ESTUDIOS SISTEMICOS

POR UN MUNDO MAS RENOVABLE

CLIENTE: ENEL GREEN POWER S.A.

INFORME DE POTENCIA MÁXIMA (PMAX)

Proyecto: Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña

CÓDIGO: 22095-INF-EGP-091	REVISIÓN C

Fecha de emisión: 16.10.2024

Green Power

www.estudiossistemicos.cl

El presente documento fue preparado por los siguientes profesionales de Estudios Sistémicos SpA.

Profesional	Correo	Departamento
Emiliano Chiapponi	emiliano.chiapponi@estudiossistemicos.cl	Departamento de Ensayos
Franco Leonel Musso	franco.musso@estudiossistemicos.cl	Departamento de Ensayos
Diego Millán Cartes	diego.millan@estudiossistemicos.cl	Departamento de Operaciones

La fecha de emisión de cada revisión y la actividad de los respectivos encargados se indican en la siguiente tabla:

Revisión	Fecha	Realizó	Revisó	Aprobó	Comentarios
A	10.09.2024	ENC	FLM	DMC	Para presentar
B	12.09.2024	ENC	FLM	DMC	Contempla observaciones realizadas por ENEL
C	16.10.2024	ENC	FLM	DMC	Contempla las observaciones del documento “COR-GO-DCO-PMAX-PE-BESS_PE_La_Cabana_ampliacion”

No se permiten copias de este documento sin la autorización de ESTUDIOS SISTÉMICOS SpA

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 7
1.1 Definiciones y señales 10
1.2 Personal participante 11
2. ASPECTOS NORMATIVOS 12
3. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL 12
3.1 Diagrama unilineal simplificado (DUS) 15
3.2 Baterías 22
3.3 Inversores 24
3.4 Transformadores de bloque 26
3.5 Transformador de poder 27
3.6 Transformador de servicios auxiliares (SSAA) 28
3.7 Consumo de los servicios auxiliares 29
3.8 Transformador ZigZag (NEC/NER) 29
3.9 Banco de condensadores (BC) 29
4. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA MÁXIMA 30
4.1 Introducción 30
4.2 Nomenclatura 30
4.3 Objetivos 32
4.4 Señales registradas 33
4.5 Potencia máxima – BESS en descarga – PE fuera de servicio 34
4.5.1 Ensayos realizados 34
4.5.2 Potencia neta (BESS) 37
4.5.3 Potencia bruta (BESS) 37
4.5.4 Consumo de los servicios auxiliares (BESS) 37
4.5.5 Pérdidas en la central (BESS) 38
4.5.6 Agregado del transformador de poder 41
4.6 Potencia máxima – BESS en descarga – PE en servicio 43
4.6.1 Ensayos realizados 43
4.6.2 Potencia bruta (BESS) 47
4.6.3 Consumo de los servicios auxiliares (BESS) 48
4.6.4 Pérdidas (BESS) 49
4.6.5 Potencia Bruta (PE) 51
4.6.6 Perdidas en el transformador de poder 52
4.6.7 Perdidas (PE) 52
4.6.8 Perdidas en la central (PE + BESS) 53
4.6.9 Consumo de servicios auxiliares (PE + BESS) 53
4.6.10 Potencia bruta (PE + BESS) 54
4.6.11 Potencia neta (PE + BESS) 54
4.7 Potencia máxima – BESS en carga – PE en servicio 55
4.7.1 Ensayos realizados 55
4.7.2 Potencia bruta (BESS) 60
4.7.3 Consumo de los servicios auxiliares - BESS 61

4.7.4 Pérdidas (BESS) 62
4.7.5 Potencia bruta (PE) 64
4.7.6 Perdidas en el transformador de poder 64
4.7.7 Perdidas (PE) 65
4.7.8 Perdidas en la central (PE + BESS) 66
4.7.9 Consumo de servicios auxiliares (PE + BESS) 66
4.7.10 Potencia bruta (PE + BESS) 66
4.7.11 Potencia neta (PE + BESS) 67

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES 68

6. ANEXOS 70

7. REFERENCIAS 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Abreviaturas y significados 10
Tabla 1-2: Listado de señales 11
Tabla 1-3: Personal participante en los ensayos en terreno 11
Tabla 3-1: Parámetros principales – Contenedores de baterías SAFT [6] 23
Tabla 3-2: Parámetros principales – Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [7] 24
Tabla 3-3: Consumo de servicios auxiliares - Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [8]. 24
Tabla 3-4: Parámetros principales de los transformadores de bloque 26
Tabla 3-5: Parámetros principales del transformador de poder [13] 27
Tabla 3-6: Parámetros principales de los transformadores de servicios auxiliares [14] [15] 28
Tabla 3-7: Consumo de servicios auxiliares [16] 29
Tabla 3-8: Parámetros principales del transformador ZigZag (NEC/NER) [17] 29
Tabla 3-9: Parámetros principales del banco de condensadores [18] 29
Tabla 5-1: Resumen de resultados PMAX – BESS y Parque eólico La Cabaña 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Ubicación geográfica – Parque Eólico La Cabaña 12
Figura 3-2: Captura de pantalla del SCADA del PPC maestro de la indicación de bloqueo de carga del BESS desde la red 13
Figura 3-3: Captura de pantalla del SCADA del PPC maestro tras la limitación del BESS al reducir la potencia activa del PE 14
Figura 3-4: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – BESS Parque Eólico La Cabaña [2] 16
Figura 3-5: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – PE La Cabaña 1/2 [3] 17
Figura 3-6: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – PE La Cabaña 2/2 [3] 18
Figura 3-7: Diagrama unilineal funcional - Subestación La Cabaña 33 kV [4] 19
Figura 3-8: Diagrama unilineal funcional - Subestación La Cabaña 220 kV [5] 20
Figura 3-9: Esquema simplificado del Parque Eólico La Cabaña junto al BESS y su punto de conexión al SEN 21
Figura 3-10: Composición de los contenedores de baterías SAFT [6] 22
Figura 3-11: Máxima potencia de carga y descarga en función del SOC [6] 22
Figura 3-12: Tensión de salida, para carga y descarga, en función del SOC [6] 23
Figura 3-13: Curva de capacidad - Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [9] 25
Figura 4-1: Esquema simplificado de un BESS junto con un parque eólico 30
Figura 4-2: Relación entre los valores a obtener y los elementos del BESS Parque Eólico La Cabaña y del Parque Eólico La Cabaña 33
Figura 4-3: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio 35
Figura 4-4: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio 36
Figura 4-5: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio 36
Figura 4-6: PPOI – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 44
Figura 4-7: PBRUTA WTG y VWTG – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 45
Figura 4-8: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 45

Figura 4-9: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 46
Figura 4-10: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 46
Figura 4-11: Potencia activa en bornes de los aerogeneradores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio 47
Figura 4-12: Actuación de la limitación de carga del BESS del PPC maestro 56
Figura 4-13: PPOI – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio 57
Figura 4-14: PBRUTA WTG y VWTG – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio . 58
Figura 4-15: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio 58
Figura 4-16: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio 59
Figura 4-17: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio 59
Figura 4-18: Potencia activa en bornes de los aerogeneradores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio 60
Figura 6-1: Hoja de datos – Modulo de baterías SAFT [6] 70
Figura 6-2: Consumo de los servicios auxiliares – Modulo de baterías SAFT [6] 70
Figura 6-3: Hoja de datos - Inversores Power Electronics FP3290K y FP4390K [7] 71
Figura 6-4: Consumo de servicios auxiliares – Inversores Power Electronics FP3290K y FP4390K [8] 72
Figura 6-5: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69 kV de 4,39 MVA [10] 74
Figura 6-6: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA [11] 75
Figura 6-7: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA [12] 76
Figura 6-8 Fotografía de placa - Transformador de poder MT/AT 77
Figura 6-9: Pruebas FAT - Transformador de poder MT/AT [13] 78
Figura 6-10: Hoja de datos – Transformador de SSAA (NUP 4041) [14] 79
Figura 6-11: Fotografía de placa – Transformador de SSAA (NUP 4041) 79
Figura 6-12: Hoja de datos – Transformador de SSAA (NUP 4697) [15] 80
Figura 6-13: Fotografía de placa – Transformador de SSAA (NUP 4697) 80
Figura 6-14: Consumo de los servicios auxiliares [16] 81
Figura 6-15: Hoja de datos - Banco de condensadores [18] 82
Figura 6-16: Características principales - Transformador ZigZag [17] 83
Figura 6-17: Curva de capacidad del BESS en el POI (33 kV) 84
Figura 6-18: Ensayo de validación del SOC con el BESS en Carga 85
Figura 6-19: Ensayo de validación del SOC con el BESS en Descarga 86

INFORME DE POTENCIA MÁXIMA
AMPLIACIÓN BESS PARQUE EÓLICO LA CABAÑA

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe documenta el proceso de determinación, y los resultados correspondientes, al cálculo de potencia máxima del proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña, perteneciente a ENEL GREEN POWER S.A.. Los resultados presentados en este informe están basados en pruebas realizadas en terreno y fueron obtenidos de acuerdo con lo establecido en el *"ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras"* [1].

El proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4697) se encuentra localizado en la región de La Araucanía, al interior de la comuna de Angol, Chile. El mismo consiste en la ampliación del proyecto BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4041). Está ampliación agrega el circuito N°3 al BESS y amplia uno de los circuitos ya existentes, el circuito N°1. El circuito agregado, circuito N°3, está compuesto por 21 contenedores de baterías de 2,2 MWh de capacidad y 7 inversores Power Electronics FP4390K de 4,39 MVA de potencia nominal. Mientras que la ampliación del circuito N°1 agrega 10 contenedores de baterías de 2,2 MWh de capacidad, 2 inversores de 3,29 MVA y 2 inversores de 4,39 MVA de potencia nominal. A continuación, se detallan los principales componentes de los circuitos originales del BESS (NUP 4041) junto con los componentes agregados durante la ampliación (NUP 4697). Los componentes agregados durante la ampliación del BESS se presentarán en color **azul**.

- Circuito BESS N°1:
  - Potencia Nominal (DC): 9,9 MW + 11 MW
  - Energía Nominal (DC): 19,8 MWh + 22 MWh
  - Factor de Potencia: 0,95
  - N° de contenedores de baterías: 9 + 10
    - (9) Saft Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP (2,2 MWh)
    - (10) Saft Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP (2,2 MWh)
  - N° de Inversores: 3 + 4
    - (3) Power Electronics FP4390K (4,39 MVA)
    - (2) Power Electronics FP4390K (4,39 MVA)
    - (2) Power Electronics FP3290K (3,29 MVA)
  - N° de Transformadores de bloque: 2 + 2
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN)
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN)
- Circuito BESS N°2:
  - Potencia Nominal (DC): 24,2 MW
  - Energía Nominal (DC): 48,4 MWh
  - Factor de Potencia: 0,95
  - N° de contenedores de baterías: 22
    - (22) Saft Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP (2,2 MWh)
  - N° de Inversores: 8
    - (6) Power Electronics FP4390K (4,39 MVA)
    - (2) Power Electronics FP3290K (3,29 MVA)

- N° de Transformadores de bloque: 4
  - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN)
  - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)

- Circuito BESS N°3:
  - Potencia Nominal (DC): 23,1 MW
  - Energía Nominal (DC): 46,2 MWh
  - Factor de Potencia: 0,95
  - N° de contenedores de baterías: 21
    - (21) Saft Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP (2,2 MWh)
  - N° de Inversores: 7
    - (7) Power Electronics FP4390K (4,39 MVA)
  - N° de Transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN)
    - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)

Originalmente, el BESS, totalizaba una potencia nominal del 34,1 MW (DC) y una capacidad de 68,2 MWh (DC). Mientras que ampliación agrega 34,1 MW (DC) de potencia nominal y una capacidad de 68,2 MWh (DC). Es decir, el proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña duplica la potencia y la capacidad instalada del BESS.

Es importante destacar que, a partir de este párrafo, cuando se hace referencia al BESS Parque Eólico La Cabaña o simplemente al BESS, se está haciendo referencia al conjunto formado por el proyecto NUP 4041 y el proyecto NUP 4697, ya que este último consta de una ampliación del proyecto original. Este informe presenta los resultados del BESS en su condición actual, incluyendo el proyecto original (NUP 4041) y su ampliación (NUP 4697).

La red colectora de media tensión del parque cuenta con tres (3) circuitos colectores destinados al BESS, los cuales operan en 33 kV. Uno de estos circuitos colectores fue agregado durante la ampliación. Dichos circuitos colectores, junto a los restantes siete (7) circuitos correspondientes a los aerogeneradores del Parque Eólico la Cabaña, confluyen en la subestación La Cabaña. En la misma, su tensión es elevada mediante un transformador de 220/33 kV de 120/150 MVA (ONAN/ONAF) de potencia nominal. La potencia generada por el parque en su conjunto (aerogeneradores + BESS) es transmitida, por medio de la nueva línea 220 kV La Cabaña – Renaico, a la red de transmisión del sistema interconectado.

Además, el BESS, cuenta con dos transformadores propios de Servicios Auxiliares (SS.AA.) de 33/0,4 kV de 800 kVA (ONAN) de potencia nominal. Uno de estos transformadores fue agregado durante la ampliación. Por otro lado, el Parque Eólico La Cabaña, cuenta con un transformador de 33/0,4 kV de 150 kVA (ONAN) para la alimentación de sus servicios auxiliares. Sumado a esto, el parque, también posee un transformador ZigZag para brindar referencia a tierra y dos bancos de capacitores que totalizan una potencia de 25 MVAr (12,5 MVAr + 12,5 MVAr).

El BESS cuenta con su propio control conjunto de planta (PPC), implementado por PowerFactors, modelo Inaccess. El mismo controla el BESS en el punto de 33 kV Indicado en la Figura 3-4. En dicho punto se realizarán las mediciones durante los ensayos propuestos, a nivel PPC, en este documento.

La hoja de datos de los inversores del BESS Parque Eólico La Cabaña se presenta en el ANEXO II. Adicionalmente, las hojas de datos de los contenedores de baterías y transformadores de bloques se presentan en el ANEXO I y ANEXO III, respectivamente.

El PPC del BESS Parque Eólico La Cabaña realiza la medición de corriente de sus tres (3) circuitos por separado. Esto se debe a que no hay disponible un único punto de medición que contemple la corriente de los tres (3) circuitos del BESS. Debido a esto, los datos utilizados para la realización del presente informe fueron adquiridos con el sistema de adquisición de datos del PPC, propio del BESS Parque Eólico La Cabaña. Dicho sistema cuenta con una tasa de muestreo de 20 ms y fue utilizado para registrar las variables de interés, de cada uno de los circuitos del BESS, durante los ensayos que se presentan en este informe.

Los resultados del presente informe se basan en los ensayos realizados sobre el BESS + PE La Cabaña durante los días 7 y 8 de agosto del 2024.

El objetivo principal de las pruebas, realizadas en terreno, es obtener la sumatoria del valor máximo de potencia activa bruta que cada inversor puede sostener en sus bornes, junto con la potencia activa neta que el BESS es capaz de inyectar en su punto de interconexión. Tanto para la potencia activa bruta como para la potencia activa neta, se presentarán los valores medidos y corregidos cuando corresponda.

1.1 Definiciones y señales

En la Tabla 1-1 se presentan las abreviaturas, junto con su significado, utilizadas en el presente documento. Adicionalmente, en la Tabla 1-2, se presenta el listado de señales que se utilizan en las diferentes gráficas que se presentan en este documento.

Tabla 1-1: Abreviaturas y significados

Abreviatura	Descripción
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
AT	Alta Tensión – 220 kV
MT	Media Tensión – 33 kV
BT	Baja Tensión – 0,69 kV
POI	Punto de Interconexión (‘Point Of Interconnection’) 220 kV
BESS	Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías (‘Battery Energy Storage System’)
POI BESS	Punto de interconexión (‘Point Of Interconnection’) del BESS 33 kV
SE	Subestación
LCA	La Cabaña
PPC	Control Conjunto de Planta (‘Power Plant Controller’)
INV	Inversor
SOC	Estado de carga de las baterías del BESS (‘State Of Charge’)
SS.AA.	Servicios Auxiliares
P_{neta}	Potencia activa neta generada en AT
P_{bruta}	Potencia activa bruta generada por la suma de todos los inversores en BT
$P_{tr.poder}$	Pérdidas del transformador de poder de la central
$P_{tr.bloque}$	Pérdidas en los transformadores de bloque de los inversores
P_{SSAA}	Potencia activa consumida por los servicios auxiliares
$P_{colector}$	Pérdidas en el sistema colector
$P_{conductores}$	Pérdidas en los conductores de la red colectora

Tabla 1-2: Listado de señales

Variable	Descripción
PINVX	Potencia activa RMS del inversor N°X – Medida en BT
PPOI BESS	Potencia activa RMS del BESS – Medida en MT
PWTG	Potencia activa RMS del aerogenerador N°X – Medida en BT
VVIENTO	Velocidad promedio del viento
PPOI	Potencia activa RMS del conjunto PE + BESS – Medida en AT
FREC	Frecuencia eléctrica – Medida en MT
SOC	Estado de carga promedio de las baterías del BESS
SOCX	Estado de carga de las baterías conectadas al Inversor N°X

1.2 Personal participante

Tabla 1-3: Personal participante en los ensayos en terreno

Personal	Fecha
Ing. Emiliano Chiapponi	7 y 8 de agosto de 2024
Ing. Franco Leonel Musso	

2. ASPECTOS NORMATIVOS

El documento *"ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras"* [1], establece los lineamientos a tener en cuenta durante la realización de las pruebas, para la determinación de la potencia máxima en unidades generadoras. A su vez, define los procedimientos y las consideraciones a respetar durante la determinación y corrección de la potencia activa bruta y neta.

Adicionalmente, dicho documento, presenta definiciones que resultaran de utilidad a lo largo del desarrollo de este informe. Dichas definiciones se presentan a continuación:

Potencia máxima: Máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener una unidad generadora, en un período mínimo de 5 horas continuas, en los bornes de salida del generador para cada una de las modalidades de operación informadas a la DO.

Unidad Generadora: Equipo generador eléctrico que posee equipos de accionamiento propios, sin elementos en común con otros equipos generadores.

3. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

El proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4697) se encuentra localizado en la región de La Araucanía, al interior de la comuna de Angol, Chile. El mismo se encuentra en el interior del Parque Eólico La Cabaña. En la Figura 3-1 se muestra la ubicación geográfica del parque.

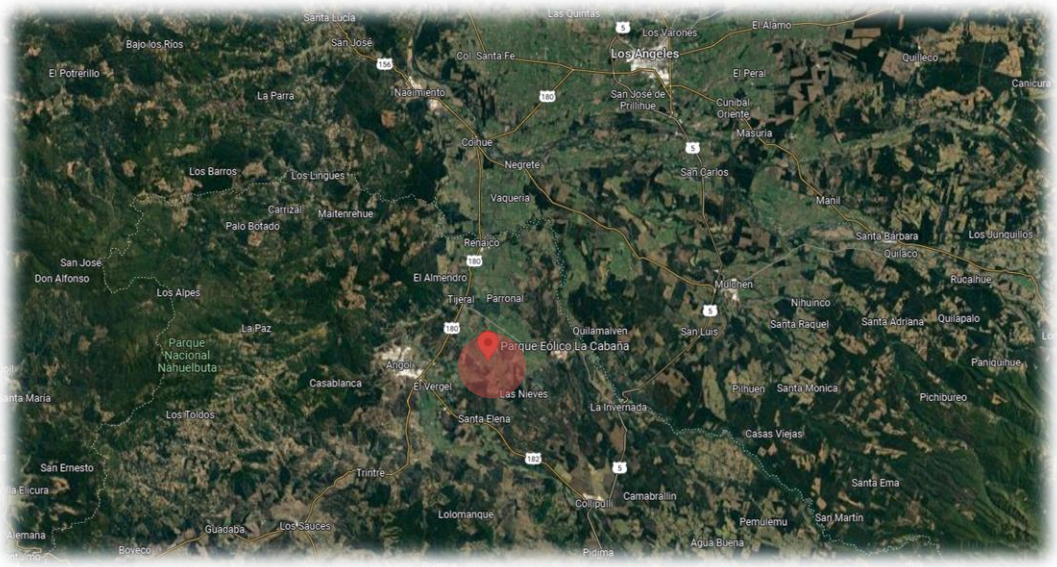

Figura 3-1: Ubicación geográfica – Parque Eólico La Cabaña

El proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4697) duplica la potencia y la capacidad del BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4041). Esta ampliación agrega 31 contenedores de baterías marca SAFT modelo Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP, 11 inversores Power Electronics (9 modelo FP4390K y 2 modelo FP3290K), y 6 transformadores de bloque ELTAS (4 de 8,78 MVA, 1 de 6,58 MVA y 1 de 4,39 MVA). Del total de los componentes de la Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña, 10 contenedores de baterías y 4 inversores se agregan al ya existente circuito N°1 del BESS. Mientras que los restantes componentes, 21 contendores de baterías y 7 inversores, conformar el nuevo circuito N°3.

El BESS, luego de su ampliación (NUP 4041 + NUP 4697), se compone de un total de 62 contendores de baterías, 22 inversores y 12 transformadores de bloque. El mismo totaliza una potencia instalada de **68,2 MW** (DC) y una capacidad de **136,4 MWh** (DC).

Los inversores del BESS poseen una tensión nominal de salida de 0,69 kV (BT) y potencias nominales de 4,39 MVA y 3,29 MVA. Dicha tensión es elevada a través de los transformadores de bloque de 2 devanados 0,69/33 kV (BT/MT) y 3 devanados 33/0,69/0,69 kV, para poder transportar la potencia generada por los mismos hacía la subestación del parque. La vinculación entre cada uno de los inversores del BESS y la subestación del parque se realiza a través de la red colectora, la cual cuenta con 3 circuitos colectores que operan en 33 kV (MT). Uno de estos circuitos colectores fue agregado por el proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña. La disposición de los inversores dentro de los circuitos colectores se presenta a continuación. Los inversores correspondientes al proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña se presentan en **azul**.

- **Circuito N°1**: INV 05A, INV 06A, INV 06B, INV 07A, INV 07B, INV 08A e INV 08B
- **Circuito N°2**: INV 01A, INV 01B, INV 02A, INV 02B, INV 03A, INV 03B, INV 04A e INV 04B
- **Circuito N°3**: INV 09, INV 10A, INV 10B, INV 11A, INV 11B, INV 12A e INV 12B

El diagrama unifilar de la red colectora de los inversores del BESS, con las especificaciones de las longitudes de cada uno de los circuitos, se presenta en la Figura 3-4 y en el archivo "22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos". Dicho archivo será enviado junto con el presente informe.

Es importante destacar que, durante las pruebas, el BESS realizó su carga desde la red y no desde el Parque Eólico La Cabaña. Dicha carga, desde la red, se realizó únicamente con el propósito de agilizar las pruebas. Durante su operación normal, el BESS Parque Eólico La Cabaña, se cargará únicamente utilizando energía generada por la componente renovable (los aerogeneradores). Adicionalmente, es importante destacar que dicha restricción se encuentra implementada a través del PPC maestro y se encuentra indicada en rojo en la Figura 3-2. Dicho bloqueo una vez lograda la entrada en operación del proyecto será de forma permanente.

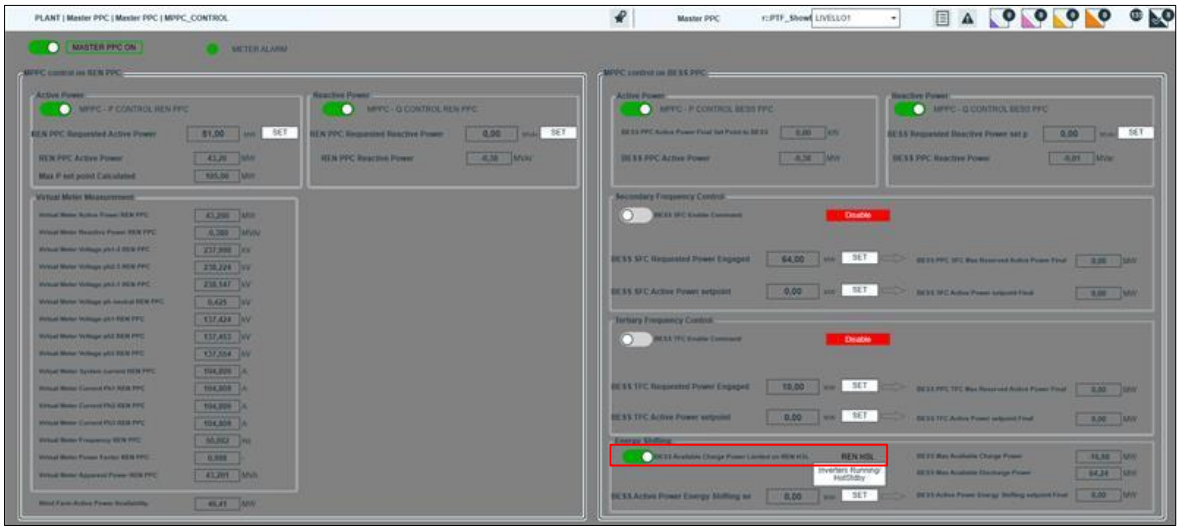

Figura 3-2: Captura de pantalla del SCADA del PPC maestro de la indicación de bloqueo de carga del BESS desde la red

En la Figura 3-3 se muestra el funcionamiento de dicha limitación. En celeste se observa la potencia activa producida por el PE, en azul la potencia activa del BESS y en naranja la potencia activa de salida del conjunto PE+BESS en el paño JT1. Se visualiza que el BESS reduce su carga al activarse la limitación del PPC maestro (*instante 1*) y en el momento que se deshabilita la función de limitación a través del PPC maestro, vuelve a cargarse a potencia máxima (*instante 2*).

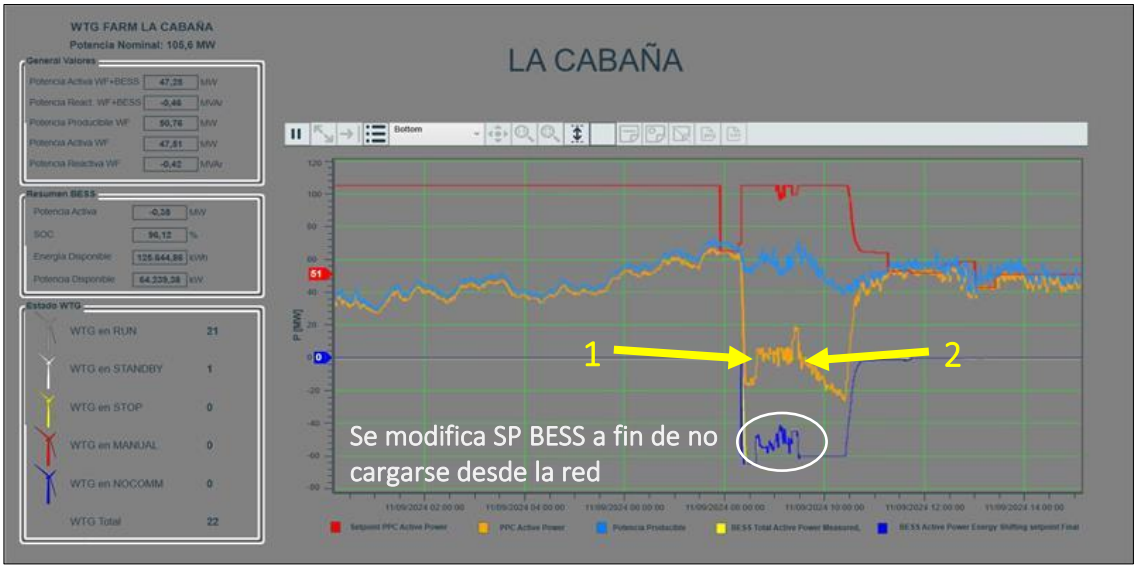

Figura 3-3: Captura de pantalla del SCADA del PPC maestro tras la limitación del BESS al reducir la potencia activa del PE

Por otro lado, el Parque Eólico La Cabaña está constituido por veintidós (22) aerogeneradores Goldwind GW155-4.8 de 4,8 MW de potencia nominal, totalizando una potencia instalada de 105,6 MW. Dichos aerogeneradores poseen una tensión nominal de 0,69 kV. Dicha tensión es elevada por los transformadores de bloque de 0,69/33 kV, para conectar los mismos a la red colectora del parque. La vinculación entre cada uno de los aerogeneradores y la subestación del parque se realiza a través de la red colectora, la cual cuenta con siete (7) circuitos colectores que operan en 33 kV (MT). La disposición de los aerogeneradores dentro de los mismos es la siguiente:

- Circuito N°1: WTG 01, WTG 02 y WTG 03
- Circuito N°2: WTG 04, WTG 05 y WTG 06B
- Circuito N°3: WTG 06, WTG 07, WTG 08 y WTG 21
- Circuito N°4: WTG 09 y WTG 10
- Circuito N°5: WTG 11, WTG 12 y WTG 13
- Circuito N°6: WTG 14, WTG 15, WTG 16 y WTG 17
- Circuito N°7: WTG 18, WTG 19 y WTG 20

El diagrama unifilar de la red colectora de los aerogeneradores, con las especificaciones de las longitudes de cada uno de los circuitos, se presenta en la Figura 3-5, Figura 3-6 y en el archivo "22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos". Dicho archivo será enviado junto con el presente informe.

Es importante destacar que, la potencia declarada del conjunto Parque Eólico La Cabaña + BESS, en el POI (230 kV), es de 105,6 MW. Debido a que la potencia instalada (105,6 MW + 68,2 MW) es de 173,8 MW y supera a dicho valor, el parque cuenta con una limitación en su PPC Maestro que se

encarga de que el conjunto (PE + BESS) no supere los valores declarados de potencia activa neta en el POI.

3.1 Diagrama unilineal simplificado (DUS)

En la Figura 3-4 se puede observar el diagrama unifilar simplificado de la red colectora de media tensión del BESS Parque Eólico La Cabaña. En la misma se indica, en color verde, el punto de medición del PPC, encargado de realizar el control del BESS. Por otro lado, en la Figura 3-5 y Figura 3-6, se presenta la red colectora, de media tensión, de los aerogeneradores del Parque Eólico La Cabaña. En dichas figuras puede observarse la acometida de los circuitos colectores a la Subestación La Cabaña.

Adicionalmente, en la Figura 3-7 y Figura 3-8, se presenta el diagrama de la Subestación La Cabaña en 33 kV y en 220 kV.

