



**I-SEP**

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

**P23093**

# **ESTUDIOS ELÉCTRICOS PARA PROCESOS DE CONEXIÓN A RED DE NUP 3325 - BESS EL MANZANO**

**11.09.2024**

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en unidades generadoras

23093-00-ES-IT-011 Rev. 1

Preparado para Enel Green Power S.A





## P23093

# ESTUDIOS ELÉCTRICOS PARA PROCESOS DE CONEXIÓN A RED DE NUP 3325 - BESS EL MANZANO

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en  
unidades generadoras

**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	Ramón Muñoz A.	29.07.2024	Esteban Canales R.	31.07.2024	Emitido para revisión interna
Rev. B	Ramón Muñoz A.	30.07.2024	Cliente	02.08.2024	Emitido para revisión cliente
Rev.0	Ramón Muñoz A.	06.08.2024	CEN	05.09.2024	Emitido para revisión CEN
Rev.1	Ramón Muñoz A.	11.09.2024			Comentarios CEN

# CONTENIDOS

<b>1. IDENTIFICACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS Y ALCANCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. REFERENCIAS .....</b>	<b>6</b>
4.1. Documentos del proyecto.....	6
4.2. Normas, estándares y bibliografía .....	6
<b>5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE .....</b>	<b>6</b>
5.1. Transformador 2D El Manzano .....	7
5.2. Transformador de Puesta a Tierra .....	7
5.3. Transformador de SSAA .....	7
5.4. Módulos de inversores .....	8
5.5. Sistema de Almacenamiento.....	8
<b>6. REVISIÓN NORMATIVA .....</b>	<b>9</b>
<b>7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO .....</b>	<b>9</b>
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN.....	10
7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN .....	11
7.2.1. Antecedentes de operación solo BESS modo descarga .....	11
7.2.2. Antecedentes de operación modo parque más BESS.....	14
7.2.1. Antecedentes de operación solo PFV el manzano.....	19
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>20</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>21</b>
9.1. ANEXO I – Mediciones para el caso solo BESS Modo Descarga.....	21
9.2. ANEXO II – Mediciones para el caso solo PFV + BESS.....	21
9.3. ANEXO III – Especificaciones BESS (Se adjunta en la carpeta de envió el documento de respaldo).....	21
9.4. ANEXO IV – Tiempo de carga y descarga (Se adjunta en la carpeta de envió el documento de respaldo). .....	21
9.5. ANEXO V – Curva PQ del BESS .....	21

# 1. IDENTIFICACIÓN

Nombre del proyecto:	:	BESS El Manzano
Numero Único de Proyecto (NUP):	:	3325
Empresa propietaria del proyecto:	:	Enel Green Power S.A

# 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el mínimo técnico para el funcionamiento del modo solo PFV, solo BESS descarga, y el funcionamiento del modo parque más BESS el cual es propiedad de Enel Green Power S.A. Lo anterior 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 Enel Green Power Chile se encuentra desarrollando el proyecto BESS Parque Fotovoltaico El Manzano (NUP 3325), que consiste en la incorporación de un sistema de almacenamiento de energía de 60 MW y dos horas de duración (120 MWh), que será conectado a las instalaciones del Parque Fotovoltaico El Manzano, cuyo punto de conexión será la barra de 33 kV de la S/E Huertos Familiares, que se interconecta al sistema a través de una línea de transmisión subterránea hacia S/E El Manzano 33 kV. La planta se ubica en la comuna de Titil en la región Metropolitana como se muestra en la Figura 3-1

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 El Manzano, el cual tiene por objetivo determinar el mínimo técnico de potencia con el funcionamiento del parque, parque más BESS y en modalidad solo BESS.

