



I-SEP

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

P23062

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PF DON HUMBERTO Y BESS DON HUMBERTO

27.09.2024

Informe Mínimo Técnico - Etapa BESS

23062-01-ES-IT-022 Rev. B

Preparado para Enel Green Power Chile S.A.





P23062
ESTUDIOS DE CONEXIÓN PF
DON HUMBERTO Y BESS DON
HUMBERTO

Informe Mínimo Técnico - Etapa BESS

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
empresa@i-sep.cl

REV.	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev. A	Ramón Muñoz A.	24.09.2024	Nicolás Tardón P.	26.09.2024	Emitido para revisión interna
Rev. B	Ramón Muñoz A.	27.09.2024			Emitido para revisión cliente

CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN	4
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
3. INTRODUCCIÓN	4
4. REFERENCIAS	6
4.1. Normas, estándares y bibliografía	6
4.2. Documentos del proyecto	6
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	6
5.1. Transformador 2D Don Humberto.....	7
5.2. Transformador de puesta a tierra.....	8
5.3. Transformador de ssaa	8
5.4. Módulos de inversores	8
5.5. Sistema de almacenamiento	9
6. REVISIÓN NORMATIVA	9
7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO	10
7.1. Definición de puntos de medición	10
8. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN	11
8.1. Antecedentes de operación modo solo bess en descarga	11
8.1.1. Desglose Pérdidas de la Central.....	13
8.2. Antecedentes de operación modo parque más bess en descarga	14
8.2.1. Desglose Pérdidas de la Central.....	16
8.3. Antecedentes de operación modo parque más bess en carga.....	18
8.3.1. Desglose Pérdidas de la Central.....	20
8.4. Antecedentes de operación solo PFV Don Humberto	23
9. ACONCLUSIONES	24
10. ANEXOS	25
10.1. ANEXO I – Mediciones obtenidas el día de 19-08-2024.....	25
10.2. ANEXO II – Curva PQ BESS Don Humberto	25
10.3. ANEXO III – Mediciones obtenidas el día de 20-08-2024.....	25
10.4. ANEXO IV – Mediciones obtenidas el día de 21-08-2024	25
10.5. ANEXO V – Información del BESS	25

1. IDENTIFICACIÓN

Nombre del proyecto: : BESS Don Humberto
 Numero Único de Proyecto (NUP): : 4084
 Empresa propietaria del proyecto: : Enel Green Power Chile 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

Enel Green Power Chile S.A. se encuentra desarrollando el proyecto NUP 4084 “BESS Parque Fotovoltaico Don Humberto”, el cual consiste en la instalación de un sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS) de 60 MW y dos horas de duración (120 MWh). Su punto de conexión es la barra de 33 kV de la S/E Don Humberto 110/33 kV, la cual se vincula al sistema mediante una línea de transmisión a la subestación Punta Peuco 110 kV.

El BESS del Parque Fotovoltaico Don Humberto estará ubicado en la Región Metropolitana, provincia de Chacabuco y comuna de Tiltil, tal como se indica en la siguiente figura.

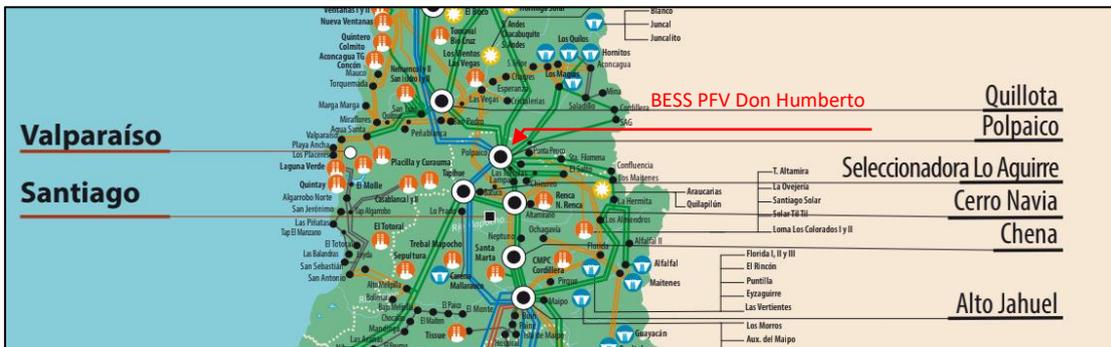


Figura 3-1 Ubicación Proyecto Don Humberto.

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 Don Humberto, 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 Don Humberto.