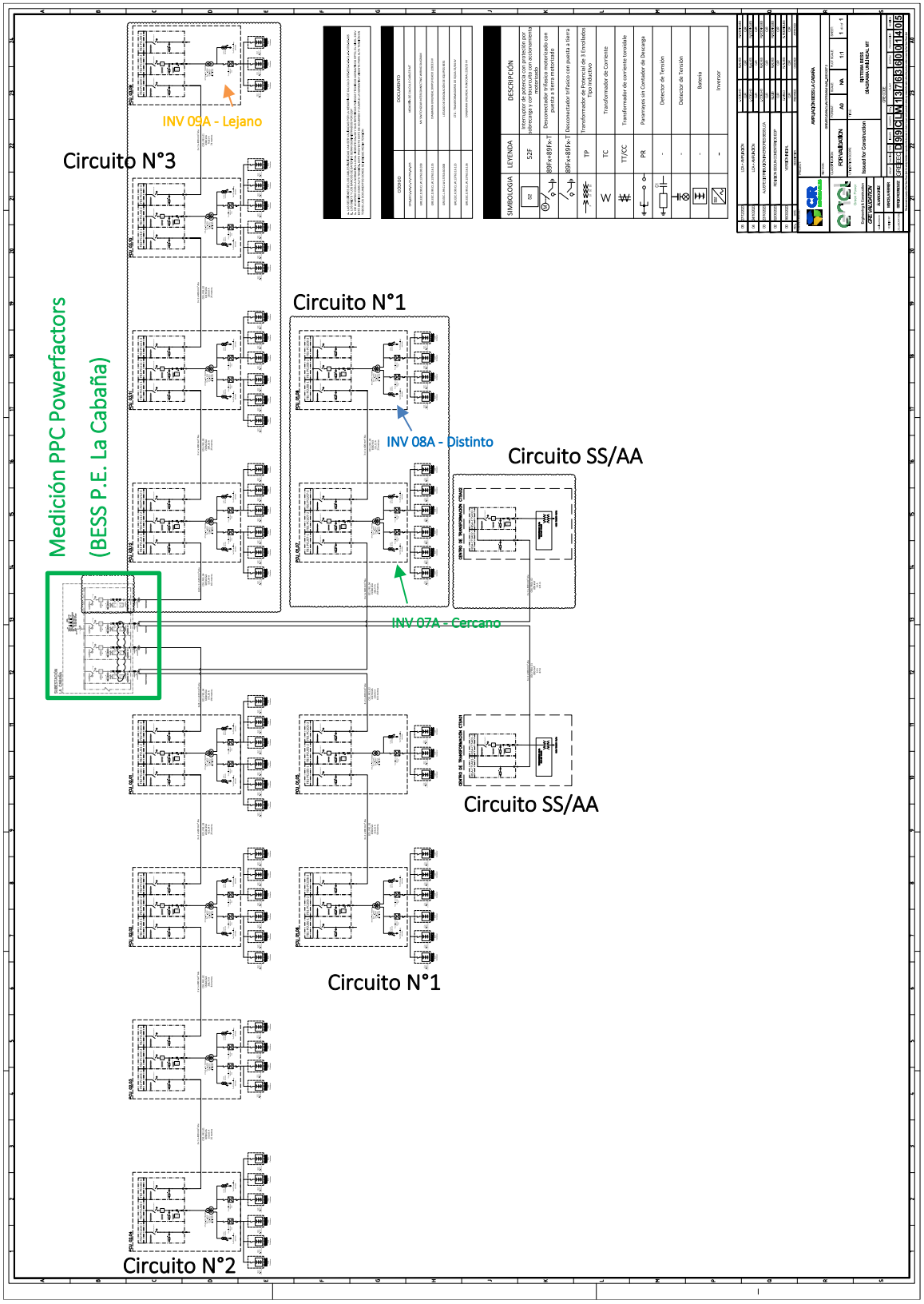

Figura 3-4: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – BESS Parque Eólico La Cabaña [2]

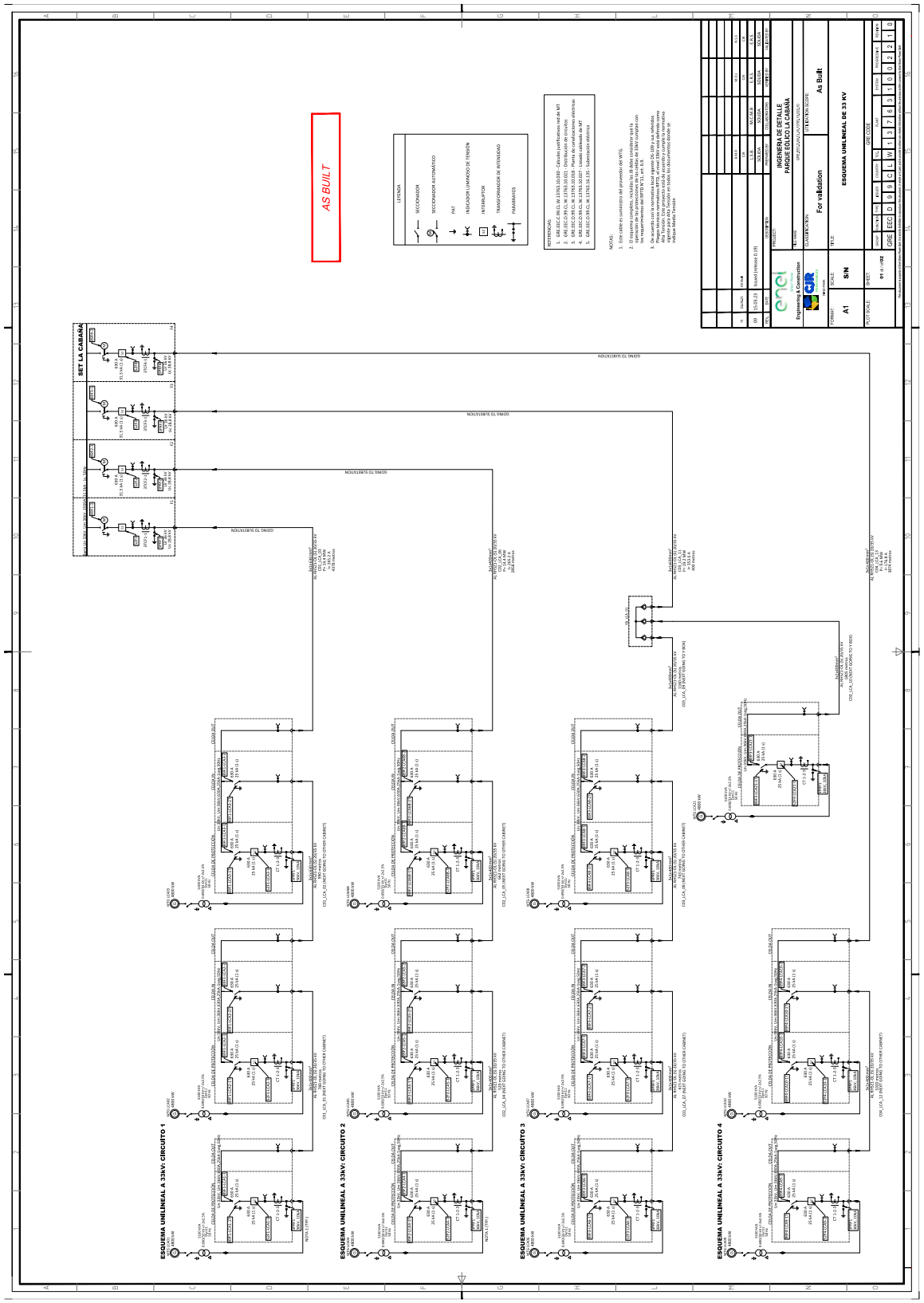

Figura 3-5: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – PE La Cabaña 1/2 [3]

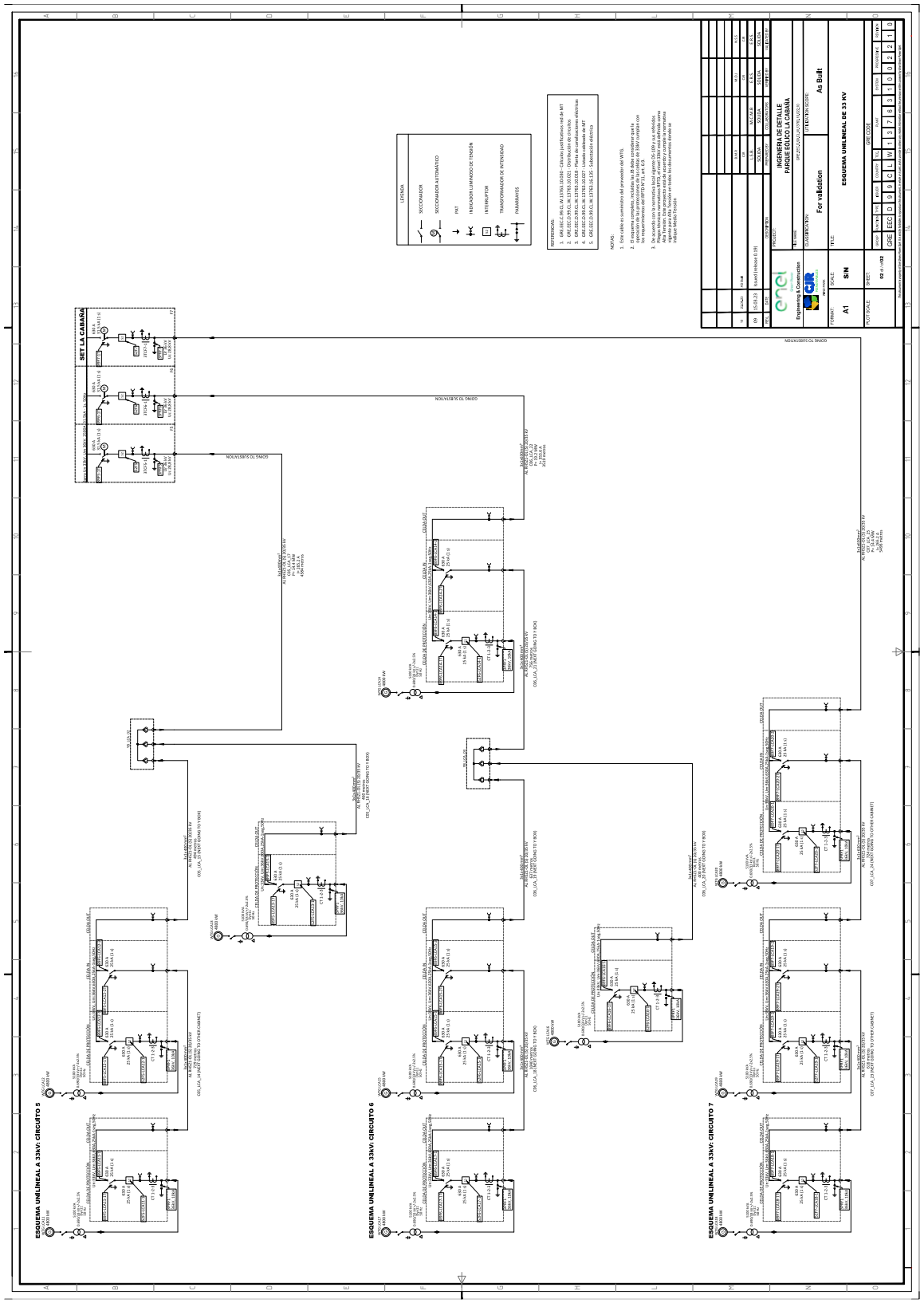

Figura 3-6: Diagrama unilineal - Red colectora de MT – PE La Cabaña 2/2 [3]

En la Figura 3-7 se presenta el diagrama unilineal funcional de la Subestación La Cabaña 33 kV. Dentro de la misma se indica, en color naranja, la acometida de los circuitos N°1, N°2, N°3 y la acometida de los servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña, a la Subestación La Cabaña.

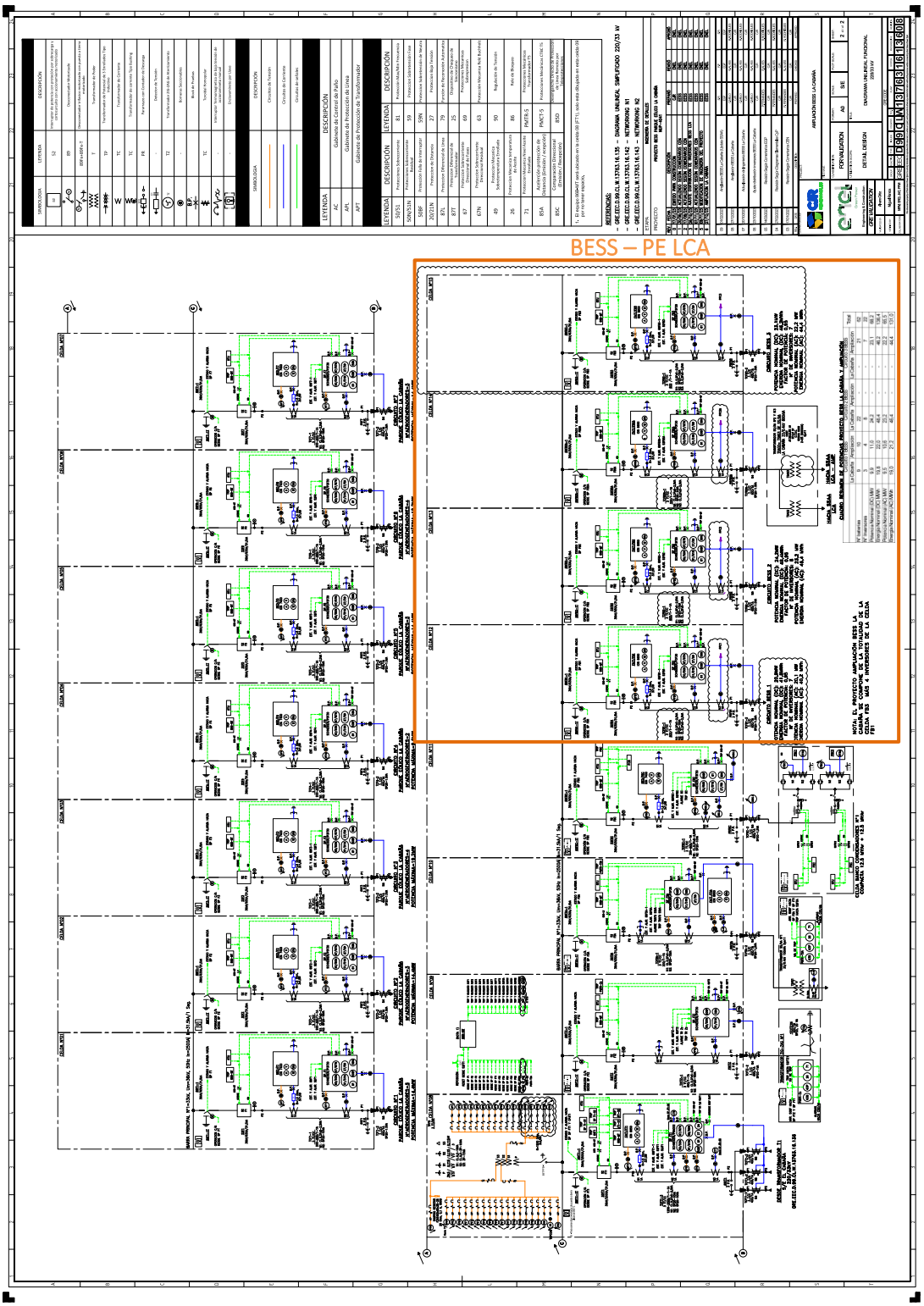

Figura 3-7: Diagrama unilineal funcional - Subestación La Cabaña 33 kV [4]

En la Figura 3-8 se presenta el diagrama unilineal funcional de la Subestación La Cabaña 220 kV, donde acometen los diez (10) circuitos colectores de la red de media tensión (3 correspondientes al BESS y 7 a los aerogeneradores), hacia el transformador elevador de 220/33 kV (Indicado en verde). Posteriormente se observa la línea de salida de 220 kV hacía S/E Renaico – Paño JL2, sobre esta línea se encuentra la medición del SCADA y PPC Goldwind encargado de realizar el control de los aerogeneradores.

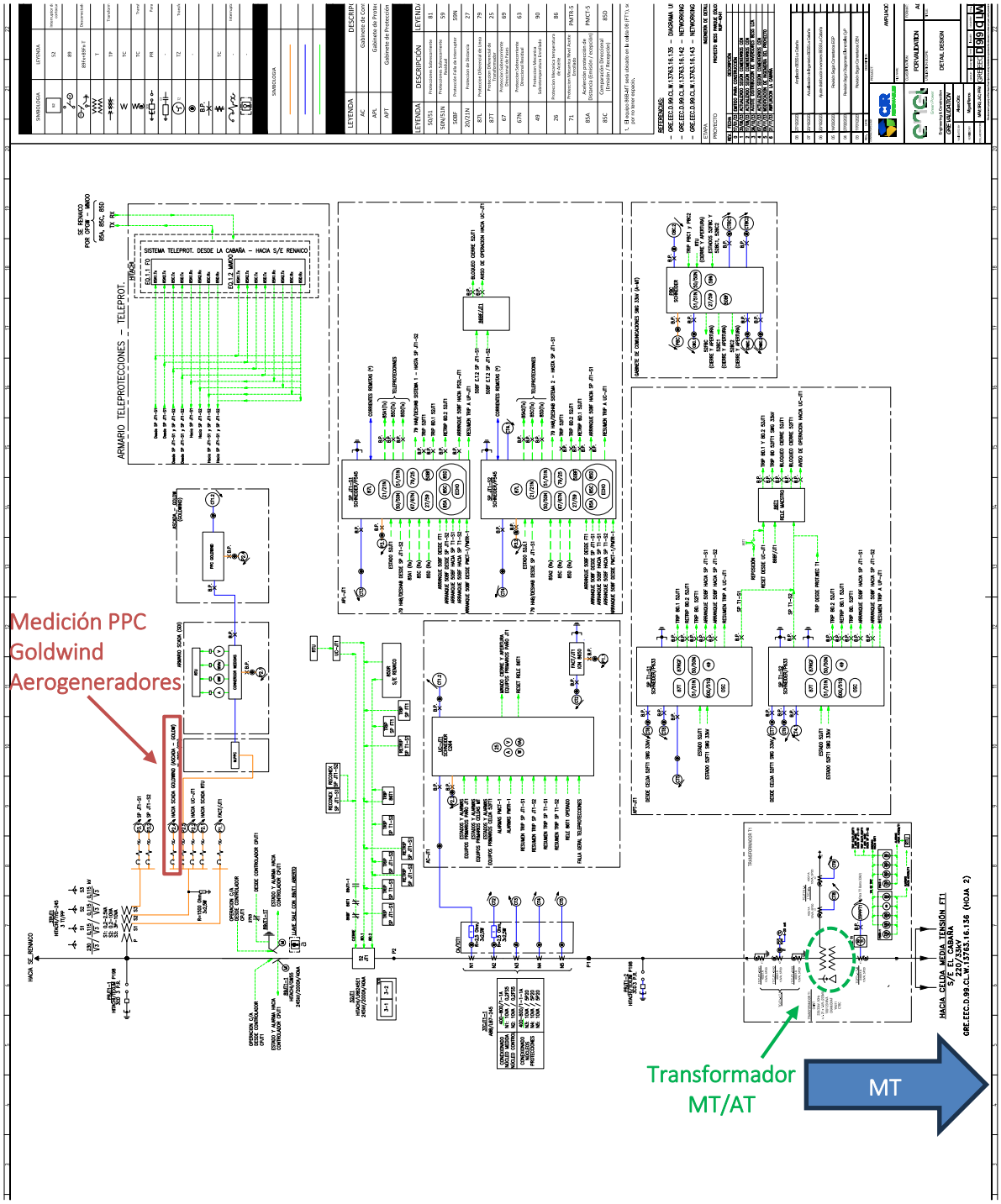

Figura 3-8: Diagrama unilineal funcional - Subestación La Cabaña 220 kV [5]

El diagrama unilineal funcional de la Subestación La Cabaña en 33 kV y en 220 kV, fue presentado en la Figura 3-7 y en la Figura 3-8. Dichas figuras fueron extraídas de los documentos [4] y [5]. Estos documentos podrán encontrarse dentro del archivo "22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos". Dicho archivo se enviará junto con el presente informe.

A continuación, en la Figura 3-9, se presenta un esquema simplificado del BESS Parque Eólico La Cabaña y del Parque Eólico La Cabaña. Además, se presenta el punto de conexión de los mismos al SEN.

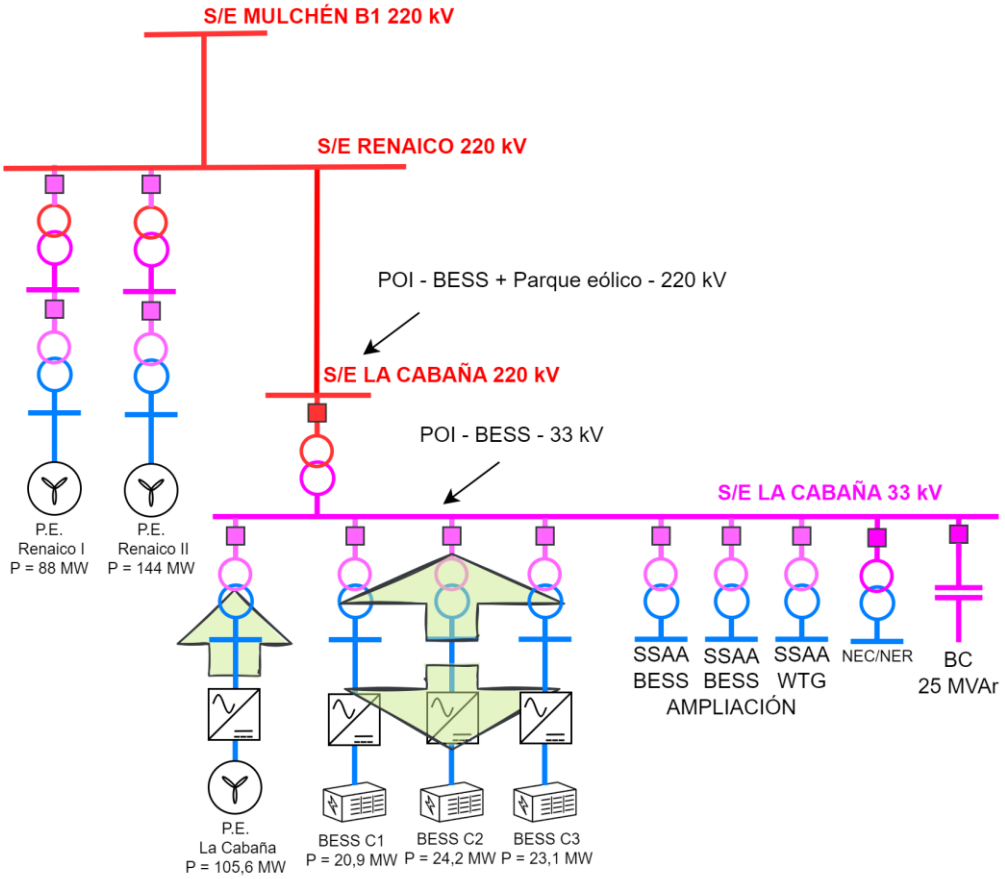

Figura 3-9: Esquema simplificado del Parque Eólico La Cabaña junto al BESS y su punto de conexión al SEN

A continuación, se presentan los principales componentes del BESS Parque Eólico La Cabaña, junto con un resumen de sus principales características.

3.2 Baterías

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con un total de sesenta y dos (62) contenedores de baterías marca SAFT, modelo Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP. Los mismos poseen una potencia nominal de 1,1 MW y se encuentran en configuración C/2. Cada contenedor está formado por 5 ESSUs (Energy Storage System Units) y cada ESSU está compuesta por 24 módulos Li-ion en serie, esto puede observarse en la siguiente figura.

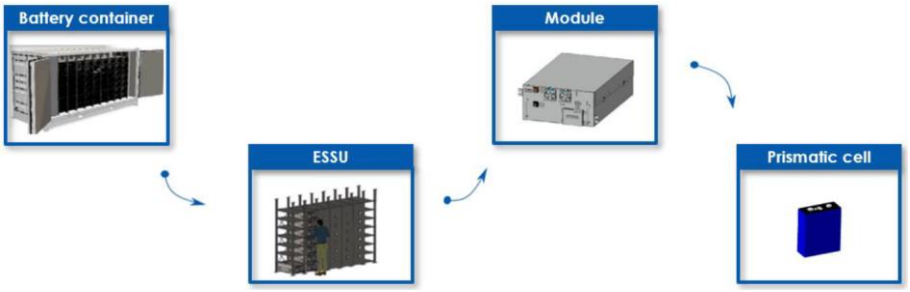

Figura 3-10: Composición de los contenedores de baterías SAFT [6]

Estos 62 contenedores de baterías se encuentran distribuidos en 3 circuitos colectores. El circuito N°1 cuenta con 19 contenedores, el circuito N°2 cuenta con 22 contenedores y el circuito N°3 cuenta con 21 contenedores, como se observa en la Figura 3-4.

En la Figura 3-11 se presenta la máxima potencia de carga y descarga, de los contendores de baterías, en función del SOC. El SOC (State Of Charge) representa el estado de carga de las baterías. Adicionalmente, en la Figura 3-12, se puede observar el nivel de tensión de los módulos de baterías en función del SOC.

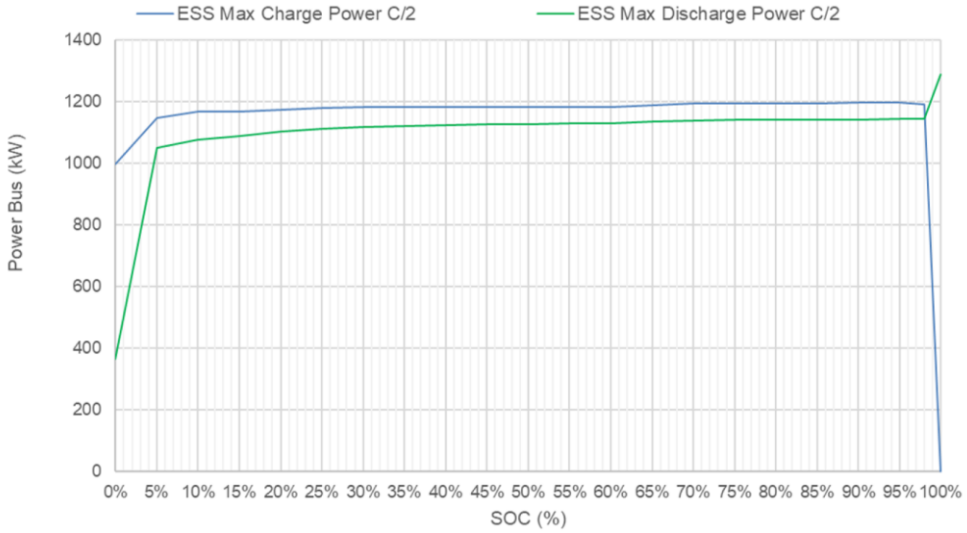

Figura 3-11: Máxima potencia de carga y descarga en función del SOC [6]

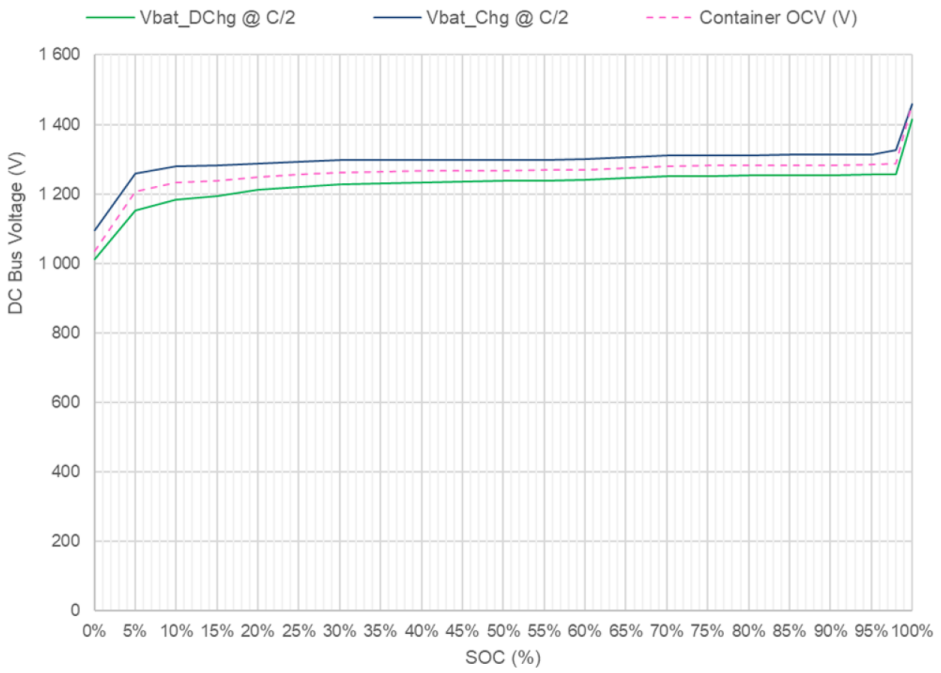

Figura 3-12: Tensión de salida, para carga y descarga, en función del SOC [6]

La hoja de datos de los contendores de baterías se presenta en el ANEXO I. A partir de la información provista en la misma se resumen, en la Tabla 3-1, sus principales características.

Tabla 3-1: Parámetros principales – Contenedores de baterías SAFT [6]

Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de batería	Fosfato de hierro y litio (LFP)	-
Tensión mínima VDC (0% SOC)	1040	V
Tensión nominal VDC (50% SOC)	1230	V
Tensión máxima VDC (100% SOC)	1400	V
Rango de tensiones admisibles	960 - 1460	V
Potencia nominal en carga y descarga DC	1,1	MW
Máxima potencia en carga y descarga DC	2,2	MW
Temperatura de operación	-25 a 55	°C
Consumo “Standby state”	4,7	kW
Consumo “On service state”	23,6 (*)	kW

(*) Se considera el consumo de los contenedores de baterías en servicio más elevado, siendo esta la peor condición.

Cabe destacarse que la potencia, durante la carga y la descarga, no es un valor constante. Esto puede observarse en la Figura 3-11. Debido a esto, se considera como potencia nominal el valor medio, el cual es de 1,1 MW. Este valor coincide con el informado en la hoja de datos presentada en la Figura 6-1.

