



**I-SEP**

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

**P22061**

# **ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO BESS URIBE SOLAR**

**24.09.2024**

Informe de Mínimo Técnico

22061-00-ES-IT-009 Rev. 2

Preparado para Fotovoltaica Norte Grande 5 SpA





**P22061**  
**ESTUDIOS DE CONEXIÓN**  
**PROYECTO BESS URIBE SOLAR**  
 Informe de Mínimo Técnico

**I-SEP Ingenieros SpA**  
 Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

Padre Mariano 82  
 Oficina 603  
 Providencia, Santiago  
 Chile

+56 2 2604 8761

[www.i-sep.cl](http://www.i-sep.cl)  
[empresa@i-sep.cl](mailto:empresa@i-sep.cl)

REV.	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev. A	Nicolás Tardón P.	30.05.2024	Cristian Valenzuela Bastían Guerra Esteban Canales	04.06.2024	Emitido para revisión interna
Rev. B	Nicolás Tardón P.	05.06.2024	X-ELIO	06.06.2024	Emitido para Revisión del Cliente
Rev. 0	Nicolás Tardón P.	06.06.2024	CEN	27.06.2024	Emitido para Revisión del CEN
Rev. 1	Bastían Guerra D.	31.07.2024	CEN	06.09.2024	Atiende observaciones CEN
Rev. 2	Nicolás Tardón P.	24.09.2024			Atiende observaciones CEN

# CONTENIDOS

<b>1. IDENTIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS Y ALCANCE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>4. REFERENCIAS .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1. Documentos del Proyecto.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2. Normas, Estándares y Bibliografía .....</b>	<b>7</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE .....</b>	<b>7</b>
<b>5.1. Conductor Conexión BESS .....</b>	<b>9</b>
5.1.1. Configuración.....	9
5.1.2. Resistividad del terreno .....	10
5.1.3. Conductor de fase.....	10
5.1.4. Resumen parámetros eléctricos .....	11
<b>5.2. Transformador BESS 33/0,69 KV.....</b>	<b>11</b>
<b>5.3. Sistema de almacenamiento BESS .....</b>	<b>13</b>
<b>5.4. Inversores del PFV .....</b>	<b>14</b>
<b>5.5. Inversor del BESS.....</b>	<b>15</b>
<b>5.6. Hoja de datos de las baterías .....</b>	<b>16</b>
<b>6. REVISIÓN NORMATIVA .....</b>	<b>17</b>
<b>7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO .....</b>	<b>17</b>
<b>7.1. Definición de puntos de medición .....</b>	<b>18</b>
7.1.1. Modo solo BESS .....	18
7.1.2. Modo BESS más PFV .....	19
<b>7.2. Antecedentes de operación .....</b>	<b>21</b>
7.2.1. Antecedentes de operación prueba individual (inversor conectado al BESS) ..	21
7.2.2. Cálculo de mínimo técnico inversor del BESS.....	22
7.2.3. Antecedentes de operación modo solo BESS.....	22
7.2.4. Cálculo de mínimo técnico modo solo BESS.....	24
7.2.5. Antecedentes de operación modo parque más bess.....	25
7.2.6. Cálculo de mínimo técnico modo BESS más parque .....	28
7.2.7. Ensayo complementario BESS más parque con un inversor operativo .....	29
7.2.1. Cálculo de mínimo técnico modo BESS más Parque con un inversor operativo	33
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>

<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>35</b>
9.1. ANEXO I – Mediciones medidor SSAA de la subestación.....	35
9.2. ANEXO II – Registro mediciones de potencia activa.....	35
9.3. ANEXO III – Base de datos.....	35
9.4. ANEXO IV – Hoja de datos de los módulos PFV .....	35
9.5. ANEXO V – Diagrama pq de los inversores .....	35
9.6. ANEXO VI – Hoja de datos de los inversores .....	35
9.7. ANEXO VII – Equipo de medida, datasheet y certificado calibración Metrel MI 2892....	35
9.8. ANEXO VIII – Hoja de datos de las baterías.....	35
9.9. ANEXO IX – Round Trip Efficiency.....	35
9.10. ANEXO X – Estado de los inversores durante las pruebas .....	35
9.11. ANEXO XI – Carta de X-ELIO .....	35
9.12. ANEXO XII – Registros ensayo complementario BESS más parque con un inversor operativo .....	36

# 1. IDENTIFICACIÓN

Nombre del proyecto:	:	BESS Uribe Solar
Numero Único de Proyecto (NUP):	:	3629
Empresa propietaria del proyecto:	:	Fotovoltaica Norte Grande 5 SpA

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el mínimo técnico a para el funcionamiento del modo solo BESS (carga y descarga), y el funcionamiento del modo parque más BESS (carga y descarga), propiedad de Fotovoltaica Norte Grande 5 SpA, según lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, y en el **Anexo Técnico: Pruebas de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**.

## 3. INTRODUCCIÓN

Actualmente Fotovoltaica Norte Grande 5 SpA se encuentra desarrollando el proyecto BESS Uribe Solar (NUP 3629), el cual consiste en el cual consiste en la ampliación del switchgear de 33 kV en la subestación existente Uribe Solar, junto con la integración de una nueva celda de marca Schneider serie CBGS-0 clase 36 kV, corriente nominal de 1250 A, interruptor tipo SF1G de 2500 A y una capacidad de cortocircuito de 25 kA por 3 segundos, que conectará al banco de baterías BESS a través de cables de media tensión (clase 36 kV, mono conductor de aluminio, aislación tipo XLPE de sección 4/0 AWG). El banco de baterías BESS tendrá una capacidad instalada de 2,5 MW de potencia instalada, con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 5 MWh de energía. El proyecto tiene fecha de puesta en servicio prevista para octubre del 2023.

En este contexto, I-SEP se ha adjudicado el desarrollo del informe de determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras, requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto BESS Uribe Solar, el cual tiene por objetivo determinar el mínimo técnico de potencia con el funcionamiento del parque más BESS y en modalidad solo BESS. Es necesario comentar que, el PPC del parque (power plant controller) posee una naturaleza de operación híbrida comprendiendo los modos de operación del funcionamiento individual del BESS y el funcionamiento parque más BESS

En la Figura 3-1 se muestra un diagrama unilineal de la zona de influencia, destacando en un recuadro **rojo** el proyecto BESS Uribe Solar.

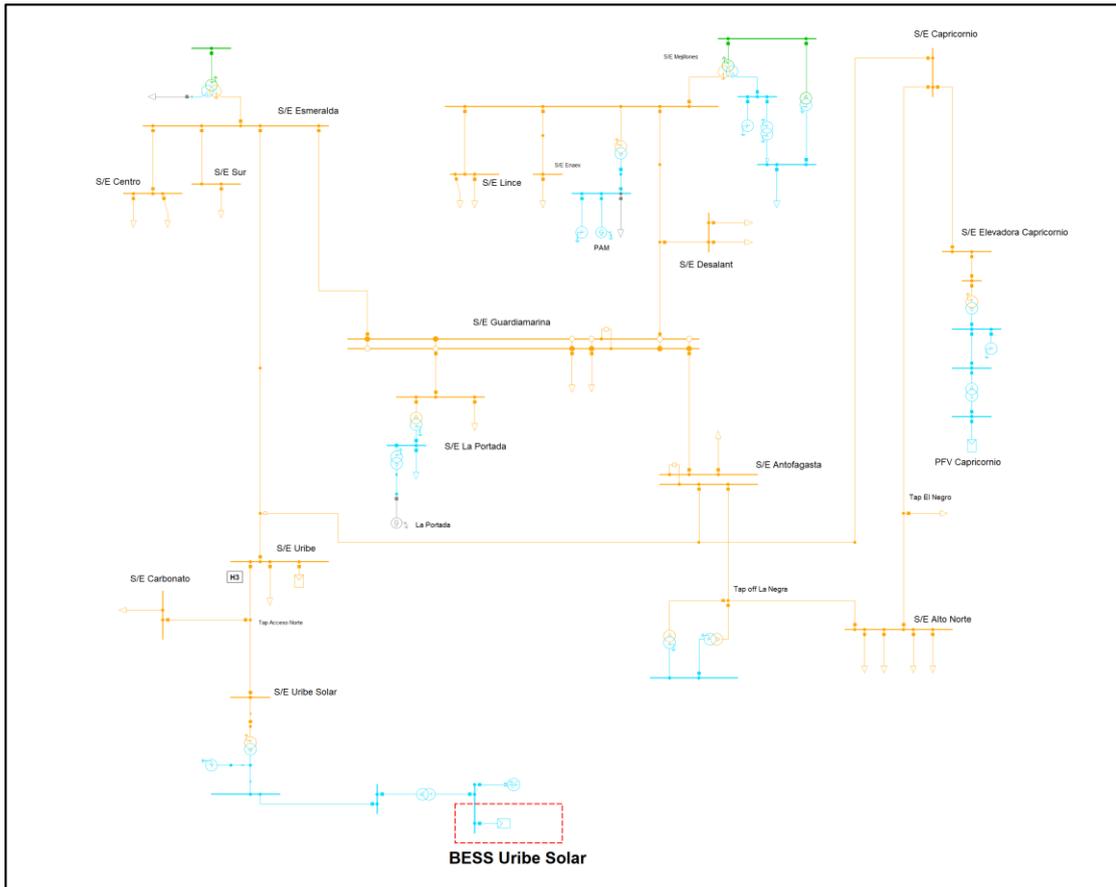


Figura 3-1: Ubicación del BESS Uribe Solar.

## 4. REFERENCIAS

### 4.1. Documentos del Proyecto

- [a] Documento: 22061-00-ES-IT-005 Rev 0\_Estudio de Estabilidad Transitoria\_BESS Uribe Solar.
- [b] Documento: “PES-de-UUGG-Aplicación-de-Anexos-Técnicos”, Puesta en Servicio de Unidades Generadoras, realizado por el Coordinador Eléctrico Nacional.
- [c] Documento: “22061-00-ES-IT-007\_R1”, Informe de Validación de Modelo Dinámico del proyecto BESS Uribe Solar.
- [d] Documento: “Informe\_Tecnico-PPyD-Parque\_Fotovoltaico\_Uribe\_Rev5”, Informe de parámetros de partida y detención del PFV Uribe Solar, disponible en la página del Coordinador Eléctrico Nacional.
- [e] Documento: “DE02499-19-Carta-Aceptación-Mínimo-Técnico-Central-FV-Uribe-Solar”, Carta de aceptación Mínimo Técnico de la Central PFV Uribe Solar.
- [f] Página web: <https://www.coordinador.cl/>, sitio web del Coordinador Eléctrico Nacional.

### 4.2. Normas, Estándares y Bibliografía

Para la elaboración del presente documento fueron utilizadas como referencia las normas técnicas nacionales e internacionales indicadas a continuación:

- [I] Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, versión septiembre 2020.
- [II] Anexo Técnico: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras, CNE.
- [III] Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos, CEN.
- [IV] Norma IEC 62933 Electrical energy storage (EES) systems, Unit parameters and testing methods.

## 5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE

En la Figura 5-1 se muestra un diagrama unilineal de la zona de influencia, destacando en un recuadro rojo el proyecto BESS Uribe Solar.

