

Cliente: AES Andes

País: Chile

Proyecto: Verificación de SSCC PFV Atacama Solar II

Descripción: Informe final de ensayos - Control Terciario de Frecuencia

Código de Proyecto: EE-2021-151

Código de Informe: EE-EN-2024-0998

Revisión: C



Este documento EE-EN-2024-0998-RC fue preparado para AES Andes por Estudios Eléctricos SA.
Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman

Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo

Sub-Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani

Gerente Dpto. Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 33 páginas y ha sido guardado por última vez el 29/9/2025 por Gonzalo Espinoza. Sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev.	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	19/7/2024	Primera versión.	GE	AC	PR
B	22/07/2024	De acuerdo a comentarios de cliente.	GE	AC	PR
C	26/07/2024	De acuerdo a comentarios de cliente.	GE	AC	PR

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



Índice

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Descripción del personal participante	5
1.2	Nomenclatura.....	6
2	REQUERIMIENTO NORMATIVO	7
2.1	Control de frecuencia.....	7
2.1.1	Control terciario de frecuencia	10
3	PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS.....	11
3.1	Procedimiento de pruebas.....	11
3.2	Instrumental utilizado para la adquisición de datos.....	11
3.2.1	Mediciones a nivel planta	11
3.3	Registro de irradiancia con equipo de planta	12
3.4	Metodología general de los ensayos.....	12
4	ENSAYOS DE VERIFICACION DEL CONTROL TERCARIO DE FRECUENCIA	13
4.1	Incremento de carga del parque	13
4.1.1	Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima disponible a 15 MW/min	14
4.1.2	Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima disponible a 30 MW/min	15
4.2	Bajada de carga del parque.....	16
4.2.1	Bajada de carga desde potencia máxima disponible a mínimo técnico a - 15 MW/min	16
4.2.2	Bajada de carga desde potencia máxima disponible a mínimo técnico a -30 MW/min	18
4.2.3	Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro	19
5	ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.....	21
6	ANEXOS	22
6.1	Unifilar Subestación Matilla 220 kV	22
6.2	Trifilares de tensión y corrientes.....	23
6.3	Medidas complementarias.....	25
6.4	Datos característicos del transformador de bloque	26
6.5	Datos característicos del transformador elevador.....	27
6.6	Archivos adjuntos entregados.....	28
6.7	Acta de pruebas SSCC - PF Atacama Solar II.....	29



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento resume los resultados de las pruebas realizadas y las conclusiones obtenidas durante los ensayos de “*Verificación de Servicios Complementarios*”, particularmente el servicio de **Control Terciario de Frecuencia** (reserva en giro) del **Parque Fotovoltaico Atacama Solar II**, con el objeto de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la Norma Técnica de Servicios Complementarios vigente. Las verificaciones anteriormente señaladas se realizaron siguiendo los lineamientos estipulados en las “*Guías de Verificación de Servicios Complementarios*” expedidas por el Coordinador Eléctrico Nacional.

Los ensayos previstos se encuentran descritos en el documento técnico “**EE-EN-2022-0002-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PF_Atacama_Solar_II**” elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

El Parque Fotovoltaico Atacama Solar II, ubicado en las cercanías de la ciudad de Pica, Región de Tarapacá, se compone de cuarenta y ocho (48) inversores marca Power Electronics modelo 3MWD3-V620 de 3.63 MVA de potencia aparente nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 174.24 MVA.

La red colectora de media tensión del parque está conformada por cables subterráneos y dividida en ocho (8) circuitos que acometen a una barra de 33 kV. Allí, mediante dos (2) transformadores elevadores de relación 33 kV / 220 kV y 90 MVA de potencia nominal, elevan la tensión a 220 kV para finalmente evacuar la potencia generada al SEN en su punto de interconexión, SE Matilla 220 kV.

El control conjunto de planta, marca Inaccess, posee tres (3) modos de control en lo que respecta a potencia reactiva, estos son, factor de potencia ($\cos\phi$), potencia reactiva (Q), reactivo en función de la tensión Q(V). Por otra parte, posee los modos de control de potencia activa (P) y regulación de frecuencia P(f).



1.1 Descripción del personal participante

Personal	Cargo
Andrés Capalbo	Líder
Gonzalo Espinoza	Ingeniero de Ensayos
Luis López	Supervisor O&M de planta

Tabla 1.1: Nómina del personal participante de los ensayos

Las pruebas se llevaron a cabo el día 26 de febrero de 2022.



1.2 Nomenclatura

Tag	Descripción
ETERM	Tensión en bornes del inversor
PELEC	Potencia eléctrica activa en bornes del inversor
QELEC	Potencia eléctrica reactiva en bornes del inversor
UBUS	Tensión en el punto de interconexión
PBUS	Potencia eléctrica activa en el punto de interconexión
QBUS	Potencia eléctrica reactiva en el punto de interconexión
FREC	Frecuencia eléctrica
PPC	Control conjunto de planta
POI	Punto de interconexión del parque (barra de alta tensión del transformador de salida del parque)
AT	Alta tensión (220 kV)
BT	Baja tensión (0.62 kV)
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
NTSyCS	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
SSCC	Servicios Complementarios
EE	Estudios Eléctricos
CTF	Control terciario de frecuencia
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
Pmax	Potencia activa neta máxima en el POI (150 MW)
Pmin	Potencia activa neta correspondiente al mínimo técnico en el POI (4.8 MW según carta CEN)
Pdisp	Potencia activa máxima disponible durante los ensayos (138 MW)

Tabla 1.2 - Nomenclatura empleada



2 REQUERIMIENTO NORMATIVO

2.1 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, medido en su punto de conexión en el caso de parques eólicos o solares, en cualquier nivel de potencia.
- 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 2.1 se muestra la interpretación temporal de como intervienen las diferentes subcategorías de SSCC referidas al control de frecuencia según el Coordinador:

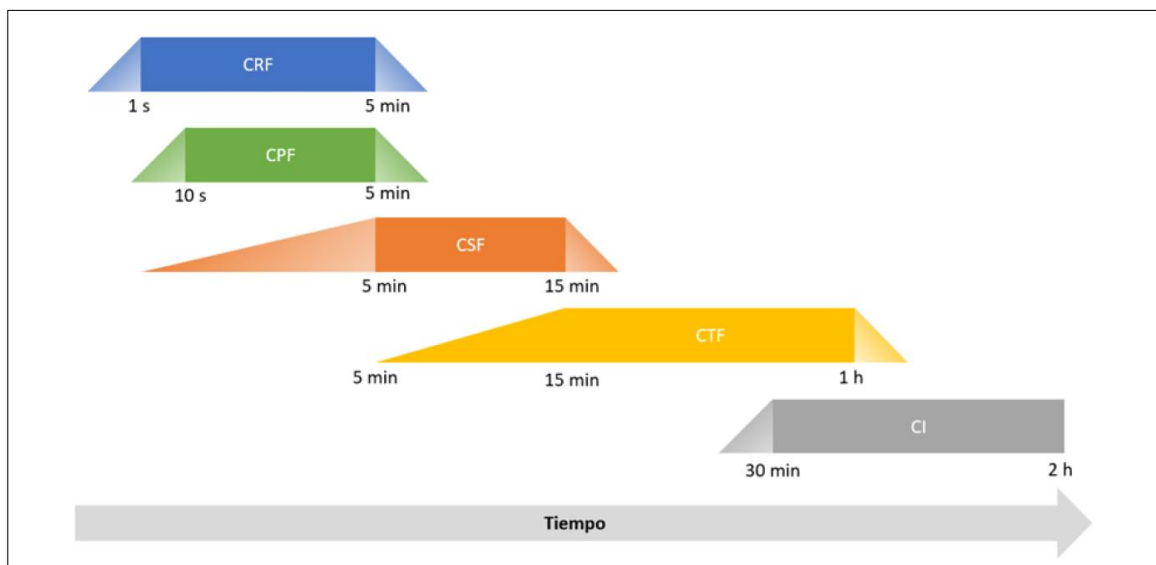


Figura 2.1: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal

En la Figura 2.2 se presenta la interpretación de los distintos tiempos involucrados en cada subcategoría de SSCC de control de frecuencia de manera referencial:

