



**ESTUDIOS
ELECTRICOS**

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Starkraft
Chile
Parque Eólico Los Cerrillos
Informe final - Control Terciario de
Frecuencia



Starkraft

CÓDIGO DE PROYECTO EE-2024-086
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-1930
REVISIÓN A

18 dic. 24



Este documento **EE-EN-2024-1930-RA** fue preparado para Statkraft por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: **Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia y Electrical Studies Corp.**

Este documento contiene 33 páginas y ha sido guardado por última vez el 18/12/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	18.12.2024	Para presentar.	MP	CiC	AC

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



CONTENIDO

1	RESUMEN EJECUTIVO	4
2	INTRODUCCIÓN	5
	2.1 Descripción de los participantes	5
	2.2 Nomenclatura.....	6
3	REQUERIMIENTO NORMATIVO	7
	3.1 Control de frecuencia.....	7
	3.2 Control terciario de frecuencia.....	9
	3.2.1 Definición.....	9
	3.2.2 Requerimientos asociados a la prestación	10
4	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS	11
	4.1 Procedimiento de pruebas	11
	4.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos.....	11
	4.3 Registro complementario de señales con equipos de planta	13
	4.4 Metodología general de los ensayos	13
5	EVALUACIÓN DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA	14
	5.1 Reserva en giro	14
	5.1.1 Incrementos de carga del parque	15
	5.1.2 Bajada de carga del parque	19
	5.1.3 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro.....	23
6	ANÁLISIS Y CONCLUSIONES	25
7	ANEXOS	26
	7.1 Medidas complementarias	26
	7.2 Diagrama unilineal.....	27
	7.3 Homologación de ensayos.....	28
	7.4 Archivos adjuntos entregados	28
	7.5 Acta de pruebas SSCC	29
	7.6 Certificado de calibración del equipamiento utilizado.....	32



1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento resume los resultados del proceso de Verificación de Servicios Complementarios (SSCC) de **Control Terciario de Frecuencia** (reserva en giro) del **Parque Eólico Los Cerrillos**, Número Único de Proyecto (NUP) 994.

El informe muestra los ensayos y análisis realizados con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente, siguiendo los lineamientos estipulados en las "Guías de Verificación de Servicios Complementarios" expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN).

Los ensayos se realizan siguiendo el procedimiento elaborado por Estudios Eléctricos S.A. según el documento "**EE-EN-2024-0934-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PE_Los_Cerrillos**", aprobado por el CEN.

Previamente se llevaron adelante pruebas en el contexto del proceso de "*Validación de Modelos Dinámicos*" (VMD) y de "*Parámetros Operacionales*" (Pmax, MT y PP&D). Debido a que varias de las pruebas realizadas durante los procesos mencionados resultan similares a las pruebas solicitadas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente, es que se propuso reutilizar dichos ensayos para de esta manera optimizar la cantidad de ensayos y agilizar el proceso de "*Verificación de Servicios Complementarios*".

El enfoque propuesto fue presentando en el documento "**EE-MI-2024-1746-RA_Minuta_Ensayos_SSCC_homologable**" y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional. Dicho informe detalla el conjunto de ensayos previamente realizados que resultan homologables en el proceso de "*Verificación de Servicios Complementarios*". La aprobación de dicho documento por el CEN se encuentra adjunta en el anexo 7.3.

No obstante, para el alcance particular de Control Terciario de Frecuencia se han ejecutado la totalidad de los ensayos requeridos en la instancia de pruebas asociada a la verificación de Servicios Complementarios.

Se verifica el correcto desempeño dinámico de la instalación para la prestación del Servicio Complementario de Control de Terciario de Frecuencia (reserva en giro).



2 INTRODUCCIÓN

El Parque Eólico Los Cerrillos, ubicado en la comuna de Litueche, región de O'higgins, se compone de ocho (8) aerogeneradores, marca Nordex modelo N163 TS148 de 5.9 MVA de potencia aparente nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 47.2 MVA.

Cada uno de los aerogeneradores de 5.9 MVA de capacidad nominal y de 750 V de tensión nominal, cuentan con su respectivo transformador de bloque de 6.35 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.75 kV / 23 kV ($\pm 4 \times 2.5\%$), el cual permite la interconexión de los aerogeneradores con la barra de 23 kV de la subestación Cardonal.

La red colectora del parque está compuesta por dos (2) circuitos alimentadores en 23 kV. Considerando con cuatro (4) aerogeneradores por circuito con sus respectivos transformadores de bloque. La potencia capturada por los circuitos alimentadores es evacuada hacia la barra de 23 kV de la S/E Cardonal 110 kV por un transformador de poder de relación 23 kV / (110 kV $\pm 10 \times 1.25\%$) y 100/133 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal, el cual corresponde al punto de interconexión del parque.

El parque cuenta con un control conjunto de planta de marca Nordex. Cuenta con los modos de control de tensión, potencia reactiva, factor de potencia, potencia activa y regulación de frecuencia.

2.1 Descripción de los participantes

Empresa	Personal	Cargo
Estudios Eléctricos	Marcelo Calviz	Experto Técnico
Statkraft	Marcelo Santibañez	Ingeniero Eléctrico Senior O&M
Statkraft	Jaime Muñoz	Operador sala de control

Tabla 2.1 – Personal participante

Las pruebas se llevaron a cabo el día 22 de noviembre de 2024.



2.2 Nomenclatura

Tag	Descripción
UBUS	Tensión en el punto de interconexión
PBUS/QBUS	Potencia eléctrica activa/reactiva en el punto de interconexión
FREC	Frecuencia eléctrica
POI	Punto de interconexión (de sus siglas en inglés "Point Of Interconnection")
SS/AA	Servicios Auxiliares
PPC	Control conjunto de planta del parque (de sus siglas en inglés "Power Plant Controller")
AT	Nivel de alta tensión (110 kV)
MT	Nivel de media tensión (23 kV)
BT	Nivel de baja tensión (0.75 kV)
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
EE	Estudios Eléctricos
CTF	Control terciario de frecuencia
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
NTSSCC	Norma Técnica de Servicios Complementarios
Pmax	Potencia activa neta máxima en el POI
Pmin	Potencia activa neta correspondiente al mínimo técnico en el POI

Tabla 2.2 – Nomenclatura empleada



3 REQUERIMIENTO NORMATIVO

3.1 Control de frecuencia

El objetivo de esta sección es citar los requerimientos mínimos que debe cumplir cada una de las instalaciones interconectadas al SEN para verificar las capacidades para prestar el servicio de control de frecuencia, específicamente control rápido de frecuencia (CRF), control primario de frecuencia (CPF), control secundario de frecuencia (CSF) y control terciario de frecuencia según la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC), y el Anexo Técnico "Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC".

En líneas generales, las instalaciones deberán ser a los menos capaces de:

- Operar de manera estable en forma permanente en el rango de frecuencia comprendido entre 49 y 51 Hz, para tensiones comprendidas entre 0.95 y 1.05 por unidad de la tensión nominal.
- No reducir en más de un 10% su potencia activa entregada en estado normal de operación al SEN en su punto de conexión para frecuencias estabilizadas en el rango de 47.5 Hz y 49.5 Hz.
- Soportar cambios de frecuencia de hasta 2 Hz/s sin desconectarse del SEN. Para ello, la tasa de cambio de la frecuencia debe ser medida durante un período de 500 ms, según lo señalado en el artículo 3-11 de la NTSyCS.

