

Informe técnico de prestación de SSCC de CPF y CT

Centrales CMPC: Laja

Pacífico

Santa Fé

SF Energía (TG4)

Cordillera

Tissue

26 de septiembre de 2025

Preparado para:

cm^{pc}

CONTROL DE VERSIÓN Y REVISIÓN

Versión	Fecha	Redacción	Revisión	Aprobado	Comentarios
1	22/08/2025	JCM	JMM	PMD	-
2	28/08/2025	JCM	JMM	PMD	Incorpora comentarios del Cliente
3	17/09/2025	JCM	JMM	PMD	Incorpora caso de estudio adicional
4	22/09/2025	JCM	JMM	PMD	Incorpora comentarios del Cliente
5	26/09/2025	JCM	JMM	PMD	Incorpora comentarios del Cliente

ÍNDICE

1	Introducción	3
2	Antecedentes	5
3	Análisis regulatorio	6
3.1	Sobre la prestación del SC de CPF	7
3.2	Sobre la prestación del SC de CT	7
4	Análisis técnico	9
4.1	Sobre la prestación del SC de CPF	9
4.2	Sobre la prestación del SC de CT	9
4.2.1	Simulaciones DlgSILENT – SC de CT	10
5	Resultados	13
5.1	Zona Charrúa	13
5.1.1	CMPC Laja	13
5.1.2	CMPC Santa Fé	15
5.1.3	CMPC Pacífico	17
5.2	Zona Talagante	19
5.3	Caso adicional: desconexión de la central CMPC Santa Fé absorbiendo reactivos	21
6	Conclusiones	23
7	Anexo 1: Análisis complementario	25
7.1	Normativa relevante aplicable a Clientes Libres	25
7.2	Proceso productivo de las plantas CMPC	25
7.3	Filosofía de operación para asegurar continuidad de los procesos CMPC	26
7.4	Comportamiento de inyecciones y retiro de potencia activa	26

1 Introducción

El Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), con el objetivo de cumplir con los estudios de norma técnica, ha enviado cartas a los distintos coordinados del sistema (propietarios de unidades generadoras) solicitándoles sus respectivos informes de verificación para la prestación de Servicios Complementarios (SSCC).

CMPC Bioenergías Forestales, en adelante el "Cliente" o "CMPC", como propietario de unidades de generación que se interconectan al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), ha sido uno de los coordinados que recibió dichas cartas, ante lo cual busca desarrollar los análisis técnicos respectivos que permitan confirmar la factibilidad de prestar dichos servicios, y de no ser posible, que estos generadores sean excluidos de la prestación de SSCC.

En este contexto, el Cliente requiere de un informe que permita respaldar la incompatibilidad de la prestación de estos SSCC con la operación normal de sus plantas, abordando los siguientes requerimientos y alcances definidos por CMPC:

1. Desarrollo de un análisis técnico que respalde el motivo, junto con la evidencia respectiva, de por qué los Autoprodutores (CMPC Laja, Pacífico, Santa Fe, Tissue) y/o Centrales de CMPC (SF Energía - Cordillera) se encuentran impedidos o limitados de prestar los SSCC de Control Primario de Frecuencia (CPF) y Control de Tensión (CT).
2. Desarrollo de un marco teórico respecto al cumplimiento normativo de SSCC de CPF y CT. Analizar su obligatoriedad respecto a la exigencia para una Central considerada como Autoprodutor.
3. Utilizando los informes de las centrales de CMPC (PPD, CEN, MT, homologación de modelos dinámicos) entregar antecedentes que permitan respaldar el no cumplimiento del SC de CPF.
4. Realizar simulaciones mediante el software DlgSILENT de los problemas asociados al cumplimiento del SC de CT indicando que se pueden presentar niveles de tensión que impliquen una desconexión de cargas críticas del proceso (como VFD), utilizando las bases de datos entregadas por CMPC, las que se encuentran actualizadas con el detalle de las cargas.

El presente documento corresponde al informe solicitado por el Cliente que incluye tanto el marco teórico regulatorio y respaldo técnico correspondiente.

Dadas las particularidades de los procesos productivos del Cliente, como análisis complementario se presenta un anexo donde se revisan las obligaciones normativas aplicables a Clientes Libres. Adicionalmente, se revisa la estrategia operacional (filosofía de operación) que asegura la continuidad de servicio de las Centrales consideradas como Autoprodutores (Laja, Santa Fé, Pacífico y Tissue), el diseño de los automatismos que permiten proteger a las plantas en caso de anomalías en la red externa, y se muestra el modo de suministro eléctrico mediante registros de medidas históricos en las plantas.

Es importante señalar que un Autoprodutor es una Central que, teniendo la capacidad de producir energía eléctrica para abastecer sus propios consumos y/o como resultado de su proceso productivo, pueden presentar excedentes e inyectarlos al sistema eléctrico. De lo anterior, el Autoprodutor, al ser un industrial que como actividad secundaria aporta sus excedentes de energía al sistema, no comparte la característica esencial del generador convencional, ya que su operación obedece principalmente a satisfacer sus propias necesidades:

- 1) Típicamente cogeneración para procesos industriales.
- 2) Operan siguiendo la demanda térmica o de proceso de la producción principal.

Finalmente, la NTSyCS actual está diseñada para centrales convencionales, lo que significa que no existe una regulación específica para Autoprodutores. Un ejemplo de esta incompatibilidad normativa-técnica corresponde al Artículo 3-10, el cual exige que las unidades que forman parte de una central se mantengan conectadas al SEN hasta una frecuencia de 47,5 Hz. Lo anterior no es posible para Autoprodutores debido a condiciones constructivas, riesgos a las personas y ambientales. Por esta razón, es normal que los Autoprodutores realicen islas eléctricas a los 48,5 o 49,0 Hz, o por caídas de voltaje.

2 Antecedentes

Para el análisis realizado sobre las exigencias de diseño/constructivas y operativas que se les impone a los Coordinados que tengan unidades de generación conectadas al SEN, en particular los denominados como Autoprodutores, se revisaron los siguientes antecedentes:

- Reporte Ejecutivo - Respuesta a Carta CEN art3-10_vf, enviado por el Cliente donde CMPC realiza un análisis preliminar de requerimientos normativos hacia Autoprodutores.
- Revisión de normativa relevante, en particular:
 - DFL N°4: La Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE).
 - DS 125-2017: Reglamento de la Coordinación y Operación del Sistema Eléctrico Nacional.
 - DS 113-2017: Reglamento de Servicios Complementarios.
 - NTCyO: Norma Técnica de Coordinación y Operación del SEN.
 - NT SSCC: Norma Técnica de Servicios Complementarios.
 - Anexo Técnico: Verificación de Instalaciones para la prestación de SSCC.
 - NTSyCS: Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
 - Anexo Técnico: Programación de la operación, perfil de tensiones admisible y gestión de potencia reactiva.
 - Resolución Exenta de mayo 2025 de Definición de SSCC de la CNE.
 - Informe de SSCC, junio 2025.

Adicionalmente, el Cliente ha provisto de la siguiente información relacionada con las plantas bajo estudio:

- Informes de homologación de las plantas de CMPC, con sus bases de datos DigSILENT desde donde se obtienen los modelos actualizados de los generadores y sus controladores.
- Diagramas unilineales correspondientes.
- Información relacionada con los límites de operación de las cargas críticas.
- Demanda de potencia activa y reactiva asociada a cada carga de las plantas.
- Filosofía de operación de las plantas de CMPC.

3 Análisis regulatorio

Por medio de la revisión de los documentos normativos descritos en el capítulo 2, se realizó un análisis de los aspectos regulatorios asociados a la calidad de Autoprodutores que ostenta CMPC y su implicancia en los SSCC de CPF y CT.

De acuerdo con lo establecido en la LGSE en su artículo 72°-2, se indica que los Coordinados tienen la obligación de responder a la coordinación establecida por el CEN según la normativa vigente, en donde, de acuerdo con lo señalado en el artículo 10 literal a) del DS 125-2017, se señala que Autoprodutores también son denominados como Coordinados.

En particular, según el DS 125-2017, en su artículo 2 literal b), y la NTCyO del SEN de 2021, en su artículo 1-4 numeral 2, en ambos documentos un "Autoprodutor" se define como:

"Todo propietario, arrendatario, usufructuario o quien explote a cualquier título centrales generadoras o sistemas de almacenamiento de energía, cuya generación o almacenamiento de energía eléctrica ocurra como resultado o con el objetivo de abastecer los consumos asociados a procesos productivos propios, en el mismo punto de conexión a la red, y que puedan presentar excedentes de energía a ser inyectados al sistema eléctrico".

Esto significa que, en esencia, los Autoprodutores generan energía principalmente para satisfacer sus propios procesos productivos, y solo los excedentes pueden ser inyectados al SEN, condición que cumplen las centrales de CMPC declaradas como Autoprodutores, particularmente las centrales CMPC Santa Fé, CMPC Laja, CMPC Pacífico y CMPC Tissue.

Por otro lado, según el artículo 72°-6 de la LGSE referido a la seguridad del sistema eléctrico, el CEN entre otros aspectos, tiene la obligación de exigir a los Coordinados la provisión de los SSCC en conformidad con lo establecido en el artículo 72°-7 de la LGSE, el cual señala que los Coordinados deberán poner a disposición los recursos técnicos y/o infraestructuras que dispongan para la prestación de los SSCC que permitan realizar la coordinación de la operación según lo definido en el artículo 72°-1 de la LGSE acerca de los principios de la coordinación de la operación, en su numeral 1) de preservación de la seguridad del servicio en el sistema eléctrico.

Asimismo, de acuerdo con el artículo 1-9 literal a) de la NT SSCC, es responsabilidad de los Coordinados poner a disposición del CEN los recursos técnicos y/o infraestructura que dispongan para la prestación de los SSCC que permitan realizar la coordinación de la operación. Siguiendo este contexto, el DS 113-2017 en su artículo 15 señala que estos servicios se prestarán a través de las instalaciones existentes o infraestructura del sistema eléctrico, mediante los recursos técnicos que éstas dispongan.

En función de lo anterior, se concluye que las plantas de CMPC, al ser Coordinados, podrían estar sujetos a las disposiciones que exija el CEN para garantizar la seguridad de la operación y coordinación del SEN, en particular, la prestación de SSCC como lo son el CPF y CT. Sin embargo, la misma regulación señala que estos SSCC se prestarán siempre que las instalaciones exigidas dispongan de los recursos técnicos necesarios para proveer los SSCC que correspondan.

En ese sentido, el DS 113-2017 en su artículo 16, y la Resolución Exenta de definición de SSCC, definen los recursos técnicos como los:

“atributos de las instalaciones del sistema eléctrico que permiten contribuir a la operación segura, de calidad y más económica del sistema. En particular, son recursos técnicos la capacidad de inyección de potencia activa y/o capacidad de inyección o absorción de potencia reactiva de unidades generadoras (...)”.

En otras palabras, si bien existen centrales que tienen la capacidad de inyección de potencia activa y absorción/inyección de potencia reactiva, estas acciones deben ser realizadas de manera controlada de modo de garantizar la operación segura del SEN.