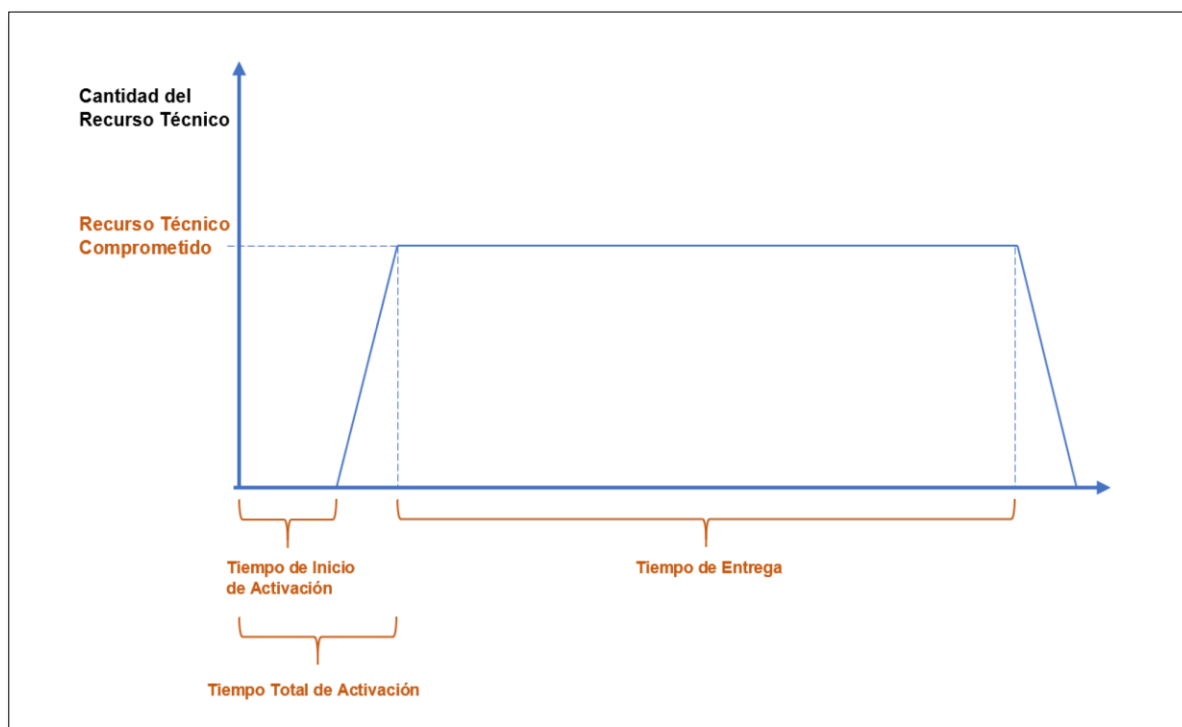


Figura 2.2: Control de Frecuencia - Subcategorías según intervalo temporal

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	-	-	1 hs
CI	Por instrucción, en la operación en tiempo real, del CEN	-	30 min	2 hs	-

Figura 2.3: Tiempos comprometidos por subcategoría - SSCC Control de frecuencia



2.1.1 Control terciario de frecuencia

Definición

Corresponde a acciones de control activadas por instrucción del Coordinador en la operación en tiempo real, destinadas a restablecer 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 Sobrefrecuencia (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.

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.



3 PREPARACIÓN DE LOS ENSAYOS

3.1 Procedimiento de pruebas

Las pruebas realizadas en la Planta Fotovoltaica Atacama Solar II se llevan a cabo de acuerdo con el procedimiento, documento técnico **"EE-EN-2022-0002-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PF_Atacama_Solar_II"** elaborado por Estudios Eléctricos S.A. y aprobado por el Coordinador Eléctrico Nacional.

3.2 Instrumental utilizado para la adquisición de datos

3.2.1 Mediciones a nivel planta

Para realizar los ensayos a nivel planta se utilizó un medidor de calidad de energía marca Janitza, de la serie UMG (propiedad de EE). Una fotografía referencial de la serie se presenta en la Figura 3.1.

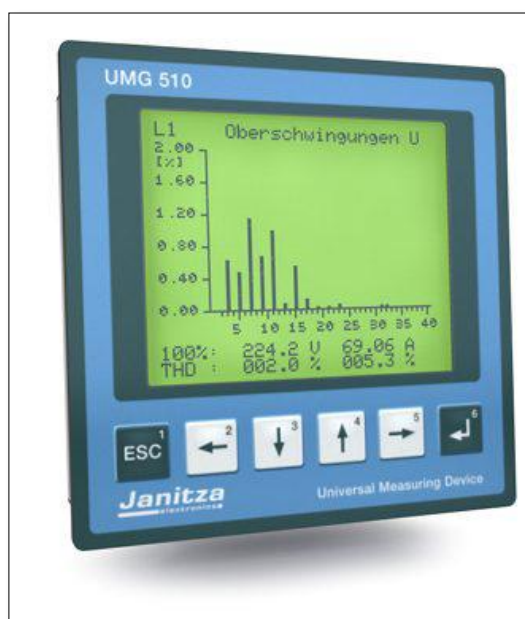


Figura 3.1: Fotografía del Janitza UMG510

El equipo medidor de energía se conectó en el paño J1 específicamente en los circuitos secundarios del transformador de corriente TCJ1 y del transformador de potencial TPJ1 de la subestación Matilla 220 kV. El paño J1 corresponde a la línea de salida desde SE Matilla 220 kV a la SE Lagunas 220 kV.

En el anexo 6.1 se muestra el unilineal general de la Subestación Matilla 220 kV. Por otra parte, en el anexo 6.2 se muestran los bornes de conexión para las corrientes y tensiones.



3.3 Registro de irradiancia con equipo de planta

Como medida complementaria, se registró la radiación solar durante las pruebas en sitio, para este fin se utilizó el sistema de adquisición de planta. El mismo es marca Inaccess y posee una tasa de muestreo de 1 muestra por segundo. Los registros fueron exportados en formato 'csv'. Ver anexo 6.1

3.4 Metodología general de los ensayos

Para realizar los ensayos descritos en el protocolo **"EE-EN-2022-0002-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PF_Atacama_Solar_II"** se realizaron cambios de consigna en la potencia activa de planta. Lo anterior se logró mediante la interfaz de control del propio controlador de planta, Figura 3.2 .