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

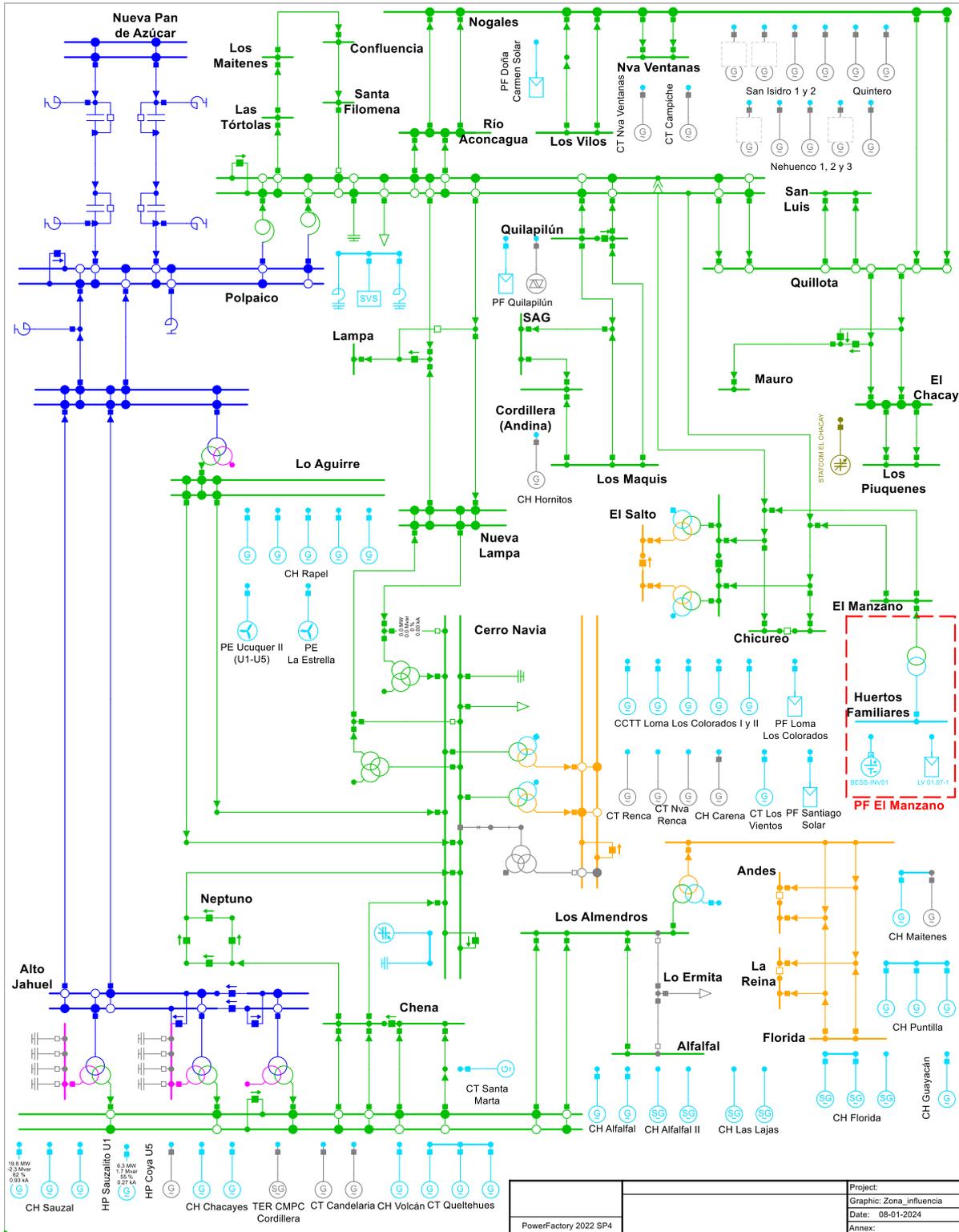


Figura 3-1: Ubicación del BESS El Manzano.

## 4. REFERENCIAS

### 4.1. DOCUMENTOS DEL PROYECTO

- [a] Documento: 23093-00-ES-IT-005 Rev 1\_Estudio de Cortocircuitos y Verificación de Capacidad de Ruptura de Interruptores
- [b] Documento: “PES-de-UUGG-Aplicación-de-Anexos-Técnicos”, Puesta en Servicio de Unidades Generadoras, realizado por el Coordinador Eléctrico Nacional.
- [c] Documento “DE-02057-24-Acepta-MT-PFV-El-Manzano\_FDREV” Acepta Mínimo Técnico de la central PFV El Manzano
- [d] Documento “23093-00-ES-IT-008” Validación del Modelo Dinámico.

### 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.
- [V] Guía Técnica DCO N°01-2024 “Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía” versión Junio 2024 Elaborada por el CEN.

## 5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE

En el siguiente capítulo se presenta la información técnica relevante del proyecto BESS El Manzano (más detalles en Anexo III):

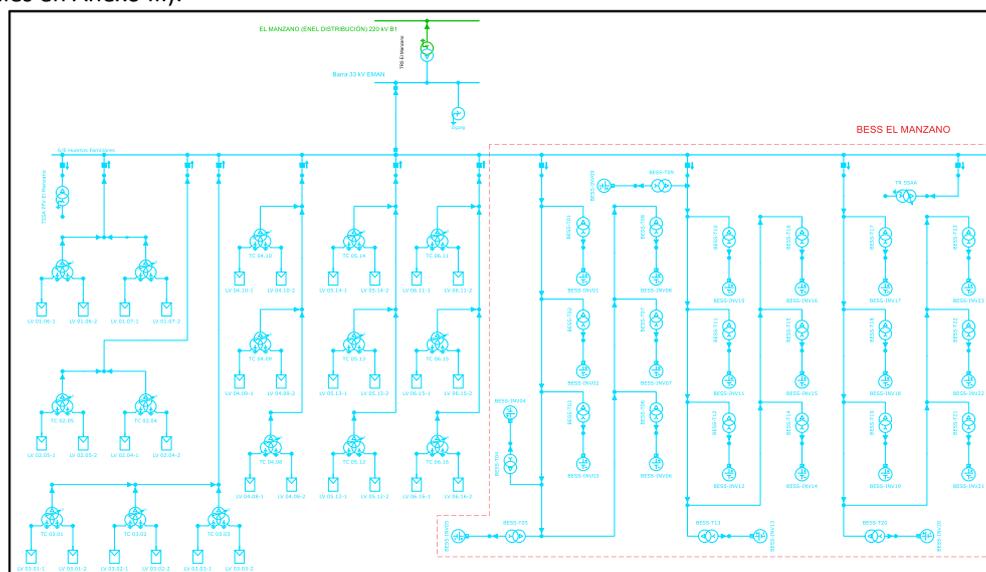


Figura 5-1: Diagrama unilineal sistema colector PFV El Manzano.