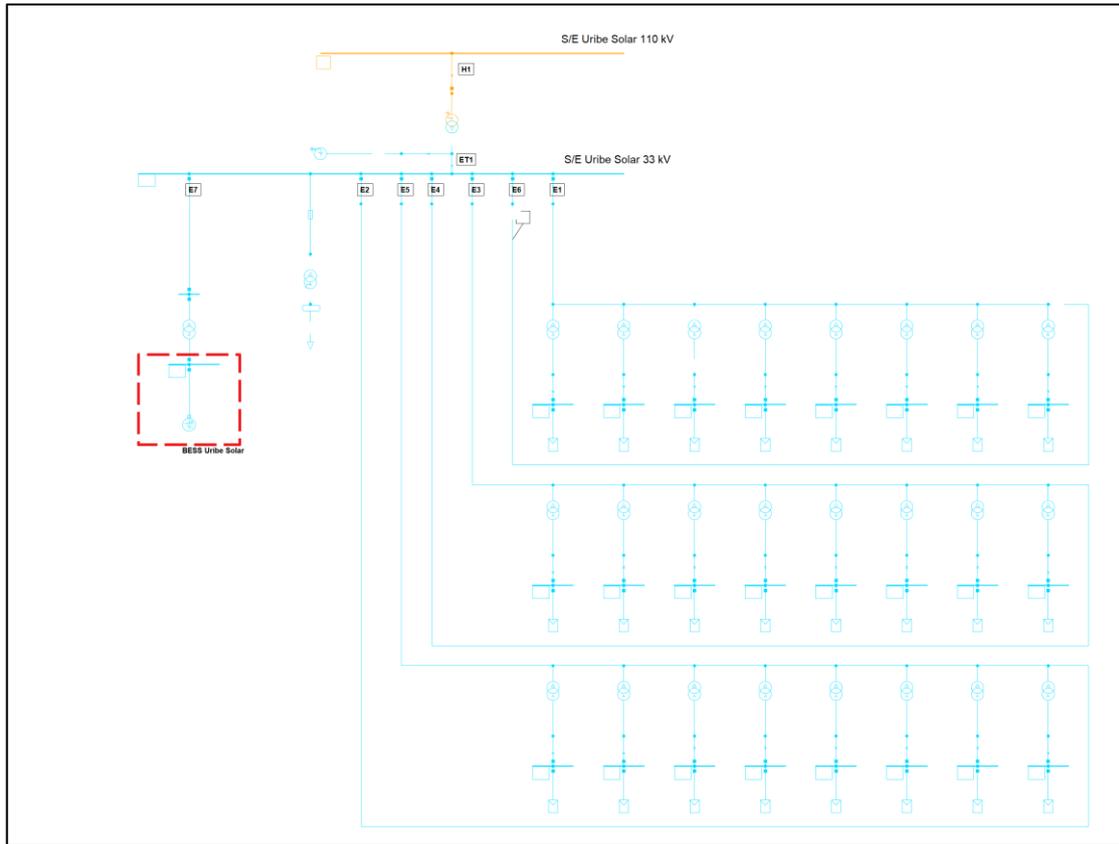


Figura 5-1: Diagrama de la red colectora perteneciente al parque BESS Uribe Solar y su BESS.

### 5.1. Conductor Conexión BESS

El sistema de almacenamiento se conectará a la ampliación del switchgear en 33 kV de la subestación, a través de un cable subterráneo de aluminio 4/0 AWG 107,2 mm<sup>2</sup>.

#### 5.1.1. Configuración

La configuración del cable subterráneo se muestra en la Figura 5-2, la cual ha sido extraída del antecedente [a].

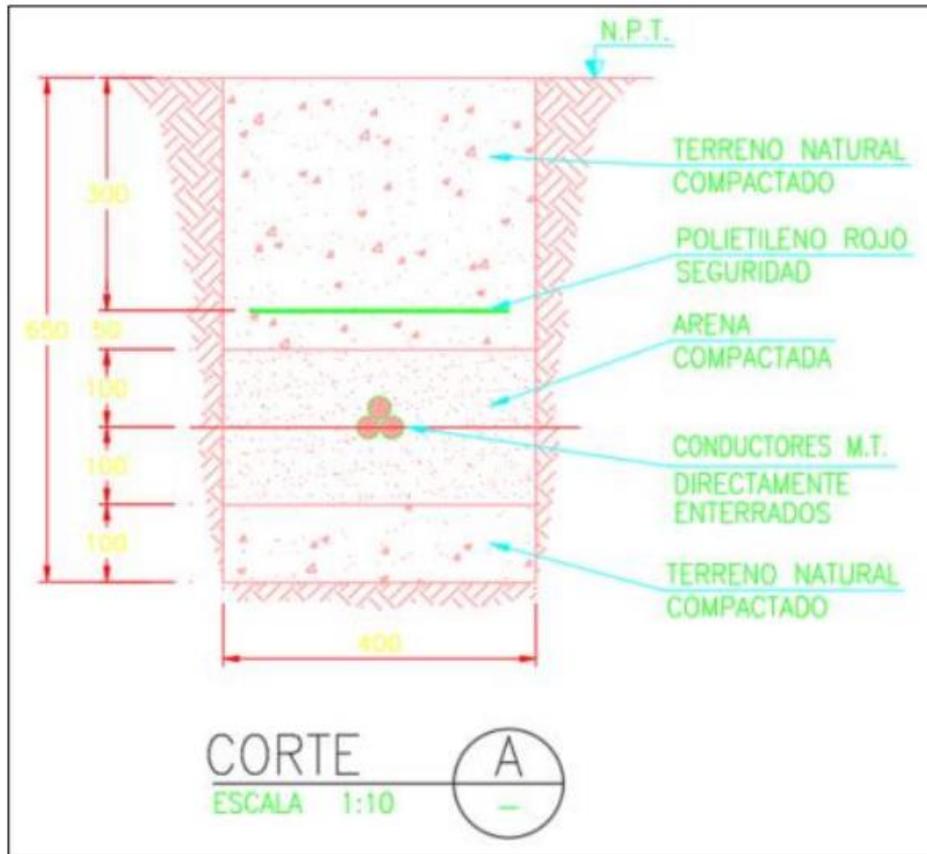


Figura 5-2: Disposición cable BESS.

A continuación, se muestra la representación del cable en DigSILENT:

Cable Definition - Equipment Type Library\Cable BESS Uribe Solar.TypCabsys

Basic Data Description

Load Flow

Short-Circuit VDE/IEC

Short-Circuit Complete

Short-Circuit ANSI

Short-Circuit IEC 61363

Short-Circuit DC

General Circuit Position Advanced

Coordinate of Line Circuits [m]:

	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
Circuit 1	0.019	0.	-0.019	0.45	0.417	0.45

Figura 5-3: Disposición cable BESS.

### 5.1.2. Resistividad del terreno

Las características del terreno donde se ubicará el conductor directamente enterrado se indican en la Tabla 5-1, extraído del antecedente [a].

**Tabla 5-1 Características del terreno BESS Uribe Solar.**

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	
Temperatura ambiente del suelo	35 °C
Resistividad térmica del suelo	2,5°C-m/W
Resistividad del terreno	2500 ohm-m
Tipo de suelo considerado	Relleno compactado

### 5.1.3. Conductor de fase

A continuación, se indican las características técnicas del conductor de fase descritas en el antecedente [a].

**Tabla 5-2 Características del conductor de fase.**

CARACTERÍSTICA	VALOR
Tipo de conductor	4/0 AWG ALUMINIO
Diámetro nominal	12,75 [mm]
Resistencia DC 20°C	0,2689 [ $\Omega$ /km]
Aislamiento	XLPE
Pantalla metálica	Alambres de cobre
Diámetro total aproximado	36,8 [mm]
Cubierta exterior	PVC

Single Core Cable Type - Equipment Type Library\4/0 AWG.TypeCab

**Basic Data**

Name: 4/0 AWG

Rated voltage: 33. kV

Core Shape: Compact

Outer Diameter: 12.75 mm

Frequency Characteristic (Ohm/km): [v] [→]

**Conducting Layers:**

	Exists	Material	Resistivity (... uOhm*cm	Relative Per...	Thickness mm	Filling Factor %	DC-Resista... Ohm/km	Ti
Conductor	<input checked="" type="checkbox"/>	Aluminium	2.8264	1.	6.375	100.	0.2213724	
Sheath	<input checked="" type="checkbox"/>	Copper	1.7241	1.	0.6	100.	0.3199238	
Armour	<input type="checkbox"/>	Unknown	2.84	1.	1.	100.	0.	

**Insulation Layers:**

	Exists	Material	Dielectric Los...	Relative Perm...	Thickness mm
1 (Insulation)	<input checked="" type="checkbox"/>	XLPE (> 18/30...	0.	3.	7.62
2 (Oversheath)	<input checked="" type="checkbox"/>	PE (HD/LD)	0.	2.3	3.8
3 (Serving)	<input type="checkbox"/>	Unknown	0.02	3.	1.

**Semiconducting Layers:**

	Exists	Thickness mm	Advanced	Resistivity uOhm*cm	Relative Permeab...	Relative Permittiv...
Core Outer	<input type="checkbox"/>	1.	<input type="checkbox"/>	1000000	1.	1000.
Ins. Outer	<input type="checkbox"/>	1.	<input type="checkbox"/>	1000000	1.	1000.

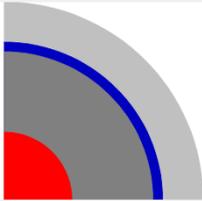


Figura 5-4: Modelación del conductor de fase en DigSILENT.

#### 5.1.4. Resumen parámetros eléctricos

El resumen de los parámetros eléctricos del cable a una temperatura de 20 °C se muestra a continuación:

Tabla 5-3 Parámetros eléctricos Cable 4/0 AWG.

LONGITUD [km]	R1 [OHM]	X1 [OHM]	B1 [μS]	R0 [OHM]	X0 [OHM]	B0 [μS]
0,035	0,0082	0,0044	2,3338	0,0187	0,0038	2,3338

#### 5.2. Transformador BESS 33/0,69 KV

Para la conexión del sistema BESS se utilizará un transformador de poder trifásico Dy11 33/0,69 kV. A continuación, se muestra el modelo resultante en DigSILENT, obtenido a partir de la hoja de datos del transformador del antecedente [a].

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRF BESS.TypeTr2

<b>Basic Data</b>	Name	TRF BESS
Description	Technology	Three Phase Transformer
Version	Rated Power	3.29 MVA
Load Flow	Nominal Frequency	50. Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage	
Short-Circuit Complete	HV-Side	33. kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	0.69 kV
Short-Circuit IEC 61363	Vector Group	
Short-Circuit DC	HV-Side	D
Simulation RMS	LV-Side	Y
Simulation EMT	Phase Shift	11. *30deg
Protection	Name	Dy11
Power Quality/Harmonics	Positive Sequence Impedance	
Reliability	Short-Circuit Voltage uk	7.77 %
Hosting Capacity Analysis	Copper Losses	26.9 kW
Optimal Power Flow	Zero Sequence Impedance	
	Short-Circuit Voltage uk0	6.9 %
	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRF BESS.TypeTr2

General | Tap Changer | Saturation | Advanced

Magnetising Impedance

No Load Current: 0.0865 %

No Load Losses: 2.9 kW

Distribution of Leakage Reactances (p.u.)

x,Pos.Seq. HV-Side: 0.5

x,Pos.Seq. LV-Side: 0.5

Distribution of Leakage Resistances (p.u.)

r,Pos.Seq. HV-Side: 0.5

r,Pos.Seq. LV-Side: 0.5

Figura 5-5: Modelado del transformador 33/0,69 kV en DigSILENT.

### 5.3. Sistema de almacenamiento BESS

El sistema de almacenamiento BESS se modela en DigSILENT empleando el modelo de la librería genérica, el cual corresponde a un elemento de generación estática configurado como almacenamiento. El aporte cortocircuito del BESS se obtuvo del antecedente [a].

