



---

**INFORME DE ENSAYOS DE VERIFICACIÓN  
DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE  
CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA  
PSFV Tamarico**

Informe Técnico

Preparado para:

**Tamarico Solar  
Dos SpA**

Noviembre - 2024

A 1086 | R 1120-24

## Tabla de Contenidos

<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>4</b>
<b>REGISTRO DE COMUNICACIONES .....</b>	<b>5</b>
<b>SECCIÓN PRINCIPAL .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE .....</b>	<b>6</b>
<b>3. MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>11</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PLANTA ....</b>	<b>12</b>
4.1. Control de planta .....	12
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS .....</b>	<b>13</b>
5.1. Verificación del gradiente de incremento / reducción de carga.....	13
5.1.1 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 30 %/ min.....	13
5.1.2 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 10 %/min .....	13
5.1.3 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 70 %/min .....	14
5.2. Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control .....	14
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>16</b>
<b>1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>2. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS .....</b>	<b>19</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Rango de ajuste de parámetros CTF. ....	14
Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Tamarico.....	7
Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Tamarico 1 – parte 1. ....	8
Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE Tamarico 1 – parte 2. ....	9
Gráfico 4. Diagrama unilineal del sistema colector del PSFV Tamarico. ....	10
Gráfico 5. Gradiente de Incremento/Reducción de carga de 30 %/min. ....	13
Gráfico 6. Gradiente de Incremento /Reducción de carga de 10 %/min. ....	13
Gráfico 7. Gradiente de Incremento /Reducción de carga de 70 %/min. ....	14
Gráfico 8. Skids de inversores centrales PSFV Tamarico.....	16
Gráfico 9. Curva PQ del inversor.....	18

## Abreviaturas y acrónimos

**CEN:** Coordinador Eléctrico Nacional

**CNE:** Comisión Nacional de Energía

**CDC:** Centro de despacho del coordinador

**ERNC:** Energía Renovables No Convencional

**NTSyCS:** Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio

**PE:** Parque Eólico

**PSFV:** Parque solar fotovoltaico

**SE:** Subestación eléctrica

**AT:** Alta tensión

**MT:** Media tensión

**BT:** Baja tensión

**ONAN:** Oil Natural Air Natural

**ONAF:** Oil Natural Air Forced

**SEN:** Sistema Eléctrico Nacional

**RCB:** Regulador Bajo Carga

**PMU:** Power Management Unit

**CPF:** Control primario de frecuencia

**CT:** Control de tensión

**CTF:** Control Terciario de frecuencia

**PA:** Partida Autónoma

## Registro de comunicaciones

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

---

<b>N°</b>	<b>Fecha</b> dd/mm/año	<b>Preparó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Observaciones</b>
0	27/11/2024	MF	FM	FM	Versión inicial del informe

---

## Sección principal

### 1. Introducción

En el siguiente informe se describen los resultados obtenidos en los ensayos de verificación del servicio complementario de control terciario de frecuencia realizados en el parque fotovoltaico Tamarico, durante el día 15 de noviembre del año 2024, con el objetivo de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la norma técnica de servicios complementarios vigente.

Las verificaciones anteriormente señaladas se realizan siguiendo los lineamientos estipulados en las "Guía de Verificación Servicios Complementarios Control de Frecuencia" expedida por el Coordinador Eléctrico Nacional.

### 2. Descripción del parque

El PSFV Tamarico está situado en la comuna de Vallenar, región de Atacama, Chile. Esta central basada en tecnología solar fotovoltaica cuenta con una potencia comprometida de 144.7 MW en el punto de conexión, y una potencia instalada de 159.6 MVA.

La planta cuenta con los siguientes elementos instalados: 291144 unidades de módulos fotovoltaicos marca Jinko con potencias de 560 Wp, 565 Wp y 570 Wp; 38 inversores marca Power Electronics de 4200 kVA; 16 centros de transformación de 8400 kVA, en los cuales se conectan dos inversores y 6 centros de transformación de 4200 kVA en los cuales se conecta un inversor. Estos centros de transformación elevan la tensión e inyectan la potencia hacia el sistema colector, el cual está conformado por 8 cables acometen a una barra de 33 kV. Luego, la potencia erogada por el parque solar se evacua mediante dos cables de 50 m de longitud, los cuales conectan la barra del sistema colector junto con la SE Tamarico 1. Posteriormente, se eleva la tensión mediante un transformador de relación 33kV/220kV y potencia 110MVA/150MVA/180MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2).

