ESTUDIOS ELECTRICOS

Empresa	Pacific Hydro Chile
País	Chile
Proyecto	BESS Piloto Punta Sierra
Descripción	Informe de Potencia Máxima

PacificHydro

CÓDIGO DE PROYECTO	EE-2024-004
CÓDIGO DE INFORME	EE-EN-2024-1669
REVISIÓN	B

31 ene. 25

Este documento **EE-EN-2024-1669-RB** fue preparado para Pacific Hydro Chile por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

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

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

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

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

Este documento contiene 45 páginas y ha sido guardado por última vez el 31/01/2025 por Iñaki Cubillos; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	05.11.2024	Para presentar.	NS	CiC	AC
B	31.01.2025	Correcciones según observaciones CEN.	IC	GE	AC

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

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 5
1.1 Descripción de personal participante 6
1.2 Mediciones utilizadas 6
1.3 Nomenclatura utilizada 6
2 ASPECTOS NORMATIVOS 8
2.1 Consideraciones generales 8
2.2 Sistemas de Almacenamiento 10
3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE 12
3.1 Unifilar de planta 13
3.2 Datos de las unidades 14
3.2.1 Inversores BESS 14
3.2.2 Cálculo de Autoconsumo 15
3.2.3 Aerogeneradores 17
3.3 Datos de las baterías 19
3.4 Datos de los transformadores de bloque 20
3.4.1 Transformador de bloque del BESS 20
3.4.2 Transformador de bloque de los aerogeneradores 21
3.5 Datos del transformador principal 21
3.6 Determinación de consumos de SSAA de planta 22
3.7 Operación normal de planta 22
4 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA 24
4.1 Ensayo PMAX 1 – Potencia Máxima – Ciclo de descarga 26
4.1.1 Potencia Bruta 28
4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares 28
4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central 28
4.1.4 Potencia Neta 30
4.1.5 Parámetros de descarga 31
4.1.6 Resultados 31
4.2 Ensayo PMAX 2 – Potencia Máxima – Parque Eólico 32
4.3 Ensayo PMAX 3 – Potencia Máxima – Generación conjunta 33
4.3.1 Potencia Neta 34

4.3.2 Potencia de Servicios Auxiliares 34
4.3.3 Potencia de Pérdidas en la central 35
4.3.4 Potencia Bruta 36
4.3.5 Resultados 37
5 CONCLUSIONES 38
6 ANEXOS 39
6.1 Registro por inversor durante el ensayo 39
6.1.1 Descarga 39
6.2 Especificaciones Técnicas 42
6.3 Pruebas de fábrica de baterías 44
6.4 Carta de aprobación Potencia Máxima del Parque Eólico Punta Sierra 45

1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima en las distintas condiciones operativas del BESS Piloto Punta Sierra de acuerdo con lo establecido en el "Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadores" y a lo recomendado en la Guía Técnica DCO: "Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía" , cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El BESS Piloto Punta Sierra tiene una capacidad instalada en AC de 3.15 MW y está constituido por 2 inversores marca NR Electric CO, modelo PCS-9567, de 1.575 MVA de capacidad nominal y 690 V de tensión nominal. Cuenta con un (1) transformador de bloque de dos devanados de relación 0.69 kV / 31.5 kV y 3.15 MVA de potencia aparente nominal.

A cada inversor de la planta se conecta a un contenedor de baterías marca HYPER STRONG, modelo CG/HSL8AD-20H2981A de potencia nominal de 1.49094 MW cada uno, totalizando dos (2) contenedores de baterías de capacidad de 2.982 MW durante un periodo de dos horas. Por lo tanto, por el lado DC el BESS Piloto Punta Sierra cuenta con una capacidad instalada de 5.964 MWh.

El BESS Piloto Punta Sierra está inmerso en una instalación mayor que también contempla el Parque Eólico Punta Sierra. Dicha instalación cuenta con una barra principal de 31.5 kV, a la cual acometen 7 colectores de media tensión, cinco (5) de ellos correspondan a la red colectora del Parque Eólico Punta Sierra, uno (1) a la red colectora del BESS Piloto y uno (1) asociado a un banco de condensadores de 10 MVAr de capacidad nominal. Desde allí, el transformador elevador de 220 kV / 31.5 kV con capacidad nominal de 72/96/120 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2) permite la vinculación al SEN en 220 kV en la S/E Punta Sierra.

Se aclara que el BESS Piloto Punta Sierra cuenta con un Sistema de Gestión de Energía (EMS por sus siglas en inglés) con el cual es posible dar consignas de forma centralizada y controlar la carga/descarga del BESS. Mientras que el Parque Eólico cuenta con su propio controlador de planta (PPC) con el cual es posible controlar las principales variables eléctricas en el Punto de Interconexión (POI), correspondiente al lado de alta tensión del transformador principal del parque.

Los resultados del presente informe referido al BESS Piloto Punta Sierra se basan en ensayos realizados el día 9 y 10 de octubre de 2024. Adicionalmente, para dar contexto de una operación conjunta entre el BESS y el Parque Eólico Punta Sierra, se consideran los resultados de Potencia Máxima emitido por el CEN en la carta ***DE05615-19*** para el Parque Eólico.

1.1 Descripción de personal participante

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Gonzalo Espinoza Ing. Matías Parra	9 y 10 de octubre de 2024

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Mediciones utilizadas

Con el objetivo de determinar la **Potencia Bruta** en bornes de cada inversor, se cuenta con los datos recabados por los propios inversores y adquiridos por personal del parque. Estos registros cuentan con una tasa de muestreo de 1 segundo.

Para el registro de **Estado de Carga (SOC)** y otras variables de interés para el BESS, se cuenta con datos adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 minuto para todas las mediciones.

No se cuenta con registro de **Potencia Neta** y este valor se ha determinado a partir de las mediciones de los inversores y las características técnicas del único transformador de bloque de la instalación.

1.3 Nomenclatura utilizada

La Figura 1.1 muestra un sistema equivalente genérico de conexión de un sistema de almacenamiento, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

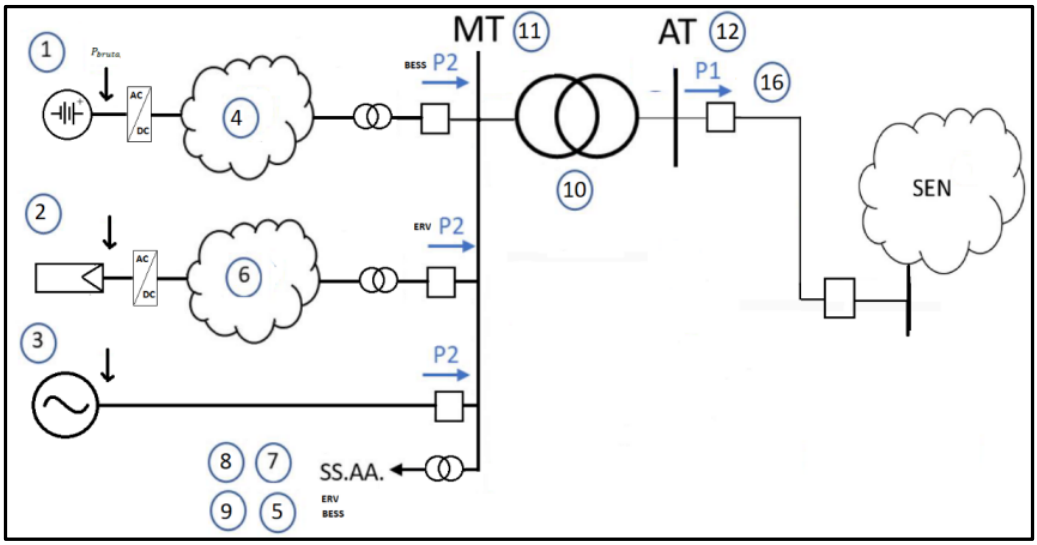

Figura 1.1 – Sistema equivalente de conexión de BESS

1. Generador equivalente BESS.
2. Generador equivalente ERV (fotovoltaica o eólica).
3. Generador equivalente sincrónico.
4. Sistema colector equivalente BESS: Perdidas del sistema colector del sistema BESS.
5. Servicios auxiliares BESS: Cargas asociadas con la operación de un BESS.
6. Sistema colector ERV: Pérdidas del sistema colector del sistema ERV.
7. Servicios auxiliares ERV.
8. Servicios auxiliares Generador síncrono.
9. SSAA generales.
10. Transformador de poder de salida de Alta tensión (Perdidas del transformador).
11. Barra media tensión.
12. Barra de alta tensión.
13. Medido en 1: Potencia bruta del Bess. (generador o ERV).
14. P1 potencia Neta de la central medida en el lado de Alta tensión de su transformador de salida.
15. P2: Potencia inyectada (absorbida) por el BESS. o conjunto central generadora, inyectada en su barra de media tensión.
16. Punto de conexión: Se define el punto de conexión para un BESS o conjunto central generadora el correspondiente a la barra de alta tensión de sus transformadores de poder.

Cabe destacar que el presente informe considera únicamente la operación del BESS, desde los inversores del sistema de almacenamiento hasta su punto de interconexión en la barra principal de 31.5 kV.

2 ASPECTOS NORMATIVOS

El "**Anexo Técnico**: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras" establece las metodologías y procesos para efectuar los ensayos de verificación del máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación.

La "Guía Técnica DCO N°01-2024: Recomendaciones para la elaboración de los informes de Determinación de los Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía" indica directrices y sugerencias para dar completitud a los ensayos e informes de las pruebas de Potencia Máxima. En el caso particular del sistema de almacenamiento se destacan los capítulos 7.1 y 7.5 mostrados a continuación.