### 5.1. TRANSFORMADOR 2D EL MANZANO

El transformador de poder TR5 220/33 kV S/E El Manzano posee las siguientes características:

Tabla 5-1 TR2 BESS El Manzano.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	220 [KV]
TENSIÓN MT	33 [kV]
POTENCIA ONAF	150 [MVA]
CONEXIÓN	YND11
Z1 [%]	12,29
Z0 [%]	11,21
PÉRDIDAS EN VACÍO	68,47 [KW]
PÉRDIDAS EN CARGA	443,49 [KW]

### 5.2. TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA

El transformador de puesta a tierra del PF El Manzano se conecta en la barra de 33 kV de la S/E El Manzano

Tabla 5-2 Transformador de puesta a tierra BESS El Manzano.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN NOMINAL	33 [KV]
CORRIENTE NOMINAL	0,25 [kA]
Z0	230,52 [ohm]

### 5.3. TRANSFORMADOR DE SSAA

El BESS El Manzano cuenta actualmente con un transformador de servicios auxiliares que se conecta en la barra de 33 kV de la S/E Huertos Familiares:

Tabla 5-3 Transformador de Servicios Auxiliares BESS El Manzano.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	33 [KV]
TENSIÓN MT	0,4 [kV]
POTENCIA ONAF	1,5 [MVA]
CONEXIÓN	DYN11
Z1 [%]	6
Z0 [%]	5,1

## 5.4. MÓDULOS DE INVERSORES

El proyecto contempla la instalación de 23 inversores de potencia 3800 kVA. El aporte de cada uno a la corriente de falla es de 5144 A por inversor, lo que equivale al 134% de la corriente nominal del inversor.

**Tabla 5-4 Inversores BESS El Manzano.**

PARÁMETRO	VALOR
MARCA	SMA
MODELO	MVPS 4400-S2
POTENCIA]	3,8[MVA]
CANTIDAD	23 unidades

## 5.5. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El proyecto considera el uso de las siguientes baterías:

**Tabla 5-5 Información Técnica del sistema de almacenamiento BESS EL Manzano.**

PARÁMETRO	VALOR
TIPO DE BATERIA	LFP Litio Ferro Fosfato (LiFePO4)
RANGO OPERATIVO SOC	[0%-100%]
EFICIENCIA	98%

## 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 solo BESS:** 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 parque más BESS:** 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.

Con respecto a las pruebas de Mínimo Técnico, principalmente se deja aislado el BESS del PFV y se cambia la consigna de potencia activa a cero. Luego se debe monitorear la potencia activa en el punto de conexión de la central.

Por otra parte, en relación con los servicios auxiliares, se debe realizar un registro de los consumos durante el ensayo mientras se realiza la prueba.

Con respecto a las pruebas y ensayos realizados, las empresas que participaron en las mediciones son Enel Green Power S.A en conjunto con Wartsila en supervisión de la empresa I-SEP entre los días 07-07-2024 y 19-07-2024

## 7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

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

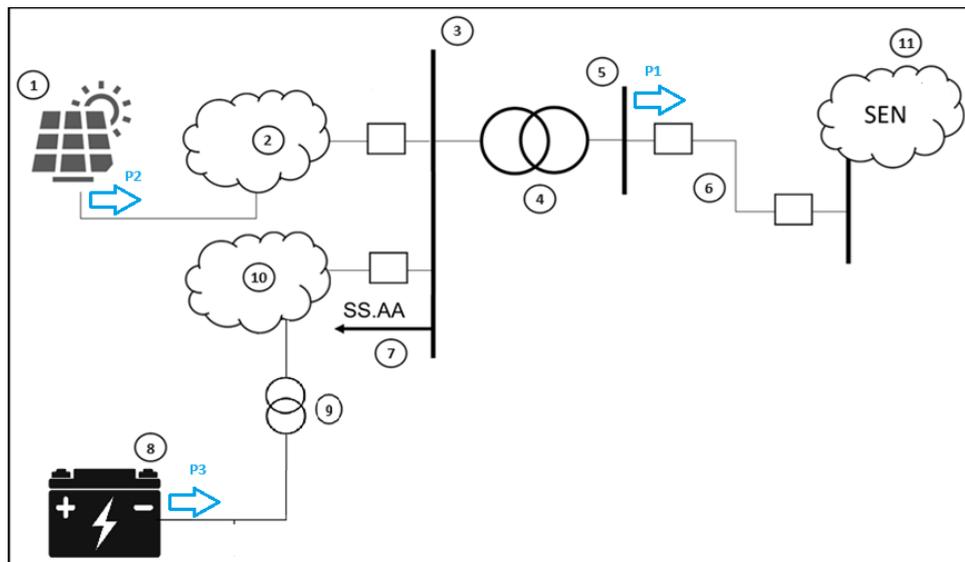


Figura 7-1. Diagrama de sistema equivalente modo BESS más parque.

