



Protocolo de Ensayos de Verificación de SSCC Control Terciario de Frecuencia

PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DOÑA ANTONIA	
Ubicación	Coquimbo, Chile
Fecha	
Cliente	Doña Antonia Solar SPA
Proyecto	
Observaciones	

Las partes certifican con su firma que los ensayos fueron realizados conforme a lo especificado en el presente documento:



Por GME

Doña Antonia Solar SPA

.....
Firma y Aclaración

.....
Firma y Aclaración

.....
Firma y Aclaración

.....
Firma y Aclaración

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CEN:	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE:	Comisión Nacional de Energía
ERNC:	Energía Renovables No Convencional
SSCC:	Servicios complementarios
NTSSCC:	Norma Técnica de Servicios Complementarios
NTSyCS:	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
NT:	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas
SSMM:	Medianos
PE:	Parque Eólico
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
RBC:	Regulador Bajo Carga
PMU:	Power Management Unit
POI:	Point of interconnection
Pg:	Potencia generada
Pn:	Potencia nominal
CT:	Control de tensión
CTF:	Control terciario de frecuencia

REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de documentos.

N°	Fecha dd/mm/año	Preparó	Revisó	Aprobó	Observaciones
1	17/10/2024	PB	FG	FM	Emisión inicial

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la central

El PSFV Doña Antonia se encuentra emplazado en la región de Coquimbo en la zona norte de Chile. Está formado por 20 Inversores marca Power Electronics, modelo HEMK GEN 3 660 V – FS4200K de una capacidad nominal de 4,2 MVA cada uno, siendo la potencia instalada de 84 MVA (20 x 4,2 MVA). La Potencia Neta comprometida en el punto de conexión es de 75 MW. En el Gráfico 4 se muestra la curva de capacidad PQ de los Inversores.

En el Gráfico 1 se muestra la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 2 el esquema unilineal de la SE Doña Antonia y en el Gráfico 3 muestra un esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.

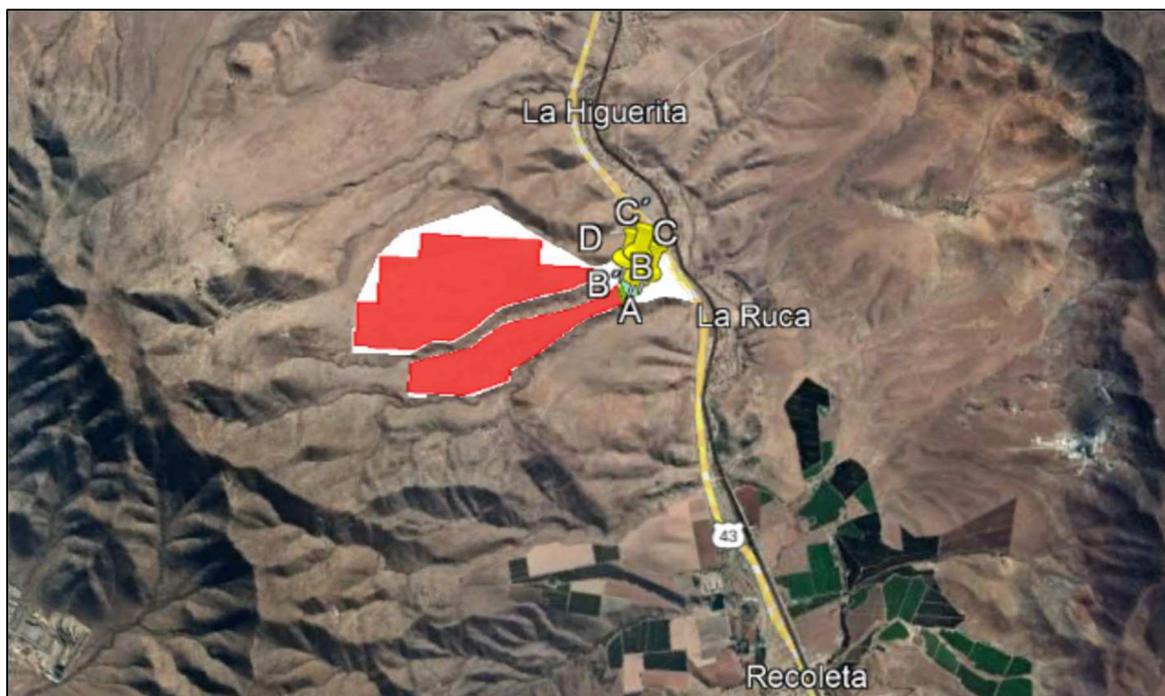


Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Doña Antonia.

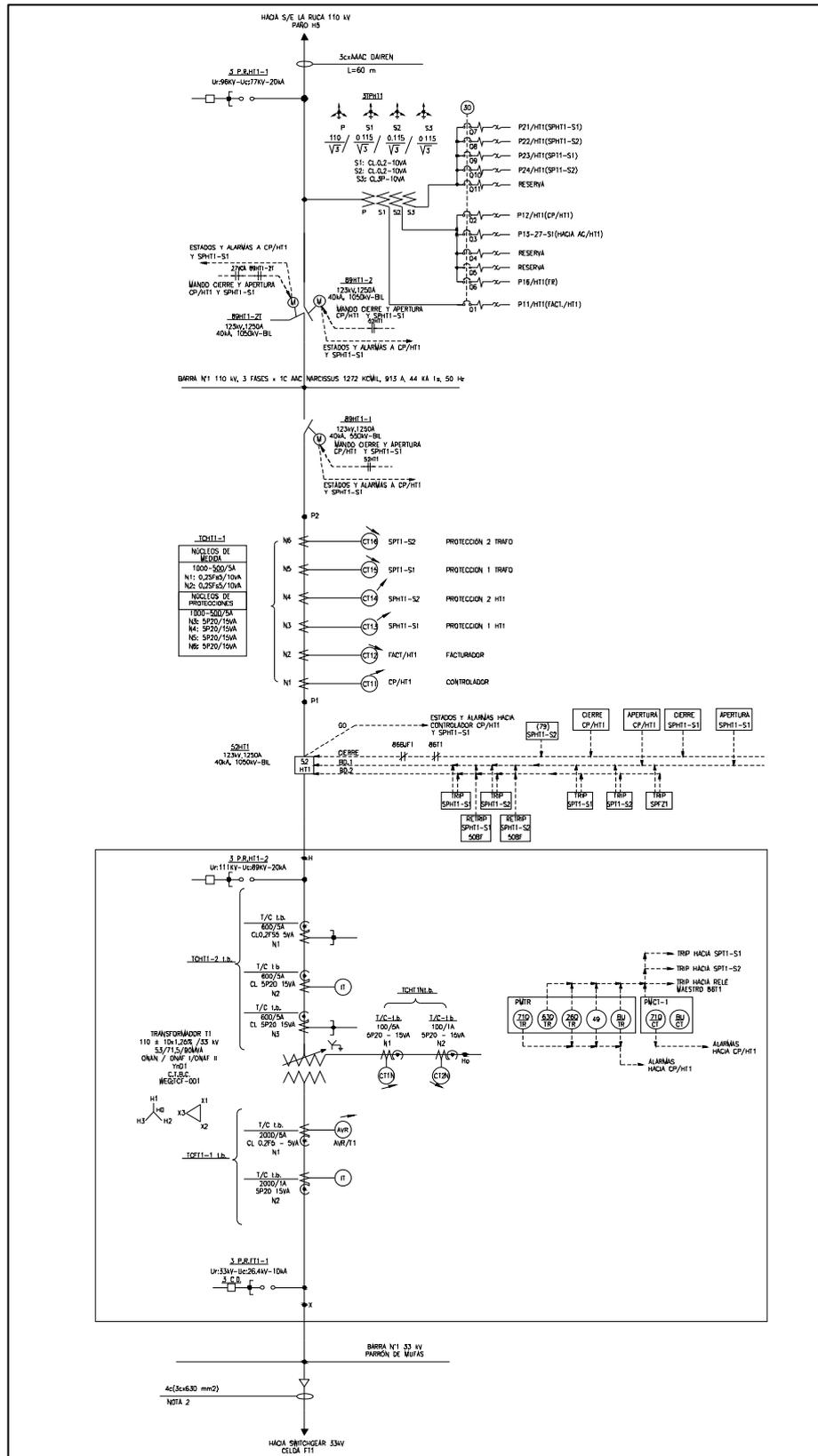


Gráfico 2. Esquema unilineal de la SE Doña Antonia.