3.1 Sobre la prestación del SC de CPF

En el Informe de SSCC elaborado por el CEN, se establecen los requerimientos técnicos específicos asociados a la prestación del CPF y CT. Para el caso del CPF, las unidades generadoras que participen de la regulación primaria de frecuencia deberán contar con las características técnicas asociadas al Controlador de Carga/Velocidad, según lo dispuesto en el artículo 3-17 de la NTSyCS. En este punto cabe destacar que las unidades generadoras de CMPC, según se ha informado al CEN, no tienen habilitado un regulador de velocidad cuando operan sincronizadas a la red, tal como se señala en los informes de homologación de modelos dinámicos de cada una de las centrales de CMPC. Cabe destacar que dichos informes han sido aprobados por el CEN.

Dicho de otro modo, las centrales de CMPC operan con potencia activa constante e independiente de las variaciones de frecuencia del sistema. Por lo tanto, **ninguna de las centrales de CMPC cuenta con los recursos técnicos (reguladores de velocidad habilitados) para prestar el SC de CPF**. Esto se justifica debido a que la inyección del recurso primario de las centrales de CMPC es manual y por esta vía se modifica la disponibilidad de vapor en las turbinas, según la modulación entre las calderas recuperadoras (combustible licor negro) y calderas de biomasa disponibles en las plantas. Esta acción no corresponde a la labor que debe realizar un automatismo de control primario de frecuencia.

En conclusión, las unidades CMPC no tienen habilitado reguladores de velocidad y, por lo tanto, no se puede exigir la prestación de los SSCC de control de frecuencia, en particular el SC de CPF.

3.2 Sobre la prestación del SC de CT

Para el caso del Control de Tensión (CT) en unidades generadoras, este debe ser realizado por la actuación del controlador de tensión del generador sobre la salida de la excitatriz, a través de la modificación de la corriente de campo, para contribuir a mantener la tensión de operación de una barra de referencia, en régimen permanente y ante la ocurrencia de contingencia, de acuerdo con la consigna previamente establecida por el CEN. El sistema de excitación deberá cumplir con las exigencias técnicas mínimas establecidas en el artículo 3-12 de la NTSyCS.

En el caso de unidades generadoras, el CT se hará con las centrales que posean reguladores automáticos de tensión (AVR “Automatic Voltage Regulator” en inglés) que deberán cumplir con lo exigido en la NTSyCS. Todas las plantas de CMPC cuentan con AVR de acuerdo con los informes de homologación de modelos dinámicos informados al CEN.

Sin embargo, el Anexo Técnico: "Programación de la operación, perfil de tensiones admisible y gestión de potencia reactiva", en el artículo 6 literal a) señala que es obligación de los Coordinados:

*"(...) proporcionar al CEN la información y antecedentes que solicite para ser considerada en la programación de la operación, verificación del perfil de tensiones admisible y gestión de potencia reactiva, junto con informar actualizaciones de ajustes, **indisponibilidades y/o limitaciones de sus instalaciones** (...)", y en su literal c) "cumplir con las consignas del CT en tiempo real e instrucciones específicas que emanen del CEN según el estado de operación en que se encuentre el SI", en donde el CT se define, según el artículo 3 literal a) del mismo anexo técnico, como "la realización de acciones sobre equipos que están capacitados para inyectar y/o absorber potencia reactiva y otros elementos de control de tensión destinados a mantener las tensiones en las barras del sistema de transmisión dentro de los márgenes especificados por la NT. Entre las acciones se encuentra la prestación de servicios de CT en conformidad a la NT SSCC".*

En síntesis, la normativa establece que los Coordinados deben informar las limitaciones que existan en sus instalaciones para la prestación del CT, lo cual va en línea con las características específicas de la operación de los Autoprodutores, que está destinada principalmente a satisfacer sus propios consumos asociados a sus procesos productivos. Por lo tanto, la capacidad para prestar SSCC (particularmente el de CT) de los Autoprodutores puede estar limitada por la necesidad de garantizar que sus instalaciones operen en un rango acotado de tensiones de tal modo que no pongan en riesgo la continuidad de sus operaciones internas.

En conclusión, aun cuando las unidades de CMPC poseen AVR para la prestación del SC de CT, esto es una condición necesaria pero no suficiente. Para asegurar factibilidad, se debe demostrar que las excursiones de tensión en las barras de las plantas de CMPC son admisibles para las instalaciones eléctricas conectadas a ellas. El CEN no puede exigir la prestación del SC de CT si existe afectación al interior de la planta que afecte a su proceso productivo.

Lo anterior es revisado y discutido en la sección 4.2.1.

4 Análisis técnico

En el presente capítulo se realiza un análisis respecto a la posibilidad de prestación de los SSCC de CPF y CT de las plantas de CMPC, de acuerdo con la revisión regulatoria presentada en el capítulo 3 y los antecedentes técnicos de dichas plantas.

4.1 Sobre la prestación del SC de CPF

Como se ha visto en las secciones anteriores, para la prestación del SC de CPF, es clave que las instalaciones de CMPC cuenten con el recurso técnico necesario para dicho fin, el cual corresponde a los reguladores de velocidad. Dado que las centrales de CMPC no poseen habilitado dichos reguladores que controlen la potencia activa en función de la frecuencia cuando operan sincronizadas con la red, no se puede exigir la prestación de este servicio complementario. En otras palabras, no está dentro de las posibilidades de las centrales de CMPC el poder controlar en forma automática su inyección de potencia activa frente a desviaciones de frecuencia para mantener el equilibrio de generación y demanda del sistema. En este sentido, las plantas no cuentan con las características técnicas mínimas necesarias para proveer el SC de CPF.

Es importante recalcar que el CEN ya conoce la situación respecto al control de potencia activa de las unidades generadoras de CMPC, ya que esto ha sido informado sistemáticamente mediante diversos informes solicitados por el CEN, tales como los de Parámetros de Partida y Detención (PPD), Consumo Específico Neto (CEN), Mínimo Técnico (MT), pruebas de Potencia Máxima y de homologación de modelos dinámicos.

Lo anterior aplica para las instalaciones de CMPC Laja, CMPC Pacífico, CMPC Santa Fé, Santa Fé Energía (TG4), CMPC Cordillera y CMPC Tissue.

Hay que recordar que las plantas de celulosa de CMPC corresponden a instalaciones químicas que requieren un proceso continuo y estable, donde debe minimizarse al máximo la probabilidad de desconexiones intempestivas de cargas o procesos críticos, ya que estas podrían desencadenar una discontinuidad en el proceso industrial con potenciales impactos ambientales, tanto en el entorno como en las comunidades cercanas. Esto último se alinea con las características de un Autoproducer, cuya operación responde a finalidades productivas propias y no al despacho centralizado del sistema eléctrico.

4.2 Sobre la prestación del SC de CT

Para la prestación del SC de CT, es necesario que las instalaciones de CMPC cuenten con un equipo AVR, el cual es el caso de todas las unidades generadoras de CMPC, las que han sido homologadas e informadas al CEN. Sin embargo, dada la particularidad de la operación de las plantas de CMPC, el CEN no puede exigir la prestación del SC de CT si existe afectación al interior de la planta que ponga en riesgo su proceso productivo.

Se destaca que el CT en las plantas de CMPC se realiza de manera local en la barra de media tensión donde sincroniza la unidad generadora correspondiente y es realizado por personal de operación según los requerimientos y estabilidad de la planta, no pudiendo ser considerado como variable a modular de manera externa e independiente del proceso productivo dado que representaría un riesgo para la continuidad del proceso de celulosa, pudiendo generar la desconexión de cargas críticas conectadas al proceso químico, con posibles consecuencias medioambientales y a la comunidad.

Para estudiar de qué manera se ven afectadas las instalaciones de CMPC frente al CT que se podría efectuar mediante sus unidades generadoras, se realiza un análisis con flujos de potencia y simulaciones dinámicas en DlgSILENT PowerFactory. En particular se debe verificar que para ciertas contingencias que produzcan variaciones abruptas de la demanda de potencia reactiva, no se traduzcan en cambios de magnitudes de tensiones que sean inadmisibles para las instalaciones eléctricas de las plantas. Las condiciones y metodología de dicho análisis se describen en la sección siguiente.

4.2.1 Simulaciones DlgSILENT – SC de CT

Para estudiar la prestación del SC de CT se efectúan cálculos de flujos de potencia y simulaciones dinámicas para evaluar si las tensiones resultantes en las instalaciones de las plantas autoproducidas de CMPC (frente a una cierta contingencia), pueden implicar un riesgo para el proceso productivo. Esto se analiza en la siguiente condición operativa:

- Operación sincronizada al SEN, con las plantas en su punto de máxima carga y generación.

Se identifican 2 zonas en las que se emplazan las plantas autoproducidas del Cliente:

- Zona Charrúa: Plantas CMPC Laja, CMPC Santa Fé y CMPC Pacífico.
- Zona Talagante: Planta CMPC Tissue.

Se utiliza como punto de partida la base de datos DlgSILENT de operación publicada por el CEN en mayo 2025¹. Sobre esta base de datos se reemplazan:

- Los modelos dinámicos de unidades generadoras contenidos en la carpeta de antecedentes “Informes Homologación EE TGs”².
- Las cargas generales que simplifican los consumos de las plantas por las instalaciones contenidos en la carpeta de antecedentes “BD Digsilent CMPC”.

El escenario de operación base es el de “Día Laboral – Demanda Alta” que viene por defecto en la base de datos. En dicho escenario se ajustó el balance generación-demanda del sistema debido al reemplazo de las cargas y los despachos de las unidades de CMPC.

Por otro lado, se ajustó la tensión de la barra de Charrúa de modo que se obtenga un valor cercano a 231 kV, ya que corresponde a la tensión que se observa con mayor frecuencia en la operación real de dicha barra, de acuerdo con el informe final del estudio de tensiones de servicio 2025³.

Para simular las peores condiciones posibles, se considera que las plantas de CMPC se encuentran a máxima carga y con sus unidades de generación despachando su máxima potencia activa, de acuerdo con los antecedentes provistos por CMPC.

En cuanto al tipo de despacho de potencia reactiva de las unidades generadoras, este se encuentra sujeto a la filosofía de operación de las plantas de CMPC, cuyo fin es operar sus instalaciones de manera que se garantice la continuidad operacional en todo momento. Ninguna unidad generadora de CMPC controla tensión en AT, debido a que están orientadas para controlar las barras de proceso (MT), específicamente la tensión en bornes de la máquina sincrónica. En particular, se tienen unidades generadoras que

¹ <https://www.coordinador.cl/modelacion-sen/documentos/bd-operacion/2025/>

² Para el caso de la TG3 de CMPC Laja, se utilizan los modelos de la TG2 de CMPC Santa Fé, de acuerdo con lo informado por el Cliente.

³ <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2025/03/Informe-Final-ETS-2025.pdf>

controlan tensión en las barras de MT siguiendo una consigna de 1,0 en p.u. (PV), y otras que controlan reactivos en un valor fijo (PQ) o factor de potencia, sin control de tensión en la barra. De acuerdo con la información entregada por el Cliente, se tienen los siguientes modos de control por planta:

- En CMPC Laja el modo de control de cada generador es:
 - TG4: Controla tensión en 13,2 kV.
 - TG3: Controla reactivos en la barra E (13,2 kV) en 0 MVAR.

- En CMPC Pacífico el modo de control de cada generador es:
 - TG1: Controla tensión en la barra 2 (13,2 kV).
 - TG2: Controla tensión en la barra 1 (13,2 kV).
 - TG3: Controla potencia reactiva de forma constante en la barra 2 inyectando 7,7 MVAR.