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 El Manzano, 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 El Manzano, corresponde a los transformadores de poder 5.
5. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 220 kV de la SE El Manzano, 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 del BESS El Manzano.
8. **BESS:** Sistema de almacenamiento de energía (Battery Energy Storage System)
9. **Transformador de bloque asociado al BESS:** Equipo elevador presente equivalente asociado al BESS.
10. **Pérdidas en sistema colector del BESS:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del BESS, principalmente en cables media tensión.
11. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**
12. **P1:** Potencia inyectada por el PF El Manzano más BESS (dependiendo la configuración de inyección), en la barra de 220 kV de la subestación El Manzano
13. **P2:** Potencia bruta inyectada por el PFV El Manzano (dependiendo la configuración de inyección), el cual está conectado a la barra principal N°1 de 33 kV de la subestación Huertos Familiares.
14. **P3:** Potencia bruta inyectada por el BESS (dependiendo la configuración de inyección), el cual está conectado a la barra principal N°1 de 33 kV de la subestación Huertos Familiares.

## 7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

### 7.2.1. Antecedentes de operación solo BESS modo descarga

Para la determinación de la potencia Mínima del modo solo BESS en descarga se han tomado los valores del equipo de medida del PPC propio del BESS El Manzano. El promedio de las lecturas presentadas en el Anexo I, corresponde a la potencia bruta inyectada por el BESS), entre las 19:50 y las 21:50 del día 11-07-2024, a la barra de 33kV de la SE Huertos Familiares. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 20:00 a 20:15 donde se haya registrado la mayor potencia mínima promedio y su valor es igual a **0,5538 MW (P3, descarga)**. Esto se obtiene sumando la potencia de cada inversor asociado al BESS (Ver Anexo I). En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

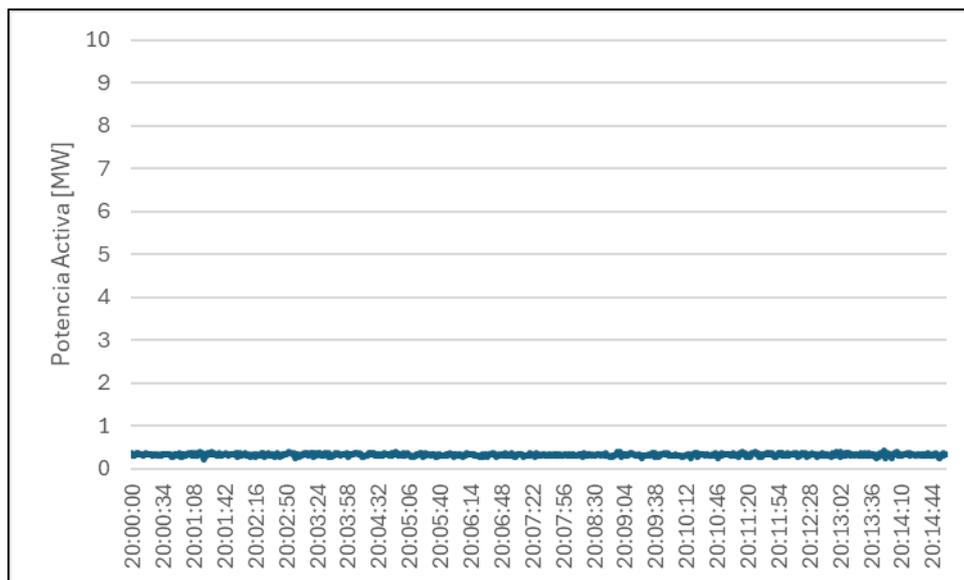
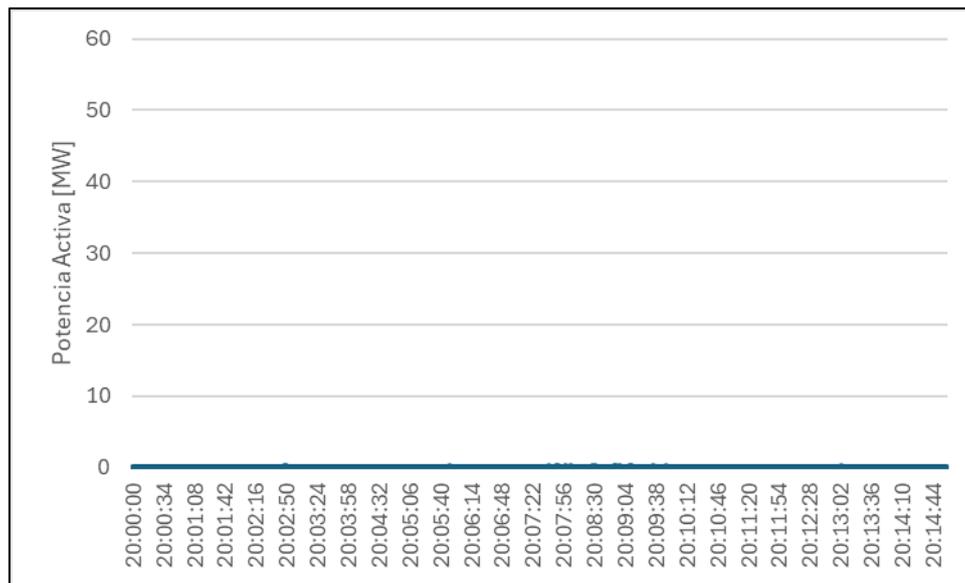


