

Empresa
País
Proyecto
Descripción

AES ANDES
Chile
BESS Alfalfal VR2
Informe de Mínimo Técnico

aes Chile

CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-111
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2023-1384
REVISIÓN A

14 nov. 23



Este documento **EE-EN-2023-1384-RA** fue preparado para AES ANDES por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

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

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

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

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

Este documento contiene 29 páginas y ha sido guardado por última vez el 14/11/2023 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	14.11.2023	Para presentar.	JE	CiC	AC

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



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
	1.1 Descripción de personal participante	5
	1.2 Equipamiento utilizado.....	5
	1.3 Definiciones y Nomenclatura	5
2	Aspectos Normativos	7
3	Descripción de la planta.....	8
	3.1 Unifilar de planta.....	9
	3.2 Datos de los inversores	11
	3.3 Datos del transformador principal	13
	3.4 Datos de los transformadores de bloque.....	14
	3.5 Determinación de consumos de SSAA de planta.....	15
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO	16
	4.1 Mínimo Técnico Parque Completo – Carga	17
	4.1.1 Potencia de Servicios Auxiliares	18
	4.1.2 Potencia de Pérdidas en la central.....	18
	4.1.3 Potencia Neta	20
	4.1.4 Potencia Bruta	20
	4.1.5 Resultados.....	21
	4.2 Mínimo Técnico Parque Completo – Descarga	22
	4.2.1 Potencia de Servicios Auxiliares	23
	4.2.1 Potencia de Pérdidas en la central.....	23
	4.2.1 Potencia Neta	25
	4.2.2 Potencia Bruta	25
	4.2.3 Resultados.....	26
5	Conclusiones	27
6	ANEXOS	28
	6.1 Consumo de SSAA en planta	28
	6.2 Certificado de calibración del medidor de energía.....	29



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del BESS Alfafal VR2 de acuerdo con la metodología mostrada en el procedimiento de ensayos, documento: “EE-EN-2023-1225-RA-Procedimiento_Ensayos_PPOO_VR2_Alfafal”.

Las pruebas descritas han sido acordadas con el Coordinador Eléctrico Nacional y se basan en la versión preliminar de la “Guía de Verificación de Equipos BESS” emitida por el CEN y las características nominales del proyecto.

El BESS Alfafal VR2 tiene una capacidad instalada en AC de 53.4 MW y está constituido por 15 inversores marca Power Electronics modelo FP3670K, de 3.67/3.80 MVA (@50/40°C) de capacidad nominal y 690 V de tensión nominal. Cuenta con 4 transformadores de bloque de tres devanados de relación 0.69 kV / 0.69 kV / 34.5 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) y 7.6 MVA de potencia aparente nominal y 7 transformadores de bloque de dos devanados de relación 0.69 kV / 34.5 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) y 3.8 MVA de potencia aparente nominal.

A cada uno de 8 inversores de la planta se conectan 18 cubos de baterías, en tanto, en los 7 inversores restantes se conectan 16 cubos de baterías, totalizando 256 cubos de baterías. Cada cubo de baterías se compone de 3 *string* compuesto por 15 módulos cada uno. Finalmente, cada módulo contiene 48 baterías de 406.6 Wh cada una, en un arreglo de 24 baterías en serie por 2 en paralelo. Entonces, la instalación cuenta con 552,960 baterías que totalizan los 224.8 MWh mencionados anteriormente.

Por lo tanto, por el lado DC el BESS Alfafal VR2 cuenta con una capacidad instalada de 224.8 MWh con el propósito de exportar 197 MWh en la barra principal de 33 kV de la instalación.

El BESS Alfafal VR2 cuenta con un transformador de poder de relación 33 kV / 230 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) de 45/64 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. El lado de alta del transformador de poder se conecta a los paños JT1 y JT2, correspondientes al lado de 220 kV de los transformadores elevadores de las unidades 1 y 2 de la central hidroeléctrica Alfafal, siendo este el punto de interconexión (POI) del BESS con el SEN.

La descarga se realiza en dos modos de operación según el diseño presentado por el fabricante:

- Escenario 1: Carga/Descarga a 49.25 MW en barra de 33 kV durante 4 horas
- Escenario 2: Carga/Descarga a 39.4 MW en barra de 33 kV durante 5 horas

1.1 Descripción de personal participante

Personal	Fecha
Ing. Nicolas Silva	29 de agosto de 2023
	27 de septiembre de 2023
	04 de octubre de 2023

Tabla 1.1 – Nómina del personal participante durante los ensayos

1.2 Equipamiento utilizado

Denominación	Marca	Modelo	N° de serie
Adquisidor	Janitza	UMG604	5216/002

Tabla 1.2 – Equipos utilizados

1.3 Definiciones y Nomenclatura

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

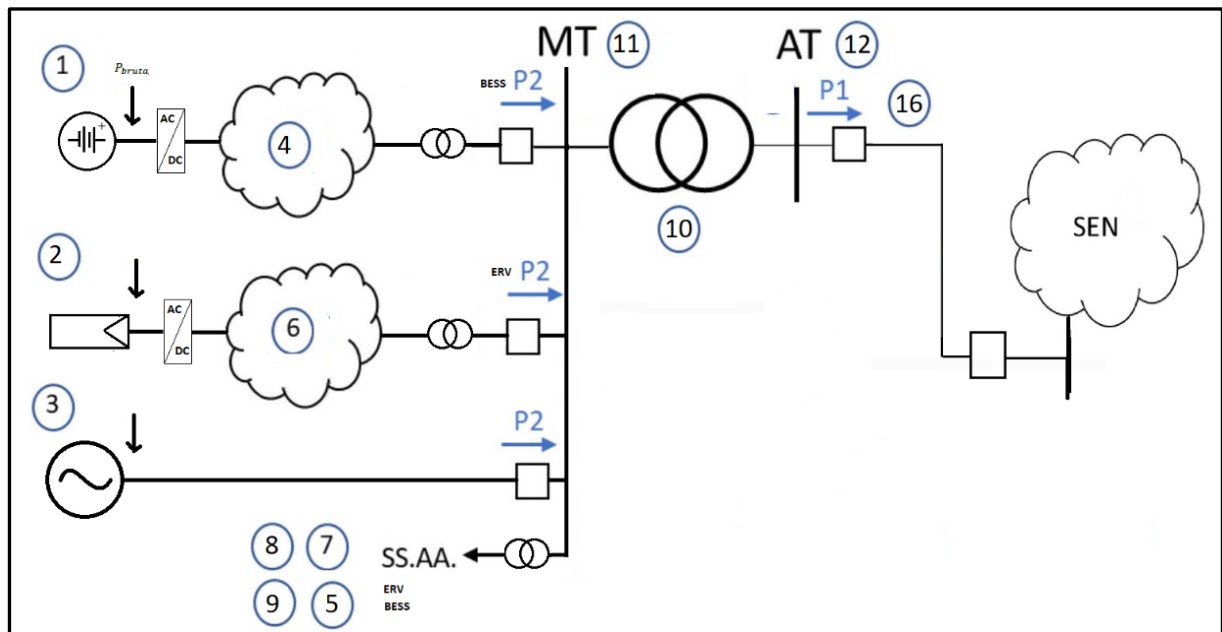


Figura 1.1 – Sistema equivalente de conexión de BESS



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



2 Aspectos Normativos

El “Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Tal como se ha mencionado anteriormente, se ha desarrollado un procedimiento de ensayos específico considerando lo mencionado en el Anexo Técnico y lo presentado en la versión preliminar del documento “Guía de Verificación de Equipos BESS” emitida por el CEN, junto a las características nominales del proyecto.



3 Descripción de la planta

El BESS Alfalfal VR2 tiene una capacidad instalada en AC de 53.4 MW y está constituido por 15 inversores marca Power Electronics modelo FP3670K, de 3.67/3.80 MVA (@50/40°C) de capacidad nominal y 690 V de tensión nominal. Cuenta con 4 transformadores de bloque de tres devanados de relación 0.69 kV / 0.69 kV / 34.5 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) y 7.6 MVA de potencia aparente nominal y 7 transformadores de bloque de dos devanados de relación 0.69 kV / 34.5 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) y 3.8 MVA de potencia aparente nominal.

En 8 inversores de la planta se conectan 18 cubos de baterías, en tanto, en los 7 inversores restantes se conectan 16 cubos de baterías, totalizando 256 cubos de baterías. Cada cubo de baterías se compone de 3 *string* compuesto por 15 módulos cada uno. Finalmente, cada módulo contiene 48 baterías de 406.6 Wh cada una, en un arreglo de 24 baterías en serie por 2 en paralelo. Entonces, la instalación cuenta con 552,960 baterías que totalizan los 224.8 MWh mencionados anteriormente.

Por lo tanto, por el lado DC el BESS Alfalfal VR2 cuenta con una capacidad instalada de 224.8 MWh con el propósito de exportar 197 MWh en la barra principal de 33 kV de la instalación.

El BESS Alfalfal VR2 cuenta con un transformador de poder de relación 33 kV / 230 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$) de 45/64 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. El lado de alta del transformador de poder se conecta a los paños JT1 y JT2, correspondientes al lado de 220 kV de los transformadores elevadores de las unidades 1 y 2 de la central hidroeléctrica Alfalfal, siendo este el punto de interconexión (POI) del BESS con el SEN.

Cabe destacar que el sistema de control de la instalación realiza la regulación en la barra principal de 33 kV y es en dicho punto donde se han definido las especificaciones de operación del BESS relacionadas con los ciclos de carga y descarga.

La descarga se realiza en dos modos de operación según el diseño presentado por el fabricante:

- Escenario 1: Carga/Descarga a 49.25 MW en la barra principal de 33 kV, durante 4 horas
- Escenario 2: Carga/Descarga a 39.4 MW en la barra principal de 33 kV, durante 5 horas



3.1 Unifilar de planta

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unifilar del punto de interconexión (POI). En tanto, en la Figura 3.2 se presenta la distribución de los equipos en la red interna de la instalación.

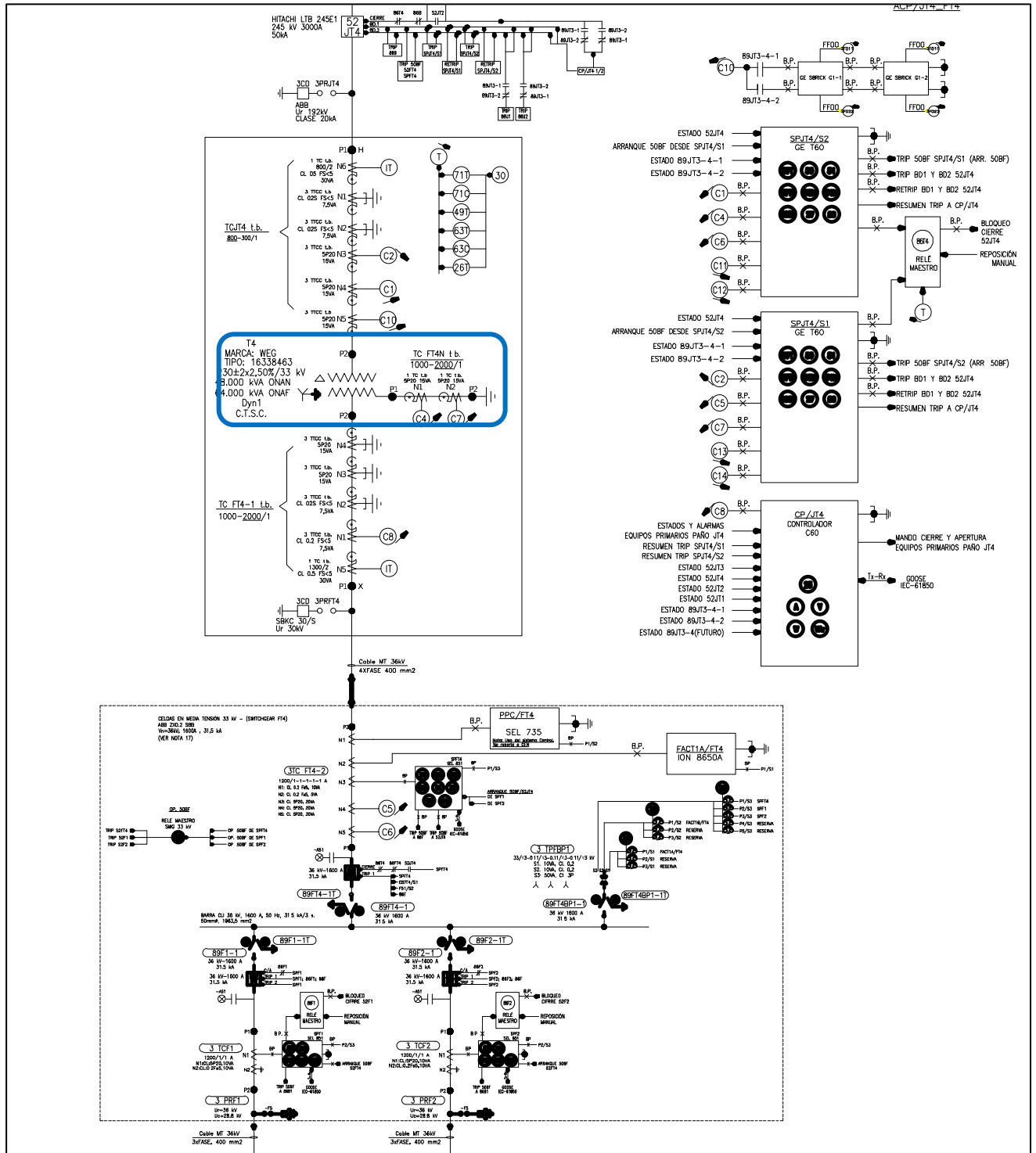


Figura 3.1 – Diagrama unifilar punto de interconexión BESS Alfalfal VR2

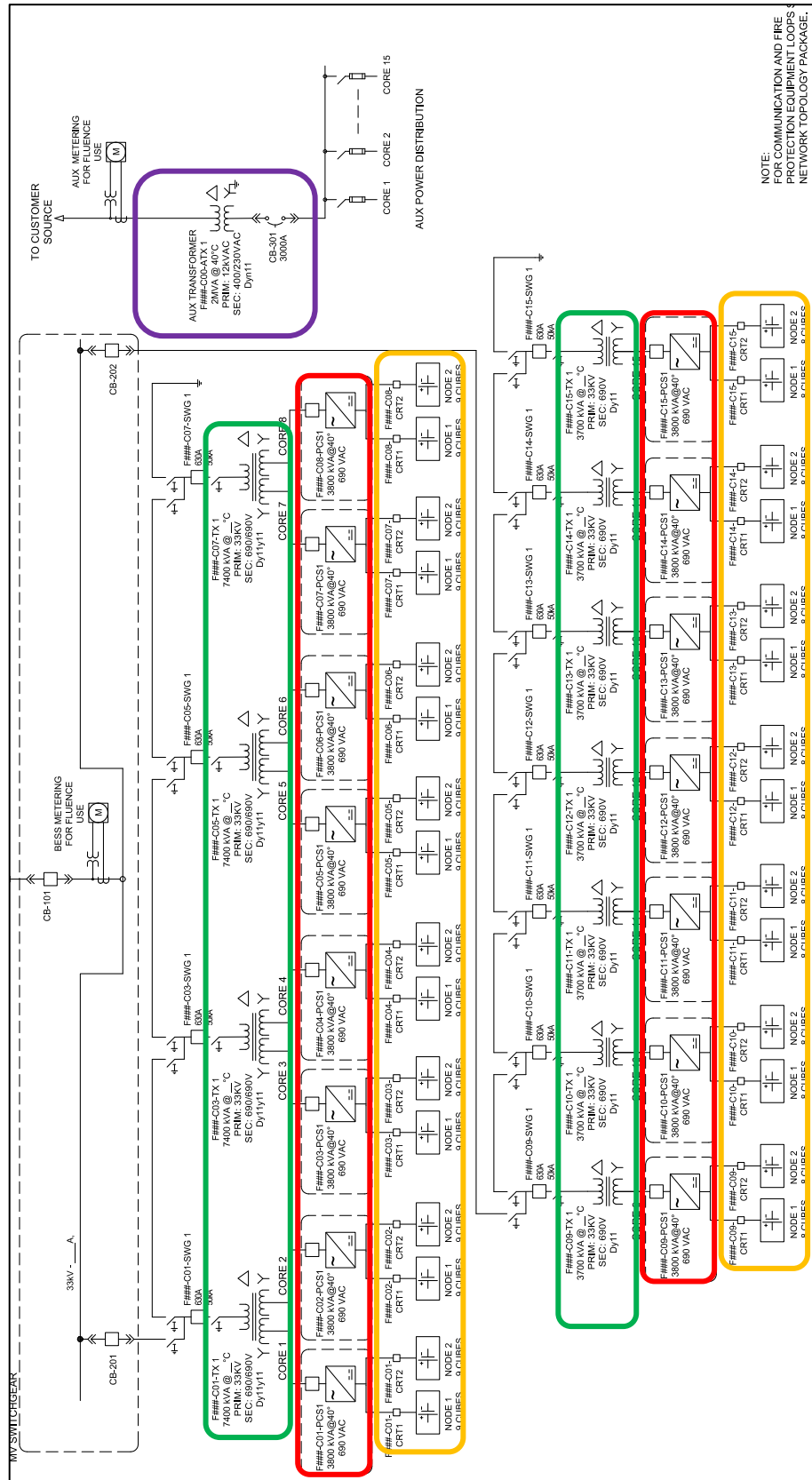


Figura 3.2 – Diagrama unilínea red de media tensión BESS Alfalfal VR2



Con el objetivo de describir correctamente la operación de la instalación en cada uno de los ensayos propuestos, se presenta en la Figura 3.2 el detalle de la red interna del BESS Alfalfal VR2.

En el recuadro **naranja** se muestran los módulos de baterías y el recuadro **rojo** presenta los inversores en cuya salida AC se realiza la medición de potencia bruta.

En el recuadro **verde** se muestran los transformadores de bloque y en el recuadro **azul** de la Figura 3.1 el transformador principal, equipos que concentrarán las pérdidas. La medición de potencia neta se realiza en el lado de alta del transformador principal.

Finalmente, en el recuadro **morado** de la Figura 3.2 se muestra el transformador de servicios auxiliares, donde se miden los consumos propios de la instalación, los cuáles junto a los consumos propios de los inversores representan los consumos auxiliares de la instalación en su totalidad.

3.2 Datos de los inversores

El BESS Alfalfal VR2 está constituido por quince (15) inversores Power Electronics modelo FP3670K, de 3.67/3.80 MVA (@50/40°C) de capacidad nominal y 690 V de tensión nominal. Los parámetros nominales del inversor se presentan en la Figura 3.3.

		FRAME 1	FRAME 2
NUMBER OF MODULES		4	6
REFERENCES		FP2445K	FP3670K
AC	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	2445	3670
	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2530	3800
	Max. AC Output Current (A) @50°C	2047	3070
	Max. AC Output Current (A) @40°C	2117	3179
	Operating Grid Voltage (VAC)	690V ±10%	
	Operating Grid Frequency (Hz)	50/60 Hz	
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519	
	Power Factor (cosine phi) ^[2]	0.5 leading...0.5 lagging	
	Reactive power compensation	Four quadrant operation	
	DC	DC Voltage Range (full power)	976V-1310V
Maximum DC voltage		1500V	
DC Voltage Ripple		< 3%	
Max. DC continuous current (A)		2646	3969
Max. DC short circuit current (A)		180kA / 5ms	
Battery Technology		All type of batteries (BMS required)	
Battery Connections		Up to 18 positive and 18 negative connections	

Figura 3.3 – Datos de inversor Power Electronics FP3670K



Se aprecia en la Figura 3.4 , que el máximo consumo de potencia en operación es de 10 kW en máxima carga y se considerará dicho valor en el cálculo de consumos de Servicios Auxiliares del parque.

EFFICIENCY & AUX. SUPPLY	Efficiency (Max) (η)	98.87%	98.93%
	Euroeta (η)	98.48%	98.65%
	Max. Power Consumption (kVA)	8	10

Figura 3.4 - Detalle de consumos propios de los inversores.

La curva de capacidad de los inversores cumple con la forma mostrada en la Figura 3.5.

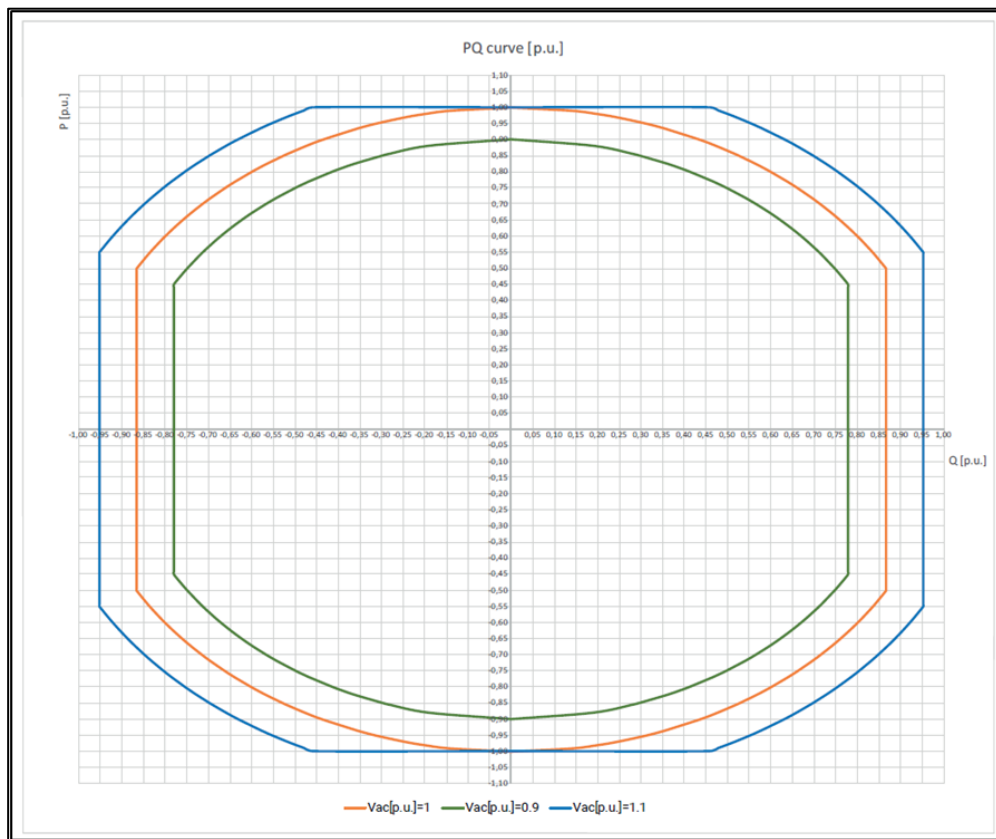


Figura 3.5 – Curva de capacidad del inversor



3.3 Datos del transformador principal

El BESS Alfalfal VR2 se interconecta al SEN por medio de un transformador elevador de dos devanados de relación 33 kV / (230 kV \pm 2 x 2.5%) y de capacidad 48/64 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. El lado de alta del transformador se conecta a los paños JT1 y JT2, correspondientes al lado de 220 kV de los transformadores elevadores de las unidades 1 y 2 de la central hidroeléctrica Alfalfal. El transformador cuenta con cambiador de tomas el cual no puede ser operado bajo carga.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.1 los parámetros más relevantes para el modelado del transformador.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	48/64MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	230 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Grupo de conexión	Dyn1
Impedancia	14.63 %
Pérdidas en carga	216.631 kW
Pérdidas en vacío	39.778 kW
Posiciones de TAP	\pm 2 x 2.5%

Tabla 3.1 – Datos del transformador principal



3.4 Datos de los transformadores de bloque

El BESS Alfalfal VR2 cuenta con once (11) transformadores de bloque, cuatro (4) de ellos corresponden a transformadores de 3 devanados de 7.6 MVA de potencia aparente nominal cada uno. Los siete (7) restantes corresponden a transformadores de 2 devanados de 3.8 MVA de potencia aparente nominal cada uno.

En ambos casos, el devanado de baja tensión permite la interconexión de los inversores en 690 V y los devanados de media tensión permiten la inyección de potencia en la red de 34.5 kV. Los transformadores cuentan con cambiador de tomas el cual no puede ser operado bajo carga.

A continuación, se presenta en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3 los parámetros más relevantes para el modelado de los transformadores.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	7600 kVA
Tensión nominal lado HV	34500 V
Tensión nominal lado LV	690 V
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia	8.0 %
Pérdidas en carga	52 kW
Pérdidas en vacío	6.1 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

Tabla 3.2 - Datos de los transformadores de bloque de 3 devanados

Parámetro	Valor
Potencia nominal	3800 kVA
Tensión nominal lado HV	34500 V
Tensión nominal lado LV	690 V
Grupo de conexión	Dy11
Impedancia	7.77 %
Pérdidas en carga	33.2 kW
Pérdidas en vacío	3.27 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

Tabla 3.3 - Datos de los transformadores de bloque de 2 devanados



3.5 Determinación de consumos de SSAA de planta

A través de los ensayos realizados en la planta BESS Alfalfal VR2, se detalla a continuación el dimensionamiento de las cargas esenciales y no esenciales de los servicios auxiliares derivado de las mediciones.

Estos consumos corresponden a consumo de cargas esenciales:

$$P_{SSAA,ESENCIALES} = 0.080 \text{ kW}$$

Consumo de cargas no esenciales:

$$P_{SSAA,NO_ESENCIALES} = 0.0886 \text{ kW}$$

Estos valores han sido verificados en terreno y se presentan fotografías de los medidores en el anexo 6.1. El valor total de cargas, considerando consumos esenciales y no esenciales, es inferior a 1 kW y, por lo tanto, no será considerado en la determinación de los valores de Potencia Máxima.

Cabe destacar que los consumos principales de la subestación vienen alimentados en 12 kV desde la S/E Ex Los Maitenes, tal como se presenta en la Figura 3.6

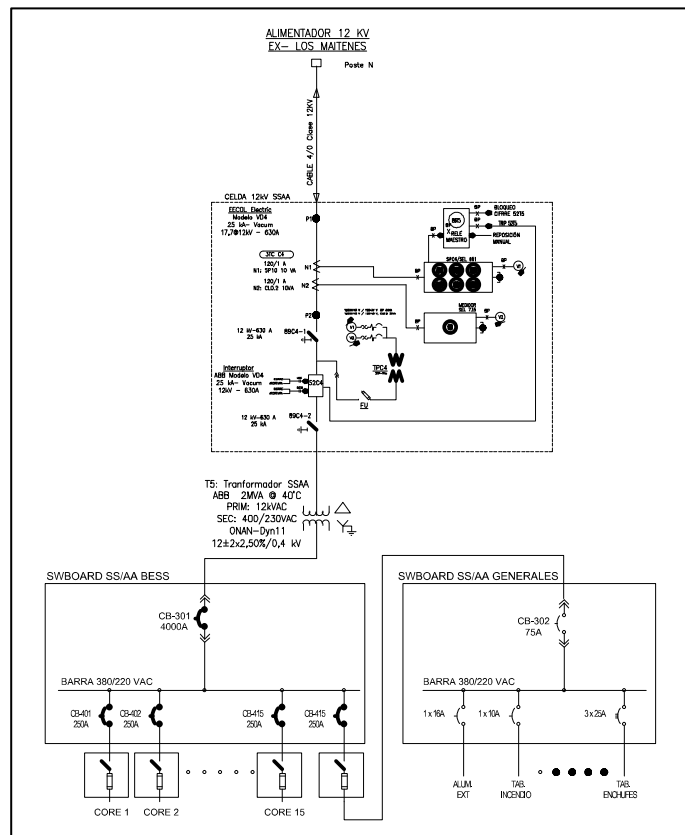


Figura 3.6 – Alimentación de SSAA de la instalación



4 DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO

El Mínimo Técnico corresponde al menor valor de potencia activa bruta que el parque es capaz de mantener de manera estable. Se determinan valores de Mínimo Técnico, considerando distintas condiciones operativas del BESS Alfalfal VR2, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- Ensayo MT 1: Inyectar el valor mínimo de potencia a nivel de POI que permita la operación estable de los inversores en modalidad de inyección (descarga) de energía. Este valor de potencia podría ser 0 MW en el POI con los inversores inyectando potencia para compensar las pérdidas internas de la instalación y el consumo de servicios auxiliares.
- Ensayo MT 2: Absorber el valor mínimo de potencia a nivel de POI que permita la operación estable de los inversores en modalidad de absorción (carga) de energía. Este valor debe ser el que permita compensar las pérdidas internas de la instalación, el consumo de servicios auxiliares desde la red y un flujo hacia las baterías, es decir, absorción por parte de los inversores.

Se determina el Mínimo Técnico en condiciones de inyección y absorción, manteniendo cada condición durante al menos una hora, según se ha acordado en el procedimiento de ensayos.

Para cada una de las pruebas de Mínimo Técnico realizadas, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
BESS Alfalfal	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del BESS Alfalfal VR2.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores (considerando todos los inversores en servicio), más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en el lado de 220 kV del transformador principal de la instalación.



4.1 Mínimo Técnico– Carga

A continuación, se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando todos los inversores en servicio, lo que corresponde a la operación normal de la instalación. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de inversores en servicio en modalidad de absorción (carga) de energía.

En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia absorbida en la barra de 33 kV de la instalación considerando todos los inversores del parque en servicio.

Esta condición se ha mantenido por 1 hora, según lo acordado en el procedimiento de ensayos.

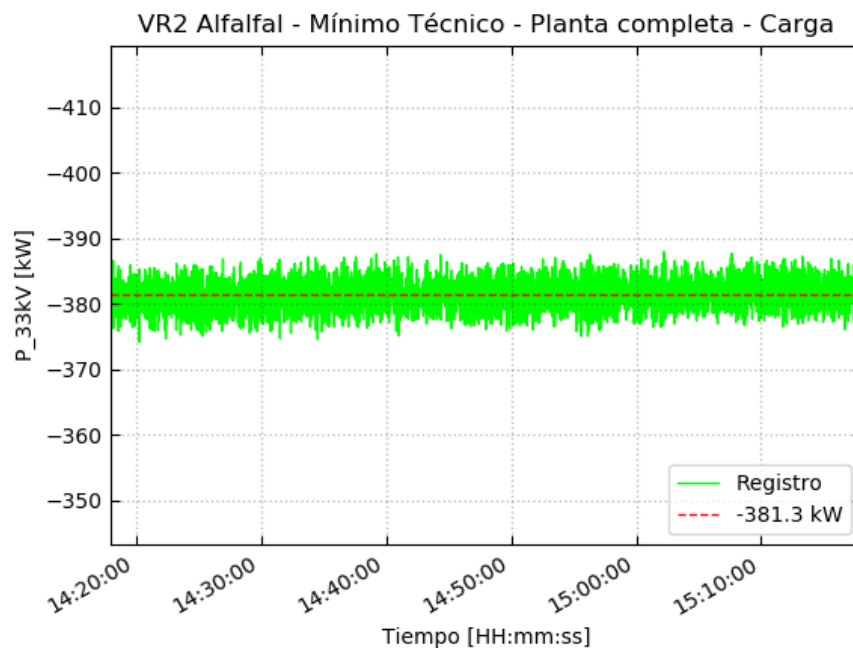


Figura 4.1 – Mínimo Técnico en Carga – Todos los inversores en servicio

En las siguientes secciones se presentan los cálculos para determinar los valores desglosados según se muestra en la Tabla 4.1.

4.1.1 Potencia de Servicios Auxiliares

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

Tal como se ha mencionado, los consumos propios de cada inversor se ha dimensionado en 10 kW. En tanto, la potencia de servicios auxiliares de la instalación no ha sido considerada por ser de una magnitud muy baja, según se muestra en la sección 3.5.

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

$$P_{SSAA} = \sum_i \text{Consumos propios}_i$$

$$P_{SSAA} = 15 \times 0.01 \text{ MW} = 0.15 \text{ MW}$$

4.1.2 Potencia de Pérdidas en la central

La **Potencia de Pérdidas en la central** ($P_{perd,central}$) corresponde a las pérdidas en el sistema colector de media tensión y el transformador de principal de poder de la instalación.

Para determinar el valor de perdidas asociadas a cada elemento y de manera de obtener el valor de potencia bruta de la central, se realizan simulaciones de flujo de potencia sobre el modelo completo del BESS Alfalfal VR2 desarrollado en DigSilent. El modelo fue desarrollado y validado por Estudios Eléctricos y se presenta en la Figura 4.2.

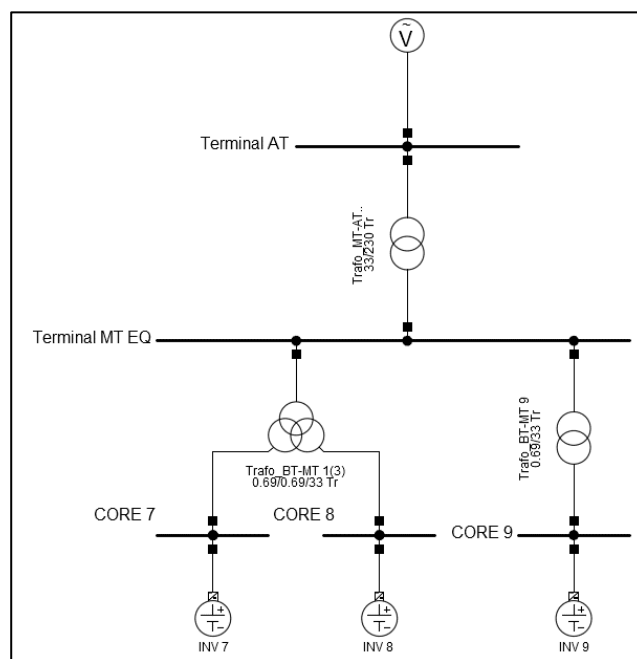


Figura 4.2 – Modelo equivalente desarrollado en DigSilent



Para realizar la simulación, se debe hallar la potencia generada por cada inversor, y para esto se procede a despacharlos por igual de modo de conseguir la potencia registrada a nivel de 33 kV.

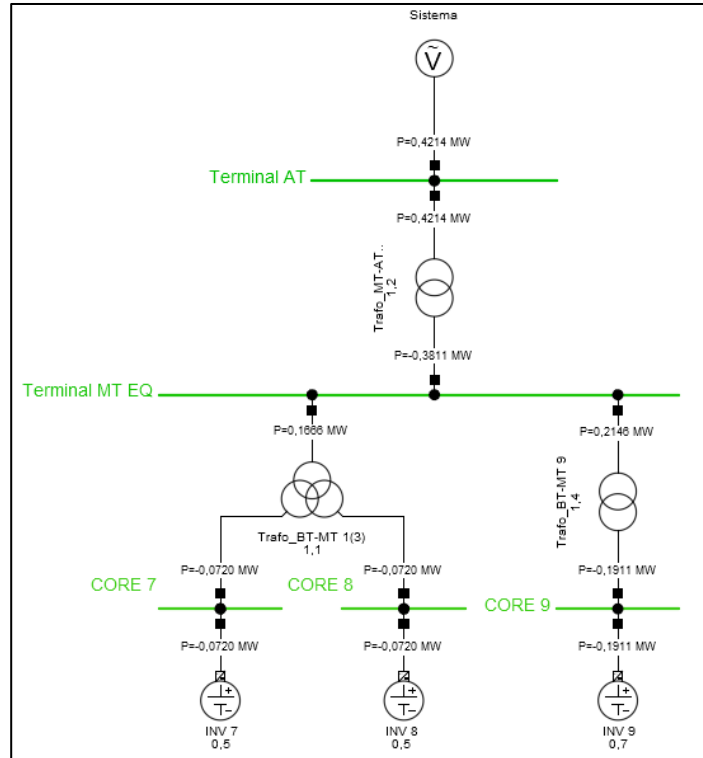


Figura 4.3 – Modelo equivalente desarrollado en DigSilent (Flujo de potencia)

A partir de los resultados del flujo de potencia presentados en la Figura 4.3, se puede determinar las pérdidas asociadas al sistema colector ($P_{perd,MT}$) de 33 kV. La potencia de pérdidas se calcula como la diferencia entre la potencia inyectada por la barra colectora del lado de 33 kV de los transformadores de bloque y la potencia aportada por cada uno de los inversores que forman al BESS Alfalfal VR2.

$$P_{perd,MT} = P_{redMT,3dev} + P_{redMT,2dev} - P_{Inv7} - P_{Inv8} - P_{Inv9}$$

$$P_{perd,MT} = 0.1666 \text{ MW} + 0.2146 \text{ MW} - 0.0720 \text{ MW} - 0.0720 \text{ MW} - 0.1911 \text{ MW}$$

$$P_{perd,MT} = 0.0461 \text{ MW}$$

A este valor hay que agregarle las pérdidas estimadas en el transformador principal para obtener las pérdidas totales de la instalación.



Las pérdidas del transformador principal ($P_{perd,tr_{ppal}}$) consideran el valor de pérdidas en vacío junto a las pérdidas en carga según la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = P_{perd,carga,tr_{ppal}} + P_{perd,vacío,tr_{ppal}}$$

No obstante, en este caso las pérdidas del transformador principal serán determinadas directamente del flujo de potencia de DigSilent considerando la diferencia entre los valores de potencia calculados en los devanados de 33 kV y 220 kV.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = P_{33kV} - P_{220kV}$$

$$P_{perd,tr_{ppal}} = -0.3811 \text{ MW} - (-0.4214 \text{ MW}) = 0.0403$$

Entonces, el valor total de Potencia de Pérdidas en la central es el siguiente.

$$P_{perd,central} = P_{perd,MT} + P_{perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{perd,central} = 0.0461 \text{ MW} + 0.0403 \text{ MW} = 0.0864 \text{ MW}$$

4.1.3 Potencia Neta

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

$$P_{Neta} = P_{33kV} - P_{perd,tr_{ppal}}$$

En base a los resultados del flujo de potencia se obtiene lo siguiente.

$$P_{Neta} = -0.4214 \text{ MW}$$

4.1.4 Potencia Bruta

Para poder determinar la potencia bruta, es necesario calcular el valor de potencia de pérdidas totales del parque. La potencia de pérdidas totales considera las pérdidas en carga del transformador principal, la pérdida de los inversores propios, así como la potencia asociada a consumos de servicios auxiliares.

$$P_{bruta} = P_{Neta} + L_{Totales}$$



El valor de Potencia de Pérdidas Totales debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- P_{SSAA} : Potencia de servicios auxiliares.
- $P_{Perd,redMT}$: Pérdidas en la red colectora de media tensión.

A partir de los valores de pérdidas determinados en los capítulos anteriores se puede determinar la potencia de pérdidas totales con la siguiente ecuación:

$$L_{Totales} = P_{SSAA} + P_{perd,central}$$

$$L_{Totales} = 0.15 \text{ MW} + 0.0864 \text{ MW} = 0.2364 \text{ MW}$$

Con este valor de pérdidas totales y la Potencia Neta Medida (Ver Figura 4.1), se puede determinar la potencia bruta de la planta

$$P_{bruta} = P_{Neta} + L_{Totales}$$

$$P_{bruta} = -0.4214 \text{ MW} + 0.2364 \text{ MW} = -0.1850 \text{ MW}$$

Cabe aclarar que el valor obtenido de potencia bruta considera el despacho de los inversores y el valor de consumos propios descontados.

Este valor de potencia bruta implica un despacho aproximado de -12.3 kW, es decir, un valor muy cercano a cero donde se comienza a dar un proceso de carga de baterías.

4.1.5 Resultados

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

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS Alfalfal VR2	-0.1850	0.1500	0.0864	-0.4214

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – BESS Alfalfal VR2 - Carga



4.2 Mínimo Técnico Parque Completo – Descarga

A continuación, se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de inversores en servicio en modalidad de inyección (descarga) de energía.

En la Figura 4.4 se muestra el registro de potencia inyectada en la barra de 33 kV de la instalación considerando todos los inversores del parque en servicio.

Esta condición se ha mantenido por 1 hora, según lo acordado en el procedimiento de ensayos.

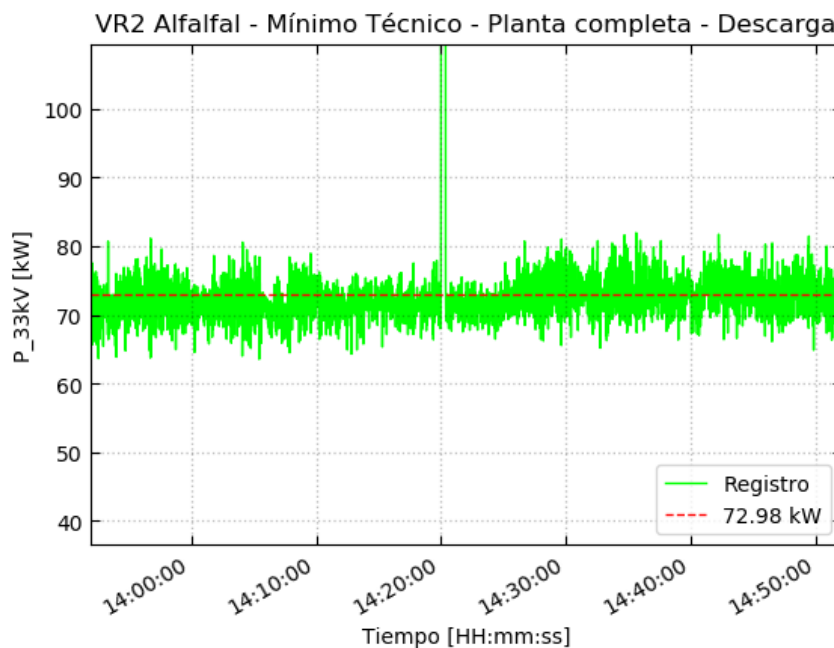


Figura 4.4 – Mínimo Técnico en Descarga – Todos los inversores en servicio

En las siguientes secciones se presentan los cálculos para determinar los valores desglosados según se muestra en la Tabla 4.1.

4.2.1 Potencia de Servicios Auxiliares

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

Tal como se ha mencionado, los consumos propios de cada inversor se ha dimensionado en 10 kW. En tanto, la potencia de servicios auxiliares de la instalación no ha sido considerada por ser de una magnitud muy baja, según se muestra en la sección 3.5.

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

$$P_{SSAA} = \sum_i \text{Consumos propios}_i$$

$$P_{SSAA} = 15 \times 0.01 \text{ MW} = 0.15 \text{ MW}$$

4.2.1 Potencia de Pérdidas en la central

La **Potencia de Pérdidas en la central** ($P_{perd,central}$) corresponde a las pérdidas en el sistema colector de media tensión y el transformador de principal de poder de la instalación.

Para determinar el valor de perdidas asociadas a cada elemento y de manera de obtener el valor de potencia bruta de la central, se realizan simulaciones de flujo de potencia sobre el modelo completo del BESS Alfalfal VR2 desarrollado en DigSilent. El modelo fue desarrollado y validado por Estudios Eléctricos y se presenta en la Figura 4.5.

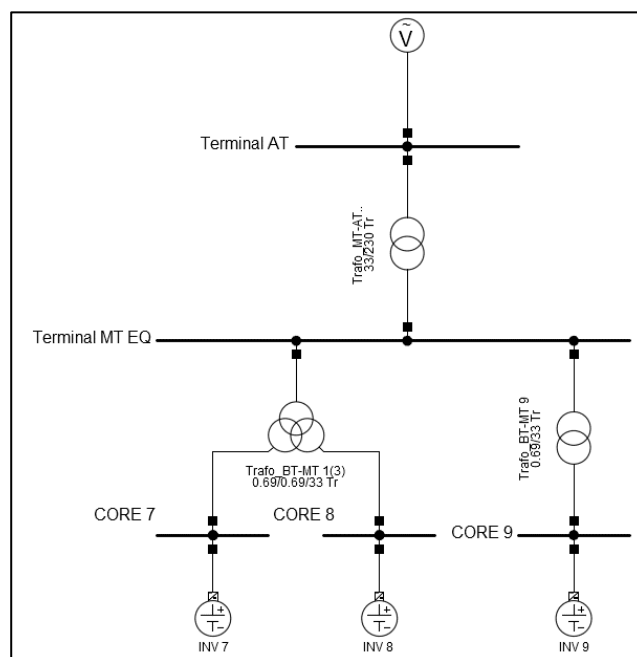


Figura 4.5 – Modelo equivalente desarrollado en DigSilent

Para realizar la simulación, se debe hallar la potencia generada por cada inversor, y para esto se procede a despacharlos por igual de modo de conseguir la potencia registrada a nivel de 33 kV.

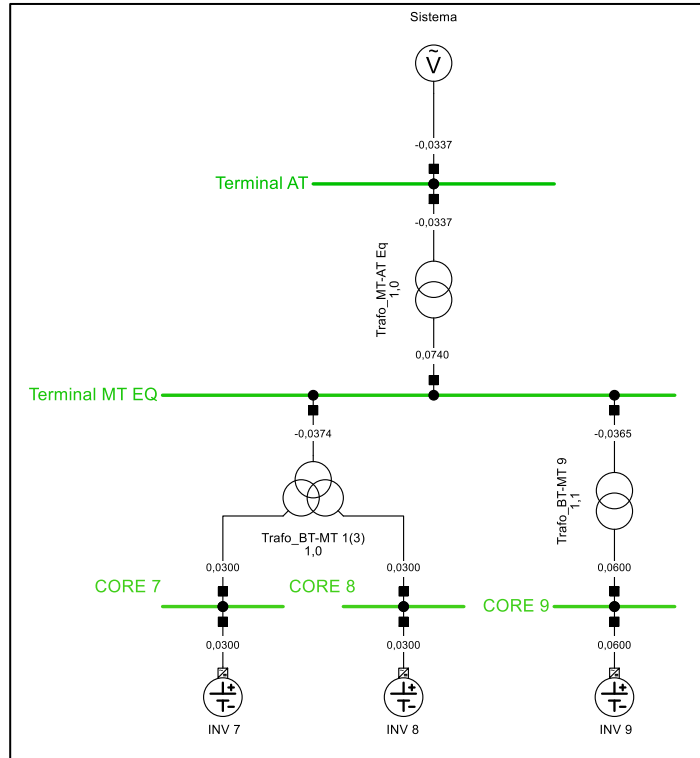


Figura 4.6 – Modelo equivalente desarrollado en DigSilent (Flujo de potencia)

A partir de los resultados del flujo de potencia presentados en la Figura 4.6, se puede determinar las pérdidas asociadas al sistema colector de la barra de 33 kV. La potencia de pérdidas se calcula como la diferencia entre la potencia inyectada por la barra colector del lado de 33 kV de los transformadores de bloque y la potencia aportada por cada uno de los inversores que forman al BESS Alfalfal VR2.

$$P_{perd,MT} = P_{redMT,3dev} + P_{redMT,2dev} - P_{Inv7} - P_{Inv8} - P_{Inv9}$$

$$P_{perd,MT} = -0.0374 \text{ MW} - 0.0365 \text{ MW} + 0.0300 \text{ MW} + 0.0300 \text{ MW} + 0.0600 \text{ MW}$$

$$P_{perd,MT} = 0.0461 \text{ MW}$$

A este valor hay que agregarle las pérdidas estimadas en el transformador principal para obtener las pérdidas totales de la instalación.



Las pérdidas del transformador principal ($P_{perd,tr_{ppal}}$) consideran el valor de pérdidas en vacío junto a las pérdidas en carga según la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = P_{perd,carga,tr_{ppal}} + P_{perd,vacío,tr_{ppal}}$$

No obstante, en este caso las pérdidas del transformador principal serán determinadas directamente del flujo de potencia de DigSilent considerando la diferencia entre los valores de potencia calculados en los devanados de 33 kV y 220 kV.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = P_{33kV} - P_{220kV}$$

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0740 \text{ MW} - 0.0337 \text{ MW} = 0.0403 \text{ MW}$$

Entonces, el valor total de Potencia de Pérdidas en la central es el siguiente.

$$P_{perd,central} = P_{perd,MT} + P_{perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{perd,central} = 0.0461 \text{ MW} + 0.0403 \text{ MW} = 0.0864 \text{ MW}$$

4.2.1 Potencia Neta

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

$$P_{Neta} = P_{33kV} - P_{perd,tr_{ppal}}$$

En base a los resultados del flujo de potencia se obtiene lo siguiente.

$$P_{Neta} = 0.0337 \text{ MW}$$

4.2.2 Potencia Bruta

Para poder determinar la potencia bruta, es necesario calcular el valor de potencia de pérdidas totales del parque. La potencia de pérdidas totales considera las perdidas en carga del transformador principal, la pérdida de los inversores propios, así como la potencia asociada a consumos de servicios auxiliares.

$$P_{bruta} = P_{Neta} + L_{Totales}$$



El valor de Potencia de Pérdidas Totales debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- P_{SSAA} : Potencia de servicios auxiliares.
- $P_{Perd,redMT}$: Pérdidas en la red colectora de media tensión.

A partir de los valores de pérdidas determinados en los capítulos anteriores se puede determinar la potencia de pérdidas totales con la siguiente ecuación:

$$L_{Totales} = P_{SSAA} + P_{perd,central}$$

$$L_{Totales} = 0.15 \text{ MW} + 0.0864 \text{ MW} = 0.2364 \text{ MW}$$

Con este valor de pérdidas totales y la Potencia Neta Medida (Ver Figura 4.1), se puede determinar la potencia bruta de la planta

$$P_{bruta} = P_{Neta} + L_{Totales}$$

$$P_{bruta} = 0.0337 \text{ MW} + 0.2364 \text{ MW} = 0.2701 \text{ MW}$$

Cabe aclarar que el valor obtenido de potencia bruta considera el despacho de los inversores y el valor de consumos propios descontados.

Este valor de potencia bruta implica un despacho aproximado de 18.01 kW, es decir, un valor muy cercano a cero donde se comienza a dar un proceso de descarga de baterías.

4.2.3 Resultados

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

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS Alfalfal VR2	0.2701	0.1500	0.0864	0.0337

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – BESS Alfalfal VR2 - Descarga



5 Conclusiones

Se determinó mediante ensayos el Mínimo Técnico en condiciones de absorción e inyección de energía, los resultados se resumen en la siguientes tablas.

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS Alfalfal VR2	-0.1850	0.1500	0.0864	-0.4214

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – BESS Alfalfal VR2 - Carga

Instalación	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
BESS Alfalfal VR2	0.2701	0.1500	0.0864	0.0337

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – BESS Alfalfal VR2 - Descarga



6 ANEXOS

6.1 Consumo de SSAA en planta

A través de los ensayos realizados en la planta BESS Alfalfal VR2, se detalla a continuación el dimensionamiento de las cargas esenciales y no esenciales de los servicios auxiliares. Un resumen de estos puede verse en la Figura 6.1 y Figura 6.2.



Figura 6.1 – Medidor Servicios Esenciales



Figura 6.2 – Medidor Servicios No Esenciales



6.2 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
 ESTUDIOS ELECTRICOS			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:			
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración	
JANITZA UMG 604	5216/002	10/5/2023	
<p>Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.</p> <p>Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:</p>			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Última calibración	Próxima calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/10/2021	29/10/2024
Fecha de evaluación: 10/5/2023 Certificado número: EE-CI-2023-0605		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 	