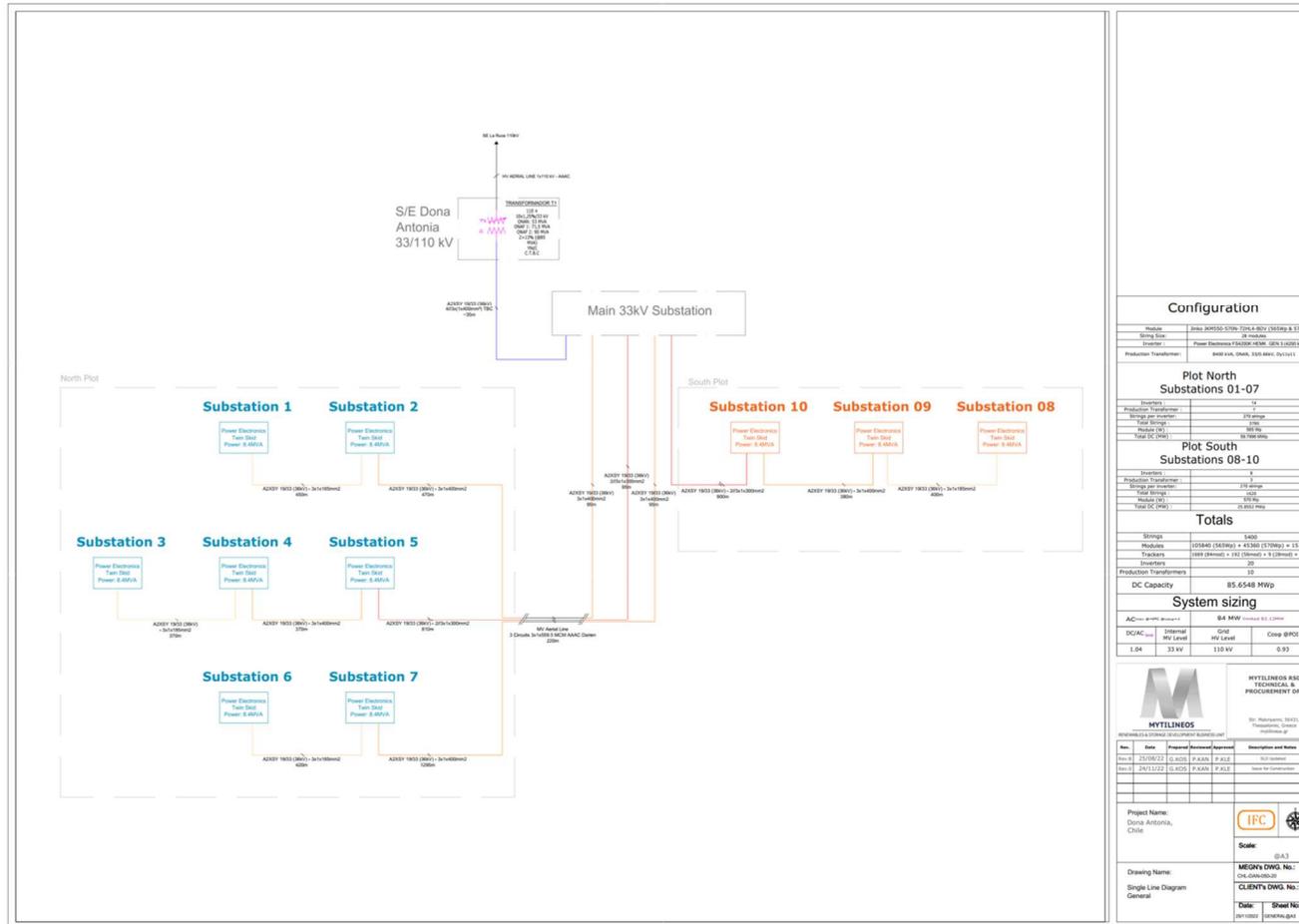


Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector.

1.2. 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.*

1.3. Preparativos previos a los ensayos

Previo a los ensayos se deberán realizar las siguientes actividades:

- Reunión inicial de presentación entre el coordinado y el experto técnico con el objetivo de establecer las pautas generales del ensayo y conocer el estado general de la planta.
- Pedido de información al coordinado por parte del experto técnico a fin de elaborar el protocolo de ensayos correspondiente.
- Reuniones de coordinación entre el coordinado y el experto técnico para definir un cronograma de fechas tentativas de ensayos.
- Envío de la versión inicial del protocolo por parte del experto técnico al coordinado para remitir al CEN.
- En función del protocolo de ensayo presentado, junto con las aclaraciones

pertinentes de cada prueba, el coordinado deberá realizar todos los ajustes necesarios (controlador de la planta, protecciones, etc.) para cumplir con lo exigido en la normativa técnica y deberá justificar en caso de limitaciones en la planta. En el caso particular de los ensayos de CTF en giro se deberán poder ajustar las pendientes descritas en la sección 1.5, y lograr que la planta responda de forma correcta y continua sin provocar la actuación de protecciones de los inversores, en todo el tiempo que dura el ensayo correspondiente.

- Recepción de los comentarios respecto al protocolo de ensayos por parte del CEN y elaboración de una nueva versión del documento.
- Envío de la versión final del protocolo de ensayos por parte del experto técnico al coordinado para remitir nuevamente al CEN.
- En función de aceptación del protocolo, se deberá ajustar el cronograma de ensayos considerando la disponibilidad del recurso primario, el correcto estado de la planta, considerando además preaviso de 15 días hábiles al coordinador.

1.4. Personal necesario durante los ensayos

Durante el ensayo se deberá contar con la participación de al menos las siguientes figuras:

- Experto técnico: Es quien conectará el equipo registrador y dirigirá las distintas pruebas a ejecutarse.
- Jefe planta: Es quien se encargará de realizar la coordinación con el centro de despacho de carga del coordinador (CDC) para cada prueba a ejecutar, de forma tal de tener una realimentación constante respecto a las restricciones que pudiesen presentarse en la red al momento del ensayo.
- Personal de operaciones y mantenimiento: Serán los encargados de dar respuesta ante fallas en el equipamiento de la central y brindar asistencia general durante el ensayo.
- Encargado de la subestación: Su función será la de dar soporte en cuanto a conexionado del equipo al punto de medición y todo lo referido a la subestación (maniobras en transformador de potencia, verificación de puntos de medición, entre otras).
- Especialista del sistema de control: Se deberá contar con un especialista del sistema de control de la planta del lado del fabricante de los inversores, quien realizará los cambios pertinentes en el sistema de control en cada prueba a partir de las indicaciones del experto técnico.

1.5. Consideraciones de seguridad en la realización de las pruebas

Los ensayos se realizarán en coordinación con el operador de planta y el operador de la red, verificando constantemente que las variables registradas (tensión, potencia y frecuencia) estén dentro de los rangos de operación aceptables y que las referencias introducidas en el control de planta no provoquen una operación incorrecta de la planta y del sistema. Para esto se verificará, además, si existieran al momento de realizar las pruebas restricciones operativas en la red, que puedan condicionar las máximas excursiones de las variables ensayadas.

1.6. Información técnica

En la siguiente tabla se presentan las características generales más relevantes del servicio complementario que se pretende verificar.

Tabla 1. Datos técnicos de la planta.

	Valor	Unidad
Empresa coordinada	Doña Antonia Solar SPA	-
SC a evaluar	Control Terciario de Frecuencia	-
Tipo de tecnología	Solar fotovoltaica	-
Fabricante de la unidad	PowerElectronics Freesun HEMK GEN3	-
Potencia nominal de la unidad	4,2	MW
Cantidad de unidades	20	-
Tensión de la red colectora	33	kV
Punto de conexión	SE Doña Antonia 110 kV	-
Potencia máxima bruta	80.3	MW
Potencia máxima neta	79.4	MW
Mínimo técnico bruto (planta)	-	MW
Mínimo técnico neto (planta)	2.42	MW

2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

2.1. Ensayos del sistema de control de velocidad / potencia

El CTF se define en función de las tasas de subida y bajada de carga de las unidades, considerando los tiempos definidos en el informe de Servicios Complementarios vigente.

2.2. Reserva en giro y medición de la capacidad de subida y bajada de carga – consideraciones generales

Para todas las tecnologías debe determinarse los rangos de tasa de toma de carga disponible dadas por el fabricante y las determinadas en forma empírica dadas las condiciones actuales de las instalaciones.

