



Protocolo de Ensayos de Verificación de SSCC Control Primario 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

U: tensión en bornes del generador

I_{FD}: corriente de excitación

E_{FD}: tensión de excitación

V_{REF}: tensión de referencia

V_t tensión terminal

VR: tensión salida del regulador

E_{FDmax}: tensión de excitación máxima

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

TV: transformador de tensión

TI: transformador de intensidad

OEL: Limitador de Sobreexcitación

UEL: Limitador de Subexcitación

RAT: Regulador Automático de Tensión

CT: Central Termoeléctrica

CA: Ciclo Abierto

CC: Ciclo Combinado

TG: Turbina de Gas

TV: Turbina de Vapor

CT: Central Termoeléctrica

CA: Ciclo Abierto

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.

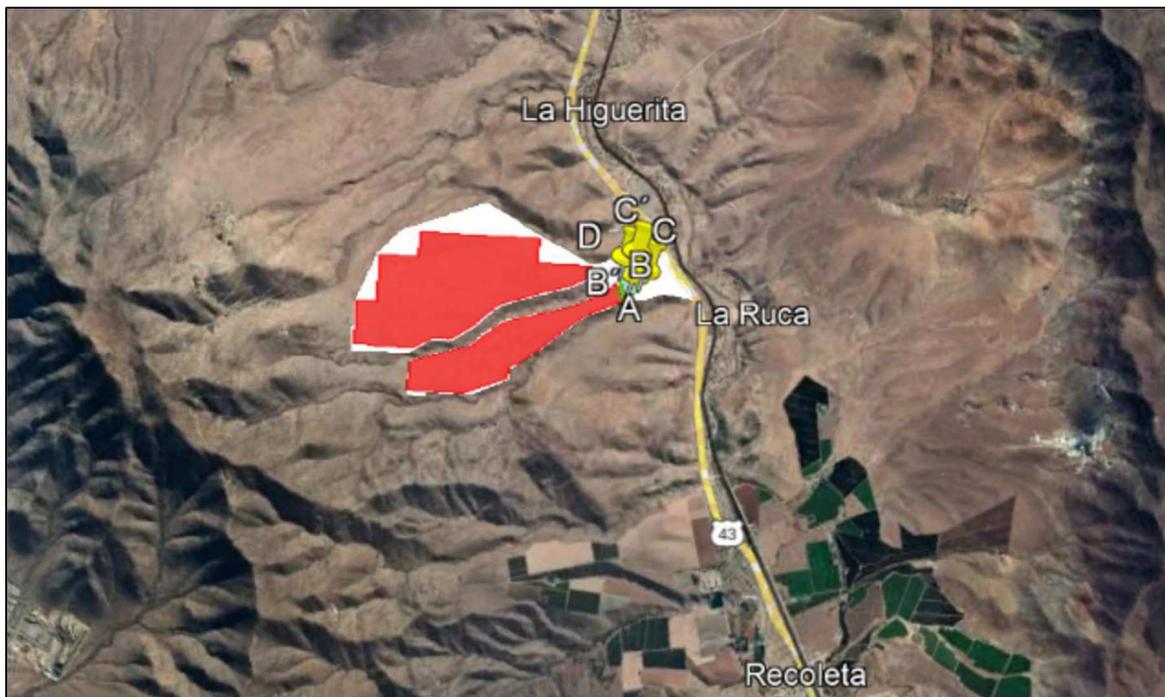


Gráfico 1. Ubicación geográfica del PSFV Doña Antonia.