- En CMPC Santa Fé el modo de control de cada generador es:
 - TG1: Controla tensión en la barra 6,6 kV SF Línea 1.
 - TG2: Controla reactivos en la barra 13,2 kV SF Línea 2, inyectando 5 MVAR.
 - TG3: Controla tensión en la barra 13,2 kV SF Línea 2.

Para el caso de CMPC Tissue, la única unidad generadora de dicha planta se encuentra controlando tensión en 1,0 p.u. en su barra de conexión de MT de 12 kV.

Adicionalmente, de acuerdo con lo informado por el Cliente, en las plantas de la zona Charrúa existe la posibilidad de ajustar el cambiador de tap bajo carga (OLTC) de los transformadores T4 en CMPC Laja, T1 y T2 en CMPC Santa Fé, y T1 en CMPC Pacífico. Este ajuste es realizado de manera manual por los operadores de planta y tiene como objetivo controlar la tensión en la barra de media tensión ante variaciones de carga-generación en el proceso productivo y con ello también minimizar el intercambio de reactivos entre cada planta en su punto de conexión con la red. Específicamente, mediante el ajuste de los taps se busca minimizar el intercambio de reactivos en los paños de 220 kV JL1 de CMPC Laja, JL1 y JL2 de CMPC Santa Fé, y JL2 de CMPC Pacífico.

Para las condiciones descritas anteriormente, la contingencia a simular corresponde a la desconexión intempestiva de la unidad generadora que esté controlando tensión en cada planta del Cliente (por separado), manteniendo siempre la conexión de la planta con el resto del sistema eléctrico. Los resultados a monitorear serán:

- Niveles de tensión resultantes en las barras internas de la planta donde se desconecta la unidad generadora, con especial interés en las barras donde se conectan las cargas críticas. Se destaca que:
 - De acuerdo con lo indicado por el Cliente, las cargas críticas corresponden a variadores de frecuencia (VFD) que se conectan internamente en barras específicas en las instalaciones de CMPC.
 - El rango de tensión de operación informado por CMPC para las cargas críticas asociadas a los VDF es:
 - Una banda de $\pm 0,10$ p.u., según el manual del fabricante⁴ (ver Figura 4-1).

⁴ [Manual del hardware ACS800 ABB](#), ver página 126.

Conexión de la alimentación de entrada

Tensión (L_1)	380/400/415 V CA trifásica $\pm 10\%$ para unidades de 400 V CA 380/400/415/440/460/480/500 V CA trifásica $\pm 10\%$ para unidades de 500 V CA 525/550/575/600/660/690 V CA trifásica $\pm 10\%$ para unidades de 690 V CA					
Corriente máxima momentánea y corriente no disruptiva máxima IEC 60439-1	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$I_{cw} / 1 \text{ seg.}$</th> <th>I_{pk}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 kA</td> <td>105 kA</td> </tr> </tbody> </table>		$I_{cw} / 1 \text{ seg.}$	I_{pk}	50 kA	105 kA
$I_{cw} / 1 \text{ seg.}$	I_{pk}					
50 kA	105 kA					
UL 508A, CSA C22.2 N.º 14-05	EEUU y Canadá: El convertidor es apto para ser usado en circuitos que no proporcionen más de 100.000 amperios eficaces simétricos a 600 V como máximo.					
Frecuencia	48 a 63 Hz, tasa máxima de variación del 17%/s					
Desequilibrio	Máx. $\pm 3\%$ de la tensión de entrada nominal entre fases					
Factor de potencia fundamental ($\cos \phi_1$)	0,98 (con carga nominal)					

Figura 4-1: Banda de operación de tensión de entrada de 10%, según fabricante.

- Punto de operación final de las plantas:
 - Se verificará que el punto de operación final (régimen permanente) de la(s) unidad(es) generadora(s) se encuentren dentro de la carta PQ que son informadas en sus estudios de homologación.
 - Los niveles de tensión resultantes en las instalaciones de CMPC estén dentro de los rangos de operación exigidos en la NTSyCS.

Con el monitoreo de estas variables se buscará justificar que la operación de las plantas de CMPC se ve afectada por el despacho de potencia reactiva (PQ o PV), por lo que prestar el SC de CT puede significar un riesgo a la continuidad del proceso productivo ante fallas en el sistema eléctrico nacional (algo que en la actualidad no ocurre).

Adicionalmente, se estudia el caso donde se asume una absorción máxima de reactivos que permitan a las unidades generadoras de CMPC Santa Fé, asumiendo un eventual control de tensión que tenga por objetivo disminuir los niveles de tensión sobre Charrúa 220 kV, donde además se considera que el cambiador de tap de los transformadores se ubica en una posición que permita tener una tensión nominal cercana a 1,0 p.u., lo que representa una condición real ante un eventual control de tensión solicitado por el CEN. Bajo esta condición, se simula la desconexión de la central CMPC Santa Fé del resto del SEN, con el fin de evaluar la evolución de los niveles de tensión en las instalaciones internas de la planta. Lo anterior, debe ser simulado dado que representa una condición real de operación ya que, en su condición de Autoproducción, las centrales CMPC Laja, Pacífico, Santa Fé y Tissue, pueden y deben pasar a isla eléctrica ante fallas externas (falla en línea de transmisión, eventos de frecuencia o de tensión), con el objetivo de mantener la continuidad operativa y evitar un colapso en sus consumos internos.

5 Resultados

5.1 Zona Charrúa

La Tabla 5-1 muestra las condiciones de operación precontingencia para la zona 1 según lo descrito en la sección 4.2.1 (previo a la desconexión de unidades generadoras).

Tabla 5-1: Condiciones de operación en plantas CMPC Zona Charrúa precontingencia.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos capacitivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Laja	232,3	TG3	34,6	0,0	20,2	-1,6 (pañó JL1)
		TG4	54,2	17,5		
Santa Fé	231,8	TG1	20,0	9,3	27,9	1,3 (pañó JL1+JL2)
		TG2	35,0	5,0		
		TG3	40,0	9,2		
SF Energía	231,8	TG4	98	-15,7	-	-31,5 (pañó JT1)
Pacífico	230,3	TG1	35,0	12,6	2,4	-21,2 (pañó JL2)
		TG2	36,0	4,7		
		TG3	9,0	7,7		

Adicionalmente, en la SE Charrúa 220 kV, en el paño J10 que conecta el complejo de las instalaciones de CMPC con el resto del SEN, se tiene una inyección desde las plantas de 120,4 MW y un flujo de 14,0 MVar hacia las plantas de CMPC desde Charrúa, además de una tensión de 231,2 kV. Cabe destacar que la tensión de servicio en Charrúa es de 224 kV, lo que significa que la tensión en Charrúa se puede mover dentro de un rango de operación de 212,8 a 235,2 kV en Estado Normal (0,95 y 1,05 p.u. respecto al valor de tensión de servicio)⁵.

Se destaca que los taps de los transformadores que se utilizan para ajustar el nivel de intercambio de potencia reactiva entre las plantas de CMPC y su punto de conexión con la red, se definen una sola vez bajo las condiciones descritas en la Tabla 5-1, ya que, para efectos de las simulaciones dinámicas, debido a los tiempos de operación de los cambiadores de taps (del orden de 180 segundos), estos no varían su posición en ninguna circunstancia posterior a las contingencias.

Bajo las condiciones anteriores, se simuló desconexiones (por separado) de las unidades que se encuentran controlando tensión en las plantas de CMPC, específicamente TG4 en CMPC Laja, TG3 en CMPC Santa Fé y TG1 en CMPC Pacífico. De esta manera, se observa el comportamiento de la tensión en las barras donde se conectan las cargas críticas de las plantas, además se evaluar la condición de operación final de las unidades que no son desconectadas.

5.1.1 CMPC Laja

La Figura 5-1 muestra la evolución de las tensiones dentro de la planta CMPC Laja al desconectar la unidad generadora TG4, la cual se encontraba controlando tensión en

⁵ <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2025/03/Informe-Final-ETS-2025.pdf>

1,0 p.u. en su barra de conexión de 13,2 kV (curva barra F) mediante una inyección de 17,4 MVar. Por otro lado, la Figura 5-2 muestra la variación de la potencia activa y reactiva de cada generador en dicha planta.

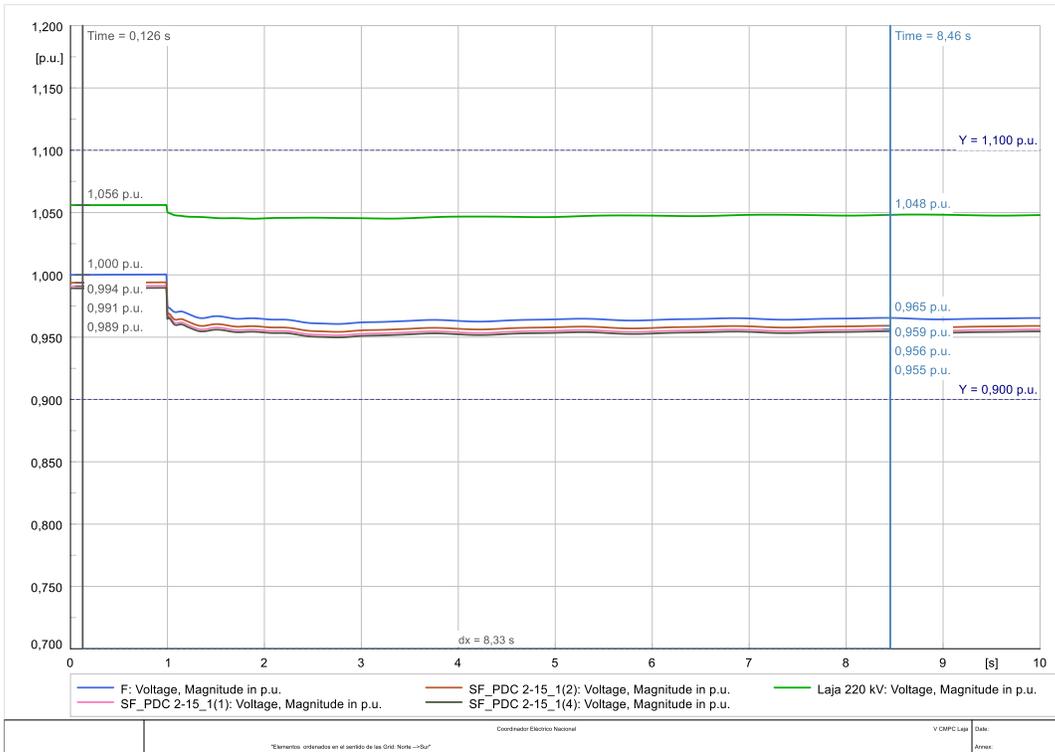


Figura 5-1: Tensiones en CMPC Laja al desconectar TG4.