Al contar el BESS Parque Eólico La Cabaña con 62 contenedores de baterías, la potencia instalada del mismo es de 68,2 MW (62 x 1,1 MW). Es importante destacar que la potencia instalada queda determinada por la potencia los contenedores de baterías. Esto se debe a que, como se observará a continuación, los inversores se encuentran sobredimensionados.

La información correspondiente a los contenedores de baterías fue extraída del documento [6], el cual podrá encontrarse dentro en el archivo "22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos". Dicho archivo se enviará junto con el presente informe.

3.3 Inversores

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con veintidós (22) Inversores Power Electronics. De los cuales, dieciocho (18) son modelo FP4390K y cuatro (4) son modelo FP3290K, los mismos cuentan con una potencia nominal de 4,39 MW y 3,29 MW, respectivamente. La tensión nominal, de salida, de ambos modelos de inversores es de 690 V. Los mismos se encuentran distribuidos en tres (3) circuitos colectores. El circuito N°1 cuenta con cinco (5) inversores FP4390K y dos (2) inversores FP3290K, el circuito N°2 cuenta con seis (6) inversores FP4390K y dos (2) inversores FP3290K, y el circuito N°3 cuenta con siete (7) inversores FP4390K.

Los parámetros principales de los inversores se resumen en la Tabla 3-2, mientras que en el ANEXO II se presenta la hoja de datos de los mismos. Adicionalmente, en la Tabla 3-3, se presenta el consumo de los servicios auxiliares de los inversores, para los diferentes estados de operación de los mismos.

Tabla 3-2: Parámetros principales – Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [7]

Parámetro	FP3290K	FP4390K	Unidad
Potencia nominal @40°C	3290	4390	kW
Potencia nominal @50°C	3055	4075	kW
Frecuencia	50		Hz
Máxima tensión en DC	1500		V
Tensión fase-fase	0,69 ± 0,1		kV
Factor de potencia	-0,95 (ind) +0,95 (cap)		-
Máxima corriente en AC @40°C	2756	3674	A
Eficiencia	98,87	98,98	%

Tabla 3-3: Consumo de servicios auxiliares - Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [8]

Estado del inversor	Potencia disponible	Consumo	Unidad
Electrónica (sin ventilación)	0%	0,4	kW
Ventilación	0%	3,1	kW
1 modulo operativo	25%	4,7	kW
2 módulos operativos	50 %	6,7	kW
3 módulos operativos	75%	8,1	kW
4 módulos operativos	100%	9,6	kW

Estos inversores son los encargados de evacuar o absorber toda la potencia activa que entregan o consumen los contenedores de baterías descritos en la sección 3.2. Además, son los encargados de realizar el intercambio de corriente reactiva con la red.

A continuación, en la Figura 3-13, se presenta la curva de capacidad de los inversores FP4390K y FP3290K. La misma fue extraída del documento [9].

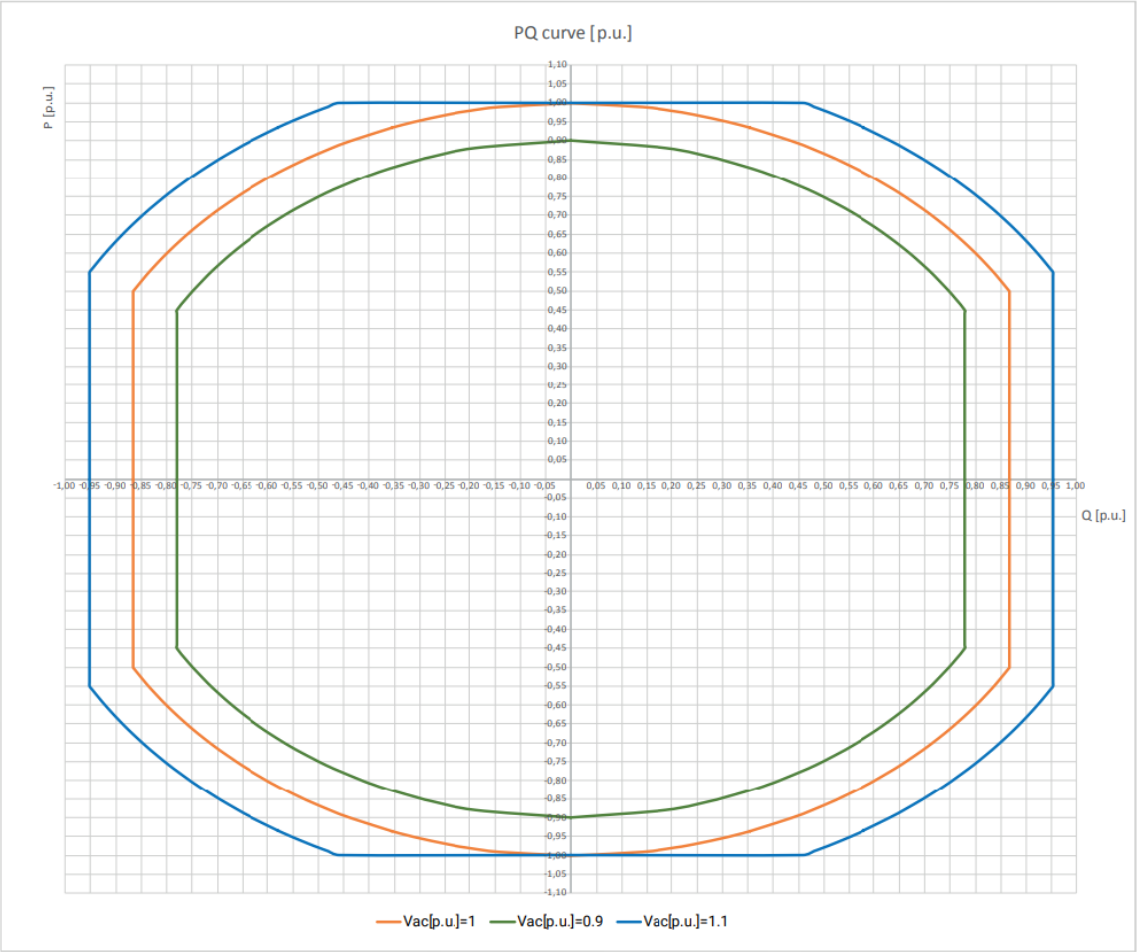

Figura 3-13: Curva de capacidad - Inversores Power Electronics FP4390K y FP3290K [9]

Como se indicó en la sección 3.2, la potencia instalada del BESS Parque Eólico La Cabaña queda determinada por la potencia de los contenedores de baterías. Esto se debe a que los inversores se encuentran sobredimensionados. A partir de la Figura 3-4 se puede determinar que hay dos configuraciones diferentes de contenedores de baterías e inversores, las mismas se presentan a continuación:

- Tres contendores de baterías conectados a un único inversor FP4390K. En esta configuración los contenedores de baterías totalizan una potencia de 3,3 MW, mientras que el inversor posee una potencia nominal de 4,39 MW.
- Dos contenedores de baterías conectados a un único inversor FP3290K. En esta configuración los contenedores de baterías totalizan una potencia de 2,2 MW, mientras que el inversor posee una potencia nominal de 3,29 MW.

Las configuraciones descritas previamente corroboran que la potencia instalada en el BESS Parque Eólico La Cabaña queda determinada por la potencia nominal de las baterías.

Los documentos [7], [8] y [9], se podrán encontrar dentro del archivo “22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos”. Dicho archivo se enviará junto con el presente informe.

3.4 Transformadores de bloque

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con doce (12) transformadores de bloque distribuidos en tres (3) circuitos. La distribución, por circuito, de cada uno de ellos se resume a continuación:

- Circuito BESS N°1:
  - N° total de transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN)
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN)
    - (2) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)
- Circuito BESS N°2:
  - N° total de transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN)
    - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)
- Circuito BESS N°3:
  - N° total de transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN)
    - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN)

Cada uno de los transformadores de bloque evacua la potencia generada por los inversores a los que se encuentre conectado. Los transformadores de dos (2) devanados (4,39 MVA) se encuentran conectados a un (1) único inversor. Mientras que los transformadores de tres (3) devanados (6,58 MVA y 8,78 MVA) se encuentran conectados a dos inversores. Además, los transformadores de bloque se encargan de elevar la tensión de salida de los inversores de 0,69 a 33 kV (BT/MT). Los mismos cuentan con un cambiador de tap que no puede ser operado bajo carga.

En la Tabla 3-4 se presentan los parámetros principales de los tres (3) tipos de transformadores de bloque. Adicionalmente, en el ANEXO III, se presenta la hoja de datos de los mismos.

Tabla 3-4: Parámetros principales de los transformadores de bloque

Parámetro	ELTAS 4,39 MVA [10]	ELTAS 6,58 MVA [11]	ELTAS 8,78 MVA [12]	Unidad
Potencia nominal	4390	6580	8780	kVA
Frecuencia	50			Hz
Cantidad de devanados	2	3		-
Tensión lado de BT	0,69	0,69/0,69		kV
Tensión lado de MT	33			kV
Posiciones de TAP	±2 x 2,5			%
Tipo de cambiador de tap	Vacío			-
Impedancia de sec. positiva	7	8.5	8.3	%
Impedancia de sec. cero	6,3	7,65	7,47	%
Grupo de conexión	Dy11	Dy11y11		-
Pérdidas en vacío	3,85	5,2	7,25	kW
Pérdidas en carga	34,5	46,5	54,0	kW

Los documentos [10], [11] y [12], se podrán encontrar dentro del archivo "22095-INF-EGP-090 -Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos". Dicho archivo se enviará junto con el presente informe.

3.5 Transformador de poder

El BESS Parque Eólico La Cabaña (68,2 MW) en conjunto con el Parque Eólico La Cabaña (105,6 MW), inyectan la potencia generada, al sistema de transmisión, por medio de un transformador de 220/33 kV de 120/150 MVA (ONAN/ONAF) de potencia nominal. Este transformador, cuyos arrollamientos tienen una configuración YNd11, dispone de un sistema de cambiador de taps bajo carga en el lado de AT (220 kV).

En Tabla 3-5 se presentan los parámetros principales del transformador de poder. Adicionalmente, en el ANEXO IV se presenta su foto de placa, junto con una captura de sus pruebas FAT [13], donde se pueden observar sus pérdidas.

Tabla 3-5: Parámetros principales del transformador de poder [13]

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal (ONAN/ONAF)	120/150	MVA
Frecuencia	50	Hz
Tensión lado de MT	33	kV
Tensión lado de AT	220	kV
Posiciones de TAP (lado 220 kV)	±10 x 1,5	%
Tipo de cambiador de tap	Carga	-
Impedancia de sec. positiva (base 150 MVA)	13,22	%
Impedancia de sec. cero (base 150 MVA)	12,27	%
Grupo de conexión	YNd11	-
Pérdidas en vacío	50,04	kW
Pérdidas en carga	388,34	kW

El documento [13] se podrá encontrar dentro del archivo "22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos", el cual se enviará junto con el presente informe.

Es importante mencionar que, el cambiador de tap del transformador opera de forma automática y en carga. Los umbrales de tensión utilizados para realizar el ajuste en las barras de MT son de ±0,5 kV. Adicionalmente, el intervalo de tiempo que la tensión debe permanecer por fuera de los umbrales para que ocurra un cambio de tap, es de 40 segundos. Esta información fue extraída del documento "GRE.EEC.W.99.CL.W.13763.16.504.01", el cual se presenta en el anexo "22095-INF-EGP-090-ANEXO_DOCUMENTOS_AMP_BESS_PE_LCA".

3.6 Transformador de servicios auxiliares (SSAA)

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con dos (2) transformadores de servicios auxiliares (SSAA) de 33/0,4 kV y 800 kVA de potencia nominal. Los mismos son utilizados únicamente para la alimentación de los servicios auxiliares del BESS y son independientes del transformador de SSAA de 150 kVA utilizado por el Parque Eólico La Cabaña. En la Figura 3-4 puede observarse la conexión de los mismos a la subestación La Cabaña.

El primer transformador de servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña fue instalado en el proyecto NUP 4041, mientras que el segundo transformador fue instalado durante el proyecto Ampliación BESS Parque Eólico La Cabaña (NUP 4697).

En la Tabla 3-6 se resumen los parámetros principales de los transformadores de servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña. Adicionalmente, en el ANEXO V, se puede observar una foto de sus placas y sus hojas de datos, en la cual se indican sus pérdidas.

Tabla 3-6: Parámetros principales de los transformadores de servicios auxiliares [14] [15]

Parámetro	Trafo SSAA BESS	Trafo SSAA Amp. BESS	Unidad
Potencia nominal (ONAN)	800	800	kVA
Frecuencia	50	50	Hz
Tensión lado de BT	0,4	0,4	kV
Tensión lado de MT	33	33	kV
Posiciones de TAP (lado 33kV)	±2 x 2,5	±2 x 2,5	%
Tipo de cambiador de tap	Vacío	Vacío	-
Impedancia de sec. positiva (base 800 kVA)	5,09	5,17	%
Impedancia de sec. cero (base 800 kVA) *(1)*	4,33	4,40	%
Grupo de conexión	Dyn11	Dyn11	-
Pérdidas en vacío	1,374	1,374	kW
Pérdidas en carga	7,87	7,87	kW

(1) Se considera 85% de la impedancia de secuencia directa

Los documentos [14] y [15] se podrán encontrar dentro del archivo “22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos”. Dicho archivo se enviará junto con el presente informe.

3.7 Consumo de los servicios auxiliares

En el ANEXO VI se presenta el consumo de los servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña. La información presentada en dicho anexo fue extraída del documento [16].

A continuación, en la Tabla 3-7, se presenta el consumo total de los servicios auxiliares para tres condiciones diferentes.

Tabla 3-7: Consumo de servicios auxiliares [16]

Condición	Valor	Unidad
Cargas en consumo completo (*)	631100	W
Cargas en consumo	568200	W
Cargas en stand-by	13900	W

(*) Las cargas en consumo completo incluyen las luces y los consumos adiciones referidos al mantenimiento

Los consumos presentados en la Tabla 3-7 están compuestos por los consumos de los contenedores de baterías, inversores y el PMS. Esto puede observarse en el detalle presentado en el ANEXO VI.

3.8 Transformador ZigZag (NEC/NER)

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con un (1) transformador ZigZag (NEC/NER), cuya función es brindar referencia a tierra y limitar la corriente de neutro a 400 A. El mismo puede observarse en la Figura 3-9.

En la Tabla 3-8 se resumen los parámetros principales del transformador ZigZag. Adicionalmente, en el ANEXO VIII, se presenta la hoja de datos del mismo.

Tabla 3-8: Parámetros principales del transformador ZigZag (NEC/NER) [17]

Parámetro	Valor	Unidad
Frecuencia	50	Hz
Tensión nominal	33	kV
Corriente de operación	400	A
Reactancia de secuencia cero	143	Ω/fase

3.9 Banco de condensadores (BC)

El BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con dos (2) bancos de condensadores (BC), que contribuyen a la inyección de potencia reactiva en la red colectora de media tensión (33 kV). La capacidad nominal de estos equipos es de 12,5 MVAr. Los mismos pueden observarse en la Figura 3-9.

En la Tabla 3-9 se resumen los parámetros principales del banco de condensadores. Adicionalmente, en el ANEXO VII, se presenta la hoja de datos del mismo.

Tabla 3-9: Parámetros principales del banco de condensadores [18]

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal	12,5	MVAr
Frecuencia	50	Hz
Tensión nominal	33	kV

4. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA MÁXIMA

4.1 Introducción

En este capítulo se desarrolla el cálculo de los valores de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña. Para ello, es necesario definir la nomenclatura (sección 4.2) a utilizar junto con los valores que se desea obtener (sección 4.3). Una vez realizadas dichas definiciones se presentan los ensayos de potencia máxima realizados (secciones 4.5, 4.6 y 4.7) y a partir de los mismos se realiza el cálculo de los valores objetivo.

4.2 Nomenclatura

La Figura 4-1 muestra el esquema simplificado de un BESS junto con un parque eólico. A partir del mismo, se identifican y definen los siguientes elementos:

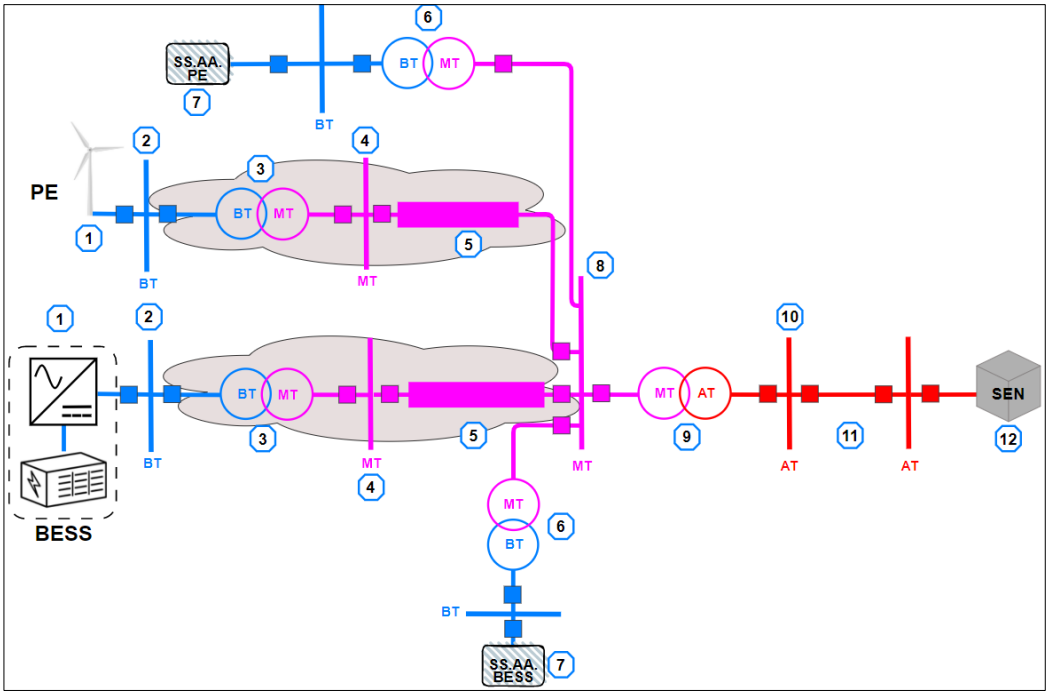

Figura 4-1: Esquema simplificado de un BESS junto con un parque eólico

1- **Inversor/Aerogenerador equivalente**: Este inversor/aerogenerador es el encargado de representar, mediante un único elemento, a todos los inversores que componen al BESS o a todos los aerogeneradores que componen al parque eólico. La potencia nominal del aerogenerador equivalente corresponde a la sumatoria de la potencia nominal de cada uno aerogeneradores del parque eólico. Mientras que, la potencia nominal del inversor equivalente corresponde a la sumatoria de la potencia nominal de cada uno de los inversores del parque eólico. El termino asociado a este valor es P_{bruta}. Para los ensayos donde el parque eólico se encuentre activo se realizará el cálculo de ${P_{bruta}}^{BESS}$ y ${P_{bruta}}^{PE}$, siendo P_{bruta} la suma de estos términos.
2- **Barra de baja tensión (BT)**: Corresponde a la tensión nominal, en bornes, del inversor equivalente del BESS o del aerogenerador equivalente del PE. Representa los tramos de línea que conectan el inversor equivalente o el aerogenerador equivalente, con su transformador de bloque equivalente.

3- **Transformador de bloque equivalente**: Este transformador es el encargado de representar, mediante un único elemento, a todos los transformadores de bloque de los inversores que componen el BESS o a todos los transformadores de bloque de los aerogeneradores del PE.
4- **Barra de media tensión (MT):** Representa al nivel de alta tensión de los transformadores de bloque y al nivel de media tensión del transformador de poder de la central. En este nivel de tensión operan las líneas de transmisión de la red colectora.
5- **Red colectora equivalente**: Representa a la red colectora equivalente del BESS y la red colectora equivalente del parque eólico. Esta es la encargada de transportar la potencia generada por el inversor equivalente o aerogenerador equivalente, hasta el transformador de poder de la central. La misma está compuesta por las líneas que conectan a cada uno de los transformadores de bloque con el transformador de poder.

Nota: Las pérdidas correspondientes a los elementos 2, 3, 4 y 5, se encontrarán agrupadas en el término $\boldsymbol{P_{colector}}$. Este término se utilizará para representar las pérdidas en la red colectora del BESS, las cuales contemplan a las pérdidas en los transformadores de bloque y en los cables de baja y media tensión.

6- **Transformador de servicios auxiliares**: Representa al transformador de media tensión a baja tensión encargado de alimentar los servicios auxiliares del BESS. Por otro lado, también se representa el transformador de media a baja tensión encargado de alimentar los servicios auxiliares del parque eólico.
7- **Servicios auxiliares (SS.AA.)**: Corresponde al consumo de los SSAA de los inversores, de los contenedores de baterías y a las pérdidas de los transformadores de SSAA del BESS ($P_{SSAA}{}^{BESS}$). También corresponde al consumo de los SSAA de los aerogeneradores y las pérdidas del transformador de SSAA del PE ($P_{SSAA}{}^{PE}$). La suma total del consumo de estos servicios y pérdidas será representada por el termino P_{SSAA}.
8- **Barra de media tensión (MT)**: Corresponde a la barra de media tensión donde se conecta el transformador de poder de la central a la red colectora del parque eólico y a la red colectora del BESS.
9- **Transformador de poder**: Este transformador se encuentra en la subestación de salida de la central y es el encargado de elevar la tensión para poder conectar el parque eólico y el BESS al SEN. Las pérdidas del mismo serán representadas con el termino $P_{tr.poder}$.
10- **Barra de alta tensión (AT) del transformador de poder**: Representa el nivel de alta tensión del transformador de poder de la central. En este nivel de tensión, tanto el BESS como el PE, inyectan potencia al SEN. Para hacer referencia a la potencia inyectada por el conjunto compuesto por el parque eólico y el BESS, en este punto, se utilizará el termino P_{neta}.
11- **Línea dedicada de la central**: Línea de alta tensión que vincula a la central con el SEN.
12- **Sistema Eléctrico Nacional (SEN)**.

4.3 Objetivos

El objetivo del presente informe es la obtención de los valores que se presentan a continuación, para el BESS Parque Eólico La Cabaña o para el conjunto compuesto por el BESS Parque Eólico La Cabaña (BESS) y el Parque Eólico La Cabaña (PE).

1) **Potencia bruta ($\boldsymbol{P_{bruta}}$)**: Para los ensayos donde el PE se encuentra fuera de servicio, corresponde a la sumatoria de la potencia activa generada, en BT (0,69 kV), por cada uno de los inversores del BESS Parque Eólico La Cabaña.
   En los casos en los que el PE se encuentre en servicio, corresponde a la sumatoria de la potencia activa generada, en BT (0,69 kV), por cada uno de los inversores del BESS ($P_{bruta}{}^{BESS}$) y aerogeneradores del PE ($P_{bruta}{}^{PE}$).
   Estos valores se obtendrán a partir de los ensayos realizados y del consumo de los servicios auxiliares de los inversores.
2) **Consumo de los SS.AA. ($\boldsymbol{P_{SSAA}}$)**: Para los ensayos donde el PE se encuentra fuera de servicio, corresponde a la suma del consumo propio de los inversores, módulos de baterías, servicios auxiliares de la central y a las pérdidas de los transformadores de SSAA. Los consumos propios de los inversores y de los módulos de baterías fueron detallados en la sección 3.3 y sección 3.2, respectivamente. El consumo de los servicios auxiliares de la central fue presentado en la sección 3.7. Mientras que las pérdidas de los transformadores de SSAA se presentaron en la sección 3.6.
   En los casos en los que el PE se encuentre en servicio, corresponde a la suma del consumo de los SSAA del Parque Eólico La Cabaña (calculados en el documento [19]) y de los SSAA del BESS indicados previamente.
3) **Pérdidas de la central ($\boldsymbol{P_{central}}$)**: Para los ensayos donde el PE se encuentra fuera de servicio, corresponde a la suma de las pérdidas del transformador de poder, las pérdidas de la red colectora de MT y las pérdidas de los transformadores de bloque de los inversores. Las pérdidas se presentan en las secciones 3.4 y 3.5, para los transformadores de bloque y el transformador de poder, respectivamente.
   Para los ensayos en los que el PE se encuentra en servicio, corresponde a la suma de las pérdidas del colector propias del PE, compuestas por la red colectora y transformadores de bloque de los aerogeneradores ($P_{colector}{}^{PE}$), de las pérdidas del colector del BESS ($P_{colector}{}^{BESS}$) y de las pérdidas del transformador principal. Este término es equivalente a la suma del termino $P_{colector}{}^{BESS}$ (definido en la sección 4.2), del termino $P_{colector}{}^{PE}$ y de las pérdidas del transformador principal ($\boldsymbol{P_{tr.poder}}$).
4) **Potencia neta ($\boldsymbol{P_{neta}}$)**: Corresponde a la potencia activa inyectada por el conjunto compuesto por el BESS y por el PE, en el punto de conexión al SEN. Es decir, en el lado de AT (220 kV) del transformador principal. Este valor se obtendrá a partir de los ensayos realizados y de la estimación de las pérdidas del transformador de poder.

En la Figura 4-2 se asocian los valores, descritos previamente, con los elementos correspondientes del BESS Parque Eólico La Cabaña y del Parque Eólico La Cabaña.

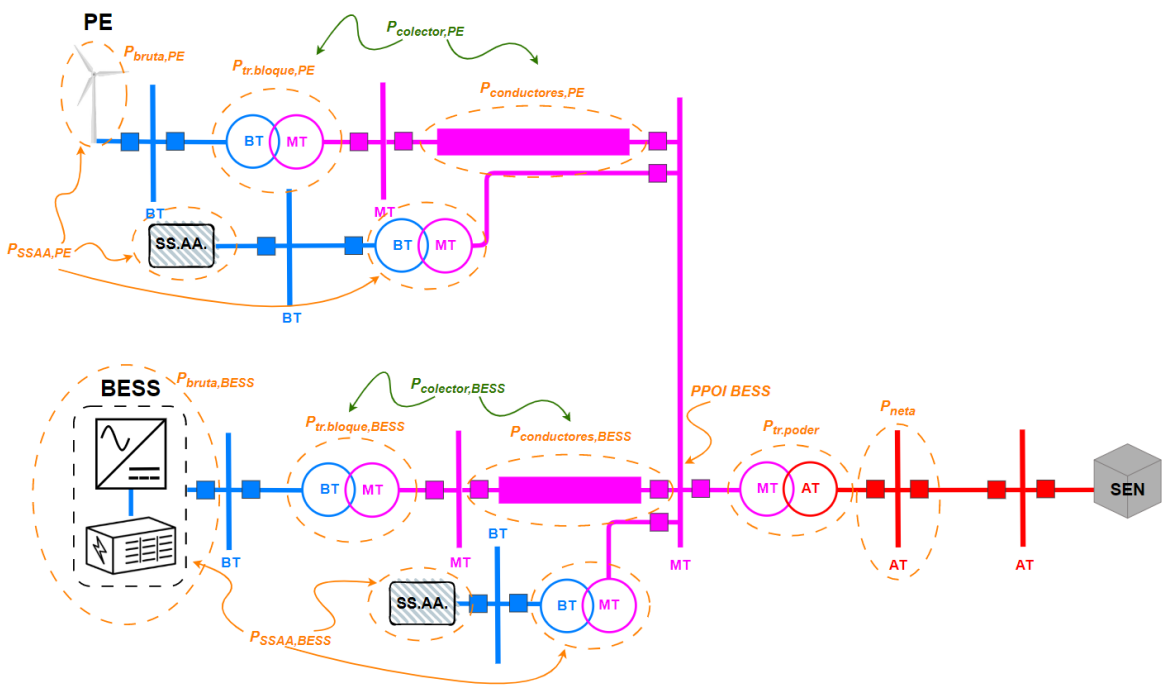

Figura 4-2: Relación entre los valores a obtener y los elementos del BESS Parque Eólico La Cabaña y del Parque Eólico La Cabaña

4.4 Señales registradas

Durante los ensayos que se presentarán a continuación, se realizó la medición de las variables utilizando el sistema de adquisición de datos propio del PPC del BESS Parque Eólico La Cabaña. El mismo cuenta con una tasa de muestreo de 20 ms. Las señales registradas corresponden al circuito N°1, N°2 y N°3 del BESS Parque Eólico La Cabaña y fueron medidas en MT (33 kV). Dichas señales son las que utiliza el PPC del BESS para el control y fueron presentadas en la Tabla 1-2. De las mismas, resultan de interés y serán presentadas en este capítulo las siguientes:

- **PPOI BESS [MW]:** Potencia activa RMS, medida en MT (33 kV). Como se puede observar en la Figura 4-2, esta señal corresponde a la potencia inyectada por el BESS en su POI (33 kV) y por ello será graficada con el nombre **PPOI BESS**.
- **SOC [%]:** Estado de carga promedio de las baterías del BESS.

Utilizando el sistema de adquisición de datos del PPC del BESS, se registraron de forma simultánea las señales correspondientes a los inversores. Las señales registradas fueron presentadas también en la Tabla 1-2. De dichas señales, resultan de interés y serán presentadas en este capítulo, las siguientes:

- **PINVX:** Potencia activa RMS del inversor N°X, medida en BT (0,69 kV). Esta señal se presentará para cada uno de los inversores del BESS.

Como se indicó en la sección 4.2, la sumatoria de la potencia activa, medida en BT, de todos los inversores (PINVX) corresponde a la potencia bruta. Debido a esto se graficará la sumatoria de todas las señales PINVX con el nombre **PBRUTA BESS**.

Adicionalmente, utilizando el sistema de adquisición de datos del PPC Maestro, se registraron las siguientes variables:

- **PPOI [MW]:** Potencia activa RMS, medida en AT (220 kV). Esta potencia corresponde a la potencia activa neta generada por el conjunto compuesto por el PE y el BESS.
- **PWTGX [MW]:** Potencia activa RMS, medida en BT (0,69 kV). Esta potencia corresponde a la potencia activa generada por el aerogenerador N°X y medida en bornes del mismo. La sumatoria de todas las señales PWTGX se graficará con el nombre **PBRUTA WTG**.
- **VWTGX [m/s]:** Velocidad del viento promedio del Parque Eólico La Cabaña. Este valor fue obtenido como el promedio de la velocidad del viento registrada por cada uno de los aerogeneradores del parque.

Estás últimas tres señales serán utilizadas para realizar los cálculos en aquellos escenarios en los que el parque eólico se encuentra en servicio.