En la Figura 3.1 se muestra la interpretación temporal de como intervienen las diferentes subcategorías de SSCC referidas al control de frecuencia según el Coordinador:

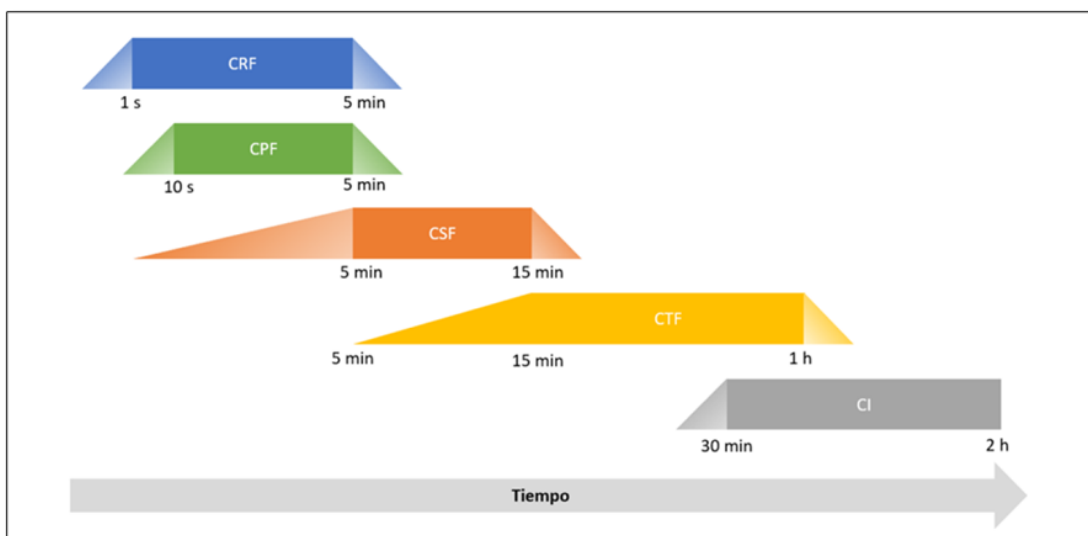


Figura 3.1 – Control de Frecuencia – Subcategorías según intervalo temporal

En la Figura 3.2 se presenta la interpretación de los distintos tiempos involucrados en cada subcategoría de SSCC de control de frecuencia de manera referencial.

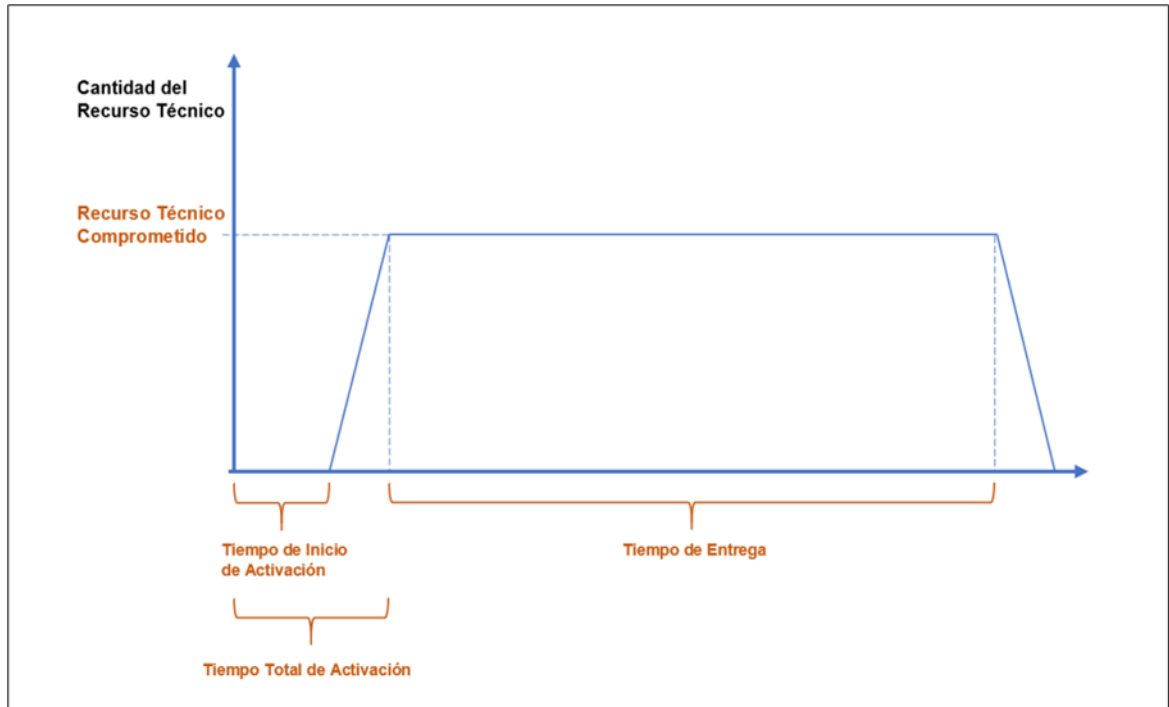


Figura 3.2 – Control de Frecuencia – Subcategorías según intervalo temporal

Donde:

- **Tiempo de inicio de activación:** Período en que se inicia la prestación del "Recurso Técnico Comprometido", contado desde que es requerido el respectivo Servicio Complementario. Se entenderá que el respectivo Servicio Complementario es requerido cuando se produzca una condición operativa en el SEN, que active automatismos locales; a través del envío de la consigna tratándose de servicios automáticos centralizados; o desde la instrucción, en la operación en tiempo real, del Coordinador tratándose de Servicios Complementarios cuyo modo de activación no es mediante automatismos, según corresponda.
- **Tiempo total de activación:** Período en que se entrega la totalidad del "Recurso Técnico Comprometido", incluyendo el "Tiempo de inicio de activación".
- **Tiempo de entrega:** Período en que las instalaciones deberán ser capaces de mantener el total del "Recurso Técnico Comprometido", contando desde el momento en que transcurrió el "Tiempo total de activación".



Lo presentado anteriormente en ambas figuras se puede resumir en la siguiente tabla:

Subcategoría	Modo de activación	Tiempo de inicio de activación	Tiempo total de activación	Mínimo tiempo de entrega	Máximo tiempo de entrega
CRF	Automático local	-	1 s	5 min	-
CPF	Automático local	-	10 s	5 min	-
CSF	Automático centralizado	-	5 min	15 min	-
CTF	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del CEN	5 min	15 min	-	1 hs
CI	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del CEN	-	30 min	2 hs	-

Tabla 3.1 – Tiempos comprometidos por subcategoría – SSCC Control de frecuencia

3.2 Control terciario de frecuencia

3.2.1 Definición

Corresponde a acciones de control activadas por instrucción del Coordinador en la operación en tiempo real, destinadas a reestablecer las reservas del Control Secundario de Frecuencia o incorporar reservas adicionales con el objeto de preparar el SEN para responder a desequilibrios respecto de los cuales las reservas por otras categorías de Control de Frecuencia sean insuficientes.

Esta categoría de servicio considera las subcategorías de Control Terciario por Subfrecuencia (CTF+) y de Control Terciario por Sobre frecuencia (CTF-).

El Tiempo de Inicio de Activación del CTF será de cinco (5) minutos a partir de la instrucción del Coordinador, y su máximo Tiempo de Entrega será de una (1) hora.



3.2.2 Requerimientos asociados a la prestación

Dentro de las consideraciones que se deberán tomar para la prestación de este servicio, y para mantener la coherencia con la cadena de reservas que se da entre los distintos controles, se deberá considerar el 100% de la entrega de reserva comprometida en un tiempo máximo de quince (15) minutos, medidos desde que el Coordinador entrega la instrucción al Centro de Control, de manera que el CTF reemplace la acción ejercida previamente por el CSF.

En el caso que este servicio sea prestado por usuarios finales, éstos deberán cumplir con los siguientes requisitos adicionales:

- a) Integrar al SCADA del Coordinador las señales de Potencia Activa, Potencia Reactiva, Tensión y Frecuencia en la barra de retiro.
- b) Disponer de un Centro de Control validado por el Coordinador, que permita cumplir las instrucciones dadas por el Coordinador en los tiempos que el servicio requiere.
- c) En el caso que uno o más usuarios finales participen de la prestación del servicio a través de un Agregador, este último deberá cumplir con los requisitos anteriores, de modo de realizar las labores de comunicación, entrega de información y coordinación de las acciones necesarias para la correcta prestación del servicio correspondiente.