- Se debe medir la tasa de subida y bajada de carga de la unidad en todo el rango de operación, desde mínimo técnico hasta potencia máxima, en cada una de las tasas disponibles de ajuste de la unidad que le permitan operar de modos seguro y confiable.
- Dado el punto previo, se debe determinar en qué rangos se puede ajustar dicha tasa de subida/bajada de carga y si esta tiene algún tipo de limitación según el nivel de potencia en que se encuentre.

2.3. Ensayo de determinación del gradiente de incremento/reducción de carga

Desde el SCADA se cambiará la consigna de potencia activa en el sistema de control para evaluar tanto la rampa de bajada como la rampa de subida de potencia del parque, partiendo desde la potencia máxima disponible (>80 % Pn) hasta el mínimo técnico (Tabla 1). Se probarán las tasas correspondientes a 10 %/min, 20 %/min y 70 %/min, tanto para

reducción de generación como para toma de carga. Estas tasas son configurables desde el SCADA de la planta y pueden ser modificadas durante la operación normal. Se registrarán las variables de potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y tensión (V) en el punto de conexión de la planta. A partir de la potencia activa registrada, se determinará el gradiente (%/minuto) de toma y reducción de carga. De ser posible, se respaldará esta medición con registros tomados desde el SCADA del parque.

Una vez finalizada la prueba se configurará nuevamente la rampa de operación normal del parque (que respetará la limitación de la tasa de toma de carga máxima de 20%/min, establecida por la NTSyCS, en su artículo 3-17). En la sección 1.7 se muestra un cronograma de actividades previsto, con las duraciones estimadas.

3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta el cronograma de actividades. La fecha exacta de realización de los ensayos aún está pendiente de confirmación por parte del coordinado. Es posible que estos ensayos se realicen en más de un día, teniendo en cuenta factores variantes como disposición de recurso primario, estado de la red en el punto de conexión.

Tabla 2. Cronograma de actividades previsto

Ensayo	CRONOGRAMA	
	Tiempo Estimado [min]	
Conexión y ajuste del equipamiento en la SE.	30	30
Medición del Gradiente 10 % / min	30	30
Medición del Gradiente 20 % / min		30
Medición del Gradiente 70 % / min		30
Restablecimiento a gradiente 20 % / min		30
Desconexión del equipamiento		30

REGISTRO DE LAS PRUEBAS

1. EQUIPO DE REGISTRO PROPIO

Para la ejecución de los ensayos en campo se utilizará instrumentación ELSPEC basado en tecnología digital, consistente en un registrador continuo de forma de onda a 256 muestras por ciclo "3 phase PureBB", clase A, con 4 canales de entradas analógicas de 100-690 VAC y 4 de canales de 0-10 V para medición de corriente mediante pinza amperométrica toroidal. El software realiza filtrado y acondicionamiento de señales independiente por canal, sistema de visualización de curvas, y software propio de procesamiento y registro de señales, análisis fasorial y armónico:

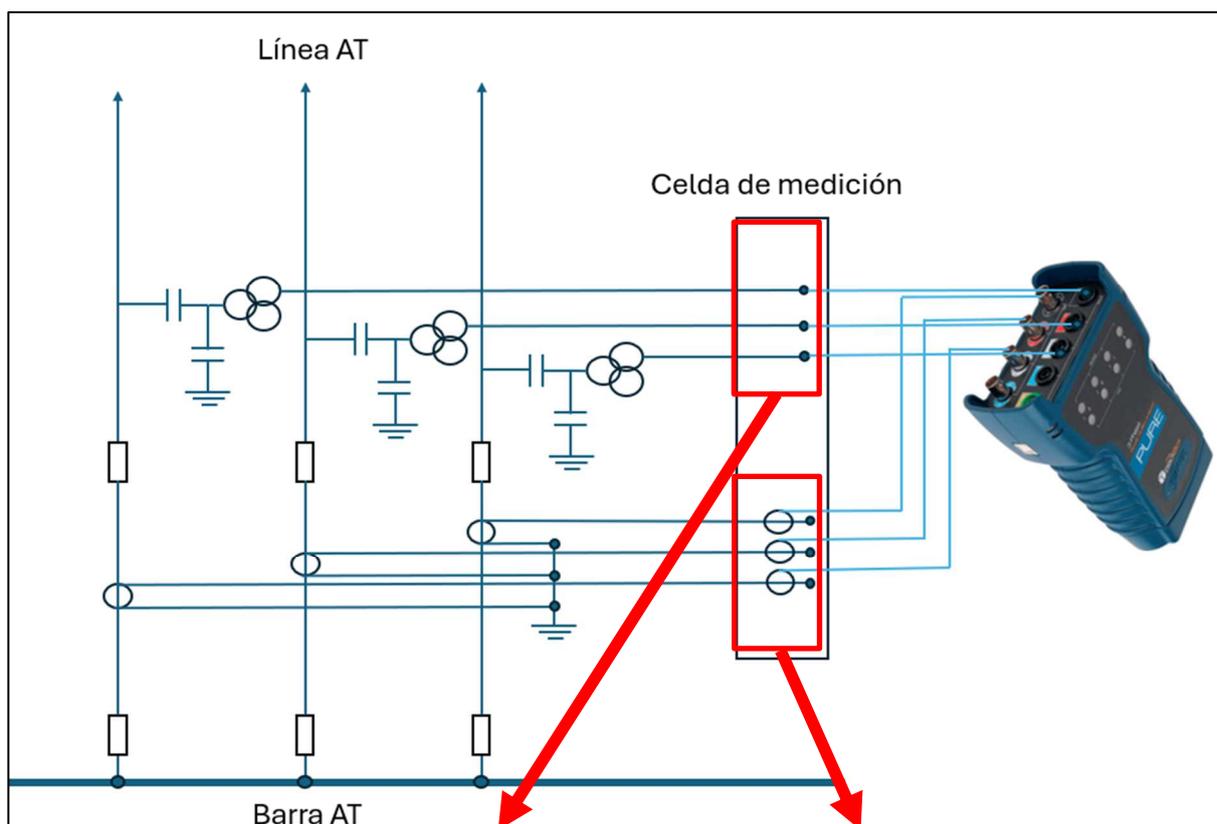
Equipo de medición	
Marca	ELSPEC
Modelo	Pure Black Box
Nº de Serie	1707723
Descripción	Equipo de medición de calidad de energía
Accesorios	
Marca	ELSPEC
Modelo	SOA-0270-1400
Descripción	6 A AC (1 A Nominal) Up to 60 A AC (10 A Nominal) settable software range Output 100 mV/A

El equipo registrador cuenta con verificación y calibración anual.

Las señales registradas se procesan en tiempo real para obtener las variables eléctricas de interés (tensión, corriente, potencias activa y reactiva, frecuencia, ángulos de desfase, etc.), así como también la evolución temporal (trending) de las mismas. El procesamiento de los datos registrados será realizado utilizando el software PQS Sapphire.

2. CONEXIÓN DEL EQUIPAMIENTO

La medición de tensión se realiza en el secundario de los transformadores de Tensión (TV) mediante conexión directa a borneras. La medición de corriente se realiza mediante pinzas amperométricas, las cuales no interrumpen el circuito de corriente de los secundarios de los transformadores de intensidad (TI). La potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y frecuencia son sintetizadas por software a partir de las mediciones de tensión y corriente. Tanto el TV como el TI corresponden a los equipos que miden en bornes del parque en el Paño de 220 kV del transformador de potencia.



En cuanto al software, el PureBB posee módulos de lecturas mediante teléfonos móviles en los cuales se pueden observar, mediante conexión inalámbrica del equipo con su aplicación cargada en un smartphone, todas las variables a medir y la descomposición armónica e inter-armónica de las señales.