A continuación, se presentan los ensayos de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña, tanto en modo carga como en modo descarga, y con el parque eólico en servicio y fuera de servicio.

4.5 Potencia máxima – BESS en descarga – PE fuera de servicio

A partir de los ensayos realizados el día 8 de agosto de 2024, se procede a calcular los valores detallados en la sección 4.3. Dichos cálculos corresponden al BESS Parque Eólico La Cabaña operando en modo inyección de potencia activa (descarga), encontrándose el parque eólico fuera de servicio.

Es importante destacar que los cálculos se realizan utilizando cuatro (4) decimales para los valores expresados en MW y un (1) decimal para los valores expresados en kW. De esta forma el mínimo valor contemplado corresponde a 0,1 kW, para ambas unidades mencionadas.

4.5.1 Ensayos realizados

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña, operando en modo inyección de potencia (descarga), con el PE fuera de servicio.

Para realizar el ensayo de potencia máxima, en modo inyección, se debieron cargar las baterías del BESS, el valor inicial de carga de las mismas fue de 93,54 %. Partiendo de dicho valor de carga, se consigna máxima potencia, en modo descarga, en el PPC del BESS. El ensayo finalizó cuando la carga de las baterías alcanzó un valor de 38,12%. Ambos valores mencionados se pueden observar en la Figura 4-4. La duración del ensayo fue de 1 hora y 7 minutos aproximadamente.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran las siguientes señales:

- **PPOI BESS**: Potencia activa inyectada por el BESS en MT (33 kV)
- **PBRUTA BESS:** Sumatoria de la potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- **SOC:** Estado de carga de las baterías del BESS, se obtiene como el promedio del estado de carga de los 62 módulos de baterías que componen al BESS
- **PINVX:** Potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)

El valor promedio de la potencia generada por el BESS, en MT (33 kV), fue de 67,4184 MW. El valor promedio de la sumatoria de la potencia de cada uno de los inversores, medida en BT (0,69 kV), fue de 69,3216 MW.

Es decir, los valores medios medidos son de:

- PPOI BESS = 67,4184 MW
- PBRUTA BESS = 69,3216 MW

A continuación, se presentan los resultados del ensayo. En la Figura 4-3 se presentan las señales PPOI BESS y PBRUTA BESS, con los valores promedio mencionados previamente. Adicionalmente, en la Figura 4-4 y Figura 4-5, se presenta el estado del SOC y la potencia de cada uno de los inversores medida en BT (0,69 kV).

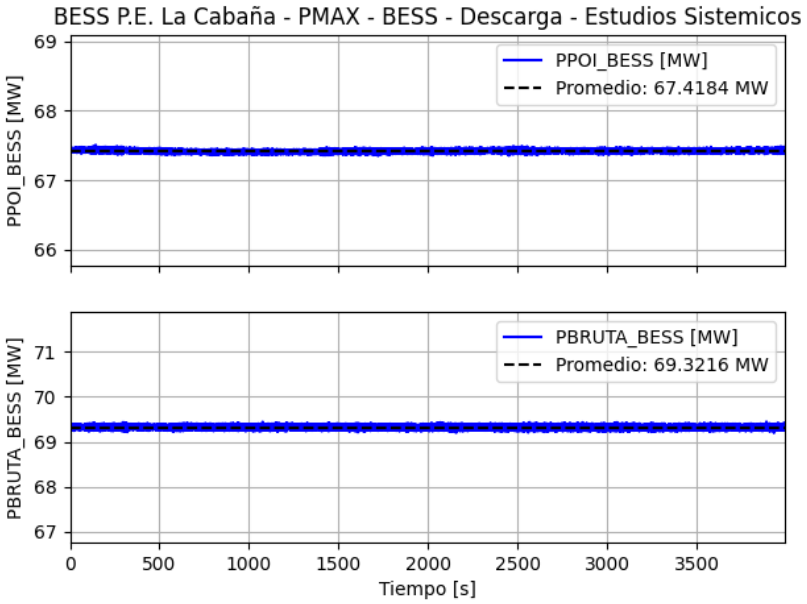

Figura 4-3: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio

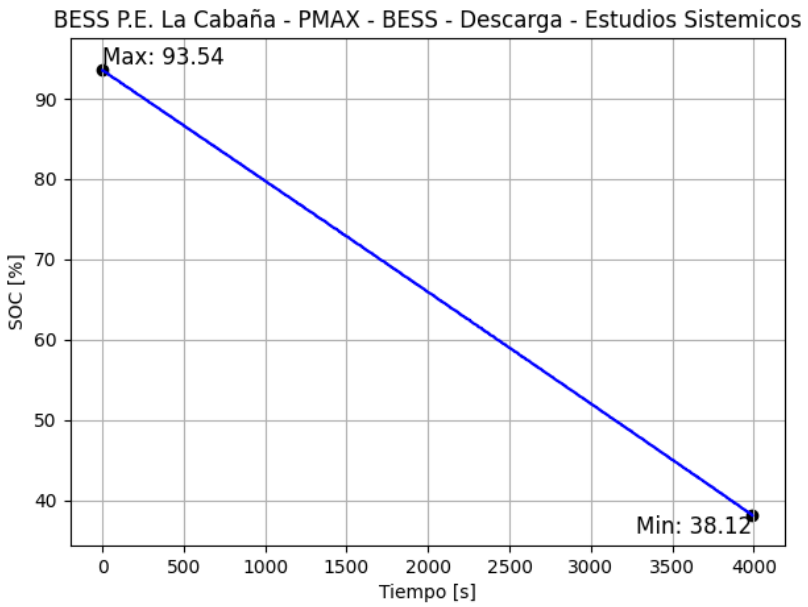

Figura 4-4: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio

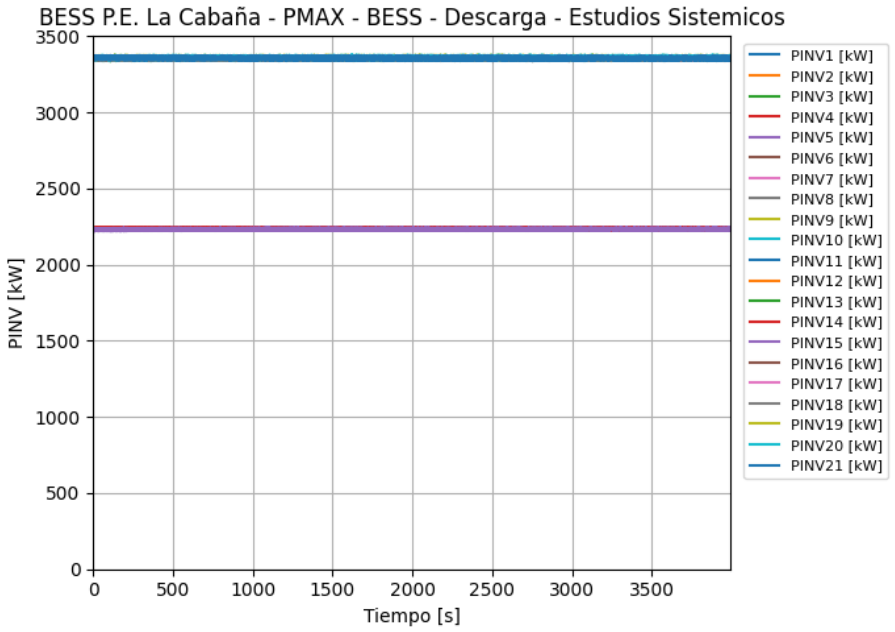

Figura 4-5: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE fuera de servicio

Como se mencionó previamente, el BESS Parque Eólico La Cabaña está compuesto por dieciocho (18) inversores Power Electronics FP4390K y cuatro (4) inversores FP3290K. Los inversores FP4390K poseen una potencia nominal de 4,39 MW, mientras que los inversores FP3290K poseen una potencia nominal de 3,29 MW. Sin embargo, su potencia máxima queda limitada por la cantidad de módulos de baterías conectados a los mismos. Esto fue explicado en la sección 3.3, en donde se indica que los

inversores FP4390K quedan limitados a 3,3 MW y los inversores FP3290K quedan limitados a 2,2 MW. A partir de los resultados presentados en la Figura 4-5, se puede observar que los inversores se encontraban operando a máxima potencia durante la totalidad del ensayo.

A continuación, se presenta el cálculo de los valores descritos en la sección 4.3, a partir de los resultados presentados en la Figura 4-3.

4.5.2 Potencia neta (BESS)

La potencia neta es la máxima potencia activa que el BESS es capaz de entregar, en el punto de interconexión al SEN (220 kV), durante un tiempo determinado.

La medición de potencia neta, durante el ensayo, fue realizada en el POI del BESS en 33 kV y no en el POI del Parque Eólico La Cabaña en 220 kV. El punto de medición fue elegido para evitar la influencia de los elementos que no pertenecen al BESS Parque Eólico La Cabaña, como lo son los aerogeneradores y el transformador de SSAA del parque eólico. Debido a esto, el valor de potencia neta será obtenido en la sección 4.5.6.

Como se observa en la Figura 4-3, la potencia promedio inyectada por el BESS, en su POI (33 kV), durante el ensayo, fue de 67,4184 MW, por lo tanto:

$$\boldsymbol{PPOI\ BESS = 67,4184\ MW}$$

4.5.3 Potencia bruta (BESS)

La potencia medida durante el ensayo, PBRUTA BESS, representa la sumatoria de la potencia activa de todos los inversores del BESS, medida en BT (0,69 kV). El valor medio de dicha potencia será representado con el termino (P_{med}). Como se observa, en la Figura 4-3, la potencia promedio inyectada por los inversores, durante el ensayo, fue de 69,3216 MW, por lo tanto:

$$P_{med} = 69{,}3216\ MW$$

La potencia bruta representa a la potencia total generada por los inversores, está incluye a los consumos propios de los mismos. Cada inversor posee un consumo propio asociado a sus servicios auxiliares. Los valores de los mismos fueron detallados en la sección 3.3. Como se observa en la sección mencionada, el consumo de los inversores durante su operación depende de la cantidad de módulos que posean. Con lo cual, el consumo de los inversores FP4390K (4 módulos) es de 9,6 kW y el de los inversores FP3290K (3 módulos) es de 8,1 kW, de acuerdo con la Tabla 3-3. Es decir que, la potencia bruta en las condiciones del ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta} = P_{med} + (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

$$\boldsymbol{P_{bruta}} = 69{,}3216\ MW + (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = \boldsymbol{69,5268\ MW}$$

4.5.4 Consumo de los servicios auxiliares (BESS)

Para el cálculo del consumo de los SSAA, del BESS Parque Eólico La Cabaña, se considerará el consumo de: los inversores, los módulos de baterías y el PMS. Adicionalmente, deben considerarse las pérdidas de los transformadores de SSAA.

El consumo de los SSAA se presentó en la sección 3.7 y se encuentra detallado en el ANEXO VI. Los consumos informados corresponden a la suma de los consumos de: los inversores, los contenedores de baterías y el PMS, esto se puede observar en el detalle presentado en el ANEXO VI. Si bien se informa un valor de consumo de SSAA total, se desconoce las condiciones en las cuales el valor fue obtenido. Debido a esto, se consideran los consumos de los contenedores de baterías e inversores informados en la sección 3.2 y 3.3. Mientras que el consumo del PMS es extraído de la información presentada en el ANEXO VI. Es decir, el consumo de los SSAA del BESS Parque Eólico La Cabaña puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_{SSAA} = Consumo_{inversores} + Consumo_{baterías} + Consumo_{PMS} + P_{tr1.SSAA} + P_{tr2.SSAA}$$

El consumo de los inversores puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Consumo_{inversores} = (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

Reemplazando, con los valores presentados en la sección 4.5.3, se obtiene:

$$Consumo_{inversores} = (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = 205{,}2\ kW$$

El consumo de las baterías se presentó en la sección 3.2 y es de 23,6 kW en su peor condición. La cantidad de contenedores de baterías es de 62. A partir de esta información se calcula el consumo total de los contenedores de baterías de la siguiente manera:

$$Consumo_{baterías} = 23{,}6\ kW \times Cantidad_{baterías} = 23{,}6\ kW \times 62 = 1463{,}2\ kW$$

El consumo del PMS, extraído del ANEXO VI, es de 4 kW. Por lo tanto:

$$Consumo_{PMS} = 4{,}0\ kW$$

Las pérdidas de los transformadores de servicios auxiliares son de 1,374 kW y 7,87 kW, para vacío y carga respectivamente. Las mismas fueron presentadas en la sección 3.6 y son iguales para ambos transformadores. A partir de esta información se pueden calcular las pérdidas de los transformadores de SSAA de la siguiente manera:

$$P_{tr1.SSAA} = P_{tr1.SSAA-vacío} + P_{tr1.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

$$P_{tr2.SSAA} = P_{tr2.SSAA-vacío} + P_{tr2.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

Finalmente, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación inicial se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{SSAA}} = 205{,}2\ kW + 1463{,}2\ kW + 4\ kW + 9{,}2\ kW + 9{,}2\ kW = \mathbf{1690{,}9\ kW}$$

4.5.5 Pérdidas en la central (BESS)

Las pérdidas en la central ($P_{central}$) están compuestas por las pérdidas en el colector ($P_{colector}$) y las pérdidas del transformador de poder ($P_{tr.poder}$), como se indicó en la sección 4.3. Representan a todas las pérdidas del sistema colector, incluyendo conductores, pérdidas de los transformadores de bloque y pérdidas del transformador de poder de la central.

Teniendo en cuenta el diagrama presentado en la Figura 4-2, es posible decir que la diferencia entre P_{bruta} y P_{neta} corresponde a la suma del consumo de los servicios auxiliares (P_{SSAA}) y de las pérdidas de la central ($P_{central}$). Por lo tanto, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{bruta} - P_{neta} = P_{SSAA} + P_{central}$$

Esta ecuación permite expresar el valor de $P_{central}$ en función de los valores obtenidos en los apartados previos, es decir:

$$P_{central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

Como se mencionó previamente, las pérdidas de la central están compuestas por las pérdidas en la red colectora y las pérdidas en el transformador de poder. Sin embargo, la medición de potencia neta, durante el ensayo, fue realizada en el POI del BESS en 33 kV y no en el POI del Parque Eólico La Cabaña en 220 kV. El punto de medición fue elegido para evitar la influencia de los elementos que no pertenecen al BESS Parque Eólico La Cabaña, como lo son los aerogeneradores y el transformador de SSAA del parque eólico.

Al no contar con la medición de P_{neta} no se pueden considerar las pérdidas del transformador de poder y por tanto no se puede obtener el valor de $P_{central}$. Sin embargo, tomando como referencia la Figura 4-2 y contando con la medición de $PPOI\ BESS$, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{colector} = P_{bruta} - PPOI\ BESS - P_{SSAA}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{colector}} = 69{,}5268\ MW - 67{,}4184\ MW - 1690{,}9\ kW = \mathbf{417{,}5\ kW}$$

Las pérdidas del colector ($P_{colector}$) corresponden a las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y carga, a las pérdidas de los conductores de la red colectora de media tensión y a las pérdidas en los conductores de baja tensión. Esto fue descrito en la sección 4.2. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas del colector de la siguiente manera:

$$P_{colector} = P_{tr.bloque} + P_{conductores}$$

Para el cálculo de las pérdidas de los transformadores de bloque ($P_{tr.bloque}$) se deben tener en cuenta las pérdidas en carga y en vacío de los mismos. Es decir:

$$P_{tr.bloque} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga}$$

Adicionalmente, se debe considerar que el BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con tres tipos diferentes de transformadores de bloque, los cuales pueden observarse en la Figura 3-4. De acuerdo con dicha figura, el BESS cuenta con: dos (2) transformadores de 4,39 MVA, dos (2) transformadores de 6,58 MVA y ocho (8) transformadores de 8,78 MVA. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y en carga, de la siguiente manera:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{4.39}) + 2 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{6.58}) + 8 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{8.78})$$

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{4.39}) + 2 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{6.58}) + 8 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{8.78})$$

Las pérdidas, en vacío, de los transformadores de bloque se indicaron en la Tabla 3-4. Las mismas son de 3,85 kW para los transformadores de 4,39 MVA, de 5,20 kW para los de 6,58 MVA y de 7,25 kW para los transformadores de 8,78 MVA. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times (3{,}85\ kW) + 2 \times (5{,}2\ kW) + 8 \times (7{,}25\ kW) = 76{,}1\ kW$$

Las pérdidas en carga dependen de la potencia a la cual se encontraban operando los transformadores. Durante el ensayo los inversores FP4390K se encontraban despachados a 3,3 MW y 0 MVAr, mientras que los inversores FP3290K se encontraban despachados a 2,2 MW y 0 MVAr. A partir de esta información y del diagrama presentado en la Figura 3-4, se puede decir que:

- Cada uno de los transformadores de bloque de 4,39 MVA se encuentra conectado a un (1) único inversor de FP4390K. Es decir, cada transformador de 4,39 MVA se encuentra despachado a 3,3 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 6,58 MVA se encuentra conectado a dos (2) inversores FP3290K. Es decir, cada transformador de bloque de 6,58 MVA se encuentra despachado a 4,4 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 8,78 MVA se encuentra conectado a dos inversores FP4390K. Es decir, cada transformador de 8,78 MVA se encuentra despachado a 6,6 MW.

A partir de esta información es posible estimar las pérdidas en carga de cada uno de los transformadores de bloque. Para ello se utilizan las pérdidas a potencia nominal indicadas en la Tabla 3-4 y la siguiente ecuación:

$$P_{tr.bloque-carga} = {P_{tr.bloque-carga}}^{nom} \times \left(\frac{P_{med}}{{S_{tr.bloque}}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- ${P_{tr.bloque-carga}}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de bloque a potencia nominal [kW]
- ${S_{tr.bloque}}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de bloque [MVA]
- P_{med}: Potencia de operación del transformador de bloque durante el ensayo [MVA]

Las pérdidas a potencia nominal fueron indicadas en la Tabla 3-4. Las mismas son de 34,5 kW, 46,5 kW y 54 kW, para los transformadores de 4,39 MVA, 6,58 MVA y 8,78 MVA, respectivamente. Utilizando estos valores y las potencias de despacho mencionadas previamente, se calculan las pérdidas en cargar de los transformadores de bloque de la siguiente manera:

$${P_{tr.bloque-carga}}^{4.39} = 34{,}5\ kW \times \left(\frac{3{,}3\ MVA}{4{,}39\ MVA}\right)^2 = 19{,}5\ kW$$

$${P_{tr.bloque-carga}}^{6.58} = 46{,}5\ kW \times \left(\frac{4{,}4\ MVA}{6{,}58\ MVA}\right)^2 = 20{,}8\ kW$$

$${P_{tr.bloque-carga}}^{8.78} = 54\ kW \times \left(\frac{6{,}6\ MVA}{8{,}78\ MVA}\right)^2 = 30{,}5\ kW$$

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times (19{,}5\ kW) + 2 \times (20{,}8\ kW) + 8 \times (30{,}5\ kW) = 324{,}7\ kW$$

A partir de los valores de las pérdidas en carga ($P_{tr.bloque-carga}$) y de las pérdidas en vacío ($P_{tr.bloque-vacío}$) de los transformadores de bloque, se pueden obtener las pérdidas totales de los mismos reemplazando como se indica a continuación:

$$\boldsymbol{P_{tr.bloque}} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga} = 76{,}1\ kW + 324{,}7\ kW = \mathbf{400{,}8\ kW}$$

A partir del valor de las pérdidas en el colector y de las pérdidas en los transformadores de bloque, es posible calcular las pérdidas propias de los conductores, como se indica a continuación:

$$P_{conductores} = P_{colector} - P_{tr.bloque}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{conductores}} = 417{,}5\ kW - 400{,}8\ kW = \mathbf{16{,}7\ kW}$$

4.5.6 Agregado del transformador de poder

Como se mencionó previamente, la medición durante los ensayos fue realizada en el POI del BESS, es decir, en 33 kV. Este punto de medición fue elegido para evitar la influencia de los elementos del Parque Eólico La Cabaña durante los ensayos del BESS. Debido a esto, el valor de P_{neta} debe obtenerse a partir de la medición de PPOI BESS y de la estimación de las pérdidas del transformador de poder. Adicionalmente, el valor de $P_{central}$ debe calcularse a partir del valor ya obtenido de $P_{colector}$ y de la estimación de las pérdidas del transformador de poder.

Las pérdidas del transformador de poder se componen de las pérdidas en vacío y en carga. Es decir:

$$P_{tr.poder} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la sección 3.5. Las mismas tienen un valor de 50,04 kW. Entonces se puede decir que:

$$P_{tr.poder-vacio} = 50{,}0\ kW$$

Las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr.poder-carga} = {P_{tr.poder-carga}}^{nom} \times \left(\frac{P_{med}}{{S_{tr.poder}}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- ${P_{tr.poder-carga}}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW]
- ${S_{tr.poder}}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de poder [MVA]
- P_{med}: Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA]

Tanto las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal, del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 3-5. Los valores de las mismas son 388,34 kW y 150 MVA, respectivamente. El valor de la potencia de operación a utilizar será el valor medio de la potencia neta registrado durante el ensayo. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.poder-carga} = 388{,}34\ kW \times \left(\frac{67{,}4184\ MVA}{150\ MVA}\right)^2 = 78{,}4\ kW$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$\boldsymbol{P_{tr.poder}} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio} = 78{,}4\ kW + 50{,}0\ kW = \mathbf{128{,}5\ kW}$$

Utilizando el valor obtenido de $\boldsymbol{P_{tr.poder}}$ es posible obtener la potencia neta y las pérdidas en la central. En el caso de la potencia neta, se deben restar las pérdidas del transformador de poder al valor registrado de PPOI BESS. Entonces:

$$\boldsymbol{P_{neta}} = PPOI\ BESS - P_{tr.poder} = 67{,}4184\ MW - 128{,}5\ kW = \mathbf{67{,}2899\ MW}$$

En el caso de las pérdidas en la central ($P_{central}$), las mismas contemplan a las pérdidas de la red colectora y a las pérdidas del transformador de poder, como se indicó en la sección 4.3. Previamente se obtuvo el valor de las pérdidas de la red colectora y ahora se le debe sumar a las mismas el valor de las pérdidas del transformador de poder, es decir:

$$\boldsymbol{P_{central}} = P_{colector} + P_{tr.poder} = 417{,}5\ kW + 128{,}5\ kW = \mathbf{546{,}0\ kW}$$

4.6 Potencia máxima – BESS en descarga – PE en servicio

A partir de los ensayos realizados el día 8 de agosto de 2024, se procede a calcular los valores detallados en la sección 4.3. Dichos cálculos corresponden al BESS Parque Eólico La Cabaña operando en modo inyección de potencia activa (descarga), encontrándose el parque eólico en servicio.

Es importante destacar que los cálculos se realizan utilizando cuatro (4) decimales para los valores expresados en MW y un (1) decimal para los valores expresados en kW. De esta forma el mínimo valor contemplado corresponde a 0,1 kW, para ambas unidades mencionadas.

4.6.1 Ensayos realizados

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña, operando en modo inyección de potencia (descarga), con el PE en servicio.

Para realizar el ensayo de potencia máxima, en modo inyección, se debieron cargar las baterías del BESS, el valor inicial de carga de las mismas fue de 96,35%. Partiendo de dicho valor de carga, se consigna máxima potencia, en modo descarga, en el PPC del BESS. El ensayo finalizó cuando la carga de las baterías alcanzó un valor de 15,54%. Ambos valores mencionados se pueden observar en la Figura 4-9. La duración del ensayo fue de 1 hora y 38 minutos aproximadamente.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran las siguientes señales:

- PPOI BESS: Potencia activa inyectada por el BESS en MT (33 kV)
- PBRUTA BESS: Sumatoria de la potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- SOC: Estado de carga de las baterías del BESS, se obtiene como el promedio del estado de carga de los 62 módulos de baterías que componen al BESS
- PINVX: Potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- PBRUTA WTG: Sumatoria de la potencia activa generada por cada uno de los aerogeneradores del parque eólico, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- VWTG: Promedio de la velocidad del viento de cada uno de los aerogeneradores
- PPOI: Potencia activa inyectada en AT (220kV) por el conjunto (PE + BESS)

La disponibilidad de los aerogeneradores durante la prueba fue del 100 %, es decir, los veintidós (22) aerogeneradores se encontraban en servicio. El viento promedio durante la realización de las pruebas fue de 6,7950 $\frac{m}{s}$. No obstante, hay intervalos en los que el viento disminuyó por debajo del promedio calculado, con lo cual, la potencia de los aerogeneradores descendió y provocó que la potencia activa en el POI no permanezca constante. El valor medio de potencia activa, durante el ensayo, fue de 103,8251 MW. Durante algunos intervalos de tiempo la potencia en el POI alcanzo los 104,5 MW, valor en el cual, el PPC maestro limita la potencia activa de los aerogeneradores. El valor promedio de potencia bruta, medida en los aerogeneradores, fue de 36,9941 MW.

El valor promedio de la potencia generada por el BESS, en MT (33 kV), fue de 67,4177 MW. El valor promedio de la sumatoria de la potencia de cada uno de los inversores, medida en BT (0,69 kV), fue de 69,3162 MW.

Es decir, los valores medios medidos son:

- PPOI = 103,8251 MW
- PBRUTA WTG = 36,9941 MW

- PPOI BESS = 67,4177 MW
- PBRUTA BESS = 69,3162 MW

A continuación, se presentan los resultados del ensayo. En la Figura 4-6 se presenta la potencia activa del conjunto en AT (220 kV), es decir, PPOI. En la Figura 4-7 se presenta las señales de PBRUTA WTG y VWTG, mientras que en la Figura 4-8 se muestra la PPOI BESS y PBRUTA BESS, todas ellas con los valores promedio mencionados previamente. Adicionalmente, en la Figura 4-9 se presenta el estado del SOC, mientras que en la Figura 4-10 y Figura 4-11 la potencia de cada uno de los inversores y aerogeneradores, respectivamente, medida en BT (0,69 kV).

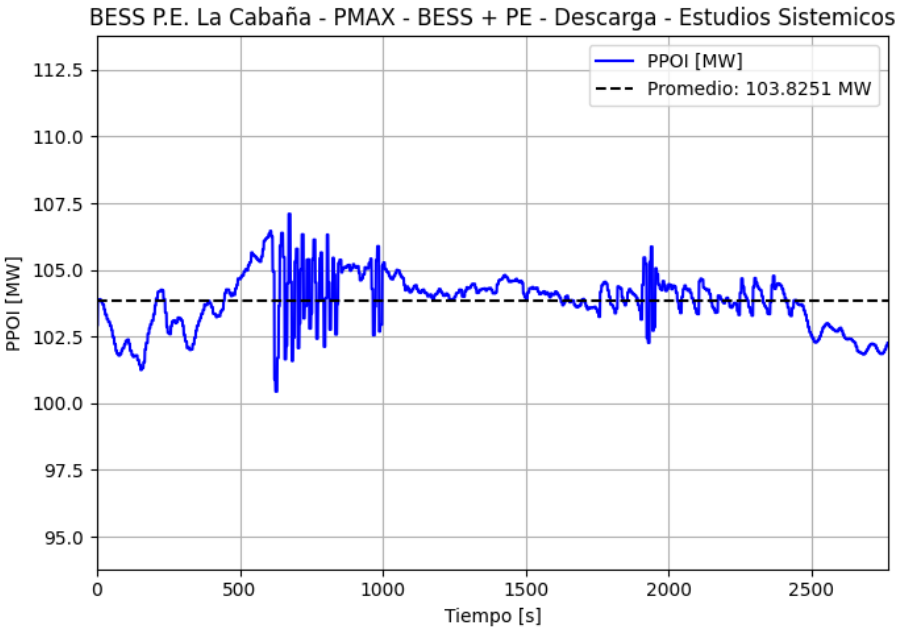

Figura 4-6: PPOI – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

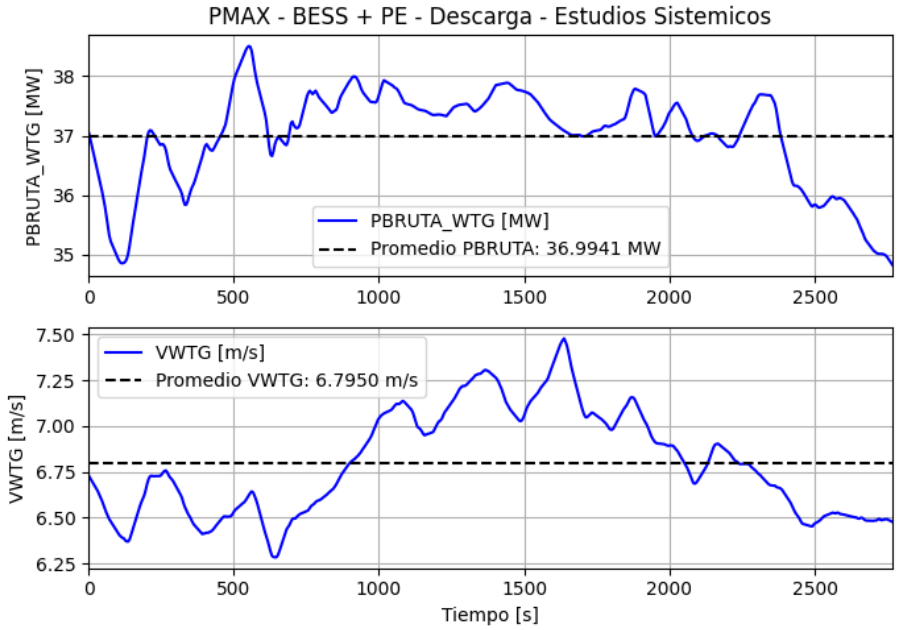

Figura 4-7: PBRUTA WTG y VWTG – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