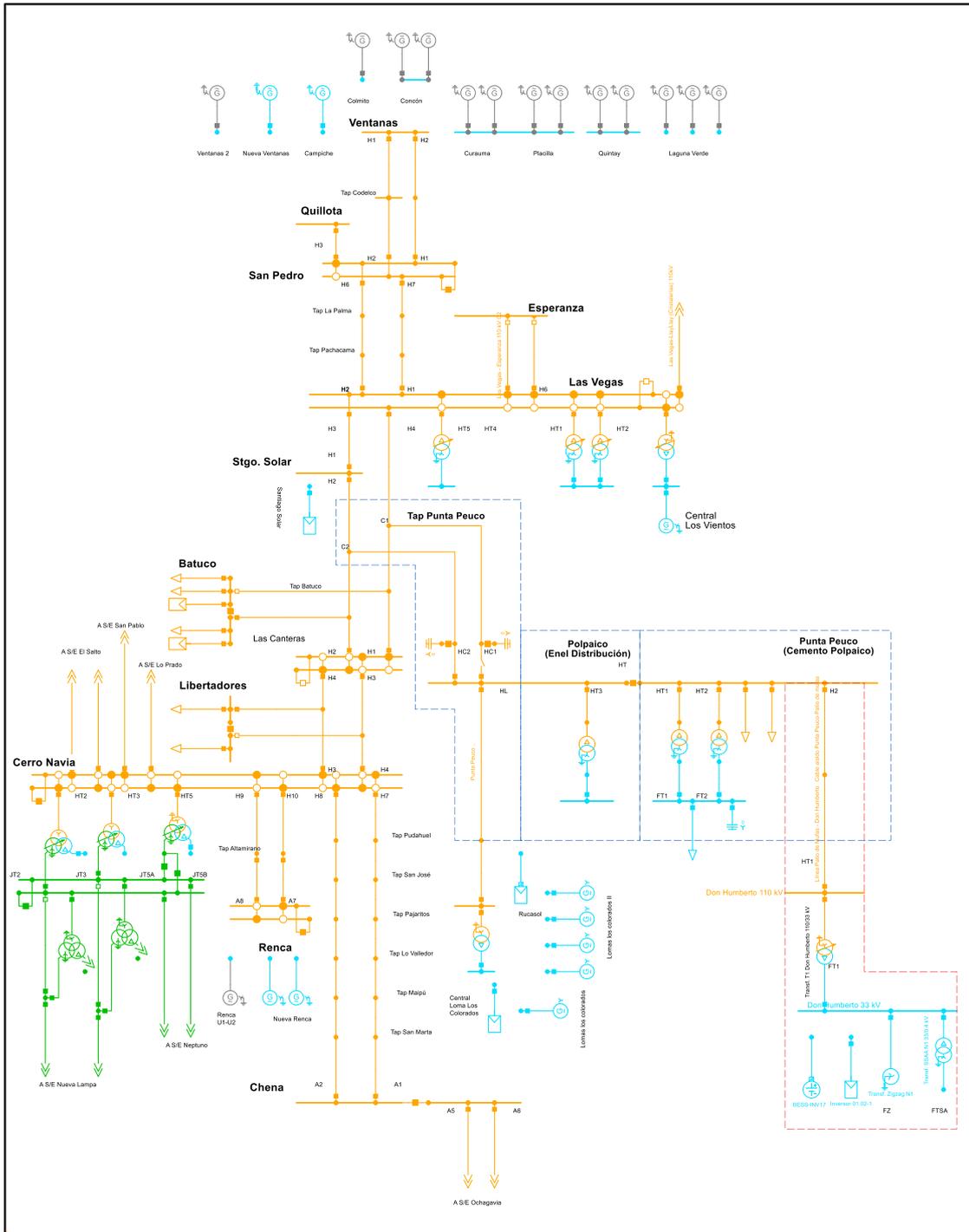


Figura 3-2: Diagrama unilineal de la zona de influencia.

4. REFERENCIAS

4.1. 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: Pruebas 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.

4.2. DOCUMENTOS DEL PROYECTO

- [a] Documento: “23062-01-ES-IT-013 R0” _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 “23062-01-ES-IT-019_RB” Informe Mínimo Técnico PFV Don Humberto.
- [d] Documento “23062-01-ES-IT-017” Validación de Modelo Dinámico BESS.
- [e] Documento “2306-DAA-IACPF-PR4084-V1” Informe de Aprobación de Proyecto Fehaciente Sistema de Almacenamiento del PF Don Humberto.

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE

En el siguiente capítulo se presenta la información técnica relevante del proyecto BESS Don Humberto (más detalles en Anexo V):