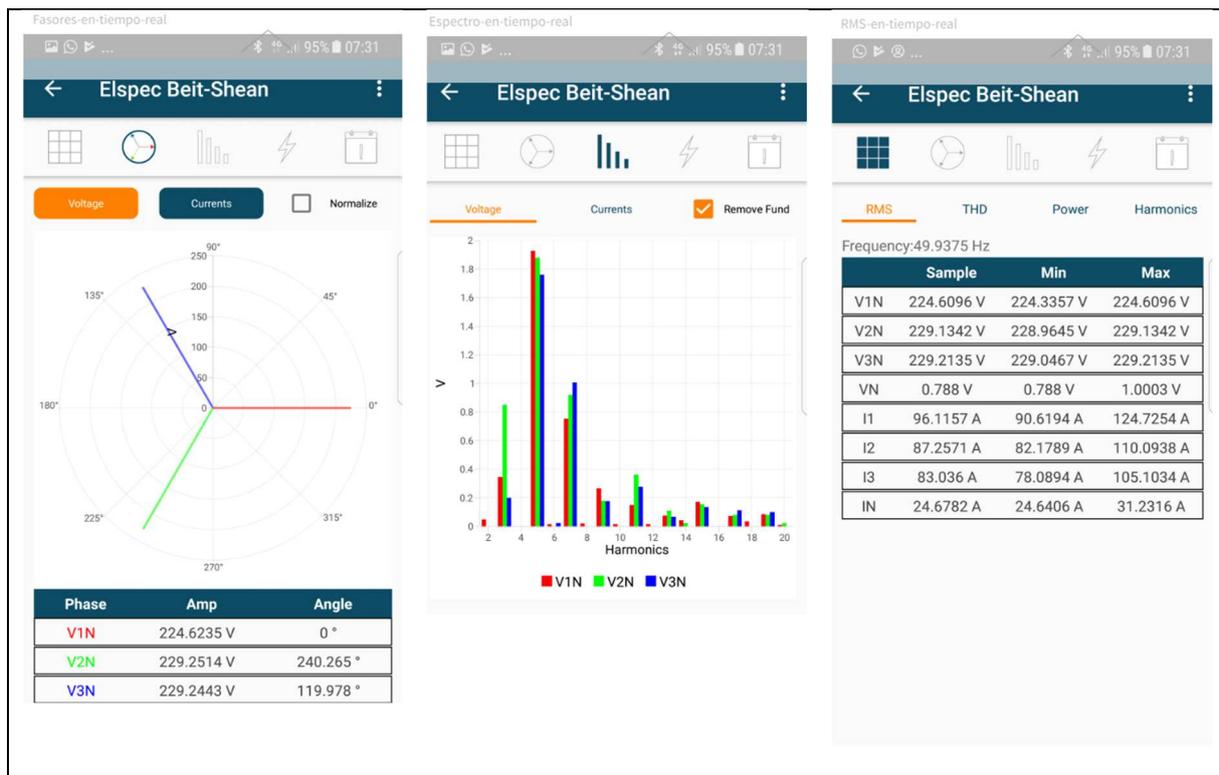


Gráfico 4. Visualización de variables en tiempo real.

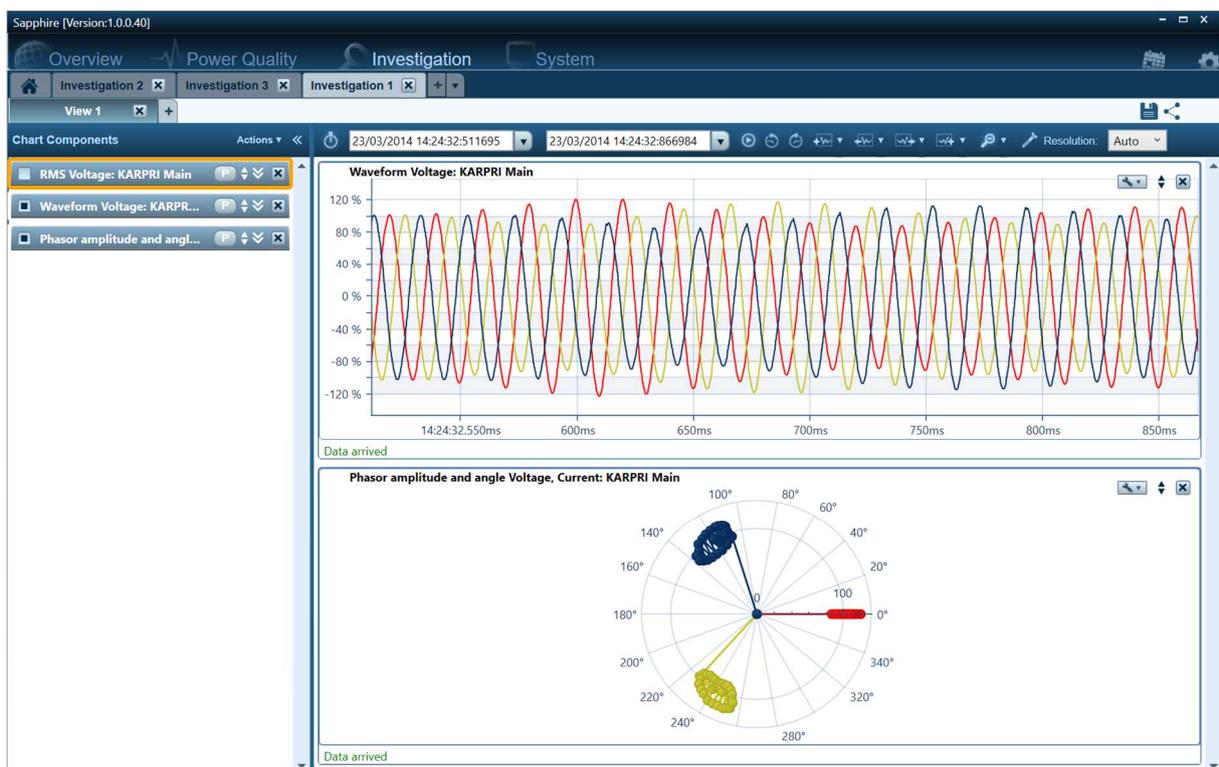


Gráfico 5. PQS Sapphire analizador de registros.

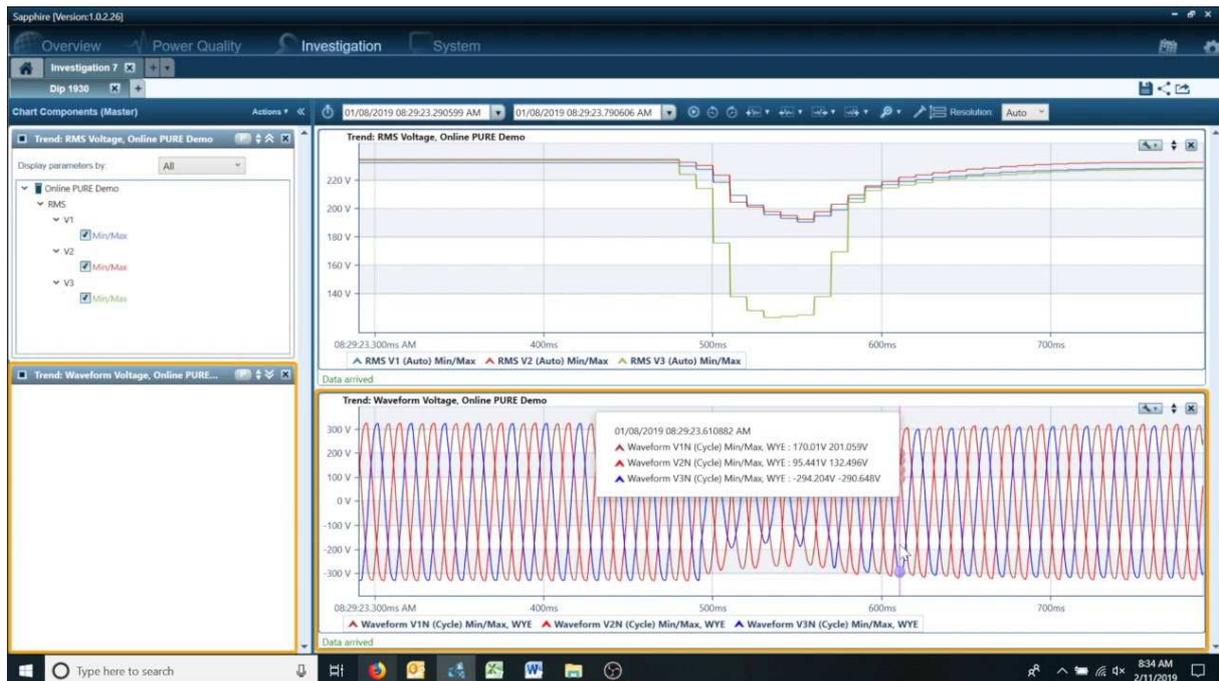


Gráfico 6. PQS Saphire analizador de registros.