4 CONTEXTO DE LOS ENSAYOS

4.1 Procedimiento de pruebas

El procedimiento de pruebas se informa en el documento técnico **“EE-EN-2024-0934-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PE_Los_Cerrillos”**, el cual fue elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

4.2 Instrumental primario utilizado para la adquisición de datos

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo de adquisición de datos (propiedad de EE). Sus principales características se presentan en la Tabla 4.1.

Denominación	Marca / Modelo	N° serie	Certificado de calibración
Analizador de calidad de energía	Janitza / UMG512 Pro	4201 - 5361	Ver Anexo 7.6

Tabla 4.1 – Característica de los equipos de adquisición

Las señales registradas con el instrumental primario en el punto de interconexión son las siguientes:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Corriente
- Tensión
- Frecuencia eléctrica

Para la medición de las variables eléctricas a nivel planta, al equipo se conectan las tres tensiones (fases A, B y C) y el neutro, junto con las tres corrientes (fases A, B y C) y sus respectivos retornos en el punto de red de alta tensión, a saber, en la S/E Cardonal. En la Figura 4.1 se remarca el punto de conexión utilizado para la medición de las señales. En el anexo 7.2 se muestra el diagrama unilineal completo.

La conexión de las corrientes es tomada desde el TC del paño 52 HT1 – 110kV, relacionado al devanado secundario del transformador de medición TCHT1 de relación 1000/1 A, mostrado en el recuadro azul. A su vez, la conexión de las tensiones corresponde al devanado secundario del transformador de medición TPH1 de relación 110/0.115 kV, mostrado en el recuadro verde.

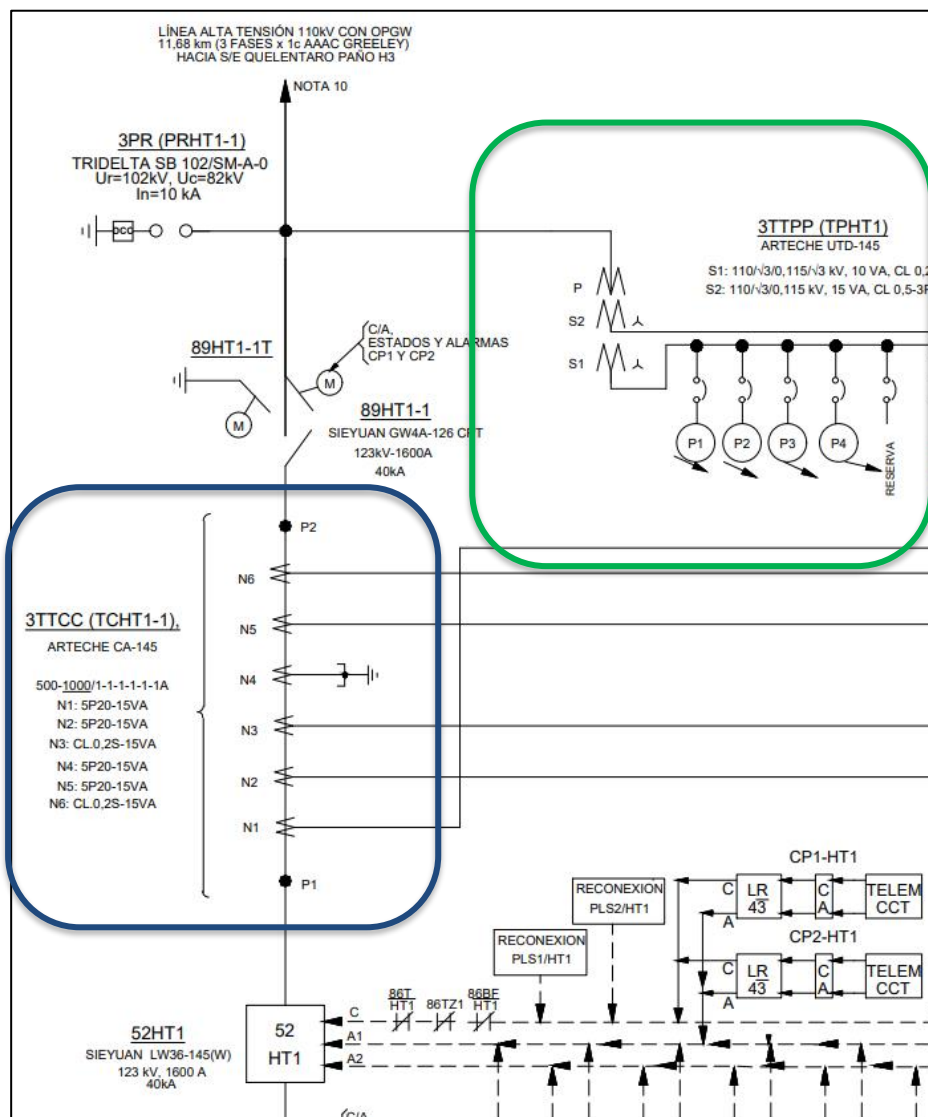


Figura 4.1 – Puntos de conexión a nivel planta en la S/E Cardonal



4.3 Registro complementario de señales con equipos de planta

Adicionalmente, se registran señales de interés con el sistema de adquisición de planta, el cual posee una tasa de muestreo de 40 ms para el respaldo de las principales variables eléctricas en el punto de interconexión y la velocidad de viento promedio de la planta durante los ensayos.

Las señales registradas fueron:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Tensión
- Corriente
- Frecuencia eléctrica
- Velocidad del viento

4.4 Metodología general de los ensayos

Para realizar los ensayos correspondientes al control terciario de frecuencia en giro, se realizan cambios de consigna en la referencia de potencia del parque mediante los comandos dispuestos en el SCADA de planta.

En la Figura 4.2 se observan el HMI del operador, el recuadro rojo enmarca la sección que permite ajustar la consigna de potencia del parque.

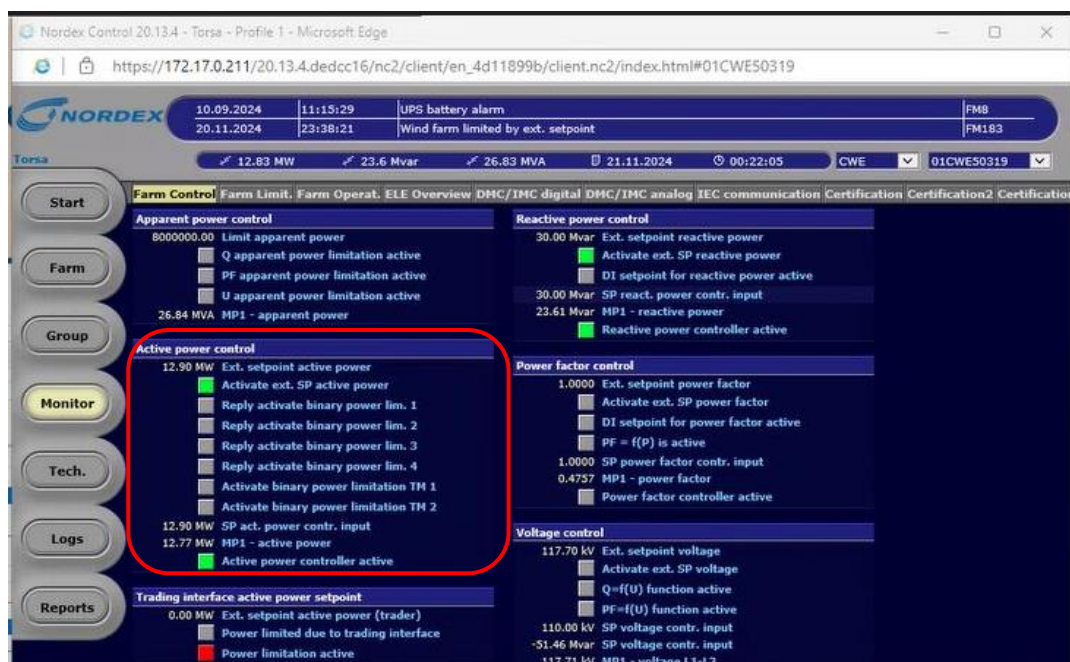


Figura 4.2 – HMI del control conjunto de planta para modos



5 EVALUACIÓN DE VERIFICACIÓN DE CONTROL TERCARIO DE FRECUENCIA

5.1 Reserva en giro

Con el fin de verificar la capacidad del parque para participar en el servicio complementario de CTFg, se ejecutan los ensayos descritos en este subcapítulo.