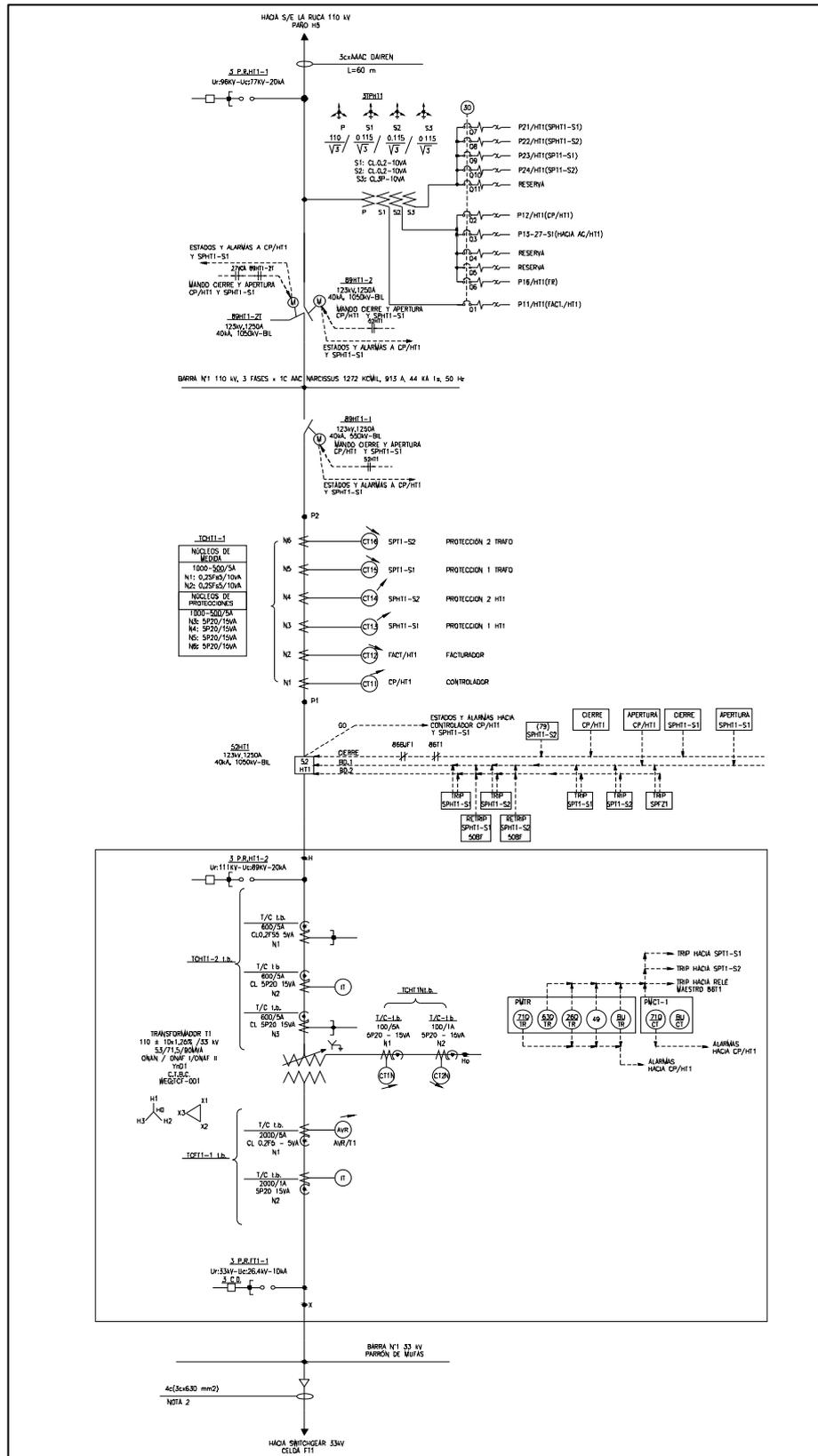


Gráfico 2. Esquema unilínea de la SE Doña Antonia.

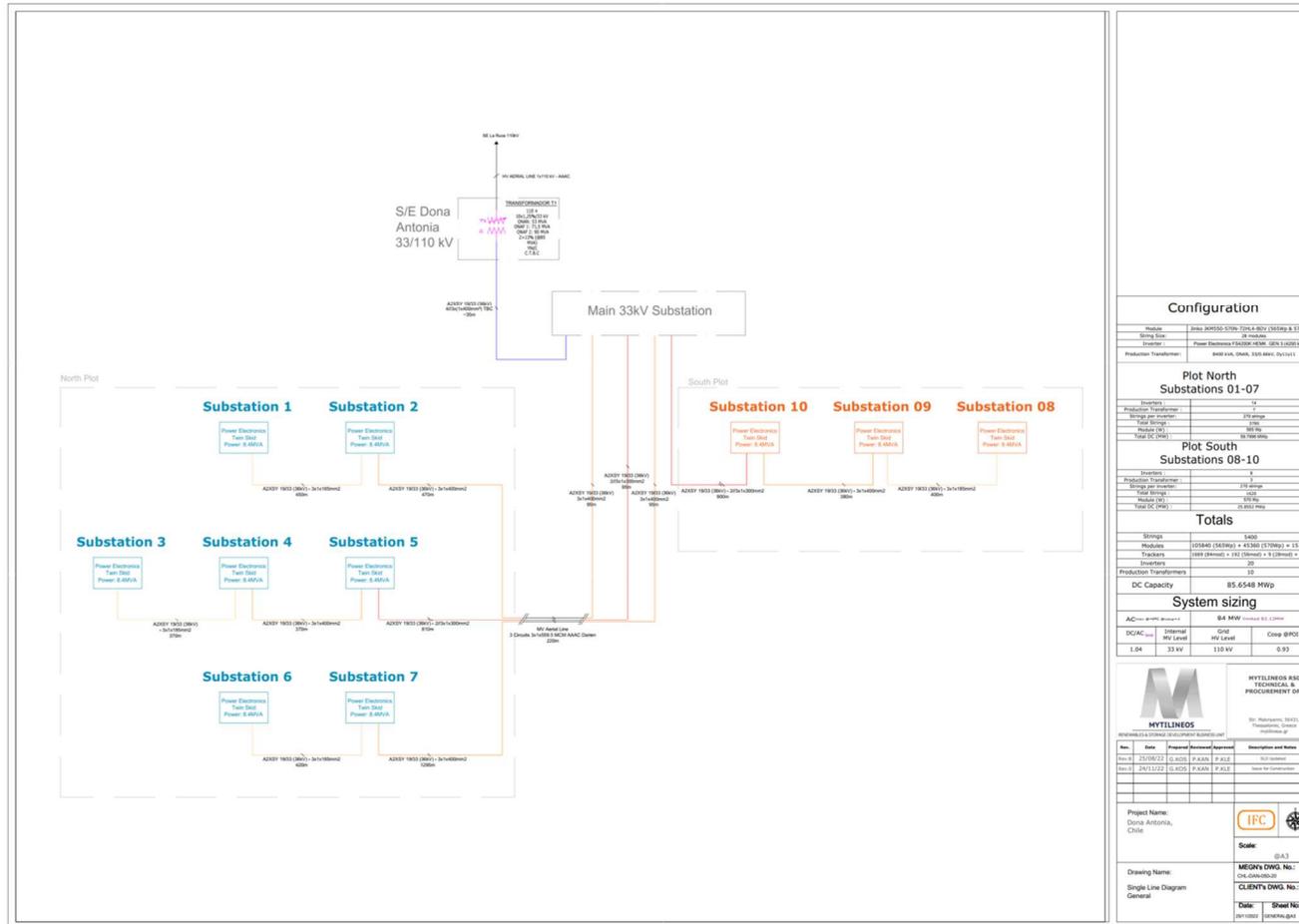


Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector.

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 Primario de Frecuencia (CPF).

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

Artículo 25 Ensayos para verificación de recursos técnicos asociados a instalaciones para la prestación del SC de CPF

Para la verificación de recursos técnicos asociados a instalaciones para participar en el SC de CPF, mediante mediciones en terreno, se deberá verificar el desempeño del controlador frente a pequeñas perturbaciones en la consigna de velocidad o frecuencia. Para la verificación de los recursos técnicos de cada instalación para participar en el CPF, se requiere como mínimo:

- a. Medir el estatismo permanente del lazo automático de control de carga/velocidad o frecuencia/potencia.*
- b. Medir la mínima y máxima "banda muerta" del controlador de carga/velocidad o frecuencia/potencia.*
- c. Medir el tiempo de establecimiento del lazo de control de frecuencia frente a un pequeño escalón en la consigna de frecuencia o potencia.*
- d. Evaluar el amortiguamiento del lazo de control de velocidad en todos los modos posibles de operación.*
- e. Verificar la capacidad de tomar o reducir carga, en forma automática ante distintas variaciones de frecuencia.*

Las instalaciones deberán ser a los menos capaces de:

- a) Operar establemente en forma permanente en el rango de frecuencia 49,0 a 51,0 [Hz], para tensiones comprendidas entre 0,95 y 1,05 por unidad de la tensión nominal, medido en los terminales de la unidad generadora en el caso de unidades sincrónicas o en su punto de conexión en el caso de parques eólicos o solares, en cualquier nivel de potencia.*
- b) No reducir en más de un 10% su potencia activa entregada en estado normal de operación al SI en su punto de conexión para frecuencias estabilizadas en el rango de 47,5 [Hz] - 49,5 [Hz].*
- c) Soportar cambios de frecuencia de hasta 2 [Hz/s] sin desconectarse del SI. Para ello, la tasa de cambio de la frecuencia deberá ser medida durante un período de 500 [ms], según lo señalado en el artículo 3-11 de la NTSyCS.*

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.
- 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).