2.1 Consideraciones generales

a) Los valores de P. Máx deben ser establecidos mediante pruebas efectivas en terreno con la instalación en operación.

b) Los ensayos deben ser realizados con todas las unidades de generación (inversores y/o aerogeneradores) en servicio al mismo tiempo.

c) En el caso que el recurso primario disponible no permita realizar la prueba con todas las unidades generando al mismo tiempo, o no sea suficiente para alcanzar su valor de potencia máxima de diseño, se deberán adjuntar respaldos de operaciones previas, realizadas durante el proceso de Puesta en Servicio u operación previa de la planta, que muestren que se puede llegar a su potencia máxima con todas las unidades operando al mismo tiempo.

d) Los parámetros de Potencia Activa Bruta, Potencia Activa Neta, SS.AA. y pérdidas deben ser considerados según lo descrito en el Anexo 1 del presente documento, el que representa un sistema equivalente de un parque ERV conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

e) Considerando lo planteado en el punto previo, la Potencia Activa Neta corresponderá a la potencia en el lado de alta del transformador elevador de la central y/o sistema de almacenamiento.

f) Los consumos de SS.AA. deben ser medidos. Sólo en condiciones excepcionales, donde no sea factible su medición, podrán ser estimados y/o debidamente justificados en base a supuestos razonables, los que deberán ser respaldados y validados por el Coordinador.

g) Los valores de Potencia Activa Bruta y Potencia Activa Neta deben ser obtenidos en los mediante pruebas efectivas en terreno y no mediante simulaciones.

h) En el caso de PFV y PE, la prueba de P. Máx deberá desarrollarse por un periodo de 5 horas. Para la determinación de la potencia máxima de la unidad, se deberán considerar los datos de potencia bruta y

neta medido por 15 minutos continuos, donde se haya registrado la mayor potencia máxima promedio por dicho periodo bajo una operación estable y dentro de las 5 horas consideradas en la prueba.

i) En el caso de Sistemas de Almacenamiento de Energía o de componentes de almacenamiento de Centrales Renovables con Capacidad de Almacenamiento, la prueba de PMáx deberá realizarse considerando la máxima potencia que la instalación puede sostener de forma continua por la Cantidad de Horas de Almacenamiento.

j) El informe deberá contener los datos y registros gráficos de potencia activa, irradiancia (PFV), temperatura (PFV) y velocidad del viento (PE), según corresponda, de las 24 horas del día de la prueba, para la totalidad de la planta. Con esta información se validarán los datos utilizados en el literal h).

k) Adicionalmente, se deberán entregar los datos y registros gráficos de potencia bruta para cada uno de los inversores (PFV) y cada uno de los aerogeneradores (PE) que componen la central, durante el periodo considerado para la prueba.

l) En el caso de centrales renovables con capacidad de almacenamiento, el valor de Potencia Máxima deberá medirse operando a plena carga, en forma continua y sin sobrecarga, por el número de horas declaradas de duración del almacenamiento. Se deberá desarrollar la prueba bajo la máxima inyección/absorción del sistema de almacenamiento para el período de carga y descarga, durante el cual la unidad deberá mantenerse con un nivel de generación estable, continua y sin interrupción de la potencia activa bruta en sus bornes de salida.

m) Los propietarios de unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación, podrán actualizar el Informe de Potencia Máxima una vez al año, a efectos de reconocer los cambios que puedan producirse en el recurso natural conforme a registros históricos.

n) La actualización mencionada en el literal previo deberá solicitarse al Coordinador por carta, especificando los motivos de dicha actualización, usando como base lo especificado en el AT de P. Máx. 4 Artículo 39 AT Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras.

2.2 Sistemas de Almacenamiento

En el caso de centrales renovables con capacidad de almacenamiento, que inicien su proceso como una nueva instalación o sea una ampliación de una central existente, se deben realizar las pruebas en terreno al sistema completo de la central y su sistema de almacenamiento operando en conjunto en sus distintos modos de operación:

1. **Modo carga:** Sistema de almacenamiento cargándose desde la central renovable o desde la red.
2. **Modo descarga:** Sistema de almacenamiento inyectando energía al sistema.
3. **Modo Generación Directa:** Planta renovable inyectando energía a la red.

Dada la simultaneidad de los Modos de Descarga del sistema de almacenamiento y Generación Directa (Unidad generadora), estos deberán ser considerados en la determinación de los parámetros operacionales mediante la realización de una prueba conjunta.

El periodo de la prueba comprometido para carga y descarga del sistema de almacenamiento corresponderá a lo definido en el proyecto como tiempo de inyección y tiempo de carga. En el caso de ampliación de centrales, para el modo Generación Directa, podrán ser utilizado los ensayos de parámetros previamente establecidos por el Coordinador, incorporando los principales resultados en el informe.

Adicionalmente considerando la simultaneidad de estos modos de operación, a efectos de realizar las pruebas, se establecen los siguientes modos operaciones de Centrales Renovables con Capacidad de Almacenamiento:

1 Generación directa (Solo Central Renovable)

Esta prueba consiste en la inyección de máxima potencia del parque, en la barra de alta tensión del transformador elevador, considerando como fuente primaria la generación directa de los paneles fotovoltaicos o aerogeneradores según corresponda en consistencia con lo indicado en las secciones 7.6.

2 Modo Descarga: inyectando al sistema

Esta prueba consiste en la descarga del sistema de almacenamiento al sistema, inyectando en la barra principal de conexión al SI. Se debe determinar la máxima potencia que puede sostener de forma continua durante la cantidad de horas del almacenamiento acorde a su diseño. Con esta prueba se verificará además la capacidad del sistema de almacenamiento en [MWh].

3 Modo Carga: cargándose del sistema

Esta prueba consiste en la carga del sistema de almacenamiento desde la barra principal de conexión al SI. Se debe determinar la máxima potencia que este puede sostener de forma continua por el tiempo de carga establecido

como condición operación normal, pudiendo ser este distinto a la cantidad de horas del almacenamiento. Con esta prueba se verificará además la capacidad del sistema de almacenamiento en [MWh]. De ser necesario se podrá requerir una prueba considerando una carga rápida.

4 Central renovable + Sistema de almacenamiento en Modo Descarga

Esta prueba consiste en la inyección conjunta en la barra principal de la generación proveniente de la central renovable y del sistema de almacenamiento. En este contexto, se hace necesario conocer la capacidad del parque para un despacho conjunto de Central + Sistema de almacenamiento. El período de prueba estará sujeto a las condiciones de las pruebas de la central renovable (ver secciones 7.1).

Adicionalmente, el informe deberá incluir el parámetro C-Rate del sistema de almacenamiento y la eficiencia de carga y descarga de este. De igual forma, se solicita incluir el Round Trip Efficiency del sistema de almacenamiento para su carga y descarga.

3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El BESS Piloto Punta Sierra se ubica en la comuna de Ovalle, región de Coquimbo. Está constituido por dos (2) inversores marca NR Electric CO modelo PCS-9567 de 1.575 MVA de capacidad nominal y 690 V de tensión nominal.

La red colectora del parque está compuesta por siete (7) circuitos colectores que acometen en la barra principal de 31.5 kV. En particular, el Centro de Transformación que corresponde al BESS es el siguiente:

- Circuito 7 (F8): Inversores PCS-1 y PCS-2.

Los dos inversores se agrupan a una barra común en baja tensión, la cual cuenta con su transformador de bloque de 3.15 MVA y de relación 0.69 kV / 31.5 kV. Finalmente, la potencia generada desde el BESS es evacuada en la celda F8 en la barra principal del parque en 31.5 kV.

En lo que respecta al parque eólico, este se compone de 32 aerogeneradores marca Goldwind, modelo GW121 de tipo full-converter de 2.55 MW de capacidad nominal, totalizando una capacidad instalada de 81.6 MW.

La instalación en su conjunto cuenta con una barra principal de 31.5 kV, a la cual acometen 7 colectores de media tensión, cinco (5) de ellos correspondan a la red colectora del Parque Eólico Punta Sierra, uno (1) a la red colectora del BESS Piloto y uno (1) asociado a un banco de condensadores de 10 MVAr de capacidad nominal. Desde allí, el transformador elevador de 220 kV / 31.5 kV con capacidad nominal de 72/96/120 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2) permite la vinculación al SEN en 220 kV en la S/E Punta Sierra.

En lo que se refiere a la operación conjunta, el BESS Piloto Punta Sierra cuenta con un sistema de gestión de almacenamiento de energía que permite el control de las variables eléctricas de cada inversor en el lado alterna de baja tensión. Además, el Parque Eólico cuenta con su propio controlador de planta (PPC) el cual le permite controlar las principales variables eléctricas en el Punto de Interconexión (POI) en el lado de alta tensión del transformador elevador principal.

3.1 Unifilar de planta

En la Figura 3.1 se muestra la barra principal de 31.5 kV del Parque Eólico Punta Sierra. El recuadro **rojo** se remarca la celda F8 por el cual se conectan los inversores PCS-1 y PCS-2 correspondientes al BESS. El marco **verde** muestra el transformador de SSAA de la central, los cuales son abastecidos por el Parque Eólico. Por otra parte, las líneas segmentadas **amarilla** y **azul**, muestran los puntos de medición de la Potencia Bruta y Neta respectivamente.

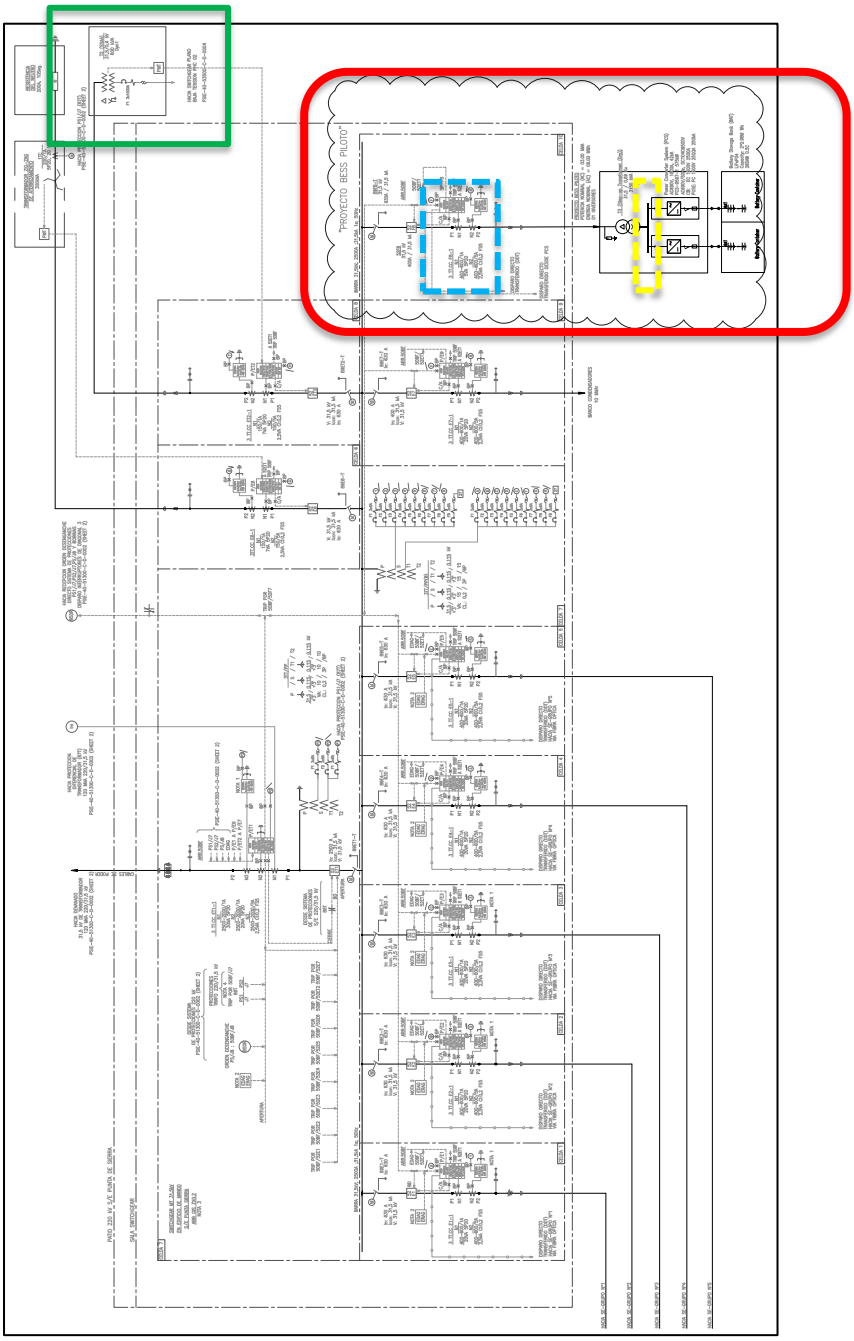

Figura 3.1 – Diagrama unilineal barra principal de 31.5 kV del BESS Piloto Punta Sierra