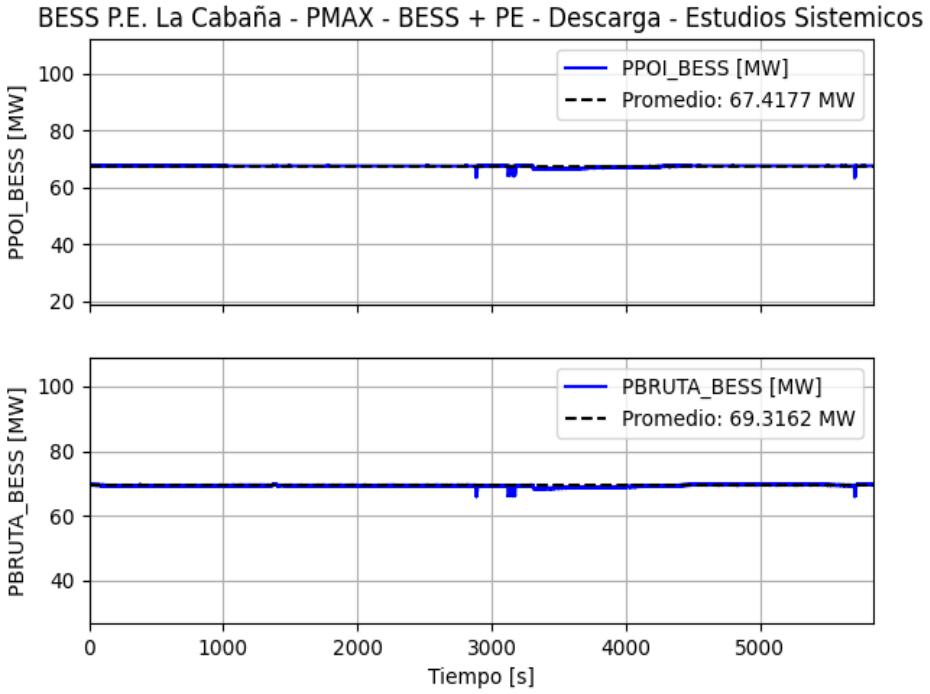

Figura 4-8: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

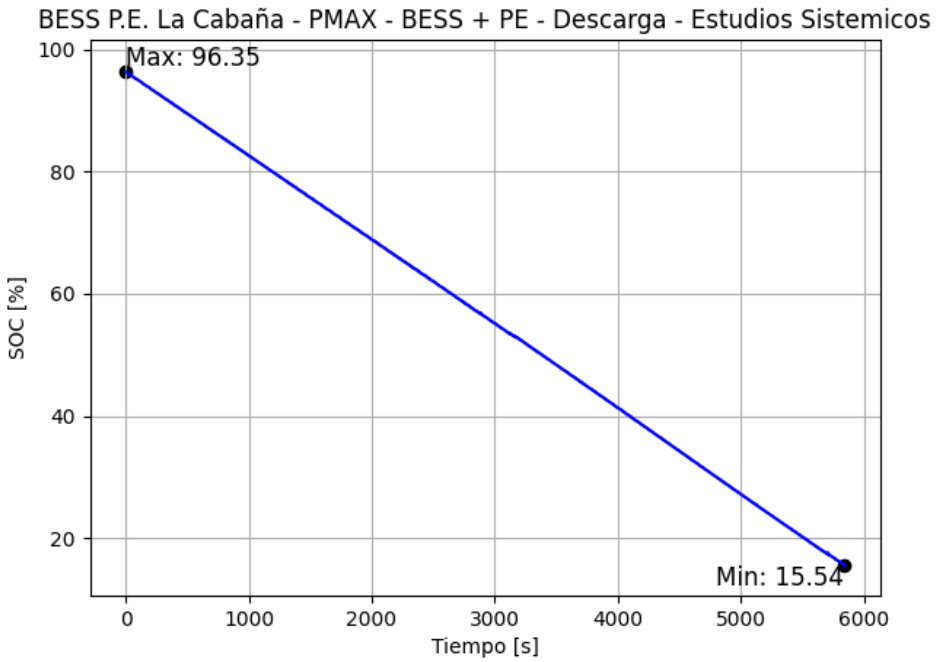

Figura 4-9: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

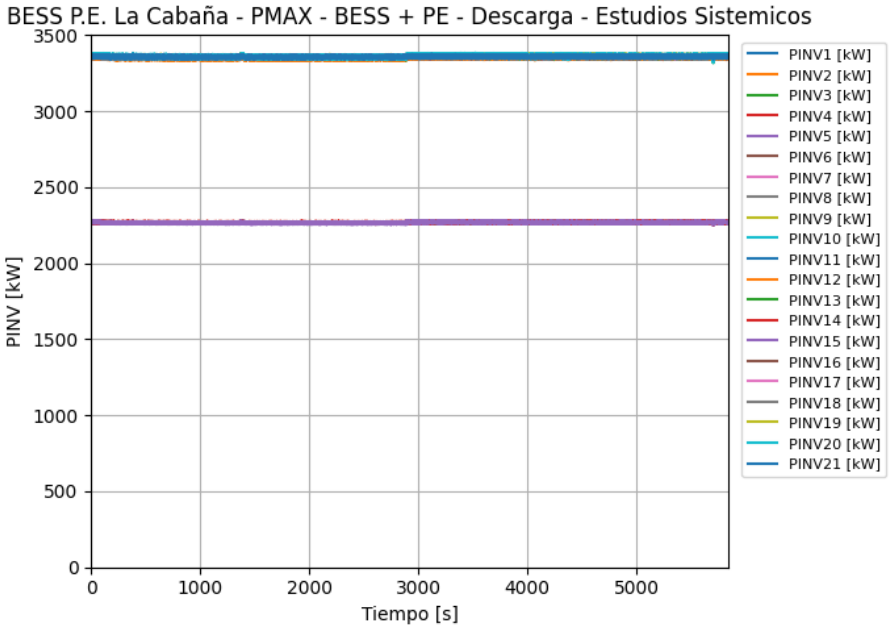

Figura 4-10: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

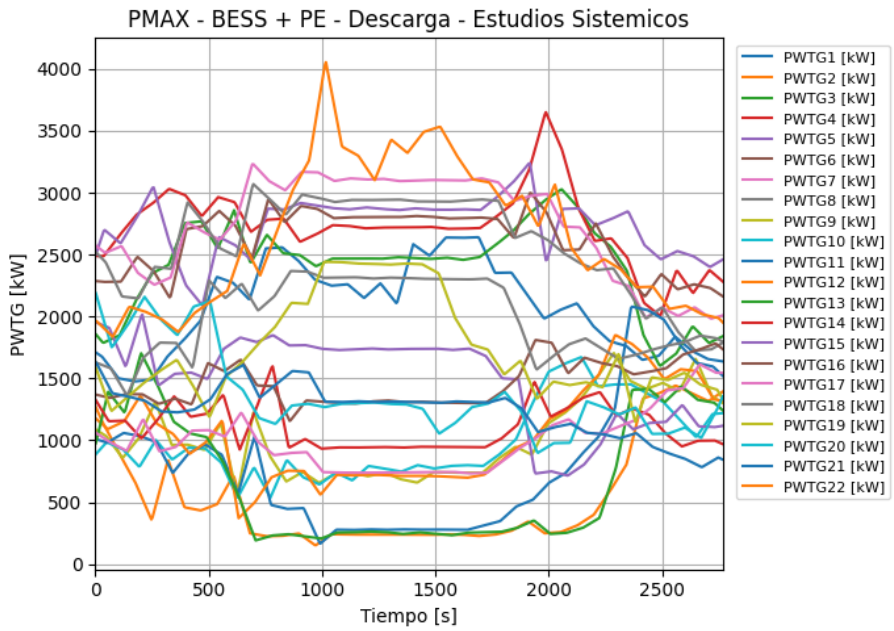

Figura 4-11: Potencia activa en bornes de los aerogeneradores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en descarga, PE en servicio

Como se mencionó previamente, el BESS Parque Eólico La Cabaña está compuesto por dieciocho (18) inversores Power Electronics FP4390K y cuatro (4) inversores FP3290K. Los inversores FP4390K poseen una potencia nominal de 4,39 MW, mientras que los inversores FP3290K poseen una potencia nominal de 3,29 MW. Sin embargo, su potencia máxima queda limitada por la cantidad de módulos de baterías conectados a los mismos. Esto fue explicado en la sección 3.3, en donde se indica que los inversores FP4390K quedan limitados a 3,3 MW y los inversores FP3290K quedan limitados a 2,2 MW. A partir de los resultados presentados en la Figura 4-10, se puede observar que los inversores se encontraban operando a máxima potencia durante la totalidad del ensayo.

A continuación, se presenta el cálculo de los valores descritos en la sección 4.3, a partir de los resultados presentados en las figuras anteriores. Inicialmente se realizará el cálculo de los valores correspondientes al BESS, posteriormente se realizará el cálculo de los valores correspondientes al PE y finalmente se presentará el cálculo de los valores totales (PE + BESS), los cuales serán presentados en el capítulo correspondiente a las conclusiones.

4.6.2 Potencia bruta (BESS)

La potencia medida del BESS durante el ensayo, PBRUTA BESS, representa la sumatoria de la potencia activa de todos los inversores del BESS, medida en BT (0,69 kV). El valor medio de dicha potencia será representado con el termino (${P_{med}}^{BESS}$). Como se observa, en la Figura 4-8, la potencia promedio inyectada por los inversores, durante el ensayo, fue de 69,3162 MW, por lo tanto:

$$ {P_{med}}^{BESS} = 69{,}3162\ MW $$

La potencia bruta representa a la potencia total generada por los inversores, está incluye a los consumos propios de los mismos. Cada inversor posee un consumo propio asociado a sus servicios auxiliares. Los valores de los mismos fueron detallados en la sección 3.3. Como se observa en la sección mencionada, el consumo de los inversores durante su operación depende de la cantidad de módulos que posean. Con lo cual, el consumo de los inversores FP4390K (4 módulos) es de 9,6 kW y el de los inversores FP3290K (3 módulos) es de 8,1 kW, de acuerdo con la Tabla 3-3. Es decir que la potencia bruta en las condiciones del ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta}{}^{BESS} = P_{med}{}^{BESS} + (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

$$\boldsymbol{P_{bruta}{}^{BESS}} = 69{,}3162\ MW + (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = \ \mathbf{69{,}5214\ MW}$$

4.6.3 Consumo de los servicios auxiliares (BESS)

Para el cálculo del consumo de los SSAA, del BESS Parque Eólico La Cabaña, se considerará el consumo de: los inversores, los módulos de baterías y el PMS. Adicionalmente, deben considerarse las pérdidas del transformador de SSAA.

El consumo de los SSAA se presentó en la sección 3.7 y se encuentra detallado en el ANEXO VI. Los consumos informados corresponden a la suma de los consumos de: los inversores, los contenedores de baterías y el PMS, esto se puede observar en el detalle del ANEXO VI. Si bien se informa un valor de consumo de SSAA total, se desconoce las condiciones en las cuales el valor fue obtenido. Debido a esto, se consideran los consumos de los contenedores de baterías e inversores informados en la sección 3.2 y 3.3. Mientras que el consumo del PMS es extraído de la información presentada en el ANEXO VI. Es decir, el consumo de los SSAA del BESS Parque Eólico La Cabaña puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_{SSAA}{}^{BESS} = Consumo_{inversores} + Consumo_{baterías} + Consumo_{PMS} + P_{tr1.SSAA} + P_{tr2.SSAA}$$

El consumo de los inversores puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Consumo_{inversores} = (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

Reemplazando, con los valores presentados en la sección 3.3, se obtiene:

$$Consumo_{inversores} = (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = \ 205{,}2\ kW$$

El consumo de las baterías se presentó en la sección 3.2 y es de 23,6 kW en su peor condición. La cantidad de contenedores de baterías es de 62. A partir de esta información se calcula el consumo total de los contenedores de baterías de la siguiente manera:

$$Consumo_{baterías} = 23{,}6\ kW \times Cantidad_{baterías} = 23{,}6\ kW \times 62 = 1463{,}2\ kW$$

El consumo del PMS, extraído del ANEXO VI, es de 4 kW. Por lo tanto:

$$Consumo_{PMS} = 4{,}0\ kW$$

Las pérdidas de los transformadores de servicios auxiliares son de 1,374 kW y 7,87 kW, para vacío y carga respectivamente. Las mismas fueron presentadas en la sección 3.6 y son iguales para ambos transformadores. A partir de esta información se pueden calcular las pérdidas de los transformadores de SSAA de la siguiente manera:

$$P_{tr1.SSAA} = P_{tr1.SSAA-vacío} + P_{tr1.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

$$P_{tr2.SSAA} = P_{tr2.SSAA-vacío} + P_{tr2.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

Finalmente, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación inicial se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{SSAA}}^{\boldsymbol{BESS}} = 205{,}2\ kW + 1463{,}2\ kW + 4\ kW + 9{,}2\ kW + 9{,}2\ kW = \mathbf{1690{,}9\ kW}$$

4.6.4 Pérdidas (BESS)

Las pérdidas en la central ($P_{central}$) están compuestas por las pérdidas en el colector ($P_{colector}$) y las pérdidas del transformador de poder ($P_{tr.poder}$), como se indicó en la sección 4.3. Representan a todas las pérdidas del sistema colector, incluyendo conductores, pérdidas de los transformadores de bloque y pérdidas del transformador de poder de la central.

Teniendo en cuenta el diagrama presentado en la Figura 4-2, es posible decir que la diferencia entre P_{bruta} y P_{neta} corresponde a la suma del consumo de los servicios auxiliares (P_{SSAA}) y de las pérdidas de la central ($P_{central}$). Por lo tanto, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{bruta} - P_{neta} = P_{SSAA} + P_{central}$$

Esta ecuación permite expresar el valor de $P_{central}$ en función de los valores obtenidos en los apartados previos, es decir:

$$P_{central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

Durante este ensayo en particular se realizó la medición de potencia neta en el POI (220 kV) y de la potencia activa en el POI del BESS (33 kV). Esto se debe a que, durante el ensayo que se presenta en esta sección, tanto el BESS como el PE se encuentran en servicio. Debido a que, en esta sección, se busca obtener las pérdidas propias del BESS, se utilizará para el cálculo la medición en el POI del mismo (33 kV). Al utilizar este valor es posible obtener únicamente las pérdidas del BESS. Utilizando la medición en 33 kV (PPOI BESS) y la información presentada en la Figura 4-8, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{colector}{}^{BESS} = P_{bruta}{}^{BESS} - PPOI\ BESS - P_{SSAA}{}^{BESS}$$

En la ecuación anterior se convirtió la potencia neta a PPOI BESS y a su vez se reemplazaron las perdidas en la central por las perdidas en el colector. Esto último se debe a que, al utilizar una medición en 33 kV y no en 220 kV, no es posible considerar las pérdidas del transformador de poder. Esto es correcto ya que las pérdidas del transformador de poder son compartidas tanto por el BESS como por el PE y en esta sección se busca obtener únicamente las pérdidas del BESS. Entonces, reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{colector}}^{\boldsymbol{BESS}} = 69{,}5214\ MW - (67{,}4177\ MW) - 1690{,}9\ kW = \mathbf{412{,}8\ kW}$$

Las pérdidas del colector ($P_{colector}$) corresponden a las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y carga, a las pérdidas de los conductores de la red colectora de media tensión y a las pérdidas en los conductores de baja tensión. Esto fue descrito en la sección 4.3. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas del colector de la siguiente manera:

$$P_{colector}{}^{BESS} = P_{tr.bloque}{}^{BESS} + P_{conductores}{}^{BESS}$$

Para el cálculo de las pérdidas de los transformadores de bloque ($P_{tr.bloque}$) se deben tener en cuenta las pérdidas en carga y en vacío de los mismos. Es decir:

$$P_{tr.bloque}{}^{BESS} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga}$$

Adicionalmente, se debe considerar que el BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con tres tipos diferentes de transformadores de bloque, los cuales pueden observarse en la Figura 3-4. De acuerdo con dicha figura, el BESS cuenta con: dos (2) transformadores de 4,39 MVA, dos (2) transformadores de 6,58 MVA y ocho (8) transformadores de 8,78 MVA. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y en carga, de la siguiente manera:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times (P_{tr.bloque-vacio}{}^{4.39}) + 2 \times (P_{tr.bloque-vacio}{}^{6.58}) + 8 \times (P_{tr.bloque-vacio}{}^{8.78})$$

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times (P_{tr.bloque-carga}{}^{4.39}) + 2 \times (P_{tr.bloque-carga}{}^{6.58}) + 8 \times (P_{tr.bloque-carga}{}^{8.78})$$

Las pérdidas, en vacío, de los transformadores de bloque se indicaron en la Tabla 3-4. Las mismas son de 3,85 kW para los transformadores de 4,39 MVA, de 5,20 kW para los de 6,58 MVA y de 7,25 kW para los transformadores de 8,78 MVA. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times (3{,}85\ kW) + 2 \times (5{,}2\ kW) + 8 \times (7{,}25\ kW) = 76{,}1\ kW$$

Las pérdidas en carga dependen de la potencia a la cual se encontraban operando los transformadores. Durante el ensayo los inversores FP4390K se encontraban despachados a 3,3 MW y 0 MVAr, mientras que los inversores FP3290K se encontraban despachados a 2,2 MW y 0 MVAr. A partir de esta información y del diagrama presentado en la Figura 3-4, se puede decir que:

- Cada uno de los transformadores de bloque de 4,39 MVA se encuentra conectado a un (1) único inversor de FP4390K. Es decir, cada transformador de 4,39 MVA se encuentra despachado a 3,3 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 6,58 MVA se encuentra conectado a dos (2) inversores FP3290K. Es decir, cada transformador de 6,58 MVA se encuentra despachado a 4,4 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 8,78 MVA se encontraba conectado a dos inversores FP4390K. Es decir, cada transformador de 8,78 MVA se encuentra despachado a 6,6 MW.

A partir de esta información es posible estimar las pérdidas en carga de cada uno de los transformadores. Para ello se utilizan las pérdidas a potencia nominal indicadas en la Tabla 3-4 y la siguiente ecuación:

$$P_{tr.bloque-carga} = P_{tr.bloque-carga}{}^{nom} \times \left(\frac{P_{med}}{S_{tr.bloque}{}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- $P_{tr.bloque-carga}{}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de bloque a potencia nominal [kW]
- $S_{tr.bloque}{}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de bloque [MVA]
- P_{med}: Potencia de operación del transformador de bloque durante el ensayo [MVA]

Las pérdidas a potencia nominal fueron indicadas en la Tabla 3-4. Las mismas son de 34,5 kW, 46,5 kW y 54 kW, para los transformadores de 4,39 MVA, 6,58 MVA y 8,78 MVA, respectivamente. Utilizando

estos valores y las potencias de despacho mencionadas previamente se calculan las pérdidas en cargar de los transformadores de la siguiente manera:

$$P_{tr.bloque-carga}{}^{4.39} = 34{,}5\ kW \times \left(\frac{3{,}3\ MVA}{4{,}39\ MVA}\right)^2 = 19{,}5\ kW$$

$$P_{tr.bloque-carga}{}^{6.58} = 46{,}5\ kW \times \left(\frac{4{,}4\ MVA}{6{,}58\ MVA}\right)^2 = 20{,}8\ kW$$

$$P_{tr.bloque-carga}{}^{8.78} = 54\ kW \times \left(\frac{6{,}6\ MVA}{8{,}78\ MVA}\right)^2 = 30{,}5\ kW$$

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times (19{,}5\ kW) + 2 \times (20{,}8\ kW) + 8 \times (30{,}5\ kW) = 324{,}7\ kW$$

A partir de los valores de las pérdidas en carga ($P_{tr.bloque-carga}$) y de las pérdidas en vacío ($P_{tr.bloque-vacío}$) de los transformadores de bloque, se pueden obtener las pérdidas totales de los mismos reemplazando como se indica a continuación:

$$\boldsymbol{P_{tr.bloque}{}^{BESS}} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga} = 76{,}1\ kW + 324{,}7\ kW = \mathbf{400{,}8\ kW}$$

A partir del valor de las pérdidas en el colector y de las pérdidas en los transformadores de bloque, es posible calcular las pérdidas propias de los conductores, como se indica a continuación:

$$P_{conductores}{}^{BESS} = P_{colector}{}^{BESS} - P_{tr.bloque}{}^{BESS}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{conductores}{}^{BESS}} = 412{,}8\ kW - 400{,}8\ kW = \mathbf{12\ kW}$$

4.6.5 Potencia Bruta (PE)

La potencia medida durante el ensayo, PBRUTA WTG, representa la sumatoria de la potencia activa de todos los aerogeneradores del parque, medida en BT (0,69 kV). El valor medio de dicha potencia será representado con el termino ($P_{med}{}^{PE}$). Como se observa, en la Figura 4-7, la potencia promedio inyectada por los aerogeneradores, durante el ensayo, fue de 36,9941 MW, por lo tanto:

$$P_{med}{}^{PE} = 36{,}9941\ MW$$

La potencia bruta representa a la potencia total generada por los aerogeneradores, está incluye a los consumos propios de los mismos. Cada aerogenerador posee un consumo propio asociado a sus servicios auxiliares. Los valores de los mismos fueron detallados en la Tabla 3-2 del documento [19]. Como se observa en dicho documento, el consumo de los aerogeneradores durante su operación en carga es de 41 kW. Es decir que, la potencia bruta en las condiciones del ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta}{}^{PE} = P_{med}{}^{PE} + (Consumo_{aero}{}^{carga} \times N°\ aeros)$$

$$\boldsymbol{P_{bruta}{}^{PE}} = 36{,}9941\ MW + (41\ kW \times 22) = \mathbf{37{,}8961\ MW}$$

4.6.6 Perdidas en el transformador de poder

Las pérdidas del transformador de poder se pueden calcular se la siguiente manera:

$$P_{tr.poder} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la sección 3.5. Las mismas tienen un valor de 50,04 kW. Entonces se puede decir que:

$$P_{tr.poder-vacio} = 50\ kW$$

Las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr.poder-carga} = {P_{tr.poder-carga}}^{nom} \times \left(\frac{PPOI}{{S_{tr.poder}}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- ${P_{tr.poder-carga}}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW]
- ${S_{tr.poder}}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de poder [MVA]
- P_{med}: Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA]

Tanto las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal, del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 3-5. Los valores de las mismas son 388,34 kW y 150 MVA, respectivamente. El valor de la potencia de operación a utilizar será el valor medio de la potencia neta registrado durante el ensayo (PPOI). Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.poder-carga} = 388{,}34\ kW \times \left(\frac{103{,}8251\ MVA}{150\ MVA}\right)^2 = 186{,}0\ kW$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$\boldsymbol{P_{tr.poder}} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio} = 186{,}0\ kW + 50\ kW = \mathbf{236{,}0\ kW}$$

4.6.7 Perdidas (PE)

En esta sección se buscará obtener el valor de las pérdidas asociadas exclusivamente al parque eólico. Debido a esto, es necesario obtener un valor de potencia que permita calcular dichas perdidas, ya que, como se mencionó previamente, durante el ensayo se realizó la medición en 220 kV y en el POI del BESS en 33 kV. La medición en el POI del BESS permitió obtener los valores asociados al BESS, mientras que la medición en 220 kV contiene la sumatoria de la potencia generada por el BESS y por el PE. Sin embargo, a partir de dichos valores y de la estimación de las pérdidas del transformador de poder, es posible calcular la potencia generada por el parque eólico en 33 kV (${P_{33kV}}^{PE}$). Este valor, al igual que PPOI BESS, permitirá obtener las pérdidas de la central asociadas únicamente al PE. Para obtener ${P_{33kV}}^{PE}$ se utiliza la siguiente ecuación:

$${P_{33kV}}^{PE} = PPOI - PPOI\ BESS + P_{tr.poder}$$

Los valores de PPOI y PPOI BESS fueron presentados en la Figura 4-6 y Figura 4-8, respectivamente. Mientras que, las pérdidas del transformador de poder fueron obtenidas en la sección 4.6.6. Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación inicial se obtiene:

$${P_{33kV}}^{PE} = 103{,}8251\ MW - 67{,}4177\ MW + 236{,}0\ kW = 36{,}6434\ MW$$

A partir del valor de ${P_{33kV}}^{PE}$, de la potencia bruta del parque eólico (obtenida en la sección 4.6.5) y del consumo de SSAA del PE, es posible obtener las pérdidas asociadas exclusivamente al PE. Para ello se utiliza la misma ecuación que se utilizó para obtener las pérdidas asociadas al BESS. Dicha ecuación se presenta a continuación:

$$ {P_{colector}}^{PE} = {P_{bruta}}^{PE} - {P_{33kV}}^{PE} - {P_{SSAA}}^{PE} $$

El valor de ${P_{bruta}}^{PE}$ fue obtenido en la sección 4.6.5, mientras que el valor de ${P_{SSAA}}^{PE}$ fue obtenido en el documento [19] y tiene un valor de 0,9626 MW. Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$ {P_{colector}}^{PE} = 37{,}8961\ MW - 36{,}6434\ MW - 0{,}9626\ MW = 290{,}1\ kW $$

4.6.8 Perdidas en la central (PE + BESS)

En esta sección se calcularán las pérdidas totales de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a las pérdidas de la central asociadas tanto al parque eólico como al BESS. Como se menciona en la sección 4.3 las perdidas en la central corresponden a "la suma de las pérdidas del transformador de poder, las pérdidas de la red colectora de MT y las pérdidas de los transformadores de bloque de los inversores y de los aerogeneradores". Las pérdidas de la red colectora de MT (circuitos colectores de los inversores) y de los transformadores de bloque de los inversores, fueron obtenidas en la sección 4.6.4 y denominadas ${P_{colector}}^{BESS}$**.** Por otra parte, las perdidas en la red colectora de MT (circuitos colectores de los aerogeneradores) y de los transformadores de bloques de los aerogeneradores, fueron obtenidas en la sección 4.6.7 y denominadas ${P_{colector}}^{PE}$. Finalmente, las pérdidas del transformador de poder fueron obtenidas en la sección 4.6.6. A partir de los términos presentados es posible calcular las pérdidas totales de la central utilizando la siguiente ecuación:

$$ P_{central} = {P_{colector}}^{BESS} + {P_{colector}}^{PE} + P_{tr.poder} $$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$ \boldsymbol{P_{central}} = 412{,}8\ kW + 290{,}1\ kW + 236\ kW = \mathbf{938{,}9\ kW} $$

4.6.9 Consumo de servicios auxiliares (PE + BESS)

En esta sección se calculará el consumo de SSAA total de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá al consumo de los SSAA asociados tanto al parque eólico como al BESS.

El consumo de SSAA total de la central corresponde a la suma del consumo de SSAA tanto del BESS como del PE. Es decir, el consumo de SSAA total se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$ P_{SSAA} = {P_{SSAA}}^{BESS} + {P_{SSAA}}^{PE} $$

El consumo de SSAA del BESS fue obtenido en la sección 4.6.3. Mientras que el consumo de SSAA del PE fue obtenido en el documento [19] y tiene un valor de 0,9626 MW. Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$ \boldsymbol{P_{SSAA}} = 1690{,}9\ kW + 0{,}9626\ MW = \mathbf{2{,}6535\ MW} $$

4.6.10 Potencia bruta (PE + BESS)

En esta sección se calculará la potencia bruta total de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a la potencia bruta asociada tanto al parque eólico como al BESS.

La potencia bruta total de la central corresponde a la suma de la potencia bruta generada tanto por el BESS como por el PE. Es decir, la potencia bruta total se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{bruta} = P_{bruta}{}^{BESS} + P_{bruta}{}^{PE}$$

La potencia bruta del BESS fue obtenida en la sección 4.6.2. Mientras que la potencia bruta del PE fue obtenida en la sección 4.6.5. Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{bruta}} = 69{,}5214\ MW + 37{,}8961\ MW = \mathbf{107{,}4175}\ \boldsymbol{MW}$$

4.6.11 Potencia neta (PE + BESS)

En esta sección se calculará la máxima potencia neta de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a la máxima potencia neta generada por el conjunto compuesto por el parque eólico y el BESS.

La máxima potencia neta de la central corresponde al valor medio, obtenido durante el periodo del ensayo, de la señal PPOI graficada en la Figura 4-6. Dicha señal corresponde a la medición de potencia activa realizada en AT (220 kV). El valor medio obtenido de la misma es 103,8251 MW, es decir:

$$\boldsymbol{P_{neta}} = \mathbf{103{,}8251}\ \boldsymbol{MW}$$

4.7 Potencia máxima – BESS en carga – PE en servicio

A partir de los ensayos realizados el día 7 de agosto de 2024, se procede a calcular los valores detallados en la sección 4.3. Dichos cálculos corresponden al BESS Parque Eólico La Cabaña operando en modo absorción de potencia activa (carga), con el PE en servicio.

Es importante destacar que los cálculos se realizan utilizando cuatro (4) decimales para los valores expresados en MW y un (1) decimal para los valores expresados en kW. De esta forma el mínimo valor contemplado corresponde a 0,1 kW, para ambas unidades mencionadas.

4.7.1 Ensayos realizados

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña, operando en modo absorción de potencia (carga), con el PE en servicio.

Para realizar el ensayo de potencia máxima, en modo absorción, se debieron descargar las baterías del BESS. El valor inicial de carga de las mismas fue de 9,09%. Partiendo de dicho valor de carga, se consigna máxima potencia, en modo carga, en el PPC del BESS. El ensayo finalizó cuando la carga de las baterías alcanzó un valor de 77,25%. Ambos valores mencionados se pueden observar en la Figura 4-13. La duración del ensayo fue de 1 hora y 28 minutos aproximadamente.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran las siguientes señales:

- PPOI BESS: Potencia activa inyectada por el BESS en MT (33 kV)
- PBRUTA BESS: Sumatoria de la potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- SOC: Estado de carga de las baterías del BESS, se obtiene como el promedio del estado de carga de los 62 módulos de baterías que componen al BESS
- PINVX: Potencia activa generada por cada uno de los inversores del BESS, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- PBRUTA WTG: Sumatoria de la potencia activa generada por cada uno de los aerogeneradores del parque eólico, medida en bornes de los mismos (0,69 kV)
- VWTG: Promedio de la velocidad del viento de los veinte y dos (22) aerogeneradores del parque eólico, medida por la estación meteorológica de cada aerogenerador
- PPOI: Potencia activa inyectada en AT (220kV) por el conjunto PE + BESS

La disponibilidad de los aerogeneradores durante la prueba fue del 100 %, es decir, los veintidós (22) aerogeneradores se encontraban en servicio. El viento promedio durante la realización de las pruebas fue de 7,1499 $\frac{m}{s}$. El valor promedio de potencia bruta medido en los aerogeneradores fue de 45,9523 MW. Por otra parte, la potencia media en el POI, durante el ensayo, fue de -20,2076 MW, esto se debe al poco recurso disponible durante la fecha en la que se realizaron las pruebas. Al ser la potencia en el POI negativa, la energía utilizada por el BESS para su carga fue obtenida en parte de la red y en parte de los aerogeneradores.

Es importante destacar que se permitió la carga de las baterías utilizando energía de la red para poder realizar los ensayos. Esta excepción fue realizada debida al bajo recurso con el que se contaba durante la fecha en la que se realizaron los ensayos. Durante su operación normal el BESS se cargará utilizando únicamente energía generada por el Parque Eólico La Cabaña. Para poder lograr esto, como se mencionó en la sección 3, el PPC maestro de la central cuenta con una limitación especifica. Dicha limitación se puede observar en la Figura 3-2 y se encarga de que el BESS solo pueda cargarse

utilizando energía generada por los aerogeneradores. A continuación, en la Figura 4-12, se puede observar el funcionamiento de esta limitación.