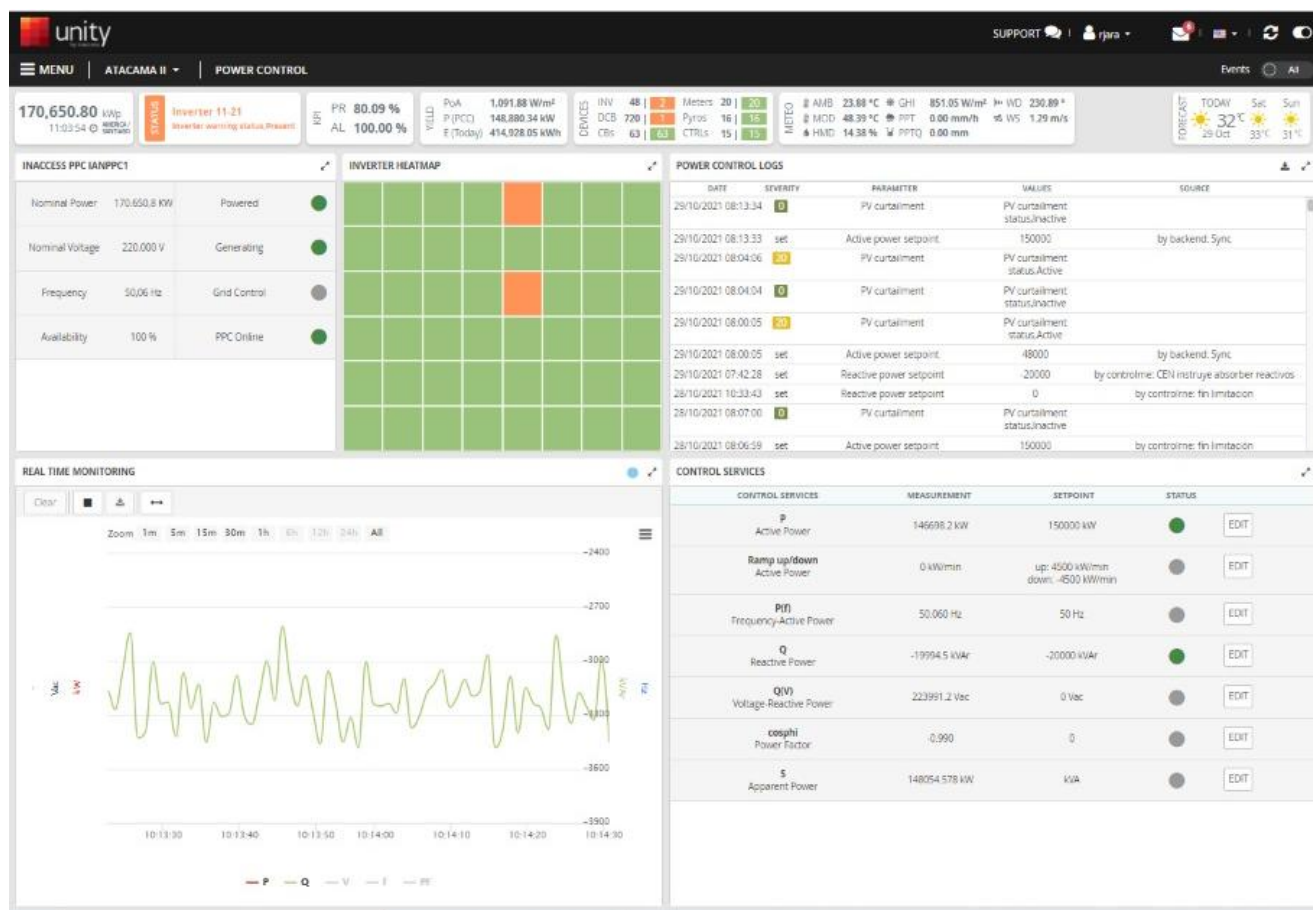


Figura 3.2: HMI del control conjunto de planta



4 ENSAYOS DE VERIFICACION DEL CONTROL TERCIARIO DE FRECUENCIA

Con el fin de verificar la capacidad del parque para participar en el servicio complementario de CTF en giro, se ejecutaron los siguientes ensayos.

Para estas pruebas se presentan las siguientes señales:

- Potencia activa en el POI (señal PBUS)
- Potencia reactiva en el POI (señal QBUS)
- Tensión en el POI (señal UBUS)
- Frecuencia eléctrica (señal FREC)

En la Tabla 4.1 se resumen los ensayos de incremento y bajada de carga. Estos valores son aproximados y pueden diferir con el despacho real alcanzado en los ensayos.

<i>Despacho Inicial de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Despacho Final de Potencia Activa [MW]</i>	<i>Tasa de toma/bajada de carga [MW/min]</i>
8	136	15
9	131	30
137	8.7	-15
136	9	-30

Tabla 4.1: Ensayos de control terciario de frecuencia

4.1 Incremento de carga del parque

Se realiza la prueba con la tasa de toma de carga configurada actualmente en el PPC, es decir 15 MW/min. Adicionalmente, se realiza un segundo incremento de carga, pero con una tasa superior, en este caso, 30 MW/min. Este valor representa el máximo valor normativo establecido en 20%/min.

Para verificar el gradiente de toma de carga (MW/min), se comenzó el ensayo operando a mínimo técnico, y se incrementó la generación hasta alcanzar potencia máxima **disponible** mediante un único cambio de referencia de potencia activa.



4.1.1 Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima disponible a 15 MW/min

Se modificó la consigna de potencia activa del parque desde un valor inicial de 8 MW a un valor final de 136 MW.

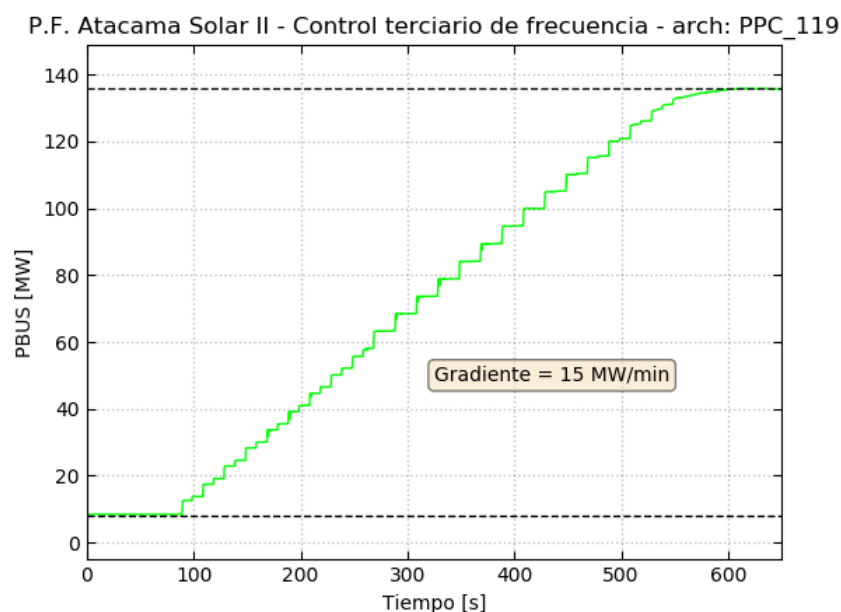


Figura 4-1: Toma de carga - Tasa = 15 MW/min

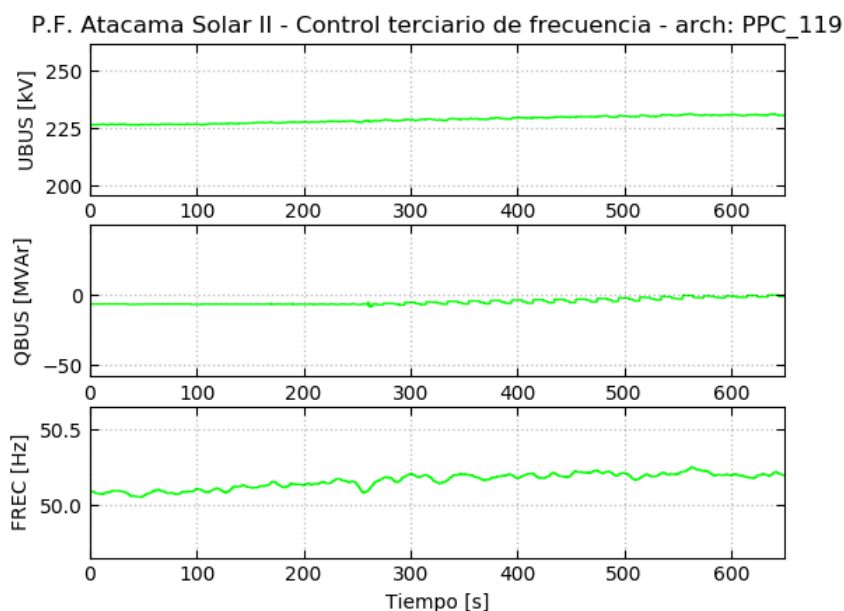


Figura 4-2: Toma de carga - Señales a nivel POI



Como puede observarse en las figuras anteriores el parque presenta una respuesta estable. Y la tasa de toma de carga medida resulta igual a 15 MW/min, lo que equivale a una tasa del 10%/min de la potencia máxima del parque (150 MW).

4.1.2 Toma de carga desde mínimo técnico a potencia máxima disponible a 30 MW/min

Se modificó la consigna de potencia activa del parque desde un valor inicial de 9 MW a un valor final de 131 MW.