En la Tabla 5.1 se resumen los ensayos de incremento de carga con la tasa obtenida y en la Tabla 5.2 se resumen los ensayos de bajada de carga con la tasa obtenida.

Despacho Inicial de Potencia Activa [MW]	Potencia Activa alcanzada [MW]	Tasa de toma de carga [MW/min]
4.0	40.0	4.9 (ajuste actual)
4.0	40.0	9.5 (ajuste adicional)

Tabla 5.1 – Ensayos de control terciario de frecuencia para toma de carga

Potencia Activa inicial disponible [MW]	Despacho Final de Potencia Activa [MW]	Tasa de bajada de carga [MW/min]
40.0	4.0	-4.9 (ajuste actual)
40.0	4.0	-9.5 (ajuste adicional)

Tabla 5.2 – Ensayos de control terciario de frecuencia para bajada de carga

Se presentan también, los límites operacionales establecidos mediante las pruebas respectivas de potencia máxima y mínimo técnico.

Límite operacional	Valor [MW]	Enlace informe
Mínimo Técnico	3.7032	Informe MT
Potencia Máxima	44.6805	Informe PMAX

Tabla 5.3 – Límites operacionales Parque Eólico Los Cerrillos



5.1.1 Incrementos de carga del parque

Para verificar el gradiente de toma de carga del parque (MW/min), se comienza el ensayo operando en su valor de mínimo técnico hasta alcanzar potencia máxima disponible, a través de un único cambio en la consigna de potencia activa.

Toma de carga con tasa actual

Se modifica la consigna de potencia activa de la central desde un valor inicial de 4.0 MW a un valor final de 47.2 MW (capacidad instalada), considerando una configuración de gradiente de toma de carga de 4.9 MW/min.

En la Figura 5.1 se presenta la toma de carga del parque y en la Figura 5.2 se presentan las condiciones de la red al momento del ensayo.

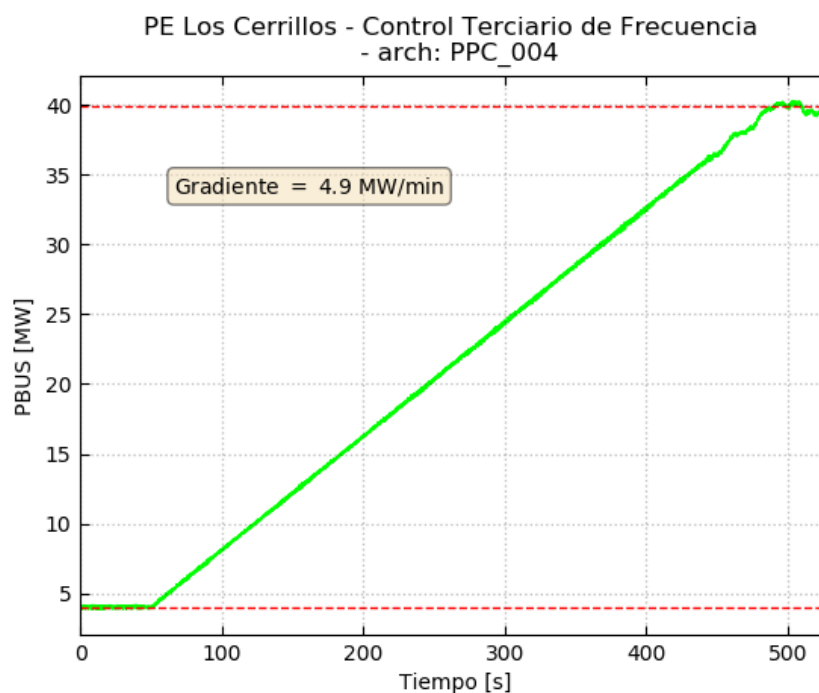


Figura 5.1 – Toma de carga con tasa actual

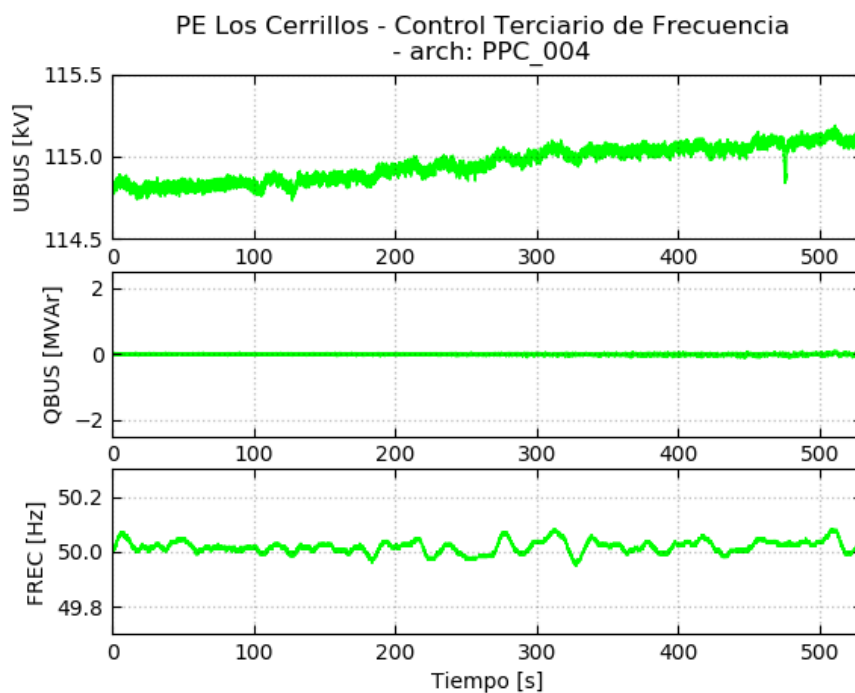


Figura 5.2 – Toma de carga con tasa actual – Condiciones de red

Como se puede observar en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 4.9 MW/min, lo que equivale a una tasa aproximada del 11.0%/min de la potencia máxima del parque (ver Tabla 5.3). La potencia activa máxima disponible registrada es de aproximadamente 40.0 MW.



Toma de carga con tasa adicional

Se modifica la consigna de potencia activa de la central desde un valor inicial de 4.0 MW a un valor final de 47.2 MW (capacidad instalada), considerando una configuración de gradiente de toma de carga de 9.5 MW/min.

En la Figura 5.3 se presenta la toma de carga del parque y en la Figura 5.4 se presentan las condiciones de la red al momento del ensayo.