3.2 Datos de las unidades

3.2.1 Inversores BESS

El BESS está constituido por 2 inversores NR Electric CO PCS-9567, de 1.575 MVA de capacidad nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales del generador se presentan en la Figura 3.2.

xyz Storage Technology

PARAMETER OF PCS

Type	PCS9567-1575
DC side	
DC input voltage range （V）	1050~1,500
Max. DC input current （A）	1833
DC voltage ripple	< 1%
DC current ripple	< 3%
AC side	
Nominal output power（kW）	1575
Max. AC power（kW）	1650
Nominal operating voltage （V）	690
Operating voltage range （V）	630~760
Max. AC output current （A）	1588
Nominal frequency （Hz）	50
Operating frequency range （Hz）	45~55
Total harmonic distortion rate	< 3%
Nominal power factor	> 0.99
Power factor range	0.9（leading）~ 0.9(lagging)
Wiring method	Three-phase three-wire system
System parameter	
Weight （kg）	1600
Dimensions （mm）	1200*2350*1400
Cooling method	Forced air cooling
Max. operating altitude（m）	6,000（> 3,000 derating）
Isolation method	Transformerless
Operating temperature range （℃）	-35~60（>45 derating）
Environment humidity	0~95%，no condensation
Protection level	IP65
Communication ports	CAN/RS485/RJ45/optical fiber port
Supported protocol	CAN / Modbus / IEC60870-103 / IEC61850 ,etc.
PCS efficiency (rectifier)	Av. 98.03%
PCS efficiency (Inverter)	Av. 98.26%
PCS container efficiency (charging)	97.07%
PCS container efficiency (discharging)	97.3%

Figura 3.2 – Hoja de datos módulo inversor PCS-9567

La curva de capacidad de los inversores se presenta en la Figura 3.3.

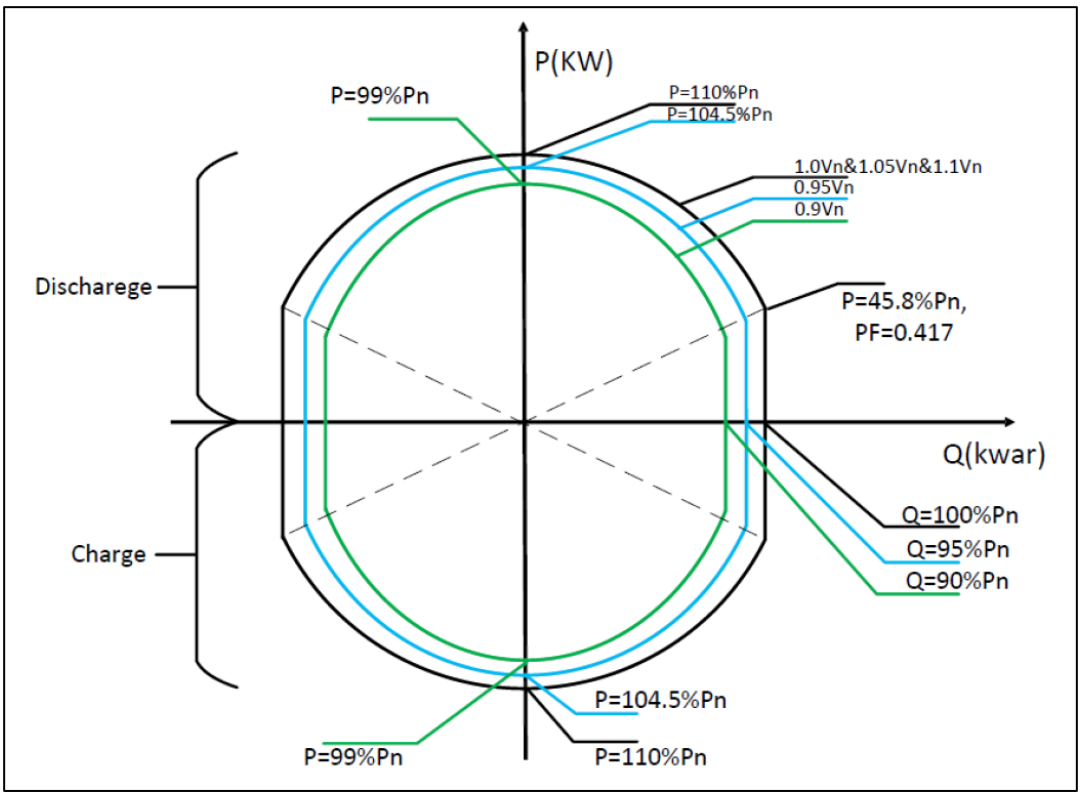

Figura 3.3 - Curva de capacidad de módulo inversor PCS-9567

El módulo Q-Night de los equipos inversores no se encuentra operativo.

3.2.2 Cálculo de Autoconsumo

Cómo es posible apreciar en la Figura 3.2, no se cuenta con un dato de fabricante para el autoconsumo del inversor descrito. Para determinar suponer este valor, se utilizará como referencia el valor de consumo de un inversor de similares características. En este caso, ambos inversores del BESS Piloto Punta Sierra totalizan una potencia de 3.15 MVA y 690V los que serán contrastados con un inversor Sungrow SH3125 -MV-30 de 3.125 MVA y 600V nominales.

Los datos del inversor SUNGROW modelo SG3125HV-MV-30 se presentan en la Figura 3.4 y Figura 3.5.

Type designation	SG3125HV-30
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	875 V / 915 V (875 V – 1300V settable)
MPP voltage range	875 – 1300 V
No. of independent MPP inputs	2
No. of DC inputs	20（floating）
Max. PV input current	3997 A
Max. DC short-circuit current	10000 A
Output (AC)	
AC output power	3437 kVA @ 45 ℃ / 3125 kVA @ 50 ℃
Max. AC output current	3308 A
Nominal AC voltage	600 V
AC voltage range	510 – 660 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz
Harmonic (THD)	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	99.0 % / 98.7 %
Protection	
DC input protection	Load break switch + fuse
AC output protection	Circuit breaker
Surge protection	DC Type I + II / AC Type I+II
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes
Insulation monitoring	Yes
Overheat protection	Yes
Q at night function	Yes
General Data	
Dimensions (W*H*D)	2280 * 2280 * 1600 mm
Weight	3.2 T
Topology	Transformerless
Degree of protection	IP65
Night power consumption	< 200 W
Operating ambient temperature range	-35 to 60 ℃ (> 50 ℃ derating)
Allowable relative humidity range	0 – 100 %
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	Touch screen
Communication	Standard: RS485, Ethernet
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116
Grid support	Q at night function, L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

Figura 3.4 – Hoja de datos de inversor Sungrow SG3125-HV-30

Se aprecia en la Figura 3.5, que el consumo interno de cada inversor en máxima carga de operación se estima en 4.105 kW y se considerará dicho valor en el cálculo de consumos de Servicios Auxiliares del parque.

SG3125HV		Max self-consumption-in- operation (W)	Standby Consumption (W)
Inverters	Control-power-consumption	312	200
	Fans consumption@full power	3508	0
LV cabinet	Monitoring	15	15
	Light	0	0
	Fans of container activated @>40C ambient Temp.	0	0
	Fans of LV cabinet	64	0
	Aux. transformer 6.4KVA	206	200
Max. in total		**4105**	**415**

Figura 3.5 – Detalle de consumos propios de inversor Sungrow SG3125-HV-30.

3.2.3 Aerogeneradores

El Parque Eólico Punta Sierra cuenta con 32 aerogeneradores marca Goldwind, modelo GW121. Los aerogeneradores son de tipo *full-converter*. Las aspas de la unidad giran solidarias a un generador de imanes permanentes (PMG). El número de polos del PMG permite evitar el uso de cajas de transmisión (*gearbox*).

El generador es controlado por dos convertidores *back-to-back* en configuración paralelo, de 1500 kVA cada uno. La salida del convertidor, en 690V, es elevada por medio de un transformador de bloque 690V/31.5 kV, 2750 kVA instalado en la SUT.