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 muestran los datos técnicos más relevantes de la planta.

Tabla 1. Datos técnicos de la unidad

	Valor	Unidades
Empresa coordinada	Doña Antonia Solar SPA	-
SC a evaluar	Control Primario de Frecuencia	-
Tipo de tecnología	Solar fotovoltaica	-
Fabricante de la unidad	Power Electronics 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
Tiempo de partida	5.20	min
Tiempo de detención - apagado	5.21	min
Gradiente de toma de carga	15	MW/Min
Máxima Tasa de toma de carga posible	-	MW/min
Mínima Tasa de toma de carga posible	-	MW/Min
Estatismo permanente ajustado	8	%
Banda muerta ajustada	200	mHz

2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

2.1. Ensayos del sistema de control de velocidad / potencia

2.1.1 Determinación del estatismo

El parámetro a determinar debe ser representativo del comportamiento de la unidad dentro de la banda de regulación de la unidad. Según el requerimiento de la NTSyCS, se tiene:

- Estatismo para unidades hidráulicas: de 0% a 8%.
- Estatismo para otras unidades sincrónicas: de 4% a 8%

En el caso de los parques fotovoltaicos o eólicos, se inyectan valores de frecuencia ficticios en el control de planta y se registra la reducción de potencia para cada señal de sobrefrecuencia inyectada. Se debe partir de una señal de frecuencia de 50 Hz, en pasos de a lo más 200 mHz, hasta que se desconecten los inversores a causa de las protecciones de sobrefrecuencia.

Se registra la tensión en bornes del generador (U), la potencia activa (P), la potencia reactiva (Q) y la frecuencia (f). Durante la realización de este ensayo se obtienen los registros para la medición de la banda muerta del sistema de control de velocidad / potencia y el estatismo dinámico. Las mediciones se realizarán con el equipo registrador propio del experto técnico, o, en caso de que la planta cuente con un sistema SCADA que tenga una frecuencia de muestreo acorde al ensayo, pueden tomarse estas mediciones como respaldo.

a) *Cambio de ajustes del estatismo*

Se verificará y evaluará la forma de ajuste del estatismo de la unidad, (carga mínima, desconexión, o detención de la unidad) y la posibilidad de efectuar pruebas para verificar estatismo máximo, mínimo y el ajustado en la unidad. Indicando niveles de ajuste, y los tiempos involucrados en la operación para el cambio del ajuste.

b) *Determinación del estatismo permanente y global*

Se define el estatismo permanente (R o KDROOP) a la inversa de la ganancia de régimen permanente del lazo de control de frecuencia. Normalmente este parámetro puede ser modificado por el operador desde la consola o pantalla de mando.

Para verificar el estatismo global, se opera la unidad generadora a velocidad nominal y con carga nominal, para evaluación del lazo de control completo, incluyendo retardos de los sistemas de control (controladores y fuerza como servos).

2.1.2 Determinación de la banda muerta

La exigencia mínima para la prestación del servicio de CPF para parques eólicos y fotovoltaicos es de 200 mHz.

Para este fin se realizará el ensayo aplicando escalones de frecuencia de ± 200 y ± 300 mHz y registrará las variaciones en la generación de la unidad.

Por otro lado, se realizará la medición de la banda muerta, empleando el método XY mencionado en la *Guía de Verificación de Servicios Complementarios de Control de Frecuencia*.

Para esto se realizará un registro de larga duración (25-30 minutos) con la unidad operando en condiciones de carga nominal menos el bloque de reserva y ajuste de estatismo normal, esperando la actuación del regulador de velocidad/potencia ante las variaciones normales de frecuencia del sistema.

Además, se evaluarán los siguientes desempeños:

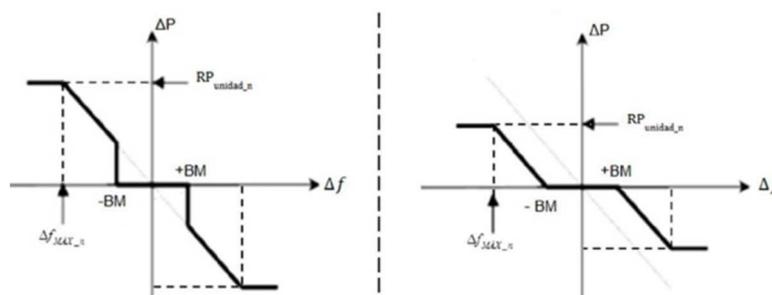
a) *Rango de ajuste de la banda muerta*

Se determinará el rango de ajuste, en caso de existir, de la banda muerta, configurable por el operador de la planta.

b) *Capacidad de variar el ajuste de la banda muerta con la unidad en servicio*

Se comprobará la posibilidad de modificar la banda muerta con la unidad en servicio.

Se evaluará la característica de control, identificando los rangos y zonas de control que pueden ser ajustados. En la siguiente figura, se pueden observar las dos características identificadas en la correspondiente guía antes mencionada:



2.1.3 Retardo inicial y tiempo de establecimiento

Para parques fotovoltaicos o eólicos, el objetivo es medir la respuesta del controlador frecuencia/potencia, considerando como entrada la frecuencia y como salida la potencia eléctrica entregada por cada nave de unidades generadoras y para el parque en su conjunto.

En este caso, se debe perturbar el control de frecuencia/potencia simulando un escalón en la frecuencia de la red, con el parque operando en carga interconectada al SI.

Se aplicarán escalones de ± 0.2 y ± 0.7 Hz y comprobar que provocan una variación final de potencia apreciable del orden del 5 al 10% de la capacidad del parque, y de un signo tal que la generación disminuya y aumente.

Se registrarán simultáneamente la perturbación, la potencia eléctrica y toda otra variable relevante asociada al comportamiento del control de frecuencia/potencia, tal como se señala en Anexo B.