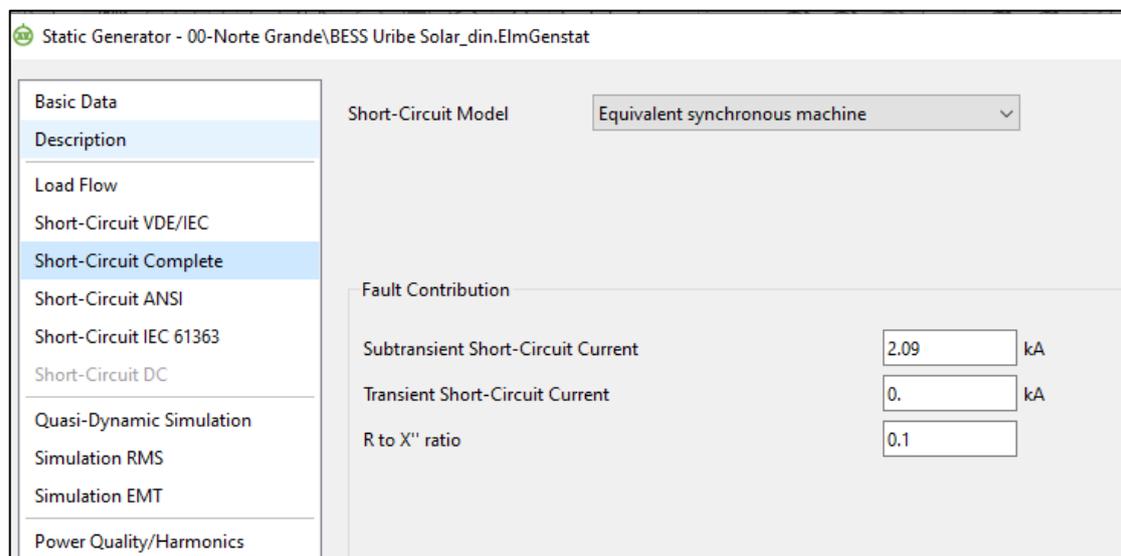
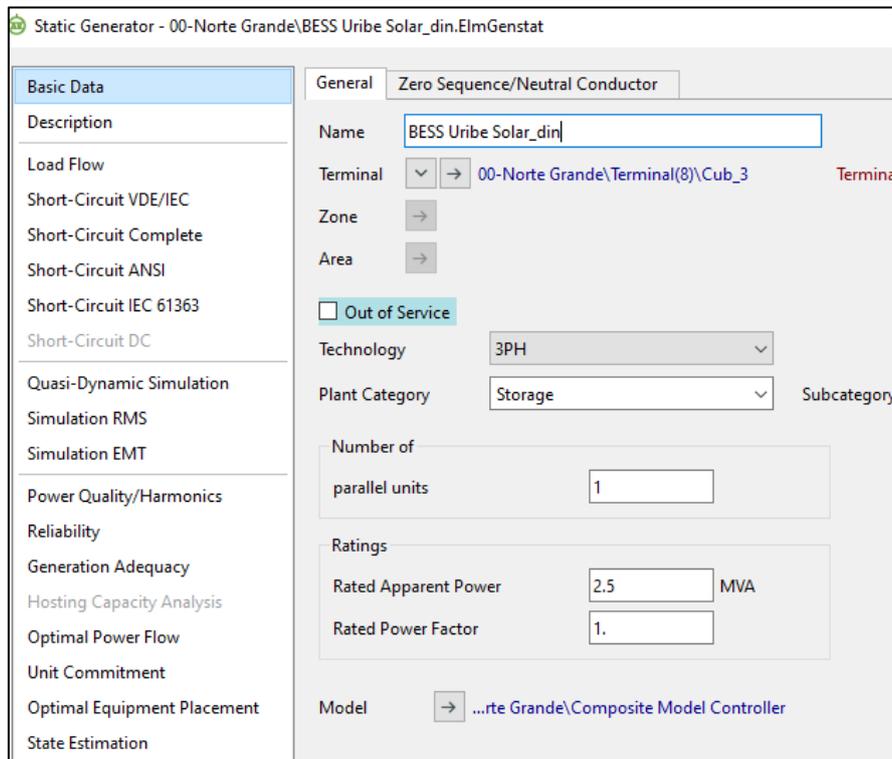


Figura 5-6: Modelación del BESS en DigSILENT.

## 5.4. Inversores del PFV

A continuación, se muestra a la hoja de datos perteneciente a los inversores que componen el PF Uribe Solar (Anexo 9.6).

		440VAC - MPPT Window 623V-900V					
		FRAME 2		FRAME 3		FRAME 4	
NUMBER OF MODULES		5	6	7	8	9	10
REFERENCE		FS1112CH	FS1331CH	FS1550CH	FS1770CH	FS1991CH	FS2200CH
OUTPUT	AC Output Power(kVA/kW) @50°C <sup>[1]</sup>	1110	1330	1550	1770	1990	2200
	AC Output Power(kVA/kW) @25°C <sup>[1]</sup>	1220	1460	1710	1950	2190	2440
	Max. AC Output Current (A) @25°C	1600	1920	2240	2560	2880	3200
	Operating Grid Voltage(VAC)	440Vac					
INPUT	Operating Range, Grid Frequency	50Hz/60Hz					
	Current Harmonic Distortion (THDI)	< 3% at any load condition					
	Power Factor (cosine phi) <sup>[2]</sup>	0.00 leading ... 0.00 lagging adjustable / Reactive Power Injection at night					
	Power Curtailment (kVA)	0...100%/0.1% Steps					
	MPPT Voltage Window (VDC) <sup>[1]</sup>	623V-900V					
	MPPT window @full power (VDC) <sup>[1]</sup>	642V-820V @50°C / 712V-820V @25°C					
	Maximum DC and Starting voltage	1000V					
	Max. DC continuous current (A)	1750	2100	2450	2800	3150	3500
	Max. DC short circuit current (A)	2275	2730	3185	3640	4095	4550
	Max. Efficiency PAC, nom (η)	98.6%		98.6%		98.6%	
EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY	Euroeta (η)	98.3%		98.4%		98.4%	
	Max. Standby Consumption (Pnlight)	< approx. 40W/per module					
	Control Power Supply	400V/230VAC-1kVA user power supply available, Optional 6kVA					
	Max. Power Consumption	2300W	2760W	3220W	3680W	4140W	4600W
CABINET	Max. Apparent Power (VA)	4800VA	5600VA	6500VA	7300VA	8200VA	9000VA
	Dimensions [WxDxH] [mm]	3900x1050x2400		4900x1050x2400		5900x1050x2400	
	Weight (kg)	3540	3850	4590	4900	5640	5950
ENVIRONMENT	Air Flow	Intake through lower part blown out through upper side					
	Type of ventilation	Forced air cooling					
	Degree of protection	IP54					
	Permissible Ambient Temperature	-30°C <sup>[3]</sup> to +60°C / >50°C Active Power derating					
CONTROL INTERFACE	Relative Humidity	0% to 100% non condensing					
	Max. Altitude (above sea level)	4000m: >1000m power derating					
	Noise level <sup>[4]</sup>	< 79 dBA					
	Interface	Alphanumeric Display / Optional Freesun App					
PROTECTIONS	Communication	RS232 / RS485 / USB / Ethernet, (Modbus RTU Protocol, Modbus TCP/IP)					
	Analogue Inputs	1 programmable and differential Inputs; (0-20mA or ± 10mV to ± 10V) and PT100					
	String Supervisor Communication	RS485 / Modbus RTU					
	Plant Controller Communication	Ethernet / Modbus TCP/IP					
PROTECTIONS	Digital Outputs	1 electrically-isolated programmable switched relays (250VAC, 8A or 30VDC, 8A)					
	Ground Fault Protection	Floating PV array: Isolation Monitoring per MPP Grounded PV array (Positive pole and negative pole): GFDI protection PV Array transfer kit: GFDI and Isolation monitoring device (requires 1 Digital Output)					
	Humidity control	Active Heating					
	ON / OFF Pushbutton	Standard					
	General AC Protection & Disconn.	Circuit Breaker					
	General DC Protection & Disconn.	Optional External Disconnecting Unit Cabinet					
	Module AC Protection & Disconn.	AC contactor & fuses					
	Module DC Protection & Disconn.	DC contactor & DC fuses					
	Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and auxiliary supply type 2 - Internal Standard					
	DC Lightning Protections	Optional (integrated in the Inverter)					

NOTES [1] Values at 100-Vac nom and cos Φ= 1. Consult Power Electronics for derating curves.  
[2] Consult P-Q charts available: Q(kVAR)=(S(kVA)<sup>2</sup>-P(kW)<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>  
[3] Below -20°C equipped with extended Active Heating + Heating Resistor.  
[4] Sound pressure level at a distance of 1m from the rear part.

Figura 5-7: Principales características del inversor POWER ELECTRONICS, modelo FS2200CH.

## 5.5. Inversor del BESS

A continuación, se muestra a la hoja de datos perteneciente al inversor asociado al BESS (Anexo 9.6).

Freemaq Multi PCSK GEN3 3290kVA			
INVERTER	Series	Freemaq PCSK GEN3	
	Model	FP3290K10H200011010000100010	
	Operating Temperature	-25°C to 60°C / Active power derating >50°C	
OUTPUT	Rated AC Output Power ≤40°C and ≤1000masi	3290kVA <sup>[1]</sup>	
	Operating Grid Voltage (VAC)	690V ± 10% <sup>[2]</sup>	
	Grid Frequency	50 Hz	
	THDi	<3% at any load condition	
	MPPT @full power (VDC) @35°C <sup>[3]</sup>	976 - 1500 V	
EFFICIENCY	MPPT @full power (VDC) @50°C <sup>[3]</sup>	976 - 1310 V	
	Max. Efficiency PCA, nom(η)	98.87%	
CABINET	Protection Degree	IP55 / NEMA 3R (Outdoor installation)	
	Color	RAL7035	
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.0 x 2.0 x 2.2	
	Humidity Control	Yes, active heating	
PROTECTIONS	Overvoltage protection AC main	Type II	
	Overvoltage protection DC	Type II	
	AC Automatic circuit breaker	Included	
DC CONNECTION	Disconnection	DC Switch Disconnecter	Included
	Ground fault detection	Isolation monitoring (Floating system)	
	Separate DC bus inputs	1	
	DC Current Measure	Included	
COMMUNICATIONS		Modbus RTU (RS485) Modbus TCP/ IP (Ethernet)	
POWER CABLES INPUT		Bottom DC inputs (Blind Plates)	
POWER CABLES OUTPUT		Top side AC Output	
AUXILIARY SERVICES	User power supply options	5kVA at 400 V (3-phase), 50 Hz	
	User cabinet	Integrated in the inverter.	
	Cooling	Forced air	
	HW communication	Ethernet (RJ45)	

[1] Values at 1.00 Vac nom and cos Φ = 1. Consult Power Electronics for derating curves.  
[2] Consult Power Electronics for other configurations.  
[3] Consult Power Electronics for temperature derating curves.

**Figura 5-8: Principales características del inversor POWER ELECTRONICS, modelo FP3290K10H200011010000100010.**

## 5.6. Hoja de datos de las baterías

A continuación, se muestra a la hoja de datos perteneciente al BESS (Anexo 9.8), y el respaldo del Round Trip Efficiency para carga y descarga del mismo (Anexo 9.9).

Specifications	
<b>Electrical</b>	
Rated energy (C/5) <sup>1</sup>	2.3 MWh
Discharge duration range	1 – 4 hours
Voltage range	1040 V – 1400 V
Rated DC power	1.1 MW charge/discharge
Rated current	900 A charge/discharge
Maximum DC power	2.2 MW charge/discharge
Maximum current	1800 A charge/discharge
<b>Mechanical</b>	
Dimensions (L, H, W) without HVAC	6.1m, 2.9m, 2.4m / 20ft, 9ft 6in, 8ft
Dimensions (L, H, W) with HVAC	6.7m, 2.9m, 2.4m / 22ft, 9ft 6in, 8ft
Weight	< 30,500 kg / 60,000 lbs
Container protection class	IP 54 (operation)
<b>Operating &amp; storage conditions</b>	
Ambient temperature	-25°C to +55°C
Design lifetime	≤ 20 years
Altitude above sea level	≤ 2000 m
Ambient relative humidity	Up to 100%
Storage temperature	-25°C to +55°C
Storage time	12 months (under conditions)
<b>Saft CUBE platform</b>	
Features	Local HMI and cloud interface
External controllers	Sunspec MESA, Modbus TCP/IP
<b>Standards</b>	
Safety	IEC 62619, IEC 62477 UL 1973, UL 9540, UL 9540A
Marking	CE, UL
Directives	REACH
Manufacturing hubs	ISO 9001, QS 9000, ISO 14000
Cybersecurity	IEC 62443-4-2
Transport (fully populated)	UN3536
<sup>1</sup> According to IEC 60620	

Figura 5-9: Hoja de datos del BESS.