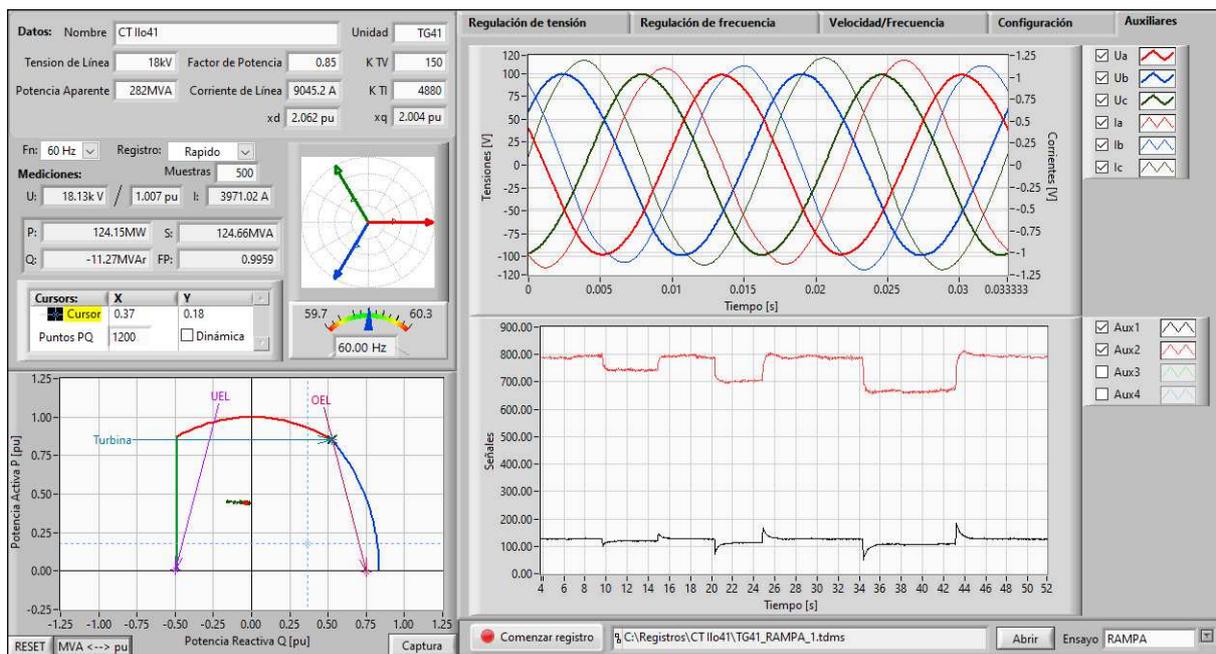


Gráfico 7. Conexión del equipo registrador y pantalla de visualización de variables a registrar.

En el caso de que la central disponga de un sistema SCADA o DCS capaz de registrar en forma precisa y a una velocidad de muestreo adecuada, y de exportar a texto plano o planillas numéricas todas las variables necesarias para la realización de los ensayos, se utilizará como respaldo este medio para el registro de los ensayos.

En el ANEXO se muestra el correspondiente certificado de calibración del equipo.

3. LISTADO DE VARIABLES A REGISTRAR

Se listan a continuación las variables a monitorear y registrar, junto con su frecuencia mínima de muestreo para cada ensayo en particular.

Variables	Símbolo	Frecuencia de muestreo requerida según N° ensayo		
		A	B	C
		$f_m \geq 100$	$f_m \geq 10 \text{ Hz}$	$f_m \geq 1 \text{ Hz}$
Tensión en POI	Upoi			X
Potencia activa POI	Ppoi			X
Potencia reactiva POI	Qpoi			X
Recurso disponible ⁽²⁾	Pdis			X

⁽²⁾ Variable que se extrae del sistema SCADA de la planta.

POI = Punto de interconexión declarado del parque.

En los ensayos que se corresponden con la prestación de servicio complementario de Control Terciario de Frecuencia se registran las variables eléctricas en el POI, debido a que se busca conocer la respuesta del parque a las rampas configurables en el control de planta.

N°	Nombre	Frecuencia de Muestreo
2.3	Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga	C

CHECKLIST DE PRUEBAS REALIZADAS

Nº	Nombre	REALIZACION	OBSERVACIONES
2.3.1	Determinación del gradiente de incremento de carga de 10 %/min		
2.3.2	Determinación del gradiente de reducción de carga de 10 %/min		
2.3.3	Determinación del gradiente de incremento de carga de 20 %/min		
2.3.4	Determinación del gradiente de reducción de carga de 20 %/min		
2.3.5	Determinación del gradiente de incremento de carga de 70 %/min		
2.3.6	Determinación del gradiente de reducción de carga de 70 %/min		

ACTA DE PRUEBAS

DATOS DE LA PLANTA ERNC A ENSAYAR Y TRANSFORMADOR			
Unidad generadora			
Marca:			
Modelo:	Potencia Nominal:	MVA	
Nº:	Tensión Nominal:	kV	
Potencia Nominal:	Potencia contrato/declarada:	MW	
Transformador Unidad			
Marca:	Grupo de conexión:		
Potencia: MVA	Tensión de cortocircuito:		
Relación de transformación:	Conmutador:		
Transformador Principal			
Marca:	Grupo de conexión:		
Potencia: MVA	Tensión de cortocircuito:		
Relación de transformación:	Conmutador:		
Protecciones			
Sobretensión:		Subtensión:	
Sobrecorriente:		V/Hz:	
Sobrefrecuencia:		Subfrecuencia:	
Observaciones:			

2.3 – ENSAYOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD / POTENCIA			
2.3.1 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			
2.3.2 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			
2.3.3 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			
2.3.4 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			

2.3.5 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			
2.3.6 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/mi	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			

ANEXO

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

1.1. Transformador de unidades

KISA DEVRE GERİLİM VE YÜK KAYIPLARIN ÖLÇÜLMESİ Measurement of Load Loss and Short Circuit Impedance			
Test Standardı / Test Standard IEC 60076-1:2011 Madde / Clause 11.4			
Test Cihazı/Test Device:YOKOGAWA,WT330,Seri No/Serial Nr:C3RG22031E			
Kademe Pozisyonu / Tap Position 3		Kademe Pozisyonu / Tap Position 3	
@ 4200kVA 2U-2V-2W YÜKLENMİŞTİR.		@ 4200kVA 3U-3V-3W YÜKLENMİŞTİR.	
<i>@ 4200kVA 2U-2V-2W was short circuited.</i>		<i>@ 4200kVA 3U-3V-3W was short circuited.</i>	
	AKIM(A) Current	GERİLİM(V) Voltage	GUÇ(W) Power
U	73.261	1388.60	9010
V	74.230	1382.20	9680
W	73.587	1385.10	10770
ORT (Avg)	73.693	1385.40	Σ : 29460
Akım Düzeltme (Current Corr.)	0.99712694	Güç Düzeltme (Power Corr.)	0.99426214
In : 73.481 A	Un : 2399.58 V	Pk : 29291 W	
*Garanti Edilen/Guaranteed Values	Pk (75°C)=	---	
Pk (75 °C)	=	29178 W	
*Garanti Edilen/Guaranteed Values	%Uk (75 °C)=	7.78 ± % 10	
% Uk (75 °C)	=	7.28	
Kademe Pozisyonu / Tap Position 3		Kademe Pozisyonu / Tap Position 3	
@ 8400kVA (2U-2V-2W)+(3U-3V-3W) YÜKLENMİŞTİR.		@ 8400kVA (2U-2V-2W)+(3U-3V-3W) YÜKLENMİŞTİR.	
<i>@ 8400kVA (2U-2V-2W)+(3U-3V-3W) was short circuited.</i>		<i>@ 8400kVA (2U-2V-2W)+(3U-3V-3W) was short circuited.</i>	
	AKIM(A) Current	GERİLİM(V) Voltage	GUÇ(W) Power
U	146.500	1619.90	16920.0
V	147.480	1615.40	16660.0
W	147.250	1617.00	18450.0
ORT (Avg)	147.077	1617.43	Σ : 52030.0
Akım Düzeltme (Current Corr.)	0.99921959	Güç Düzeltme (Power Corr.)	0.99843979
In : 146.962 A	Un : 2801.48 V	Pk : 51949 W	
*Garanti Edilen/Guaranteed Values	Pk (75°C)=	54000 W + % 15	
Pk (75 °C)	=	55512 W	
*Garanti Edilen/Guaranteed Values	%Uk (75°C)=	8.5 ± % 10	
% Uk (75 °C)	=	8.50	