Figura 7-2 Curva de potencia activa en el punto de conexión del BESS (P3) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo solo BESS en descarga.

Por otra parte, el consumo de SSAA propio asociado al BESS se determinan en función de mediciones realizadas en el parque dentro del mismo horario. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, es igual a 0,2365MW (ver Anexo I).

$$P_{ssaa} = 0,2365[MW]$$

Luego se realizan mediciones en el punto de conexión, específicamente en la barra de 220kV con la finalidad de medir la potencia neta inyectada al tener el BESS en modo carga. entre las 19:50: y las 20:50 del día 11-07-2024, a la barra de 220kV de la SE El Manzano. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 20:00 a 20:15 donde se haya registrado la mayor potencia Mínima promedio su valor es igual a **0,0805 [MW]** En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.



**Figura 7-3 Curva de potencia activa en el punto (P1) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo solo BESS en descarga.**

Luego, se procede a obtener las pérdidas del central considerando los valores obtenidos anteriormente:

$$MT_{Bruto} = P_1 + P_{en\ la\ central} + P_{SSAA}$$

En donde:

$MT_{bruto}$ : corresponden a la potencia medida en los inversores del BESS El manzano 0,5538 MW.

$P_1$ : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo solo BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,0805MW.

$P_3$ : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica bruta del modo solo BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,5538MW.

$P_{SSAA}$ : Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares totales 0,2365MW.

$P_{Central}$ : corresponden a las pérdidas de la central en MW.

Finalmente se obtiene que, las pérdidas asociadas a la central son:

$P_{Central}$ : 0,2368 MW.

Así, se tiene que la potencia Mínima del modo solo BESS en descarga es igual a:

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

CENTRAL	MODOS	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS EL Manzano	Solo BESS en descarga	2,3314 [HR]/ 2,1227 [HR] <sup>1</sup>	0,5538	0,2365	0,2368	0,0805
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>						

### 7.2.1.1. Desglose Pérdidas de la Central

Del capítulo anterior se obtiene que las pérdidas de la central asociados a la configuración solo BESS en descarga alcanzan un valor de 0,2368 MW.

Estas pérdidas consideran las pérdidas asociadas al sistema colector y al transformador de poder del proyecto.

#### 7.2.1.1.1. Determinación de pérdidas asociadas al transformador de Poder

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

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\_carga} + P_{tr\ poder\_vacío}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la Tabla 5-1 las cuales poseen un valor de 68,47 [kW]:

$$P_{tr\ poder\_vacío} = 68,47 [kW]$$

Luego, las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr\ poder\_carga} [KW] = P_{tr\ poder\_carga}^{nominal} \cdot \left( \frac{P_{medida}}{S_{tr\ poder}^{nominal}} \right)^2$$

Donde:

- ◆  $P_{tr\ poder\_carga}^{nominal}$  = Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW]
- ◆  $S_{tr\ poder}^{nominal}$  = Potencia nominal del transformador de poder [MVA]
- ◆  $P_{medida}$  = Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA]

Con respecto a las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 5-1. Los valores de estas son 443,49 [KW] y 150 [MVA] respectivamente.

Por otro lado, con respecto al valor de potencia de operación a utilizar será el valor medido de la potencia neta registrado durante el ensayo. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$P_{tr\ poder\_carga} [KW] = 443,49 \cdot \left( \frac{0,0805}{150} \right)^2 = 0,0001 [kW]$$

<sup>1</sup> Se obtiene de la referencia [d]. Mas detalles en Anexo IV

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\ carga} + P_{tr\ poder\ vacío} = 0,0001 [kW] + 68,47 [kW] = 68,4701[kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a aproximadamente 0,0685 [MW]

### 7.2.1.1.2. Determinación de pérdidas asociadas al sistema colector

Dado el cálculo presentado en el capítulo anterior, se procede a continuación a determinar las pérdidas asociadas al sistema colector:

$$Pérdidas_{Central} [MW] = Pérdidas_{Transformador\ de\ Poder} + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

De la ecuación anterior se tiene la siguiente información:

- ◆  $Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0685 [MW]$
- ◆  $Pérdidas_{Central} = 0,2368[MW]$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,2368 = 0,0685 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,1683[MW].