Table 6: AC round-trip efficiency at Constant power at BESS POI (including BESS auxiliary power supply)

Guarantee Year (end of)	Performance Guaranteed Values (AC Round Trip efficiency) at BESS POI (%), 1 FEC
Y=0 (Acceptance Certificate Date)	86,9%
Y=1	86,9%
Y=2	86,9%
Y=3	86,8%
Y=4	86,8%
Y=5	86,8%
Y=6	86,8%
Y=7	86,8%
Y=8	86,8%
Y=9	86,8%
Y=10	86,8%
Y=11	86,8%
Y=12	86,8%
Y=13	86,7%
Y=14	86,7%
Y=15	86,7%

Figura 5-10: Round Trip Efficiency para carga y descarga del BESS.

## 6. REVISIÓN NORMATIVA

A continuación, se exponen los principales estándares normativos (Anexo Técnico: Mínimos Técnicos) que son de relevancia para el presente estudio.

### Artículo 9: Informe Técnico.

El informe Técnico que respalda el valor Mínimo Técnico o informe de Mínimo Técnico consistirá en un documento que describa los registros de operación, supuestos, metodologías, alcances de la aplicación de estas metodologías, y conclusiones bajo los cuales se estableció el valor de Mínimo Técnico informado.

- a) Antecedentes técnicos de diseño.
- b) Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.
- c) Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.
- d) Justificaciones que describan las eventuales fuentes de inestabilidad en la operación de la unidad generadora, que impidan que la unidad pueda operar en un valor menor de potencia activa.
- e) Antecedentes técnicos que respalden y expliquen el comportamiento esperado o desempeño registrado.

Para el caso de unidades generadoras que puedan operar con combustible alternativo cuyo valor de Mínimo Técnico sea distinto al del combustible principal, deberán entregar los antecedentes requeridos en el presente Anexo para el combustible principal y el alternativo.

Una vez recibido el Informe Técnico, el Coordinador deberá verificar que dicho informe contiene todos los antecedentes especificados en el presente Artículo, para lo cual tendrá un plazo de 15 días hábiles.

Cuando el Coordinador determine que el Informe Técnico entregado por la Empresa Generadora contiene todos los antecedentes necesarios para su análisis, lo publicará en el sitio web del Coordinador y notificará a las empresas Coordinadas sobre el inicio del proceso de aprobación del Mínimo Técnico informado.

## 7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

Los anexos técnicos, junto con las guías técnicas elaboradas por el CEN, detallan exhaustivamente los procedimientos y los procesos de obtención de resultados que garantizan la precisión de la información relacionada con las unidades de generación convencional y de energía renovable. Sin embargo, estos documentos no incluyen pautas específicas para llevar a cabo pruebas en los equipos de almacenamiento de energía activa, conocidos como ESS (Energy Storage Systems).

En esta sección se detallan los procedimientos de pruebas llevados a cabo para el proyecto, y que posibilitan la validación del cumplimiento adecuado a los requisitos técnicos y normativos mencionados previamente. El protocolo para llevar a cabo las pruebas destinadas a la determinación del Mínimo Técnico en BESS se fundamenta en los documentos [I], [II], [III] y [IV].

Según se indica en el documento [III], se entrega la siguiente definición:

- ◆ **Mínimo Técnico:** Se entenderá por Mínimo Técnico la potencia activa bruta mínima, con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua.

En base a la normativa vigente se proponen los siguientes indicadores para ser medidos:

- ◆ **Mínimo Técnico prueba individual:** Corresponde a la potencia activa bruta mínima, con la cual el inversor asociado al BESS puede operar en forma permanente, segura y estable, inyectando energía al SEN en forma continua.
- ◆ **Mínimo Técnico en modo solo BESS *PMT-SB*:** Corresponde a la potencia activa bruta mínima, con la cual el sistema de almacenamiento eléctrico puede operar en forma permanente, segura y estable, inyectando energía al SEN en forma continua.
- ◆ **Mínimo Técnico en modo parque más BESS más parque *PMT-PB*:** Corresponde a la potencia activa bruta mínima, con la cual el sistema de almacenamiento eléctrico y el parque fotovoltaico, pueden operar en forma permanente, segura y estable, inyectando energía al SEN en forma continua.

Es importante destacar que, durante estas pruebas, el BESS no está en proceso de carga ni descarga de energía, lo que significa que su potencia es aproximadamente 0. Dado que el BESS regula su nivel de carga absorbiendo potencia (en forma de potencia negativa) y descargando potencia (en forma de potencia positiva), durante estas pruebas se encuentra en un estado de carga nula. Además, para este caso no resulta necesario evaluar una condición con un solo inversor operativo. Dado que el proyecto BESS Uribe Solar contempla solo un inversor al que se conecta el nuevo sistema BESS.

## 7.1. Definición de puntos de medición

### 7.1.1. Modo solo BESS

A continuación, se describe un sistema equivalente que presenta el BESS conectado a la barra de 33kV perteneciente a la SE Uribe Solar:

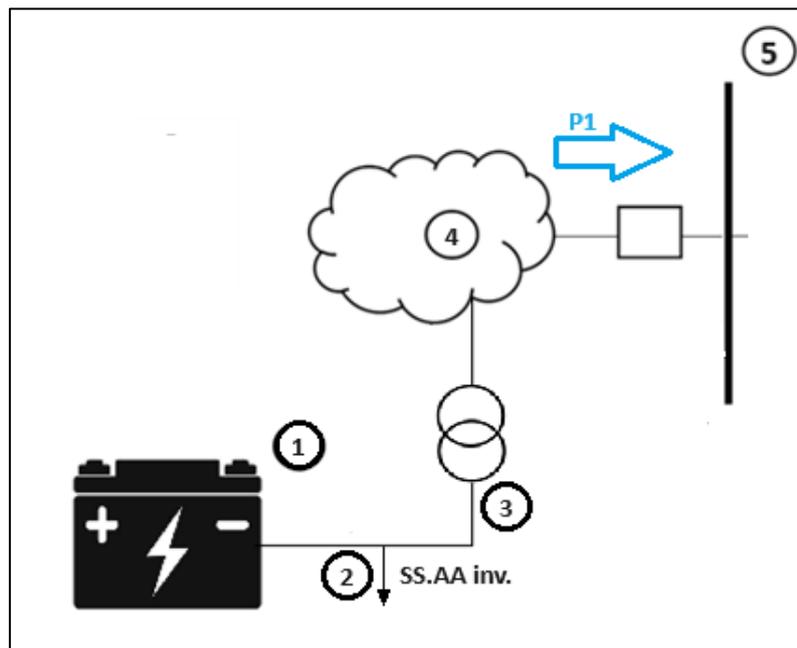


Figura 7-1. Diagrama de sistema equivalente modo solo BESS.

Los componentes son los siguientes:

1. **BESS:** Sistema de almacenamiento de energía (Battery Energy Storage System).
2. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) del inversor asociado al BESS:** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares del inversor.
3. **Transformador de bloque asociado al BESS:** Equipo elevador presente en el paño F7 asociado al BESS.
4. **Pérdidas en sistema colector del BESS:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del BESS, principalmente en cables media tensión.
5. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra A de 33 kV de la SE Uribe Solar, en la cual se conecta el lado de baja tensión de los transformadores de poder del parque.
6. **P1:** Potencia medida en el paño F7, de la subestación Uribe Solar.

### 7.1.2. Modo BESS más PFV

A continuación, se describe un sistema equivalente que presenta un parque fotovoltaico conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el cual se puede definir lo siguiente:

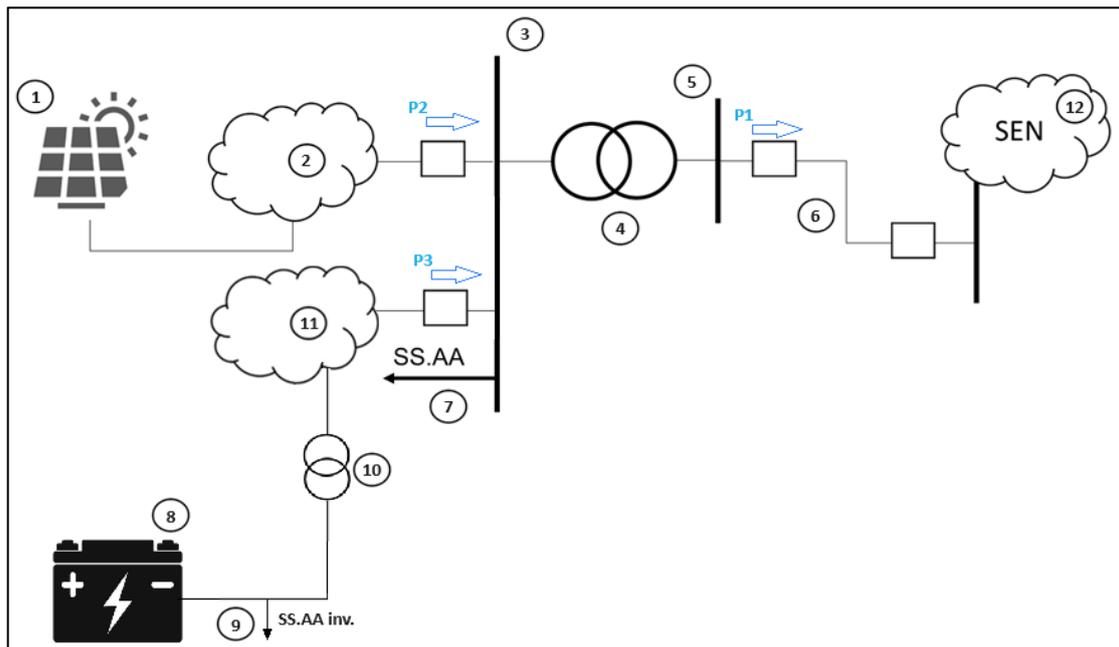


Figura 7-2. Diagrama de sistema equivalente modo parque más BESS.

Los componentes del parque son los siguientes:

1. **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa en cada inversor del parque fotovoltaico.
2. **Pérdidas en sistema colector del parque:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque fotovoltaico, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
3. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra A de 33 kV de la SE Uribe Solar, en la cual se conecta el lado de baja tensión de los transformadores de poder del parque.
4. **Transformador de poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del PF Uribe Solar, corresponde a los transformadores de poder 1.
5. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 110 kV de la SE Uribe Solar, en la cual se conecta el lado de alta tensión de los transformadores de poder del parque.
6. **Línea dedicada de la central:** Línea de transmisión que vincula el parque con el sistema eléctrico.
7. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central:** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares de la SE.
8. **BESS:** Sistema de almacenamiento de energía (Battery Energy Storage System)
9. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) del inversor asociado al BESS:** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares del inversor.
10. **Transformador de bloque asociado al BESS:** Equipo elevador presente en el paño F7 asociado al BESS.
11. **Pérdidas en sistema colector del BESS:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del BESS, principalmente en cables media tensión.
12. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**
13. **P1:** Potencia inyectada por el PF Uribe Solar más BESS, en la barra de 110 kV de la subestación Uribe Solar.
14. **P2:** Potencia inyectada por el PF Uribe Solar, en la barra principal N°1 de 33 kV de la subestación Uribe Solar.
15. **P3:** Potencia inyectada por el BESS, en la barra de 33 kV de la subestación Uribe Solar.