El punto de interconexión (POI) donde se comercializa la energía producida por el parque solar está situado eléctricamente en la barra de 220 kV de la SE Tamarico 1. Esta última, se conecta con la SE Verbenas mediante una línea de 220 kV con una longitud de 13.38 km. Adicionalmente, el punto de control por medio del Power Plant Controller (PPC) corresponde con el punto de interconexión del parque.

En el Gráfico 1 muestra una imagen de la ubicación geográfica del parque. Luego, en el Gráfico 2 y el Gráfico 3 se observa el diagrama unilineal de la SE Tamarico 1, en el Gráfico 4 se muestra el sistema colector del parque.



**Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Tamarico.**

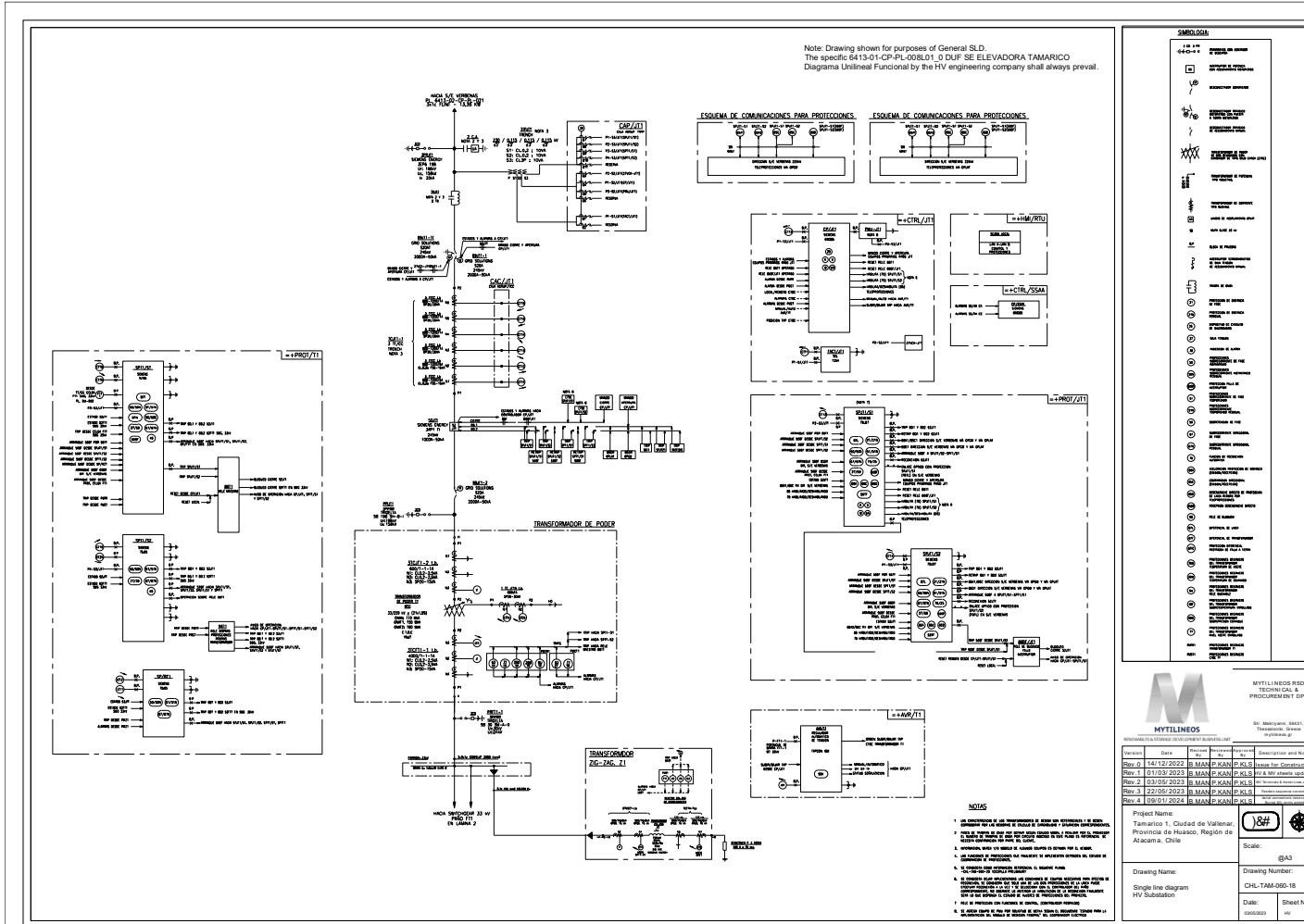
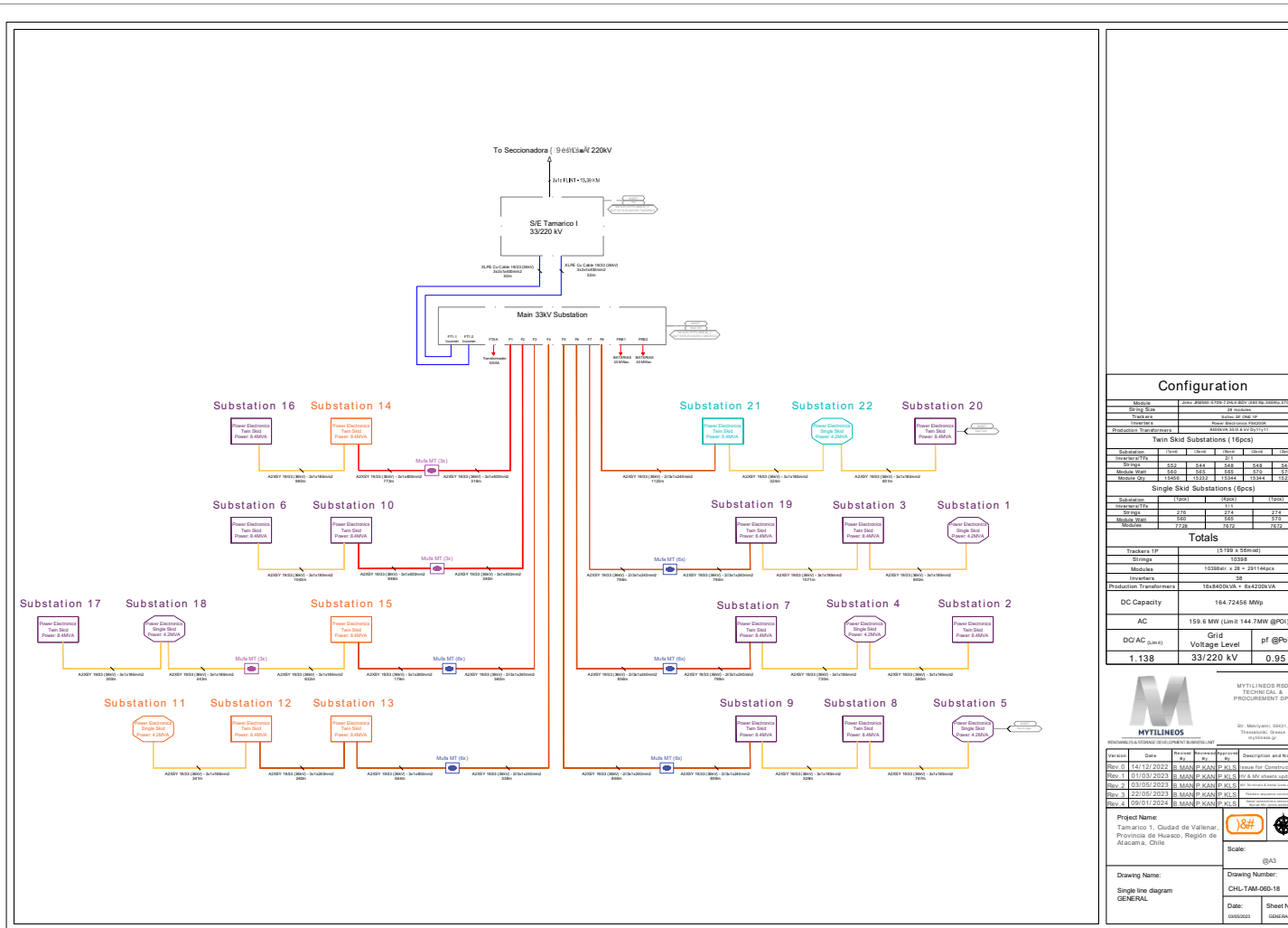


Gráfico 2. Esquema unilínea de la SE Tamarico 1 – parte 1.