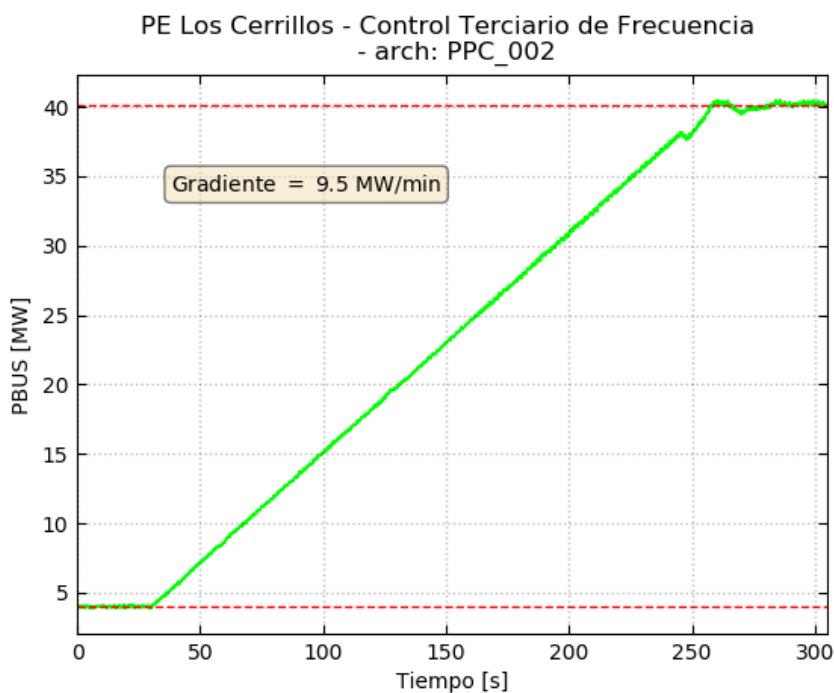


Figura 5.3 – Toma de carga con tasa adicional

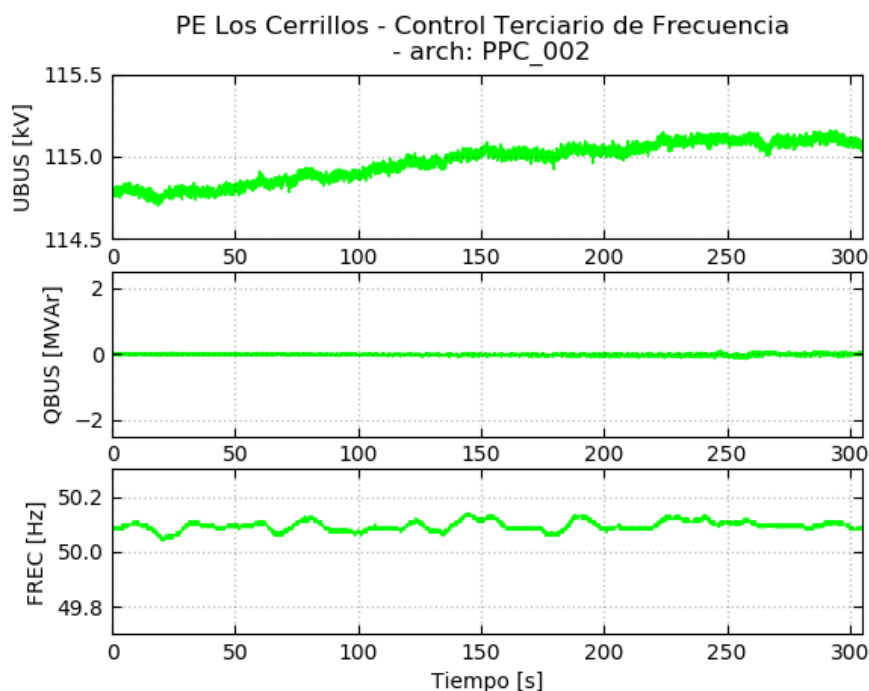


Figura 5.4 – Toma de carga con tasa adicional – Condiciones de red

Como se puede observar en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 9.5 MW/min, lo que equivale a una tasa aproximada del 21.3%/min de la potencia máxima del parque (ver Tabla 5.3). La potencia activa máxima disponible registrada es de aproximadamente 40.0 MW.



5.1.2 Bajada de carga del parque

Para verificar el gradiente de bajada de carga (MW/min) del parque, se comienza el ensayo operando a potencia máxima disponible, y se disminuye hasta alcanzar su mínimo técnico, mediante un **único** cambio en la referencia de potencia activa.

Bajada de carga con tasa actual

Se modifica la consigna de potencia activa de la central desde un valor inicial de 47.2 MW (capacidad instalada) a un valor final de 4.0 MW, considerando una configuración de gradiente de reducción de carga de -4.9 MW/min.

En la Figura 5.5 se presenta la bajada de carga del parque y en la Figura 5.6 se presentan las condiciones de la red al momento del ensayo.

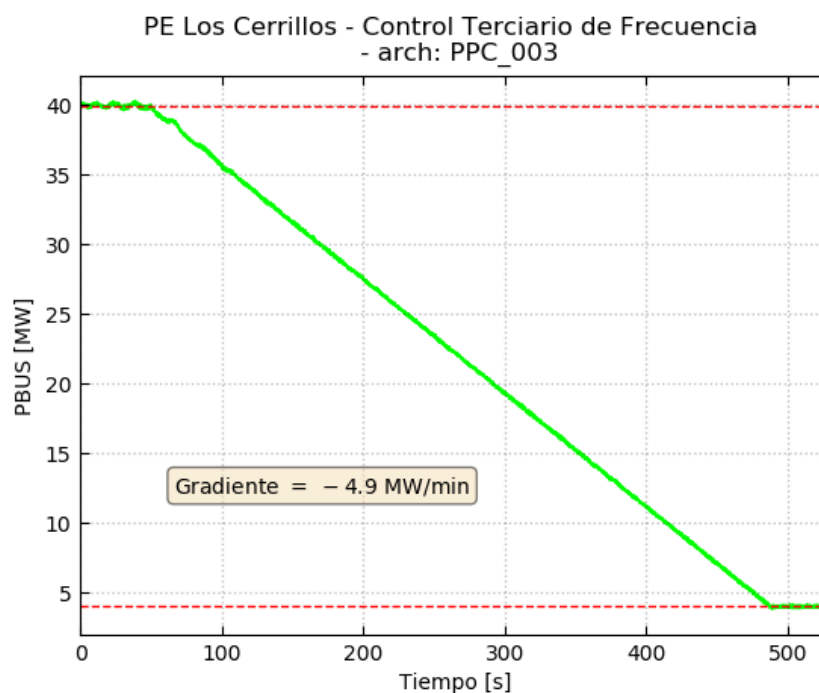


Figura 5.5 – Bajada de carga con tasa actual

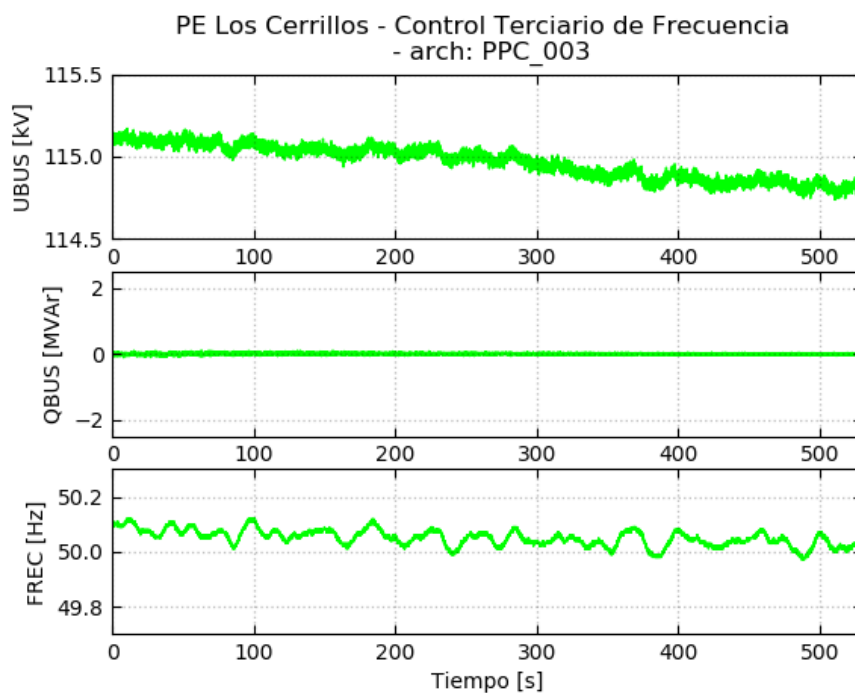


Figura 5.6 – Bajada de carga con tasa actual – Condiciones de red

Como se puede observar en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a -4.9 MW/min , lo que equivale a una tasa aproximada del $-11.0\%/min$ de la potencia máxima del parque (ver Tabla 5.3). La potencia activa máxima disponible registrada es de aproximadamente 40.0 MW .