## 7.2. Antecedentes de operación

### 7.2.1. Antecedentes de operación prueba individual (inversor conectado al BESS)

Para la determinación de la potencia mínima del inversor asociado al BESS se han tomado los valores del equipo de medida conectado en terreno (ver Anexo VII), el punto de medida para esta prueba es en los bornes AC del inversor. De los resultados presentados en el Anexo II, se puede obtener que la potencia durante el período comprendido entre las 16:50:29 y las 16:57:05 del día 15-04-2024 es de aproximadamente **1,8174 kW**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

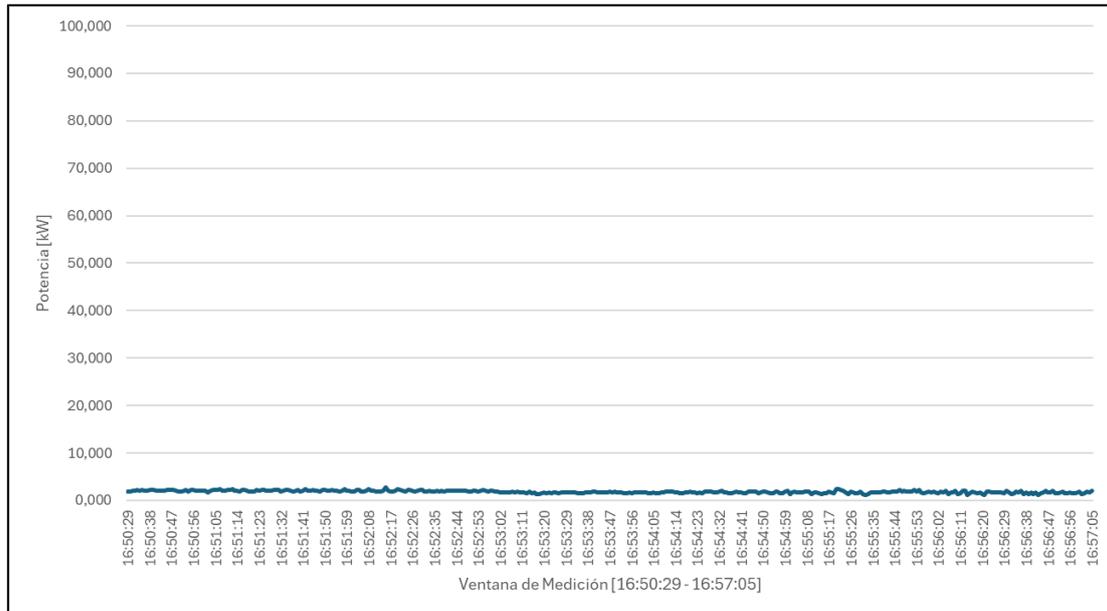


Figura 7-3: Curva de potencia activa en el lado AC del inversor del BESS dentro de la prueba de mínimo técnico.

## 7.2.2. Cálculo de mínimo técnico inversor del BESS

Por otra parte, el consumo de SSAA propio del inversor asociado al BESS se determinan en función de los consumos propios indicados por el fabricante del respectivo inversor. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, se obtienen según la siguiente expresión.

$$P_{SSAA}^{invBESS} = \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{BESS}}{100}\right) \cdot MinTec_{neto}^{invBESS} [kW]$$

Donde:

$P_{SSAA}^{invBESS}$ : Potencia de SSAA consumida por el inversor del BESS.

$Eff_{inv}^{BESS}$ : Es la máxima eficiencia nominal del inversor asociado al BESS (ver Anexo VI).

$MinTec_{neto}^{invBESS}$ : Potencia promedio suministrada por el inversor del BESS durante la prueba.

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,87%. Dado que, la potencia total despachada es igual a 1,8174 kW, la potencia consumida por el inversor del sistema de almacenamiento de energía (SSAA) será igual a 0,0282 kW.

De esta manera el mínimo técnico a nivel del inversor se calcula de acuerdo con la siguiente expresión.

$$MinTec_{Bruto}^{invBESS} = P_{inv}^{BESS} + P_{SSAA}^{invBESS} [kW]$$

$$MinTec_{Bruto}^{invBESS} = 1,8174 + 0,0205 [kW] = 1,8379 [kW] \approx 0,00[MW]$$

## 7.2.3. Antecedentes de operación modo solo BESS

Para la determinación de la potencia mínima del modo solo BESS se han tomado los valores del equipo de medida del PPC propio del parque, el punto de medida para esta prueba es en la barra de 33kV perteneciente a la SE Uribe Solar. De los resultados observados en el Anexo II, se puede obtener que la potencia inyectada por el BESS durante el período comprendido entre las 11:00:00 y las 11:10:00 del día 08-05-2024 es de aproximadamente **0,0481 kW** (potencia promedio en el punto de conexión del BESS **P1**). En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

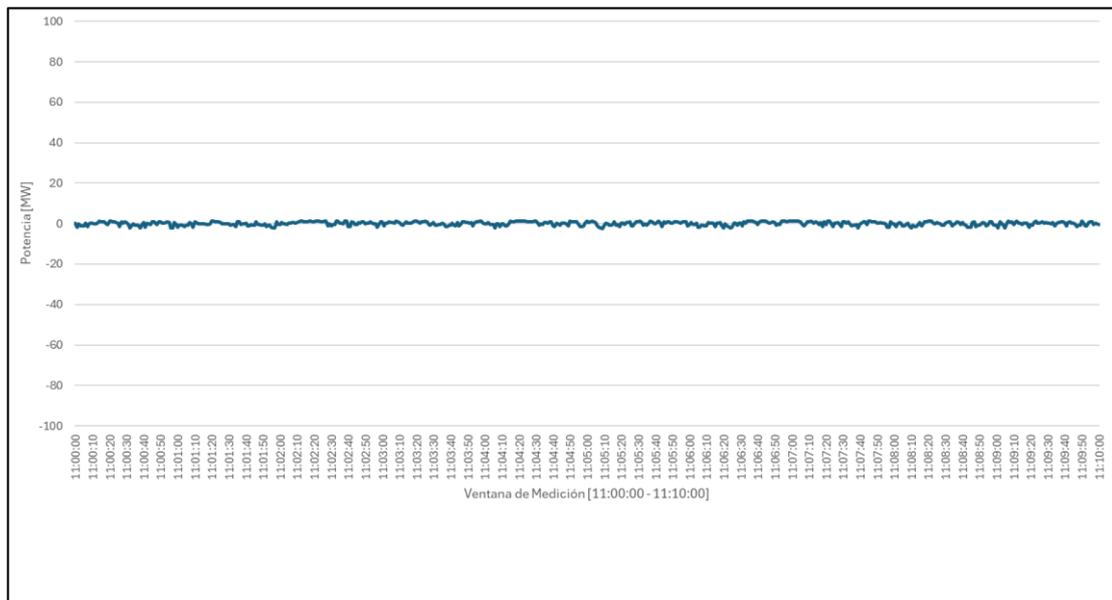


Figura 7-4: Curva de potencia activa en el punto de conexión del BESS (P1) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo solo BESS.

Por otra parte, se tiene que, de acuerdo con el Anexo I, el promedio de los consumos de servicios auxiliares en el lapso de las 11:00:00 y las 11:10:00 del día 08-05-2024 son de 10,4675 kW.

Por otra parte, el consumo de SSAA propio del inversor asociado al BESS se determinan en función de los consumos propios indicados por el fabricante del respectivo inversor, donde el valor de los consumos se obtiene considerando el inversor referido al BESS. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, se obtienen según la siguiente expresión.

$$P_{SSAA}^{invBESS} = \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{BESS}}{100}\right) \cdot P_{inv}^{BESS} [MW]$$

Donde:

$P_{SSAA}^{invBESS}$ : Potencia de SSAA consumida por el inversor del BESS.

$Eff_{inv}^{BESS}$ : Es la máxima eficiencia nominal del inversor asociado al BESS (Anexo VI).

$P_{inv}^{BESS}$ : Potencia promedio suministrada por el inversor del BESS durante la prueba.

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,87%. Dado que la potencia total despachada es aproximadamente igual a 0,0481 kW, la potencia consumida por el inversor de sistema de almacenamiento de energía (SSAA) será:

$$P_{SSAA}^{invBESS} = \left(1 - \frac{98,87}{100}\right) \cdot 0,0481 \approx 0 [kW]$$

A continuación, se realizan simulaciones de flujo de potencia en la base de datos del Anexo III, pero reemplazando el SEN por una red equivalente, y tomando en consideración el valor de potencia promedio que entrega el BESS y el valor de potencia promedio obtenido en el punto de conexión del parque (Anexo II). Para ello, se replica esta potencia ajustando la potencia inyectada por el inversor del BESS, en un valor de aproximadamente 2,9334 kW (P1), obteniendo de esta forma un valor de potencia igual a 0,0481kW en el punto P1. Por otro lado, se obtienen las pérdidas de la red, que corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS y las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS.

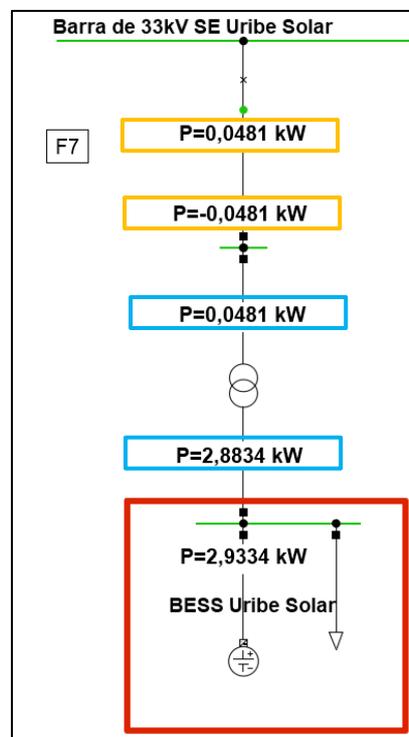


Figura 7-5: Flujo de potencia, en Power Factory, modo solo BESS.

De la figura anterior se pueden desprender las pérdidas del sistema colector asociado al BESS (en naranja), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida. Además, se pueden calcular las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS (en azul), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida.

Perdidas del sistema colector asociado al BESS:

$$P_{sist. \text{ colectorBESS}} = 0,0481 - 0,0481 \approx 0,00 [kW]$$

Perdidas del transformador de bloque asociado al BESS:

$$P_{trafoBESS} = 2,8834 - 0,0481 = 2,8353 [kW]$$

#### 7.2.4. Cálculo de mínimo técnico modo solo BESS

Con las perdidas obtenidas, se procede a calcular el mínimo técnico bruta del modo solo BESS. Se destaca que la potencia neta inyectada por el BESS es registrada en **P1**, definido en la sección 7.1.1 del presente informe.

Se define, por lo tanto, que la potencia máxima bruta del modo solo BESS en descarga es igual a:

$$MT_{Bruto}^{Modo \text{ solo BESS}} = P_1 + P_{trafoBESS} + P_{sist. \text{ colectorBESS}} + P_{SSAA}^{invBESS}$$

En donde:

**P1**: Es la potencia definida en la sección 7.1.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo solo BESS, que para el presente estudio equivale a 0,0481 kW.

**P<sub>trafoBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del transformador conectado al BESS 2,8353 kW.

**P<sub>sist. colectorBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS aproximadamente 0,00 kW.

**P<sub>SSAA</sub><sup>invBESS</sup>**: consumo de SSAA propio del inversor asociado al BESS aproximadamente 0,00 kW.

Así, se tiene que la potencia mínima técnica del modo solo BESS es igual a:

**Tabla 7-1 Resumen de mínimo técnico bruto, neto y consumos del PF Uribe modo de operación solo BESS.**

MODO	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [kW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [kW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADOR DEL BESS [kW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR DEL BESS [kW]	CONSUMOS SS.AA. INVERSOR DEL BESS [kW]
Solo BESS	2,8834	0,0481	2,8353	0,00	0,00
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas de la red (Transformador de poder + Sistema colector) + consumos de SS.AA.</b>					

### 7.2.5. Antecedentes de operación modo parque más bess

Para la determinación de la potencia mínima del modo parque más BESS se han tomado los valores del equipo de medida del PPC propio del parque, el punto de medida para esta prueba es la barra de 110kV perteneciente a la SE Uribe Solar.