A continuación, se presenta un resumen de las pérdidas asociados a la configuración Solo BESS en Descarga:

**Tabla 7-2 Desglose pérdidas configuración Solo BESS en Descarga.**

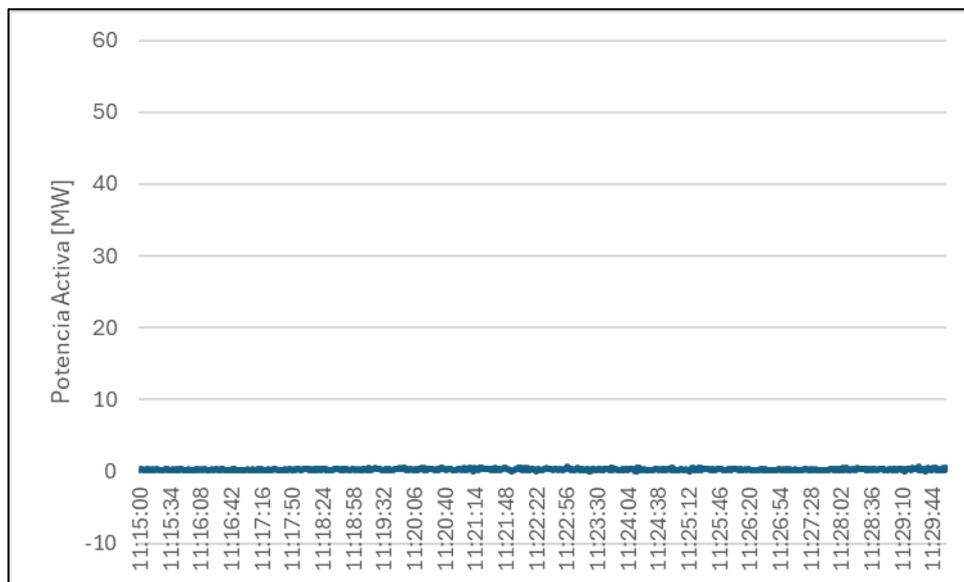
CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
BESS EL Manzano	Sistema de almacenamiento (modo descarga) +PFV	0,2368	0,0685	0,1683
<b>Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector</b>				

## 7.2.2. Antecedentes de operación modo parque más BESS

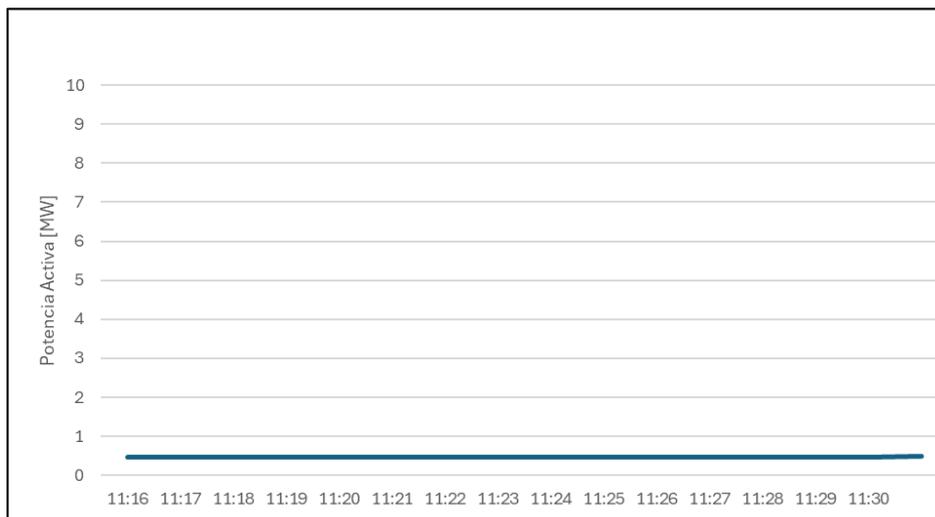
Para determinar la potencia mínima del modo parque más BESS, se han utilizado los valores registrados por el equipo de medición del PPC propio del parque. El punto de medida para esta prueba es la barra de 220 kV perteneciente a la subestación El Manzano. Es relevante mencionar que los resultados presentados en este capítulo son aplicables tanto al modo carga como el modo descarga del BESS en conjunto con el parque. Esto se justifica porque, en ambas situaciones, el mínimo técnico en el POI del BESS se mantiene cercano a cero cuando las consignas son de 0 MW. Por lo tanto, los comportamientos observados en estos modos son equivalentes en términos de potencia y consumos.