Parámetros	Valor
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	7,48%
Impedancia sec (+): MV-LV base 8,4 MVA	8,50%
Impedancia sec (+): LV-HV base 4,2 MVA	7,28%
Impedancia sec (0): HV-MV base 4,2 MVA	6,36%
Impedancia sec (0): MV-LV base 8,4 MVA	7,23%
Impedancia sec (0): LV-HV base 4,2 MVA	6,19%

1.2. Transformador principal

Power (kVA): 90000.0					Reference Temperature (°C): 75.0	
Winding	Voltage (V)	Phase Current (A)	Condition	Ohmic Losses (W)	Impedance (%)	
High	110000.0	472.377	Application	High: 158847.14	Inductive: 12.98	
Low	33000.0	909.091	Short Circuit	Low: 131697.55	Resistive: 0.37	
	Tp Factor	Tc Factor	Pe Factor	Sum :	290544.69	
	136.0	60.0	8160.0	Additional Losses (W): 40054.73		
Ambient Temperature (°C): 20.5					Summary	
Phases	Voltage (V)	Line Current (A)	Losses (W)	Excitation Current [I0] (%):	0.058	
Phase 1	4175.2	239.100	18523.20	No Load Losses [P0] (W):	38934.58	
Phase 2	4148.0	236.880	26601.60	Load Losses [Pe] (W):	330599.42	
Phase 3	4161.6	239.220	28233.60	Total Losses [Pt] (W):	369534.00	
Average	7208.0	238.380	73358.40	Impedance [Ez] (%):	12.99	

		Test Report		Serial Number	
				WEG:1067864996	
				TAG:	
WEG Equipamentos Elétricos S/A. - Transmissão e Distribuição			Quality Control - Power		
Rua Dr. Pedro Zimmermann, 6751 - 89068-005, Blumenau - Santa Catarina - Brasil					
13. Zero Sequence Impedance					
Winding	Voltage (V)	Condition	Reference Values	Measured Values	
High	123750.0	Application	Power (kVA): 90000.0	Current (A): 1.010	
Low	33000.0	Short Circuit	Impedance (Ω): 170.1563	Voltage (V): 7.15	
				Impedance (Ω): 21.2363	
				Impedance (%): 12.48	
High	110000.0	Application	Power (kVA): 90000.0	Current (A): 1.005	
Low	33000.0	Short Circuit	Impedance (Ω): 134.4444	Voltage (V): 5.37	
				Impedance (Ω): 16.0415	
				Impedance (%): 11.93	
High	96250.0	Application	Power (kVA): 90000.0	Current (A): 1.002	
Low	33000.0	Short Circuit	Impedance (Ω): 102.9340	Voltage (V): 4.05	
				Impedance (Ω): 12.1456	
				Impedance (%): 11.80	

Tabla 3. Especificación del transformador de potencia 110/33 kV de la SE Doña Antonia.

Parámetros	Valor
N° de devanados	2
Frecuencia	50 [Hz]
Voltaje primario nominal	110 [kV]
Voltaje secundario nominal	33 [kV]
Grupo vectorial	YNd1
Potencia ONAN/ONAF1/ONAF2	53/71,5/90 MVA
Impedancia sec (+)	12,99 % (Base 90 MVA)
Impedancia sec (0)	11,93 % (Base 90 MVA)

1.3. Cables de media tensión

Tabla 4. Especificaciones de los tramos de cables del sistema colector.

	Denominación	Terminal i	Terminal j	L [km]	R1 [ohm]	X1 [ohm]	B1 [μS]	R0 [ohm]	X0 [ohm]	B0 [μS]
CC1	3x185mm2 - 421m(1)	MV Terminal 1	MV Terminal 2	0.45	0.0764	0.0549	28.0692	0.3518	0.1307	28.0692
	3x400mm2 - 411m - 1	MV Terminal 2	Terminal(9)	0.47	0.0521	0.0534	34.5414	0.2861	0.0945	34.5414
	T587-T587A-T587B a ML	Terminal(9)	Terminal(11)	0.22	0.0262	0.0897	0.6214	0.0574	0.2948	0.3355
	3x300mm2 - 411m - 1(1)	Terminal(11)	barra 33 kV	0.095	0.0105	0.0108	6.9818	0.0578	0.0191	6.9818
CC2	3x185mm2 - 421m(2)	MV Terminal 1(3)	MV Terminal 1(4)	0.37	0.0628	0.0451	23.0792	0.2893	0.1074	23.0792
	3x400mm2 - 411m - 1(1)	MV Terminal 1(4)	MV Terminal 1(5)	0.37	0.041	0.042	27.1922	0.2252	0.0744	27.1922
	3x300mm2 - 411m - 1(2)	Terminal(14)	MV Terminal 1(5)	0.81	0.0686	0.0855	66.0977	0.4491	0.146	66.0977
	T587-T587A-T587B a ML(1)	Terminal(14)	Terminal(12)	0.22	0.0262	0.0897	0.6214	0.0574	0.2948	0.3355
	3x300mm2 - 411m - 1(3)	Terminal(12)	barra 33 kV	0.411	0.0174	0.0217	67.0769	0.0909	0.0448	67.0769
CC3	3x185mm2 - 421m(3)	MV Terminal 1(6)	MV Terminal 1(7)	0.42	0.0713	0.0512	26.198	0.3284	0.122	26.198
	3x400mm2 - 411m - 1(2)	MV Terminal 1(7)	Terminal(16)	1.295	0.1436	0.1471	95.1726	0.7882	0.2605	95.1726
	T587-T587A-T587B a ML(2)	Terminal(16)	Terminal(15)	0.22	0.0262	0.0897	0.6214	0.0574	0.2948	0.3355
	3x300mm2 - 411m - 1(4)	Terminal(15)	barra 33 kV	0.095	0.0105	0.0108	6.9818	0.0578	0.0191	6.9818
CC4	3x185mm2 - 421m(4)	MV Terminal 1(8)	MV Terminal 1(9)	0.4	0.0679	0.0488	24.9504	0.3127	0.1161	24.9504
	3x300mm2 - 411m - 1(5)	MV Terminal 1(8)	MV Terminal 1(10)	0.38	0.0421	0.0432	27.9271	0.2313	0.0764	27.9271
	3x300mm2 - 411m - 1(6)	MV Terminal 1(10)	barra 33 kV	0.9	0.0381	0.0475	146.8838	0.199	0.0981	146.8838

Tabla 5. Parámetros eléctricos de los cables del sistema colector.

Conductor	Sección nominal [mm ²]	Tipo de Línea Transmisión	Tensión [kV]	Resistividad Terreno [Ωm]
Cable 185mm2	185	Subterráneo	33	66,5
Cable 300mm2	300	Subterráneo	33	66,5
AAAC Darien	284	Aéreo	33	66,5
Cable 400mm2	400	Subterráneo	33	66,5

Tabla 6. Colector equivalente del PSFV Doña Antonia.

r1 [Ω/km]	x1 [Ω/km]	B1 [μS/km]	r0 [Ω/km]	x0 [Ω/km]	B0 [μS/km]
0.030399	0.043464	583.0163	0.154946	0.102639	583.0163

1.4. Reactor zig-zag para neutro artificial

REACTOR DE PUESTA A TIERRA			
N° DE SERIE	2130	TENSION PRIMARIA	33000 V
		CORRIENTE FASE PERMANENTE	13,5 A
AÑO DE FABRICACION	2023	CORRIENTE FALLA NEUTRO	500 A
KVA ONAN	800	CORRIENTE FALLA FASES	166,7 A
ELEV. DE TEMP.	65 °C	TIEMPO DE FALLA	10"
ALTITUD (M.S.N.M.)	1000	CONEXION	Zig-Zag
FASES	3	IMPEDANCIA SECUENCIA 0 A 75 °C	(*)
FRECUENCIA	50 HZ	(BASE 800 kVA)	
BIL	170 KVp	IMPEDANCIA SECUENCIA 0 (OHM/FASE)	104,8

Tabla 7. Características técnicas principales del reactor de neutro.

Parámetros	Valor
Tensión nominal	33, [kV]
Impedancia de secuencia cero	104,8 [ohms]
Corriente nominal (3xI0)	0,5 [kA]
Resistencia de puesta a tierra	38,1 [Ω]

1.5. Línea de interconexión

La planta solar se vincula a la SE La Ruka 110 kV mediante una línea simple circuito. A continuación, se detallan características de este enlace y su modelado.