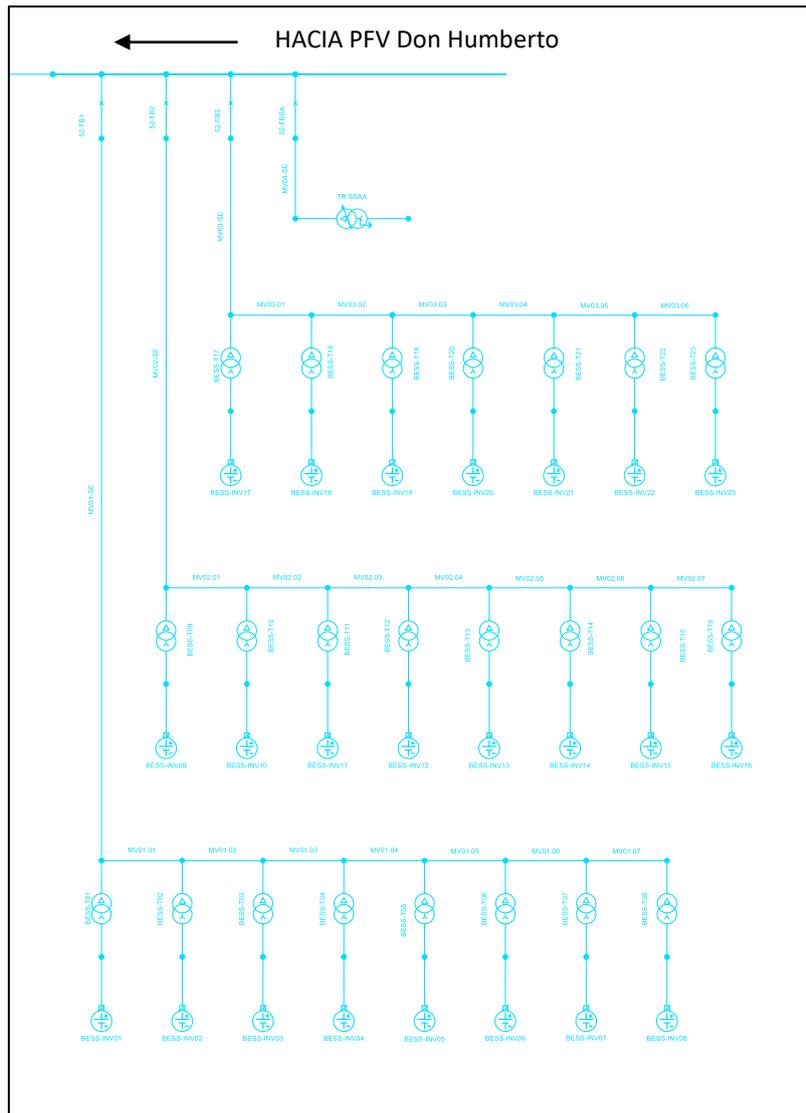


Figura 5-1: Diagrama unilineal sistema colector BESS Don Humberto

5.1. Transformador 2D Don Humberto

El transformador de poder TR 110/33 kV S/E Don Humberto posee las siguientes características:

Tabla 5-1 TR2 Don Humberto.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	110 [KV]
TENSIÓN MT	33 [kV]
POTENCIA ONAF	100 [MVA]
CONEXIÓN	YND11
Z1 [%]	12,24
Z0 [%]	11,59
PÉRDIDAS EN VACÍO	38,74 [KW]
PÉRDIDAS EN CARGA	369,7 [KW]

5.2. Transformador de puesta a tierra

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

Tabla 5-2 Transformador de puesta a tierra Don Humberto.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN NOMINAL	33 [KV]
CORRIENTE NOMINAL	0,17495 [kA]
Z0	326,7 [ohm]

5.3. Transformador de ssa

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

Tabla 5-3 Transformador de Servicios Auxiliares BESS Don Humberto.

PARÁMETRO	VALOR
TENSIÓN AT	33 [KV]
TENSIÓN MT	0,4 [kV]
POTENCIA ONAF	1,5[MVA]
CONEXIÓN	DYN11
Z1 [%]	6,16
Z0 [%]	5,236

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 Don Humberto.

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 Don Humberto.

PARÁMETRO	VALOR
TIPO DE BATERIA	LFP Litio Ferro Fosfato (LiFePO4)
RANGO OPERATIVO SOC	[0%-100%]
EFICIENCIA	97%

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.

- Antecedentes técnicos de diseño.
- Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.
- Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.
- 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.
- 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.

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 19-08-2024 y 21-08-2024.

7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

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:

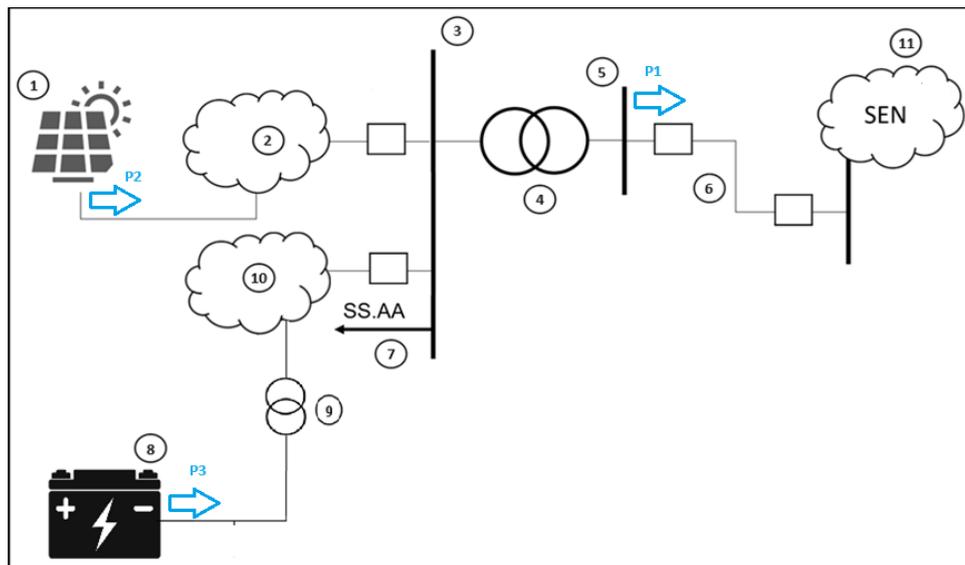


Figura 7-1. Diagrama de sistema equivalente modo BESS más parque.

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 de 33 kV de la SE Don Humberto, 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 Don Humberto.
5. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 110 kV de la SE Don Humberto, 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.):** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares.
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 medida en el POI del PFV Don Humberto 110 kV.
13. **P2:** Potencia medida en PFV Don Humberto.
14. **P3:** Potencia medida en BESS Don Humberto.

8. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

8.1. Antecedentes de operación modo solo bess en descarga

Para la determinación de la potencia mínima técnica del modo solo BESS en descarga se han tomado los valores del equipo de medida del PPC propio del BESS Don Humberto. El promedio de las lecturas presentadas en el Anexo I, corresponde a la potencia bruta inyectada por el (BESS), entre las 19:06 y las 21:06 del día 19-08-2024, a la barra de 33kV de la SE Don Humberto. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 20:30 a 20:45 donde se haya registrado la mayor potencia mínima promedio y su valor es igual a **0,5222 MW (P3, descarga)** (Ver Anexo I). En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

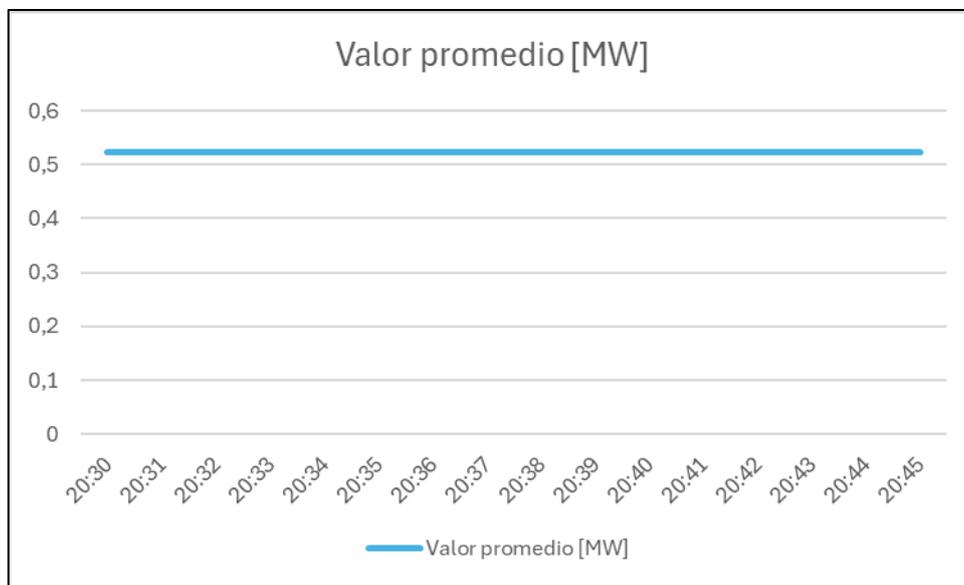


Figura 8-1: Curva de potencia activa, medición P3 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo solo BESS descarga.

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 0,1967 MW (ver Anexo I).

$$P_{ssaa} = 0,1967 [MW]$$

Luego se realizan mediciones en el punto de conexión, específicamente en la barra de 110kV con la finalidad de medir la potencia neta inyectada al tener el BESS en modo descarga. entre las 19:06 y las 21:06 del día 19-08-2024, a la barra de 110kV de la SE Don Humberto. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 20:30 a 20:45 donde se haya registrado la mayor potencia mínima promedio su valor es igual a **0,1374 [MW] (P1, descarga)**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

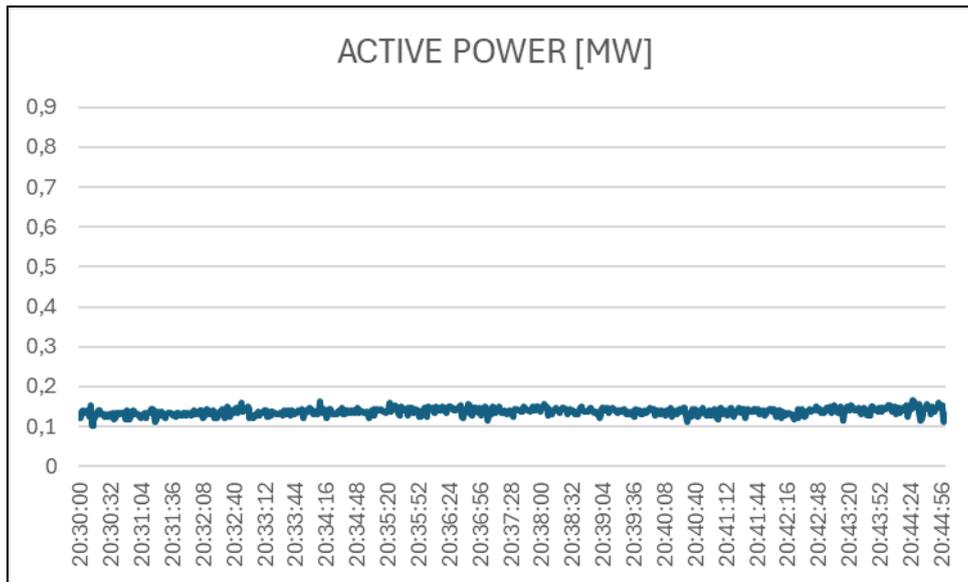


Figura 8-2 Curva de potencia activa, medición P1 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo solo BESS descarga.

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

$$MT_{Bruto} = P_1 + P_{central} + P_{SSAA}$$

En donde:

MT Bruta: Corresponden a la potencia medida en los inversores del BESS Don Humberto 0,5222 MW.

P1: Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo solo BESS en descarga en el POI de 110 kV, que para el presente estudio equivale a 0,1374MW.

P_{SSAA}: Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares 0,1967MW.

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

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

P_{Central}: 0,1881 MW.

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

Tabla 8-1 Resumen de mínimo técnico bruto, neta y consumos del modo solo BESS en descarga.

CENTRAL	MODO	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ¹	0,5222	0,1967	0,1881	0,1374
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.						

¹ Se obtiene de la referencia [d].

8.1.1. 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 0,1881MW.

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

8.1.1.1. 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 38,74 [KW]:

$$P_{tr\ poder_vacío} = 38,74 [kW]$$

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 369,7 [kW] y 100 [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:

$$P_{tr\ poder_carga} [kW] = 369,7 \cdot \left(\frac{0,1374}{100} \right)^2 = 0,0007 [kW]$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder_carga} + P_{tr\ poder_vacío} = 0,0007[kW] + 38,74 [kW] = 38,7407[kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a 0,0387 [MW]

8.1.1.2. 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:

- ◆ $Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0387[MW]$
- ◆ $Pérdidas_{Central} = 0,1881 [MW]$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,1881 = 0,0387 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,1494[MW].