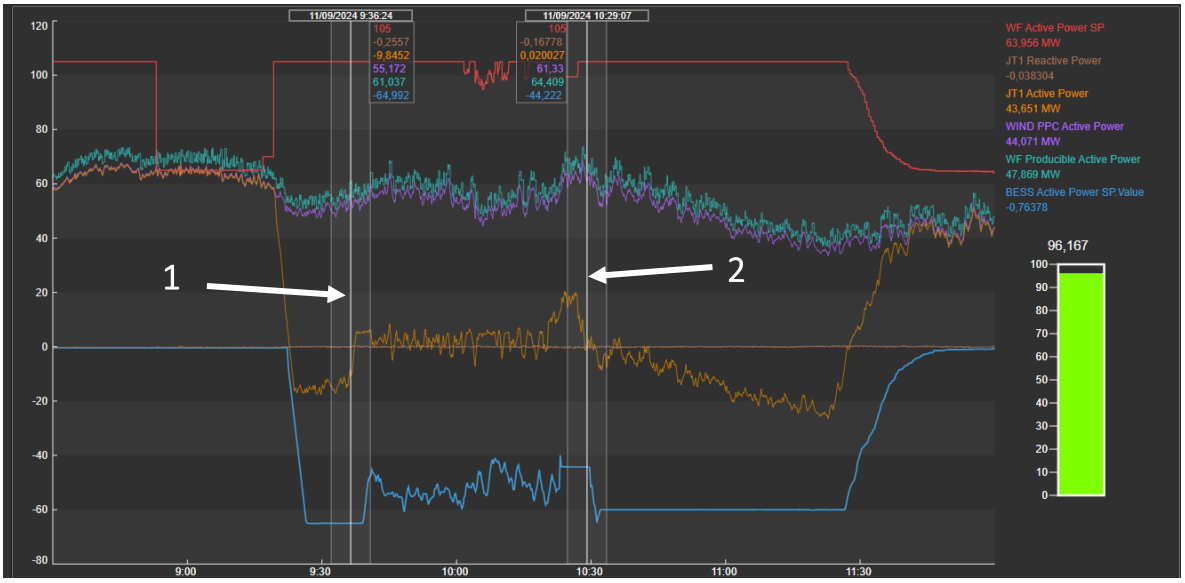

Figura 4-12: Actuación de la limitación de carga del BESS del PPC maestro

En la figura anterior se puede observar cómo, minutos antes de las 09:30 Hs, el BESS comienza a cargarse a plena carga (línea azul) y la potencia en el POI (línea naranja) toma valores negativos. Esto último indica que el BESS está cargándose en parte desde la red, ya que la potencia del parque eólico (línea celeste) no es suficiente para cargar al BESS a plena carga. Posteriormente, en el instante '1', se activa la limitación de carga del BESS. Se puede observar que luego de la activación de la limitación, la potencia de carga del BESS disminuye y la potencia en el POI pasa a ser positiva. Esto último evidencia el correcto funcionamiento de la limitación, ya que no se está tomando más energía de la red para cargar al BESS. Esta condición se mantiene hasta el instante '2', en el cual se desactiva dicha limitación. A partir de dicho instante se puede observar como la potencia de carga del BESS vuelve a su valor máximo y la potencia en el POI vuelve a ser negativa.

El valor promedio de la potencia generada por el BESS, en MT (33 kV), fue de -68,0296 MW. El valor promedio de la sumatoria de la potencia de cada uno de los inversores, medida en BT (0,69 kV), fue de -66,1298 MW.

En resumen, los valores medios medidos durante el ensayo fueron:

- PPOI = -20,2076 MW
- PBRUTA WTG = 48,3358 MW
- PPOI BESS = -68,0296 MW
- PBRUTA BESS = -66,1298 MW

Durante la realización de este ensayo el recurso no permitió alcanzar la potencia máxima en los aerogeneradores. Debido a esto, para poder continuar con las pruebas, parte de la energía utilizada para la carga del BESS se tomó de la red. Esto se puede observar en la Figura 4-13, donde la potencia en el POI (220 kV) es de -20,2076 MW. Esta carga del BESS, desde la red, se realizó únicamente con el objetivo de poder finalizar las pruebas, ya que el BESS La Cabaña durante su operación normal se cargará únicamente utilizando energía generada por el Parque Eólico La Cabaña. Para poder logar esto, el PPC de Maestro cuenta con una limitación que solo permite al BESS cargarse con energía

generada por el PE La Cabaña. Esta limitación puede observarse en el SCADA de planta en la Figura 3-2. Adicionalmente, puede observarse la actuación de esta limitación en la Figura 3-3.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo. En la Figura 4-13 se presenta la potencia activa del conjunto en AT (220 kV), es decir, PPOI. En la Figura 4-14 se presentan las señales de PBRUTA WTG y VWTG, mientras que en la Figura 4-15 se grafica PPOI BESS y PBRUTA BESS, todas ellas con los valores promedio mencionados previamente. Adicionalmente, en la Figura 4-16 se presenta el estado del SOC, mientras que en la Figura 4-17 y Figura 4-18 se presenta la potencia de cada uno de los inversores y aerogeneradores, respectivamente, medida en BT (0,69 kV).

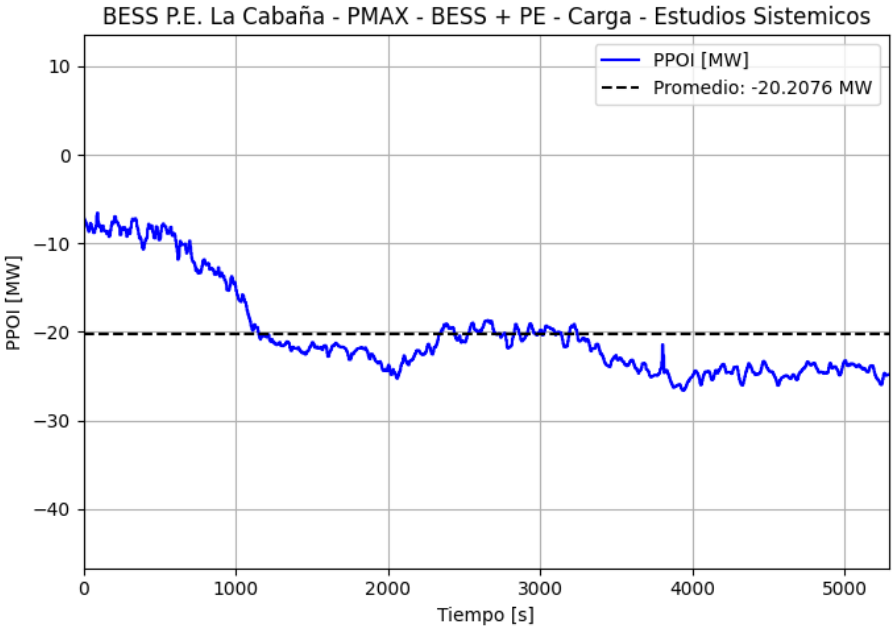

Figura 4-13: PPOI – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

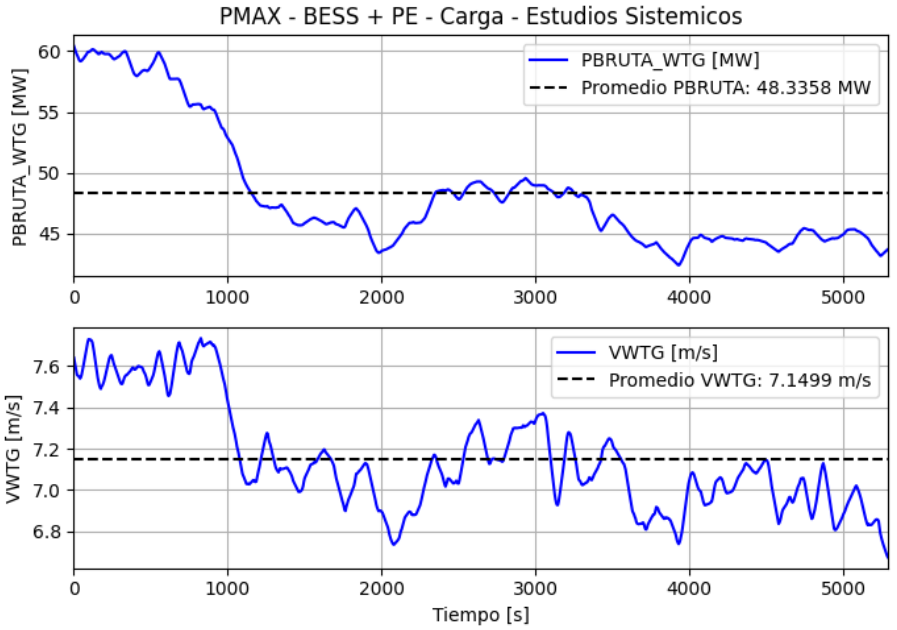

Figura 4-14: PBRUTA WTG y VWTG – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

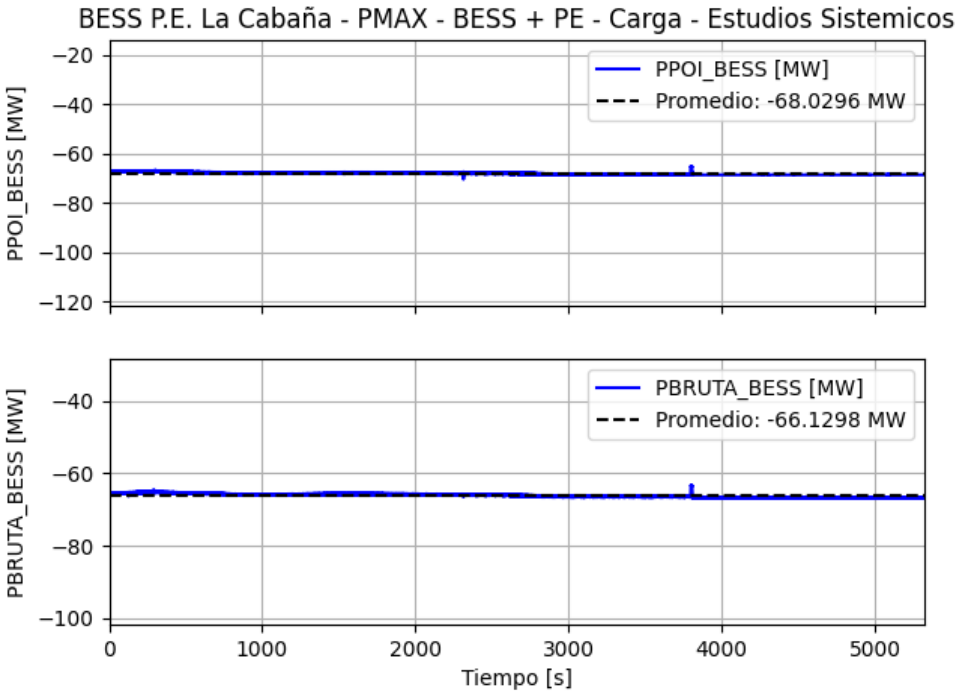

Figura 4-15: PPOI BESS y PBRUTA – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

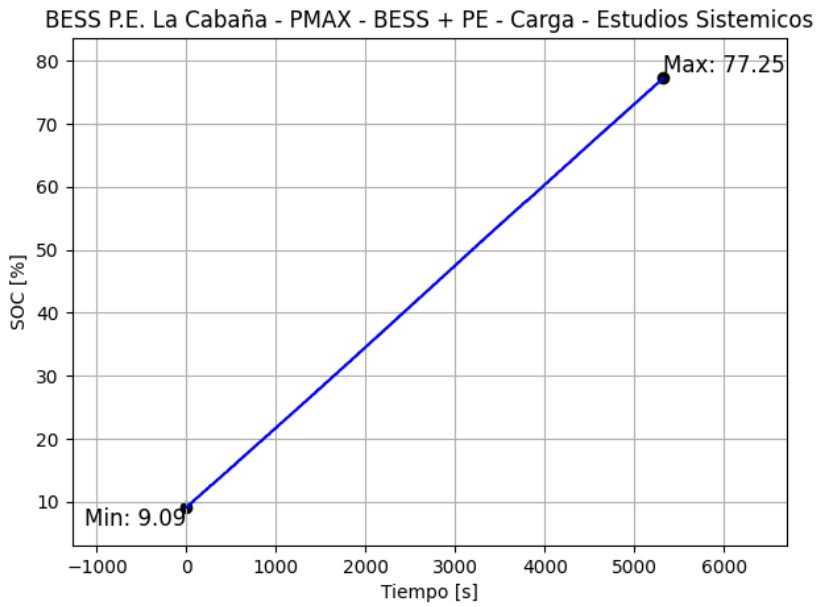

Figura 4-16: Estado de carga de las baterías (SOC) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

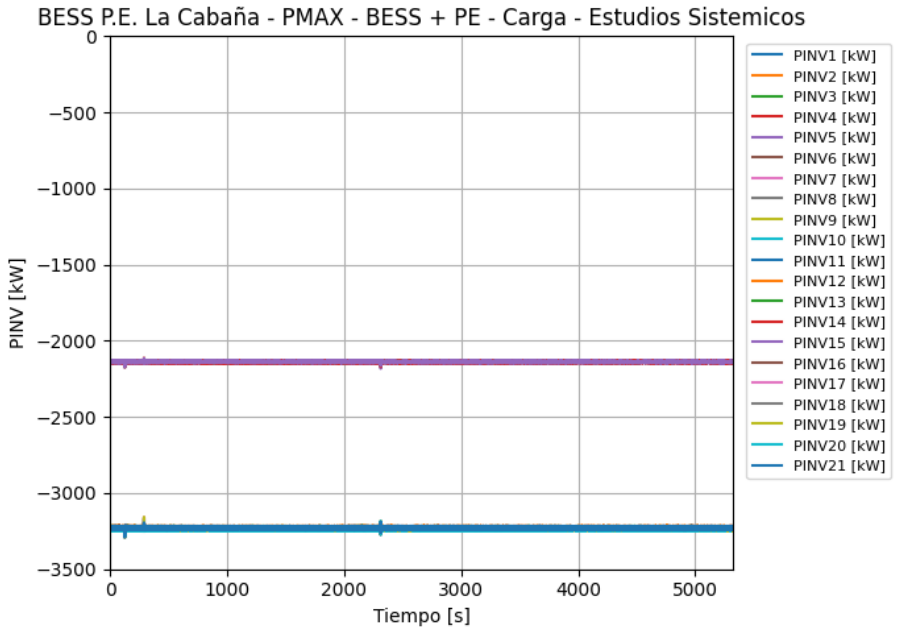

Figura 4-17: Potencia activa en bornes de los inversores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

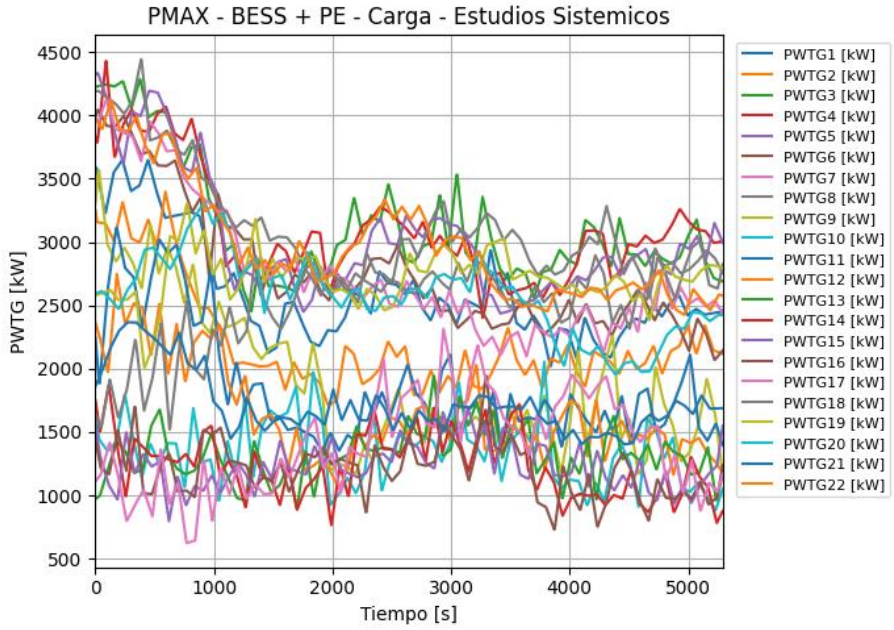

Figura 4-18: Potencia activa en bornes de los aerogeneradores (0,69 kV) – Ensayo de potencia máxima – BESS en carga, PE en servicio

Como se mencionó previamente, el BESS Parque Eólico La Cabaña está compuesto por dieciocho (18) inversores Power Electronics FP4390K y cuatro (4) inversores FP3290K. Los inversores FP4390K poseen una potencia nominal de 4,39 MW, mientras que los inversores FP3290K poseen una potencia nominal de 3,29 MW. Sin embargo, su potencia máxima queda limitada por la cantidad de módulos de baterías conectados a los mismos. Esto fue explicado en la sección 3.3, en donde se indica que los inversores FP4390K quedan limitados a 3,3 MW y los inversores FP3290K quedan limitados a 2,2 MW. A partir de los resultados presentados en la Figura 4-17, se puede observar que los inversores se encontraban operando a máxima potencia durante la totalidad del ensayo.

A continuación, se presenta el cálculo de los valores descritos en la sección 4.3, a partir de los resultados presentados en las figuras anteriores. Inicialmente se realizará el cálculo de los valores correspondientes al BESS, posteriormente se realizará el cálculo de los valores correspondientes al PE.

4.7.2 Potencia bruta (BESS)

La potencia medida del BESS durante el ensayo, PBRUTA BESS, representa la sumatoria de la potencia activa de todos los inversores del BESS, medida en BT (0,69 kV). El valor medio de dicha potencia será representado con el termino (${P_{med}}^{BESS}$). Como se observa, en la Figura 4-15, la potencia promedio absorbida por los inversores, durante el ensayo, fue de -66,1298 MW, por lo tanto:

$$ {P_{med}}^{BESS} = -66{,}1298\ MW $$

La potencia bruta representa a la potencia total generada por los inversores, está incluye a los consumos propios de los mismos. Cada inversor posee un consumo propio asociado a sus servicios auxiliares. Los valores de los mismos fueron detallados en la sección 3.3. Como se observa en la sección mencionada, el consumo de los inversores durante su operación depende de la cantidad de módulos que posean. Con lo cual, el consumo de los inversores FP4390K (4 módulos) es de 9,6 kW y

el de los inversores FP3290K (3 módulos) es de 8,1 kW, de acuerdo con la Tabla 3-3. Es decir que la potencia bruta en las condiciones del ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta}{}^{BESS} = P_{med}{}^{BESS} + (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

$$\boldsymbol{P_{bruta}{}^{BESS}} = -66{,}1298\ MW + (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = \boldsymbol{-65{,}9246\ MW}$$

4.7.3 Consumo de los servicios auxiliares - BESS

Para el cálculo del consumo de los SSAA, del BESS Parque Eólico La Cabaña, se considerará el consumo de: los inversores, los módulos de baterías y el PMS. Adicionalmente, deben considerarse las pérdidas de los transformadores de SSAA.

El consumo de los SSAA se presentó en la sección 3.7 y se encuentra detallado en el ANEXO VI. Los consumos informados corresponden a la suma de los consumos de: los inversores, los contenedores de baterías y el PMS, esto se puede observar en el detalle del ANEXO VI. Si bien se informa un valor de consumo de SSAA total, se desconoce las condiciones en las cuales el valor fue obtenido. Debido a esto, se consideran los consumos de los contenedores de baterías e inversores informados en la sección 3.2 y 3.3. Mientras que el consumo del PMS es extraído de la información presentada en el ANEXO VI. Es decir, el consumo de los SSAA del BESS Parque Eólico La Cabaña puede expresarse de la siguiente manera:

$$P_{SSAA}{}^{BESS} = Consumo_{inversores} + Consumo_{baterías} + Consumo_{PMS} + P_{tr1.SSAA} + P_{tr2.SSAA}$$

El consumo de los inversores puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Consumo_{inversores} = (Consumo_{FP4390K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP4390K}) + (Consumo_{FP3290K}{}^{carga} \times Cantidad_{FP3290K})$$

Reemplazando, con los valores presentados en la sección 3.3, se obtiene:

$$Consumo_{inversores} = (9{,}6\ kW \times 18) + (8{,}1\ kW \times 4) = 205{,}2\ kW$$

El consumo de las baterías se presentó en la sección 3.2 y es de 23,6 kW en su peor condición. La cantidad de contenedores de baterías es de 62. A partir de esta información se calcula el consumo total de los contenedores de baterías de la siguiente manera:

$$Consumo_{baterías} = 23{,}6\ kW \times Cantidad_{baterías} = 23{,}6\ kW \times 62 = 1463{,}2\ kW$$

El consumo del PMS, extraído del ANEXO VI, es de 4 kW. Por lo tanto:

$$Consumo_{PMS} = 4{,}0\ kW$$

Las pérdidas de los transformadores de servicios auxiliares son de 1,374 kW y 7,87 kW, para vacío y carga respectivamente. Las mismas fueron presentadas en la sección 3.6 y son iguales para ambos transformadores. A partir de esta información se pueden calcular las pérdidas de los transformadores de SSAA de la siguiente manera:

$$P_{tr1.SSAA} = P_{tr1.SSAA-vacío} + P_{tr1.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

$$P_{tr2.SSAA} = P_{tr2.SSAA-vacío} + P_{tr2.SSAA-carga} = 1{,}374\ kW + 7{,}87\ kW = 9{,}2\ kW$$

Finalmente, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación inicial se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{SSAA}{}^{BESS}} = 205{,}2\ kW + 1463{,}2\ kW + 4\ kW + 9{,}2\ kW + 9{,}2\ kW = \boldsymbol{1690{,}9\ kW}$$

4.7.4 Pérdidas (BESS)

Las pérdidas en la central ($P_{central}$) están compuestas por las pérdidas en el colector ($P_{colector}$) y las pérdidas del transformador de poder ($P_{tr.poder}$), como se indicó en la sección 4.3. Representan a todas las pérdidas del sistema colector, incluyendo conductores, pérdidas de los transformadores de bloque y pérdidas del transformador de poder de la central.

Teniendo en cuenta el diagrama presentado en la Figura 4-2, es posible decir que la diferencia entre P_{bruta} y P_{neta} corresponde a la suma del consumo de los servicios auxiliares (P_{SSAA}) y de las pérdidas de la central ($P_{central}$). Por lo tanto, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{bruta} - P_{neta} = P_{SSAA} + P_{central}$$

Esta ecuación permite expresar el valor de $P_{central}$ en función de los valores obtenidos en los apartados previos, es decir:

$$P_{central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

Durante este ensayo en particular se realizó la medición de potencia neta en el POI (220 kV) y de la potencia activa en el POI del BESS (33 kV). Esto se debe a que, durante el ensayo que se presenta en esta sección, tanto el BESS como el PE se encuentran en servicio. Debido a que, en esta sección, se busca obtener las pérdidas propias del BESS, se utilizará para el cálculo la medición en el POI del mismo (33 kV). Al utilizar este valor es posible obtener únicamente las pérdidas del BESS. Utilizando la medición en 33 kV (PPOI BESS) y la información presentada en la Figura 4-15, es posible plantear la siguiente ecuación:

$$P_{colector}{}^{BESS} = P_{bruta}{}^{BESS} - PPOI\ BESS - P_{SSAA}{}^{BESS}$$

En la ecuación anterior se convirtió la potencia neta a PPOI BESS y a su vez se reemplazaron las perdidas en la central por las perdidas en el colector. Esto último se debe a que, al utilizar una medición en 33 kV y no en 220 kV, no es posible considerar las pérdidas del transformador de poder. Esto es correcto ya que las pérdidas del transformador de poder son compartidas tanto por el BESS como por el PE y en esta sección se busca obtener únicamente las pérdidas del BESS. Entonces, reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{colector}{}^{BESS}} = -65{,}9246\ MW - (-68{,}0296\ MW) - 1690{,}9\ kW = \mathbf{414{,}1\ kW}$$

Las pérdidas del colector ($P_{colector}$) corresponden a las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y carga, a las pérdidas de los conductores de la red colectora de media tensión y a las pérdidas en los conductores de baja tensión. Esto fue descrito en la sección 4.3. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas del colector de la siguiente manera:

$$P_{colector}{}^{BESS} = P_{tr.bloque}{}^{BESS} + P_{conductores}{}^{BESS}$$

Para el cálculo de las pérdidas de los transformadores de bloque ($P_{tr.bloque}$) se deben tener en cuenta las pérdidas en carga y en vacío de los mismos. Es decir:

$$P_{tr.bloque}{}^{BESS} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga}$$

Adicionalmente, se debe considerar que el BESS Parque Eólico La Cabaña cuenta con tres tipos diferentes de transformadores de bloque, los cuales pueden observarse en la Figura 3-4. De acuerdo con dicha figura, el BESS cuenta con: dos (2) transformadores de 4,39 MVA, dos (2) transformadores de 6,58 MVA y ocho (8) transformadores de 8,78 MVA. Teniendo esto en cuenta se pueden expresar las pérdidas de los transformadores de bloque, en vacío y en carga, de la siguiente manera:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{4.39}) + 2 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{6.58}) + 8 \times ({P_{tr.bloque-vacio}}^{8.78})$$

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{4.39}) + 2 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{6.58}) + 8 \times ({P_{tr.bloque-carga}}^{8.78})$$

Las pérdidas, en vacío, de los transformadores de bloque se indicaron en la Tabla 3-4. Las mismas son de 3,85 kW para los transformadores de 4,39 MVA, de 5,20 kW para los de 6,58 MVA y de 7,25 kW para los transformadores de 8,78 MVA. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-vacío} = 2 \times (3{,}85\ kW) + 2 \times (5{,}2\ kW) + 8 \times (7{,}25\ kW) = 76{,}1\ kW$$

Las pérdidas en carga dependen de la potencia a la cual se encontraban operando los transformadores. Durante el ensayo los inversores FP4390K se encontraban despachados a 3,3 MW y 0 MVAr, mientras que los inversores FP3290K se encontraban despachados a 2,2 MW y 0 MVAr. A partir de esta información y del diagrama presentado en la Figura 3-4, se puede decir que:

- Cada uno de los transformadores de bloque de 4,39 MVA se encuentra conectado a un (1) único inversor de FP4390K. Es decir, cada transformador de 4,39 MVA se encuentra despachado a 3,3 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 6,58 MVA se encuentra conectado a dos (2) inversores FP3290K. Es decir, cada transformador de 6,58 MVA se encuentra despachado a 4,4 MW.
- Cada uno de los transformadores de bloque de 8,78 MVA se encontraba conectado a dos inversores FP4390K. Es decir, cada transformador de 8,78 MVA se encuentra despachado a 6,6 MW.