Parámetro	Unidad	Valor
Circuitos	-	1
Tensión	[kV]	110
Frecuencia	[Hz]	50
Longitud	[Km]	0,0618
Corriente Nominal	[kA]	0,666
Resistencia de sec (+) a 20°C (50 Hz)	[Ω/km]	0,119043
Reactancia de sec (+) X (50 Hz)	[Ω/km]	0,368103
Susceptancia de sec (+) B (50 Hz)	[μS/km]	3,161929
Resistencia de sec (0) a 20°C (50 Hz)	[Ω/km]	0,375373
Reactancia de sec (0) X (50 Hz)	[Ω/km]	1,309292
Susceptancia de sec (0) B (50 Hz)	[μS/km]	1,567272

VERIFICACIÓN DE AJUSTES

1.1. Lógicas de inyección de corriente y LVRT

En los siguientes gráficos se presentan la curva FRT del inversor Power Electronics HEMK GEN 3 (en bornes del inversor) y la comparación entre esta y el requisito fijado en la NT (en el punto de conexión a la red).

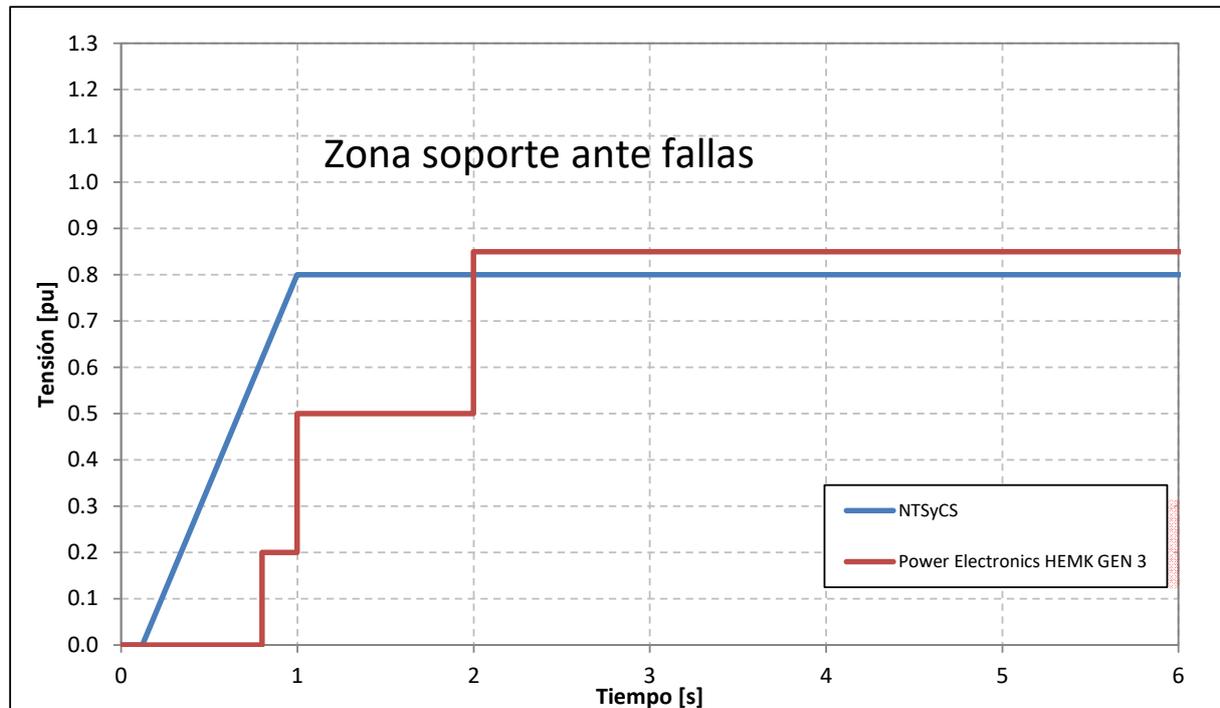


Gráfico 8. Curva límite tensión-tiempo Power Electronics HEMK GEN 3.

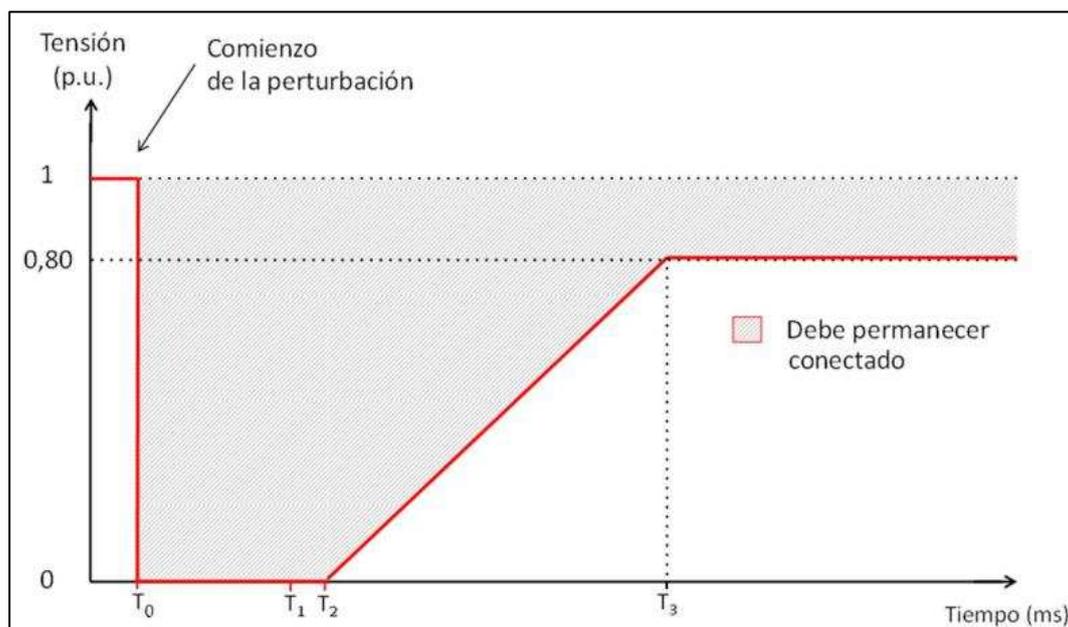


Gráfico 9. Curvas límite tensión-tiempo norma NT en punto de conexión.

Siendo:

T0 = 0 [ms], tiempo de inicio de la falla.

T1 = tiempo máximo de despeje de falla establecido en el Artículo 5-45, según el nivel de tensión del Punto de Conexión.

T2 = T1+20 [ms].

T3 = 1000 [ms].

Durante los huecos de tensión, el control cambia del modo normal (control de potencia activa y reactiva) al modo de control de corriente de rotor. Esto habilita al inversor a realizar soporte de tensión inyectando corriente reactiva a la red. La corriente reactiva en bornes del generador se encuentra configurada de acuerdo al Gráfico 10.

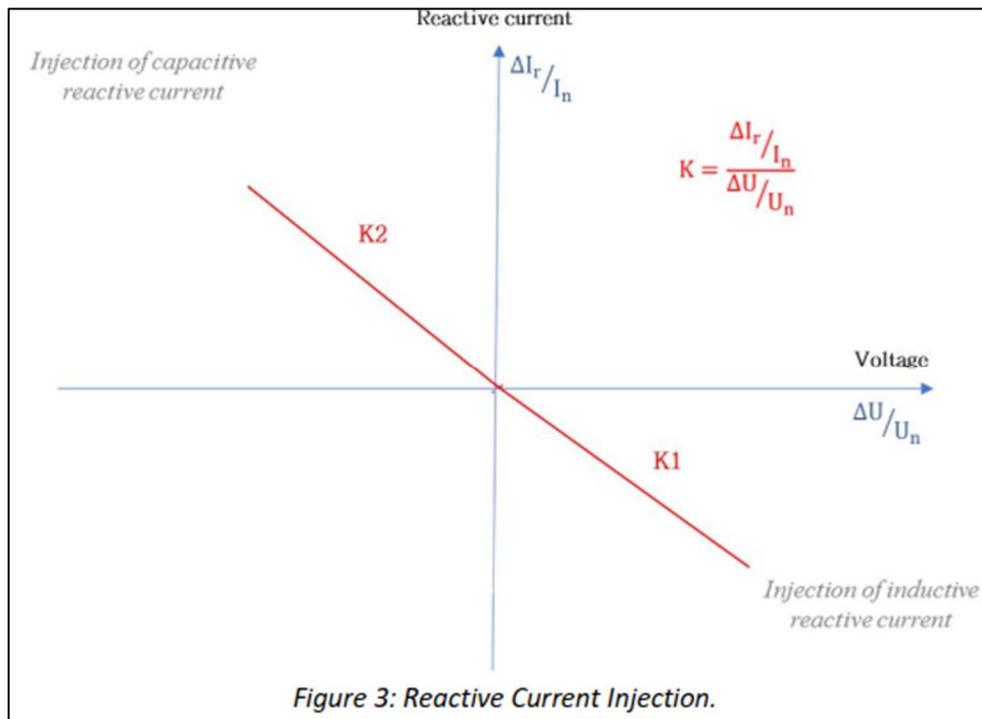


Gráfico 10. Inyección de corriente reactiva ante huecos de tensión. Power Electronics HEMK GEN 3.