Se realiza el ensayo con el parque en paralelo con la red, aplicando un escalón en la referencia de velocidad de ± 200 mHz y ± 700 mHz. Se considerarán las siguientes condiciones:

- Escalón de +200 mHz: La potencia de la unidad se encontrará al 15% por debajo de la potencia máxima técnica.
- Escalón de -200 mHz: La potencia de la unidad se encontrará al 15% por encima de la potencia mínima técnica.
- Escalón de +700 mHz: La potencia de la unidad se encontrará al 40% por debajo de la potencia máxima técnica.
- Escalón de -700 mHz: La potencia de la unidad se encontrará al 40% por encima de la potencia mínima técnica.

Se registra la potencia activa (P) y la frecuencia de entrada al sistema de control (F). Las mediciones se realizarán con el equipo registrador propio del experto técnico, o, en caso de que la planta cuente con un sistema SCADA que tenga una frecuencia de muestreo acorde al ensayo, pueden tomarse estas mediciones como respaldo.

La inyección de señales de escalón de frecuencia al sistema de control de carga/velocidad deben ser mantenidas hasta 10 segundos después que la potencia activa alcanza su valor de régimen permanente. Para cada uno de los escalones se debe registrar el aporte al segundo, a los diez (10) segundos, el tiempo de establecimiento y así cada diez (10) segundos continuamente hasta los cinco (5) minutos.

Se verificará que el tiempo de inicio de activación sea inferior a 2 segundos, el tiempo total de activación y el tiempo máximo de establecimiento, inferior a 120 segundos. Tal como se indica en *el artículo 3-17 de la NTSyCS*.

2.2. Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga

Estando el parque operando en paralelo con la red, se deberá verificar que cuenta con funciones de control que aseguren que la tasa de toma de carga no supere un valor ajustable entre 0 a 20% de la potencia nominal del parque por minuto, tanto durante su arranque como durante su operación normal. Se registra la potencia generada por el parque para determinar el gradiente MW/minutos de toma de carga del mismo. Además,

se tomarán variables propias del sistema SCADA de planta, tales como posiciones de válvulas.

2.3. Determinación de reserva primaria de control de frecuencia en operación normal

Se calculará la reserva primaria para el control de frecuencia en estado normal a partir de los registros de determinación de estatismo y tiempo de establecimiento de acuerdo a la siguiente expresión:

$$RPF = \frac{E_t}{t_E} = \frac{\Delta t}{t_E} \sum_{i=1}^N P_i$$

Donde RPF es la reserva primaria para el control de frecuencia en estado normal, E_t la energía aportada por la unidad durante su tiempo de establecimiento t_E , P_i la potencia eléctrica en el intervalo de medición i y Δt el período de muestreo.

Cabe mencionar que para determinar la RPF, se considerará el ajuste del estatismo de operación normal de la máquina.

2.4. Cronograma de ensayos

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.

Tabla 2. Cronograma de actividades previsto

Nombre de tarea	Duración (min)
Tareas previas a los ensayos	
Relevamiento de ajustes de las protecciones del generador	15
Verificación de los puntos de medición	10
Conexión del equipo de adquisición de señales	30
Verificación de medición correcta	10
Revisión del software del control de potencia/velocidad	10
Determinación del estatismo	
<u>Estatismo nominal ajustado</u>	
Carga mínima + bloque de reserva	15
Carga máxima – bloque de reserva	15
Carga intermedia 1	15
Carga intermedia 2	15
<u>Estatismo mínimo ajustado</u>	
Carga mínima + bloque de reserva	15
Carga máxima – bloque de reserva	15
Carga intermedia 1	15
Carga intermedia 2	15
<u>Estatismo máximo ajustado</u>	
Carga mínima + bloque de reserva	15
Carga máxima – bloque de reserva	15
Carga intermedia 1	15

Nombre de tarea	Duración (min)
Carga intermedia 2	15
Determinación de la banda muerta	
Escalones de ± 20 mHz	10
Escalones de ± 300 mHz	10
Medición de banda muerta operando en condiciones normales	30
Determinación de Retardo Inicial y Tiempo de Establecimiento	
Considerando escalones de ± 200 mHz y ± 700 mHz	30
Determinación del Gradiente de Incremento/Reducción de carga	30
Verificación de la actuación de los limitadores de potencia	20

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:

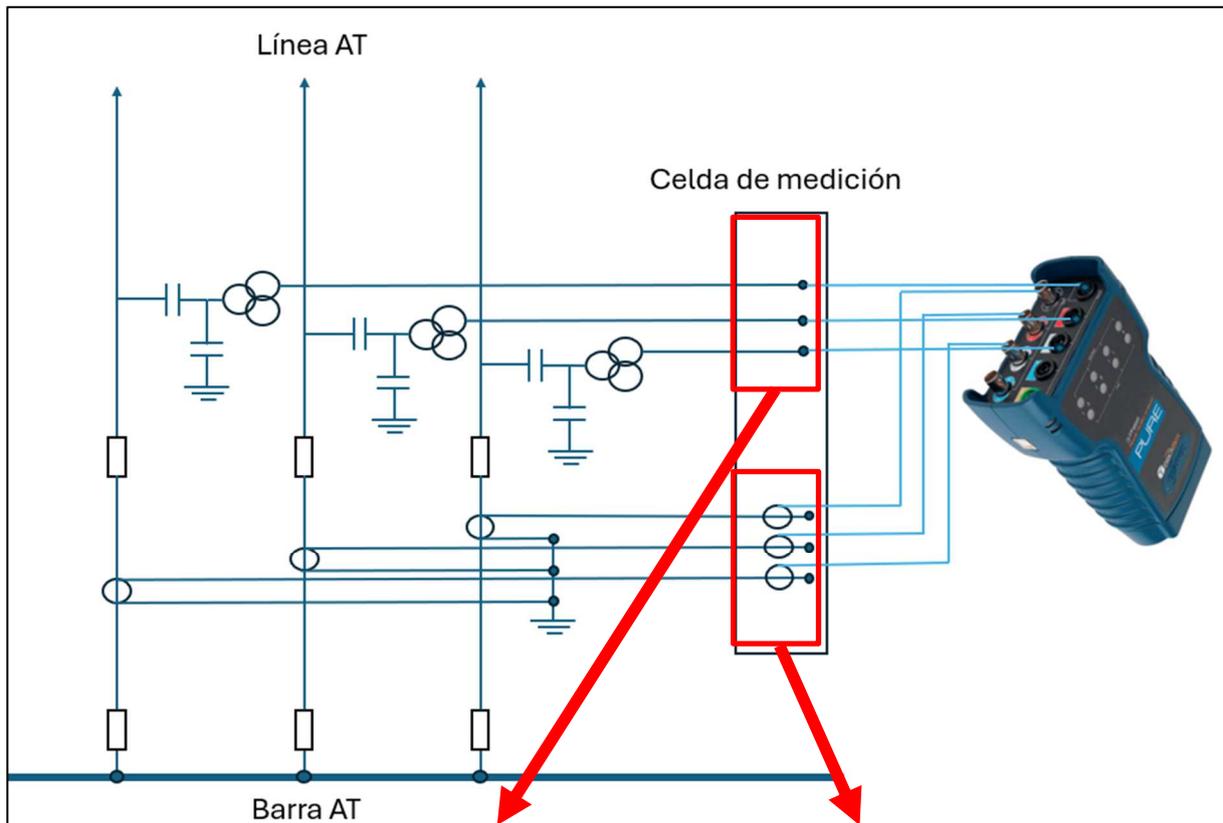
Equipo de medición	
Marca	ELSPEC
Modelo	Pure Black Box
Nº de Serie	1707723
Descripción	Equipo de medición de calidad de energía
Accesorios	
Marca	ELSPEC
Modelo	SOA-0270-1400
Descripción	6 A AC (1 A Nominal) Up to 60 A AC (10 A Nominal) seteable software range Output 100 mV/A