De los resultados presentados en el Anexo II, se puede obtener que la potencia promedio en el punto de conexión, durante el período comprendido entre las 16:01:00 y las 16:11:00 del día 08-05-2024, es de aproximadamente **1501,48 kW** en el punto de conexión de la central (**P1**) y la potencia promedio en el punto de conexión del BESS (**P3**) tiene un valor de **-0,07 kW**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

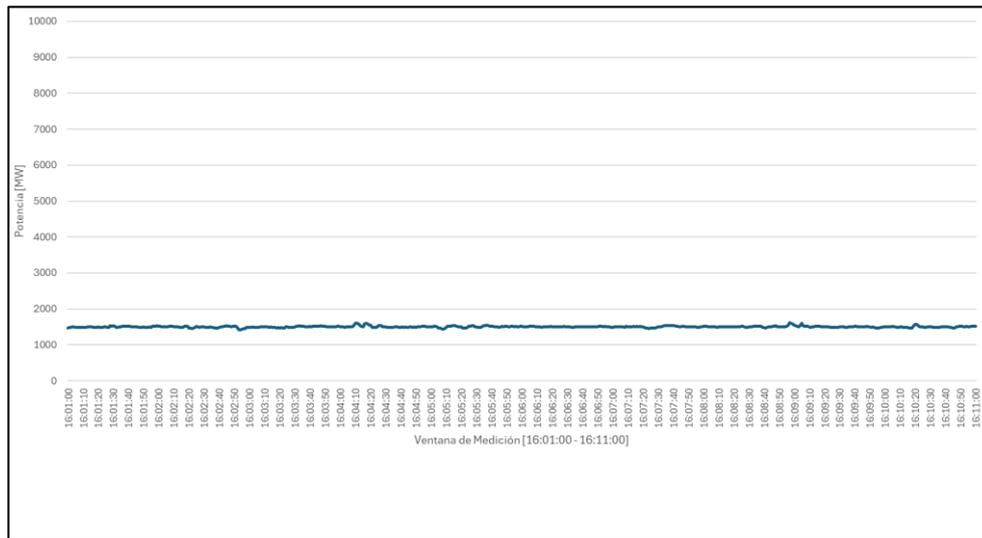


Figura 7-6: Curva de potencia activa en el punto de conexión de la central (P1) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo parque más BESS.

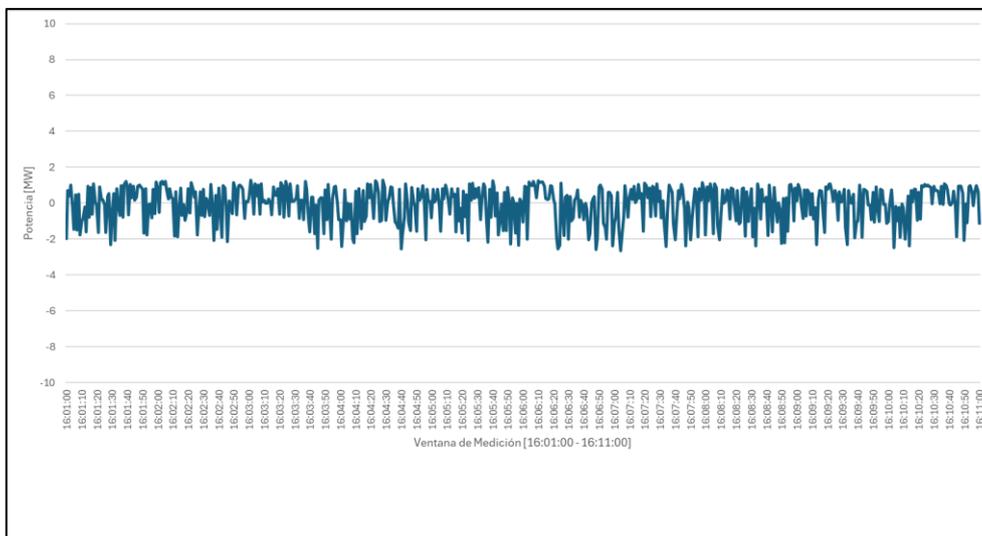


Figura 7-7: Curva de potencia activa en el punto de conexión del BESS (P3) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo parque más BESS.

Por otra parte, se tiene que, de acuerdo con el Anexo I, el promedio de los consumos de servicios auxiliares en el lapso de las 16:01:00 y las 16:11:00 del día 08-05-2024 son de 8,98 kW.

Por otra parte, el consumo de SSAA propio del inversor asociado al BESS y de los inversores asociados al parque, se determinan en función de los consumos propios indicados por el fabricante de los respectivos inversores. El valor de los consumos se obtiene considerando el inversor asociado al BESS y

el consumo de los inversores correspondientes al parque. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, se obtienen según la siguiente expresión.

$$P_{SSAA}^{total} = P_{SSAA}^{invBESS} + P_{SSAA}^{invParque} [MW]$$

Luego:

$$P_{SSAA}^{invBESS} = \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{BESS}}{100}\right) \cdot P_{inv}^{BESS} [MW]$$

Donde:

$P_{SSAA}^{inv}$ : Potencia de SSAA consumida por el inversor.

$Eff_{inv}^{BESS}$ : Es la máxima eficiencia nominal del inversor (ver Anexo VI).

$P_{inv}^{BESS}$ : Potencia promedio suministrada por el inversor durante la prueba (P3).

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,87%. Esto implica lo siguiente.

$$P_{SSAA}^{inv} = \left(1 - \frac{98,87}{100}\right) \cdot -0,07 \approx 0,00 MW$$

Para el cálculo de los consumos referentes de los inversores del parque, se utiliza una fórmula similar, pero se multiplica por el número de inversores asociados al parque (24 inversores).

$$P_{SSAA}^{invParque} = 24 \cdot \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{Parque}}{100}\right) \cdot P_{inv}^{Parque} [kW]$$

Donde:

$P_{SSAA}^{invParque}$ : Potencia de SSAA consumida por cada inversor del parque.

$Eff_{inv}^{Parque}$ : Es la máxima eficiencia nominal de los inversores asociados al parque (Anexo VI).

$P_{inv}^{Parque}$ : Potencia promedio suministrada por los inversores durante la prueba.

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,60%. Dado que la potencia despachada por cada inversor del parque es igual a 67,73 kW, la pérdida de SSAA de los inversores del parque será.

$$P_{SSAA}^{invParque} = 24 \cdot \left(1 - \frac{98,60}{100}\right) \cdot 67,73 = 22,76 kW$$

Sumando las pérdidas de SSAA propias de los inversores, se tiene:

$$P_{SSAA}^{inv} = P_{SSAA}^{invBESS} + P_{SSAA}^{invParque} = 0,00 + 22,76 = 22,76 [kW]$$

A continuación, se realizan simulaciones de flujo de potencia en la base de datos del Anexo III, reemplazando el SEN por una red equivalente, y tomando en consideración el valor de potencia promedio en el punto de inyección del parque (P1, ver apartado 7.1.2), se replica esta potencia ajustando la potencia inyectada por el inversor del BESS y los demás inversores del parque, en un valor de 3,00 kW y 67,73 kW respectivamente, obteniendo de esta forma un valor de potencia igual a 1501,48 kW (P1).

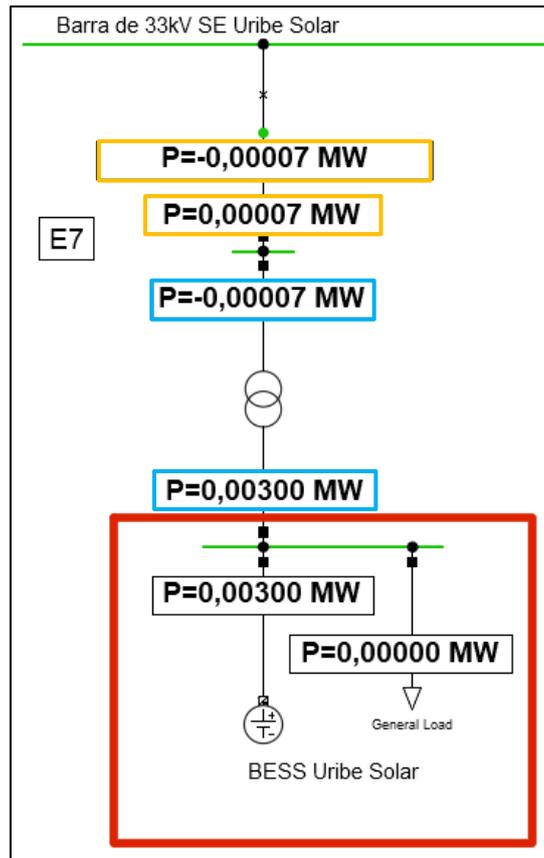


Figura 7-8: Extracto del Flujo de potencia, en Power Factory, Paño F7 del BESS.

De la figura anterior se pueden desprender las pérdidas del sistema colector asociado al BESS (en naranja), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida. Además, se pueden calcular las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS (en azul), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida.

Pérdidas del sistema colector asociado al BESS:

$$P_{\text{sist. colectorBESS}} = 0,07 - 0,07 \approx 0,00 \text{ [kW]}$$

Pérdidas del transformador de bloque asociado al BESS:

$$P_{\text{trafoBESS}} = 3,00 - 0,07 = 2,93 \text{ [kW]}$$

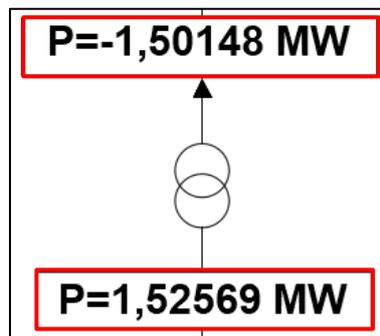


Figura 7-9: Extracto del Flujo de potencia, en Power Factory, transformador de poder.

De la figura anterior se pueden desprender las pérdidas del transformador T1 de poder (perteneciente a la SE Uribe Solar), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida.

Pérdidas del transformador de poder:

$$P_{\text{trafoCentral}} = 1525,69 - 1501,48 = 24,21 \text{ [kW]}$$

Por otro lado, se obtienen las pérdidas de la red, que corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS, las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS, la suma de las pérdidas del sistema colector del parque y las pérdidas del transformador de poder perteneciente al parque.

Grid: MinTec_BESS más parq System Stage: MinTec_BESS más   Study Case: Study Case   Annex: / 2			
Grid: MinTec_BESS más parqueummary			
No. of Substations	0	No. of Busbars	28
No. of 2-w Trfs.	27	No. of 3-w Trfs.	0
No. of Loads	2	No. of Shunts/Filters	0
No. of Terminals	60	No. of syn. Machines	0
No. of Lines	28	No. of asyn. Machines	0
No. of SVS	0		
Generation	= 1,63 MW	0,00 Mvar	1,63 MVA
External Infeed	= -1,50 MW	-2,52 Mvar	2,93 MVA
Inter Grid Flow	= 0,00 MW	0,00 Mvar	
Load P(U)	= 0,01 MW	0,00 Mvar	0,01 MVA
Load P(Un)	= 0,01 MW	0,00 Mvar	0,01 MVA
Load P(Un-U)	= 0,00 MW	0,00 Mvar	
Motor Load	= 0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA
<b>Grid Losses</b>	<b>= 0,12 MW</b>	-2,52 Mvar	
Line Charging	=	-2,60 Mvar	
Compensation ind.	=	0,00 Mvar	
Compensation cap.	=	0,00 Mvar	
Installed Capacity	= 55,30 MW		
Spinning Reserve	= 0,00 MW		
Total Power Factor:			
Generation	= 1,00 [-]		
Load/Motor	= 1,00 / 0,00 [-]		

Figura 7-10: Flujo de potencia, en Power Factory, modo parque más BESS.