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

Tabla 8-2 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 Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	0,1881	0,0387	0,1494
Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector				

8.2. Antecedentes de operación modo parque más bess en descarga

Para la determinación de la potencia mínima técnica del modo parque más BESS descarga, se han tomado los valores del equipo de medida PPC propio del parque. El promedio de las lecturas presentadas en el Anexo III, corresponden a las potencias inyectadas por el BESS (**P3**) en la barra de 33kV de la SE Don Humberto, y la potencia total inyectada en la barra de 110kV de la SE Don Humberto **P1** (ver sección 7.1) entre las 16:33 y las 19:33 del día 20-08-2024. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 17:15 y las 17:30. La potencia promedio **P1** es igual a **0,0534 MW**, y la potencia promedio **P3** tiene un valor de **0,4806 MW**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

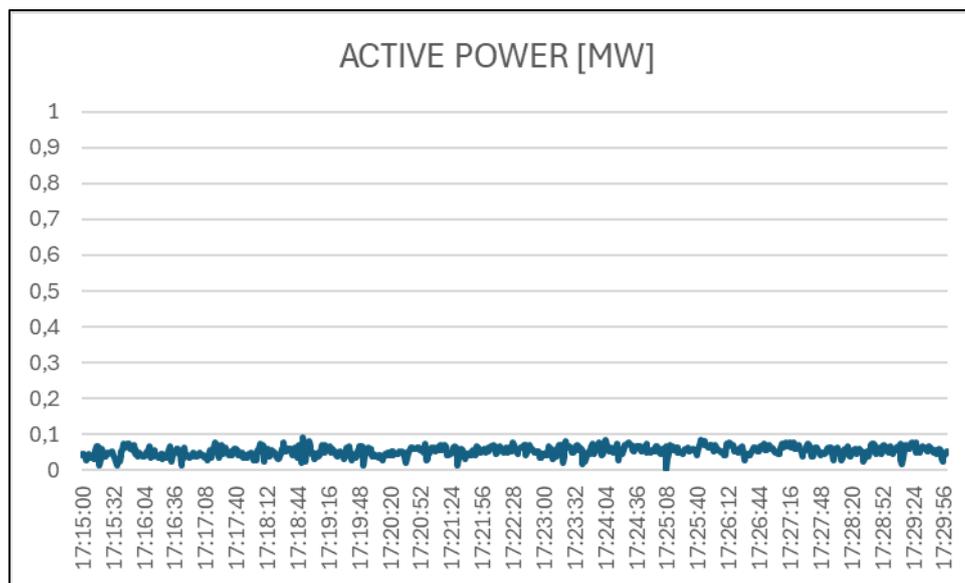


Figura 8-3: Curva de potencia activa, medición P1 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en descarga.

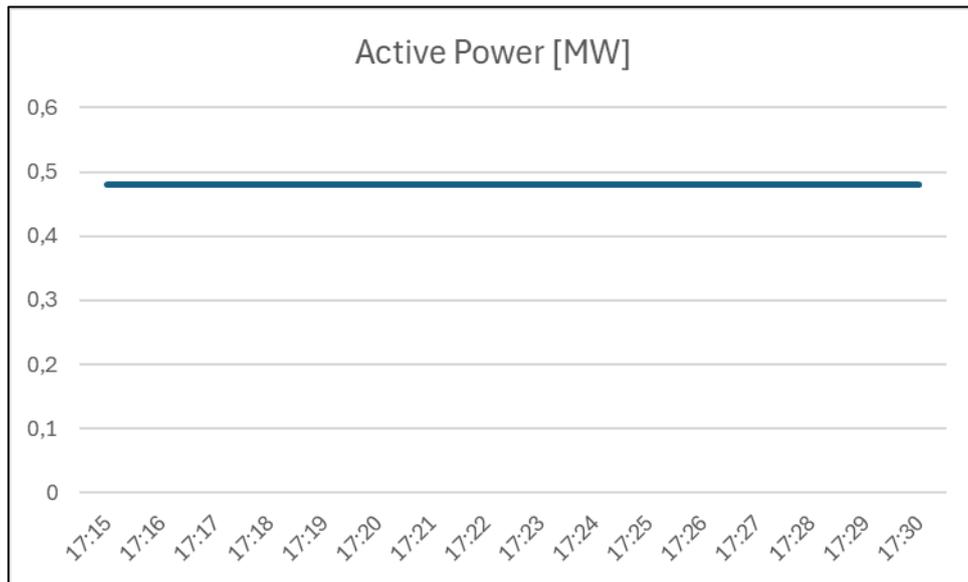


Figura 8-4: Curva de potencia activa, medición P3 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en descarga.