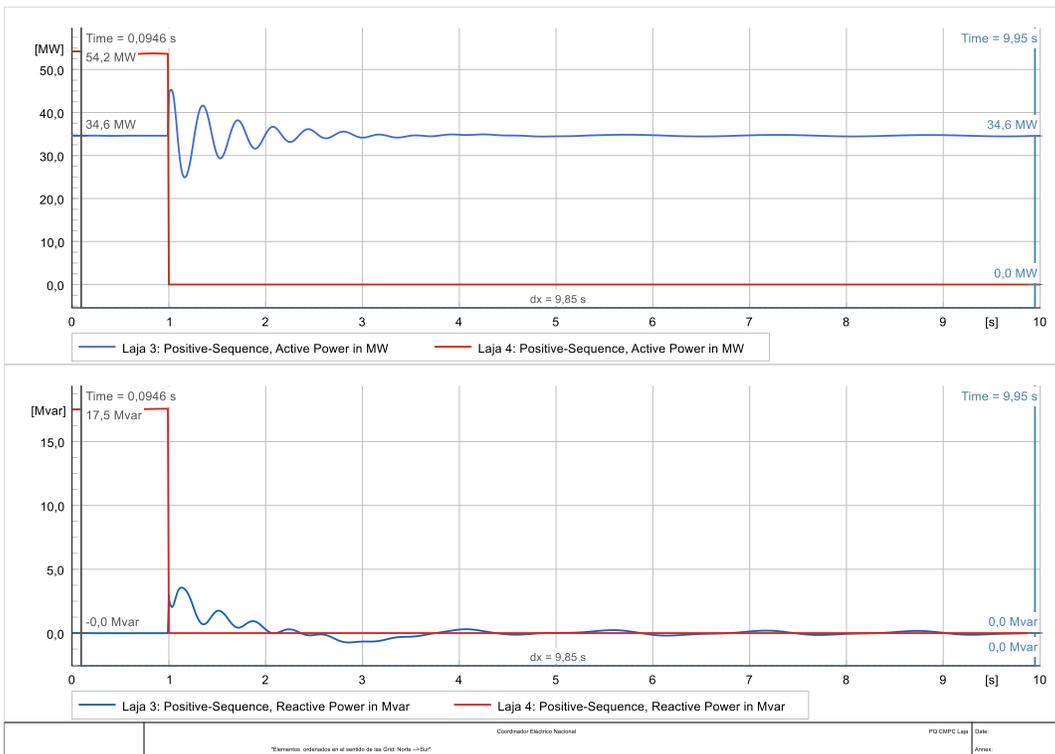


Figura 5-2: Potencia activa y reactiva de generadores en CMPC Laja al desconectar TG4.

De la Figura 5-1 se observa que la desconexión la unidad TG4 de CMPC Laja provoca una caída en las tensiones de la planta. En particular, las tensiones que se obtienen en las barras donde se conectan las cargas críticas (nombradas como PDC, de 0,69 kV), se mantienen en todo momento dentro de la banda tanto de régimen permanente como transitorio, lo que significa que, bajo estas condiciones de operación, la desconexión intempestiva de la unidad generadora que controla tensión en su barra de conexión de 13,2 kV en la planta (TG4), no provocaría riesgos en la continuidad operacional de CMPC Laja.

La Figura 5-2 muestra cómo el otro generador de CMPC Laja (TG3) mantiene su potencia activa sin cambios posterior a la contingencia (en régimen permanente). Además, se observa que dicha unidad mantiene los reactivos en 0 MVar, la cual corresponde a su consigna precontingencia (no controla tensión en 13,2 kV). Esto significa que la tensión que era controlada en la barra de 13,2 kV de CMPC Laja cae, dado que TG4 inyectaba 17,4 MVar, y no se recupera a niveles previos a la desconexión de la TG4, según se aprecia en la Figura 5-1 (curva azul), quedando en un valor cercano a 0,966 p.u.

La Tabla 5-2 muestra las condiciones de operación después de la desconexión de la TG4 de CMPC Laja (se asume que los taps de los transformadores no han sido modificados por los operadores), donde se observa que el resto de los generadores de la zona se mantienen operando dentro de sus límites, y las tensiones resultantes están dentro de los rangos definidos por la NTSyCS. Además, en SE Charrúa se tiene una tensión de 230,9 kV.

Tabla 5-2: Condiciones de operación en plantas CMPC Zona Charrúa posterior a desconexión de TG4 en CMPC Laja.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos capacitivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Laja	230,0	TG3	34,6	0,0	19,0	-13,1 (pañó JL1)
		TG4	-	-		
Santa Fé	230,9	TG1	20,0	10,0	27,9	3,6 (pañó JL1+JL2)
		TG2	35,0	5,0		
		TG3	40,0	10,8		
SF Energía	230,9	TG4	98,0	-12,8	-	-28,5 (pañó JT1)
Pacífico	229,4	TG1	35,0	13,6	2,4	-20,2 (pañó JL2)
		TG2	36,0	4,7		
		TG3	9,0	7,7		

5.1.2 CMPC Santa Fé

La Figura 5-3 muestra la evolución de las tensiones dentro de la planta CMPC Santa Fé al desconectar la unidad generadora TG3, la cual se encontraba controlando tensión en 1,0 p.u. en su barra de conexión de 13,2 kV (barra B22) mediante una inyección de 9,2 MVar. Por otro lado, la Figura 5-4 muestra la variación de la potencia activa y reactiva de cada generador en dicha planta.

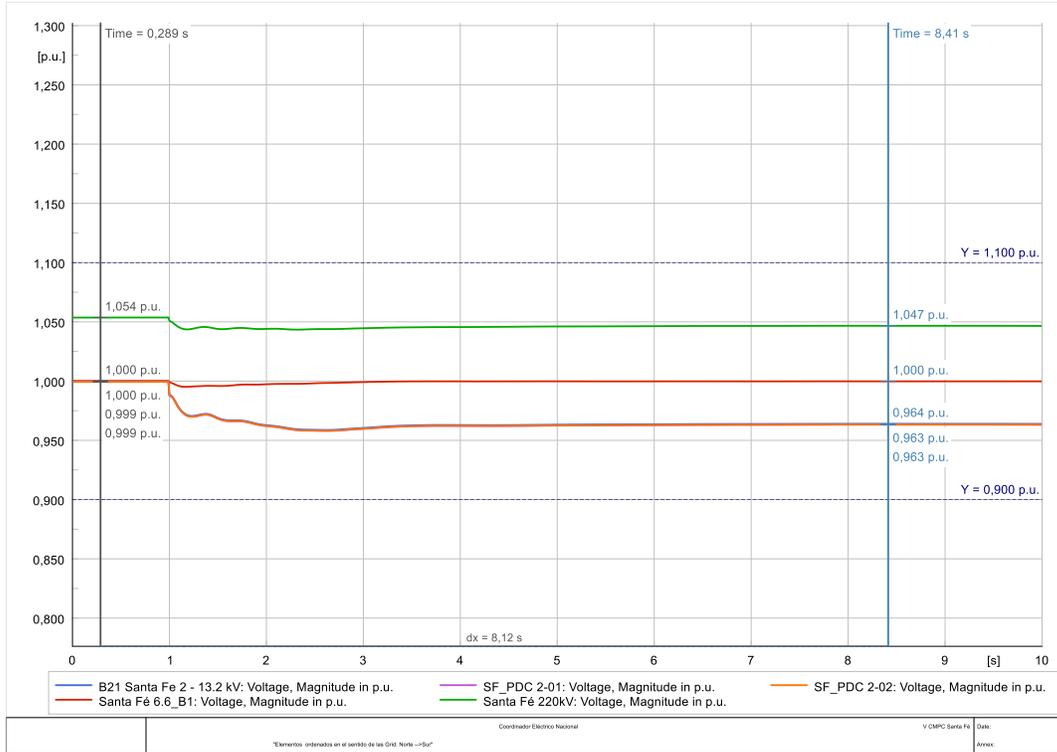


Figura 5-3: Tensiones en CMPC Santa Fé al desconectar TG3.

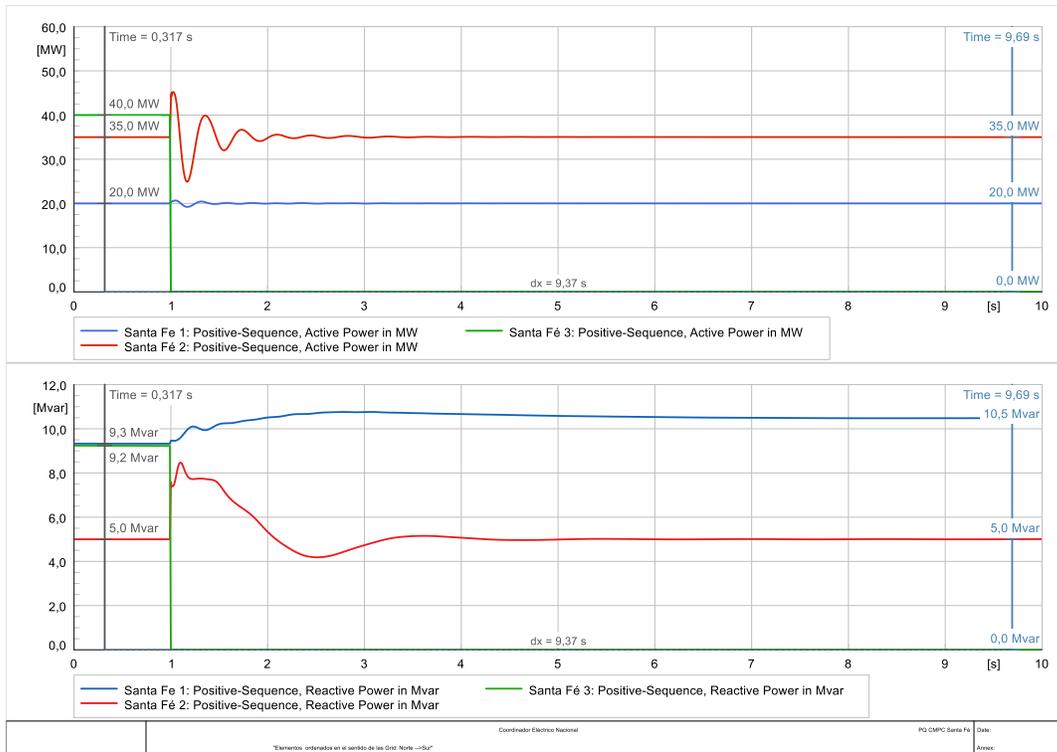


Figura 5-4: Potencia activa y reactiva de generadores en CMPC Santa Fé al desconectar TG3.

De la Figura 5-3 se observa que la desconexión la unidad TG3 de CMPC Santa Fé provoca una caída en las tensiones de la planta. En particular, las tensiones que se obtienen en las barras donde se conectan las cargas críticas (curva PDC de 0,69 kV), se mantienen en todo momento dentro de su banda definida tanto de régimen permanente como transitorio, lo que significa que, bajo estas condiciones de operación, la desconexión intempestiva de la unidad generadora que controla tensión en la barra B22 de 13,2 kV en la planta (TG3), no provocaría riesgos en la continuidad operacional de CMPC Santa Fé.

La Figura 5-4 muestra cómo el resto de los generadores de CMPC Santa Fé mantienen su potencia activa sin cambios posterior a la contingencia (en régimen permanente). Además, TG2 controla su despacho de reactivos en 5 MVar y TG1 aumenta su inyección de reactivos debido a que dicha unidad se encuentra controlando tensión en la barra B1 de 6,6 kV, con una consigna de 1,0 p.u., la cual es alcanzada rápidamente según se aprecia en la Figura 5-3 (curva roja).

La Tabla 5-3 muestra las condiciones de operación después de la desconexión de TG3 de CMPC Santa Fé (recordar que los taps de los transformadores se mantienen fijos e iguales a la condición precontingencia), donde se observa que el resto de los generadores de la zona se mantienen operando dentro de sus límites, y las tensiones resultantes están dentro de los rangos definidos por la NTSyCS. Además, en SE Charrúa se tiene una tensión de 231,1 kV.