De la figura anterior se puede desprender entonces.

$$Perdidas\ de\ la\ red = P_{trafoCentral} + P_{trafoBESS} + P_{sist.\ colectorBESS} + P_{sist.colectorParque}$$

Por lo tanto, las pérdidas del sistema colector del parque se pueden calcular como.

$$P_{sist.colectorParque} = Perdidas\ de\ la\ red - P_{trafoCentral} - P_{trafoBESS} - P_{sist.\ colectorBESS}$$

$$P_{sist.colectorParque} = 120,00 - 24,21 - 2,93 - 0,00 = 92,86\ kW$$

### 7.2.6. Cálculo de mínimo técnico modo BESS más parque

Con las pérdidas obtenidas, se procede a calcular el mínimo técnico bruta del modo parque más BESS. Se destaca que la potencia neta inyectada por el parque es registrada en el punto de conexión de la central **P1**, definido en la sección 7.1.2 del presente informe.

Se define, por lo tanto, que la potencia mínima técnica bruta del modo parque más BESS es igual a:

$$MT_{Bruto} = P_1 + P_{trafoBESS} + P_{sist.\ colectorBESS} + P_{SSAA}^{inv} + P_{trafoCentral} + P_{sist.colectorParque} + P_{SSAA}$$

En donde:

**P1**: Es la potencia definida en la sección 7.1.2 y corresponde al mínimo técnico neto del modo parque más BESS, que para el presente estudio equivale a 1501,48 kW.

**P<sub>trafoBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del transformador conectado al BESS 2,93 kW.

**P<sub>sist.colectorBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS 0,00 kW.

**P<sub>SSAA</sub><sup>inv</sup>**: Consumo de SSAA propios del inversor asociado al BESS, más los consumo de SSAA propios del inversor los inversores asociados al parque 22,76 kW.

**P<sub>trafoCentral</sub>**: Corresponden a las pérdidas del transformador de poder de la central 24,21 kW.

**P<sub>sist.colectorParque</sub>**: Corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al parque 92,86 kW.

**P<sub>SSAA</sub>**: Corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, iguales a 8,98 kW

Así, se tiene que la potencia máxima bruta del modo parque más BESS en descarga es igual a:

**Tabla 7-2 Resumen de mínimo técnico bruto, neto y consumos del PF Uribe modo parque más BESS.**

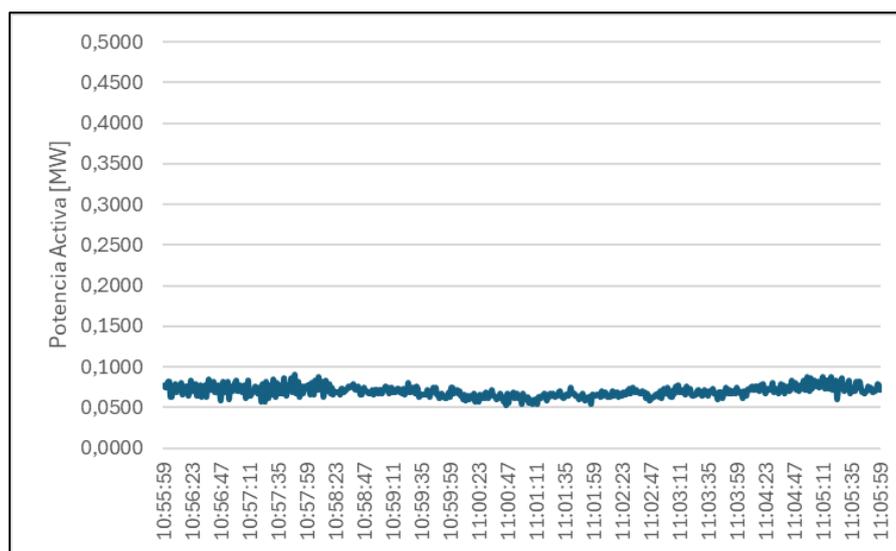
MODO	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [KW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [KW]	PÉRDIDAS TRAF0 DEL BESS [KW]	PÉRDIDAS TRAF0 DEL PARQUE [KW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR DEL BESS [KW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR DEL PARQUE [KW]	CONSUMOS SS.AA. INVERSOR DEL BESS [KW]	CONSUMO S SS.AA. DE LA S/E [KW]
parque más BESS	1653,22	1501,48	2,93	0,00	22,76	24,21	92,86	8,98
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas de la red (Transformador del BESS + Sistema colector del BESS + Transformador del parque + sistema colector del parque) + consumos de SS.AA. inversores + consumos de SS.AA.</b>								

En el ensayo realizado el 8 de mayo de 2024 para el modo parque más BESS en terreno, se observó que el parque no puede mantener valores menores a 1,5 MW (potencia neta) de manera estable por más de 3 minutos. Después de este tiempo, los inversores del parque comienzan a apagarse. En consecuencia, se decidió llevar a cabo un ensayo específico para reducir el valor del mínimo técnico. Este ensayo verificará si, al considerar un inversor operativo del parque junto con el BESS, se puede alcanzar y mantener un valor cercano a 0 MW.

### 7.2.7. Ensayo complementario BESS más parque con un inversor operativo

El ensayo complementario para el mínimo técnico del modo BESS más parque con un inversor operativo, fue realizado el día 29-08-2024 entre las 10:55:59 y las 11:05:59. Este consistió en realizar una prueba donde solo se dejó activo un inversor del PFV (el apagado de los inversores del parque, se realizó de manera manual enviando el comando de stop, a través del PPC, y obteniendo así la inyección de potencia MT por parte de un único inversor del PFV Uribe Solar), y en paralelo se consideró la operación del BESS a mínimo técnico.

De los resultados presentados en el Anexo XII, se puede obtener que la potencia promedio en el punto de conexión, durante el período comprendido entre las 10:55:59 y las 11:05:59 del día 29-08-2024, es de aproximadamente **69,9305 kW** en el punto de conexión de la central (**P1**) y la potencia promedio en el punto de conexión del BESS (**P3**) tiene un valor de **0,1663 kW**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.



**Figura 7-11: Curva de potencia activa en el punto de conexión de la central (P1) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo un inversor del PFV más BESS.**

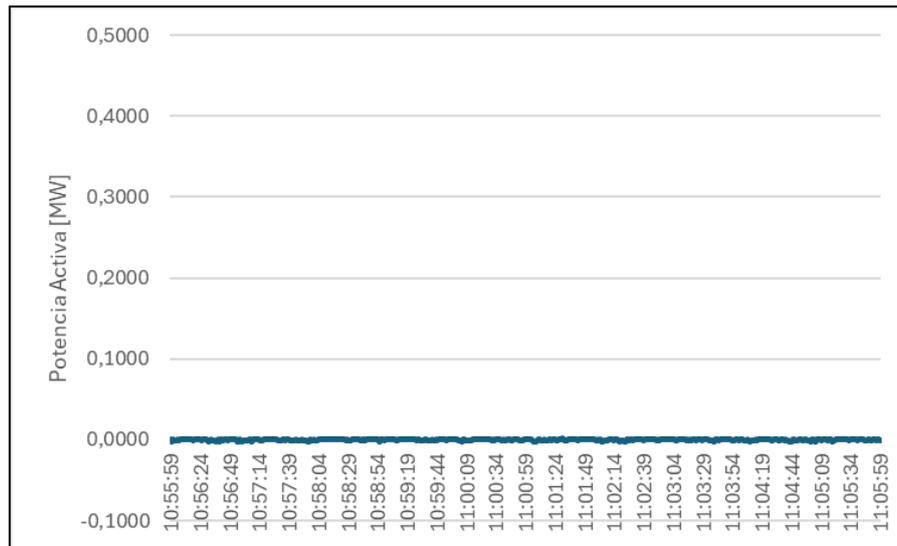


Figura 7-12: Curva de potencia activa en el punto de conexión del BESS (P3) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo un inversor del PFV más BESS.

Por otra parte, se tiene que, de acuerdo con el Anexo XII, el promedio de los consumos de servicios auxiliares, en el lapso de las las 10:55:59 y las 11:05:59 del día 29-08-2024, son de 7,9294 kW.

Por otra parte, el consumo de SSAA propio del inversor asociado al BESS y del inversor asociado al parque, se determinan en función de los consumos propios indicados por el fabricante de los respectivos inversores. El valor de los consumos se obtiene considerando el inversor asociado al BESS y el consumo del inversor correspondiente al parque. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, se obtienen según la siguiente expresión.

$$P_{SSAA}^{total} = P_{SSAA}^{invBESS} + P_{SSAA}^{invParque} \text{ [MW]}$$

Luego:

$$P_{SSAA}^{invBESS} = \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{BESS}}{100}\right) \cdot P_{inv}^{BESS} \text{ [MW]}$$

Donde:

$P_{SSAA}^{inv}$ : Potencia de SSAA consumida por el inversor.

$Eff_{inv}^{BESS}$ : Es la máxima eficiencia nominal del inversor (ver Anexo VI).

$P_{inv}^{BESS}$ : Potencia promedio suministrada por el inversor durante la prueba (P3).

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,87%. Esto implica lo siguiente.

$$P_{SSAA}^{inv} = \left(1 - \frac{98,87}{100}\right) \cdot 0,1663 = 0,0019 \text{ kW} \approx 0,0000 \text{ MW}$$

Para el cálculo de los consumos referentes al inversor operativo del parque, se utiliza una fórmula similar.

$$P_{SSAA}^{invParque} = \left(1 - \frac{Eff_{inv}^{Parque}}{100}\right) \cdot P_{inv}^{Parque} \text{ [kW]}$$

Donde:

$P_{SSAA}^{invParque}$ : Potencia de SSAA consumida por cada inversor del parque.

$Eff_{inv}^{Parque}$ : Es la máxima eficiencia nominal de los inversores asociados al parque (Anexo VI).

$P_{inv}^{Parque}$ : Potencia promedio suministrada por los inversores durante la prueba.

Según la información proporcionada por el fabricante en el Anexo VI, el equipo exhibe una eficiencia del 98,60%. Dado que la potencia despachada por el inversor del parque es igual a 0,1921 MW, el consumo de SSAA de los inversores del parque será.

$$P_{SSAA}^{invParque} = \left(1 - \frac{98,60}{100}\right) \cdot 0,1921 = 0,0027 \text{ MW}$$

Sumando los consumos de SSAA propias de los inversores, se tiene:

$$P_{SSAA}^{inv} = P_{SSAA}^{invBESS} + P_{SSAA}^{invParque} = 0,0000 + 0,0027 = 0,0027 \text{ [MW]}$$

A continuación, se realizan simulaciones de flujo de potencia en la base de datos del Anexo III, reemplazando el SEN por una red equivalente, y tomando en consideración el valor de potencia promedio en el punto de inyección del parque (P1, ver apartado 7.1.2), se replica esta potencia ajustando la potencia inyectada por el inversor del BESS y el inversor del parque, en un valor de 0,0031 MW y 0,1921 MW respectivamente, obteniendo de esta forma un valor de potencia igual a 0,0699 MW (P1).