**Configuration**

Model	Qty	Power (kW)	Power (MVA)	Power (MW)
Single Skid	18	1000	1.000	1.000
Multi Skid	1	33000	33.000	33.000
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>34000</b>	<b>34.000</b>	<b>34.000</b>

Totals		
Truckers IP	(5199 x 56mm)	
Strings	10398	
Mediums	10398 x 23 = 239146kVA	
Switchgear	38	
Production Transformer	10x4400kVA + 6x4200kVA	
DC Capacity	164.72456 Mwp	
AC	159.6 MW (Lims 144.7MW @PDI)	
DC/AC (pwr)	Grid Voltage Level	pf @PDI
1.138	33/220 kV	0.95

**MYTILINEOS**  
Sociedad Anónima

Dr. Mauricio Saez  
Tecnólogo, Grados  
en Ingeniería

Revisión	Fecha	Por	Revista	Observaciones
Rev 0	14/12/2022	M.MAN	P.KAN	Revisión y Aprobación
Rev 1	01/03/2023	M.MAN	P.KAN	Revisión y Aprobación
Rev 2	03/09/2023	M.MAN	P.KAN	Revisión y Aprobación
Rev 3	22/05/2023	M.MAN	P.KAN	Revisión y Aprobación
Rev 4	02/01/2024	M.MAN	P.KAN	Revisión y Aprobación

Project Name:  
Tamarico I, Ciudad de Valdivia,  
Provincia de Huasco, Región de  
Atacama, Chile

Scale:  
@A3

Drawing Name:  
Single line diagram  
GENERAL

Drawing Number:  
CHL-TAM-000-18

Date:  
08/09/2023

Sheet No:  
01/01

**Gráfico 4. Diagrama unilíneal del sistema colector del PSFV Tamarico.**

### 3. MARCO NORMATIVO

Los ensayos que se detallan a continuación siguen los requerimientos establecidos en el Anexo Técnico: Verificación De Instalaciones Para La Prestación SSCC de la Norma Técnica de Servicios Complementarios (NTSSCC) vigente, y en la Guía de Verificación de Servicios Complementarios de Control de Frecuencia, a los fines de verificar la prestación del recurso técnico de instalaciones para la prestación del Servicio Complementario de Control Terciario de Frecuencia (CTF).

En particular, los sistemas de control de las plantas se deben ensayar para cumplir con los requerimientos establecidos a continuación.

ANEXO TÉCNICO: VERIFICACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA PRESTACIÓN SSCC, TÍTULO IX. VERIFICACION DE RECURSOS TÉCNICOS ASOCIADOS A INSTALACIONES PARA EL SC DE CTF.

#### **Artículo 28 Objetivo de los ensayos**

*La verificación de prestación del recurso técnico de instalaciones para la prestación del SC de CTF tiene por objetivo verificar la respuesta de dicha instalación ante instrucciones de modificar su intercambio de potencia de acuerdo con el requerimiento del servicio.*

*El titular de toda instalación que participe en el SC de CTF deberá realizar ensayos y/o mediciones a efectos de demostrar que la instalación dispone de los equipos y medios requeridos por el Coordinador para efectuar un adecuado monitoreo de la disponibilidad y desempeño del servicio CTF, de acuerdo con lo establecido en la presente norma, y los Artículos 4-17 y 4-27 de la NTSyCS.*

#### **Artículo 29 Ensayos para verificación de recursos técnicos asociados a instalaciones para la prestación del SC de CTF**

*Para la verificación de recursos técnicos asociados a instalaciones para la prestación del SC de CTF, mediante mediciones en terreno, se deberá verificar como mínimo que:*

- a. Para distintos valores de reserva para CTF, verificar que la instalación y su recurso técnico cumple con los tiempos establecidos en la Resolución SSCC.*
- b. Medir el rango en el que puede ser ajustada la tasa de reducción y toma de carga de la instalación.*

## 4. Descripción de los componentes principales de la planta

### 4.1. Control de planta

El control de planta posee las siguientes funcionalidades:

- Funciones de control de potencia activa:
  - Control de potencia activa: Regula la potencia activa del parque para alcanzar una consigna definida, siempre y cuando la potencia disponible esté por encima de la misma. Cuando la limitación de rampa está activa, tanto la rampa subida como de bajada quedan definidas por una pendiente determinada. En el caso particular del PSFV Tamarico, la pendiente se encuentra configurada en 28 MW/min tanto para la toma de carga como para la reducción de generación, que corresponden a un valor de 20 %/min (respecto a la potencia nominal de 144.7 MW).
  - Control de frecuencia: Esta función contempla la respuesta de la potencia activa en función a las fluctuaciones de frecuencia respecto a la nominal (50 Hz). La respuesta del parque estará dada por una curva de potencia / frecuencia que posee una pendiente y una banda muerta.