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 11:00 y las 13:00 del día 12-07-2024, es de aproximadamente **0,2647 MW** 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 **0,6173 MW** considerando los datos de potencia bruta

medido por 15 minutos continuos desde las 11:15 a 11:30 donde se haya registrado la mayor potencia mínima promedio la cual se obtiene al sumar el promedio de la potencia en cada inversor. 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 de la central (P1) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo parque más BESS.**



**Figura 7-5 Curva de potencia activa en el punto de conexión de la central (P3) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo parque más BESS.**

Por otra parte, el consumo de SSAA propio asociado al BESS se determinan en función de mediciones realizadas en el parque dentro del mismo horario. De esta manera, el consumo de SSAA propio del inversor, es igual a 0,1888MW (ver Anexo II).

$$P_{ssaa} = 0,1888[MW]$$

Luego se realizan mediciones en el punto de conexión del PFV El Manzano, específicamente en la barra de 33 kV de la subestación huertos. entre las 11:00 y las 13:00 del día 12-07-2024. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 11:15 a 11:30 donde se haya registrado la mayor potencia mínima promedio su valor es igual a **0,0055[MW]** En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

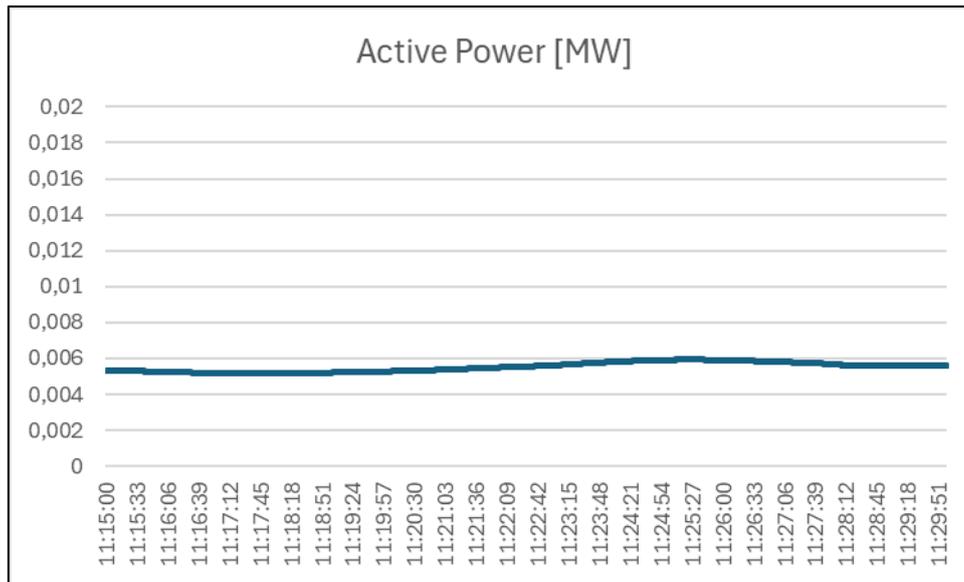


Figura 7-6 Curva de potencia activa en el punto de conexión de la central (P2) dentro de la prueba de mínimo técnico en modo parque más BESS.

Luego, se procede a obtener las pérdidas del central considerando los valores obtenidos anteriormente:

$$MT_{Bruto} = P_1 + P_{SSAA} + P_{en\ la\ central} = P_2 + P_3$$

En donde:

**$MT_{Min\ Bruta}$** : corresponden a la potencia corresponde a la potencia mínima técnica neta (P2+P3) 0,6228 MW.

**$P_1$** : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo solo PFV +BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,2647MW.

**$P_2$** : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica bruta del PFV del modo solo PFV +BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,0055 MW.

**$P_3$** : Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica bruta del BESS en el modo solo PFV +BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,6173MW.

**$P_{SSAA}$** : Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares BESS 0,1888MW.

**$P_{Central}$** : corresponden a las pérdidas de la central en MW.

Finalmente se obtiene que, las pérdidas asociadas a la central son:

**$P_{Central}$** : 0,1693MW.

Así, se tiene que la potencia Mínima del modo PFV + BESS en descarga es igual a:

**Tabla 7-3 Resumen de mínimo técnico bruto, neto y consumos del PF El Manzano modo de operación PFV+ BESS.**

CENTRAL	MODO	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS EL Manzano	PFV + BESS en descarga	2,3314 [HR]/ 2,1227 [HR] <sup>2</sup>	0,6228	0,1888	0,1693	0,2647
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>						

### 7.2.2.1. Desglose Pérdidas de la Central

Del capítulo anterior se obtiene que las pérdidas de la central asociados a la configuración solo BESS en descarga alcanzan un valor de 0,1693 MW.

Estas pérdidas consideran las pérdidas asociadas al sistema colector y al transformador de poder del proyecto.

#### 7.2.2.1.1. Determinación de pérdidas asociadas al transformador de Poder

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

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\_carga} + P_{tr\ poder\_vacío}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la Tabla 5-1 las cuales poseen un valor de 68,47 [kW]:

$$P_{tr\ poder\_vacío} = 68,47 [kW]$$

Luego, las pérdidas en carga del transformador de poder serán estimadas utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{tr\ poder\_carga} [KW] = P_{tr\ poder\_carga}^{nominal} \cdot \left( \frac{P_{medida}}{S_{tr\ poder}^{nominal}} \right)^2$$

Donde:

- ◆  $P_{tr\ poder\_carga}^{nominal}$  = Pérdidas en carga del transformador de poder a potencia nominal [kW]
- ◆  $S_{tr\ poder}^{nominal}$  = Potencia nominal del transformador de poder [MVA]
- ◆  $P_{medida}$  = Potencia de operación del transformador de poder durante el ensayo [MVA]

Con respecto a las pérdidas en carga a potencia nominal como la potencia nominal del transformador de poder, fueron presentadas en la Tabla 5-1. Los valores de estas son 443,49 [KW] y 150 [MVA] respectivamente.