Bajada de carga con tasa adicional

Se modifica la consigna de potencia activa de la central desde un valor inicial de 47.2 MW (capacidad instalada) a un valor final de 4.0 MW, considerando una configuración de gradiente de reducción de carga de -9.5 MW/min.

En la Figura 5.7 se presenta la bajada de carga del parque y en la Figura 5.8 se presentan las condiciones de la red al momento del ensayo.

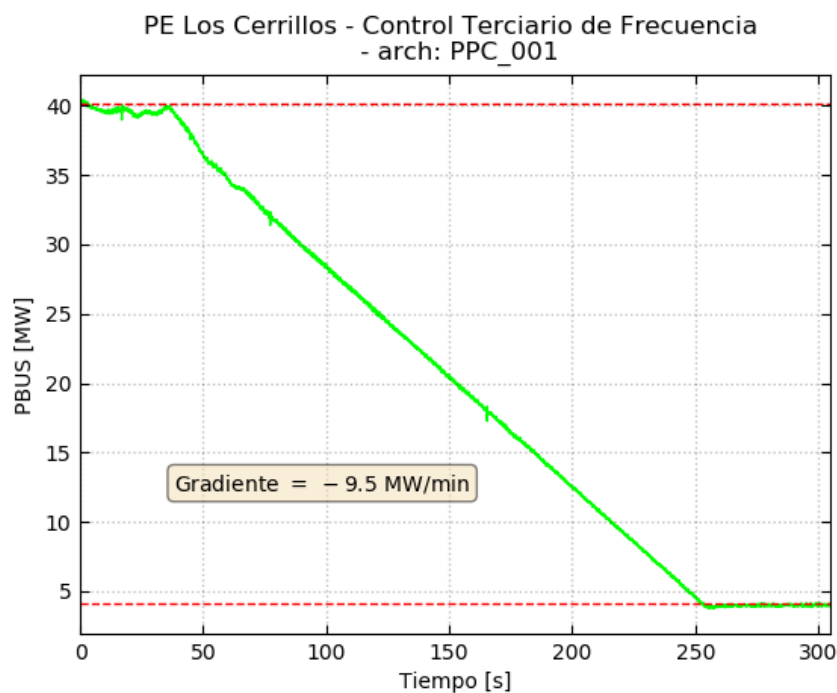


Figura 5.7 – Bajada de carga con tasa adicional

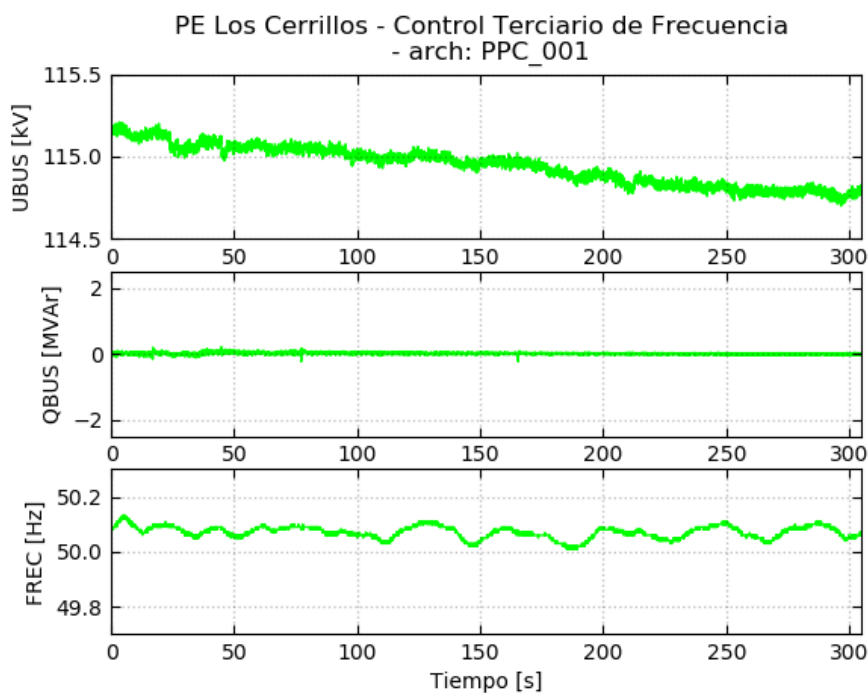


Figura 5.8 – Bajada de carga con tasa adicional – Condiciones de red

Como se puede observar en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a -9.5 MW/min , lo que equivale a una tasa aproximada del $21.3\%/min$ de la potencia máxima del parque (ver Tabla 5.3). La potencia activa máxima disponible registrada es de aproximadamente 40.0 MW .



5.1.3 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro

En la Tabla 5.4 y Tabla 5.5 se resumen los gradientes medidos para los diferentes movimientos de subida y bajada de carga, respectivamente.

Central	Valores medidos subida [MW/min]
Parque Eólico Los Cerrillos	4.9
	9.5

Tabla 5.4 – Resumen gradientes toma de carga

Central	Valores medidos bajada [MW/min]
Parque Eólico Los Cerrillos	-4.9
	-9.5

Tabla 5.5 – Resumen gradientes bajada de carga

La reserva en giro para CTF corresponde al valor mínimo entre la potencia que puede variar el parque en 10 minutos, de acuerdo con la tasa consignada y el margen entre la potencia de despacho y la potencia límite (máxima o mínima), que la central es capaz de entregar. En la Tabla 5.6 se presenta la reserva para CTFg.

- Reserva Giro CTF⁺: Reserva en giro para CTF por subfrecuencia.
- Reserva Giro CTF⁻: Reserva en giro para CTF por sobrefrecuencia.
- P_d: Potencia bruta de despacho.

Central	Tasa [MW/min]	Reserva para CTFg [MW]
Parque Eólico Los Cerrillos	4.9	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min \{4.9 \cdot 10, 44.6805 - P_d\}$
	9.5	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min \{9.5 \cdot 10, 44.6805 - P_d\}$
	-4.9	$Reserva\ Giro\ CTF^- = \min \{4.9 \cdot 10, P_d - 3.7032\}$
	-9.5	$Reserva\ Giro\ CTF^- = \min \{9.5 \cdot 10, P_d - 3.7032\}$

Tabla 5.6 – Reservas de potencia para CTFg



Cabe mencionar que el tiempo de activación del CTFg es despreciable ya que depende exclusivamente del tiempo que demora el operador en consignar el nuevo valor de referencia de potencia, por lo que se considera un tiempo de activación de cero (0) segundos.

En la siguiente tabla se resumen los valores determinados para el SSCC CTFg.

SSCC		Control de Frecuencia		
Categoría		Control Terciario de Frecuencia		
Subcategoría		CTF+ y CTF-		
Central	Combustible	Parámetros		Valor determinado
Parque Eólico Los Cerrillos	Eólico	Tasa normal de operación [MW/min]	Subida	4.9
			Bajada	-4.9
		Tasa máxima de operación [MW/min] ¹	Subida	Sin limitación
			Bajada	Sin limitación
		Tiempo de respuesta [minutos]	Subida	0
				0
			Bajada	0
				0
		Aporte CTF – [MW]	Subida	40.9773
			Bajada	-40.9773
Límite de regulación superior [MW]		44.6805		
Límite de regulación inferior [MW]		3.7032		

Tabla 5.7 – Resumen resultados – SSCC CTFg

¹ Durante los ensayos se verificó una tasa de 9.5 MW/min, cercano al valor máximo normativo (20%Pnom/min). Sin embargo, el valor máximo del ajuste no tiene ninguna limitación.



6 ANALISIS Y CONCLUSIONES

El Parque Eólico Los Cerrillos ha sido sometido al proceso de verificación para la prestación de Servicios Complementarios. El mismo ha sido llevado a cabo bajo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica de Servicios Complementarios y el Anexo Técnico, “*Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC*” vigente.