- Funciones de control de potencia reactiva:

A continuación, se describen los tres modos de operación disponibles. Cabe destacar, que estos modos son incompatibles entre sí, de modo que solo puede estar activo un modo de control.

- Control de tensión: Permite definir un valor de consigna de tensión en el punto de conexión del PSFV.
- Control de potencia reactiva: Permite definir un valor de consigna de potencia reactiva en el punto de conexión, la cual es distribuida entre todos los aerogeneradores.
- Control de factor de potencia: Permite definir un valor de consigna de factor de potencia en el punto de conexión, controlando la inyección de potencia reactiva para mantenerlo constante.

El PPC envía las consignas de potencia activa y reactiva que se reparten en los aerogeneradores del PSFV Tamarico.

## 5. Descripción de los Ensayos

Se realizaron ensayos para verificar la respuesta del control de potencia activa de la planta. Desde el SCADA se cambió la consigna de potencia activa en el sistema de control para evaluar tanto la rampa de bajada como la rampa de subida de potencia de la central, desde potencia máxima disponible hasta el mínimo técnico.

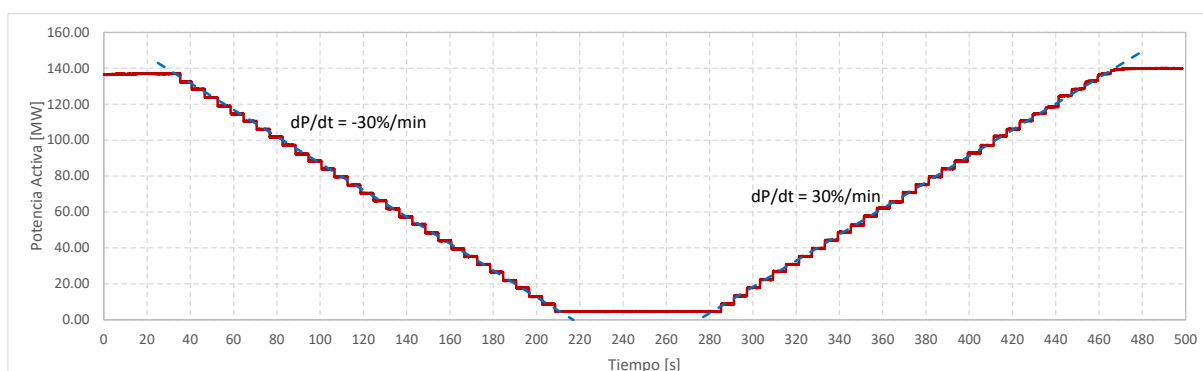
Se probaron las tasas 30 % /min, 10 % /min y 70 %/min, registrando la potencia activa en el punto de conexión, verificando que se cumplan las tasas programadas y que la evolución en el tiempo fuese estable.

Luego de finalizadas las pruebas, se configuró nuevamente la tasa normal de funcionamiento de la planta, que en el caso del PSFV Tamarico es de 20 %/min, la cual cumple con la tasa máxima de toma de carga establecida en la normativa NTSyCS.

### 5.1. Verificación del gradiente de incremento / reducción de carga

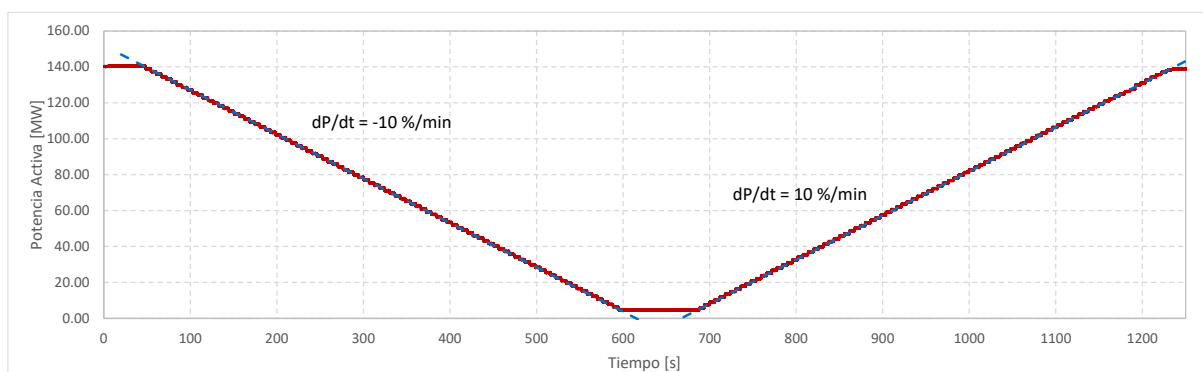
El ensayo se realizó desde la potencia máxima disponible (alrededor de 137 MW) hasta mínimo técnico (4.4 MW). A continuación, en Gráfico 5, Gráfico 6 y Gráfico 8, se muestran los resultados obtenidos para las distintas pendientes de incremento / reducción de carga ensayadas:

#### 5.1.1 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 30 %/ min



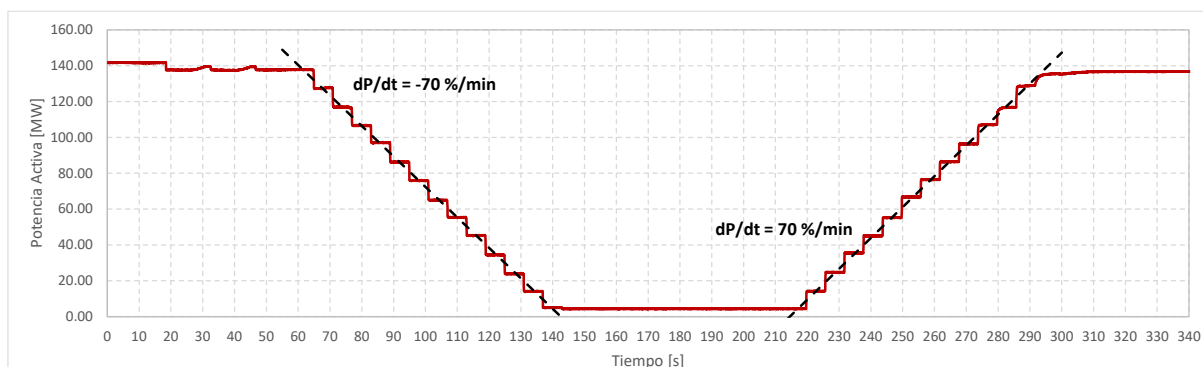
**Gráfico 5. Gradiente de Incremento/Reducción de carga de 30 %/min.**

#### 5.1.2 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 10 %/min



**Gráfico 6. Gradiente de Incremento /Reducción de carga de 10 %/min.**

### 5.1.3 Ensayo de tasa de variación de potencia activa de 70 %/min



**Gráfico 7. Gradiente de Incremento /Reducción de carga de 70 %/min.**

A partir de los gráficos anteriores, se puede concluir que el parque responde correctamente a las pendientes consideradas y la respuesta es estable para todo el tiempo que duró la prueba.

## 5.2. Modificación de parámetros y limitaciones del sistema de control

Como pudo observarse de las pruebas realizadas las pendientes configuradas coinciden con la respuesta analizada. Los cambios en la pendiente del control de potencia activa se realizan desde el sistema SCADA de la central.

En la siguiente tabla se muestra el rango de ajuste de dichos parámetros.

**Tabla 1. Rango de ajuste de parámetros CTF.**

Parámetro	Ajuste Original	Rango de Ajuste
Gradiente de subida	28 MW/m	0 a 144.7 MW/m
Gradiente de bajada	28 MW/m	0 a 144.7 MW/m