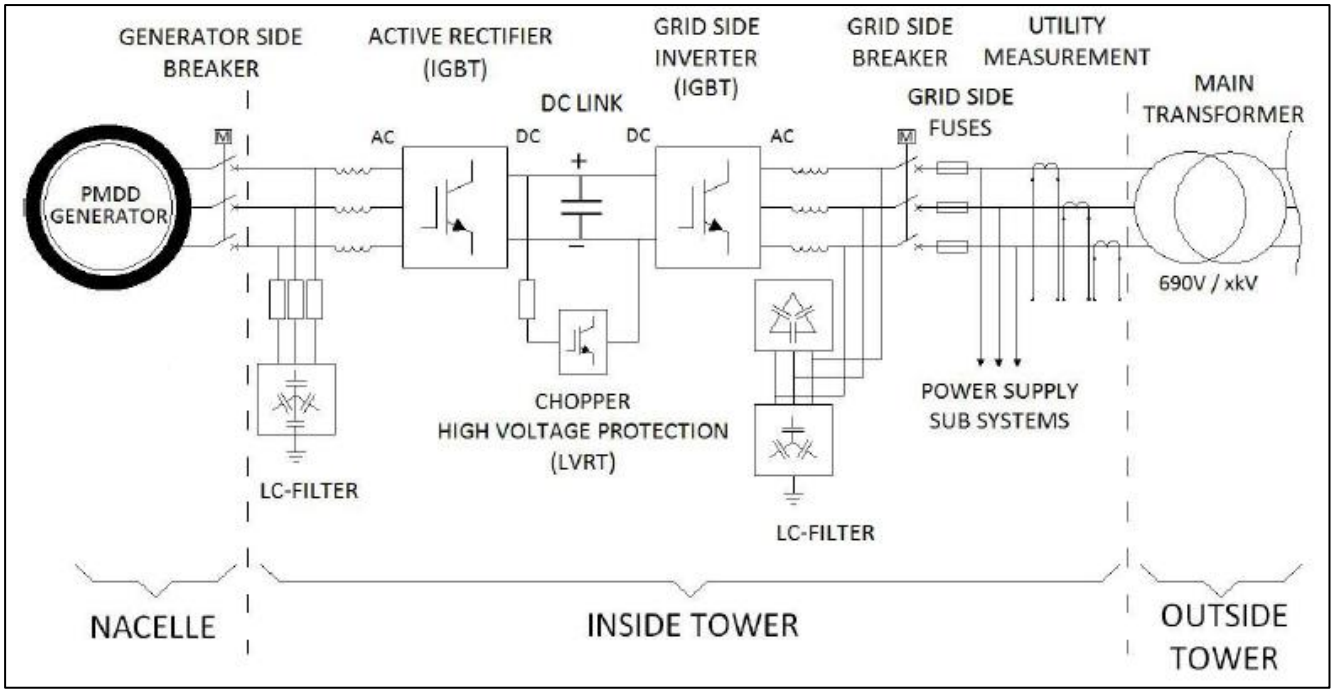

Figura 3.6 – Circuito esquemático de la turbina GW121

La Figura 3.7 muestra las especificaciones de las turbinas GW121 instaladas en el parque eólico Punta Sierra. Se aclara que las unidades cuentan con una optimización de potencia activa que permite incrementar su potencia nominal de 2.5 MW a 2.55 MW.

Technical Data	GW103/2500	GW109/2500	GW121/2500	GW130/2500	GW140/2500
Power					
Rated Power	2500 kW				
Cut-in Wind Speed	3 m/s	3 m/s	3 m/s	2.5 m/s	2.5 m/s
Rated Wind Speed (Static)	10.3 m/s	10.3 m/s	9.3 m/s	9.3 m/s	8.5m/s
Cut-out Wind Speed	25 m/s (10min)	25 m/s (10min)	22 m/s (10min)	20 m/s (10min)	20 m/s (10min)
Operating Temp.	Normal Temp -20˚C to 40˚C; High Temp -20˚C to 45˚C (with de-rating from 42 ˚C); Low Temp -30˚C to 40˚C				
Standby Temp.	Normal Temp -30˚C to 50˚C; High Temp -30˚C to 50˚C; Low Temp -40˚C to 50˚C				
Rotor					
Nominal Diameter	103m	109 m	121m	130m	140m
Number of Blades	3				
Swept Area	8349 m²	9,413 m²	11595 m²	13273 m²	15394 m²
Power Control	Collective Pitch Control / Rotor Speed Control				
Safety System	Independent Blade Pitch Control Hydraulic Disk Brake (for maintenance) Hydraulic Bolt Lock (for maintenance)				
Generator	Permanent Magnet Direct Drive Synchronous Generator				
Rated Voltage	690 V				
Yaw System	4 Induction Motors				
Tower	Tubular Steel Tower				
Hub Height	80m	90m	90m/120m	90m	90m/140m
Converter	Full Power Converter (IGBT Modules)				
Transformer					
Input Voltage	690V				
Output Voltage	33kV (Others Possible)				
Control System	Microprocessor Controlled, DFÜ (SCADA)				
Design Standard*	IEC IB	IEC IIA	IEC IIIB	S	S

Figura 3.7 – Parámetros nominales de la turbina GW121

La Figura 3.8 muestra la curva de capacidad de un aerogenerador individual para tensión nominal. Esta curva presenta los resultados medidos en baja tensión (690 V), por lo que no incluye al transformador de bloque del aerogenerador.

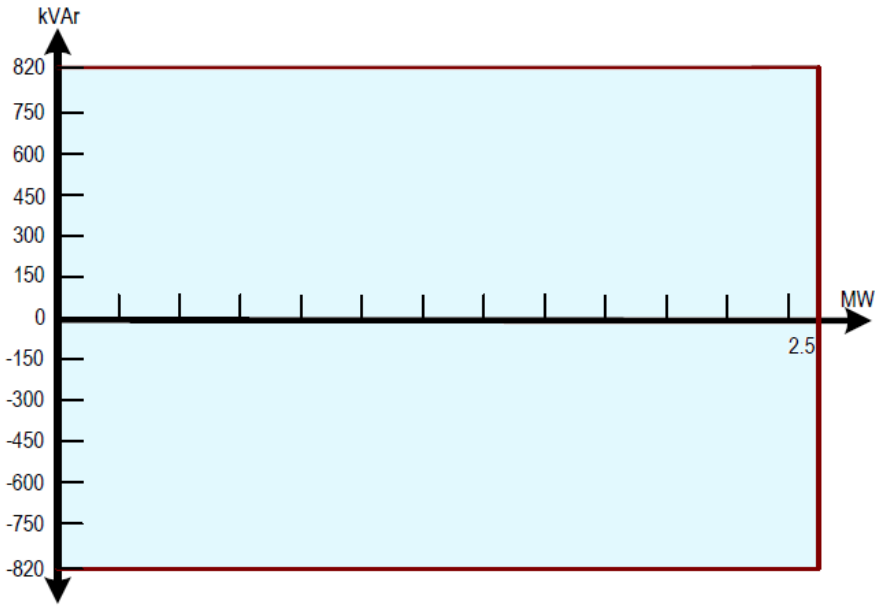

Figura 3.8 – Curva de capacidad del aerogenerador en baja tensión

3.3 Datos de las baterías

El BESS Piloto Punta Sierra cuenta con 6,656 baterías de 896 Wh cada una. Las baterías se encuentran agrupadas en módulos de 52 baterías en serie, con una tensión resultante de 166.4 V y totalizando 46.59 kWh por módulo. Mediante la agrupación de 8 módulos se construye un *rack* (372.73 kWh) y, finalmente, la agrupación de 8 *racks* representa 1 contenedor de baterías de 2.98 MWh.

Container	Racks	Módulos	Baterías	Capacidad instalada [kWh]
PCS - 01	8	64	3,328	2,981.888
PCS - 02	8	64	3,328	2,981.888

Tabla 3.1 – Distribución de baterías

A continuación, se presentan los datos de placa nominales de cada contenedor de baterías.

Figura 3.9 – Datos de placa – Contenedor 1 y 2 de baterías

En el 6.3 se muestran las pruebas de capacidad (*"Capacity test"*) y de eficiencia de ciclo completo (*"Round Trip Efficiency"*) de ambos contenedores de baterías.

3.4 Datos de los transformadores de bloque

3.4.1 Transformador de bloque del BESS

El BESS Piloto Punta Sierra cuenta con un (1) transformador de 3.15 MVA de potencia aparente nominal cada uno. Posee un devanado de baja tensión que permite la interconexión los inversores en 690 V y un devanado de media tensión que permite la inyección de potencia en la red de 31.5 kV.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.2 los parámetros más relevantes para el modelado del transformador.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	3150 kVA
Tensión nominal lado HV	31.5 kV
Tensión nominal lado LV	690 V
Grupo de conexión	Dy11
Impedancia	7.45 %
Pérdidas en carga	27.738 kW
Pérdidas en vacío	5.358 kW
Posiciones de TAP	± 2 x 2.5%

Tabla 3.2– Datos del transformador de bloque de inversores

3.4.2 Transformador de bloque de los aerogeneradores

Cada aerogenerador está asociado a un transformador de bloque de 2.75 MVA que permite su interconexión con la red de media tensión del parque. La Tabla 3.3 resume los datos de placa del transformador de bloque de un aerogenerador Goldwind GW121.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	2750 kVA
Tensión nominal lado HV	31.5 kV
Tensión nominal lado LV	690 V
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia	7.0 %
Pérdidas en carga	18.0 kW
Pérdidas en vacío	2.8 kW
Posiciones de TAP	± 2 x 2.5%

Tabla 3.3 – Datos del transformador de bloque de aerogeneradores

3.5 Datos del transformador principal

El BESS Piloto Punta Sierra se interconecta al SEN por medio del devanado de media tensión de 31.5 kV del transformador de poder de relación 31.5 kV / (220 kV ± 2 × 2.5%) y de capacidad 72/96/120 MVA (ONAN/ONAF/ONAF), de potencia aparente nominal. Este equipo posee cambiador de tomas en vacío.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.4 los parámetros más relevantes para el modelado del transformador.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	72/96/120 MVA
Tensión nominal lado HV	220.0 kV
Tensión nominal lado LV	31.5 V
Grupo de conexión	Ynd1
Impedancia	14.19%
Pérdidas en carga	359.79 kW
Pérdidas en vacío	32.69 kW
Posiciones de TAP	± 2 x 2.5%

Tabla 3.4 – Datos del transformador principal

3.6 Determinación de consumos de SSAA de planta

Tal y como se muestra en la Figura 3.1, los consumos auxiliares del parque son abastecidos y declarados en el contexto del Parque Eólico Punta Sierra, en específico son declarados y aprobados según carta ***DE05615-19***, del CEN. A partir de esa información, se definen los consumos de SSAA de la planta como:

$$P_{consumo,SSAA} = 0.041\ MW$$

3.7 Operación normal de planta

Esta sección tiene como finalidad describir la operación conjunta normal del parque eólico y el BESS Punta Sierra. El controlador conjunto de planta (PPC) se encarga de controlar únicamente al parque eólico, teniendo como punto de control el lado de alta tensión en 220 kV del transformador principal del parque. Por su lado, el BESS Piloto Punta Sierra no cuenta con un PPC y el despacho de este se realiza manualmente por el operador de planta.