Low Voltage Ride Through Parameters*			
G4.3.1.1	LVRT Model Enable*	Mode 1	-
G4.3.1.2	LVRT Threshold*	90,0	%
G4.3.1.4	LVRT Configuration Mode*	Is prev + kdVdir	-
G4.3.2.2	Vset	100,0	%
G4.3.2.7	K DIR	2	
G4.3.2.9	K INV	0	
G4.3.3.3	Hysteresis %*	5	%
G4.3.3.7	ID Recover Ramp	3000,0	%/s

High Voltage Ride Through Parameters*			
G4.4.1.1	OVRT Model Enable*	Mode 1	-
G4.4.1.2	OVRT Threshold*	110,0	%
G4.4.1.4	OVRT Configuration Mode*	Is prev + kdVdir	-
G4.4.2.2	Vset	89,9	%
G4.4.2.7	K Factor*	2	-
G4.4.3.2	Hysteresis %*	5	%
G4.4.3.7	ID Recover Ramp	Disabled	%

1.2. Ajuste de protecciones

1.2.1 Protección de tensión

En las siguientes gráficos y tablas se muestra el ajuste de protecciones de tensión de los inversores, según la información proporcionada por el fabricante:

Tabla 8. Ajuste de protección de tensión.

High Input Voltage			
G5.1.2.1	High V Enable	XXX00	
G5.1.2.2	Slow Protection	110,00	%
G5.1.2.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	1,00	sec
G5.1.2.4	Fast Protection	120,00	%
G5.1.2.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	0,20	sec
G5.1.2.6	Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.2.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	Disabled	sec
G5.1.2.8	Very Fast Protection	Disabled	%
G5.1.2.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec
G5.1.2.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.2.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec

Low Input Voltage			
G5.1.1.1	Low V Enable	XXX00	
G5.1.1.2	Slow Protection	85,00	%
G5.1.1.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	2,00	sec
G5.1.1.4	Fast Protection	50,00	%
G5.1.1.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	1,00	sec
G5.1.1.6	Fast 2 Protection	20,00	%
G5.1.1.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,80	sec
G5.1.1.8	Very Fast Protection	Disabled	%
G5.1.1.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec
G5.1.1.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	%
G5.1.1.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	sec

1.2.2 Protección de frecuencia

En las siguientes gráficos y tablas se muestra el ajuste de protecciones de tensión de los inversores, según la información proporcionada por el fabricante:

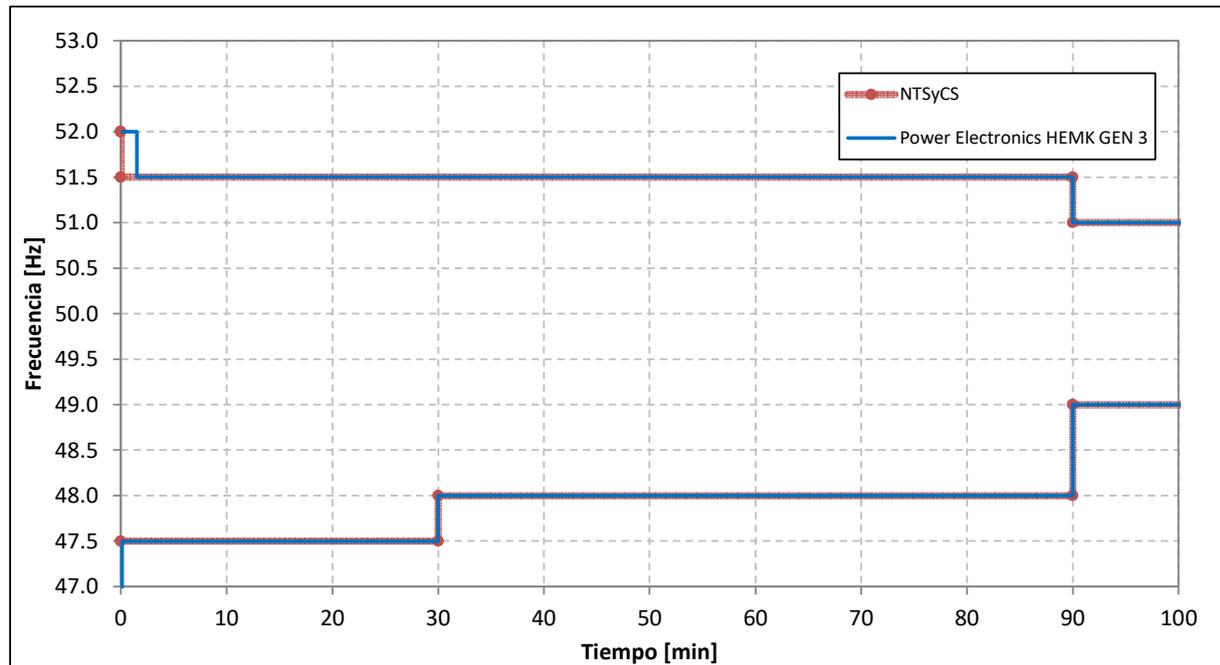


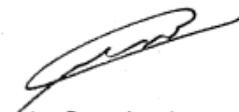
Gráfico 11. Ajuste de protección de frecuencia.

Tabla 9. Ajuste de protección de frecuencia.

Low Input Frequency			
G5.1.3.1	Low f Enable	XXX00	
G5.1.3.2	Slow Protection	49,00	Hz
G5.1.3.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	5400,00	Second
G5.1.3.4	Fast Protection	48,00	Hz
G5.1.3.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	1800,00	Second
G5.1.3.6	Fast 2 Protection	47,50	Hz
G5.1.3.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,10	Second
G5.1.3.8	Very Fast Protection	Disabled	Hz
G5.1.3.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second
G5.1.3.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	Hz
G5.1.3.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second

High Input Frequency			
G5.1.4.1	High f Enable	XXX00	
G5.1.4.2	Slow Protection	51,00	Hz
G5.1.4.3	Delay for Slow Protection (0.0 – 6550.0)	5400,00	Second
G5.1.4.4	Fast Protection	51,50	Hz
G5.1.4.5	Delay for Fast Protection (0.00-655.00)	90,00	Second
G5.1.4.6	Fast 2 Protection	52,00	Hz
G5.1.4.7	Delay for Fast 2 Protection (0.00-655.00)	0,10	Second
G5.1.4.8	Very Fast Protection	Disabled	Hz
G5.1.4.9	Delay for Very Fast Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second
G5.1.4.10	Second Very Fast 2 Protection	Disabled	Hz
G5.1.4.11	Delay Very Fast 2 Protection (0.000-65.500)	Disabled	Second

2. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO REGISTRADOR

	Elspec Calibration Lab Tel: +972-4-6061100 • Fax: +972-4-6061128 Tzvaïm Industrial Park, P.O.B. 900 www.elspec-ltd.com • info@elspec-ltd.com Beit She'an, Israel 1171602
Calibration Report	
General information	
Certificate No.	0060352AB805_20240218212626
Date of issue	19-Feb-2024
Calibration date	18-Feb-2024
Calibration due date	18-Feb-2027
Client	_____
UUT information	
Manufacture	Elspec
Product type	Pure
FW version	1.1.0.20
Serial number	00.60.35.2A.88.05
  Operator: Doron Arussi	
  Reviewer: Yevgeny Strezh	
1 of 14	Certificate No. 0060352AB805_20240218212626