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.

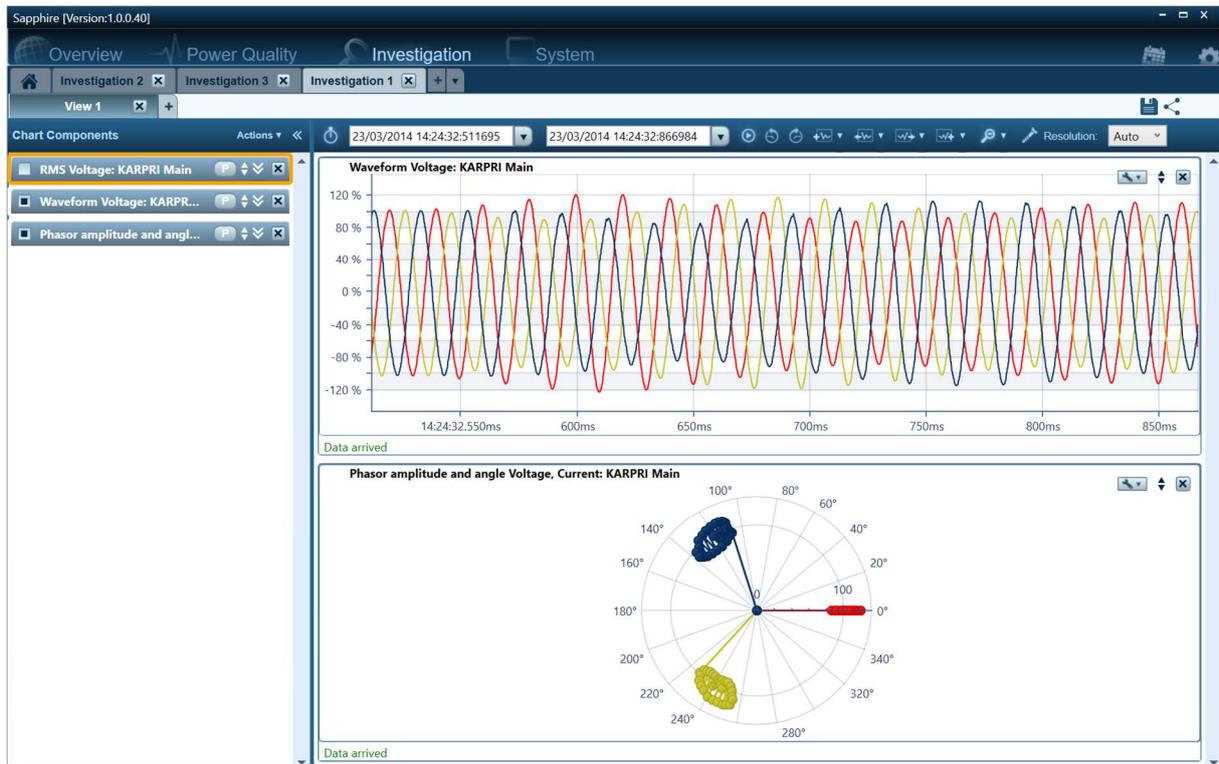


Gráfico 5. PQS Sapphire analizador de registros.