Con respecto al punto **P2** corresponden a las potencias inyectadas por el PFV Don Humberto en la barra de 33kV de la SE Don Humberto, (ver sección 7.1) entre las 16:33 y las 19:33 del día 20-08-2024. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 17:15 a 17:30. La potencia promedio **P2** es igual a **0,2356 MW**, en la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

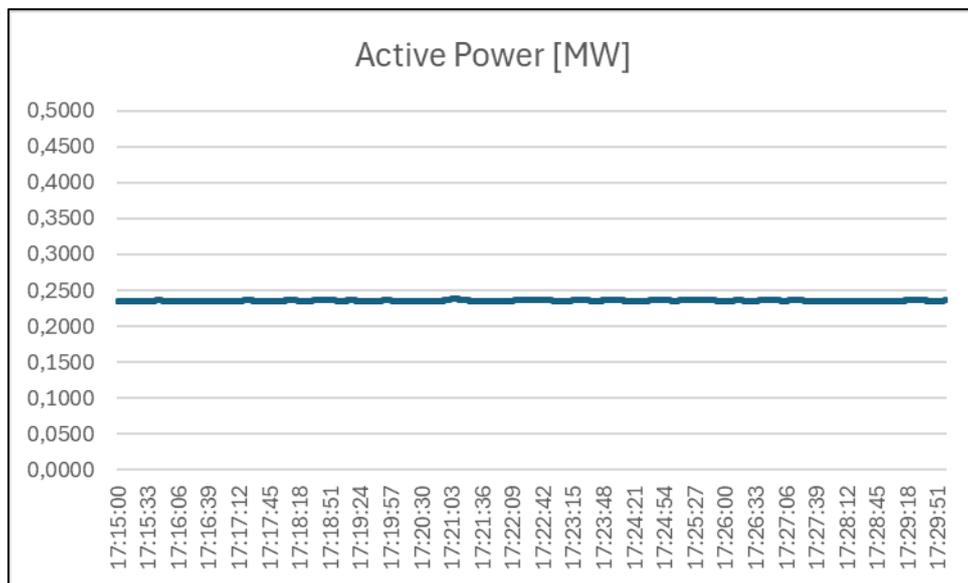


Figura 8-5 Curva de potencia activa, medición P2 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en descarga.

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 0,2202MW (ver Anexo III).

$$P_{ssaa} = 0,2202 \text{ [MW]}$$

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

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

En donde:

MT_{Bruto}: corresponden a la potencia mínima técnica (PFV+BESS en descarga) 0,7162 MW. (P2+P3)

P1: Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo PFV+BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,0534 MW.

P3: Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo PFV+ BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,4806 MW.

P2: Es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima técnica neta del modo PFV+ BESS en descarga, que para el presente estudio equivale a 0,2356MW.

P_{SSAA}: Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares 0,2202MW.

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

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

P_{Central}: 0,4426MW.

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

Tabla 8-3 Resumen de potencias mínima técnica bruta, neta y consumos del modo solo PFV + BESS en descarga.

CENTRAL	MODO	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo descarga) +PFV	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ²	0,7162	0,2202	0,4426	0,0534
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.						

8.2.1. 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 0,4426 MW.

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

8.2.1.1. 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:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\ carga} + P_{tr\ poder\ vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la Tabla 5-1 las cuales poseen un valor de 38,74 [KW]:

$$P_{tr\ poder\ vacio} = 38,74 [kW]$$

² Se obtiene de la referencia [d].

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 369,7 [kW] y 100 [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:

$$P_{tr\ poder_carga} [kW] = 369,7 \cdot \left(\frac{0,0534}{100} \right)^2 = 0,00001 [kW]$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder_carga} + P_{tr\ poder_vacío} = 0,0001 [kW] + 38,74 [kW] = 38,7401 [kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a 0,0387[MW]

8.2.1.1.1. 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:

- ◆ $Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0387 [MW]$
- ◆ $Pérdidas_{Central} = 0,4426 [MW]$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,4426 = 0,0387 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,4039[MW].

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

Tabla 8-4 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 Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo descarga) +PFV	0,4426	0,0387	0,4039
Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector				

8.3. Antecedentes de operación modo parque más bess en carga

Para la determinación de la potencia mínima técnica del modo parque más BESS en carga, se han tomado los valores del equipo de medida PPC propio del parque. El promedio de las lecturas presentadas en el Anexo IV, corresponden a la potencia consumida por el BESS (**P3**) en la barra de 33kV de la SE Don Humberto, y la potencia total inyectada en la barra de 110kV de la SE Don Humberto **P1** (ver sección 7.1) entre las 10:13 y las 12:36 del día 21-08-2024. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 10:45 a 11:00. La potencia promedio **P1** es igual a **0,1503 MW**, y la potencia promedio **P3** tiene un valor de **-0,3386 MW (BESS en modo Carga)**, en la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

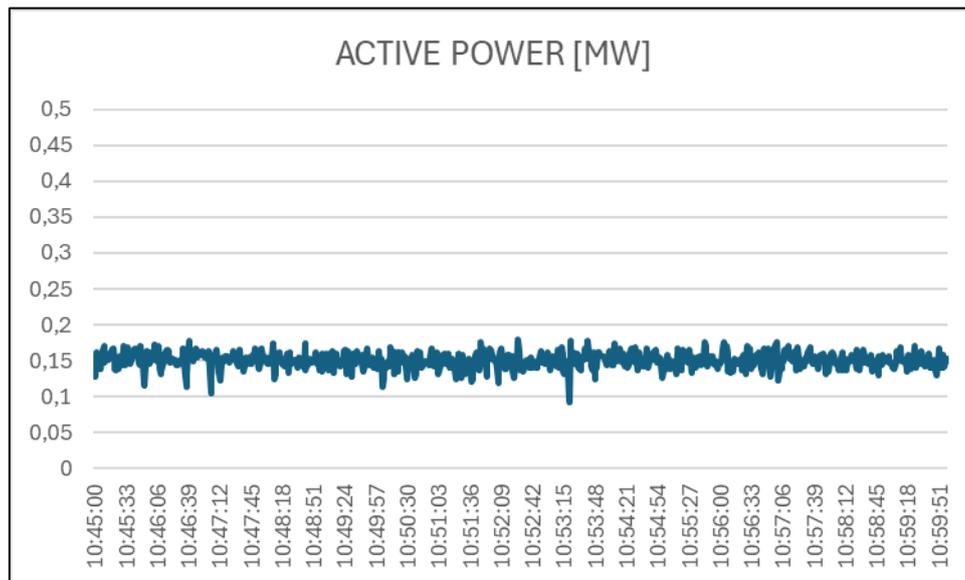


Figura 8-6 Curva de potencia activa, medición P1 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en carga.