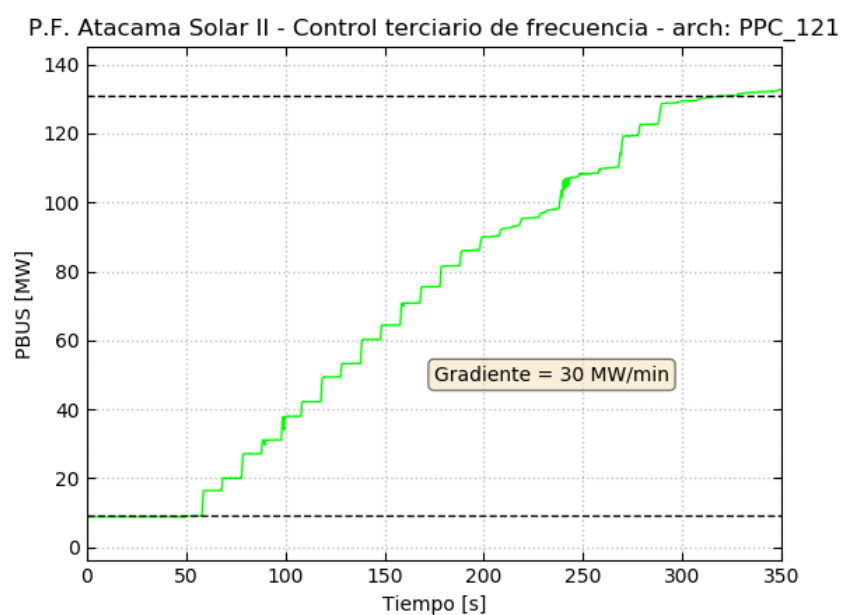


Figura 4-3: Toma de carga - Tasa = 30 MW/min

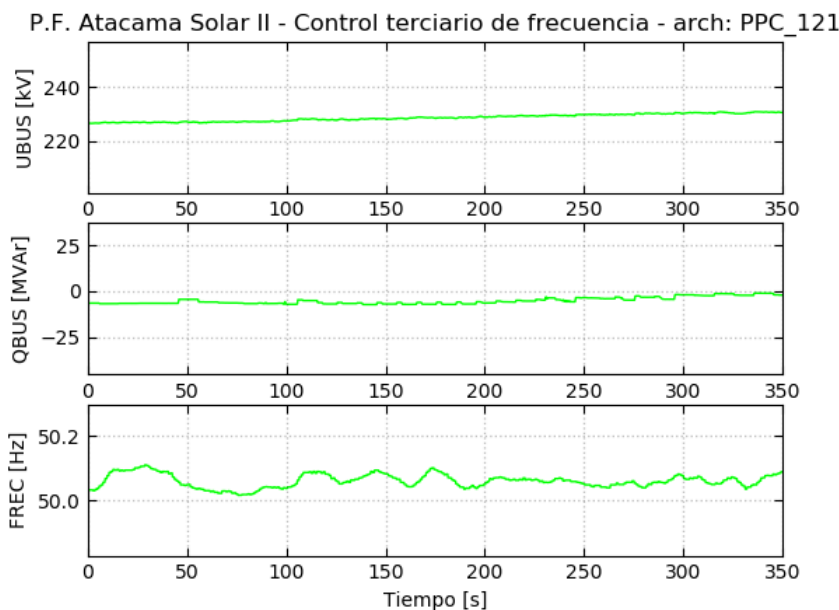


Figura 4-4: Toma de carga – Señales a nivel POI

Como puede observarse en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual 30 MW/min, lo que equivale a una tasa del 20%/min de la potencia máxima del parque (150 MW).

4.2 Bajada de carga del parque

Se realizó la prueba con la tasa de bajada de carga configurada actualmente en el PPC, es decir - 15 MW/min. Adicionalmente, se realizó una segunda bajada de carga con una tasa superior, en este caso, - 30 MW/min. Este valor representa el máximo valor normativo establecido en 20%/min.

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

4.2.1 Bajada de carga desde potencia máxima disponible a mínimo técnico a - 15 MW/min

Se modificó la consigna de potencia activa del parque desde un valor inicial de 137 MW a un valor final de 8.7 MW.

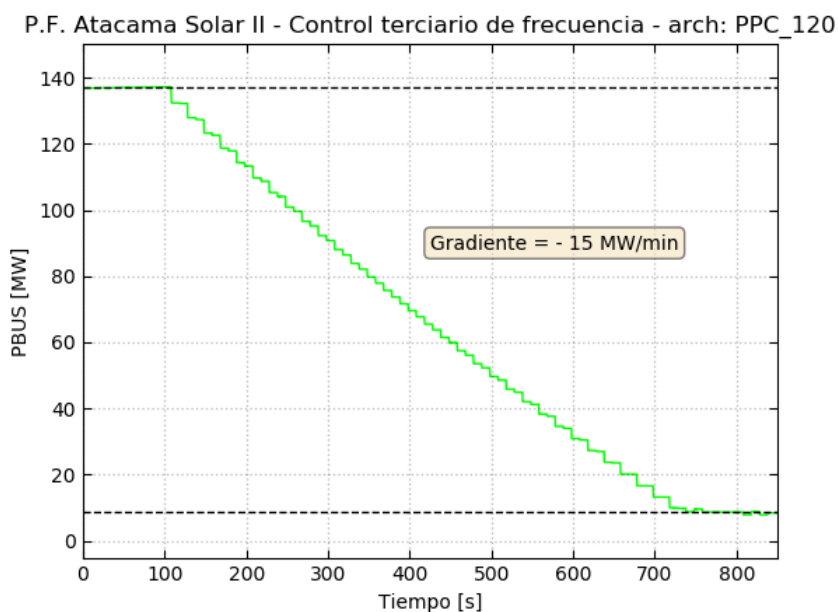


Figura 4-5: Bajada de carga - Tasa = - 15 MW/min

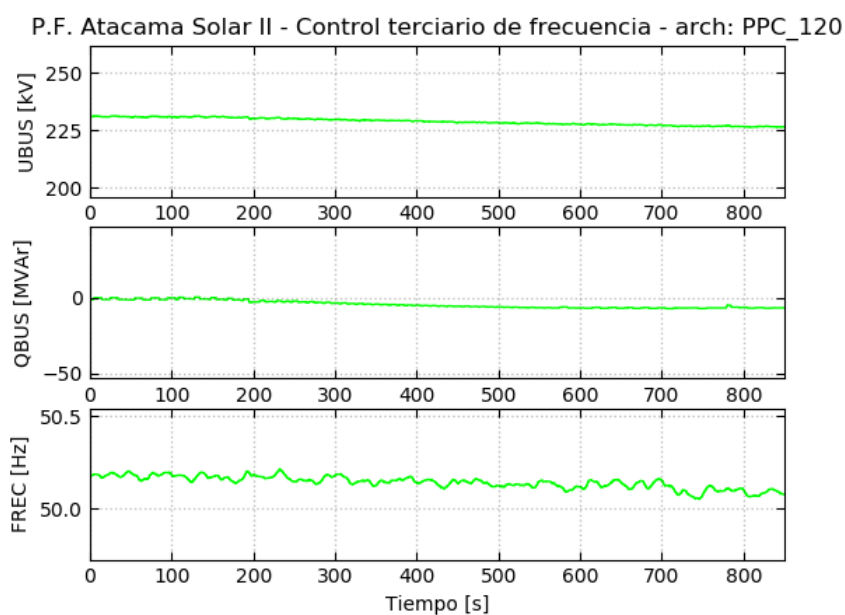


Figura 4-6: Bajada de carga - Señales a nivel POI

Como puede observarse en las figuras anteriores el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de bajada de carga medida resulta igual a - 15 MW/min, lo que equivale a una tasa del 10%/min de la potencia máxima del parque (150 MW).



4.2.2 Bajada de carga desde potencia máxima disponible a mínimo técnico a -30 MW/min

Se modificó la consigna de potencia activa del parque desde un valor inicial de 136 MW a un valor final de 9 MW.