De manera complementaria, se presenta en la Figura 3.10 un registro de la operación del parque eólico y BESS a lo largo de un día. El registro **azul** corresponde a la referencia de potencia activa consignada a nivel PPC y los registros **verdes** son la potencia activa a nivel POI (parque eólico más BESS) y BESS. La lógica operativa que posee el parque se define por los siguientes puntos:

- El Parque Eólico es despachado al máximo según el recurso disponible mediante el control del PPC.
- En casos de que el recurso disponible comienza a decaer, el BESS entra en operación en modo descarga de forma manual mediante el operador de planta.
- Cuando el despacho del Parque Eólico disminuye o existe vertimiento de potencia según las condiciones sistémicas, se comienza la carga del BESS desde el Parque Eólico.

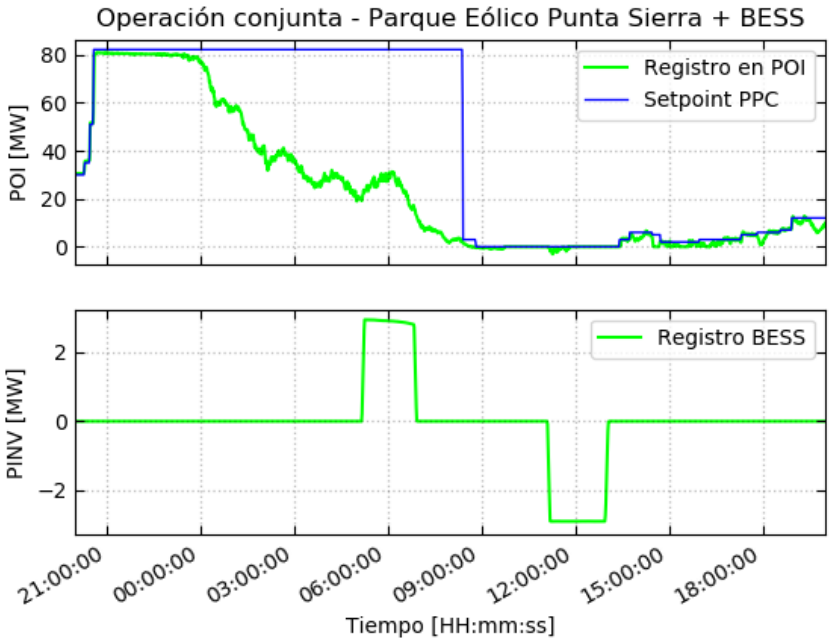

Figura 3.10 – Registro diario de la operación conjunta Parque Eólico + BESS

Es importante destacar que, cuando el parque se encuentra despachado a su potencia máxima y el BESS opera en modo de descarga, el PPC limitará la potencia activa en el POI a un valor de 82.2 MW. Esto significa que, independientemente de la fuente de generación, ya sea el parque eólico o el BESS, el PPC garantizará que la inyección al SEN no supere los 82.2 MW.

4 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

La Potencia Máxima corresponde al máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación. Se determinan valores de Potencia Máxima, considerando distintas condiciones operativas, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Ensayo PMAX 1 – Modo Descarga:** Inyectar el valor máximo de potencia a nivel de POI solamente con la instalación del BESS que permita la operación estable de los inversores en modalidad de inyección (descarga) de energía.
- **Ensayo PMAX 2 – Modo Generación Eólico:** Considerando únicamente el parque eólico, se debe considerar la condición de planta e inyectar la máxima potencia a nivel POI que permita la operación estable de los aerogeneradores. Cabe destacar, que las instalaciones del BESS no se encuentran en servicio durante este escenario.
- **Ensayo PMAX 3 – Modo Generación conjunta:** Inyección conjunta hacia la red, considerando las instalaciones del BESS y del parque eólico en servicio.

Para el caso del BESS Piloto Punta Sierra se cuenta con mediciones de la potencia inyectada/absorbida proveniente de los inversores. A partir de estas mediciones, se determinarán los valores de Potencia Bruta y Potencia Neta de la instalación.

Para la prueba de Potencia Máxima realizada, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Central	Modo de operación	Tiempo carga/descarga	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Punta Sierra + BESS	Parque Eólico	UU	(1)	(2)	(3)	(4)
	BESS – Descarga	UU	(1)	(2)	(3)	(4)
	BESS y PE – Generación conjunta	UU	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

(1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del BESS Piloto Punta Sierra.

(2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada inversor estimados en MW x Cantidad de inversores (considerando todos los inversores en servicio), más los SS.AA. de la central

(3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (MW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

(4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en la barra principal 31.5 kV.

Cabe mencionar que los valores resumidos en la Tabla 4.1 serán presentados para 2 escenarios de operación basado en la normativa indicada en el capítulo 2.

4.1 Ensayo PMAX 1 – Potencia Máxima – Ciclo de descarga

El día 10 de octubre de 2024 se realiza el ensayo de Potencia Máxima considerando la instalación completamente operativa y en la condición de máxima inyección de potencia hacia el sistema.

En la Figura 4.1 se muestra la suma de potencia medida en bornes de todos los inversores del BESS (P_{INV}) registrada en los ensayos (recuadro amarillo en la Figura 3.1).

En las Figura 4.2 se muestra la evolución del estado de carga, el cual evoluciona desde su valor máximo (cercano al 100%) hasta su valor mínimo (cercano al 0%).

El Anexo 6.1 presenta la potencia y estado de carga por cada inversor durante la ejecución del ensayo.

Se han marcado los siguientes hitos durante el ciclo de carga:

- T1 [13:26:02 horas] – Inicio de rampa de potencia activa a Potencia Máxima.
- T2 [13:31:00 horas] – Inicio de operación estable a Potencia Máxima.
- T3 [15:09:57 horas] – Fin de operación estable a Potencia Máxima.
- T4 [15:15:00 horas] – Fin de descarga, se alcanza SOC mínimo

Parámetro	Hora [HH:mm:ss]	Tiempo [HH:mm:ss]	Tasa [MWh/h]
Inicio de rampa de potencia activa a P.Máx	13:26:02	00: 00:00	-
Inicio de operación estable a P.Máx	13:31:00	00:04:58	Variable
Fin de operación estable a P.Máx	15:09:57	01:38:57	2.9883
Fin de descarga, se alcanza SOC mínimo	15:15:00	00:05:03	Variable
	Total	01:49:58	-

Tabla 4.2 – Resumen del ensayo de ciclo de descarga

El tiempo de operación estable del ciclo de descarga es de 1.6492 horas.

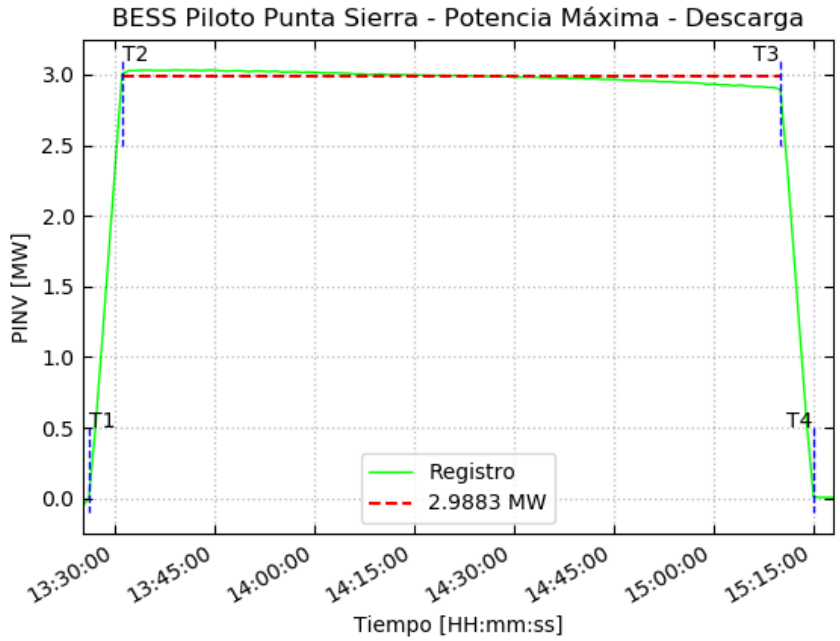

Figura 4.1 – Ciclo de descarga – Potencia inversores

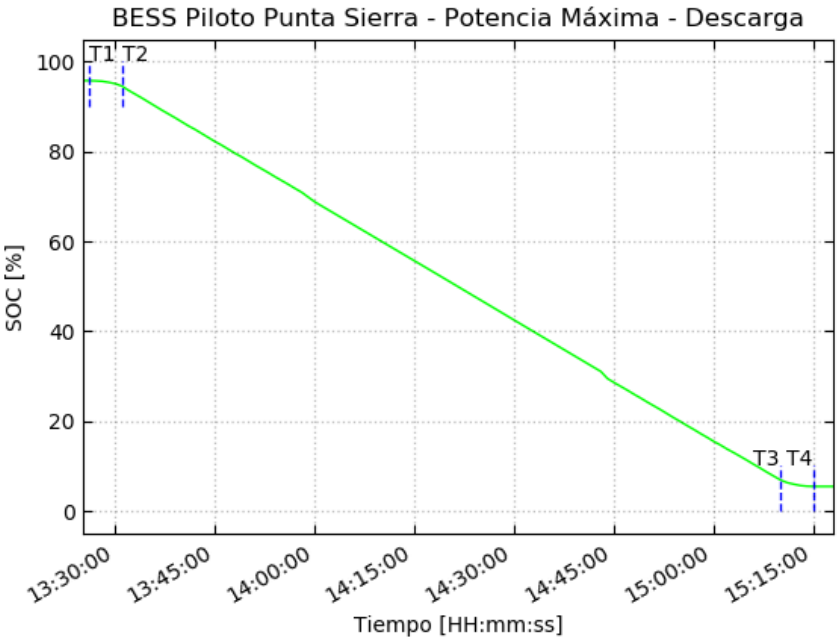

Figura 4.2 – Ciclo de descarga – Estado de carga de baterías

4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de los inversores presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes de los equipos, para la determinación de **Potencia Bruta** (P_{bruta}) se deben agregar los consumos propios de cada inversor.

En base a lo presentado en el capítulo 3.2.2 se han estimado los consumos propios de ambos inversores en 0,0041 MW, por lo tanto, el valor de potencia bruta queda determinado por la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = \sum_i P_{INV_i} + \sum_i Consumos\ propios_i$$

$$P_{bruta} = 2.9883\ MW + 0.0041\ MW = 2.9924\ MW$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA})corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor más los Servicios Auxiliares de la instalación.

Tal como se ha mencionado, los consumos propios de los inversores se han dimensionado en 0.0041 MW. Adicionalmente, en base a lo presentado en la sección 3.6, se ha registrado el consumo de potencia de servicios auxiliares de la planta en 0.0410 MW.