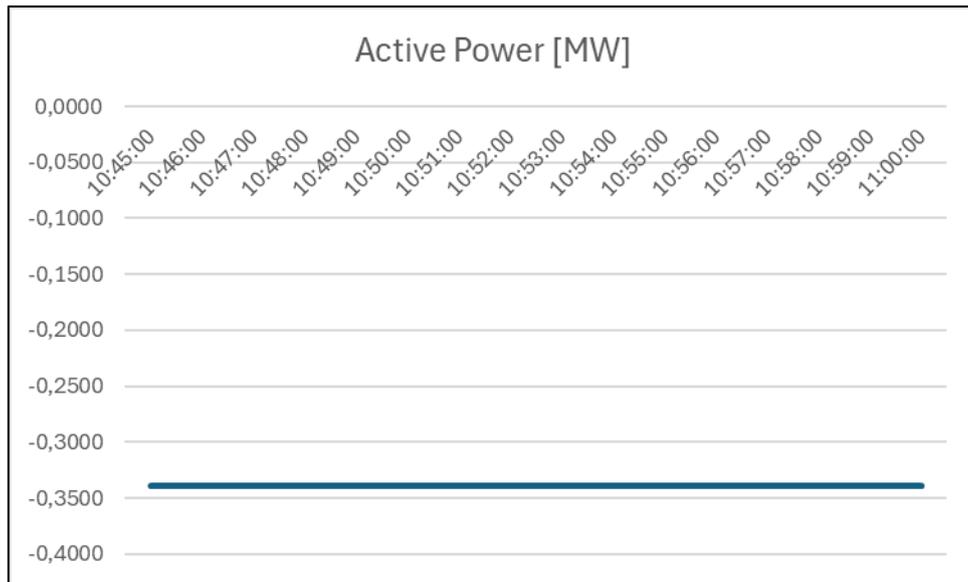


Figura 8-7: Curva de potencia activa, medición P3 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en carga.

Con respecto al punto **P2** corresponden a las potencias inyectadas por el PFV Don Humberto en la barra de 33kV de la SE Don Humberto, (ver sección 7.1) entre las 10:13 y las 12:36 del día 21-08-2024. Luego se consideran los datos de potencia bruta medido por 15 minutos continuos desde las 10:45 y las 11:00. La potencia promedio **P2** es igual a **0,9619 MW**, en la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

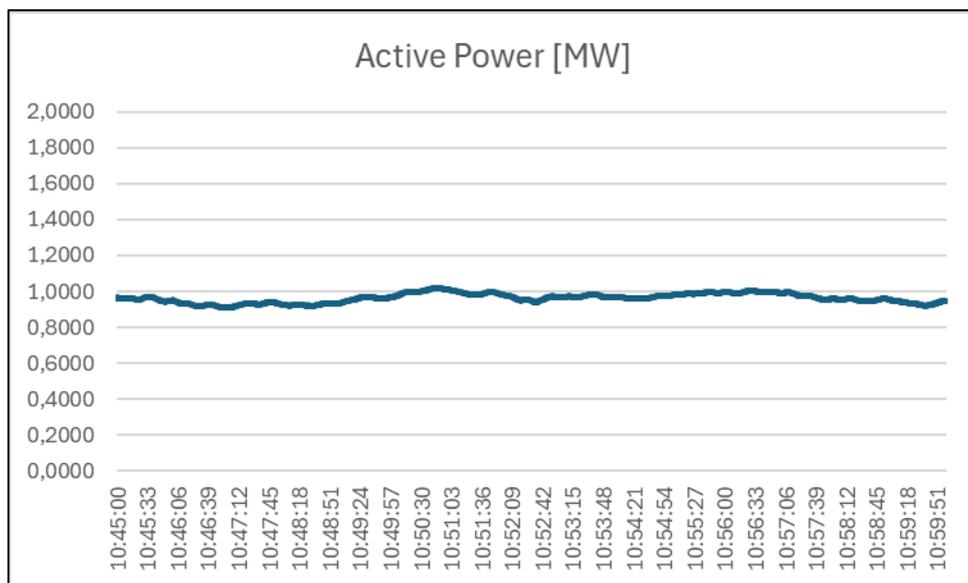


Figura 8-8 Curva de potencia activa, medición P2 dentro de la prueba de potencia mínima técnica en modo parque más BESS en carga.

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 0,0219 MW (ver Anexo IV).

$$P_{ssaa} = 0,0219 \text{ [MW]}$$

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

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

En donde:

MT_{Bruta} : corresponden a la potencia bruta (PFV+BESS en carga) la cual equivale a 0,6233MW (P2 +P3).

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 en el POI de 110 kV, que para el presente estudio equivale a 0,1503MW.

P_3 : Es la potencia definida en la sección 7.1 que para el presente estudio equivale a -0,3386MW.

P_2 : Es la potencia definida en la sección 7.1 que para el presente estudio equivale a 0,9619MW.

P_{SSAA} : Corresponden a las pérdidas de los servicios auxiliares 0,0219 MW.

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

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

$P_{Central}$: 0,4511MW.

Así, se tiene que la potencia mínima técnica del modo PFV+ BESS en carga es igual a:

Tabla 8-5 Resumen de potencias mínima técnica bruta, neta y consumos del modo solo PFV + BESS en carga.

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ³	0,6233	0,0219	0,4511	0,1503
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.						

8.3.1. 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 0,4511 MW.

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

8.3.1.1. 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:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\ carga} + P_{tr\ poder\ vacio}$$

Las pérdidas del transformador de poder, en vacío, fueron presentadas en la Tabla 5-1 las cuales poseen un valor de 38,74[kW]:

$$P_{tr\ poder\ vacio} = 38,74 [kW]$$

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

³ Se obtiene de la referencia [d].

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

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 369,7 [KW] y 100 [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:

$$P_{tr\ poder\ carga} [kW] = 369,7 \cdot \left(\frac{0,1503}{100} \right)^2 = 0,0008 [kW]$$

Entonces las pérdidas totales del transformador de poder resultan de:

$$P_{tr\ poder} = P_{tr\ poder\ carga} + P_{tr\ poder\ vacio} = 0,0008 [kW] + 38,74 [kW] = 38,7408 [kW]$$

Finalmente se determinan las pérdidas asociadas al transformador de poder las cuales corresponden a 0,0387MW]

8.3.1.2. 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:

- ◆ $Pérdidas_{Transformador\ de\ poder} = 0,0387 [MW]$
- ◆ $Pérdidas_{Central} = 0,4511 [MW]$

Finalmente, se reemplazan los valores en la ecuación:

$$0,4511 = 0,0387 + Pérdidas_{Sistema\ colector}$$

Por lo tanto, las pérdidas asociadas al sistema colector corresponden a 0,4124[MW].

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

Tabla 8-6 Desglose pérdidas configuración PFV + BESS en Carga.

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
BESS Don Humberto	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	0,4511	0,0387	0,4124
Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector				

8.4. Antecedentes de operación solo PFV Don Humberto

Para este modo de operación se toma como referencia lo declarado en el NUP2224 PFV Don Humberto según lo indicando en el antecedente [c].

Tabla 8-7 Resumen de potencias mínima técnica bruta, neta y consumos del PFV Don Humberto.

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
PFV Don Humberto	PFV	0,5008	0,0111	0,2684 ⁽¹⁾	0,2213
(1) Este valor incluye las pérdidas del sistema colector de media tensión (0,2645[MW]) y del transformador de poder (0,0387 [MW]) conforme a lo indicado en el antecedente [c].					
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.					

9. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de potencia mínima técnica neta y bruta para el BESS Don Humberto 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 y las pérdidas de la central.

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

Tabla 9-1 Parámetros de Potencia Mínima técnica de la Central BESS Don Humberto.

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	TIEMPO DE CARGA/DESCARGA [HR]	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	SSAA [MW]	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	POTENCIA MÍNIMA NETA [MW]
BESS Don Humberto	PFV	N/A	0,5008	0,0111	0,2684 ⁽¹⁾	0,2213
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ⁴	0,5222	0,1967	0,1881	0,1374
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga) +PFV	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ⁵	0,7162	0,2202	0,4426	0,0534
	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	2,0958 [HR]/ 2,1482 [HR] ⁶	0,6233	0,0219	0,4511	0,1503
Mínimo Técnico bruto = Mínimo Técnico neto + Pérdidas en la central + consumos de SS.AA.						

De la tabla anterior se destaca que, la prueba en modo Solo BESS Carga no se incluye dentro del documento dado que esta condición de operación no se encuentra autorizada por el Coordinador. En operación normal la central (PFV Don Humberto) será utilizada para cargar al BESS e inyectar el excedente al sistema.

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

Tabla 9-2 Desglose Pérdidas de la Central.

CENTRAL	CONFIGURACIÓN	PÉRDIDAS EN LA CENTRAL [MW]	PÉRDIDAS EN TRANSFORMADOR DE PODER [MW]	PÉRDIDAS EN SISTEMA COLECTOR [MW]
BESS Don Humberto	PFV	0,2684	0,0387	0,2645
	Sistema de almacenamiento (modo Descarga)	0,1881	0,0387	0,1494
	Sistema de almacenamiento (modo descarga) +PFV	0,4426	0,0387	0,4039
	Sistema de almacenamiento (modo Carga) +PFV	0,4511	0,0387	0,4124
Pérdidas en la central = Pérdidas transformador de poder + pérdidas en sistema colector				

⁴ Se obtiene de la referencia [d].

⁵ Se obtiene de la referencia [d].

⁶ Se obtiene de la referencia [d].

10. ANEXOS

10.1. ANEXO I – Mediciones obtenidas el día de 19-08-2024

El Anexo I – Mediciones obtenidas el día 19-08-2024 se encuentra adjunto

10.2. ANEXO II – CURVA PQ BESS DON HUMBERTO

El Anexo II – Curva PQ BESS Don Humberto

10.3. ANEXO III – Mediciones obtenidas el día de 20-08-2024

El Anexo III – Mediciones obtenidas el día 20-08-2024 se encuentra adjunto

10.4. ANEXO IV – Mediciones obtenidas el día de 21-08-2024

El Anexo IV – Mediciones obtenidas el día 21-08-2024 se encuentra adjunto

10.5. ANEXO V – INFORMACIÓN DEL BESS

El Anexo V – la información asociada al BESS se encuentra adjunto