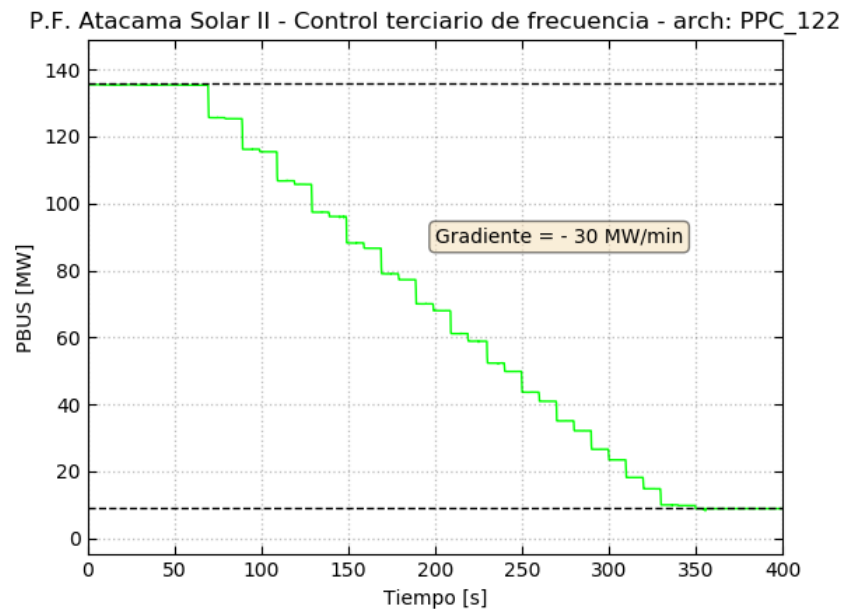


Figura 4-7: Bajada de carga - Tasa = - 30 MW/min

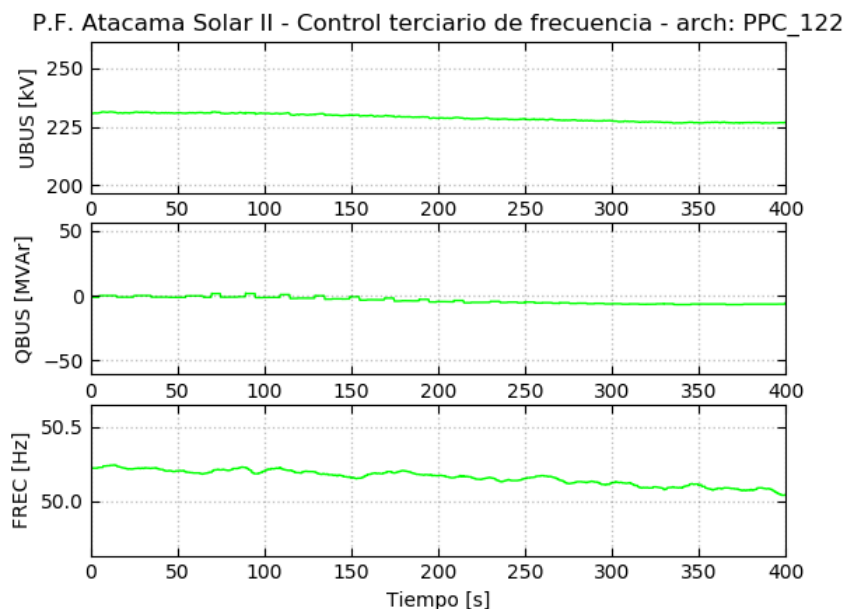


Figura 4-8: Bajada de carga - Señales a nivel POI



Como puede observarse en las figuras anteriores, el parque presenta una respuesta estable, y la tasa de toma de carga medida resulta igual - 30 MW/min, lo que equivale a una tasa del 20%/min de la potencia máxima del parque (150 MW).

4.2.3 Análisis del control terciario de frecuencia reserva en giro

En la Tabla 4.2 se resumen los gradientes medidos para los diferentes movimientos de carga, mientras que en la Tabla 4.3 se presenta la reserva para CTFg, para el parque fotovoltaico Atacama Solar II, en función de las pruebas realizadas.

Central	Valor teórico [MW/min]	Valor medido toma de carga [MW/min]	Valor medido bajada de carga [MW/min]
PFV Atacama Solar II	15	15	-15
	30	30	-30

Tabla 4.2 – Resumen gradientes entre movimientos de carga entre mínimo técnico y potencia máxima

La reserva en giro para CTF corresponde al valor mínimo entre la potencia que puede variar el parque en 10 minutos de acuerdo a la tasa consignada y el margen entre la potencia de despacho y la potencia límite (máxima o mínima) que el parque es capaz de entregar. Esto se expresa en la Tabla 4.3 donde:

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

Central	Tasa [MW/min]	Reserva para CTFg [MW]
PFV Atacama Solar II	15	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min\{15 \cdot 10, 150 - Pd\}$ $Reserva\ Giro\ CTF^- = \min\{15 \cdot 10, Pd - 4.8\}$
	30	$Reserva\ Giro\ CTF^+ = \min\{30 \cdot 10, 150 - Pd\}$ $Reserva\ Giro\ CTF^- = \min\{30 \cdot 10, Pd - 4.8\}$

Tabla 4.3 – Resumen reserva para CTF en giro

Cabe mencionar que 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, 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 Fotovoltaico Atacama Solar II	Solar	Tasa normal de operación [MW/min]	Subida	15.0
			Bajada	-15.0
		Tasa máxima de operación [MW/min]	Subida	30.0
			Bajada	-30.0
		Tiempo de respuesta [minutos]	Subida	0
				0
			Bajada	0
				0
		Aporte CTF [MW]	Subida	145.2
			Bajada	-145.2
		Límite de regulación superior [MW]		150.0
		Límite de regulación inferior [MW]		4.8

Tabla 4.4 – Resumen resultados – SSCC CTFg



5 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN

El Parque Fotovoltaico Atacama Solar II 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:

- La operación es de característica simétrica, es decir, sus gradientes de toma/reducción de carga coinciden.
- El parque podrá entregar la totalidad de su rango operativo como reserva para Control Terciario de Frecuencia en giro y su gradiente fue verificado en ± 15 MW/min y ± 30 MW/min.
- El tiempo de activación del CTF es despreciable ya que depende exclusivamente del tiempo que demora el operador en consignar el nuevo valor de referencia de potencia activa.
- La tasa es modificable por el operador de planta.