Entonces, la Potencia de Servicios Auxiliares queda determinada por la siguiente expresión.

$$P_{SSAA} = \sum_i Consumos\ propios_i + P_{tr,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 0.0041\ \text{MW} + 0.0410\ \text{MW} = 0.0451\ \text{MW}$$

$$P_{SSAA} = 0.0451\ MW$$

4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

La **Potencia de Pérdidas en la Central** ($P_{perd,central}$) corresponde a las pérdidas del transformador de bloque ($P_{perd,tr.bloque}$) de la instalación, el sistema colector de media tensión ($P_{perd,redMT}$) y las pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TRppal}$), representado según la siguiente expresión.

$$P_{perd,central} = P_{perd,tr.bloque} + P_{perd,redMT} + P_{perd,TRppal}$$

Debido a que la red de MT es prácticamente nula, el valor de pérdidas en la central estará determinado según las pérdidas del transformador de bloque y el transformador principal.

Las pérdidas del transformador de bloque consideran el valor de pérdidas en vacío junto a las pérdidas en carga según la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr.bloque} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{vacío}$$

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador de bloque, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular del ensayo.

Las pérdidas en carga se determinan a partir del valor de potencia inyectada en la barra de 0.69 kV.

$$P_{perd,tr,bloque,carga} = P_{perd,tr,bloque,carga,nominal} \times \left(\frac{P_{INV}}{S_{nom,tr_{bloque}}}\right)^2$$

$$P_{perd,tr,bloque,carga} = 27.7380\ kW \times \left(\frac{2.9883\ MW}{3.1500\ \text{MVA}}\right)^2 = 24.9633\ kW$$

$$P_{perd,tr,bloque,carga} = 24.9633\ kW$$

Por lo tanto, las pérdidas en el transformador de bloque quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr.bloque} = 24.9633\ kW + 5.358\ \text{kW}$$

$$P_{perd,tr.bloque} = 30.3213\ \text{kW}$$

En tanto, la potencia de pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TRppal}$) considera las pérdidas en vacío y carga del equipo. Las pérdidas en carga se determinan a partir del valor de potencia inyectada en la barra principal de 31.5 kV. Las pérdidas en carga se determinan a partir del valor de potencia inyectada en la barra de 0.69 kV menos las pérdidas del transformador de bloque (P_{MT}).

$$P_{MT} = P_{INV} - P_{perd,tr.bloque}$$

$$P_{MT} = 2.9883\ MW - 30.3213\ \text{kW} = 2.9580\ \text{MW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = P_{perd,TR_{ppal},carga,nominal} \times \left(\frac{P_{MT}}{S_{nom,tr_{ppal}}}\right)^2$$

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 359.79\ kW \times \left(\frac{2.9580\ \text{MW}}{120\ MVA}\right)^2 = 0.2186\ kW$$

Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 3.4.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = \ 32.69\ \text{kW}$$

Por lo tanto, las pérdidas del transformador principal quedan determinadas según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TRppal} = P_{perd,TR_{ppal},vacío} + P_{perd,TR_{ppal},carga}$$

$$P_{perd,TRppal} = 32.69\ kW + 0.2186\ kW = 32.9086\ kW$$

Finalmente, la potencia de pérdidas de la central totalizando lo determinado para el sistema colector de media tensión, el transformador de bloque y el transformador principal queda dado por el siguiente valor.

$$P_{perd,central} = P_{perd,tr.bloque} + \ P_{perd,redMT} + P_{perd,TRppal}$$

$$P_{perd,central} = 30.3213\ kW + \ 0.0\ kW + 32.9086\ kW = 38.0479\ kW$$

$$P_{perd,central} = 63.2299\ kW$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** corresponde a la potencia inyectada en el lado de 220 kV del transformador principal de la instalación y se determina según la siguiente expresión.

$$P_{Neta} = P_{INV} - P_{perd,central}$$

$$P_{Neta} = 2.9883\ MW - 0.0632\ MW = 2.9251\ MW$$

4.1.5 Parámetros de descarga

El período de operación estable del ciclo de carga ($T_{descarga}$, destacado con la línea segmentada roja en la Figura 4.1) tiene una duración de 1.6492 horas. Este tiempo permite calcular la energía inyectada ($E_{descarga}$) según la siguiente expresión.

$$E_{descarga} = P_{Neta} * T_{descarga}$$

$$E_{descarga} = 2.9251\ MW * 1.6492\ h = 4.8241\ MWh$$

4.1.6 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Central	Configuración	Tiempo descarga [hrs]	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS Piloto Punta Sierra	Descarga BESS	1.6492	2.9924	0.0041	0.0632	2.9251

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Ciclo de descarga – Operación nominal

4.2 Ensayo PMAX 2 – Potencia Máxima – Parque Eólico

El siguiente ensayo se ha realizado con anterioridad en el proceso de entrada de operación del Parque Eólico Punta Sierra. El desarrollo de las pruebas se presenta en el informe ***"Informe-Técnico-Final-Potencia-Máxima-Parque-Eólico-Punta-Sierra"*** y aprobados según carta ***DE05615-19***.

A continuación, se presenta la tabla resumen de resultados.

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Parque Eólico Punta Sierra	82.6220	0.0410	1.3960	81.1850

Tabla 4.4 – Potencia Máxima – Parque Eólico Punta Sierra

4.3 Ensayo PMAX 3 – Potencia Máxima – Generación conjunta

El día 17 de enero de 2025 se realizó el ensayo de generación conjunta considerando tanto el BESS como el parque eólico completamente operativos. Para este modo de operación, tanto el BESS inyecta la mayor cantidad de potencia posible y el Parque Eólico inyecta la potencia faltante sin superar el límite de potencia de 82.2 MW.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de potencia inyectada en el lado de baja tensión de 0.69 kV de la instalación considerando ambos inversores del BESS en servicio. En tanto, en la Figura 4.4, se presenta el registro de potencia medida en el lado de alta tensión de 220 kV, correspondiente al Punto de Interconexión (POI), durante todo el ciclo de generación conjunta. Se destaca con la línea segmentada **roja** la potencia media del período de operación estable.

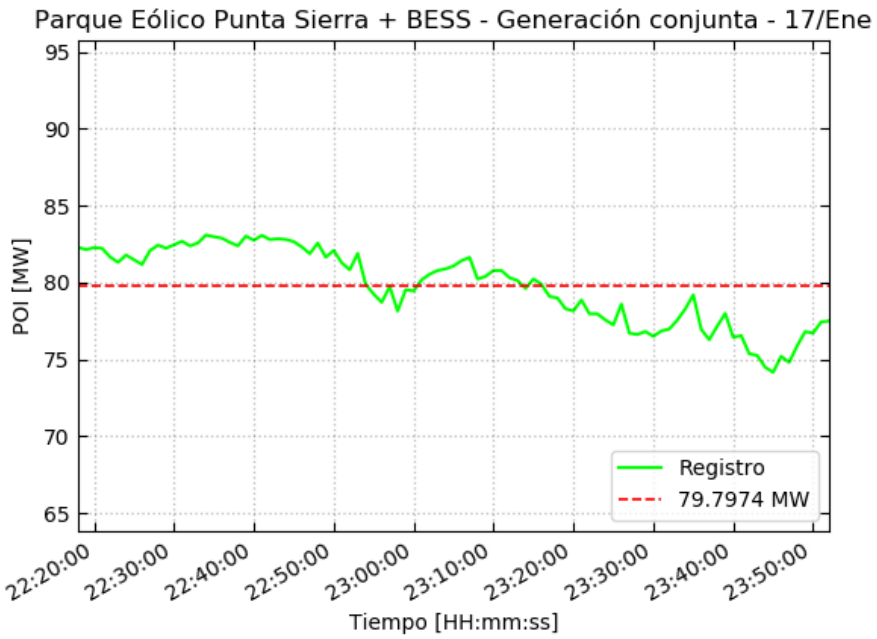

Figura 4.3 – Potencia de inversores BESS – Descarga de baterías

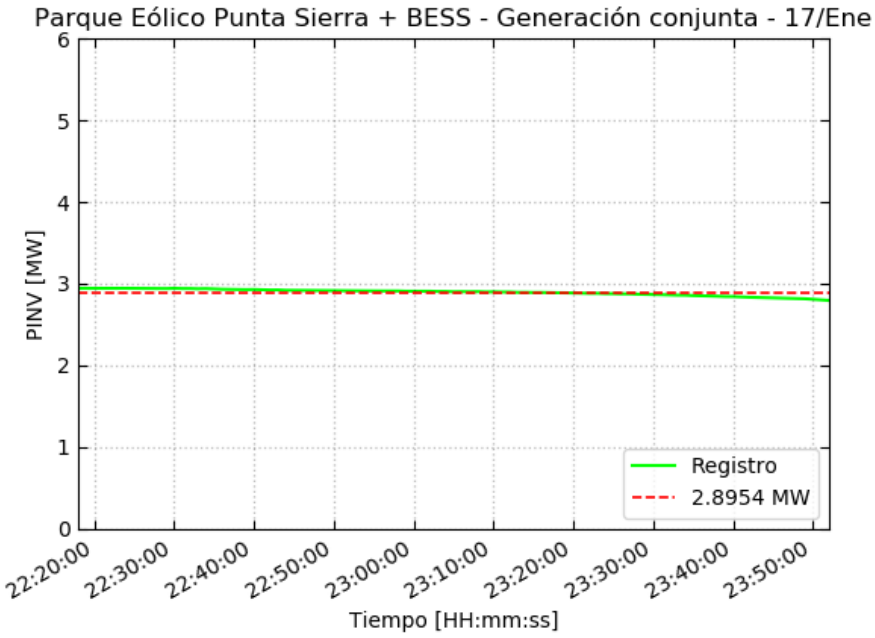

Figura 4.4 –Registro de medición a nivel POI – Potencia Neta

4.3.1 Potencia Neta

La **Potencia Neta** corresponde a la potencia inyectada en el lado de 220 kV del transformador principal. Este valor se obtiene considerando la potencia registrada en la barra de 0.69 kV, las pérdidas de los servicios auxiliares y las pérdidas de la central (incluyendo las pérdidas del transformador de bloque y del transformador principal).

$$P_{Neta} = P_{bruta} - P_{SSAA} - P_{perd,central}$$

En la Figura 4.4 se observa la potencia neta medida en el punto de interconexión. Se destaca con la línea segmentada **roja** la potencia media del período de operación estable. Este corresponde como la **Potencia Neta**.

$$P_{Neta} = 79.7974\ MW$$

4.3.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor más los Servicios Auxiliares de la instalación, más los Servicios Auxiliares de la central.