En lo que respecta al **SSCC de Control Terciario de Frecuencia** y en función de los ensayos realizados puede concluirse que:

- Se realizan maniobras de toma y bajada de carga en todo el rango de potencia activa disponible.
- El ajuste permanente del gradiente de toma carga es de 4.9 MW/min y para el gradiente de reducción de carga es de -4.9 MW/min. Se verifica el valor ajustado en los registros presentados.
- De forma complementaria se considera un ajuste adicional del gradiente de toma carga de 9.5 MW/min y de -9.5 MW/min para el gradiente de reducción de carga. Se verifica el valor ajustado en los registros presentados.
- Se deduce que el parque podrá entregar hasta 40.9773 MW de potencia activa como reserva en giro para CTF por subfrecuencia (CTF⁺).
- Se deduce que el parque podrá reducir hasta 40.9773 MW de potencia activa como reserva en giro para CTF por sobrefrecuencia (CTF⁻).
- El tiempo de activación del CTF en giro es despreciable ya que depende exclusivamente del tiempo que demora el operador en consignar el nuevo valor de referencia de potencia activa.
- El rango de ajuste de la tasa de toma y bajada de carga no tienen ninguna restricción para su ajuste y no puede ser modificado por el operador desde el SCADA de planta.



7 ANEXOS

7.1 Medidas complementarias

A modo de complemento, se presentan las mediciones de la irradiancia en el transcurso de las pruebas.

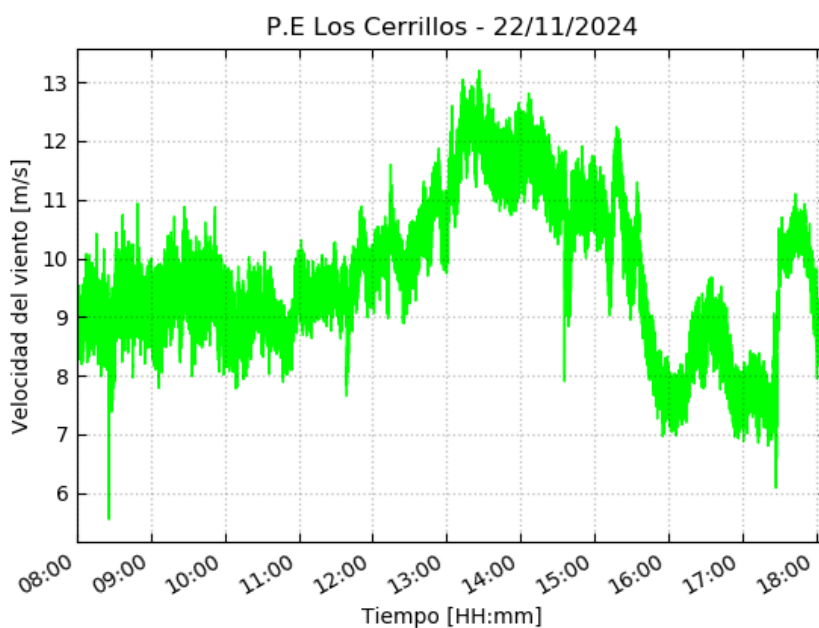


Figura 7.1 – Velocidad del viento durante los ensayos

7.2 Diagrama unilineal

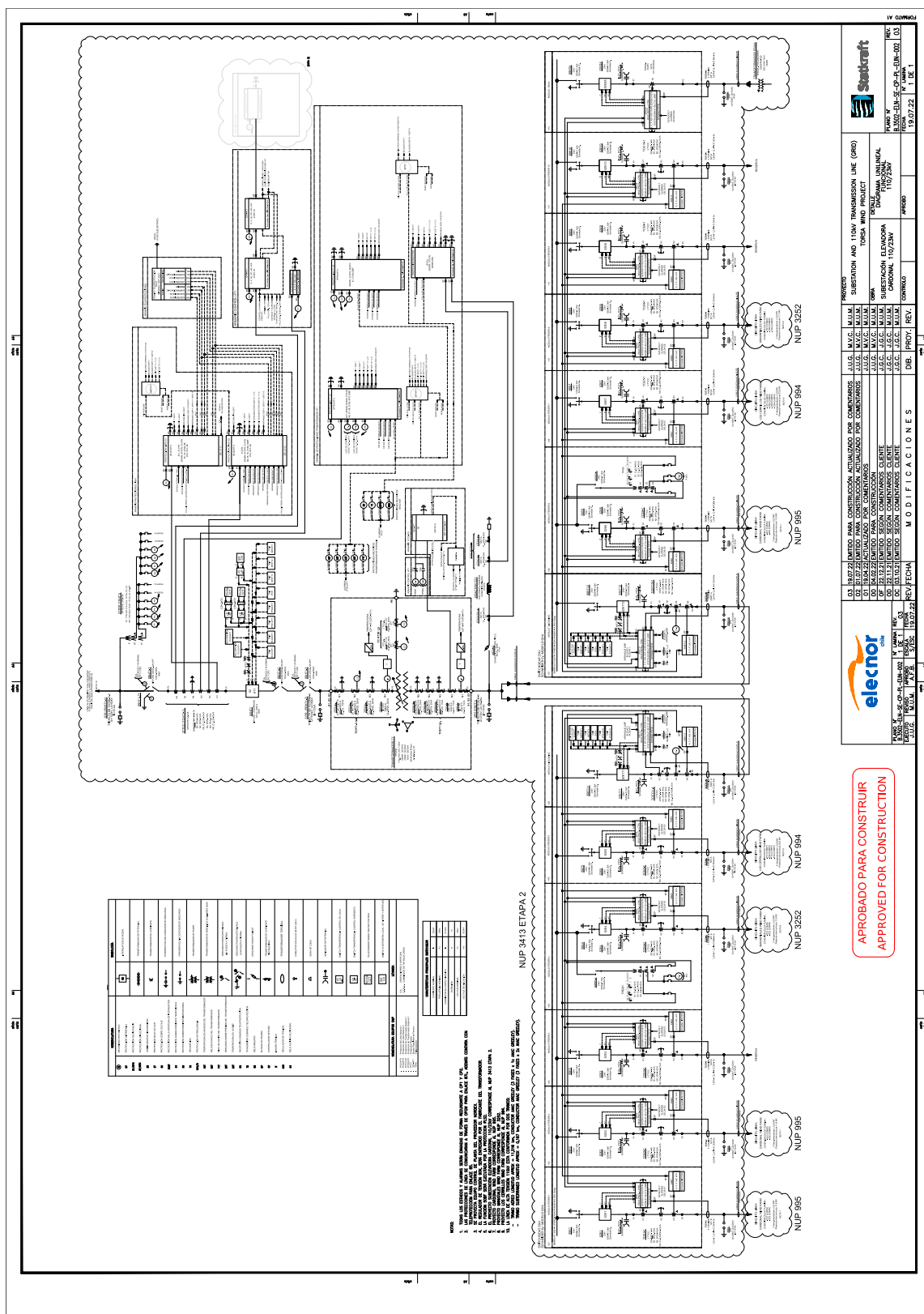


Figura 7.2 – Unilineal general de planta



7.3 Homologación de ensayos

miércoles 06-11-2024 14:19

Williams Jimenez San Martin <williams.jimenez@coordinador.cl>

RE: Proceso Verificación SSCC NUP 995-3252-994

Para Gonzalez Moraga Diego

CC Manfredo Héctor Tombolini Jeria; Di Marzio Giuseppe; Santibañez Marcelo; Bahamondes Fabian; Soto Alex Rodrigo; Benjamin Gálvez Aguado; verificacion.SSCC; Javiera Ketterer Hoppe; Mante Carlos; ...

Estimado Diego,

El departamento de control de la operación conforme a su solicitud ha revisado la minuta de ensayos de SSCC homologables y no hay comentarios sobre los ensayos mencionados en el documento que nos enviaste.