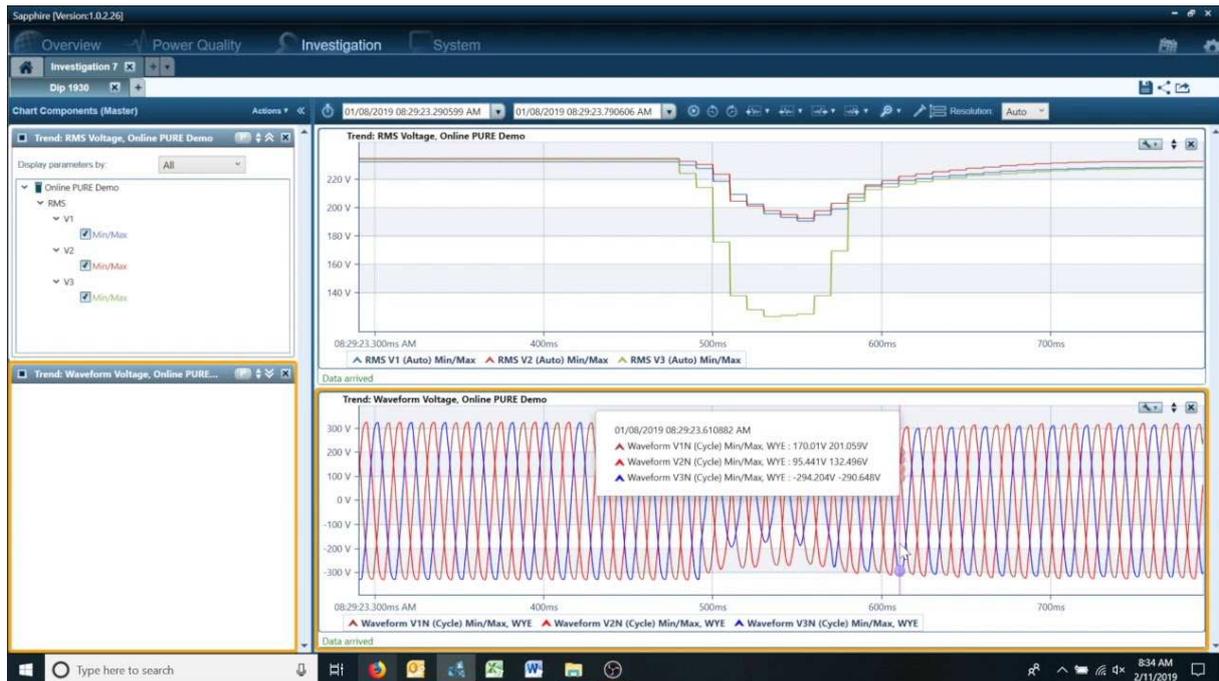


Gráfico 6. PQS Sapphire analizador de registros.

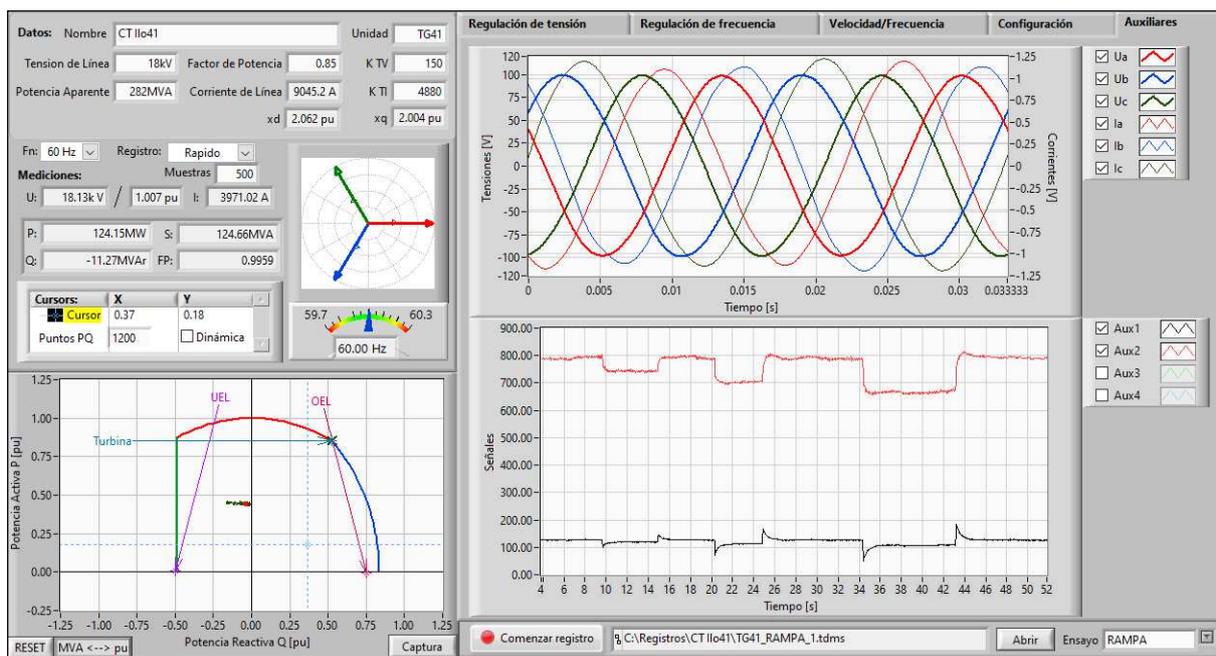


Gráfico 7. Conexión del equipo registrador y pantalla de visualización de variables a registrar.

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 **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** 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.

Nombre	Símbolo	Frecuencia de muestreo requerida según N° ensayo		
		A	B	C
		$f_m \geq 100 \text{ Hz}$	$f_m \geq 10 \text{ Hz}$	$f_m \geq 1 \text{ Hz}$
Tensión del generador	U_G	x		
Potencia activa	P	x		x
Potencia reactiva	Q	x		x
Corriente del generador	I_G	x		
Tensión de excitación	E_{FD}	x		
Corriente de excitación	I_{FD}	x		
Velocidad	n		x	x
Referencia frecuencia	F_{REF}		x	
Salida del control	V_R		x	

N°	Nombre	Frecuencia de Muestreo
2.1.a	Ensayo en carga máxima – estatismo nominal	B
2.1.b	Ensayo en carga máxima – estatismo mínimo	B
2.1.c	Ensayo en carga máxima – estatismo máximo	B
2.1.d	Ensayo en carga media – estatismo nominal	B
2.1.e	Ensayo en carga media – estatismo mínimo	B
2.1.f	Ensayo en carga media – estatismo máximo	B
2.1.g	Ensayo en carga mínima – estatismo nominal	B
2.1.h	Ensayo en carga mínima – estatismo mínimo	B
2.1.i	Ensayo en carga mínima – estatismo máximo	B
2.2	Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga	C
2.3	Determinación de reserva primaria de control de frecuencia en operación	B
2.4	Verificación de la operación de los limitadores de potencia	B

CHECKLIST DE PRUEBAS REALIZADAS

Nº	Nombre	REALIZACION	OBSERVACIONES
2.1.1	Rango de ajuste del estatismo		
2.1.1a	Cambio de ajuste del estatismo		
2.1.1b	Determinación del estatismo permanente y global		
2.1.1	Rango de ajuste de la banda muerta		
2.1.2a	Capacidad de variar el ajuste de la banda muerta con la unidad en servicio		
2.1.2b	Medición de la banda muerta		
2.1.3	Retardo inicial y tiempo de establecimiento		
2.2	Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga		
2.3	Determinación de reserva primaria de control de frecuencia en operación normal		
2.4	Verificación de la operación de los limitadores de potencia		

ACTA DE PRUEBAS

DATOS DE LA UNIDAD GENERADORA A ENSAYAR Y TRANSFORMADOR			
Unidad generadora			
Marca:	Potencia Nominal:	MVA	
Modelo:	Tensión Nominal:	kV	
Nº ID	Corriente Nominal:	A	
Transformador			
Marca:	Grupo de conexión:		
Potencia:	Tensión de cortocircuito:		
Relación de transformación:	Conmutador:		
Protecciones			
Sobretensión:		Subtensión:	
Sobrecorriente:		V/Hz:	
Sobrefrecuencia:		Subfrecuencia:	
Observaciones:			