Tabla 5-3: Condiciones de operación en plantas CMPC Zona Charrúa posterior a desconexión de TG3 en CMPC Santa Fé.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos capacitivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Laja	231,6	TG3	34,6	0,0	20,2	-0,3 (pañó JL1)
		TG4	54,2	19,0		
Santa Fé	230,1	TG1	20,0	10,6	26,3	-10,2 (pañó JL1+JL2)
		TG2	35,0	5,0		
		TG3	-	-		
SF Energía	230,2	TG4	98,0	-10,7	-	-26,3 (pañó JT1)
Pacífico	228,7	TG1	35,0	14,4	2,4	-19,5 (pañó JL2)
		TG2	36,0	4,4		
		TG3	9,0	7,7		

5.1.3 CMPC Pacífico

La Figura 5-5 muestra la evolución de las tensiones dentro de la planta CMPC Pacífico al desconectar la unidad generadora TG1, la cual se encontraba controlando tensión en 1,0 p.u. en su barra de conexión B2 de 13,2 kV mediante la inyección de 12,6 MVar. Por otro lado, la Figura 5-6 muestra la variación de la potencia activa y reactiva de cada generador en dicha planta.

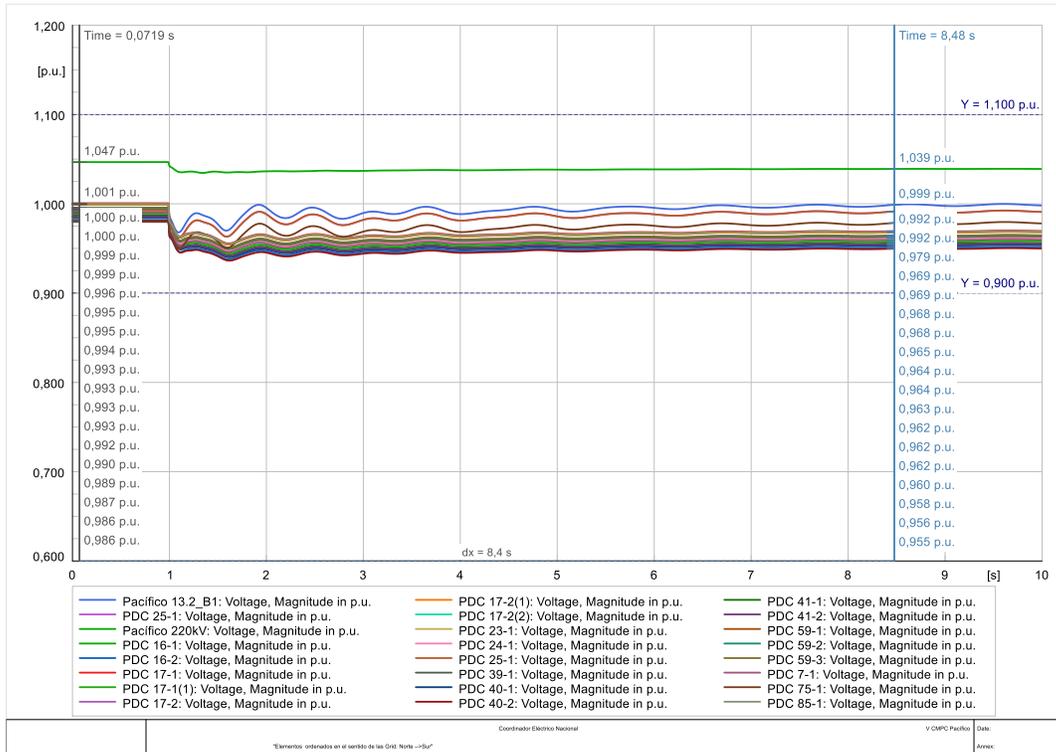


Figura 5-5: Tensiones en CMPC Pacífico al desconectar TG1.

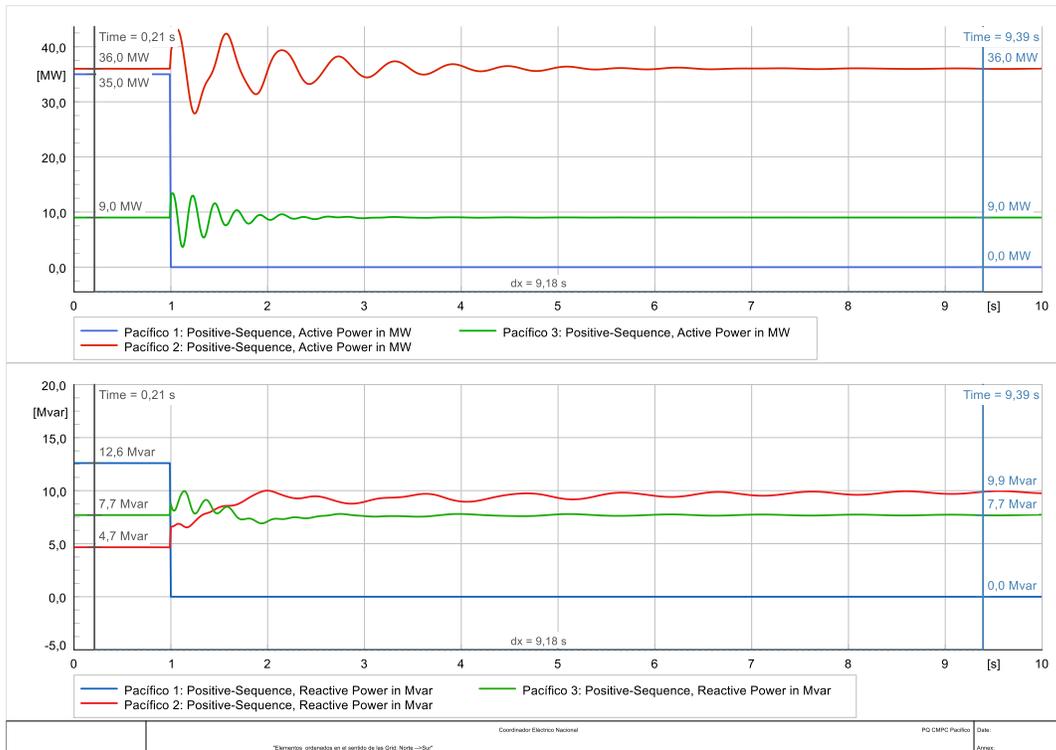


Figura 5-6: Potencia activa y reactiva de generadores en CMPC Pacífico al desconectar TG1.

De la Figura 5-5 se observa que la desconexión la unidad TG1 de CMPC Pacífico provoca una caída en las tensiones de la planta. En particular, las tensiones que se obtienen en las barras donde se conectan las cargas críticas (curvas llamadas PDC de 0,69 kV), se mantienen en todo momento dentro de la banda tanto de régimen permanente como transitorio, lo que significa que, bajo estas condiciones de operación, la desconexión intempestiva de la unidad generadora que controla tensión en la barra B2 de 13,2 kV en la planta (TG1), no provocaría riesgos en la continuidad operacional de CMPC Pacífico.

La Figura 5-6 muestra cómo el resto de los generadores de CMPC Pacífico mantienen su potencia activa sin cambios posterior a la contingencia (en régimen permanente). Además, TG3 controla su despacho de reactivos en 7,7 MVar y TG2 aumenta su inyección de reactivos debido a que dicha unidad se encuentra controlando tensión en la barra B1 de 13,2 kV, con una consigna de 1,0 p.u., la cual tiende a volver a lograr según se aprecia en la Figura 5-5 (curva azul muy cercana a 1,0 p.u.).

La Tabla 5-4 muestra las condiciones de operación después de la desconexión de la TG1 de CMPC Pacífico (recordar que los taps de los transformadores se mantienen fijos e iguales a la condición precontingencia), donde se observa que el resto de los generadores de la zona se mantienen operando dentro de sus límites, y las tensiones resultantes están dentro de los rangos definidos por la NTSyCS. Además, en SE Charrúa se tiene una tensión de 231,2 kV.

Tabla 5-4: Condiciones de operación en plantas CMPC Zona Charrúa posterior a desconexión de TG1 en CMPC Pacífico.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos capacitivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Laja	232,0	TG3	34,6	0,0	20,2	-1,0 (pañó JL1)
		TG4	54,2	18,2		
Santa Fé	230,9	TG1	20,0	10,0	27,9	3,6 (pañó JL1+JL2)
		TG2	35,0	5,0		
		TG3	40,0	10,7		
SF Energía	230,9	TG4	98,0	-13,1	-	-28,8 (pañó JT1)
Pacífico	228,5	TG1	-	-	2,3	-25,2 (pañó JL2)
		TG2	36,0	10,1		
		TG3	9,0	7,7		

5.2 Zona Talagante

La Tabla 5-5 muestra las condiciones de operación normal, donde la central CMPC Tissue se encuentra inyectando 20 MW a la red. La planta se conecta a la SE Papelera Talagante 66 kV, y se conecta con el resto del SEN a través de la línea 1x66 kV Isla de Maipo – Papelera Talagante, desde donde fluyen unos 4,8 MW y 0,2 MVar hacia las instalaciones de CMPC Tissue. Además, esta planta se encuentra controlando tensión en 1,0 p.u. mediante la inyección de 5,7 MVar.

Tabla 5-5: Condición de operación normal en planta CMPC Zona Talagante.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos capacitivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Talagante	65,8	TG1	20,0	5,7	7,0	0,2

La Figura 5-7 muestra la evolución de las tensiones dentro de la planta CMPC Tissue al desconectar la unidad generadora TG1, la cual se encontraba controlando tensión en su barra de conexión de 12 kV.

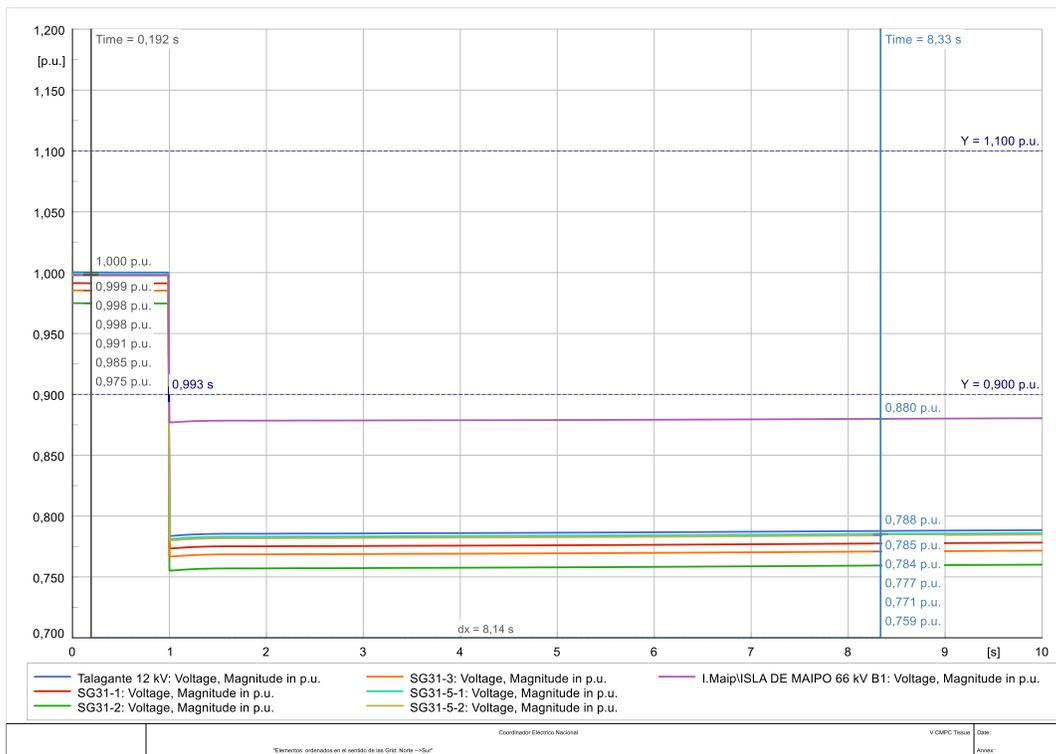


Figura 5-7: Tensiones en CMPC Tissue al desconectar TG1.