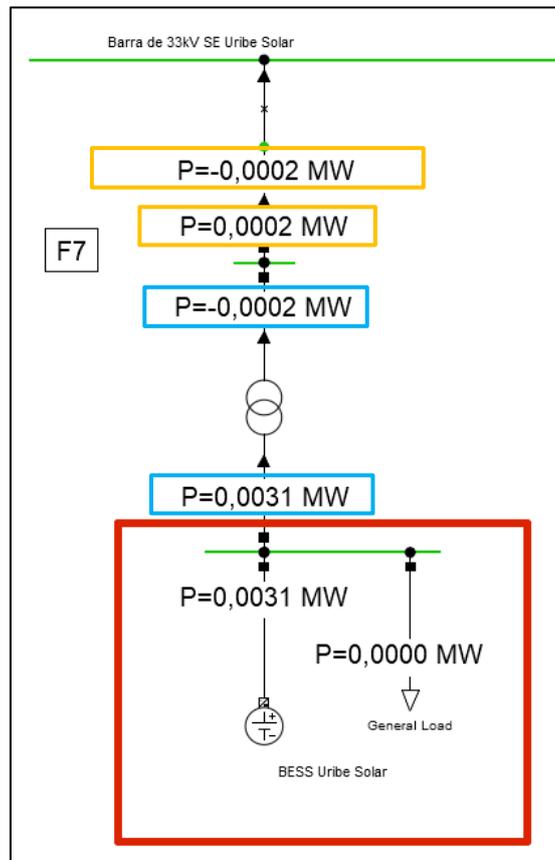


Figura 7-13: Extracto del Flujo de potencia, en Power Factory, Paño F7 del BESS.

De la figura anterior se pueden desprender las pérdidas del sistema colector asociado al BESS (en naranja), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida. Además, se pueden calcular las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS (en azul), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida.

Perdidas del sistema colector asociado al BESS:

$$P_{sist. \text{ colectorBESS}} = 0,0002 - 0,0002 \approx 0,0000 \text{ [MW]}$$

Perdidas del transformador de bloque asociado al BESS:

$$P_{trafoBESS} = 0,0031 - 0,0002 = 0,0029 \text{ [MW]}$$

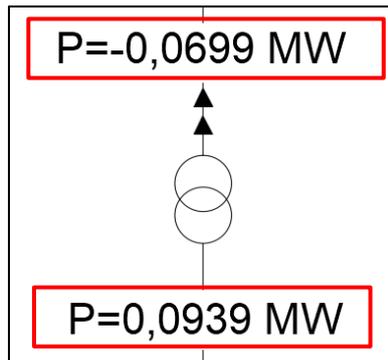


Figura 7-14: Extracto del Flujo de potencia, en Power Factory, transformador de poder.

De la figura anterior se pueden desprender las pérdidas del transformador T1 de poder (perteneciente a la SE Uribe Solar), calculando la suma entre la potencia de entrada y salida.

Perdidas del transformador de poder:

$$P_{trafoCentral} = 0,0939 - 0,0699 = 0,0240 \text{ [MW]}$$

Por otro lado, se obtienen las pérdidas de la red, que corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS, las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS, la suma de las pérdidas del sistema colector del parque y las pérdidas del transformador de poder perteneciente al parque.

Grid: MinTec_BEES más un i System Stage: MinTec_BEES más   Study Case: Study Case   Annex: / 3			
Grid: MinTec_BEES más un inv del parque			
No. of Substations	0	No. of Busbars	28
No. of 2-w Trfs.	27	No. of 3-w Trfs.	0
No. of Loads	2	No. of Shunts/Filters	0
No. of Terminals	60	No. of syn. Machines	0
No. of Lines	28	No. of asyn. Machines	0
No. of SVS	0		
Generation	= 0,20 MW	-0,00 Mvar	0,20 MVA
External Infeed	= -0,07 MW	-2,53 Mvar	2,53 MVA
Inter Grid Flow	= 0,00 MW	0,00 Mvar	
Load P(U)	= 0,01 MW	-0,00 Mvar	0,01 MVA
Load P(Un)	= 0,01 MW	0,00 Mvar	0,01 MVA
Load P(Un-U)	= 0,00 MW	0,00 Mvar	
Motor Load	= 0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA
<b>Grid Losses</b>	<b>= 0,12 MW</b>	-2,53 Mvar	
Line Charging	= -2,60 Mvar		
Compensation ind.	= 0,00 Mvar		
Compensation cap.	= 0,00 Mvar		
Installed Capacity	= 4,70 MW		
Spinning Reserve	= 0,00 MW		
Total Power Factor:			
Generation	= 1,00 [-]		
Load/Motor	= 1,00 / 0,00 [-]		

Figura 7-15: Flujo de potencia, en Power Factory, modo parque más BESS.

De la figura anterior se puede desprender entonces.

$$P_{\text{pérdidas de la red}} = P_{trafoCentral} + P_{trafoBESS} + P_{sist. colectorBESS} + P_{sist.colectorParque}$$

Por lo tanto, las pérdidas del sistema colector del parque se pueden calcular como.

$$P_{sist.colectorParque} = P_{\text{pérdidas de la red}} - P_{trafoCentral} - P_{trafoBESS} - P_{sist. colectorBESS}$$

$$P_{sist.colectorParque} = 0,1200 - 0,0240 - 0,0029 - 0,0000 = 0,0931 \text{ MW}$$

## 7.2.8. CÁLCULO DE MÍNIMO TÉCNICO MODO BESS MÁS PARQUE CON UN INVERSOR OPERATIVO

Con las pérdidas obtenidas, se procede a calcular el mínimo técnico bruto del modo BESS más Parque con un inversor operativo. Se destaca que la potencia neta inyectada por el parque es registrada en el punto de conexión de la central **P1**, definido en la sección 7.1.2 del presente informe.

Se define, por lo tanto, que la potencia mínima técnica bruta del modo BESS más Parque con un inversor operativo es igual a:

$$MT_{Bruto} = P_1 + P_{trafoBESS} + P_{sist. colectorBESS} + P_{SSAA}^{inv} + P_{trafoCentral} + P_{sist.colectorParque} + P_{SSAA}$$

En donde:

**P1**: Es la potencia definida en la sección 7.1.2 y corresponde al mínimo técnico neto del modo BESS más parque con un inversor operativo, que para el presente estudio equivale a 0,0699 MW.

**P<sub>trafoBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del transformador conectado al BESS 0,0029 MW.

**P<sub>sist.colectorBESS</sub>**: Corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al BESS ≈0,0000 MW.

**P<sub>SSAA</sub><sup>inv</sup>**: Consumo de SSAA propios del inversor asociado al BESS, más los consumo de SSAA propios del inversor asociado al parque 0,0027 MW.

**P<sub>trafoCentral</sub>**: Corresponden a las pérdidas del transformador de poder de la central 0,0240 MW.

**P<sub>sist.colectorParque</sub>**: Corresponden a las pérdidas del sistema colector asociado al parque 0,0931 MW.

**P<sub>SSAA</sub>**: Corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, iguales a 0,0079 MW.

Así, se tiene que la potencia máxima bruta del modo BESS más Parque con un inversor operativo es igual a:

**Tabla 7-3 Resumen de mínimo técnico bruto, neto y consumos del modo BESS más Parque con un inversor operativo.**

MODO	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [MW]	PÉRDIDAS TRAF0 DEL BESS [MW]	PÉRDIDAS TRAF0 DEL PARQUE [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR DEL BESS [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR DEL PARQUE [MW]	CONSUMOS SS.AA. INVERSOR DEL BESS Y PFV [MW]	CONSUMO S SS.AA. DE LA S/E [MW]
BESS más PFV con un inversor operativo	0,2005	0,0699	0,0029	0,0240	≈0,0000	0,0931	0,0027	0,0079
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas de la red (Transformador del BESS + Sistema colector del BESS + Transformador del parque + sistema colector del parque) + consumos de SS.AA. inversores + consumos de SS.AA.								

## 8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de mínimo técnico neto y bruto del PFV Uribe Solar más BESS, en el modo de operación solo BESS, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, así como la potencia registrada en el paño del BESS (33kV), considerando el consumo de los servicios auxiliares del inversor, las pérdidas del sistema colector asociado al BESS y las pérdidas del transformador de bloque conectado al BESS. Además, también se obtienen los parámetros de potencia mínima técnica neta y bruta para el PFV Uribe Solar más BESS, en el modo de operación parque más BESS, de acuerdo con las indicaciones del fabricante, así como la potencia registrada en el punto de conexión del parque, considerando el consumo de servicios auxiliares, las pérdidas del sistema colector y las pérdidas de los transformadores de poder.

De acuerdo con lo expuesto en el informe precedente, se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 8-1 Parámetros de Mínimo Técnico de la Central Uribe Solar.**

CENTRAL/UNIDAD	CONFIGURACIÓN	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [hr] <sup>1</sup>	MÍNIMO TÉCNICO [MW] (1)	SS.AA. [MW] (2)	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW] (3)	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW] (4)
Uribe Solar	PFV <sup>2</sup>	-	0,1060	0,0064	0,0994	0,0000
Uribe Solar	BESS (Modo Descarga)	1,7698	0,0028	0,0000	0,0028	0,0000
Uribe Solar	PFV + BESS (Modo Carga)	1,9403	1,6511	0,0317	0,1179	1,5014
Uribe Solar	PFV + BESS (Modo Descarga)	1,7698	1,6511	0,0317	0,1179	1,5014
Uribe Solar	PFV con un solo inversor + BESS (Modo Carga)*	1,9403	0,2005	0,0079	0,1227	0,0699
Uribe Solar	PFV con un solo inversor + BESS (Modo Descarga)*	1,7698	0,2005	0,0079	0,1227	0,0699

Nota (\*): Cabe destacar que estas pruebas corresponden a una condición particular, dado que, los demás inversores del PFV Uribe solar se dejaron apagados de manera manual

(1): La potencia mínima bruta.

(2): Este valor corresponde a la suma de los SS.AA. comunes a la central.

(3): Valor incluye las pérdidas del sistema colector de media tensión (MW) y del transformador de poder (MW).

(4): Inyectada en la barra de alta tensión (110 kV) del transformador de potencia de la S/E Uribe Solar Subestación.

<sup>1</sup> Valores extraídos de la simulación del VMD BESS Uribe Solar [c].

<sup>2</sup> Valores obtenidos de la Carta Aceptación Mínimo Técnico Central FV Uribe Solar [e] disponible en la página del CEN [f].

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO I – Mediciones medidor SSAA de la subestación

Mediciones del medidor de los servicios auxiliares de la subestación Uribe Solar, obtenidas en las pruebas del día 08/05/2024 y el día 29-08-2024 (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.2. ANEXO II – Registro mediciones de potencia activa

Mediciones obtenidas en las pruebas del día 15/04/2024, el día 08/05/2024 y 29-08-2024 (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.3. ANEXO III – Base de datos

Se adjunta en la carpeta de envío el archivo de respaldo.

### 9.4. ANEXO IV – Hoja de datos de los módulos PFV

Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo.

### 9.5. ANEXO V – Diagrama PQ de los inversores

Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo.

### 9.6. ANEXO VI – Hoja de datos de los inversores

Se adjunta en la carpeta de envío la hoja de datos de los inversores del PFV y del inversor del BESS.

### 9.7. ANEXO VII – Equipo de medida, datasheet y certificado calibración Metrel MI 2892

Se adjuntan en la carpeta de envío los documentos de respaldo.

### 9.8. ANEXO VIII – Hoja de datos de las baterías

Se adjuntan en la carpeta de envío los documentos de respaldo.

### 9.9. ANEXO IX – Round Trip Efficiency

Se adjuntan en la carpeta de envío los documentos de respaldo.

### 9.10. ANEXO X – Estado de los inversores durante las pruebas

Se adjuntan en la carpeta de envío los documentos de respaldo.

### 9.11. ANEXO XI – Carta de X-ELIO

Se adjuntan en la carpeta de envío carta enviada por X-ELIO, donde indica el control de la potencia máxima del conjunto PFV + BESS y que el BESS no absorberá potencia de la red.

## 9.12. ANEXO XII – Registros ensayo complementario BESS más parque con un inversor operativo

Mediciones obtenidas en las pruebas del día 29/08/2024 (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).