2 – ENSAYOS DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD / POTENCIA			
2.1.a – Ensayo en carga máxima – estatismo nominal			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.b – Ensayo en carga máxima – estatismo mínimo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.c – Ensayo en carga máxima – estatismo máximo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.d – Ensayo en carga media – estatismo nominal			

Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.e – Ensayo en carga media – estatismo mínimo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.f – Ensayo en carga media – estatismo máximo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.g – Ensayo en carga baja – estatismo nominal			

Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.h – Ensayo en carga baja – estatismo mínimo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.1.i – Ensayo en carga baja – estatismo máximo			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Tiempo de establecimiento (t_E):	s
Observaciones:			
2.2.a – Determinación de la banda muerta			

Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Escalón aplicado Δn :	%
Potencia Activa (P):	MW	Banda muerta (BM):	mHz
Observaciones:			
2.2.b – Operación de la unidad en control de frecuencia			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Estatismo ajustado (E):	%	Banda muerta (BM):	mHz
Potencia Activa (P):	MW		
Observaciones:			
3 – Determinación del gradiente de incremento/reducción de carga			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Rampa configurada (RP):	MW/min	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Potencia Reactiva (Q):	MVAr
Observaciones:			
4 – Determinación de reserva primaria de control de frecuencia en operación			

normal			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Energía aportada (E_t):	MWs	ΔP :	MW
Tiempo de establecimiento (t_E):	s	Reserva observada (RPF):	MW
Observaciones:			
5 – Verificación de la operación de los limitadores de potencia			
Fecha y hora:		Registro N°:	
Escalón aplicado Δn :	%	ΔP :	(%)
Potencia Activa (P):	MW	Límite por:	
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
CC3	3x300mm2 - 411m - 1(3)	Terminal(12)	barra 33 kV	0.411	0.0174	0.0217	67.0769	0.0909	0.0448	67.0769
	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
CC4	3x300mm2 - 411m - 1(4)	Terminal(15)	barra 33 kV	0.095	0.0105	0.0108	6.9818	0.0578	0.0191	6.9818
	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).

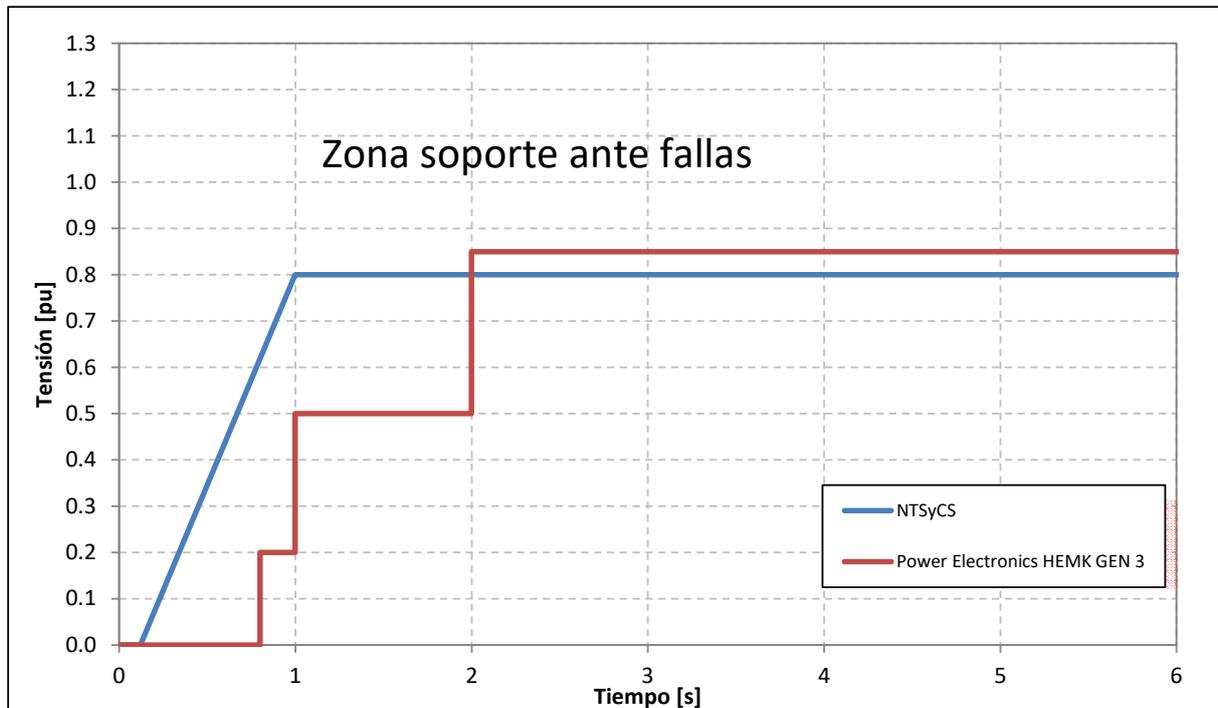


Gráfico 8. Curva límite tensión-tiempo Power Electronics HEMK GEN 3.