A partir de esta información es posible estimar las pérdidas en carga de cada uno de los transformadores. Para ello se utilizan las pérdidas a potencia nominal indicadas en la Tabla 3-4 y la siguiente ecuación:

$$P_{tr.bloque-carga} = {P_{tr.bloque-carga}}^{nom} \times \left(\frac{P_{med}}{{S_{tr.bloque}}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- ${P_{tr.bloque-carga}}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de bloque a potencia nominal [kW]
- ${S_{tr.bloque}}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de bloque [MVA]
- P_{med}: Potencia de operación del transformador de bloque durante el ensayo [MVA]

Las pérdidas a potencia nominal fueron indicadas en la Tabla 3-4. Las mismas son de 34,5 kW, 46,5 kW y 54 kW, para los transformadores de 4,39 MVA, 6,58 MVA y 8,78 MVA, respectivamente. Utilizando estos valores y las potencias de despacho mencionadas previamente se calculan las pérdidas en cargar de los transformadores de la siguiente manera:

$${P_{tr.bloque-carga}}^{4.39} = 34{,}5\ kW \times \left(\frac{3{,}3\ MVA}{4{,}39\ MVA}\right)^2 = 19{,}5\ kW$$

$$P_{tr.bloque-carga}{}^{6.58} = 46{,}5\ kW \times \left(\frac{4{,}4\ MVA}{6{,}58\ MVA}\right)^2 = 20{,}8\ kW$$

$$P_{tr.bloque-carga}{}^{8.78} = 54\ kW \times \left(\frac{6{,}6\ MVA}{8{,}78\ MVA}\right)^2 = 30{,}5\ kW$$

Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.bloque-carga} = 2 \times (19{,}5\ kW) + 2 \times (20{,}8\ kW) + 8 \times (30{,}5\ kW) = 324{,}7\ kW$$

A partir de los valores de las pérdidas en carga ($P_{tr.bloque-carga}$) y de las pérdidas en vacío ($P_{tr.bloque-vacío}$) de los transformadores de bloque, se pueden obtener las pérdidas totales de los mismos reemplazando como se indica a continuación:

$$\boldsymbol{P_{tr.bloque}{}^{BESS}} = P_{tr.bloque-vacío} + P_{tr.bloque-carga} = 76{,}1\ kW + 324{,}7\ kW = \mathbf{400{,}8\ kW}$$

A partir del valor de las pérdidas en el colector y de las pérdidas en los transformadores de bloque, es posible calcular las pérdidas propias de los conductores, como se indica a continuación:

$$P_{conductores}{}^{BESS} = P_{colector}{}^{BESS} - P_{tr.bloque}{}^{BESS}$$

Reemplazando se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{conductores}{}^{BESS}} = 414{,}1\ kW - 400{,}8\ kW = \mathbf{13{,}3\ kW}$$

4.7.5 Potencia bruta (PE)

La potencia medida durante el ensayo, PBRUTA WTG, representa la sumatoria de la potencia activa de todos los aerogeneradores del parque, medida en BT (0,69 kV). El valor medio de dicha potencia será representado con el termino ($P_{med}{}^{PE}$). Como se observa, en la Figura 4-14, la potencia promedio inyectada por los aerogeneradores, durante el ensayo, fue de 48,3358 MW, por lo tanto:

$$P_{med}{}^{PE} = 48{,}3358\ MW$$

La potencia bruta representa a la potencia total generada por los aerogeneradores, está incluye a los consumos propios de los mismos. Cada aerogenerador posee un consumo propio asociado a sus servicios auxiliares. Los valores de los mismos fueron detallados en la Tabla 3-2 del documento [19]. Como se observa en dicho documento, el consumo de los aerogeneradores durante su operación en carga es de 41 kW. Es decir que, la potencia bruta en las condiciones del ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta}{}^{PE} = P_{med}{}^{PE} + (Consumo_{aero}{}^{carga} \times N°\ aeros)$$

$$\boldsymbol{P_{bruta}{}^{PE}} = 48{,}3358\ MW + (41\ kW \times 22) = \mathbf{49{,}2378\ MW}$$

4.7.6 Perdidas en el transformador de poder

Las pérdidas del transformador de poder se pueden calcular se la siguiente manera:

$$P_{tr.poder} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la sección 3.5. Las mismas tienen un valor de 50,04 kW. Entonces se puede decir que:

$$P_{tr.poder-vacio} = 50\ kW$$

Las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr.poder-carga} = {P_{tr.poder-carga}}^{nom} \times \left(\frac{P}{{S_{tr.poder}}^{nom}}\right)^2$$

Donde:

- ${P_{tr.poder-carga}}^{nom}$: Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW]
- ${S_{tr.poder}}^{nom}$: Potencia nominal del transformador de poder [MVA]
- P: Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA]

Tanto las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal, del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 3-5. Los valores de las mismas son 388,34 kW y 150 MVA, respectivamente. El valor de la potencia de operación a utilizar será el valor medio de la potencia neta registrado durante el ensayo (PPOI). Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$P_{tr.poder-carga} = 388{,}34\ kW \times \left(\frac{-20{,}2076\ MVA}{150\ MVA}\right)^2 = 7{,}0\ kW$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$\boldsymbol{P_{tr.poder}} = P_{tr.poder-carga} + P_{tr.poder-vacio} = 7\ kW + 50\ kW = \mathbf{57\ kW}$$

4.7.7 Perdidas (PE)

En esta sección se buscará obtener el valor de las pérdidas asociadas exclusivamente al parque eólico. Debido a esto, es necesario obtener un valor de potencia que permita calcular dichas perdidas, ya que, como se mencionó previamente, durante el ensayo se realizó la medición en 220 kV y en el POI del BESS en 33 kV. La medición en el POI del BESS permitió obtener los valores asociados al BESS, mientras que la medición en 220 kV contiene la sumatoria de la potencia generada por el BESS y por el PE. Sin embargo, a partir de dichos valores y de la estimación de las pérdidas del transformador de poder, es posible calcular la potencia generada por el parque eólico en 33 kV (${P_{33kV}}^{PE}$). Este valor, al igual que PPOI BESS, permitirá obtener las pérdidas de la central asociadas únicamente al PE. Para obtener ${P_{33kV}}^{PE}$ se utiliza la siguiente ecuación:

$${P_{33kV}}^{PE} = PPOI - PPOI\ BESS + P_{tr.poder}$$

Los valores de PPOI y PPOI BESS fueron presentados en la Figura 4-13 y Figura 4-15, respectivamente. Mientras que, las pérdidas del transformador de poder fueron obtenidas en la sección 4.7.6. Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación inicial se obtiene:

$${P_{33kV}}^{PE} = -20{,}2076\ MW - (-68{,}0296\ MW) + 57\ kW = 47{,}8790\ MW$$

A partir del valor de ${P_{33kV}}^{PE}$, de la potencia bruta del parque eólico (obtenida en la sección 4.7.5) y del consumo de SSAA del PE, es posible obtener las pérdidas asociadas exclusivamente al PE. Para ello se utiliza la misma ecuación que se utilizó para obtener las pérdidas asociadas al BESS. Dicha ecuación se presenta a continuación:

$${P_{colector}}^{PE} = {P_{bruta}}^{PE} - {P_{33kV}}^{PE} - {P_{SSAA}}^{PE}$$

El valor de ${P_{bruta}}^{PE}$ fue obtenido en la sección 4.7.5, mientras que el valor de ${P_{SSAA}}^{PE}$ fue obtenido en el documento [19] y tiene un valor de 0,9626 MW. Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{colector}}^{\boldsymbol{PE}} = 49{,}2378\ MW - 47{,}8790\ MW - 0{,}9626\ MW = \mathbf{0{,}3962\ MW}$$

4.7.8 Perdidas en la central (PE + BESS)

En esta sección se calcularán las pérdidas totales de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a las pérdidas de la central asociadas tanto al parque eólico como al BESS.

Como se menciona en la sección 4.3 las perdidas en la central corresponden a "la suma de las pérdidas del transformador de poder, las pérdidas de la red colectora de MT y las pérdidas de los transformadores de bloque de los inversores y de los aerogeneradores". Las pérdidas de la red colectora de MT (circuitos colectores de los inversores) y de los transformadores de bloque de los inversores, fueron obtenidas en la sección 4.7.4 y denominadas $P_{colector}{}^{BESS}$. Por otra parte, las perdidas en la red colectora de MT (circuitos colectores de los aerogeneradores) y de los transformadores de bloques de los aerogeneradores, fueron obtenidas en la sección 4.7.7 y denominadas $P_{colector}{}^{PE}$. Finalmente, las pérdidas del transformador de poder fueron obtenidas en la sección 4.7.6. A partir de los términos presentados es posible calcular las pérdidas totales de la central utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{central} = P_{colector}{}^{BESS} + P_{colector}{}^{PE} + P_{tr.poder}$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{central}} = 414{,}1\ kW + 396{,}2\ kW + 57\ kW = \mathbf{867{,}3\ kW}$$

4.7.9 Consumo de servicios auxiliares (PE + BESS)

En esta sección se calculará el consumo de SSAA total de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá al consumo de los SSAA asociados tanto al parque eólico como al BESS.

El consumo de SSAA total de la central corresponde a la suma del consumo de SSAA tanto del BESS como del PE. Es decir, el consumo de SSAA total se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA}{}^{BESS} + P_{SSAA}{}^{PE}$$

El consumo de SSAA del BESS fue obtenido en la sección 4.7.3. Mientras que el consumo de SSAA del PE fue obtenido en el documento [19] y tiene un valor de 0,9626 MW. Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{SSAA}} = 1690{,}9\ kW + 0{,}9626\ MW = \mathbf{2{,}6535\ MW}$$

4.7.10 Potencia bruta (PE + BESS)

En esta sección se calculará la potencia bruta total de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a la potencia bruta asociada tanto al parque eólico como al BESS.

La potencia bruta total de la central corresponde a la suma de la potencia bruta generada tanto por el BESS como por el PE. Es decir, la potencia bruta total se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{bruta} = P_{bruta}{}^{BESS} + P_{bruta}{}^{PE}$$

La potencia bruta del BESS fue obtenida en la sección 4.7.2. Mientras que la potencia bruta del PE fue obtenida en la sección 4.7.5. Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$\boldsymbol{P_{bruta}} = -65{,}9246\ MW + 49{,}2378\ MW = \mathbf{-16{,}6868\ MW}$$

4.7.11 Potencia neta (PE + BESS)

En esta sección se calculará la máxima potencia neta de la central. Este valor será el informado en el capítulo de conclusiones y corresponderá a la máxima potencia neta generada por el conjunto compuesto por el parque eólico y el BESS.

La máxima potencia neta de la central corresponde al valor medio, obtenido durante el periodo del ensayo, de la señal PPOI graficada en la Figura 4-13. Dicha señal corresponde a la medición de potencia activa realizada en AT (220 kV). El valor medio obtenido de la misma es -20,2076 MW, es decir:

$$\boldsymbol{P_{neta} = -20,2076\ MW}$$

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En esta sección se resumen los principales resultados y se exponen las conclusiones referidas a las pruebas de potencia máxima del parque eólico La Cabaña, propiedad de ENEL GREEN POWER S.A.

Para la realización de las pruebas de potencia máxima se deshabilitó el control primario de frecuencia, con el fin de evitar variaciones en la potencia activa generada por el BESS y por el PE. Además, se mantuvieron operativos solo los servicios auxiliares esenciales para la operación de los inversores y los aerogeneradores.

Los ensayos fueron realizados en las siguientes tres configuraciones: BESS en descarga y PE fuera de servicio (4.5), BESS en descarga y PE en servicio (4.6) y BESS en carga y PE en servicio (4.7). A su vez, en el informe [19] se presentaron los ensayos del PE en servicio con el BESS fuera de servicio. Todos los resultados obtenidos, para las cuatro configuraciones mencionadas, se presentan en la Tabla 5-1. Adicionalmente, en dicha tabla, se presentan los resultados obtenidos en el documento [19].

Durante la realización de los ensayos de potencia máxima, los cuales fueron realizados los días 7 y 8 de agosto de 2024, se contó con los 22 inversores y los 62 contenedores de baterías operando sin restricciones. Adicionalmente, los 22 aerogeneradores del parque eólico se encontraban operando sin restricciones.

Debido a que los inversores se encontraban en modo control de reactivo, con una consigna de 0 MVAr, fue posible obtener la máxima potencia activa a cada uno de ellos sin la necesidad de aplicar factores de corrección. Los aerogeneradores, en los ensayos en los que el PE se encontraba en servicio, también se mantuvieron con una consigna de 0 MVAr en su PPC.

En la Tabla 5-1 se resumen los resultados obtenidos a partir de los ensayos de potencia máxima del BESS Parque Eólico La Cabaña, realizados en los días previamente mencionados, y los ensayos del parque eólico con el BESS fuera de servicio, presentados en el informe [19], los cuales fueron realizados el 23 de diciembre del 2023.

Es importante destacar que, durante las pruebas del parque eólico con el BESS fuera de servicio, presentadas en el informe [19], no se contaba con el PPC maestro y su limitación de potencia activa en 104,5 MW. Debido a ello, la potencia máxima neta supera levemente dicho valor, no obstante, los resultados presentados en dicho informe no difieren en gran medida con la respuesta del PPC maestro.

Durante los ensayos del BESS, con el parque eólico en servicio, las condiciones del recurso no permitieron mantener una potencia activa constante en los aerogeneradores ni alcanzar los valores máximos esperados. En el ensayo del BESS en modo inyección con parque eólico en servicio, se alcanzó una potencia promedio en el POI de 103,8951 MW, cuando el valor máximo deseado es de 104,5 MW.

Por otro lado, durante el ensayo del BESS en modo absorción con el parque eólico en servicio, la potencia activa en el POI resultó negativa. Esto implica que el BESS estaba utilizando energía de los aerogeneradores y de la red para cargarse. Esta condición, como se detalló en la sección 3, fue tenida en cuenta solo para la realización de los ensayos, ya que durante su operación normal el PPC maestro posee una restricción (indicada en la Figura 3-2), la cual limita a que el BESS se cargue únicamente utilizando energía generada por el Parque Eólico La Cabaña. Durante este ensayo, los aerogeneradores produjeron una potencia activa bruta de 49,2378 MW, en lugar de los 107,8434 MW informados en el documento [19]. No obstante, el objetivo principal de dicha prueba

es la de determinar la potencia máxima de carga del BESS, la cual resultó de -65,9246 MW, según lo informado en la sección 4.7.2.

Tabla 5-1: Resumen de resultados PMAX – BESS y Parque eólico La Cabaña

Central/ Unidad	Tiempo de Carga/Descarga (3) [hr:mm]	Potencia Máxima Bruta [MW]	SS/AA [MW]	Pérdidas en la central (1) [MW]	Potencia Máxima Neta (2) [MW]
PE	-	107,8434	0,9626	1,6504	105,2304
BESS en descarga	2:46/2:24	69,5268	1,6909	0,5460	67,2899
BESS en carga (4)	-	-	-	-	-
PE + BESS en descarga	2:46/2:24	107,4175	2,6535	0,9389	103,8251
PE + BESS en carga (5)	-	-	-	-	-

(1) Este valor incluye las pérdidas del sistema colector de media tensión y del transformador de poder.
(2) Inyectada en la barra de alta tensión (220 kV) del transformador de potencia de la S/E La Cabaña.
(3) En la tabla se indican los tiempos de carga y descarga correspondientes a la máxima excursión del SOC. Dichos tiempos fueron obtenidos de los ensayos presentados en el ANEXO X.
(4) Debido a que el BESS no se encuentra habilitado para cargarse utilizando energía de la red no se presenta el ensayo correspondiente a dicho modo de operación.
(5) A raíz de las observaciones realizadas por el Coordinador Eléctrico Nacional en el documento "COR-GO-DCO-PMAX-PE-BESS_PE_La_Cabana_ampliacion", se eliminan los resultados de la tabla.

6. ANEXOS

ANEXO I - HOJA DE DATOS DE LAS BATERÍAS

En la Figura 6-1 se presenta la hoja de datos de los módulos de baterías SAFT, modelo Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP. Adicionalmente, en la Figura 6-2, se presentan los consumos de los servicios auxiliares de dichos módulos de baterías.

Main Characteristics	Intensium® Max 20 High Energy 1500V LFP
Number of strings (ESSUs) per IHE container	5
Number of modules per ESSU	24
Cell type	Lithium Iron Phosphate (LFP)
Minimum Voltage (0% SOC, OCV)	1040 Vdc
Nominal Voltage (50% SOC, OCV)	1230 Vdc
Maximum Voltage (100% SOC, OCV)	1400 Vdc
Maximum Voltage range	960 – 1460 Vdc
Rated BoL Energy (DC) based on cell energy at C/5	2.3 MWh
Rated BoL Energy (DC) based on cell energy at C/2	2.2 MWh
Nominal DC Power in charge or discharge	1.1 MW
Max DC Power in charge or discharge	2.2 MW
DC-DC Roundtrip Efficiency at BoL	> 95%
Operating Temperature Range	-25°C to +55°C
Storage Temperature Range	-25°C to +55°C
Dimensions (L x W x H) Note 1	(6.1 x 2.4 x 2.9) m (19.9 x 8.0 x 9.5) ft
Ingress Protection (IP) Rating	IP54
20-foot Container Weight (kg)	< 30,400
Communication protocol	Modbus TCP (MESA standard compliant)

Note 1: Dimensions do not include the HVAC. With the HVAC, the length is increased by 0.7 m.

Figura 6-1: Hoja de datos – Modulo de baterías SAFT [6]

Component	Power (kW)	State
Power electronics & FSS	0.4	All states
HVAC	2.1	Standby state
	16.0	Max cooling power in service state
	7.11	Max heating power in service state
	21.0	Max dehumidification power in service state
Cooling fans	0 2.2	Standby state (contactor open) Max in service state (all fans on)
Self-Discharge	< 0.3 if BMS active 0.1kW if BMS off	All states (including modules' SMU power consumption)
TOTAL excl. self-discharge (at AC 400V)	**4.7**	**Standby state (cooling fans active)**
	18.6	**Max in service state (if cooling)**
	9.7	**Max in service state (if heating)**
	23.6	**Max in service state (if dehumidification)**

Figura 6-2: Consumo de los servicios auxiliares – Modulo de baterías SAFT [6]

ANEXO II - HOJA DE DATOS DE LOS INVERSORES

En este anexo se presenta la hoja de datos de los inversores Power Electronics que componen el BESS Parque Eólico La Cabaña. Los modelos utilizados son el FP3290K y FP4390K. En la Figura 6-3 se indican, en rojo, los parámetros correspondientes a dichos modelos. Adicionalmente, en la Figura 6-4, se presentan los consumos de los servicios auxiliares de estos inversores.

POWER ELECTRONICS

FREEMAQ PCS

TECHNICAL CHARACTERISTICS — FREEMAQ PCSK 690V

		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4
REFERENCES		FP2195K	FP3290K	FP4390K
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C [1]	2195	3290	4390
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C [1]	2035	3055	4075
	Max. AC Output Current (A) @40°C	1837	2756	3674
	Operating Grid Voltage (VAC)	690V ±10%		
	Operating Grid Frequency (Hz)	50/60Hz		
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519		
	Power Factor (cosine phi) [2]	0.5 leading ... 0.5 lagging		
	Reactive Power Compensation	Four quadrant operation		
DC	DC Voltage Range [3]	976V - 1500V		
	Maximum DC Voltage	1500V		
	DC Voltage Ripple	< 3%		
	Max. DC Continuous Current (A)	2295	3443	4590
	Battery Technology	All type of batteries (BMS required)		
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.84%	98.87%	98.93%
	Euroeta (η) (preliminary)	98.45%	98.48%	98.65%
CABINET	Dimensions [WxDxH] (ft)	9.8 x 6.5 x 7.2		
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.0 x 2.0 x 2.2		
	Weight (lbs)	11465	11795	12125
	Weight (kg)	5200	5350	5500
	Type of Ventilation	Forced air cooling		
ENVIRONMENT	Degree of Protection	NEMA 3R / IP55		
	Permissible Ambient Temperature [4]	-25°C to +60°C, >50°C / Active power derating		
	Relative Humidity	4% to 100% non-condensing		
	Max. Altitude (above sea level)	2000m / >2000m power derating (Max. 4000m)		
CONTROL INTERFACE	Communication Protocol	Modbus TCP		
	Power Plant Controller	Optional. Third party SCADA systems supported.		
	Keyed ON/OFF Switch	Standard		
PROTECTIONS	Ground Fault Protection	Insulation monitoring device		
	Humidity Control	Active heating		
	General AC Protection & Disconn.	Circuit breaker		
	General DC Protection & Disconn.	DC switch-disconnectors [5]		
	Overvoltage Protection	Type 2 protection for AC and DC (optionally, Type 1+2)		
CERTIFICATIONS & STANDARDS	Safety	UL 1741 / CSA 22.2 No.107.1-16 / IEC 62109-1 / IEC 62109-2		
	Utility Interconnect [6]	IEEE 1547:2018 / UL 1741 SB/ IEC 62116:2014		

Figura 6-3: Hoja de datos - Inversores Power Electronics FP3290K y FP4390K [7]

	HEMK – PCSK		
	Pref	P (kW)	Q (kVAr)
Electronics only (ventilation OFF)	0%	0.4	0.0
Ventilation ON	0%	3.1	-0.3
1 mod	5%	4.7	-0.2
1 mod	15%	4.7	-0.2
1 mod	25%	4.7	-0.2
2 mod	50%	6.4	-0.2
3 mod	75%	8.1	-0.2
4 mod	100%	9.6	-0.3

Figura 6-4: Consumo de servicios auxiliares – Inversores Power Electronics FP3290K y FP4390K [8]

La tabla presentada en la Figura 6-4 fue extraída del documento [8], el cual se encuentra dentro del archivo “22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos”. Dicho archivo será enviado junto con el presente informe.

ANEXO III - HOJA DE DATOS DE LOS TRANSFORMADORES DE BLOQUE BT/MT

En la Figura 6-5, Figura 6-6 y Figura 6-7 se presenta la hoja de datos de cada uno de los tipos de transformadores de bloque del BESS Parque Eólico La Cabaña. El mismo cuenta con un total de doce (12) transformadores de bloque, distribuidos de la siguiente manera:

- Circuito BESS N°1:
  - N° de Transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN) (Figura 6-5)
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN) (Figura 6-6)
    - (2) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN) (Figura 6-7)
- Circuito BESS N°2:
  - N° de Transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA (ONAN) (Figura 6-6)
    - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN) (Figura 6-7)
- Circuito BESS N°3:
  - N° de Transformadores de bloque: 4
    - (1) ELTAS 33/0,69 kV de 4,39 MVA (ONAN) (Figura 6-5)
    - (3) ELTAS 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA (ONAN) (Figura 6-7)

En la hoja de datos de cada uno de ellos se indican, en rojo, los parámetros más relevantes.

ELTAS
Transformatör Sanayi ve Ticaret A.Ş.

11.08.2022

General Specifications			
Customer Name			POWER ELECTRONICS
Project Name			LA CABANA + RIHUE
Transformer type			Oil immersed, Hermetically sealed
Installation			Outdoor
Applicable standards			IEC 60076-1
Rated power	(ONAN)	*kVA*	4390
High voltage		*V*	33000
High voltage tappings (no load)		%	± 2 x 2,5
Low voltage (no load)		*V*	690
High voltage insulation level	(U **m** / U **AC** / U **LI**)	*kV*	36 / 70 / 170
Low voltage insulation level	(U **m** / U **AC** / U **LI**)	*kV*	3,6 / 10 / 20
Frequency		*Hz*	50
Vector group			Dy11
Number of phases			3
Max. ambient temperature		*ºC*	40
Max. temperature rise (winding / oil)		*K*	65 / 60
Max. altitude above sea level		*m*	1000
Permissible short circuit duration		*s*	2
X/R ratio			9,3
Positive sequence impedance		%	7
Zero sequence impedance		%	6,3
Insulation withstand heat class			A
Guaranteed Values			
Impedance voltage(75ºC)	**±10 % tolerance**	%	7,8
Impedance voltage(75ºC)		%	≥ 7
No load losses	**+15 % tolerans**	*W*	3850
Load losses(75ºC)	**+15 % tolerans**	*W*	34500
Efficiency (@100% load, pf:1)		%	99,1
Structural Specifications			
High voltage winding conductor material			Al
Low voltage winding conductor material			Al
Oil type			Un-inhibited Mineral Transformer Oil
Paintting			C5M RAL 7035
Dimensions and Weight			
Length / Width / Height		*mm*	2291 / 1900 / 1984
Total weight		*kg*	8830
Weight of active part		*kg*	4490
Weight of oil		*kg*	1970
Volume of oil		*L*	**2264**
Connection Terminals			
High voltage	(Type C, outdoor)	Plug-in Bushings 36kV 630A x 3	
Low voltage		Busbar bushing 4000 A x 3	
Accessories			
Hermetic Protection Relay (DMCR+PT100)	Terminal Box		
Pressure Relief Device	Earthed Screen Between LV & HV (Accessible)		
Off - circuit tap changer			
Lifting lugs			
Oil filling & drain valves			

This document is the property of ELTAS A.Ş. and may not be used and copied without permission.

* All weights and dimensions are given approximately.
** Tolerances for the losses and impedance are according to IEC 60076-1

ELTAŞ TRANSFORMATÖR SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ
Atatürk Organize Sanayi Bölgesi 10046 Sokak No.4 35620 B. Çiğli - İZMİR - TURKEY
Tel:+90(232)3981500(Pbx) Fax :+90(232)3767764 e-mail : info@eltas.com.tr http: www.eltas.com.tr

Figura 6-5: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69 kV de 4,39 MVA [10]

ELTAS Transformatör Sanayi ve Ticaret A.Ş.

11.08.2022

General Specifications			
Customer Name			POWER ELECTRONICS
Project Name			LA CABANA + RIHUE
Transformer type			Oil immersed, Hermetically sealed
Installation			Outdoor
Applicable standards			IEC 60076-1
Rated power	(ONAN)	*kVA*	3290+3290=6580
High voltage		*V*	33000
High voltage tappings (no load)		%	± 2 x 2,5
Low voltage (no load)-1		*V*	690
Low voltage (no load)-2		*V*	690
High voltage insulation level	(U m / U AC / U LI)	*kV*	36 / 70 / 170
Low voltage insulation level-1	(U m / U AC / U LI)	*kV*	3,6 / 10 / 20
Low voltage insulation level-2	(U m / U AC / U LI)	*kV*	3,6 / 10 / 20
Frequency		*Hz*	50
Vector group			Dy11y11
Number of phases			3
Max. ambient temperature		*ºC*	40
Max. temperature rise (winding / oil)		*K*	65 / 60
Max. altitude above sea level		*m*	1000
Permissible short circuit duration		*s*	2
Positive sequence impedance	@ 6580 kVA	%	8,5
Zero sequence impedance	@ 6580 kVA	%	7,65
X/R ratio			6,4
Insulation withstand heat class			A
Guaranteed Values			
Impedance voltage(75ºC) MV/LV1 or MV/LV2	**±10 % tolerance**	%	7,77
Impedance voltage(75ºC) MV/ (LV1+LV2)	**±10 % tolerance**	%	8,5
No load losses	**+15 % tolerance**	*W*	5200
Load losses(75ºC)	**+15 % tolerance**	*W*	46500
Structural Specifications			
High voltage winding conductor material			Al
Low voltage winding conductor material			Al
Oil type			Un-inhibited Mineral Transformer Oil
Painting			C5M RAL 7035
Dimensions and Weight			
Length / Width / Height		*mm*	3360 / 2026 / 2304
Total weight		*kg*	14670
Weight of active part		*kg*	6520
Weight of oil		*kg*	4740
Volume of oil		*L*	**5448**
Connection Terminals			
High voltage	(Type C, outdoor)	Plug-in Bushings 36kV 630A x 3	
Low voltage		Busbar Bushings 4000 A x 6	
Accessories			
Hermetic Protection Relay (DMCR+PT100)	Terminal Box		
Presure Relief Device	Earthed Screen Between LV & HV		
Off - circuit tap changer			
Lifting lugs			
Oil filling & drain valves			

* All weights and dimensions are given approximately.
** Tolerance for the impedance are according to IEC 60076-1

ELTAŞ TRANSFORMATÖR SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ
Atatürk Organize Sanayi Bölgesi 10046 Sokak No.4 35620 B. Çiğli - İZMİR - TURKEY
Tel:+90(232)3981500(Pbx) Fax :+90(232)3767764 e-mail : info@eltas.com.tr http: www.eltas.com.tr

This document is the property of ELTAŞ A.Ş. And may not be used and copied without permission.

Figura 6-6: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69/0,69 kV de 6,58 MVA [11]

ELTAS
Transformatör Sanayi ve Ticaret A.Ş.

11.08.2022

General Specifications			
Customer Name			POWER ELECTRONICS
Project Name			LA CABANA + RIHUE
Transformer type			Oil immersed, Hermetically sealed
Installation			Outdoor
Applicable standards			IEC 60076-1
Rated power	(ONAN)	*kVA*	4390+4390=8780
High voltage		*V*	33000
High voltage tappings (no load)		*%*	± 2 x 2,5
Low voltage (no load)-1		*V*	690
Low voltage (no load)-2		*V*	690
High voltage insulation level	(U m / U AC / U LI)	*kV*	36 / 70 / 170
Low voltage insulation level-1	(U m / U AC / U LI)	*kV*	3,6 / 10 / 20
Low voltage insulation level-2	(U m / U AC / U LI)	*kV*	3,6 / 10 / 20
Frequency		*Hz*	50
Vector group			Dy11y11
Number of phases			3
Max. ambient temperature		*ºC*	40
Max. temperature rise (winding / oil)		*K*	65 / 60
Max. altitude above sea level		*m*	1000
Permissible short circuit duration		*s*	2
Positive sequence impedance	@8780 kVA	*%*	8,3
Zero sequence impedance	@8780 kVA	*%*	7,47
X/R ratio			6,9
Insulation withstand heat class			A
Guaranteed Values			
Impedance voltage(75ºC) MV/LV1 or MV/LV2	**±10 % tolerance**	*%*	7,78
Impedance voltage(75ºC) MV/ (LV1+LV2)	**±10 % tolerance**	*%*	8,3
No load losses	**+15 % tolerance**	*W*	7250
Load losses(75ºC)	**+15 % tolerance**	*W*	54000
Structural Specifications			
High voltage winding conductor material			Al
Low voltage winding conductor material			Al
Oil type			Un-inhibited Mineral Transformer Oil
Painting			C5M RAL 7035
Dimensions and Weight			
Length / Width / Height		*mm*	3631 / 1945 / 2304
Total weight		*kg*	17620
Weight of active part		*kg*	8960
Weight of oil		*kg*	4620
Volume of oil		*L*	**5310**
Connection Terminals			
High voltage	(Type C, outdoor)	Plug-in Bushings 36kV 630A x 3	
Low voltage		Busbar Bushings 4000 A x 6	
Accessories			
Hermetic Protection Relay (DMCR+PT100)	Terminal Box		
Presure Relief Device	Earthed Screen Between LV & HV (Accessible)		
Off - circuit tap changer			
Lifting lugs			
Oil filling & drain valves			

* All weights and dimensions are given approximately.
** Tolerance for the impedance are according to IEC 60076-1

ELTAŞ TRANSFORMATÖR SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ
Atatürk Organize Sanayi Bölgesi 10046 Sokak No.4 35620 B. Çiğli - İZMİR - TURKEY
Tel:+90(232)3981500(Pbx) Fax :+90(232)3767764 e-mail : info@eltas.com.tr http: www.eltas.com.tr

This document is the property of ELTAŞ A.Ş. And may not be used and copied without permission.

Figura 6-7: Hoja de datos – Transformador de bloque 33/0,69/0,69 kV de 8,78 MVA [12]

ANEXO IV - HOJA DE DATOS DEL TRANSFORMADOR DE PODER MT/AT

En la Figura 6-8 se presenta una foto de la placa del transformador de poder MT/AT. A continuación de la misma, en la Figura 6-9, se presentan las pruebas FAT del mismo, donde se observan los valores de sus pérdidas en vacío y en carga. Dichos valores se indican en rojo en la Figura 6-9.