Se observa que la desconexión la unidad TG1 de CMPC Tissue provoca una caída sostenida en las tensiones de la planta. Las tensiones que se obtienen en las barras donde se conectan las cargas críticas quedan fuera de las bandas de operación permitidas, lo que significa que, bajo estas condiciones de operación, la desconexión intempestiva de la unidad generadora que controla tensión en la barra de 12 kV en la planta (TG1), se traduce en una interrupción total del proceso productivo de CMPC. Esto sucede dado que, al perder toda la generación de la planta (20 MW), los procesos deben ser alimentados desde el resto del SEN (Isla de Maipo), lo cual implica un tránsito de reactivos significativo en el transformador de SE Papelera Talagante 66/12 kV de 30 MVA, implicando una gran caída de tensión debido a la capacidad limitada de la línea de transmisión 1x66 kV Paine – Isla de Maipo.

Lo anterior demuestra que CMPC Tissue, en las condiciones de operación estudiadas, debe permanecer en operación bajo cualquier circunstancia, con el fin de proteger el proceso productivo de la planta. Para esto último, CMPC cuenta con automatismos que se encargan de detectar las condiciones de paso a isla para aislar la planta del SEN y así evitar la interrupción de sus procesos productivos, garantizando la seguridad de su operación en todo instante.

5.3 Caso adicional: desconexión de la central CMPC Santa Fé absorbiendo reactivos

Se realizó un análisis para la desconexión de la central CMPC Santa Fé del SEN, en donde cuyas condiciones previas a la desconexión corresponden a una absorción máxima de reactivos desde las unidades generadoras (de acuerdo con sus cartas de operación PQ y sus limitadores de subexcitación UEL). Esta absorción de reactivos correspondería a un control de tensión cuyo objetivo sea bajar los niveles de tensión en Charrúa. Además, la posición del tap de los transformadores se ajusta de modo que la tensión en las barras de MT de 6,6 kV y 13,2 kV sea lo más cercano posible a 1,0 p.u. Las condiciones en la central CMPC Santa Fé previas a la desconexión se muestran en la Tabla 5-6:

Tabla 5-6: Condición de operación en planta CMPC Santa Fé previa a su desconexión del SEN.

Instalación CMPC	Tensión en barra de conexión AT [kV]	Unidad generadora	P [MW]	Q [MVar]	Reactivos shunt en MT [MVar]	Intercambio de reactivos en punto de conexión [MVar]
Santa Fé	227,4	TG1	20	-3,5	27,9	47,9 (pañero JL1+JL2)
		TG2	35	-10,0		
		TG3	40	-8,0		

Bajo las condiciones anteriores, se simuló la desconexión intempestiva de la planta del resto del SEN y se observó la evolución de las tensiones internas de CMPC Santa Fé, y de la potencia activa y reactiva de sus unidades generadoras. La Figura 5-8 y la Figura 5-9 muestran dichas variables.

De las figuras indicadas, se observa que, al desconectar la planta del SEN, dentro de las instalaciones de CMPC Santa Fé se producen niveles de tensión que se mueven fuera de la banda de operación de +/-10% de las cargas críticas de la planta. Esto sucede debido a que, al producirse la desconexión, inmediatamente se genera un déficit de potencia reactiva dentro de la planta, el cual se traduce en bajas tensiones internas. Esto implica que las cargas críticas se desconectarían para esta contingencia.

Es importante mencionar que se tendría un comportamiento similar en las demás instalaciones de CMPC en caso de producirse una desconexión de la planta correspondiente bajo condiciones de máxima absorción de reactivos desde sus unidades generadoras. Lo anterior, basta para confirmar que las centrales de CMPC declaradas como Autoproducción no pueden controlar tensión debido al riesgo que implica para las instalaciones internas de proceso, las cuales presentan cargas sensibles a fluctuaciones de tensión.

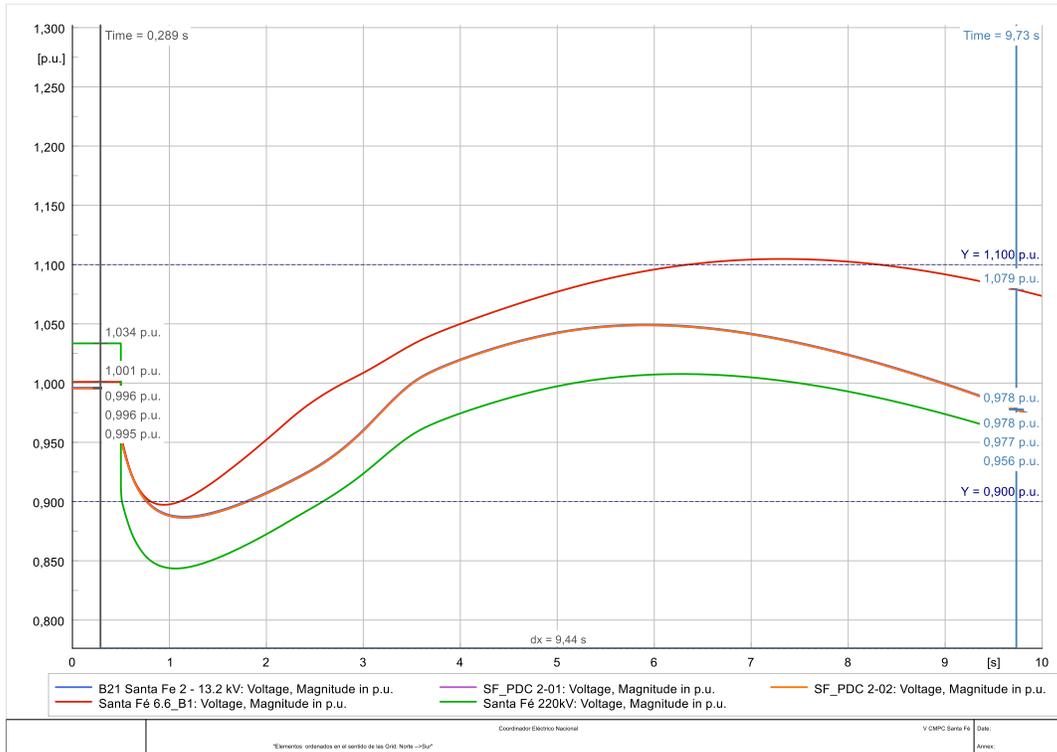


Figura 5-8: Tensiones en CMPC Santa Fé al desconectar la planta del SEN.

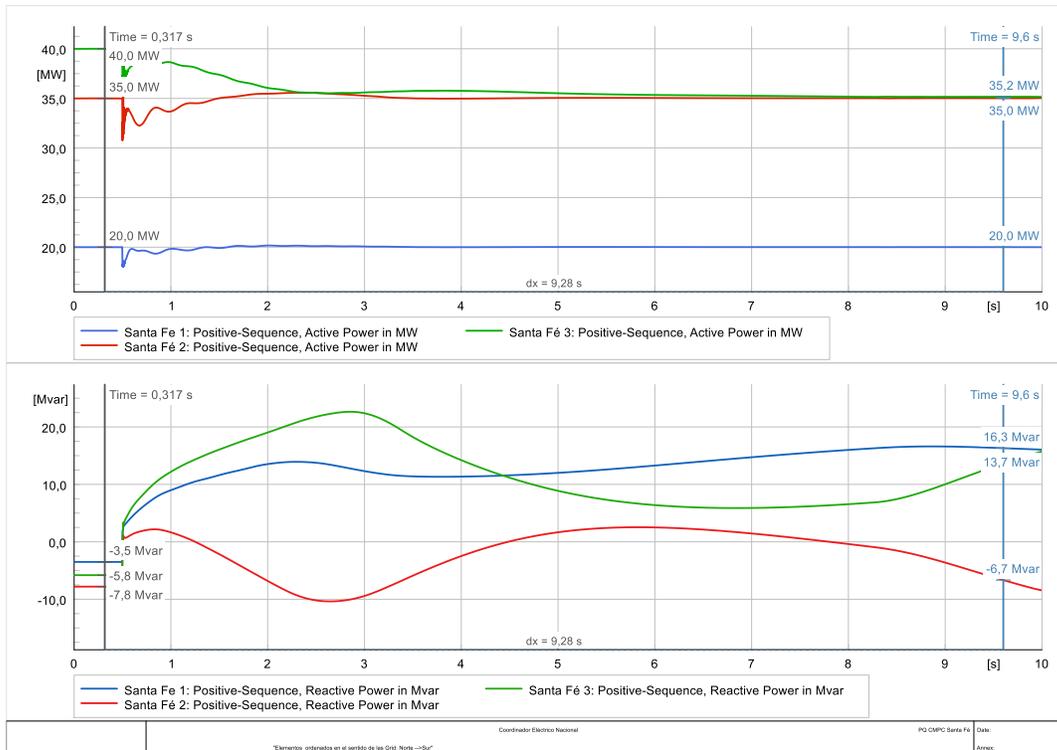


Figura 5-9: Potencia activa y reactiva de generadores en CMPC Santa Fé al desconectar la planta del SEN.

6 Conclusiones

En el presente informe se realizó un análisis regulatorio y técnico con el objetivo de documentar la incompatibilidad de la prestación de SSSC de CPF y CT en las instalaciones de CMPC Laja, Santa Fé, SF Energía, Pacífico, Tissue y Cordillera, dado que el Cliente busca que dichas instalaciones sean excluidas de la prestación de SSSC que está exigiendo el CEN.

La principal conclusión que se obtiene a partir del análisis regulatorio respecto a la obligatoriedad de la prestación de SSSC, es que éstos se podrán exigir siempre que exista el recurso técnico necesario (reguladores de velocidad para el CPF y AVR para el CT), y que además esta capacidad de control no interfiera con la operación interna de la planta. Esto es de especial importancia en el caso de los Autoprodutores, ya que, por definición, estos coordinados están diseñados para satisfacer sus propios consumos asociados a sus procesos productivos de forma segura, e inyectar sus excedentes al resto del SEN.

Para el caso del CPF, la normativa exige que las instalaciones que presten este servicio deban contar con un regulador de velocidad que cumpla con las características técnicas según lo dispuesto en la NTSyCS. En las plantas de CMPC, cuando estas operan sincronizadas con el sistema, ninguna de las unidades generadoras dispone de reguladores de velocidad que sean capaces de controlar la potencia activa frente a variaciones de frecuencia, lo que se justifica debido a las características particulares del proceso productivo en estas plantas. Por lo tanto, **no es posible exigir la prestación de este servicio de CPF en ninguna de las instalaciones de CMPC.**

Para el caso del CT, si bien las unidades generadoras de CMPC cuentan con AVR (el cual es exigido por la normativa para la prestación del SC de CT), al corresponder a Centrales declaradas como Autoprodutor, se debe garantizar que sus instalaciones internas operen en un rango acotado de tensiones de tal modo que no pongan en riesgo la continuidad de sus operaciones. El CEN no puede exigir la prestación del SC de CT si existe afectación al interior de la planta que interfiera con su proceso productivo.