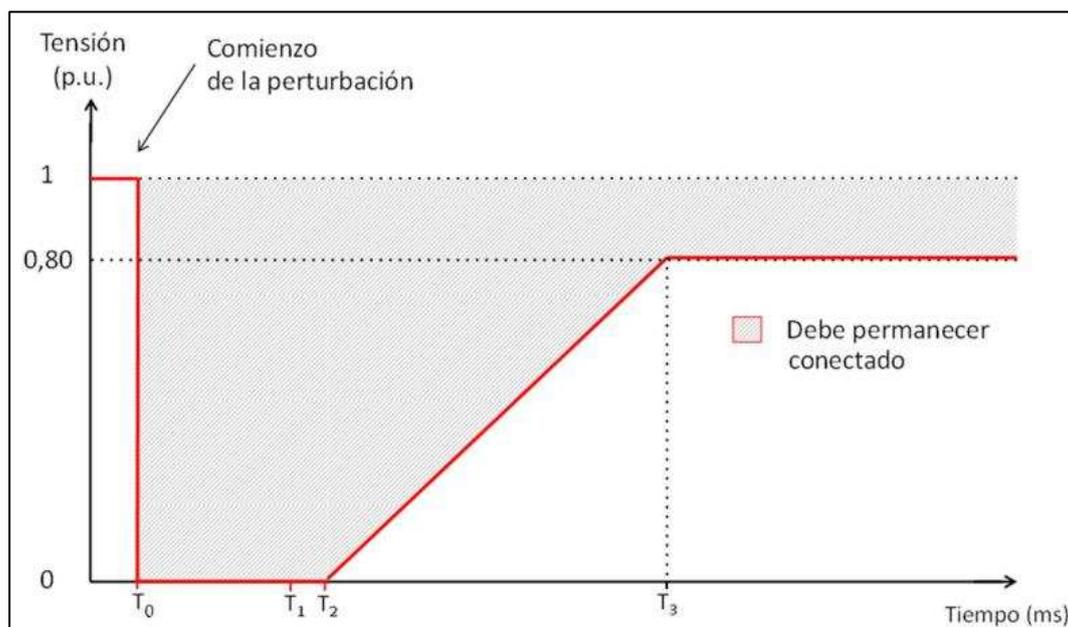


Gráfico 9. Curvas límite tensión-tiempo norma NT en punto de conexión.

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.

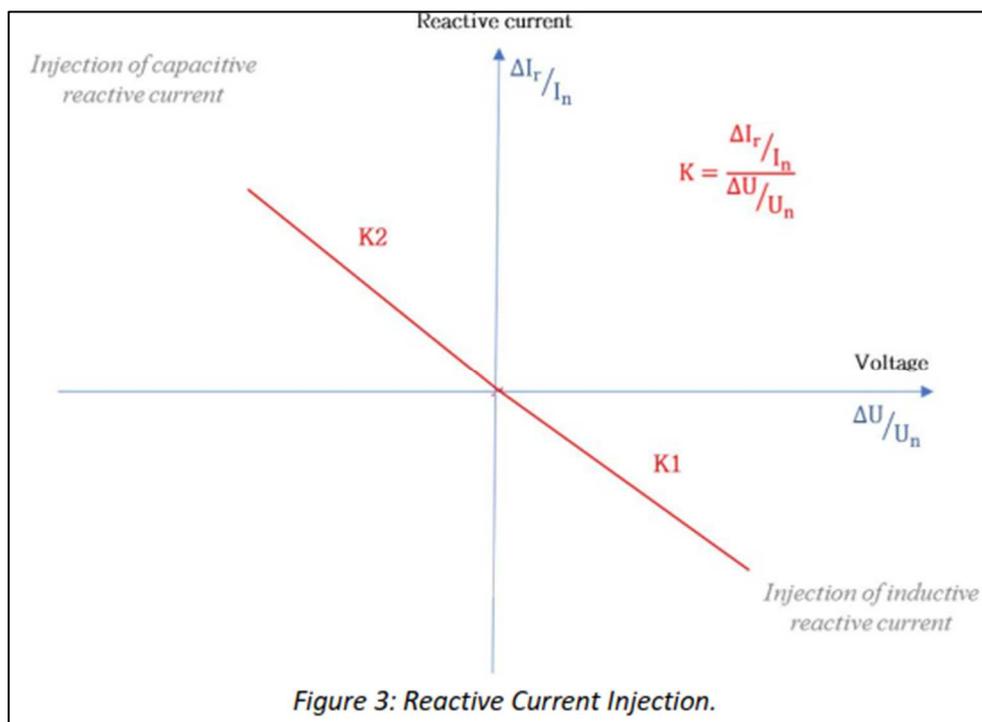


Gráfico 10. Inyección de corriente reactiva ante huecos de tensión. Power Electronics HEMK GEN 3.

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	XX000	
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:

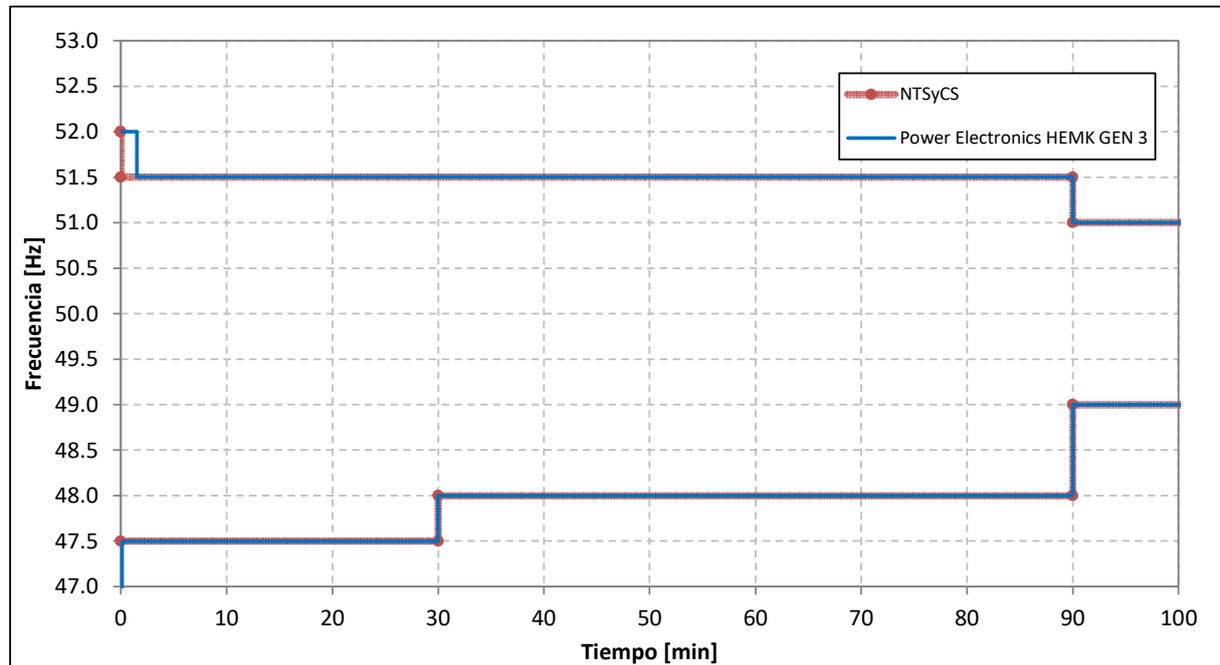


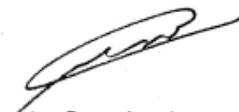
Gráfico 11. Ajuste de protección de frecuencia.

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