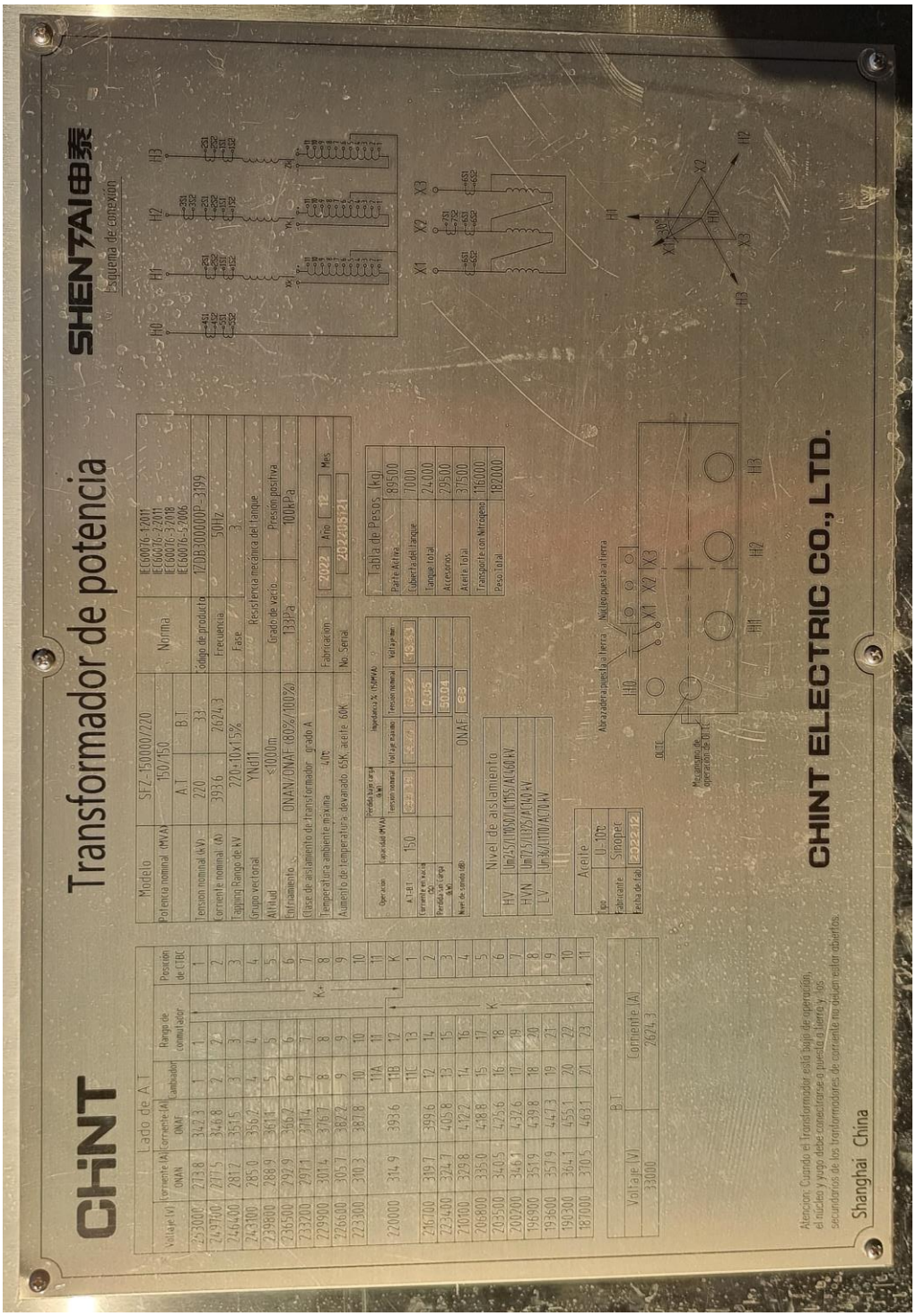

Figura 6-8 Fotografía de placa - Transformador de poder MT/AT

正泰电气股份有限公司变压器实验室 CHINT Electric Co., Ltd. Transformer Laboratory	产品型号 Product type	SFZ-150000/220
	产品编号 Product No.	202206121
	报告编号 Report No.	2022-BY-381

检测项目及结果 Test items and results

序号 No.	检测项目 Test item	标准值（委托要求） Standard value (Commission required)		实测结果 Measured results	结论 Result
6	绕组对地和绕组间电容测量(例行试验) Measurement of capacitance windings-to-earth and between windings (Routine test)	提供实测数据 Provide measured data		见第 17 页 See page 17	/
7*	套管电容量及介质损耗因数(tan δ)测量(特殊试验) Measurement of capacitances and dissipation factor of bushings (Special test)	提供实测数据 Provide measured data		见第 17 页 See page 17	/
8	空载损耗和空载电流测量(例行试验) Measurement of no-load loss and current(Routine test)	100%Ur	P_0 (kW)： ≤51	50.04kW 见第 18 页 See page 18	符合要求 Meet the requirements
			I_0 (%)： 0.12	0.05% 见第 18 页 See page 18	符合要求 Meet the requirements
		110%Ur	P_0 (kW)：提供实测数据 Provide measured data	70.01kW 见第 18 页 See page 18	/
			I_0 (%)： 提供实测数据 Provide measured data	0.11% 见第 18 页 See page 18	/
		90%Ur	P_0 (kW)：提供实测数据 Provide measured data	38.62kW 见第 18 页 See page 18	/
			I_0 (%)： 提供实测数据 Provide measured data	0.04% 见第 18 页 See page 18	/
9	短路阻抗和负载损耗测量(例行试验) Measurement of short-circuit impedance and load loss(Routine test)	负载损耗 Load loss $P_{K65℃}$(kW): ≤390		388.34kW	符合要求 Meet the requirements
		短路阻抗 Impedance $Z_{K65℃}$(%): 13.0 (1±7.5%)		13.22% 见第 19 页 See page 19	

Figura 6-9: Pruebas FAT - Transformador de poder MT/AT [13]

ANEXO V - HOJA DE DATOS DEL TRANSFORMADOR DE SSAA DEL BESS

En este anexo se presentan las hojas de datos de los transformadores de servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña, las mismas pueden observarse en la Figura 6-10 y en la Figura 6-12. Además, en la Figura 6-11 y en la Figura 6-13, puede observarse la foto de placa de los mismos. Se indican en rojo, en ambas imágenes, los parámetros más relevantes de los mismos.

B.6.2	Level	-	0.5g (ZPA)	Confirmed
C	GENERAL CHARACTERISTICS			
C.1	Nominal Power (ONAN)	kVA	800	800
C.2	Frequency	Hz	fifty	fifty
C.3	Phases	-	3	3
C.4	Guy	-	Immersed in oil, Hermetic	Immersed in oil, Hermetic
C.5	Coiled Connection		Dyn11	Dyn11
C.6	Wrapping material		Aluminum or Copper	Aluminum
C.7	Impedance	%	5	5
C.8	Features – Primary			
C.8.1	Nominal voltage	kV	33	33
C.8.2	Maximum Service Voltage	kV	36	36
C.8.3	Maximum Voltage, 50 Hz, 1 min., Dry	kV	70	70
C.8.4	Basic Impulse Voltage (BIL)	kV	170	170
C.8.5	Three-phase short circuit	kA	By Manufacturer	According to Catalog
C.9	Features – Secondary			
C.9.1	Nominal voltage	V	400	400
C.10	Losses			
C.10.1	No-load (at nominal voltage and frequency)	kW	By Manufacturer	1374
C.10.2	Under load (at nominal power, 75ºC)	kW	By Manufacturer	7870
C.10.3	Total (at nominal power, 75ºC)	kW	By Manufacturer	9044
C.11	Temperature Elevation			
C.11.1	from the oil	K	60	60
C.11.2	From the winding	K	65	65
C.12	Color C14 It is necessary to incorporate characteristics of the type of oil	-	RAL 7035 or similar	RAL 7035

Figura 6-10: Hoja de datos – Transformador de SSAA (NUP 4041) [14]

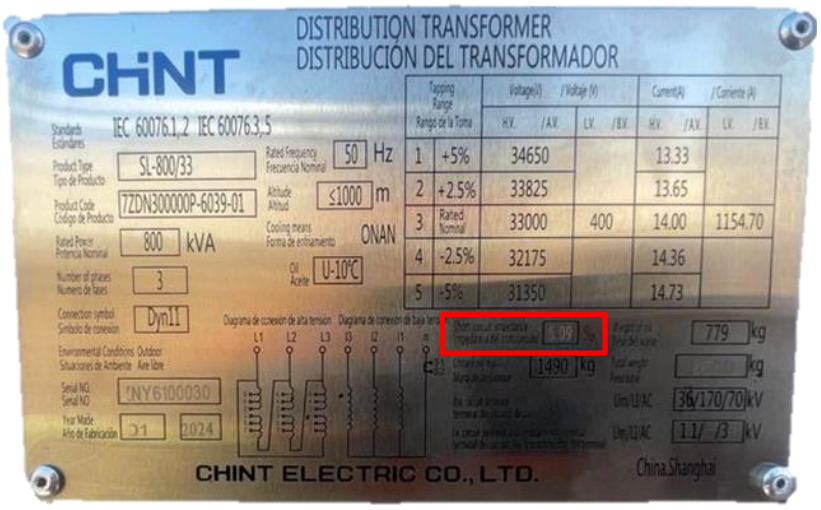

Figura 6-11: Fotografía de placa – Transformador de SSAA (NUP 4041)

c	GENERAL CHARACTERISTICS			
C.1	Nominal Power (ONAN)	kVA	800	800
C.2	Frequency	Hz	fifty	fifty
C.3	Phases	-	3	3
C.4	Guy	-	Immersed in oil, Hermetic	Immersed in oil, Hermetic
C.5	Coiled Connection		Dyn11	Dyn11
C.6	Wrapping material		Aluminum or Copper	Aluminum
C.7	Impedance	%	5	5
C.8	Features – Primary			
C.8.1	Nominal voltage	kV	33	33
C.8.2	Maximum Service Voltage	kV	36	36
C.8.3	Maximum Voltage, 50 Hz, 1 min., Dry	kV	70	70
C.8.4	Basic Impulse Voltage (BIL)	kV	170	170
C.8.5	Three-phase short circuit	kA	By Manufacturer	According to Catalog
C.9	Features – Secondary			
C.9.1	Nominal voltage	V	400	400
C.10	Losses			
C.10.1	No-load (at nominal voltage and frequency)	kW	By Manufacturer	1374
C.10.2	Under load (at nominal power, 75ºC)	kW	By Manufacturer	7870
C.10.3	Total (at nominal power, 75ºC)	kW	By Manufacturer	9044
C.11	Temperature Elevation			
C.11.1	from the oil	K	60	60
C.11.2	From the winding	K	65	65
C.12	Color C14 It is necessary to incorporate characteristics of the type of oil	-	RAL 7035 or similar	RAL 7035

Figura 6-12: Hoja de datos – Transformador de SSAA (NUP 4697) [15]

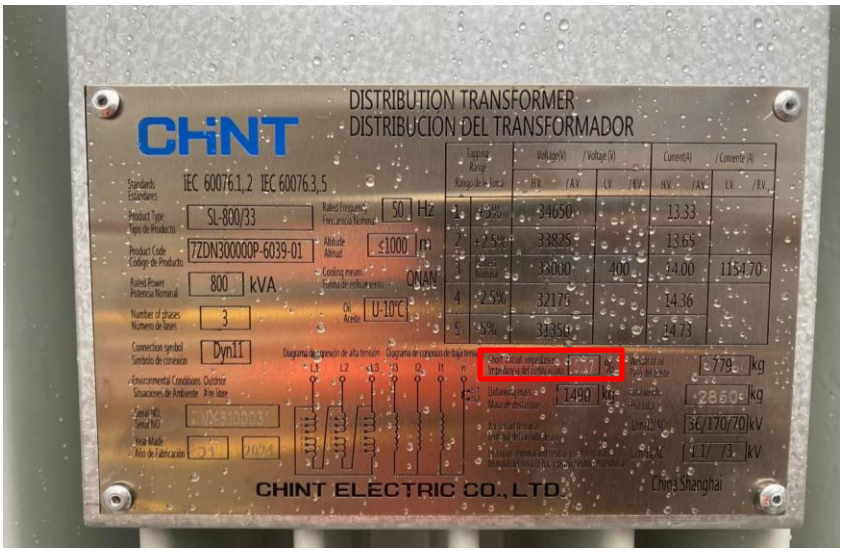

Figura 6-13: Fotografía de placa – Transformador de SSAA (NUP 4697)

La tabla presentada en la Figura 6-10 fue extraída del documento [14], mientras que la tabla presentada en la Figura 6-12 fue extraída del documento [15]. Ambos documentos se enviarán adjuntos en el archivo “22095-INF-EGP-090 – Amp. BESS PE LCA – Anexo Documentos”.

ANEXO VI - CONSUMOS DE SERVICIOS AUXILIARES

En la Figura 6-14 se presenta el consumo de los servicios auxiliares del BESS Parque Eólico La Cabaña. Dichos consumos se presentan para tres condiciones diferentes y están compuestos por los consumos de los módulos de baterías, inversores y el PMS.

Auxiliary Consumption

Max consumption? No (yes = includes full power of maintenance receptacle and lights)

Nominal Mode (normal charge and discharge)					
HVAC & Fans Duty	100%				
Description	Equipment	Ea. Power (kW)	Number of Equipment	Total Avg. Power	Comment
IM20 HE	HVAC & Fans	14.398 kW	31	446.345 kW	AC, ~100% HVAC/Fans Duty
IM20 HE	FSS & BMS	0.571 kW	31	17.712 kW	Maint. outlet and lights not included
IM20 HE	Self Discharge & SMUs	0.320 kW	31	9.921 kW	DC bus
Power Electronics PCSK 4390k (MVPS) 50°C		8.200 kW	11	90.200 kW	PCS (and Converter)
PMS		4.000 kW	1	4.000 kW	
TOTAL (Nominal Mode)		27.490 kW		568.2 kW	

Max consumption? Yes (yes = includes full power of maintenance receptacle and lights)

Nominal Mode (normal charge and discharge)					
HVAC & Fans Duty	100%				
Description	Equipment	Ea. Power (kW)	Number of Equipment	Total Avg. Power	Comment
IM20 HE	HVAC & Fans	14.398 kW	31	446.345 kW	AC, ~100% HVAC/Fans Duty
IM20 HE	FSS & BMS	2.601 kW	31	80.642 kW	Maint. outlet and lights included
IM20 HE	Self Discharge & SMUs	0.320 kW	31	9.921 kW	DC bus
Power Electronics PCSK 4390k (MVPS) 50°C		8.200 kW	11	90.200 kW	PCS (and Converter)
PMS		4.000 kW	1	4.000 kW	
TOTAL (Nominal Mode)				631.1 kW	

Off State (Completely shut down)					
Description	Equipment	Ea. Power (kW)	Number of Equipment	Total Avg. Power	Comment
IM20 HE	HVAC, FSS, Etc	0.000 kW	31	0.000 kW	
IM20 HE	Sef Disch	0.320 kW	31	9.921 kW	
Power Electronics PCSK 4390k (MVPS) 50°C		0.000 kW	11	0.000 kW	
PMS		4.000 kW	1	4.000 kW	
TOTAL				13.9 kW	

BESS AUXILIARY LOAD/ESSENTIAL - 400 VAC Loads IHE LFP with HVAC 5kW Heater

QTY	Equipment	Apparent power Per Unit S(kVA)	CB HVAC caliber	CB main caliber	Total Apparent power S (kVA)
31	Battery HVAC	16.33	32A	40A	506.23
31	Battery Electronics	4.42			137.02
11	PCS	10.60			116.60
1	PMS	0.049			0.049
TOTAL (Site)- 31 container/11PCS/1PMS					759.90

*Values calculated using highest site temperature (40C) condition and pf of 0.9
*Total Apparent power battery HVAC for site = (31 Containers x 16.33 kVA)
* Total Apparent power battery electronics for site = (31 Containers x 4.42 kVA)
* Total Apparent power PCS (11 PCS x 10.60kVA)

Summary:
The auxiliary power requirements of the Battery container, PCS, and PMS are all considered to be essential loads and must be maintained during grid outage and maintenance to keep the HVAC, FSS and PMS system operating. The total auxiliary power requirement for the complete BESS system considering highest site temperature of 40 degrees Celsius is ~760kVA. For normal operation at a temperature of about 35 degrees Celsius the required power is about 630kVA.

Figura 6-14: Consumo de los servicios auxiliares [16]

ANEXO VII - BANCO DE CONDENSADORES

En la Figura 6-15 se presenta la hoja de datos del banco de condensadores. El parque cuenta con 2 bancos de 12,5 MVAr, totalizando una potencia de 25 MVAr. Los parámetros principales de los mismos se recuadran en rojo en la siguiente figura.

Engineering & Construction

GRE CODE
GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.16.125.00
PAGE
4di/of9

GUARANTEED DATA SHEETS
CAPACITOR BANK

	DESCRIPTION	UNIT	SPECIFIED	OFFERED
C.4	Power frequency withstand voltage	kV rms	70	70
C.5	Lightning impulse voltage (BIL)	kV rms	170	170
C.6	Three-phase short circuit (at 36 kV)	kA/s	31.5 / 1	31.5 / 1
C.7	Total reactive power (at 33 kV)	MVAR	25	25
C.8	Number of stages	-	two	2
C.9	Reactive power per stage	MVAR	12.5	12.5
C.10	Setting	-	double star	double star
D	**CAPACITORS**			
D.1	Unit Rated Power	-	By Manufacturer	563kvar
D.2	Unit Rated Voltage	-	By Manufacturer	9.9kV
D.3	Quantity (per stage)	-	By Manufacturer	24
D.4	Protection	-	internal fuse	internal fuse
D.5	Dielectric		polypropylene film	polypropylene film
D.6	liquid dielectric		Non-toxic and biodegradable (no PCB).	Non-toxic and biodegradable (no PCB).
D.7	Insulator		Porcelain	Porcelain
D.8	internal discharge device	Otherwise	Yes	Yes
D.9	discharge time	minutes	75V/10min	75V/10min
D.10	dielectric losses	W/kVAR	< 0.2	< 0.2
D.11	capacity tolerance	MVAR	-5 to 10%	-5 to 10%
D.12	Over Current Permanent	-	1.3 In	1.3 In
D.12	**Overvoltage in 24h**			
D.13.1	12h in 24h	-	1.1 A	1,1 Un
D.13.2	30m in 24h	-	1.15 A	1,15 Un
D.13.3	5m in 24h	-	1.20 A	1,20 Un
D.13.4	1m in 24h	-	1.30 A	1,30 Un
AND	**COUPLING REACTANCE**			
E.1	Quantity (per stage)	-	3	3
E.2	Brand	-	By Manufacturer	• TBD
E.3	Model	-	By Manufacturer	CKDK-33kV-228A-0.15mH
E.4	short withstand current duration [kA/1s]	-	> 1.43	5.7
F	**SWITCH FOR CAPACITIVE LOADS**			
F.1	Quantity (per stage)	each	1	1
F.2	Brand	-	By Manufacturer	TBD

Figura 6-15: Hoja de datos - Banco de condensadores [18]

ANEXO VIII - TRANSFORMADOR ZIGZAG

En la Figura 6-16 se presentan las características principales del transformador ZigZag del BESS Parque Eólico La Cabaña. Las mismas fueron extraídas del documento [17].

C	CARACTERÍSTICAS GENERALES			
C.1	Tensión Nominal de Servicio	kV	33	33
C.2	Tensión Máxima de Servicio	kV	36	36
C.3	Tensión Máxima, 50 Hz, 1 min., Seco	kV	70	70
C.4	Tensión de Impulso atmosférico (BIL)	kV	170	170
C.5	Fases	-	3	3
C.6	Frecuencia	Hz	50	50
C.7	**Líquido aislante y refrigerante**			
C.7.1	Tipo	-	Aceite mineral	Aceite Mineral
C.7.2	Método de Refinación	-	Misto (Nafténico y parafínico)	Naftenico
C.7.3	Densidad	-	Por Fabricante	0.84 g/cm3 (20°C)
C.7.4	Libre de DBDS	-	Sí	Si
C.7.5	Libre de azufres corrosivos	-	Sí	Si
C.7.6	No inhibido	-	Sí	Si
C.8	Conexión Enrollados	-	Zig Zag	ZN

Engineering & Construction

GRE CODE
GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.16.124.03

PAGE 4 di/of 7

HOJAS DE DATOS GARANTIZADOS
TRANSFORMADOR ZIGZAG

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ESPECIFICADO	OFRECIDO
C.9	Material de los enrollados	-	Aluminio o Cobre	Cobre
C.10	Corriente de cortocircuito a soportar 10s ($3I_0$)	A	400	400
C.11	Potencia continua de neutro (Continua)	kVA	229	228.6
C.12	Potencia térmica de neutro (Temporária)	kVA	7621	7621
C.13	Reactancia de secuencia cero (X_0)	Ω/fase	140,8	143
C.14	Impedancia Máxima a 75°C	%	Por Fabricante	N.A.

Figura 6-16: Características principales - Transformador ZigZag [17]

ANEXO IX - CURVA DE CAPACIDAD BESS

En el siguiente anexo se presenta en la Figura 6-17 la curva de capacidad relevada del BESS (con los registros en azul) en su POI (33 kV), la cual fue presentada en el informe de validación del modelo dinámico (VMD) [20].

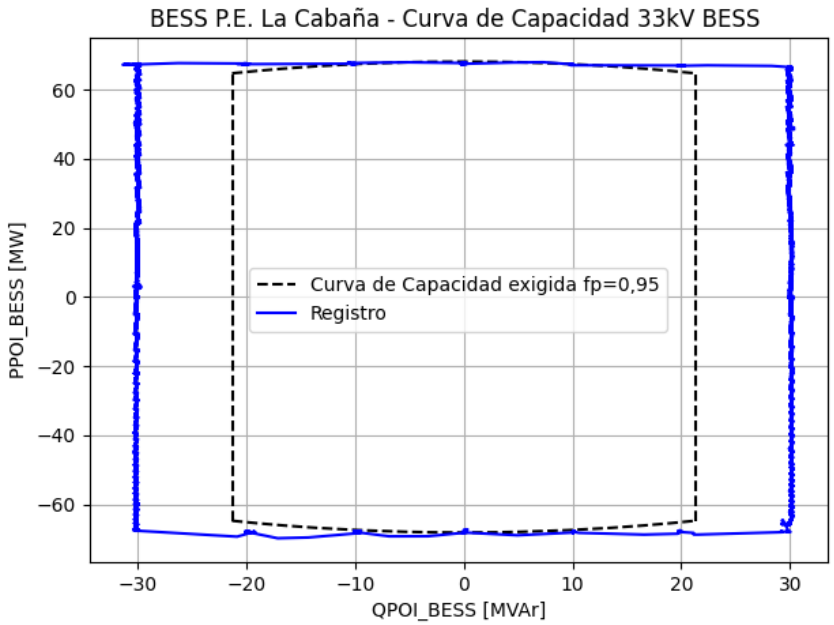

Figura 6-17: Curva de capacidad del BESS en el POI (33 kV)

ANEXO X - ENSAYOS DE VALIDACIÓN DEL SOC

En este anexo se presentan los ensayos de validación del SOC. Estos ensayos consisten en una carga y una descarga del SOC a potencia máxima. El ensayo de carga parte con las baterías descargadas al mínimo nivel posible y finaliza cuando estas alcanzan el máximo nivel posible. Por otro lado, el ensayo de descarga, parte con las baterías cargadas al máximo nivel posible y finaliza cuando estás alcanzan el mínimo nivel posible de carga.

Para ambos ensayos mencionados se gráfica: la potencia del BESS en su POI (33 kV), el estado de carga promedio de las baterías y la potencia disponible de carga. Dichas señales se denominan PPOI BESS, SOC y P DISPONIBLE, respectivamente.

A continuación, en la Figura 6-18, se presenta el ensayo de validación del SOC con el BESS operando en modo carga. El valor inicial del SOC fue de 7,18%, mientras que el valor final alcanzado fue de 98,14%. El tiempo transcurrido entre dichos niveles de carga fue de 2 horas y 46 minutos. La potencia de carga promedio fue de -68 MW. A partir de las 17:15 Hs se puede observar que la potencia de carga empieza a disminuir, esto se debe a que el SOC está próximo a su máximo estado de carga y por ello su potencia disponible de carga empieza a disminuir.

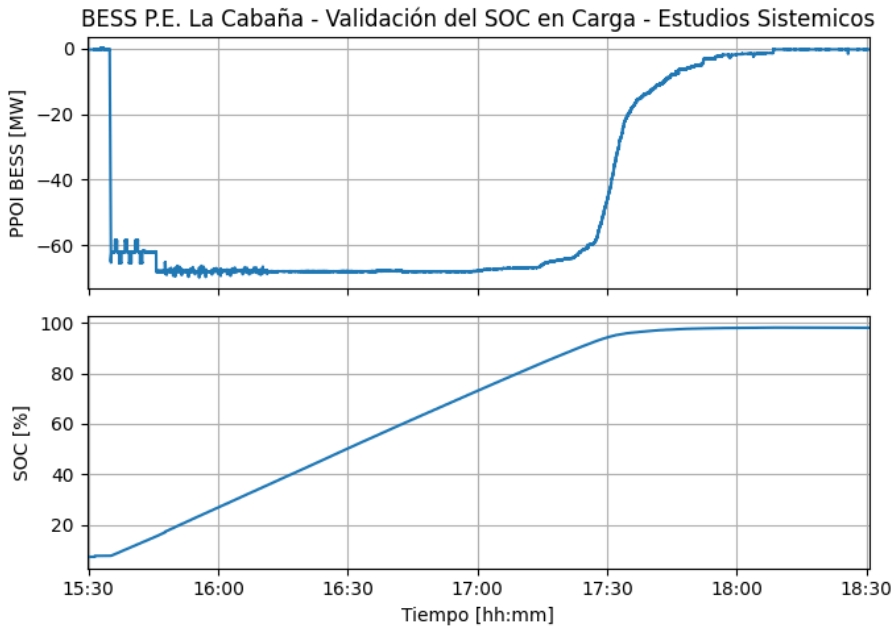

Figura 6-18: Ensayo de validación del SOC con el BESS en Carga

A continuación, en la Figura 6-19, se presenta el ensayo de validación del SOC con el BESS operando en modo descarga. El valor inicial del SOC fue de 98,4%, mientras que el valor final alcanzado fue de 8,97%. El tiempo transcurrido entre dichos niveles de carga fue de 2 horas y 24 minutos. La potencia de descarga promedio fue de -66,7 MW. A partir de las 15:33 Hs se puede observar que la potencia de descarga empieza a disminuir, esto se debe a que el SOC está próximo a su mínimo estado de carga y por ello su potencia disponible de descarga empieza a disminuir.

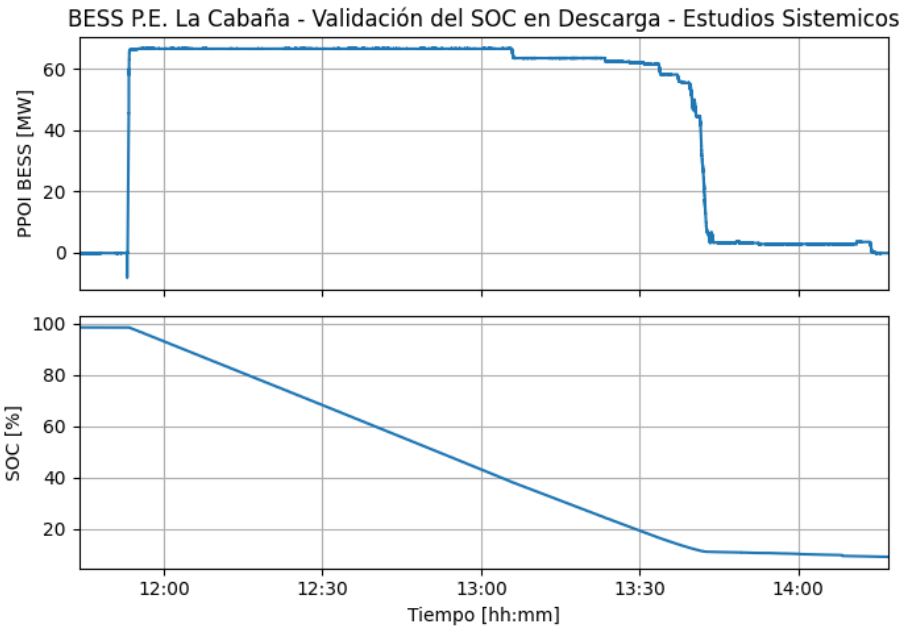

Figura 6-19: Ensayo de validación del SOC con el BESS en Descarga

7. REFERENCIAS

[1] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA, «ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras».

[2] CJR RENEWABLES, AMPLIACIÓN BESS LA CABAÑA - SISTEMA BESS DIAGRAMA UNILINEAL MT (GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.60.014.05_20231227 2-01), 2023.

[3] CJR RENEWABLES, ESQUEMA UNILINEAL DE 33 kV - GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.10.022.10 Esquema unilineal de Media Tension, 2023.

[4] CJR RENEWABLES, AMPLIACIÓN BESS LA CABAÑA - DIAGRAMA UNILINEAL FUNCIONAL 220/33 kV (GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.16.136.08_20231228 - Funcional 33kV_v3), 2023.

[5] CJR RENEWABLES, AMPLIACIÓN BESS LA CABAÑA - DIAGRAMA UNILINEAL FUNCIONAL (GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.16.136.08_20231228 2 - Funcional 220kV_v3), 2023.

[6] SAFT, Intensium Max 20 High Energy 1500V LFP - Intensium_Max_20_High_Energy_1500V_LFP_Technical_Description, 2021.

[7] POWER ELECTRONICS, TECHNICAL CHARACTERISTICS FREEMAQ PCSK 690V - GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.00.404.00-01 Electrical.

[8] SAFT, PCS CABIN/BUILDING Aux System Data Sheet - GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.00.402.01, 2023.

[9] SAFT, INVERTER P-Q CURVE - GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.00.378.01, 2024.

[10] ENEL GREEN POWER, MEDIUM VOLTAGE TRANSFORMER DATASHEET - GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.00.XXX.00 MVT Datasheet 4390k MFM 20230720, 2023.

[11] ENEL GREEN POWER, MEDIUM VOLTAGE TRANSFORMER DATASHEET - GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.00.XXX.00 MVT Datasheet 6580k MFM 20230720, 2023.

[12] ENEL GREEN POWER, MEDIUM VOLTAGE TRANSFORMER DATASHEET - GRE.EEC.D.99.CL.W.13763.00.XXX.00 MVT Datasheet 8780k MFM 20230720, 2023.

[13] CHNT, Test Report - ID3580 - Anexo 3 Ensayos FAT, 2022.

[14] CHNT, Hoja de datos del transfromador de servicios auxiliares - ID1571 - Anexo 2 Hoja de Datos.

[15] CHNT, Hoja de Datos del Transformador de servicios auxiliares (ID1788 - Anexo 2 Hoja de Datos).

[16] ENEL GREEN POWER, Battery Cabin/Building Aux System data sheet - GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.00.400.03, 2023.

[17] CJR RENEWABLES, CTG - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GARANTIZADAS TRANSFORMADOR ZIGZAG SUBESTACIÓN LA CABAÑA 220/33 kV - GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.16.124.03_CTG_ZigZag - CEA (Rev FInal), 2022.

[18] CJR RENEWABLES, CTG - GUARANTEED TECHNICAL CHARACTERISTICS CAPACITOR BANK LA CABAÑA SUBSTATION 220/33 kV - GRE.EEC.R.99.CL.W.13763.16.125.00, 2022.

[19] Estudios Sistemicos, INFORME DE ENSAYOS DE POTENCIA MÁXIMA (22095-INF-EGP-048-RB-Informe_de_PMAX_PE_La_Cabaña), 2024.

[20] E. Sistémicos, Informe de Validación del Modelo Dinámico (VMD), "22095-INF-EGP-088 - Amp. BESS PE LCA - Informe VMD".

FIN DEL DOCUMENTO

www.estudiossistemicos.cl
Email: contacto@estudiossistemicos.cl
Fono: +562 3307 6960
Móvil: +569 7898 7194

Oficina Central
Padre Mariano Chaparro 3598, Macul,
Santiago – Chile.