Para estudiar el punto recién descrito, se realizó un análisis técnico mediante flujos de potencia y simulaciones dinámicas donde se verificó que bajo las condiciones de operación típicas en las plantas de CMPC, para ciertas contingencias de interés, sí se producen variaciones de tensión inadmisibles en las instalaciones de CMPC de acuerdo con los límites de operación asociados a las cargas críticas. Para el caso de CMPC Tissue, se destaca que la desconexión de su unidad generadora podría poner en riesgo la continuidad operativa de la planta, sin embargo, CMPC cuenta con los automatismos necesarios para evitar dicha situación y operar en isla independiente del sistema eléctrico.

Adicionalmente, se demostró que, en caso de que se esté prestando el servicio de CT mediante la absorción de reactivos en las plantas de CMPC (particularmente CMPC Santa Fé) y se produzca la desconexión intempestiva de dicha planta del resto del SEN (debido a la capacidad de los Autoprodutores de operar en isla eléctrica), se producirían niveles de tensión internos que estarían fuera de la banda de operación admisible para las cargas críticas de la planta, lo cual pondría en riesgo el proceso productivo de CMPC.

Por lo tanto, dado que la filosofía de operación de las plantas de CMPC está diseñada para operar sus instalaciones de manera que se asegure su continuidad y estabilidad, lo cual se logra mediante una serie de etapas y procesos químicos que permiten generar su propio combustible para generar energía eléctrica para sus consumos internos e

inyectar sus excedentes al SEN (en caso de que existan), sus automatismos de formación de isla eléctrica (en caso de perturbaciones externas), y mediante el control de tensión en sus barras de proceso en MT (y no en AT), exigir el SC de CT podría generar niveles de tensión que no garanticen e interfieran con la seguridad y el adecuado funcionamiento de sus instalaciones críticas, lo que queda demostrado con las simulaciones realizadas en DlgSILENT donde se muestran incursiones de tensión fuera de la banda admisible del $\pm 10\%$, lo que implica un riesgo para los equipos y la operación de la planta.

Debido a esto último, no se recomienda la prestación del SC de CT. Las verificaciones han demostrado que, en las condiciones actuales –sin la intervención del SC de CT y respetando la filosofía de operación de CMPC–, la seguridad y continuidad operacional en las instalaciones críticas de CMPC están garantizadas.

7 Anexo 1: Análisis complementario

7.1 Normativa relevante aplicable a Clientes Libres

Dado que las instalaciones de CMPC se comportan como Cliente Libre cuando no son capaces de abastecer completamente sus consumos internos (sus procesos deben ser abastecidos desde la red), resulta relevante estudiar que dice la normativa respecto a estos casos.

De acuerdo con la normativa vigente, el DS 125-2017, en su artículo 2, y la NTSyCS en su artículo 1-7, definen a un Cliente Libre como aquel usuario final no sometido a regulación de precios, cuyas barras de consumo de sus instalaciones son abastecidas directamente desde el sistema de transmisión. Adicionalmente, el artículo 72°-2 de la LGSE se refiere a las instalaciones de los Clientes Libres (entre otros), como coordinados. Esto último también se define en el artículo 10 del DS 125-2017 y en la NTCyO del SEN en su artículo 1-4.

Como Clientes, la NTSyCS establece las obligaciones y requisitos técnicos asociados al SSCC de EDAC por subfrecuencia (en sus artículos 5-10 al 5-16), bajo los cuales, en condición de contingencia, deberán desconectar carga en función de la frecuencia para proteger al sistema eléctrico.

Además, el artículo 5-17 de la NTSyCS define exigencias específicas para Clientes Libres en relación con el factor de potencia medido en los puntos de control, según el nivel de tensión de dichos puntos, los cuales corresponden al punto de conexión en donde se interconectan las instalaciones explotadas por un coordinado.

7.2 Proceso productivo de las plantas CMPC

El proceso productivo de las plantas de celulosa CMPC, para efectos de la generación de energía eléctrica, consiste (de manera simplificada) en una serie de etapas y procesos químicos mediante los cuales estas instalaciones pueden generar su propio combustible (licor negro), y así generar energía eléctrica para sus propios consumos internos e inyectar sus excedentes al SEN en caso de que existan. Estos procesos deben ser continuos y estables, donde debe minimizarse al máximo la probabilidad de desconexiones intempestivas de cargas o procesos críticos, ya que estas podrían desencadenar una discontinuidad en el proceso industrial con potenciales impactos ambientales, tanto en el entorno como en las comunidades cercanas.

Es importante señalar que las plantas de celulosa de CMPC son declaradas como Autoprodutores y producen su propio combustible para operar. En el caso de las calderas recuperadoras, se utiliza licor negro (el cual es variable según la producción), mientras que la disponibilidad de combustible en las calderas de biomasa puede considerarse fija y suficiente, sin embargo, representan una cantidad menor respecto a la producción de vapor de la caldera recuperadora. En este sentido, la operación de un Autoprodutor responde a finalidades productivas propias y no al despacho centralizado del sistema.

Además, se destaca que la calidad de ambos combustibles no es constante y presenta variación dependiendo de la estación (invierno-verano) y de las variables de proceso que controla el centro de operaciones de planta.

Otro aspecto importante para considerar es que la operación de una planta de celulosa, además de velar por la producción y generación de energía eléctrica, debe operar de acuerdo con el cumplimiento irrestricto de factores medioambientales definidos por la autoridad, los cuales son monitoreados en tiempo real por el centro de control de planta.

7.3 Filosofía de operación para asegurar continuidad de los procesos CMPC

Tal como se ha señalado previamente, la planta de Celulosa corresponde a una instalación química que requiere un proceso continuo y estable, donde debe minimizarse al máximo la probabilidad de desconexiones intempestivas de cargas o procesos críticos, ya que estas podrían desencadenar un *blackout* con potenciales impactos ambientales perjudiciales para el entorno.

Por esta razón, las plantas de CMPC cuentan con una filosofía de operación diseñada para operar sus instalaciones de manera que se asegure su continuidad y estabilidad en sus procesos productivos. Lo anterior implica ciertas estrategias y automatismos para mantener el suministro de energía en todo momento. Respecto a esto último, en las instalaciones de CMPC se siguen filosofías de operación para el control de tensión interno en las plantas, y se cuenta además con automatismos de formación de islas en caso de perturbaciones externas en el sistema eléctrico que pongan en riesgo el proceso productivo de las plantas.

En relación con el control de tensión, este es local en barra de MT donde sincroniza la unidad generadora y es realizado por personal de operación según los requerimientos y estabilidad de la planta, no pudiendo ser considerado como una variable a modular de manera independiente dado que representaría un riesgo para la continuidad del proceso de celulosa, lo que podría generar la desconexión de cargas críticas conectadas al proceso químico con posibles consecuencias medioambientales. Por lo tanto, el despacho de potencia reactiva de las unidades generadoras de CMPC está sujeto a la estrategia de control de tensión de cada planta, donde se tienen unidades que controlan tensión en las barras de MT siguiendo una consigna de tensión específica, y otras que controlan reactivos o factor de potencia en un valor fijo, siempre teniendo en consideración que estas barras son de proceso. Adicionalmente, en las plantas de la zona Charrúa existe la posibilidad de ajustar el cambiador de tap bajo carga (OLTC) de ciertos transformadores. Este ajuste es realizado de manera manual por los operadores de planta y tiene como objetivo minimizar el intercambio de reactivos entre cada planta y su punto de conexión con la red.

Por otra parte, como las plantas de celulosa de CMPC son consideradas Autoprodutores, estas instalaciones pueden y deben desconectarse del SEN y pasar a isla eléctrica ante eventos externos que ocurran en la red, con el objetivo de salvaguardar la operación del proceso productivo de celulosa y evitar una afectación en las cargas internas que pueda generar eventos medioambientales y afectación a la comunidad. Por esta razón, CMPC cuenta con automatismos que permiten la formación segura y controlada de islas eléctricas frente a contingencias en el sistema. En caso de que al momento de formación de isla se tengan excedentes de potencia activa de las plantas de CMPC, cada planta cuenta con un control local de frecuencia que se activa únicamente cuando abre su interruptor principal, de modo que se pueda reducir la generación de la isla de manera segura y controlada. Por otro lado, en caso de que, al momento de la formación de isla, la generación interna sea insuficiente para abastecer toda la demanda eléctrica de la planta, se activan esquemas EDAC que desconectan cargas no críticas de la planta de manera selectiva, manteniendo el nivel de generación de la planta previo a la formación de isla.

7.4 Comportamiento de inyecciones y retiro de potencia activa

Para entender de mejor manera la operación típica de las plantas de CMPC, en términos de intercambio de potencia activa con el SEN, se calcularon las curvas de duración de potencia activa neta (generación de CMPC menos la demanda interna de sus instalaciones, cuyo balance se observa en el punto de conexión con la red) para un

periodo de un año, donde se utilizaron específicamente las medidas entre el 1 de julio de 2024 y el 30 de junio de 2025 obtenidas desde la plataforma de registros y medidas del SEN⁶. Las figuras que se obtuvieron son las siguientes, donde la curva roja define el límite bajo el cual la planta respectiva se comporta como carga o generador neto.

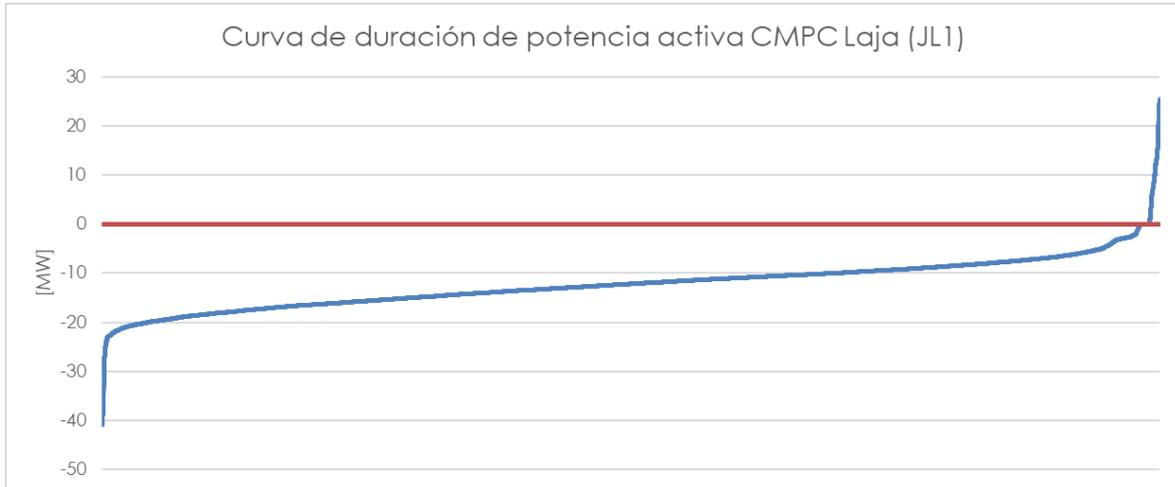


Figura 7-1: Curva de duración potencia activa en CMPC Laja (JL1).