Por otro lado, con respecto al valor de potencia de operación a utilizar será el valor medido de la potencia neta registrado durante el ensayo. Reemplazando estos valores en la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$P_{tr\ poder\_carga} [KW] = 443,49 \cdot \left( \frac{0,2647}{150} \right)^2 = 0,0014 [KW]$$

<sup>2</sup> Se obtiene de la referencia [d]. Mas detalles en Anexo IV

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\_carga} + P_{tr\ poder\_vacío} = 0,0014 [kW] + 68,47 [kW] = 68,4714[kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a aproximadamente 0,0685 [MW]

### 7.2.2.1.2. Determinación de pérdidas asociadas al sistema colector

Dado el cálculo presentado en el capítulo anterior, se procede a continuación a determinar las pérdidas asociadas al sistema colector:

$$Pérdidas_{Central} [MW] = Pérdidas_{Transformador\ de\ Poder} + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

De la ecuación anterior se tiene la siguiente información:

- ◆  $Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0685 [MW]$
- ◆  $Pérdidas_{Central} = 0,1693[MW]$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,1693 = 0,0685 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,1008[MW].

A continuación, se presenta un resumen de las pérdidas asociados a la configuración Solo BESS en Descarga:

**Tabla 7-4 Desglose pérdidas configuración PFV + BESS en Descarga.**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
BESS EL Manzano	Sistema de almacenamiento (modo descarga) +PFV	0,1693	0,0685	0,1008
<b>Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector</b>				

### 7.2.1. Antecedentes de operación solo PFV el manzano

Para este modo de operación se toma como referencia lo declarado en el NUP3435 PFV El Manzano según lo indicando en el antecedente [c].

**Tabla 7-5 Resumen de potencias Mínima bruta, neta y consumos del PFV El Manzano**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW] <sup>(1)</sup>	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
PFV El Manzano	PFV	0,1603	0,0073	0,1510	0,0020
(1) Este valor corresponde a las pérdidas en los transformadores principales (0,0700 [MW]), más las del sistema colector (0,0810 [MW]) según lo indicado en el antecedente [c].					
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>					

## 8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de mínimo técnico neto y bruto del PFV El Manzano más BESS, en una operación solo BESS en modo descarga y PFV El Manzano + BESS El Manzano 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 y las pérdidas de la central.

De acuerdo con lo expuesto en los capítulos del presente informe, se resumen los resultados obtenidos.

**Tabla 8-1 Parámetros de Mínimo Técnico de la Central BESS El Manzano**

CENTRAL	MODO	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS EL Manzano	PFV	N/A	0,1603	0,0073	0,1510	0,0020
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	2,3314 [HR]/ 2,1227 [HR] <sup>3</sup>	0,5538	0,2365	0,2368	0,0805
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga) +PFV	2,3314 [HR]/ 2,1227 [HR] <sup>4</sup>	0,6228	0,1888	0,1693	0,2647
	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	2,3314 [HR]/ 2,1227 [HR] <sup>5</sup>	0,6228	0,1888	0,1693	0,2647
<b>Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.</b>						

Considerando los resultados del análisis del Mínimo Técnico en el Punto de Conexión, donde se observó que los valores son prácticamente nulos (cercanos a 0 MW), se puede concluir que no es necesario realizar una prueba específica con un solo inversor operativo para alcanzar ese punto de operación. Esta decisión se justifica debido a que, con tan bajo requerimiento de potencia, la capacidad mínima de generación se alcanza sin necesidad de maniobras adicionales. Por lo tanto, la ejecución de una prueba con un solo inversor disponible no aportaría información relevante adicional.

Finalmente, se presenta a continuación el desglose de las pérdidas de la central:

**Tabla 8-2 Desglose de Pérdidas en la central.**

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
BESS EL Manzano	PFV	0,1510	0,0700	0,0810
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	0,2368	0,0685	0,1683
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga) +PFV	0,1693	0,0685	0,1008
	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	0,1693	0,0685	0,1008
<b>Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector</b>				

<sup>3</sup> Se obtiene de la referencia [d]. Mas detalles en Anexo IV

<sup>4</sup> Se obtiene de la referencia [d]. Mas detalles en Anexo IV

<sup>5</sup> Se obtiene de la referencia [d]. Mas detalles en Anexo IV

## 9. ANEXOS

### 9.1. ANEXO I – Mediciones para el caso solo BESS Modo Descarga

Mediciones obtenidas en las pruebas del día 11/07/2024 (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.2. ANEXO II – Mediciones para el caso solo PFV + BESS

Mediciones obtenidas en las pruebas del día 12/07/2024 (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.3. ANEXO III – ESPECIFICACIONES BESS (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.4. ANEXO IV – Tiempo de carga y descarga (Se adjunta en la carpeta de envío el documento de respaldo).

### 9.5. ANEXO V – CURVA PQ DEL BESS