrecargados en su situación actual: analizar la necesidad de establecer políticas operativas frente a las condiciones y escenarios bajo los cuales podrían ocurrir las sobrecargas. Junto a lo anterior, el propietario de la instalación existente deberá realizar las adecuaciones necesarias en sus instalaciones previo a la materialización de las obras de ampliación.

- Para instalaciones con tramos sobrecargados producto de las obras de ampliación: la empresa adjudicada deberá desarrollar los estudios de ingeniería específicos que determinen el dimensionamiento y las adecuaciones necesarias para cada instalación, de modo que la condición se encuentre normalizada al momento de que el proyecto asociado a una obra de ampliación inicie el proceso de interconexión.

## 11 REFERENCIAS

---

- [1] Coordinador Eléctrico Nacional, «Propuesta de Expansión de Transmisión del Sistema Eléctrico Nacional,» 2019.
- [2] Coordinador Eléctrico Nacional, [Online]. Available: <https://infotecnica.coordinador.cl/>.
- [3] Ministerio de Energía, "Ley 20.396 - Establece un nuevo Sistema de Transmisión Eléctrica y crea un organismo Coordinador Independiente del Sistema Eléctrico Nacional," Santiago, Chile, 2016.
- [4] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, "NSEG. 5 En. 71: Norma de Seguridad en Instalaciones de Corrientes Fuertes.," Santiago, Chile .
- [5] IEEE, "IEEE Std. 80-2013: Guide for safety in AC substation grounding.," 2013.
- [6] IEEE, "IEEE Std. 81-2012: Guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of grounding system.," 2012.
- [7] Comisión Nacional de Energía, "Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio - Anexo Técnico: Información Técnica de Instalaciones y Equipamiento," Santiago, 2018.
- [8] Comisión Nacional de Energía, "Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio - Anexo Técnico: Cálculo de Nivel Máximo de Cortocircuito," Santiago, 2018.
- [9] Coordinador Eléctrico Nacional, "Estudio de Integridad del Sistema 2019: Máximos niveles de cortocircuitos entre 100 kV y 154 kV," 2019.

## 12 ANEXOS

---

A continuación, se presentan los documentos anexos al presente estudio:

- Anexo 1 Capacidad de servicios auxiliares.
- Anexo 2 Estado de mallas de puesta a tierra.
- Anexo 3 Capacidad de barras.
- Anexo 4 Resultados de cargabilidad de elementos de SS/AA por subestación.
- Anexo 5 Planilla Cálculo Corriente Alterna.
- Anexo 6 Planilla Cálculo Corriente Continua.
- Anexo 7 Resultados de cargabilidad de tramos de barra por subestación.
- Anexo 8 Unilineales simplificados: tramos de barra con mayor cargabilidad.
- Anexo 9 Planos de planta: ubicación de tensiones  $T_P$  y  $T_C$ .
- Anexo 10 Informe de Modelación N°1, con detalle de la modelación de las SS/EE Batuco, Los Almendros, Pajaritos, Lo Aguirre y Santa Raquel.
- Anexo 11 Informe de Modelación N°2, con detalle de la modelación de las SS/EE Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito y Castro.
- Anexo 12 Informe de Diagnóstico N°1, con resultados obtenidos para las SS/EE Batuco, Los Almendros, Pajaritos, Lo Aguirre y Santa Raquel.
- Anexo 13 Informe de Diagnóstico N°2: con resultados obtenidos para las SS/EE Quinquimo, Cabildo, Costanera, Alto Bonito y Castro.