Tal como se ha mencionado, los consumos propios de los inversores se han dimensionado en 0.0041 MW. Adicionalmente, en base a lo presentado en la sección 3.6, se ha registrado el consumo de potencia de servicios auxiliares de la planta en 0.041 MW.

Entonces, la Potencia de Servicios Auxiliares queda determinada por la siguiente expresión.

$$P_{SSAA} = \sum_i Consumos\ propios_i + P_{tr,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 0.0041\ \text{MW} + 0.041\ \text{MW} = 0.0451\ \text{MW}$$

$$P_{SSAA} = 0.0451\ MW$$

4.3.3 Potencia de Pérdidas en la central

La **Potencia de Pérdidas en la central** ($P_{perd,central}$) corresponde a la suma de las pérdidas del sistema colector en media tensión de las instalaciones del BESS ($P_{perd,central_{BESS}}$), sistema colector en media tensión del parque eólico ($P_{perd,central_{Parque_Eólico}}$) y las pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TRppal}$),

$$P_{perd,central} = P_{perd,central_{BESS}} + P_{perd,central_{Parque_Eólico}} + P_{perd,TRppal}$$

Previamente, en la sección 4.1.3 se han definido las pérdidas de las instalaciones correspondiente al BESS, la cuales están definidas por el transformador de bloque y se determinan como:

$$P_{perd,central_{BESS}} = 0.0303\ MW$$

Las pérdidas de la central respecto al parque eólico se presentan en el informe ***"Informe-Técnico-Final-Potencia-Máxima-Parque-Eólico-Punta-Sierra"*** y aprobados según carta ***DE05615-19*** (ver anexo 6.4), se determinan como:

$$P_{perd,central_{Parque_Eólico}} = 1.3960\ MW$$

En tanto, la potencia de pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TRppal}$) considera las pérdidas en vacío y carga del equipo. Las pérdidas en carga de determinan a partir del valor de potencia inyectada en la barra principal de 220 kV.

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = P_{perd,TR_{ppal},carga,nominal} \times \left(\frac{P_{Neta}}{S_{nom,tr_{ppal}}}\right)^2$$

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 359.79\ kW \times \left(\frac{79.7974\ MW}{120\ MVA}\right)^2 = 159.0978\ kW$$

Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 3.4.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = \ 32.69 \text{ kW}$$

Por lo tanto, las pérdidas del transformador principal quedan determinadas según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TRppal} = P_{perd,TR_{ppal},vacío} + P_{perd,TR_{ppal},carga}$$

$$P_{perd,TRppal} = 32.69\ kW + 159.0978\ kW = 191.7878\ MW$$

$$P_{perd,TRppal} = 0.1918\ MW$$

Finalmente, la potencia de pérdidas de la central totalizando lo determinado para las instalaciones del BESS, del parque eólico y el transformador principal queda dado por el siguiente valor.

$$P_{perd,central} = P_{perd,central_{BESS}} + P_{perd,central_{Parque_Eólico}} + P_{perd,TRppal}$$

$$P_{perd,central} = 0.0303\ MW + \ 1.3960\ MW + 0.1918\ MW = 1.6181\ MW$$

$$P_{perd,central} = 1.6181\ MW$$

4.3.4 Potencia Bruta

La **Potencia Bruta** (P_{bruta}) del parque corresponde a la potencia generada en bornes de los equipos, es decir los inversores BESS y los aerogeneradores del parque eólicos. Este valor se obtiene considerante la Potencia Neta, los consumos de servicios auxiliares de la planta y las pérdidas de la central.

$$P_{bruta} = P_{Neta} + P_{SSAA} + P_{perd,central}$$

$$P_{bruta} = 79.7974\ MW + 0.0451\ MW + 1.6181\ MW = 81.4606\ MW$$

La medición de potencia presentada en la Figura 4.3 se realiza en bornes de los equipos, para la determinación de **Potencia Bruta** ($P_{bruta,BESS}$) de los inversores BESS se deben agregar los consumos propios de los inversores.

En base a lo presentado en el capítulo 3.2.2 se han estimado los consumos totales de ambos inversores en 0.0041 MW, por lo tanto, el valor de potencia bruta queda determinado por la siguiente expresión.

$$P_{bruta,BESS} = \sum_i P_{inv} + \sum_i Consumos\ propios_i$$

$$P_{bruta,BESS} = 2.8954\ MW + 0.0041\ MW$$

$$P_{bruta,BESS} = 2.8995\ MW$$

Finalmente, la **Potencia Bruta** ($P_{bruta,WTG}$) correspondiente a los aerogeneradores del parque eólico, están definidos por la Potencia Bruta del parque y de los inversores BESS.

$$P_{bruta,WTG} = P_{bruta} - P_{bruta,BESS}$$

$$P_{bruta,WTG} = 81.4606\ MW - (2.8995\ MW) = 78.5611\ MW$$

$$P_{bruta,WTG} = 78.5611\ MW$$

4.3.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE + BESS	81.4606	0.0451	1.6181	79.7974

Tabla 4.5 – Mínimo Técnico – Carga de baterías desde ERNC

Nota: el valor de Potencia Bruta contempla una generación de 78.5611 MW desde los aerogeneradores del parque eólico y una generación de 2.8995 MW desde los inversores BESS.

5 CONCLUSIONES

En base a los cálculos presentados, se muestra continuación el resumen de resultados. Se presentan los valores obtenidos para cada una de las condiciones operativas consideradas.

Central	Modo de operación	Tiempo carga/descarga [hr]	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Punta Sierra + BESS	BESS – Descarga	1.6492	2.9924	0.0041	0.0632	2.9251
	Parque Eólico	-	82.6220	0.0410	1.3960	81.1850
	BESS y PE Generación conjunta	-	81.4606	0.0451	1.6181	79.7974

Tabla 5.1 – Resumen de resultados – Potencia máxima

Las pérdidas en la central corresponden en su totalidad a las pérdidas del transformador de la instalación. Se destaca que la red MT es prácticamente nula.