6 ANEXOS

6.1 Unifilar Subestación Matilla 220 kV

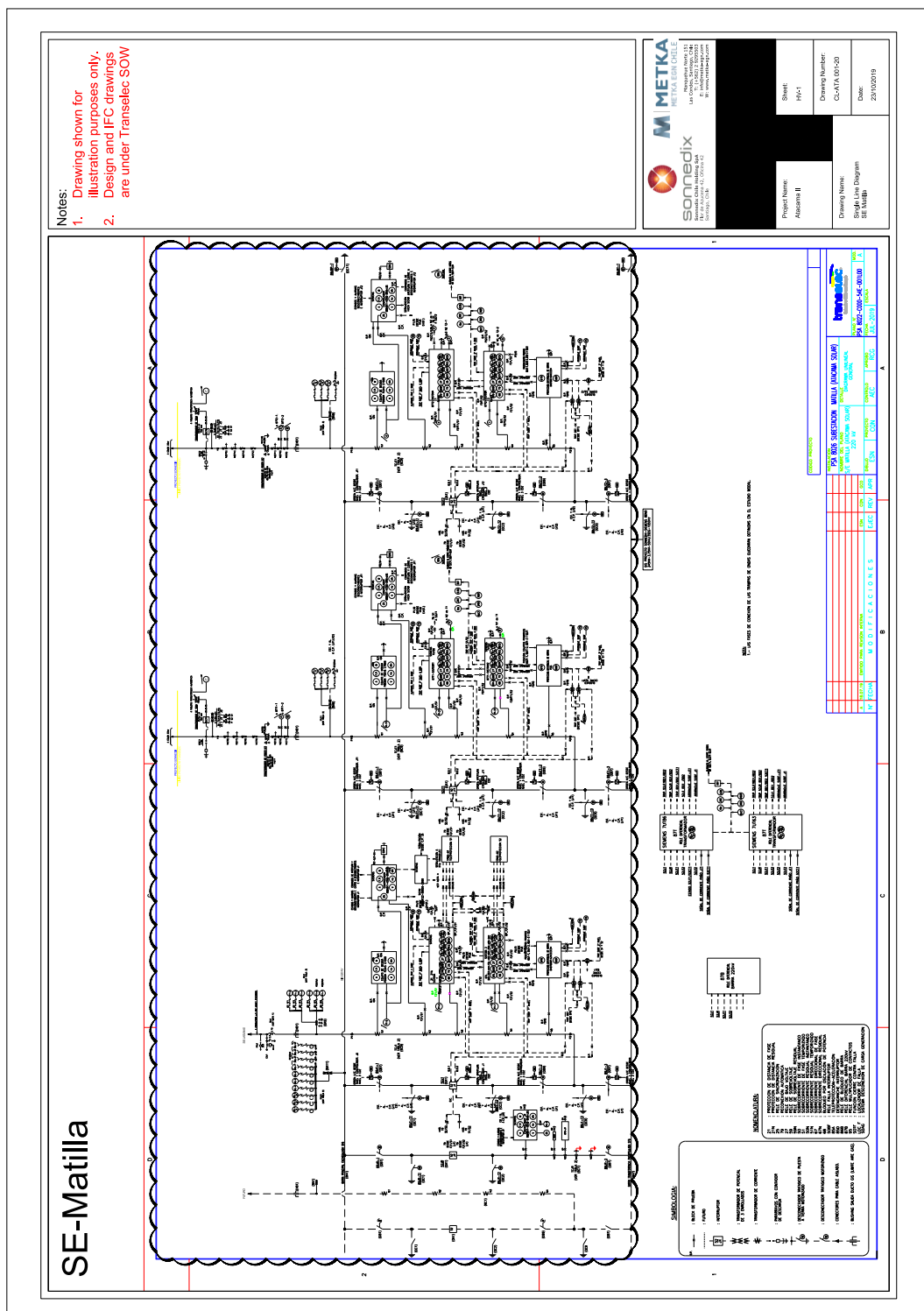


Figura 6.1: Paño J1 Subestación Matilla 220 kV

6.2 Trifilares de tensión y corrientes

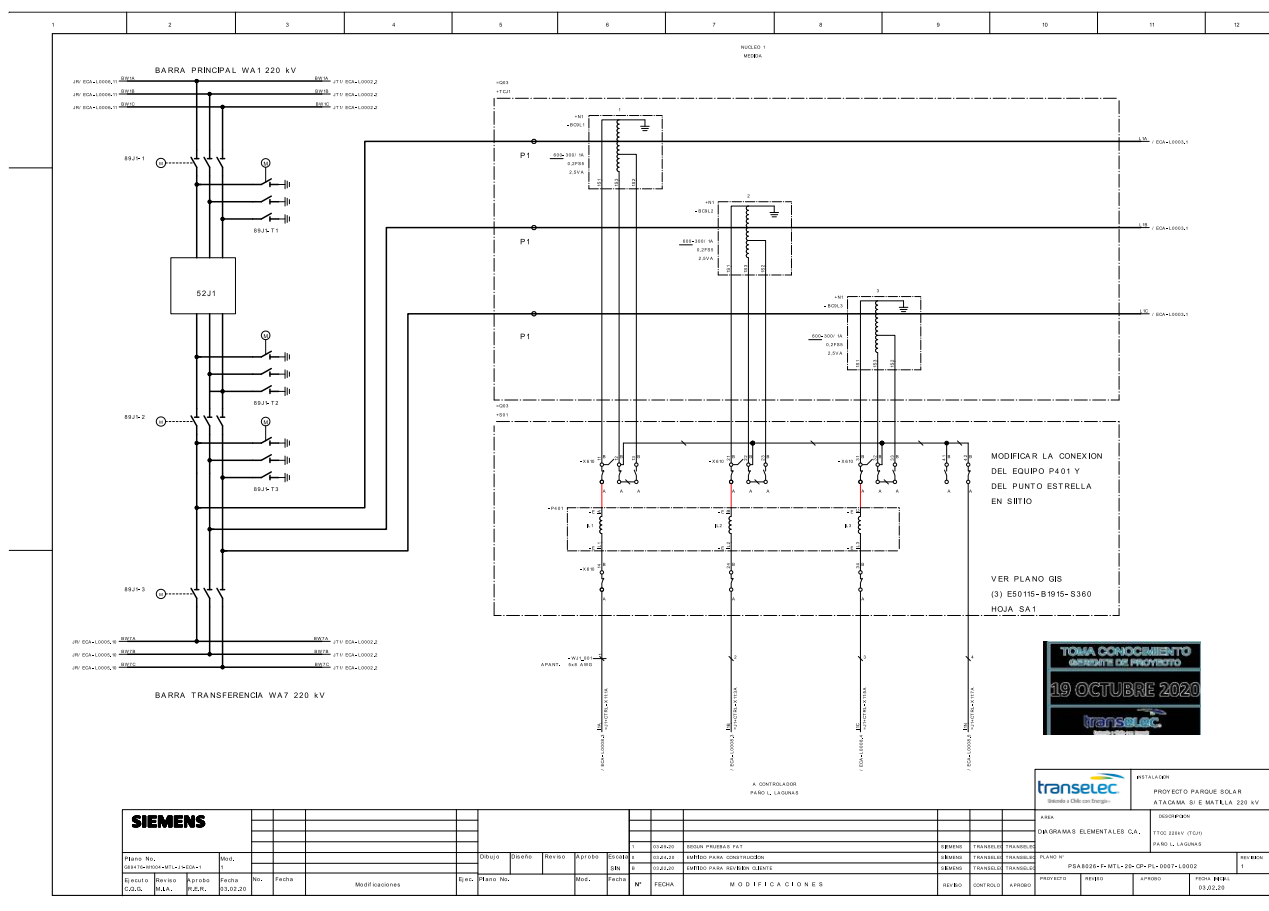


Figura 6.2: Circuito secundario de núcleo 1 del TCJ1 en subestación Matilla 220 kV

En base a lo presentado en la Figura 6.2 muestran los bornes de conexión para la medición de corriente:

<i>Bornera</i>	<i>Descripción</i>	<i>Detalle</i>
X11:1A-1B	Fase A	Conexión entre 1A y 1B
X11:1A-1B	Fase A	Conexión entre 1A y 1B
X11:1A-1B	Fase A	Conexión entre 1A y 1B

Tabla 6.1: Bornes de conexión TCJ1

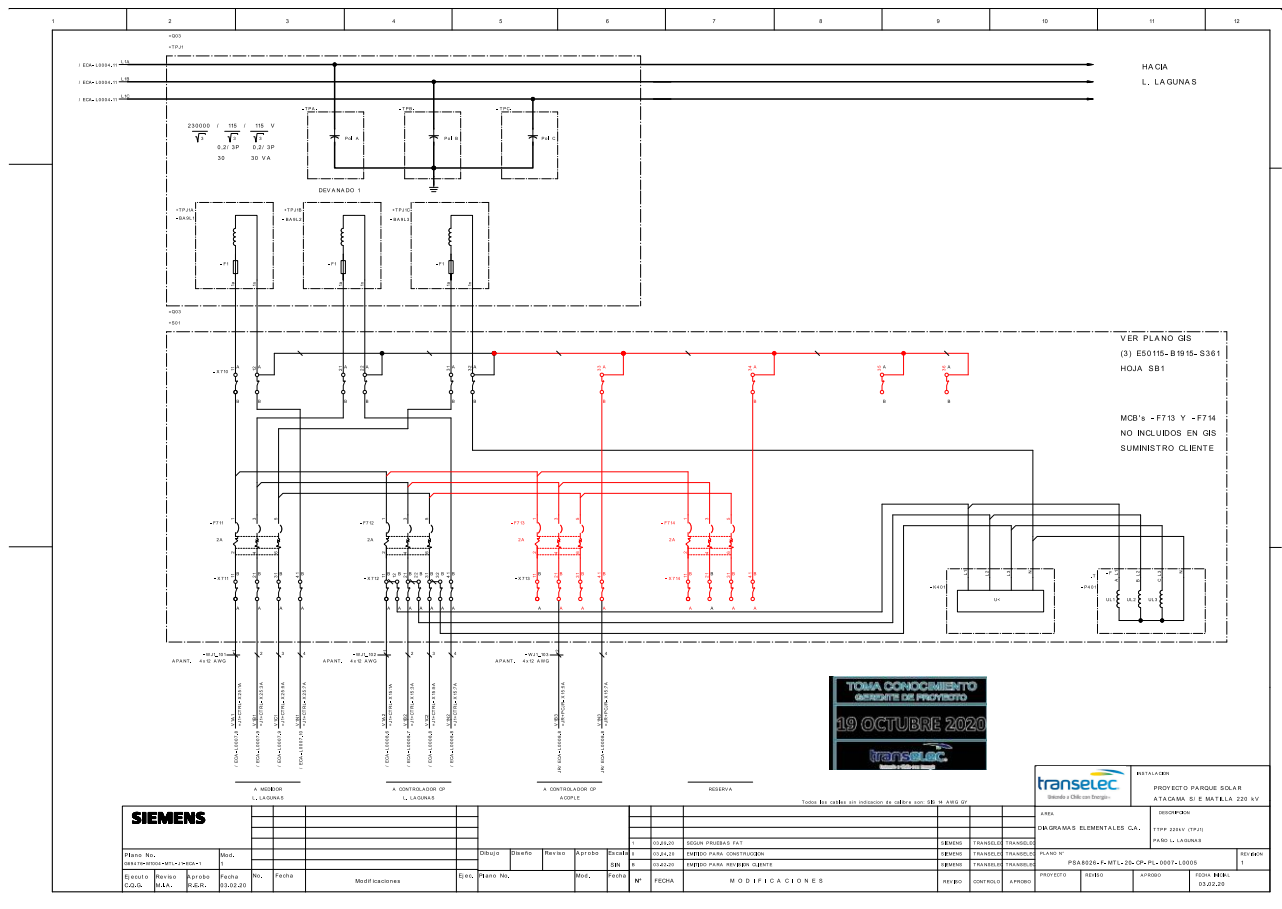


Figura 6.3: Circuito secundario de núcleo 1 del TPJ1 en subestación Matilla 220 kV

En base a lo presentado en la Figura 6.3 se muestran los bornes de conexión para la medición de tensión:

Bornera	Descripción
X15:1A	Fase A
X15:3A	Fase B
X15:5A	Fase C

Tabla 6.2: Bornes de conexión TPJ1



6.3 Medidas complementarias

A modo complementario, se presentan a continuación las condiciones de irradiancia en el Parque Fotovoltaico Atacama Solar II durante el desarrollo de los ensayos realizados el día 26 de febrero 2022.