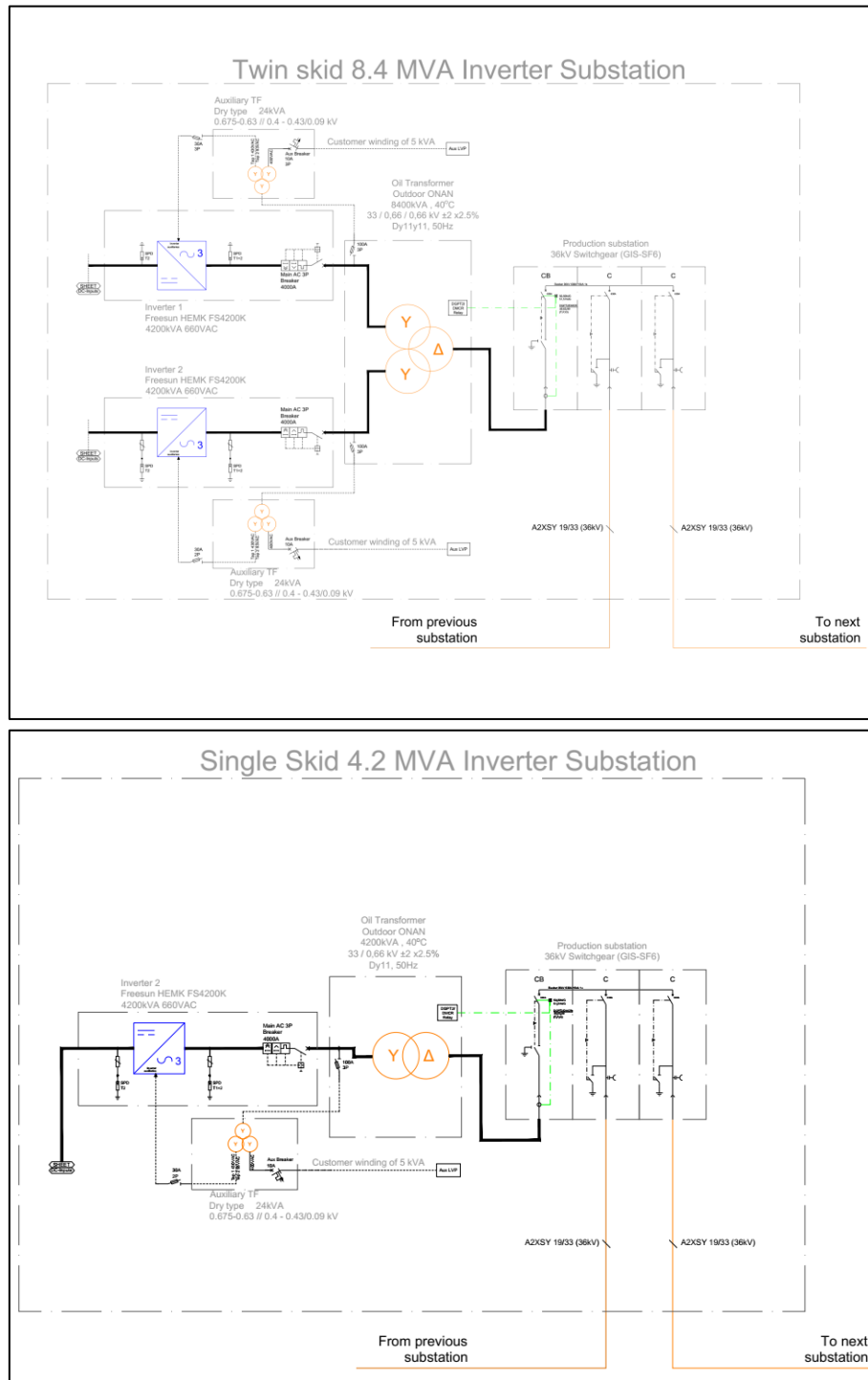
## 6. Conclusiones

En relación con los ensayos realizados en campo, descritos en el presente informe, se concluye que el resultado de las pruebas realizadas fue satisfactorio. Los ensayos llevados a cabo fueron ejecutados de acuerdo con el protocolo confeccionado y a los requerimientos de la Norma Técnica.

- Se probó el correcto desempeño del control de planta en lo referido a la respuesta del control de potencia activa para distintos gradientes de reducción y toma de carga, requeridos para poder realizar el control terciario de frecuencia.
- Se probaron las pendientes de toma y reducción de carga de 20 %/min, 10 %/min y 70%/min. El control de potencia respondió adecuadamente y de forma estable.
- De lo anterior el PSFV Tamarico, es apto para prestar servicios de control terciario de frecuencia en giro.