6 ANEXOS

6.1 Registro por inversor durante el ensayo

6.1.1 Descarga

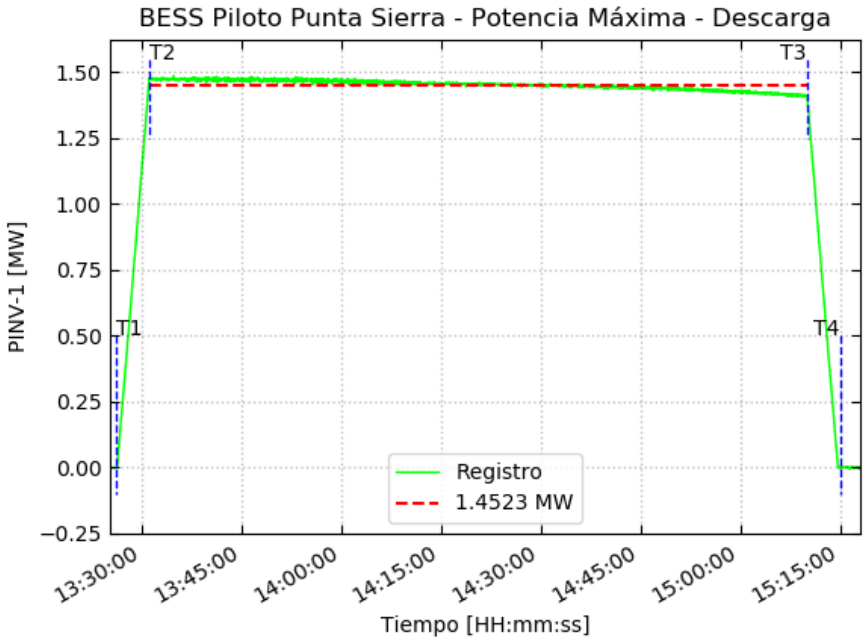

Figura 6.1 – Ciclo de Descarga – Potencia inversor 1

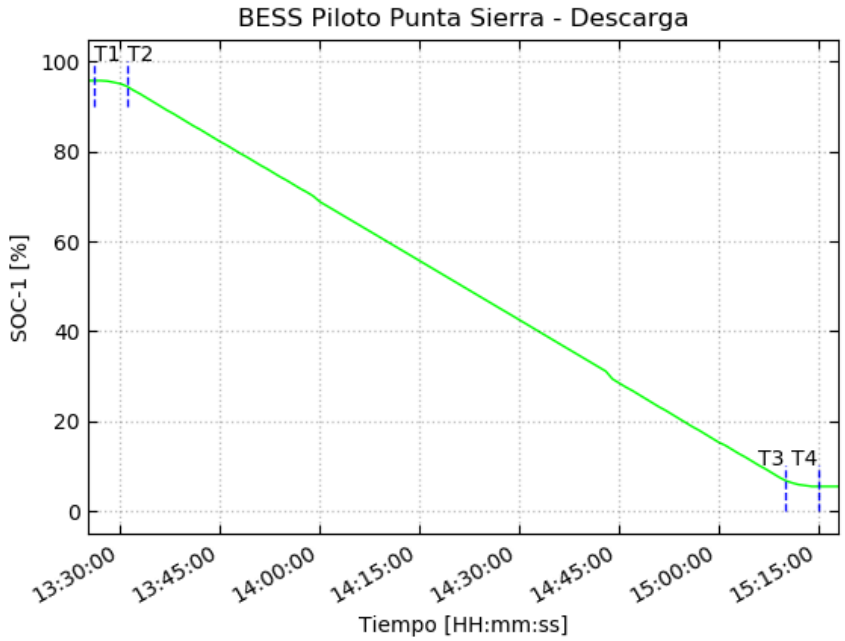

Figura 6.2 – Ciclo de Descarga – Estado de carga de baterías de inversor 1

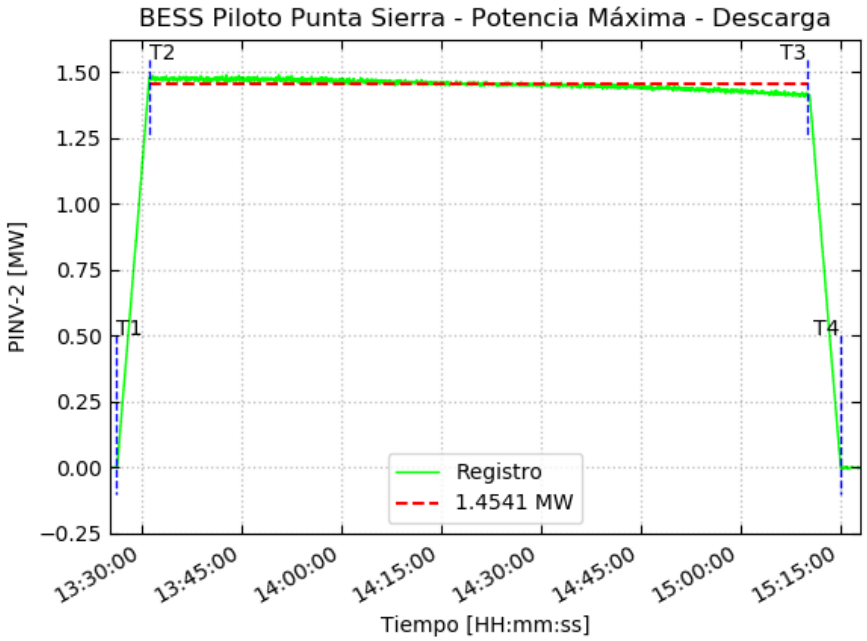

Figura 6.3 – Ciclo de Descarga – Potencia inversor 2

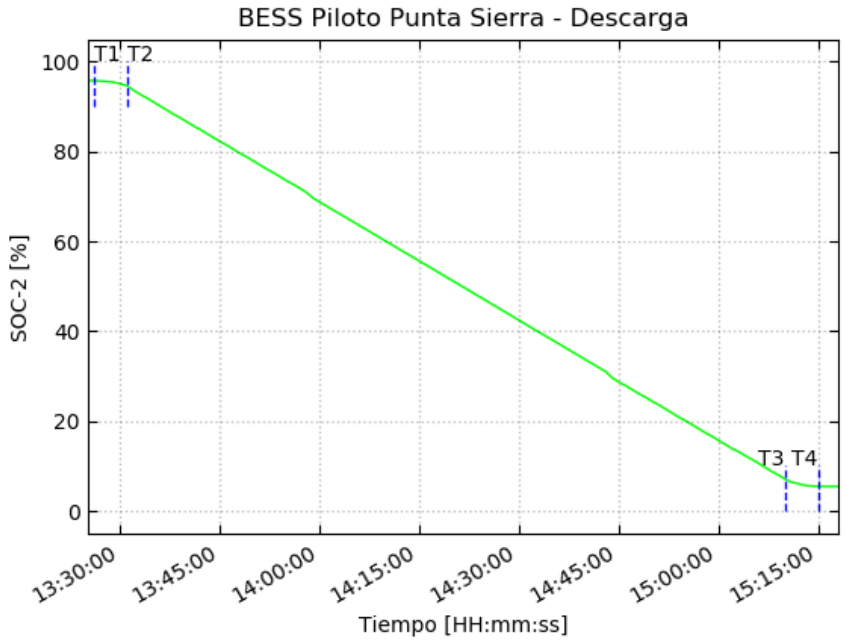

Figura 6.4 – Ciclo de Descarga – Estado de carga de baterías de inversor 2

6.2 Especificaciones Técnicas

Se detalla a continuación las especificaciones técnicas y garantías de desempeño del BESS Piloto Punta Sierra a través de la Figura 6.5 y Figura 6.6.

Model	CG/HSL10AD-20H2981A
DC Side	
Battery Type	LFP-280Ah
Configuration	10P416S
Rated Energy (kWh)	2981.88
Rated Voltage (V_{dc})	1331.2
Voltage Range (V_{dc})	1206.4~1476.8
Rated Power (kW)	1490.94@25℃
Rated Charge and Discharge Current (A)	1120
Maximum Pulse Current (A)	1550 (30s)
Available Operation SOC	2%~98.5% (DOD 96.5%)
General Parameters	
Dimensions (W*D*H)	6058*2438*2896mm
Weight (kg)	≤38000
IP Rating	Pack-IP67, PDU-IP55, Container-IP55
Operating Humidity	0~95%RH (non-condensing)
Operating Temperature	-20~60℃
Altitude (m)	≤2000
Auxiliary Power Supply	400Vac 50Hz/480Vac 60Hz
Communication Interface	Ethernet, RS485
Cooling Method	Smart Liquid Cooling
Fire Suppression System	Temperature sensing, smoke sensing, combustible gas detection, cabin level aerosols (electric starting) ventilation system, water fire protection
Certifications	UN38.3, IEC61000, IEC62619, IEC60730, IEC63056, IEC62477, UL9540A, UL1973

Figura 6.5 – Especificaciones Técnicas

7 Guarantee

Warranty period:5 years

Performance Guarantee Period: Performance Guarantee will apply whenever the SOH is above 70% regardless of the number of power cycles, however the one cycle per day is recommended.

7.1 Performance Test

The principal will run a performance Guarantee Test as part of the testing and commissioning of he BESS. After system finish commissioning, The principal will run the performance guarantee test on around each anniversary of commercial Operations. The contractor will provide remote technical support.

The supplier warrants and guarantees that the energy capacity measured-Current for each cycle for each BESS, for each day of the operation year, will be meet of exceeded the energy capacity guaranteed current based on the conditions of testing.

The performance test shall consist of five(5)continuous days of normal automatic operation under the control of the SCADA/auto bidder software or similar.

7.2 Round trip efficiency guarantee

The supplier guarantees that the round trip efficiency-measured for each BESS, for an operation year, will meet or exceed the round-trip efficient guaranteed for the operation year based on the conditions of testing. The round trip efficiency-guarantee will be measured annually for each operating year.

The performance test shall consist of 5 continuous days of normal automatic operation under the control of the SCADA or bidder software or similar. Performance shall be fault and alarm free to constitute a successful test.

The test conditions under which these tests are performance should be noted.The seller shall provide a RTE guarantee curve of life cycle of battery.

Figura 6.6 – Especificaciones Técnicas garantizadas de desempeño

6.3 Pruebas de fábrica de baterías

1号电池舱测试数据 Battery Cabinet #1 Test Data											
序号	充电起始时间	累计起始充电量	充电终止时间	终止累计充电量	总充电量	放电起始时间	累计起始放电量	放电终止时间	终止累计放电量	总放电量	能量效率
No.	Starting Time of Charge	Starting Charge Capacity	End Time of Charge	End of Charge Capacity	Total Charge Capacity	Starting Time of Discharge	Starting Discharge Capacity	End Time of Discharge	End of Discharge Capacity	Total Discharge Capacity	Charge/Discharge Cycle Efficiency
Battery Cluster 1	12:29:53	1831.03	14:38:51	2220.74	389.71	15:32:27	1821.28	17:30:34	2189.4	368.12	94.46%
Battery Cluster 2	12:29:53	1833 34	14:38:51	2222.22	388.88	15:32:27	1824.39	17:30:34	2192.18	367.79	94.58%
Battery Cluster 3	12:29:53	1823.18	14:38:51	2212.37	389.19	15:32:27	1813.13	17:30:34	2180.64	367.51	94.43%
Battery Cluster 4	12:29:53	1815.14	14:38:51	2201.31	386.17	15:32:27	1807.48	17:30:34	2172.96	365.48	94.64%
Battery Cluster 5	12:29:53	1805.02	14:38:51	2190.26	385.24	15:32:27	1795.69	17:30:34	2159.5	363.81	94.44%
Battery Cluster 6	12:29:53	1803.58	14:38:51	2188.02	384.44	15:32:38	1795.3	17:30:34	2158.41	363.11	94.45%
Battery Cluster 7	12:29:53	1823.85	14:38:51	2212.33	388.48	15:32:27	1814 15	17:30:34	2181.19	367.04	94.48%
Battery Cluster 8	12:29:53	1820.93	14:38:51	2208.39	387.46	15:32:38	1811.88	17:30:34	2178.23	366.35	94.55%
Battery Cabinet #1					3099.57					2929.21	94.50%

Figura 6.7 – Pruebas FAT contenedor 1

2号电池舱测试数据 Battery Cabinet #2 Test Data											
序号	充电起始时间	累计起始充电量	充电终止时间	终止累计充电量	总充电量	放电起始时间	累计起始放电量	放电终止时间	终止累计放电量	总放电量	能量效率
No.	Starting Time of Charge	Starting Charge Capacity	End Time of Charge	End of Charge Capacity	Total Charge Capacity	Starting Time of Discharge	Starting Discharge Capacity	End Time of Discharge	End of Discharge Capacity	Total Discharge Capacity	Charge/Discharge Cycle Efficiency
Battery Cluster 1	12:29:43	1438.07	14:36:41	1828.59	390.52	15:32:13	1456.29	17:30:24	1824.56	368.27	94.30%
Battery Cluster 2	12:29:43	1436.95	14:36:41	1826.73	389.78	15:32:18	1455.39	17:30:24	1823.23	367.84	94.37%
Battery Cluster 3	12:29:43	1430.55	14:36:41	1819.26	388.71	15:32:18	1449.62	17:30:24	1816.63	367.01	94.42%
Battery Cluster 4	12:29:43	1428.92	14:36:41	1816.73	387.81	15:32:13	1445.99	17:30:24	1812.08	366.09	94.40%
Battery Cluster 5	12:29:43	1423.21	14:36:41	1810.06	386.85	15:32:18	1442.04	17:30:24	1807.09	365.05	94.36%
Battery Cluster 6	12:29:44	1424.78	14:36:41	1812.17	387.39	15:32:18	1443.39	17:30:25	1808.74	365.35	94.31%
Battery Cluster 7	12:29:44	1440.12	14:36:41	1829.31	389.19	15:32:18	1458.59	17:30:25	1826.08	367.49	94.42%
Battery Cluster 8	12:29:44	1435.67	14:36:41	1824.5	388.83	15:32:18	1454.54	17:30:25	1821.67	367.13	94.42%
Battery Cabinet #2					3109.08					2941.78	94.62%

Figura 6.8 – Pruebas FAT contenedor 2

- 1#电池舱直流侧数据：容量测试 2929.21KWh，转换效率 94.50%;

1# Battery container DC side data: capacity test 2929.21KWh, conversion efficiency 94.50%.

- 2#电池舱直流侧数据：容量测试 2941.78KWh，转换效率 94.62%;

2# Battery container DC side data: capacity test 2941.78KWh, conversion efficiency 94.62%.

Figura 6.9 – Resumen de resultados CT y RTE

6.4 Carta de aprobación Potencia Máxima del Parque Eólico Punta Sierra

Tabla 1: Parámetros de Potencia Máxima del Parque Eólico Punta Sierra

Central/Unidad	Potencia Máxima Bruta [MW]	SS/AA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Máxima Neta [MW]
Parque Eólico Punta Sierra	82,622	0,041	1,396	81,185

Figura 6.10 – Carta de aprobación de Potencia Máxima