Sábado 26/02/2022

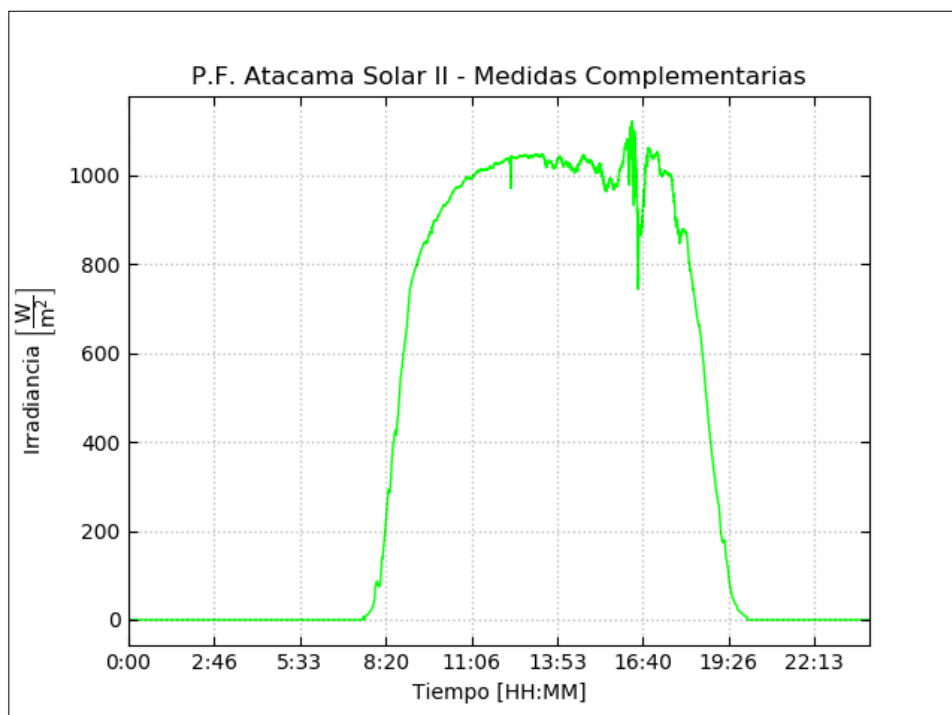


Figura 6.4: Irradiancia perpendicular promedio a los paneles durante los ensayos



6.4 Datos característicos del transformador de bloque

ELTAS

TRANSFORMATÖR SANAYİ ve TİCARET A.Ş.

ALOSBİ, ÇORAKLAR MAHALLESİ 5011 SOKAK NO:5 ALIĞA / İZMİR / TURKEY

Tel: (+90.232) 398 15 00 Telefax: 376 77 64 www.eltas.com.tr

HERMETICALLY SEALED TYPE - LIQUID IMMERSED TRANSFORMER

RATED POWER		3630 kVA		STANDARD		IEC 60076-1									
SERIAL NO.		YT-19-6415		YEAR		09/2019		VECTOR GROUP		Dy11					
1		34650 V	V	NO.OF PHASES		3	FREQUENCY		50 Hz						
2		33825 V	V	Po	3229 W		COOLING		ONAN						
3	X	33000 V	660 V	Pk	31221 W										
4		32175 V	V	TEMP.RISE LIQUID / WINDING		60/65 K									
5		31350 V	V	HV / LV WINDING MATERIAL		AL/AL									
		V	V	TYPE OF LIQUID		SHELL DIALA S4 ZX-I									
		V	V	STANDARD OF LIQUID											
CURRENT		63,5 A	3175,4 A	WEIGHT OF LIQUID		1560 kg									
SYSTEM S.C. POWER		1000 MVA	WEIGHT OF ACTIVE PART		3600 kg										
S.C. IMPEDANCE		7,27 %	TOTAL WEIGHT		6900 kg										
HV INSULATION LEVEL:Um		36	/ LI	170	/ AC	70	kV								
LV INSULATION LEVEL: Um		1,1	/ LI	---	/ AC	3	kV								

POWER DERATING

INS.RESIST.	HV/LV	HV/TANK	LV/TANK
60sn-20°C-MΩ	27600	29850	14160

Temp. (°C)	Power (kVA)
30	3993

ETKT.0901.0475



6.5 Datos característicos del transformador elevador

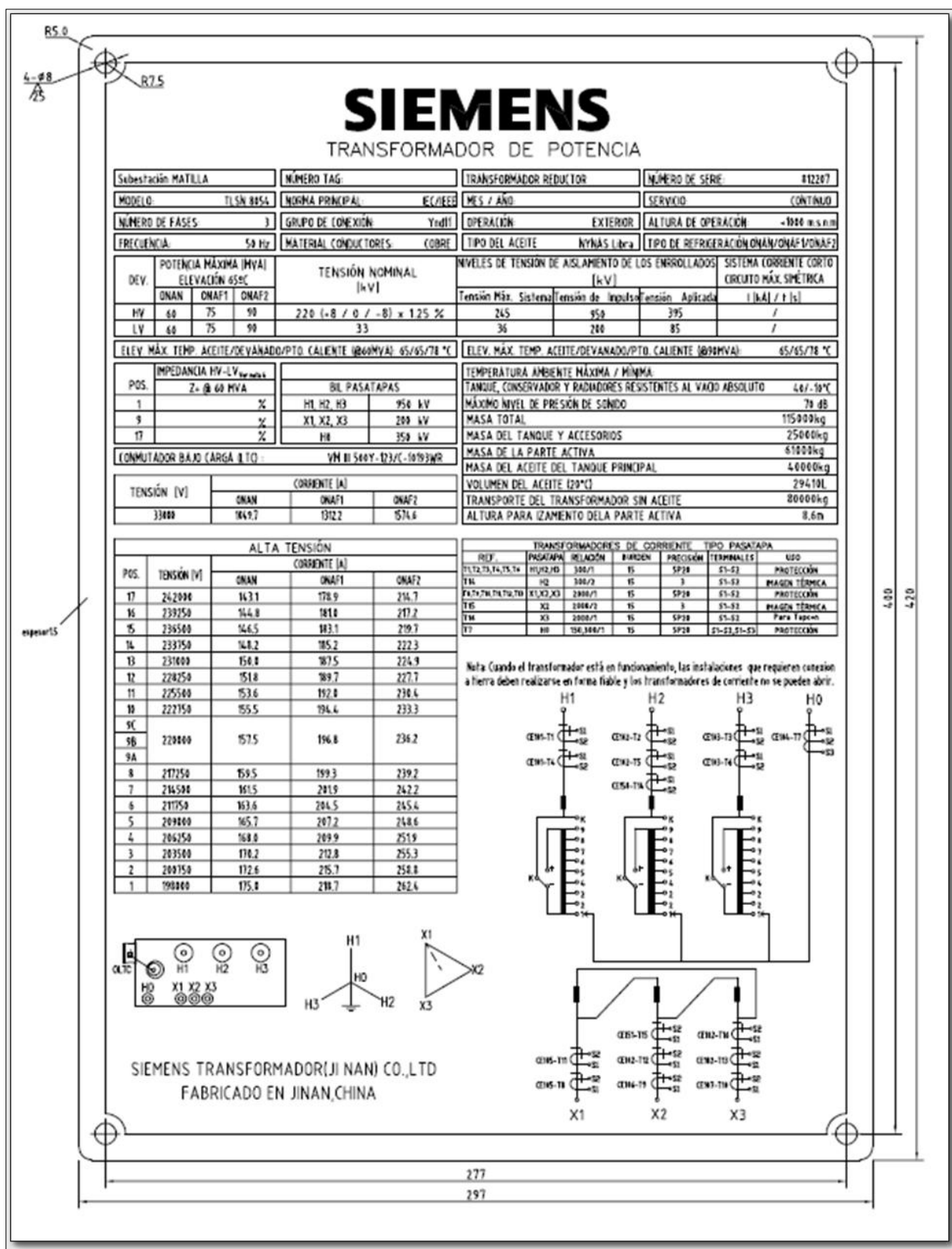


Figura 6.6: Placa del transformador elevador



6.6 Archivos adjuntos entregados

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

- **Registros de ensayos:** EE-EN-2022-0855-RA_PF_Atacama_Solar_II.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 deben considerar las siguientes tablas:

Ensayos PPC - Control Terciario de Frecuencia	
Nombre	Descripción
PPC_119	Subida de MT a Máximo - Tasa 15 MW/min
PPC_120	Bajada de Máximo a MT - Tasa 15 MW/min
PPC_121	Subida de MT a Máximo - Tasa 30 MW/min
PPC_122	Bajada de Máximo a MT - Tasa 30 MW/min

Tabla 6.3 – Descripción de archivos utilizados para las pruebas de control terciario de frecuencia

Mediciones Complementarias	
Nombre	Descripción
Irradiancia_25_02_2022	Irradiancia sobre paneles solares
Irradiancia_26_02_2022	Irradiancia sobre paneles solares
Irradiancia_27_02_2022	Irradiancia sobre paneles solares

Tabla 6.4 – Descripción de archivos utilizados para las mediciones complementarias



6.7 Acta de pruebas SSCC - PF Atacama Solar II

ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS**ACTA DE PRUEBAS**

Fecha	27/02/2022	Empresa	Nueva Atacama Solar S.A
ID Proyecto	EE-2021-151	Ubicación	Pica, Región de Tarapacá
Denominación Planta	Parque Fotovoltaico Atacama Solar II		
Servicios por verificar	Servicios Complementarios: - Control de tensión (CT) - Control rápido de frecuencia (CRF) - Control primario de frecuencia (CPF) - Control terciario de frecuencia en giro (CTFg)		

Datos de la instalación

Potencia aparente nominal [MVA]	174.24	Tipo de central	Solar fotovoltaica
Tensión en POI nominal [kV]	220	Cantidad de unidades	48 inversores
Potencia activa máxima [MW]	150	Transformador elevador	Trafo 1: 33/220 kV Trafo 2: 33/220 kV
Potencia activa mínima [MW]	4.8	-	-

Responsables durante las pruebas

Coordinado	Tomás Ávila	Representante Nueva Atacama Solar S.A en las pruebas
Equipo Experto Técnico	Andrés Capalbo	Líder
	Gonzalo Espinoza	Ingeniero de ensayos

Datos de las pruebas

Estado previo de la planta	Detenida
Inicio del período de pruebas	25/02/2022
Fin del período de pruebas	27/02/2022
Protocolo aplicable	EE-EN-2022-0002-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PF_Atacama_Solar_II
Posición de TAP trafo elevador	Cambiador bajo carga y automático

Firmas Aclaración/Empresa	 Representante del Coordinado	 Andrés Capalbo Representante del Experto Técnico
-------------------------------------	--	--

Figura 6.7: Acta de Pruebas SSCC Atacama Solar II (1 de 4)

**ESTUDIOS ELECTRICOS**
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS**Resumen de pruebas****SC Control de Tensión:**

Se realiza pruebas dinámicas a nivel parque (PPC):

- Pruebas respuesta al escalón modo control Q en 3 estados de carga.
- Pruebas respuesta al escalón modo control Q(V) en 3 estados de carga.
- Pruebas respuesta al escalón modo control $\cos(\varphi)$ en 3 estados de carga.

Se realiza pruebas estáticas a nivel parque (PPC):

- Puntos Curva PQ operables en 4 estados de carga sobrecitado y subexcitado.

SC Control de Frecuencia:

Se realizan pruebas de Control rápido de frecuencia:

- Pruebas de umbral de activación y desactivación en 1 estado de carga intermedio.
- Escalones de respuesta al escalón en 4 estados de carga.

Se realizan pruebas de Control primario de frecuencia:

- Escalones de respuesta al escalón 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:

- Toma de carga con tasa de toma de carga igual a 15 MW/min.
- Toma de carga con tasa de toma de carga igual a 30 MW/min.
- Bajada de carga con tasa de bajada de carga igual a -15 MW/min
- Bajada de carga con tasa de bajada de carga igual a -30 MW/min.

Firmas Aclaración/Empresa	 Representante del Coordinado	 Andrés Capalbo Representante del Experto Técnico
-------------------------------------	---	--

Figura 6.8: Acta de Pruebas SSCC Atacama Solar II (2 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

Observaciones/Desvíos del protocolo

SC Control de Tensión:

Curva PQ:

Debido a factores externos que afectaron el tiempo de conexión y la coordinación con el despacho respecto del soporte de reactivos necesario para realizar la determinación de la curva PQ según procedimiento "EE-EN-2022-0002-RA_Procedimiento_Ensayos_SSCC_PF_Atacama_Solar_II", y con el objetivo de culminar las pruebas en el tiempo asignado, Nueva Atacama Solar S.A decide modificar el procedimiento de forma de verificar la curva PQ del parque en sus condiciones normales de operación, esto es, sin establecer 5 niveles de tensión objetivo en subestación Matilla 220 kV (POI) ni solicitar ajustes a la tensión de la barra de subestación Lagunas 220 kV.

Durante el desarrollo de las pruebas, se comprueba que el parque fotovoltaico Atacama Solar II posee un límite de inyección y absorción de reactivos fijo seteado en el PPC. Dicho límite está consignado en $\pm 43\%$ de la potencia máxima del parque (150 MW), lo que equivale a un valor máximo de inyección/absorción de ± 64.5 MVar. Para la absorción de reactivos, dicho valor ha sido corroborado mediante pruebas en sitio alcanzando el límite. Por otra parte, el valor de inyección no ha sido verificado ya que el centro de despacho no accedió a mover la tensión en barra por condiciones operativas desfavorables del Sistema a la hora de realizar las pruebas.

Subexcitación							
Estado de carga (MW)	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVar)	Tensión en POI (kV)	Tap trafo 1	Tap trafo 2	Tensión inductor testigo	Temperatura inductor testigo
P1=4.8	4.8	-64.5	219.9	5	7	655 V	46.0 °C
P2=53.2	53.2	-64.5	219.2	6	6	645 V	46.7 °C
P4=101.6	101.6	-64.5	222.0	7	7	645 V	46.6 °C
P5=150	133	-64.5	218.1	6	6	674 V	47.2 °C

Limitación: En todos los estados de carga existe un límite a nivel planta que no permite aumentar la absorción de reactivos por sobre los -64.5 MVar.

Sobreexcitación							
Estado de carga (MW)	Potencia activa (MW)	Potencia reactiva (MVar)	Tensión en POI (kV)	Tap trafo 1	Tap trafo 2	Tensión inductor testigo	Temperatura inductor testigo
P1=4.8	4.8	2.6	229.9	13	13	660 V	43.4 °C
P2=53.2	53.2	-0.4	232.6	14	14	652 V	53.5 °C
P4=101.6	101.6	4.5	233.9	14	14	670 V	47.7 °C
P5=150	137	3.6	231.2	14	14	663 V	47.2 °C

Limitación: En todos los estados de carga despacho no autoriza a seguir subiendo tensión, ya que la tensión en el POI es cercana o supera el Estado Normal del Sistema (1.05pu).

Firmas Aclaración/Empresa	 Representante del Coordinador	 Andrés Capalbo Representante del Experto Técnico
------------------------------	---	--

Figura 6.9: Acta de Pruebas SSCC Atacama Solar II (3 de 4)



ESTUDIOS ELECTRICOS
ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DE SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

SC Control primario de frecuencia:

Los escalones de ± 0.2 Hz no fueron realizados ya que se comprobó la efectividad de la banda muerta (200mHz) por lo que en la práctica no se observa efecto alguno en la potencia activa.

SC Control rápido de frecuencia:

- Sin desvíos

SC Control terciario de frecuencia en giro:

- Sin desvíos

Firmas Aclaración/Empresa		 Andrés Capalbo Representante del Experto Técnico
	Representante del Coordinado	

Figura 6.10: Acta de Pruebas SSCC Atacama Solar II (4 de 4)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.