# ANEXO

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES



**Gráfico 8. Skids de inversores centrales PSFV Tamarico.**



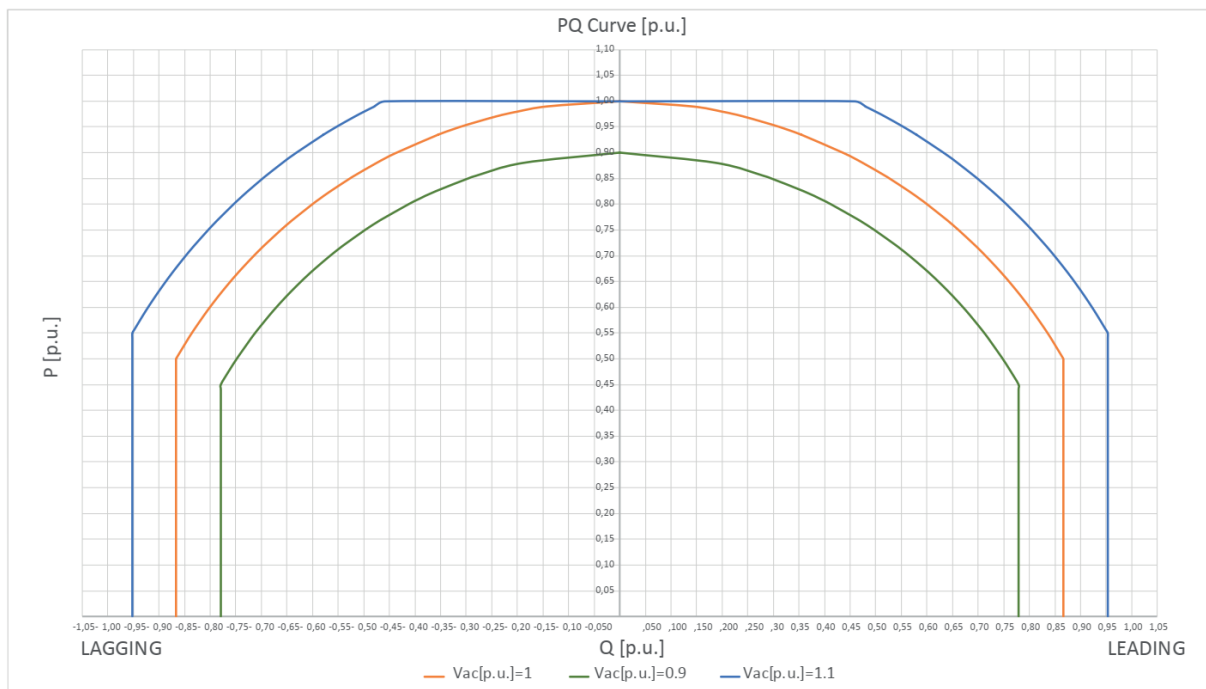
Rated Voltage	[kV]	0.660
Type of Compensation	[]	PV inverter Power Electronics HEMK GEN3 FS4200K
Number of units	[]	38
Total apparent power (inductive/capacitive)	[MVA]	4.2 MVA @ 1 p.u. @40°C
Total reactive power (inductive/capacitive)	[MVAR]	+/-3.6373 MVAR @ 1 p.u. @40°C
Number of steps (inductive/capacitive)	[]	Fine tuning
Size of steps (inductive/capacitive)	[Mvar/step]	N/A
Reactive power capability curve		Complete
Nominal MPPT Window	Vdc	934-1500

Transformador	
N° de devanados	2
Frecuencia	50 [Hz]
Voltaje primario nominal	33 [kV]
Voltaje secundario nominal	0,66 [kV]
Grupo vectorial	Dyn11
Potencia ONAN	4200 kVA
Impedancia sec (+) base 4,2 MVA	9,03%
Impedancia sec (0) base 4,2 MVA	7,67%

Transformador		
N° de devanados	3	
Frecuencia	50 [Hz]	
Voltaje primario nominal	33 [kV]	
Voltaje secundario 1 nominal	0,66 [kV]	
Voltaje secundario 2 nominal	0,66 [kV]	
Grupo vectorial	Dy11y11	
Potencia ONAN	8400 kVA	
Impedancia sec (+)	HV-MV base 4,2 MVA	7,31%
	MV-LV base 4,2 MVA	12,66%
	LV-HV base 4,2 MVA	7,65%
Impedancia sec (0) *	HV-MV base 4,2 MVA	6,21%
	MV-LV base 4,2 MVA	10,761%
	LV-HV base 4,2 MVA	6,50%

Transformador zig-zag	
Tensión nominal	33, [kV]
Impedancia de secuencia cero	116 [ohms]
Corriente nominal (3xI0)	0,5 [kA]
Resistencia de puesta a tierra	38,1 [Ω]

Transformador	
N° de devanados	2
Frecuencia	50 [Hz]
Voltaje primario nominal	220 [kV]
Voltaje secundario nominal	33 [kV]
Grupo vectorial	YNd1
Potencia ONAN/ONAF1/ONAF2	110/150/180 MVA
Impedancia sec (+)	12,56 % (base 180MVA)
Impedancia sec (0)	11,47 % (base 180MVA)



**Gráfico 9. Curva PQ del inversor.**

## **2. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS**

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

- Registro de ensayos: Registros\_PSFV\_Tamarico\_SSCC\_CTF.rar

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato “.csv”.