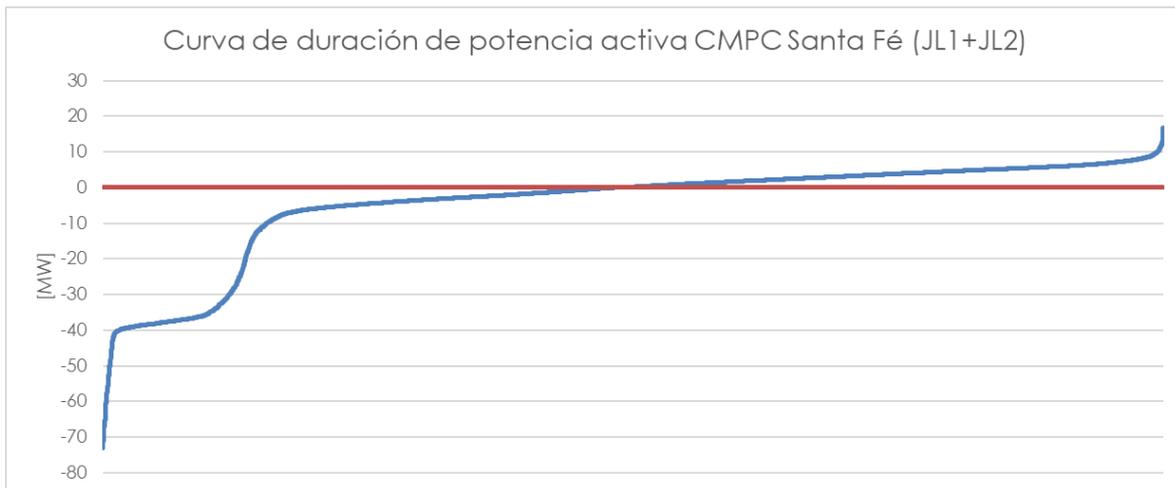


Figura 7-2: Curva de duración potencia activa en CMPC Santa Fé (JL1+JL2).

⁶ <https://medidas.coordinador.cl/registro/>

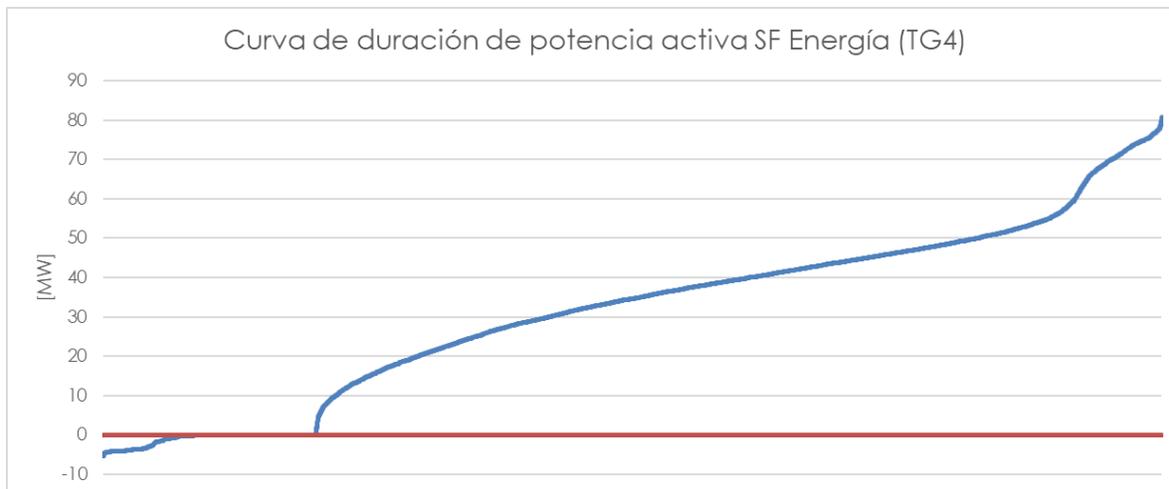


Figura 7-3: Curva de duración potencia activa en SF Energía (TG4).

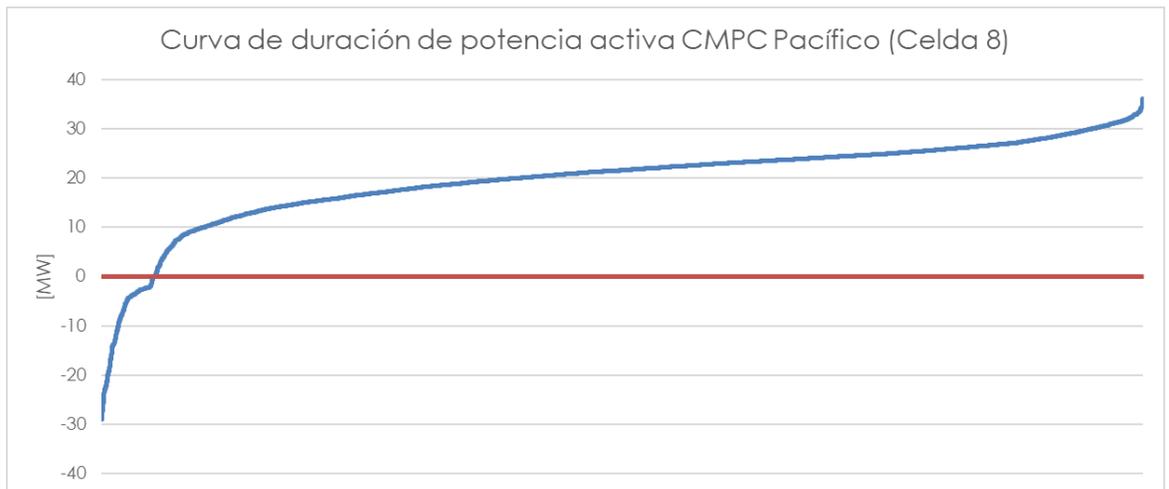


Figura 7-4: Curva de duración potencia activa en CMPC Pacífico (Celda 8).

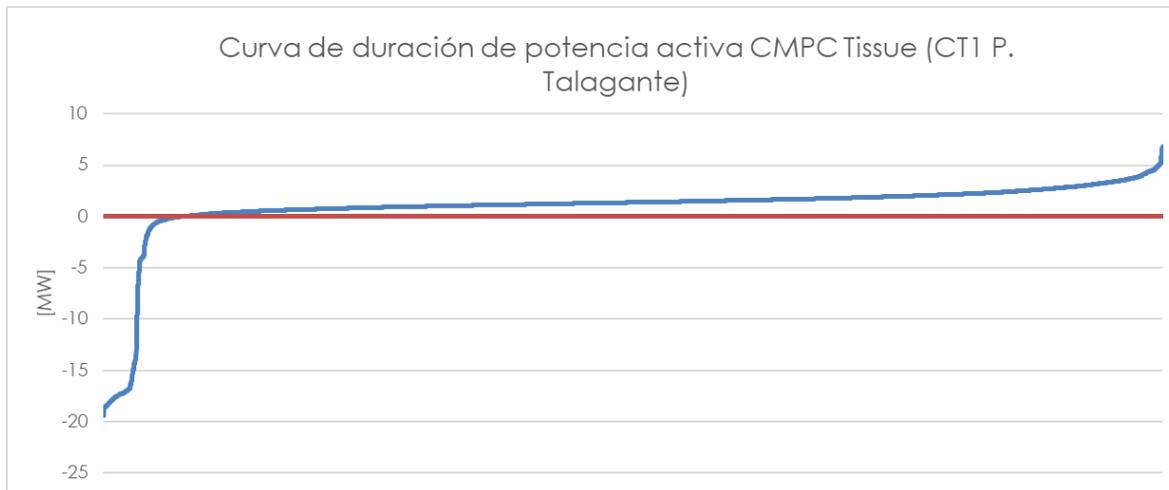


Figura 7-5: Curva de duración potencia activa en CMPC Tissue (CT1 P. Talagante).

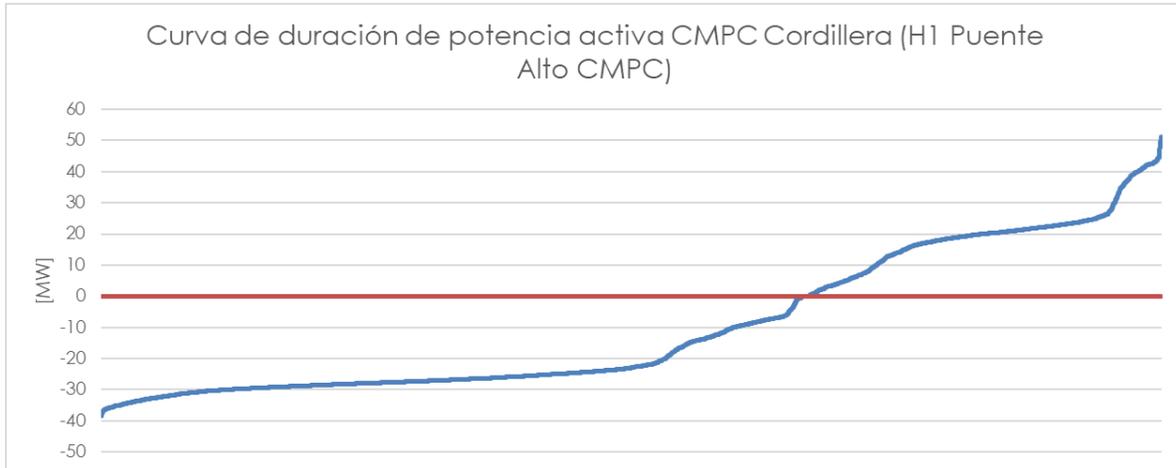


Figura 7-6: Curva de duración potencia activa en CMPC Cordillera (H1 Puente Alto CMPC).

Cabe destacar que, para el caso de CMPC Cordillera, se utilizaron medidas de la central del periodo 2023-2024, dado a su actual indisponibilidad desde finales de 2024.

Se puede evidenciar que las instalaciones de CMPC se comportan como carga o generador puro dependiendo del periodo del año. Específicamente, en la Tabla 7-1 se muestra la cantidad de horas y los porcentajes en que cada instalación tiene una generación neta menor a cero a lo largo del horizonte estudiado.

Tabla 7-1: Cantidad de horas en el año con generación neta negativa.

Instalación CMPC	Cantidad de horas del año con generación neta negativa	Porcentaje respecto a un año [%]
Laja	8599	98,2
Santa Fé	4228	48,3
SF Energía (TG4)	756	8,6
Pacífico	437	5,0
Tissue	638	7,3
Cordillera	5801	66,2

Lo anterior da cuenta que CMPC principalmente consume energía desde la red, lo que implica un comportamiento de Cliente Libre, en calidad de Autoprodutor. En este sentido, es importante señalar que, como Cliente Libre en su punto de conexión con la red, las instalaciones de CMPC no tendrían las mismas exigencias normativas que un generador. Por ejemplo, las plantas de CMPC cuentan con ajustes de baja frecuencia superiores a los exigidos en la NTSyCS, pero esto se debe a que CMPC debe proteger y asegurar la continuidad operacional de sus instalaciones, lo que, junto a sus automatismos para formación de isla, garantiza que, bajo perturbaciones externas en la red eléctrica, las plantas se desconecten sin que lo hagan sus unidades generadoras, asegurando la continuidad de sus procesos y evitando así posibles daños medioambientales. Asimismo, este tipo de acciones se encarga de, a su vez, proteger al sistema eléctrico si la formación de isla ocurre cuando el consumo interno de las plantas CMPC es mayor que su generación.