Las pruebas homologables corresponden a:

- Ensayos dinámicos en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de potencia reactiva en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de factor de potencia en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de tensión en 3 estados de carga
- Toma y bajada de carga con rampa de potencia activa ajustada

Quedaría pendiente a realizarse en los ensayos:

- Medición de curva de capacidad
- Pruebas de control primario de frecuencia
- Pruebas de rampa de potencia activa con gradiente adicional

Figura 7.3 – Aprobación del CEN sobre la homologación de ensayos

7.4 Archivos adjuntos entregados

Forman parte integral del presente informe los siguientes archivos que se entregan en forma adjunta:

- Registros de ensayos: **"EE-EN-2024-1930-RA_PE_Los_Cerrillos_Registros.zip"**

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato ".csv". Para correlacionar el nombre del archivo con la figura se debe considerar las siguientes tablas:

Ensayos - Control Terciario de Frecuencia	
Nombre	Descripción
PPC_004	Subida de carga con tasa adicional
PPC_003	Bajada de carga con tasa actual
PPC_002	Subida de carga con tasa actual
PPC_001	Bajada de carga con tasa adicional
WSPEED_2211	Velocidad del viento

Tabla 7.1 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia



7.5 Acta de pruebas SSCC



ESTUDIOS ELECTRICOS 			
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS			
<u>ACTA DE PRUEBAS</u>			
Fecha	23/11/2024	Empresa	Statkraft
ID Proyecto	EE-2024-086	Ubicación	Litueche, Región de O'Higgins
Denominación Planta	Parque Eólico Cerrillos		
Servicios por verificar	<i>Servicios Complementarios:</i> <ul style="list-style-type: none">- Control de Tensión (CT)- Control Primario de Frecuencia (CPF)- Control Terciario de Frecuencia en giro (CTFg)		
<u>Datos de la instalación</u>			
Potencia aparente nominal [MVA]	47.2 MVA	Tipo de central	Eólica
Tensión en POI nominal [kV]	110 kV	Cantidad de aerogeneradores	8
Potencia activa máxima [MW]	44.56 MW	Transformador elevador bajo carga	33 / 110 kV
Potencia activa mínima [MW]	3.7 MW		
<u>Responsables durante las pruebas</u>			
Coordinado	Marcelo Santibañez	Representante Statkraft en las pruebas	
Equipo Experto Técnico	Marcelo Calviz	Equipo Experto Técnico	
<u>Datos de las pruebas</u>			
Estado previo de la planta	En servicio		
Inicio del período de pruebas	20/11/2024		
Fin del período de pruebas	23/11/2024		
Protocolo aplicable	EE-EN-2024-0934-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PE_Los_Cerrillos		
Firmas Aclaración/Empresa	Marcelo Santibañez Digitally signed by Marcelo Santibañez; Date: 2024.12.02 13:17:45 -03'00' Coordinado	 Marcelo Calviz Ino. Ensayos Experto técnico	

Figura 7.4 – Acta de Pruebas SSCC (1 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Resumen de pruebas

SC Control de Tensión:

No se realizan pruebas dinámicas referidas al control de tensión debido a que las mismas fueron validadas durante los ensayos de validación de modelos dinámicos tanto para nivel aerogeneradores como a nivel PPC. Al respecto el CEN indicó lo siguiente mediante correo:

"El departamento de control de la operación conforme a su solicitud ha revisado la minuta de ensayos de SSCC homologables y no hay comentarios sobre los ensayos mencionados en el documento que nos enviaste.

Las pruebas homologables corresponden a:

- Ensayos dinámicos en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de potencia reactiva en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de factor de potencia en 3 estados de carga
- Pruebas dinámicas de control de tensión en 3 estados de carga
- Toma y bajada de carga con rampa de potencia activa ajustada

"

Se realizan pruebas estáticas con el parque conectado a la red:

- Puntos Curva PQ operables en 4 estados de carga.

-

SC Control de Frecuencia:

Se realizan pruebas de Control Primario de Frecuencia en el parque:

- Escalones en la referencia de frecuencia en 4 estados de carga.
- Registro de variaciones naturales de la red en 4 estados de carga.

Se realizan pruebas de Control Terciario de Frecuencia en giro en el parque:

- Toma de carga con tasa normal de operación y una tasa adicional.
- Bajada de carga con tasa normal de operación y una tasa adicional.

Observaciones/Desvíos del protocolo

SC Control de Tensión:

Curva PQ:

De acuerdo con el procedimiento, se intentan probar los distintos niveles de tensión en POI para cuatro estados de carga. Se logra ensayar únicamente un solo nivel de tensión en función de si era una condición de absorción o inyección de reactivos.

Se logra verificar la inyección de reactivos en una tensión aproximada de 1.07pu, que permite evaluar los niveles de tensión de 1.05pu y 1.10pu de tensión. En tanto, para la condición de absorción de reactivos se verifica en una tensión aproximada de 1.01pu, que permite evaluar el nivel de tensión de 1.00pu de tensión.


Firmas Aclaración/Empresa	Marcelo Santibañez Coordinado Digitally signed by Marcelo Santibañez Date: 2024.12.02 13:17:20 -03'00'	 Marcelo Calviz Ino. Ensayos Experto técnico
-------------------------------------	--	--

Figura 7.5 – Acta de Pruebas SSCC (2 de 3)



ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Se presentan a continuación, dos tablas resumen con los puntos de absorción e inyección de lo realmente alcanzado en planta.

Despacho potencia activa	Subexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P5 _{PPC} = 39.9 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.02 pu)	No alcanzable	No alcanzable
P4 _{PPC} = 31.28 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.01 pu)	No alcanzable	No alcanzable
P2 _{PPC} = 12.91[MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.01 pu)	No alcanzable	No alcanzable
P1 _{PPC} = 3.7 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.01 pu)	No alcanzable	No alcanzable

Despacho potencia activa	Sobrexcitación				
	Tensión 0.9 p.u.	Tensión 0.95 p.u.	Tensión 1.0 p.u.	Tensión 1.05 p.u.	Tensión 1.1 p.u.
P5 _{PPC} = 39.9 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.07 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.07 pu)
P4 _{PPC} = 31.28 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.07 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.07 pu)
P2 _{PPC} = 12.91[MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.07 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.07 pu)
P1 _{PPC} = 3.7 [MW]	No alcanzable	No alcanzable	No alcanzable	Alcanzado subiendo la tensión (1.07 pu)	Alcanzado bajando la tensión (1.07 pu)

SC Control Primario de Frecuencia:

Ante la falta de recurso primario se ajusta el estado de alta carga.

A continuación, se detallan los desvíos respecto de lo presentado en procedimiento:

Despacho de Potencia Activa [MW]	Perturbación tipo escalón					Observación
	Estatismo	Punto de aplicación	Banda Muerta [mHz]	Magnitud Escalón [Hz]	Duración [min]	
P5 _{CPF}	Ajustado	Simulación de frecuencia	±25	±0.2, +0.7	5	Modificación del despacho a 40 MW por falta de recurso eólico
P5 _{CPF}	Ajustado	Simulación de frecuencia	±25	-0.7	5	Modificación del despacho a 32 MW por falta de recurso eólico

SC Control Terciario de Frecuencia en giro:

Se realiza la toma y bajada de carga en su tasa normal de operación 4.9 MW/min (10%P_{nom}/min), y con una tasa adicional de 9.5 MW/min (20%P_{nom}/min),

Firmas Aclaración/Empresa	Marcelo Santibañez Coordinado	Digitally signed by Marcelo Santibañez Date: 2024.12.02 13:18:00 -03'00'	 Marcelo Calvín Ing. Ensayos Experto técnico
-------------------------------------	---	---	---

Figura 7.6 – Acta de Pruebas SSCC (3 de 3)



7.6 Certificado de calibración del equipamiento utilizado

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
			
ESTUDIOS ELÉCTRICOS			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento: Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.			
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración	
JANITZA UMG512 Pro	4201-5361	11/4/2024	
Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Última calibración	Proxima calibración
VALIJA OKICRON 256-6	HH594R	4/3/2024	4/3/2025
Fecha de evaluación: 11/4/2024 Certificado número: EE-CI-2024-0410		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 	
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning			

Figura 7.7 – Certificado de calibración analizador de energía



Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente.