



INFORME DE DETERMINACIÓN MÍNIMO TÉCNICO

PFV DIEGO DE ALMAGRO SUR

FECHA	REVISIÓN	COMENTARIOS	PREPARADO	REVISADO	APROBADO
04/05/2023	R3	Se atiende observación posterior del CEN	José Espinoza José Araya	Sergio Aspee	Francisco Beltrán

REVISIÓN 3



B&B Asociados SpA

SEGUIMIENTO DE DOCUMENTACIÓN

El presente informe de mínimo técnico, asociado a la conexión del proyecto fotovoltaico Diego de Almagro Sur, registra la siguiente documentación:

DOCUMENTO	FECHA	REVISIÓN	COMENTARIOS	PREPARADO	REVISADO	APROBADO
Informe Mínimo Técnico - PFV Diego de Almagro Sur REV_0	14-06-2022	0	Para entrega CEN	José Espinoza José Araya	Sergio Aspe	Francisco Beltrán
Informe Mínimo Técnico - PFV Diego de Almagro Sur REV_1	20-07-2022	1	Correcciones ante observaciones del CEN en documento: "CEN-GO-DCO-MT-PFV Diego de Almagro Sur.pdf"	José Espinoza	Sergio Aspe	Francisco Beltrán
Informe Mínimo Técnico - PFV Diego de Almagro Sur REV_2	13-01-2023	2	Observación posterior a aprobación del documento por parte del CEN	José Espinoza	Sergio Aspe	Francisco Beltrán
Informe Mínimo Técnico - PFV Diego de Almagro Sur REV_3	04-05-2023	3	Observación posterior a aprobación del documento por parte del CEN. Se requiere agregar condición de generación con sólo 1 inversor en servicio.	José Espinoza	Sergio Aspe	Francisco Beltrán

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	6
2	Objetivos.....	6
3	Antecedentes.....	7
3.1	Antecedentes PFV Diego de Almagro Sur.....	7
3.1.1	Descripción del proyecto	7
3.1.2	Diagrama unilineal zona de interconexión del proyecto.....	9
3.2	Antecedentes técnicos del PFV Diego de Almagro Sur	11
3.2.1	Transformadores de bloque BT / MT	13
3.2.2	Transformador de potencia S/E Inca de Oro	13
3.2.3	Línea Diego de Almagro Sur – Illapa 1x220kV	14
3.2.4	Red de media tensión en 33kV	15
3.2.5	Características generales de Inversores	20
3.3	Antecedentes y Exigencias Normativas.....	25
4	Determinación de Mínimo Técnico Parque Fotovoltaico Diego de Almagro Sur.....	26
4.1	Determinación de Potencia Mínima Neta (P1).....	28
4.2	Determinación de Potencia Mínima Bruta	30
4.2.1	Determinación de Pérdidas Asociadas al Transformador Elevador 220/33kV.....	30
4.2.2	Determinación de Pérdidas Asociadas a los Servicios Auxiliares.	31
4.2.3	Determinación de Pérdidas Asociadas al sistema colector.	32
4.2.4	Determinación de Potencia Mínima Bruta.....	33
5	Conclusiones.....	34
6	Referencias	35
ANEXO I	Datasheet y pruebas fábrica transformador de bloque BT/MT [5].....	37
ANEXO II	Placa de datos y ensayos de fábrica Transformador de poder	39
ANEXO III	Datasheet Inversor y consumos auxiliares	41
ANEXO IV	Número de paneles por inversor.....	45
ANEXO V	Determinación Mínimo Técnico caso especial	47
ANEXO VI	Especificaciones instrumentos de medición	49
ANEXO VII	Archivos adjuntos	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Ubicación geográfica referencial PFV Diego de Almagro Sur. Fuente: Google Earth.....	7
Figura 3.2: Mapa de ubicación del PFV Diego de Almagro Sur en el SEN.	8
Figura 3.3: Diagrama unilineal zona de influencia sin proyecto.....	9
Figura 3.4: Diagrama unilineal zona de influencia con proyecto.	10
Figura 3.5: Diagrama unilineal MT e inversores - PFV Diego de Almagro Sur.....	11
Figura 3.6: Diagrama unilineal simplificado SE Elevadora 220/33kV - PFV Diego de Almagro Sur.	12
Figura 3.7: Configuración de alimentador con 4 inversores - PFV Diego de Almagro Sur.	12
Figura 3.8: Silueta de torre de suspensión S220.1M h=20,4	14
Figura 3.9: Extracto placas transformadores Zig-Zag [8].....	15
Figura 3.10: Extracto HCTG Resistencia de neutro de reactor [8].....	16
Figura 3.11: Detalle cables red media tensión 33kV.	17
Figura 3.12: Diagrama unilineal de alimentadores y centros de transformación PFV Diego de Almagro Sur.	18
Figura 3.13: Fotos de placa banco de condensadores.	19
Figura 3.14: Características centro de transformación MVPS 4600-S2 (Fuente: Fabricante SMA [5]).	21
Figura 3.15: Curvas de capacidad de potencia activa y reactiva 25°C y tensión de red $U \geq U_n$ – Inversores SMA SC 4600-UP . (Fuente: Datasheet fabricante [6]).	22
Figura 3.16: Curvas de capacidad de potencia activa y reactiva 25°C y tensión de red $U = 0.9U_n$ – Inversores SMA SC 4600-UP . (Fuente: Datasheet fabricante [6]).	22
Figura 3.17: Consumo de servicios auxiliares en un día soleado [5].	23
Figura 3.18: Consumo de servicios auxiliares en un día nublado [5].	24
Figura 4.1: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022.	28
Figura 4.2: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022. Gráfico acotado.	29
Figura 4.3: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022. Gráfico acotado.	30
Figura 4.4: Registro del comportamiento de potencia activa en SSAA de SE Inca de Oro.....	31
Figura 4.5: Registro del comportamiento de potencia activa en bornes del inversor 24 durante la prueba de mínimo técnico.....	32
Figura 6.1: Placa de datos Centro de transformación tipo MVPS-4600 S2- PFV Diego de Almagro Sur.....	43
Figura 6.2: Consumo de servicios auxiliares en un día soleado [5].	44
Figura 6.3: Consumo de servicios auxiliares en un día nublado [5].	44
Figura 6.4: Generación de un solo inversor a mínimo técnico en PFV Diego de Almagro Sur.....	47
Figura 6.5: Generación de todos los inversores a mínimo técnico en PFV Diego de Almagro Sur.	48
Figura 6.6: Datasheet instrumento de medida PURE BlackBox marca Elspec [3].	49
Figura 6.7: Datasheet instrumento de medida G4500 marca Elspec [4].	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Parámetros eléctricos de transformadores elevadores PFV Diego de Almagro Sur [5].	13
Tabla 3.2: Parámetros eléctricos del transformador de poder de la S/E Inca de Oro [7].	13
Tabla 3.3: Características de conductor de fase [8].	14
Tabla 3.4: Características de cable de guardia [8].	15
Tabla 3.5: Componentes principales del centro de transformación MVPS 4600-S2 (Fuente: Fabricante SMA [5]).	20
Tabla 4.1: Resumen de potencias calculadas y registradas, asociadas al PFV Diego de Almagro Sur.	33
Tabla 6.1: Resumen de potencias calculadas y registradas con 1 inversor generando a mínimo técnico, asociadas al PFV DAS.	48

1 INTRODUCCIÓN

Colbún S.A. desarrolla el proyecto Parque Fotovoltaico Diego de Almagro Sur (NUP 1265), ubicado en la comuna de Diego de Almagro, Región de Atacama. El proyecto tendrá una potencia instalada de 232 MWp de capacidad total. La energía generada por el Parque Fotovoltaico (PFV) se evacuará a través de una línea de transmisión de circuito simple de 220 kV y 2,6 km de longitud que se conectará a la subestación Illapa 220 kV.

En el contexto del proceso de conexión y operación comercial del Parque Fotovoltaico es que se desarrollaron las pruebas de: Determinación de mínimo técnico, determinación de máxima potencia, parámetros proceso de partida y detención de unidades generadoras y validación de modelo dinámico. En el presente informe se entregan los resultados y conclusiones obtenidos en los ensayos de campo relacionados a la determinación del mínimo técnico de la Planta Fotovoltaica Diego de Almagro Sur, realizadas en el mes de junio del 2022.

2 OBJETIVOS

El presente informe tiene como objetivo determinar el mínimo técnico que podría entregar el PFV Diego de Almagro Sur. Las mediciones se realizan dando cumplimiento al Anexo Técnico de la NTSyCS “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” septiembre del 2020, y utilizando como guía el documento elaborado por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN): “Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos”.

3 ANTECEDENTES

3.1 ANTECEDENTES PFV DIEGO DE ALMAGRO SUR

3.1.1 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en la generación fotovoltaica de 232 MWp, conectándose a la subestación elevadora Inca de Oro para ser evacuada mediante una línea de transmisión de circuito simple de 220 kV y 2,6km de longitud, que se conectará a la subestación Illapa existente en 220 kV.

El Proyecto se encuentra emplazado en la Comuna de Diego de Almagro, Provincia de Chañaral, Región de Atacama, aproximadamente a unos 25 km al sur de la ciudad Diego de Almagro y a 92.5 km al noreste de la ciudad de Copiapó, como se puede observar de forma referencial en la Figura 3.1.



Figura 3.1: Ubicación geográfica referencial PFV Diego de Almagro Sur. Fuente: Google Earth.

La ubicación del PFV Diego de Almagro Sur con respecto al sistema eléctrico nacional es el siguiente:

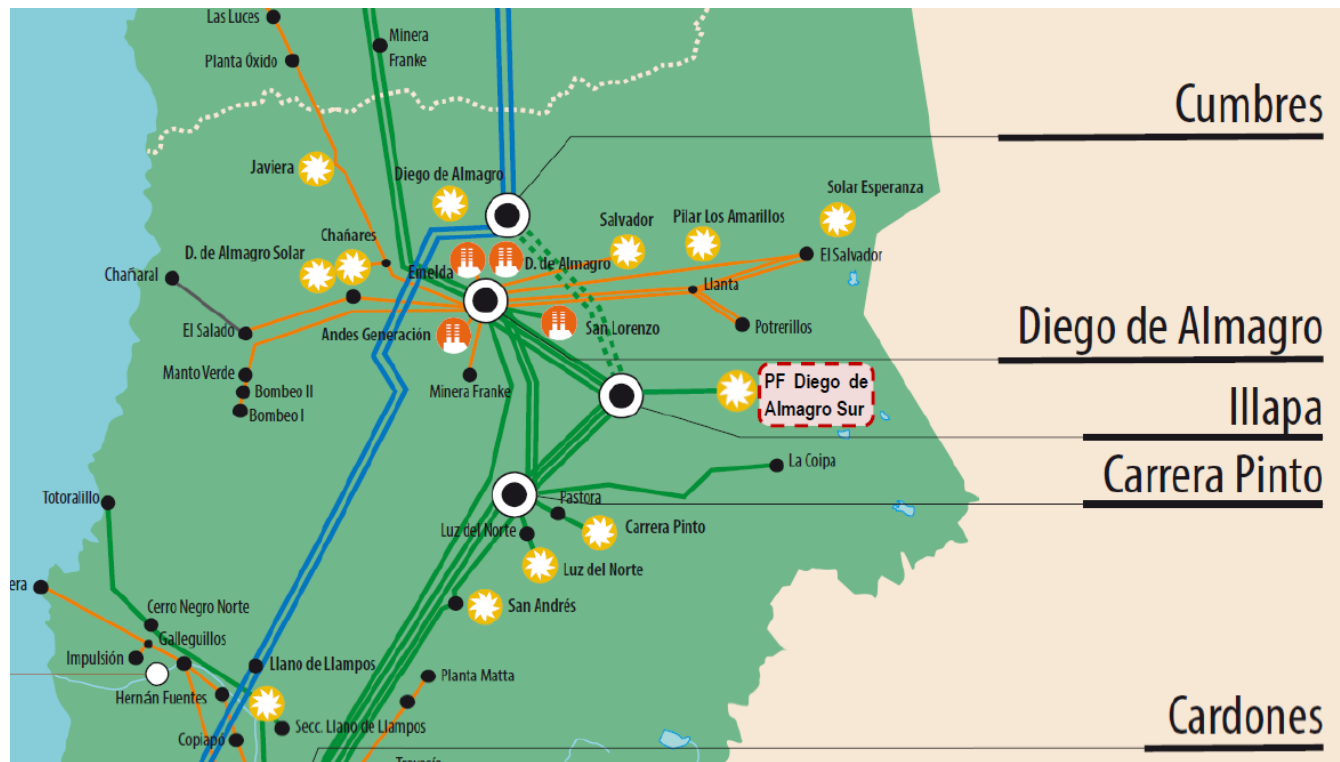


Figura 3.2: Mapa de ubicación del PFV Diego de Almagro Sur en el SEN.

3.1.2 Diagrama unilineal zona de interconexión del proyecto

En la Figura 3.3 se presenta el diagrama unilineal del entorno eléctrico en donde se conectará el proyecto, a su vez, en la Figura 3.4 se presenta el diagrama unilineal de la zona con el proyecto conectado.

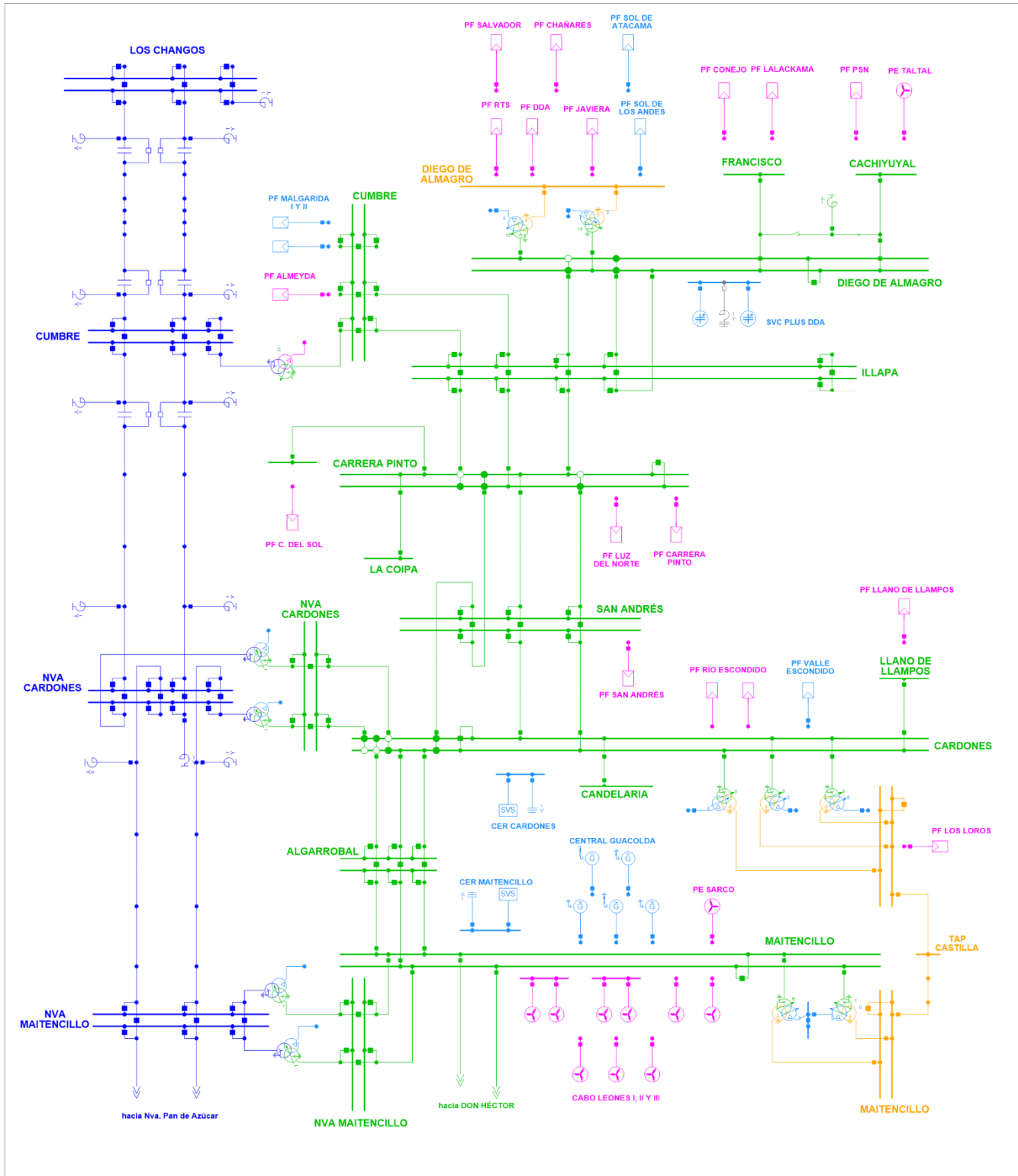


Figura 3.3: Diagrama unilineal zona de influencia sin proyecto.

3.2 ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL PFV DIEGO DE ALMAGRO SUR

La planta de generación solar posee 12 alimentadores que conectan los centros de transformación con 2 barras de 33kV, correspondientes al devanado secundario y terciario del transformador de poder. En 10 de los alimentadores se conectan 4 inversores del fabricante SMA, mientras que en los alimentadores restantes se conectan 3 inversores del mismo tipo, tal como se observa en el diagrama simplificado de la Figura 3.5. Cada inversor se encuentra asociado a un centro de transformación del tipo MVPS 4600-S2.

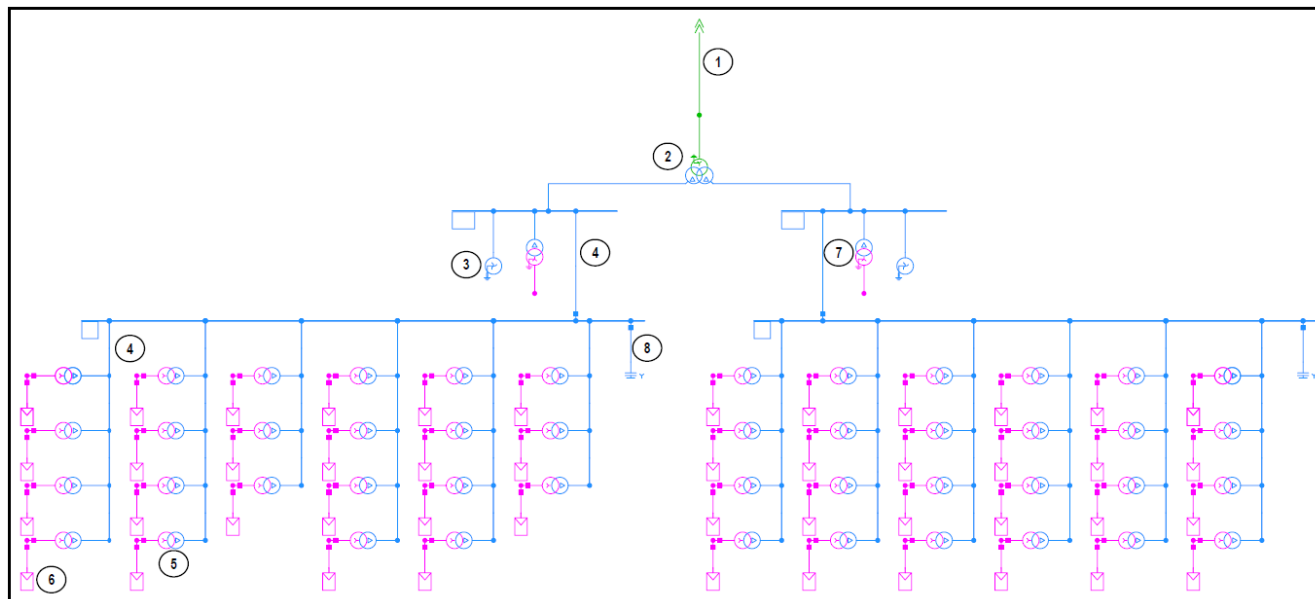
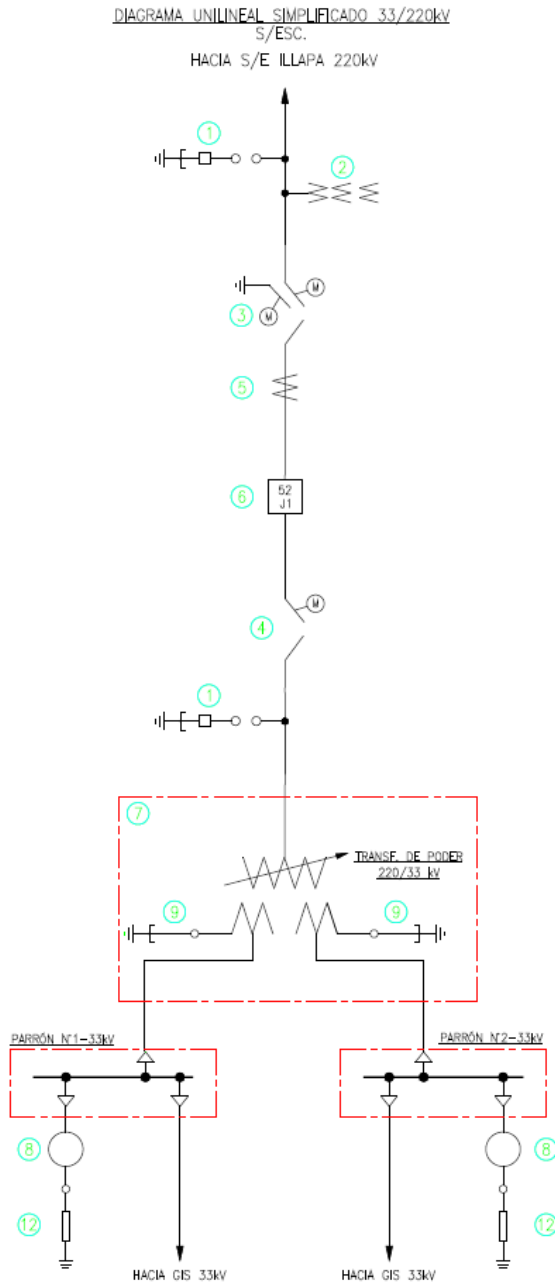


Figura 3.5: Diagrama unilineal MT e inversores - PFV Diego de Almagro Sur.

Los principales elementos pertenecientes a la red interna del PFV se desglosa a continuación:

1. Línea aérea Inca de Oro – Illapa 1x220 kVA (2,6 km).
2. Transformador elevador 220/33/33 kV 250 MVA.
3. Transformador zigzag (reactor de neutro).
4. Red colectora (sistema de cables de 240 mm², 400 mm² y 630 mm²).
5. Transformador de bloque de los inversores.
6. Inversores.
7. Transformador de servicios auxiliares.
8. Banco de condensadores: 40 Mvar, distribuidos entre el Switchgear 1 (20 Mvar) y Switchgear 2 (20 Mvar).

Por su parte, en la Figura 3.6 se presenta el diagrama unilineal de la SE elevadora Inca de Oro.



LISTADO DE EQUIPOS	
ITEM	DESCRIPCIÓN
1	PARARRAYOS 220 kV
2	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL 220 kV
3	DESCONECTOR HORIZONTAL C.P.A.T. 220 kV
4	DESCONECTOR HORIZONTAL S.P.A.T. 220 kV
5	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 220 kV
6	INTERRUPTOR DE PODER 220 kV TRIFÁSICO OPERACIÓN MONOPOLAR.
7	TRANSFORMADOR DE PODER 33/220kV – 160/210/250 MVA
8	REACTOR ZIG-ZAG 33 kV
9	PARARRAYOS 33 kV
12	RESISTENCIA PUESTA A TIERRA

Figura 3.6: Diagrama unilineal simplificado SE Elevadora 220/33kV - PFV Diego de Almagro Sur.

A su vez, en la Figura 3.7 es posible apreciar el diagrama unilineal correspondiente a uno de los alimentadores que se conectan a la barra de 33kV de la subestación elevadora Inca de Oro.

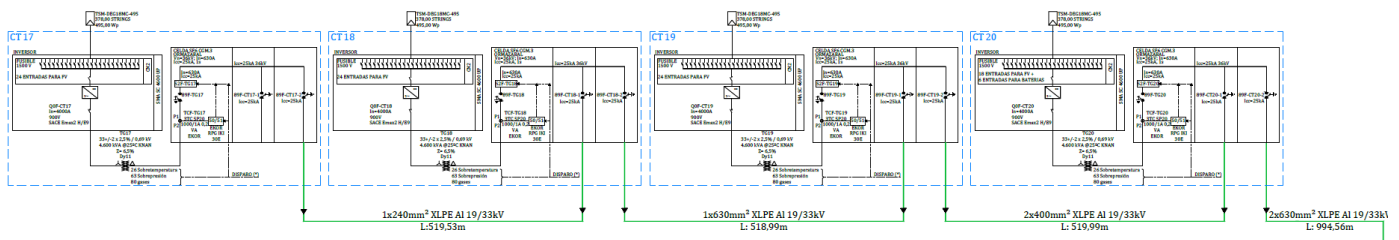


Figura 3.7: Configuración de alimentador con 4 inversores - PFV Diego de Almagro Sur.

3.2.1 Transformadores de bloque BT / MT

El PFV Diego de Almagro Sur posee 46 transformadores elevadores de tensión, en donde cada uno se conecta a un solo inversor, cuya hoja de datos se presenta en el ANEXO I. Las principales características de los transformadores de bloque se presentan a continuación:

DESCRIPCIÓN	DETALLE
Potencia Nominal	4600 kVA @25°C
Niveles de tensión	33 / 0,69 kV
Grupo de conexión	Dy11
N° de fases	3
Impedancia cc	6,5%
Perdidas en vacío	3,056 kW
Perdidas a plena carga	37,091 kW
Frecuencia	50 Hz
Altitud de trabajo	1,000 m.s.n.m.
Cambiador de taps	No posee

Tabla 3.1: Parámetros eléctricos de transformadores elevadores PFV Diego de Almagro Sur [5].

3.2.2 Transformador de potencia S/E Inca de Oro

La subestación Inca de Oro, posee un transformador de potencia trifásico de tres devanados 220/33/33 kV de 250 MVA ONAF2, cuyo grupo de conexión es YNd11d11 (conectado a tierra en el lado de 220 kV), con cambiador de tap bajo carga. La foto de placa del transformador se presenta en el ANEXO II, mientras que en la Tabla 3.2 se indican las características principales del transformador de poder:

DESCRIPCIÓN	DETALLE
Potencia Nominal	150 / 200 / 250 MVA
Niveles de tensión	220 ±8x1,25% / 33 / 33 kV
Refrigeración	ONAN / ONAF1 / ONAF2
Grupo de conexión	YNd11d11
N° de fases	3
Impedancia (%) HV-LV1	11,82% (base 125 MVA)
Impedancia (%) HV-LV2	11,95% (base 125 MVA)
Impedancia (%) LV1-LV2	22,34% (base 125 MVA)
Impedancia homopolar (%)	11,08% (base 250MVA)
Pérdidas cobre HV-LV1	368,86 kW (125 MVA)
Pérdidas cobre HV-LV2	369,56 kW (125 MVA)
Pérdidas cobre Lv1-LV2	720,58 kW (125 MVA)
Pérdidas en vacío	100,7 kW
Frecuencia	50 Hz
Elevación de temperatura	80° C
Ubicación del cambiado de taps	Alta tensión
Altitud de trabajo	1,000 m.s.n.m.

Tabla 3.2: Parámetros eléctricos del transformador de poder de la S/E Inca de Oro [7].

3.2.3 Línea Diego de Almagro Sur – Illapa 1x220kV

El parque fotovoltaico Diego de Almagro Sur evacuará su potencia a través de una línea de transmisión de simple circuito de 220 kV y 2,6 km de largo (sin transposiciones). Además, esta línea tendrá un cable de guardia tipo OPGW para brindar protección a la línea contra descargas atmosféricas y proporcionar un canal de comunicación entre las subestaciones de ambos extremos.

Se utiliza la torre de suspensión S220.1M H=20,4 para el modelamiento de la línea 1x220 kV Inca de Oro - Illapa, la cual es la estructura más representativa de la línea. A continuación, se muestra la silueta de la estructura utilizada [8]:

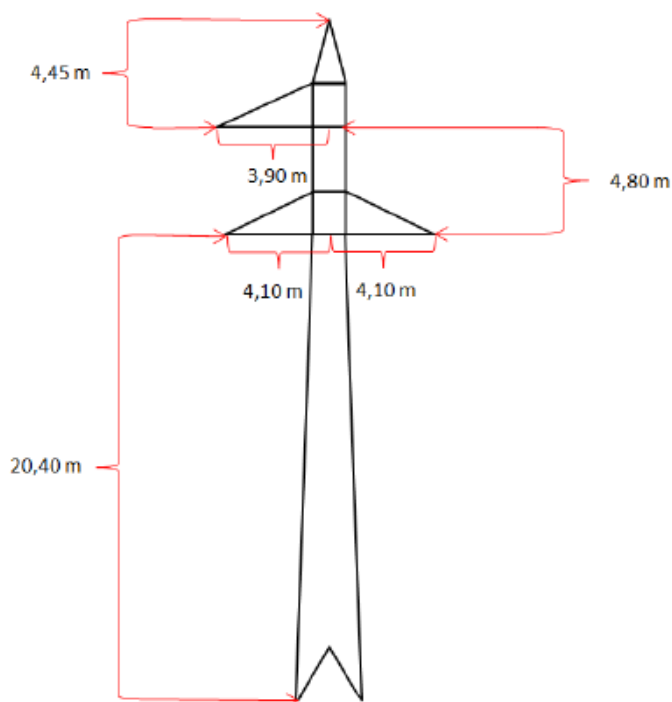


Figura 3.8: Silueta de torre de suspensión S220.1M h=20,4

El tipo de conductor de la línea corresponde a FLINT 375,4 mm², cuyas principales características se indican a continuación:

Características	Valor
Tipo	Aleación de aluminio (AAAC)
Nombre de código	Flint
Sección transversal	375,4 [mm ²]
Diámetro nominal del conductor	25,16 [mm]
Tensión de rotura	11,041 [kg]
Peso del conductor	1,0299 [kg]
Radio medio geométrico	9,797 [mm]
Resistencia DC a 20°C	0,08944 [Ω /km]

Tabla 3.3: Características de conductor de fase [8].

Del mismo modo, en la Tabla 3.4 se muestran las principales características del conductor utilizado para el cable de guardia son:

Características	Valor
Tipo	OPGW 24 Fibras
Sección transversal	121,86 [mm ²]
Diámetro nominal del conductor	14,6 [mm]
Radio medio geométrico	5,69 [mm]
Resistencia DC a 20°C	0,327 [Ω /km]
Resistencia DC a 30°C	0,338 [Ω /km]
Tipo	OPGW 24 Fibras

Tabla 3.4: Características de cable de guardia [8].

3.2.4 Red de media tensión en 33kV

3.2.4.1 Transformador Zig-Zag (Reactor de neutro)

El PFV Diego de Almagro Sur cuenta con dos reactores de puesta a tierra, uno en cada parrón proyectado en el nivel de 33kV. Los cuales se modelan considerando la impedancia de secuencia cero informada en sus datos de placa.

TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA

TIPO DE TRANSFORMADOR	STD-600/33	ESTÁNDAR No.	IEC-60076
IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO	23,5 Ω	TIPO DE ENFRIAMIENTO	ONAN
CORRIENTE NEUTRA DE CORTO PLAZO	394,7A, 10S	PÉRDIDA SIN CARGA	W
FRECUENCIA NOMINAL	50Hz	PESO DE CUERPO PRINCIPAL	1350 KG
NÚMERO DE FASE	3	PESO DE ACEITE	840 KG
GRUPO DE CONEXIÓN	ZN	PESO TOTAL	3370 KG
IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO	/	NIVEL DE AISLAMIENTO	LI170AC70
FECHA DE FABRICACIÓN.		NÚMERO DE SERIE	

TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA

TIPO DE TRANSFORMADOR	STD-600/33	NÚMERO ESTANDAR	IEC-60076
IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO	18,6 Ω	TIPO DE ENFRIAMIENTO	ONAN
CORRIENTE NEUTRA DE CORTO PLAZO	396,7A, 10S	PÉRDIDA SIN CARGA	W
FRECUENCIA NOMINAL	50Hz	PESO DE CUERPO PRINCIPAL	1350 KG
NÚMERO DE FASE	3	PESO DE ACEITE	840 KG
GRUPO DE CONEXION	ZN	PESO TOTAL	3370 KG
IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO	/	NIVEL DE AISLAMIENTO	LI170AC70
FECHA DE MANUFACTURA		NÚMERO DE SERIE	

Figura 3.9: Extracto placas transformadores Zig-Zag [8].

Item	Descripción	Unidad	Especificado	Ofrecido
2.0	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS RESISTENCIA DE P.A.T			
2.1	Cantidad de Equipos	c/u	2	2
2.2	Corriente durante la falla a Tierra	A	400	400
2.3	Resistencia	ohm	47.63	47.63
2.4	tiempo de operación	s	10	10
2.5	Frecuencia Nominal	Hz	50	50
2.6	Tensión nominal del resistor (tensión fase/neutro)	kV	33/√3	33/√3

Figura 3.10: Extracto HCTG Resistencia de neutro de reactor [8].

3.2.4.2 Cables de la red de media tensión en 33kV

La red colectora de media tensión se contará con un sistema de cables subterráneos, directamente enterrados, esquema de trébol. Se utilizan cuatro tamaños:

- Cable XLPE 630mm²: con un largo aproximado de 28559 m
- Cable XLPE 500mm²: con un largo aproximado de 203 m
- Cable XLPE 400mm²: con un largo aproximado de 18717 m
- Cable XLPE 240mm²: con un largo aproximado de 7378 m

La Figura 3.11 indica las principales características de los cables conductores entre las estaciones convertidoras y las barras principales de media tensión, a su vez, en la Figura 3.12 se presente un diagrama unilineal con la distribución de conductores, centros de transformación e inversores pertenecientes al PFV Diego de Almagro Sur.

Feeder No.	Desde	Hacia	Cable	Longitud [m]	Feeder No.	Desde	Hacia	Cable	Longitud [m]
1	Barra 1	CT02	3x2x400mm2	2673	7	Barra 2	CT24	3x2x630mm2	313
	CT01	CT12	3x1x240mm2	1261		CT22	CT21	3x1x240mm2	518
	CT02	CT01	3x1x400mm2	443		CT23	CT22	3x1x630mm2	517
Barra 1	CT06	3x2x630mm2	1796	CT24		CT23	3x2x400mm2	517	
2	CT04	CT03	3x1x240mm2	376	8	Barra 2	CT29	3x2x630mm2	1763
	CT05	CT04	3x1x400mm2	385		CT27	CT26	3x1x240mm2	547
	CT06	CT05	3x1x630mm2	383		CT28	CT27	3x1x240mm2	546
Barra 1	CT10	3x2x630mm2	910	CT29		CT28	3x1x630mm2	545	
3	CT08	CT07	3x1x240mm2	382	9	Barra 2	CT33	3x2x630mm2	1078
	CT09	CT08	3x1x400mm2	382		CT31	CT30	3x1x240mm2	544
	CT10	CT09	3x1x630mm2	381		CT32	CT31	3x1x630mm2	544
Barra 1	CT38	3x2x400mm2	2956	CT33		CT32	3x2x400mm2	543	
4	CT25	CT11	3x1x240mm2	605	10	Barra 2	CT37	3x2x630mm2	393
	CT38	CT25	3x1x400mm2	1131		CT35	CT34	3x1x240mm2	542
5	Barra 1	CT16	3x2x630mm2	1676		CT36	CT35	3x1x630mm2	542
	CT14	CT13	3x1x240mm2	522		CT37	CT36	3x2x400mm2	541
	CT15	CT14	3x1x240mm2	521	Barra 2	CT42	3x2x630mm2	1752	
6	CT16	CT15	3x1x630mm2	521	11	CT40	CT39	3x1x240mm2	496
	Barra 1	CT20	3x2x630mm2	995		CT41	CT40	3x1x400mm2	491
	CT18	CT17	3x1x240mm2	519		CT42	CT41	3x1x630mm2	563
	CT19	CT18	3x1x630mm2	519	Barra 2	CT46	3x2x630mm2	960	
-	CT20	CT19	3x2x400mm2	520	12	CT44	CT43	3x1x630mm2	388
	Parrón 1	Barra 1	3x4x500mm2	25		CT45	CT44	3x1x400mm2	387
						CT46	CT45	3x1x630mm2	388
				-		Parrón 2	Barra 2	3x4x500mm2	25

Figura 3.11: Detalle cables red media tensión 33kV.

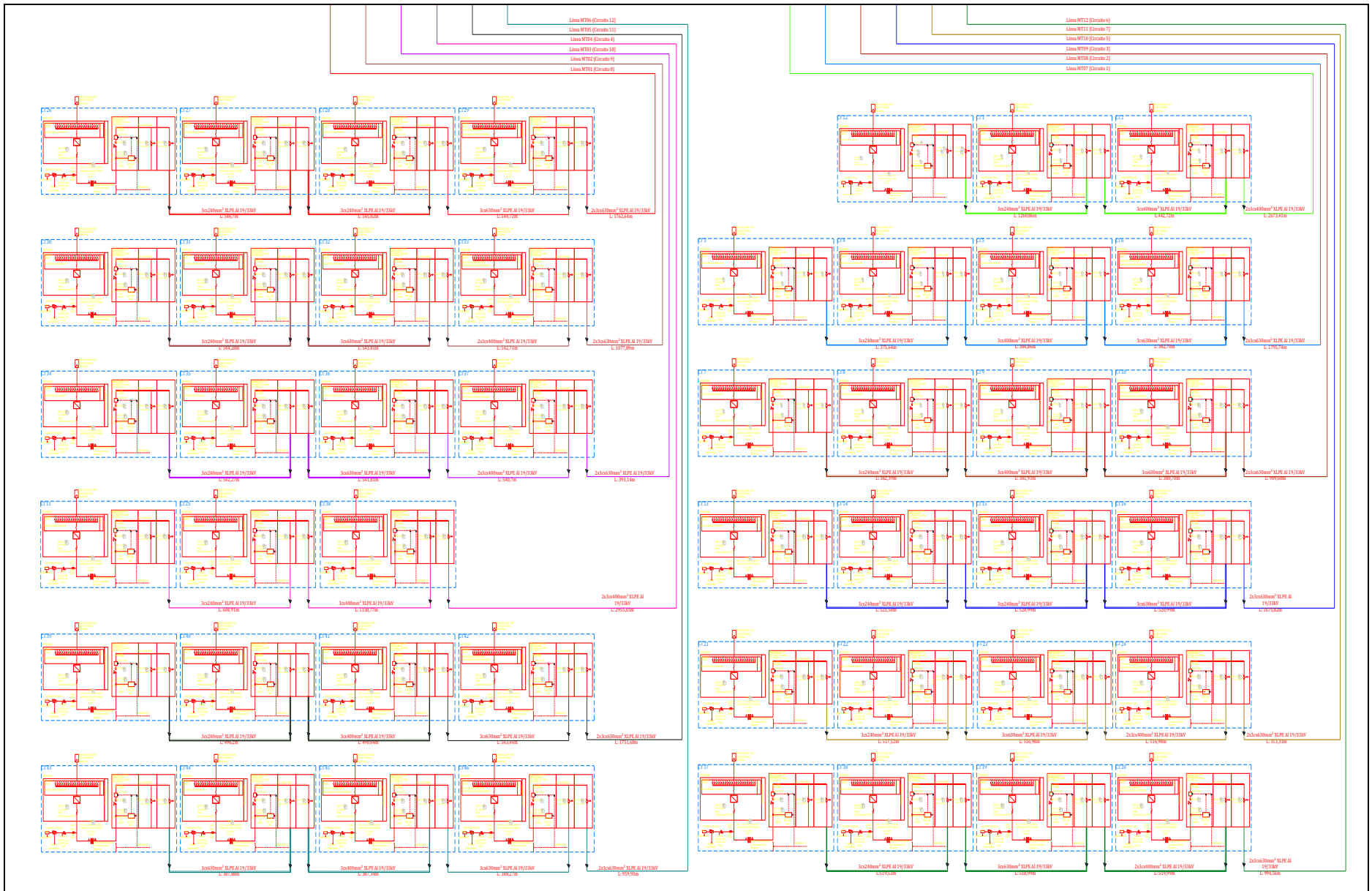


Figura 3.12: Diagrama unilineal de alimentadores y centros de transformación PFV Diego de Almagro Sur.

3.2.4.3 Banco de condensadores

El proyecto considera un banco de condensadores de 40MVar de potencia reactiva, distribuidos de manera equitativa entre ambas barras de 33kV, es decir, un banco de 20MVar por cada una.



Figura 3.13: Fotos de placa banco de condensadores.

3.2.5 Características generales de Inversores

El PFV Diego de Almagro Sur cuenta con paneles solares de sistema bifacial y son seguidores de hilera simple con retroceso. La totalidad de los paneles solares se conectan a 46 inversores modelo SMA SC 4600-UP de potencia nominal de 4,6 MVA. Cada uno de estos inversores se encuentra asociado a un centro de transformación modelo MVPS 4600-S2. Las características relevantes de los inversores y centros de transformación, entregadas por el fabricante SMA y que se presentan en mayor detalle en el ANEXO III, son las siguientes:

Número	Nomenclatura	Componentes principales
1	MVT	4140 kVA 33/0,69 kV KNAN hermetically sealed liquid immersed transformer (SBG)
2	INV	Central Inverter SC 4600-UP
3	BW	Low Voltage Busbar/Busway between inverter and transformer
4	MVSG	Medium Voltage Ring Main Unit Switchgear SIEMENS 8DJH RRL with Circuit breaker
5	MVC	3 x Medium Voltage Cable N2XS(F)2Y 18/30kV 70mm ² between transformer and Medium Voltage Switchgear
6	STSD	230V 50 Hz low voltage distribution panel
7	SCAS-P	Low voltage cable from BW to fuse holder for installation of auxiliary power supply

Tabla 3.5: Componentes principales del centro de transformación MVPS 4600-S2 (Fuente: Fabricante SMA [5]).

Power Class	:		→	MVPS-4200-S2-US-10
Target Country	:	CL	→	Chile
Inverter type	:	0	→	SC UP
Inverter Power	:	3	→	4600 kVA
Ambient Temperature	:	1	→	-25°C to +55°C
Altitude	:	1	→	1001 - 2000 m
Environment	:	0	→	Standard
MV Transformer	:	1	→	KNAN
Transformer Protection	:	1	→	Full Protection
Nominal Voltage	:	H	→	33 kV
Nominal Frequency	:	0	→	50 Hz
Transformer Vector Group	:	0	→	Dy11
Transformer Tap Changer	:	1	→	With
Transformer Shield Winding	:	0	→	Without
Transformer Load Profile	:	6	→	24 Hours
Transformer Losses	:	1	→	Eco Design 1
Oil Containment	:	1	→	With
MV Switchgear	:	2	→	3F-SD-SD-CB-36 kV
Accessories MV Switchgear	:	1	→	Auxiliary Contacts
LV-Transformer	:	2	→	20 kVA, 400 V
Safety Equipment	:	0	→	Without
Monitoring	:	1	→	MVSG
Cable Entry Kit	:	1	→	With
Transport Packaging	:	1	→	Sea Freight
Country Package	:	0	→	Without
Language	:	ES	→	Spanish
Factory Warranty	:	0	→	1 year
Customized Solution	:	1	→	Yes

Figura 3.14: Características centro de transformación MVPS 4600-S2 (Fuente: Fabricante SMA [5]).

En la Figura 3.15 y Figura 3.16 se evidencia el aporte de potencia activa y reactiva que puede alcanzar cada inversor para distintos niveles de tensión.

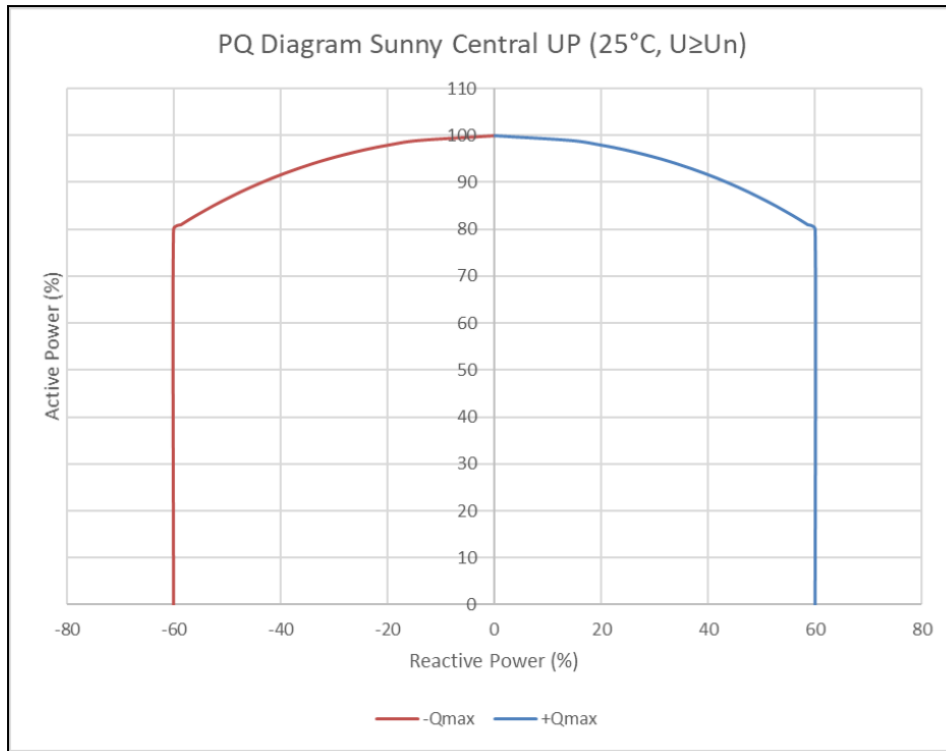


Figura 3.15: Curvas de capacidad de potencia activa y reactiva 25°C y tensión de red $U \geq U_n$ – Inversores SMA SC 4600-UP . (Fuente: Datasheet fabricante [6]).

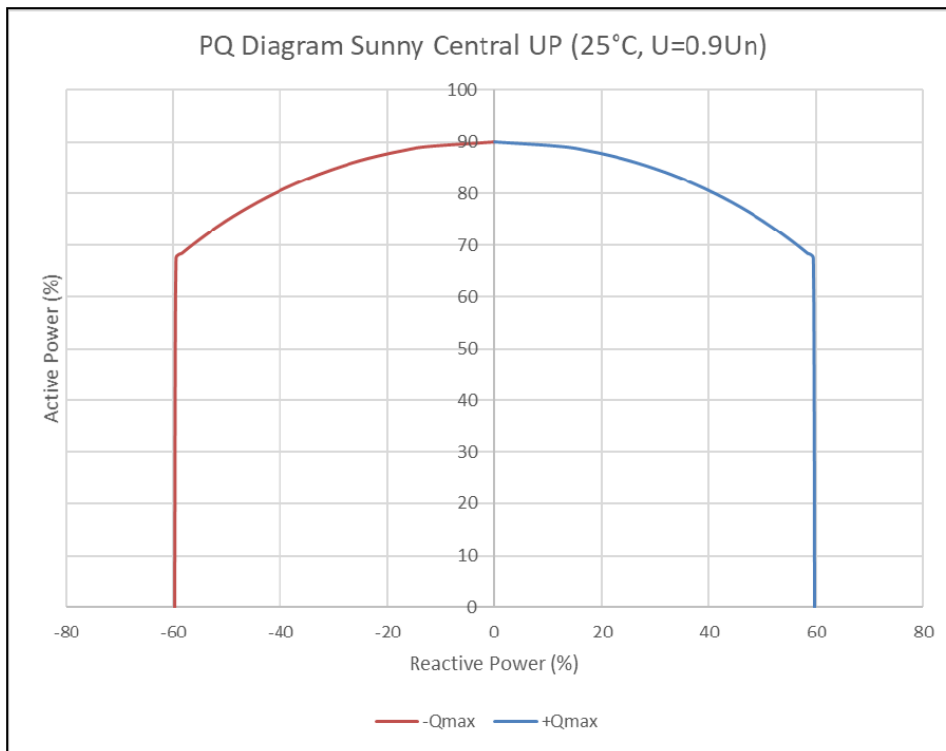


Figura 3.16: Curvas de capacidad de potencia activa y reactiva 25°C y tensión de red $U = 0.9U_n$ – Inversores SMA SC 4600-UP . (Fuente: Datasheet fabricante [6]).

Respecto al consumo de servicios auxiliares de cada centro de transformación, el fabricante en el documento [6], indica lo siguiente: “El inversor convierte la energía de CC a CA, lo que requiere algo de energía auxiliar para el sistema de control, comunicación y enfriamiento. La cantidad de energía auxiliar depende de la temperatura ambiente y de la potencia de salida producida. La alimentación auxiliar se extrae del lado de CA en los terminales del inversor.

Si la potencia fotovoltaica disponible supera el 100 % de la potencia de CC que puede convertir el inversor según el valor nominal de la placa de datos, el inversor produce algo más de potencia de CA para compensar sus pérdidas internas. De esta forma el consumo auxiliar efectivo del inversor es de 0 kVA en cuanto la potencia DC supera el 100%. En la Figura 3.17 y en la Figura 3.18 se presenta de manera gráfica el comportamiento descrito anteriormente.”

De esta forma, se considera un consumo de 0kW para la operación a mínimo técnico y durante el estado de detención.

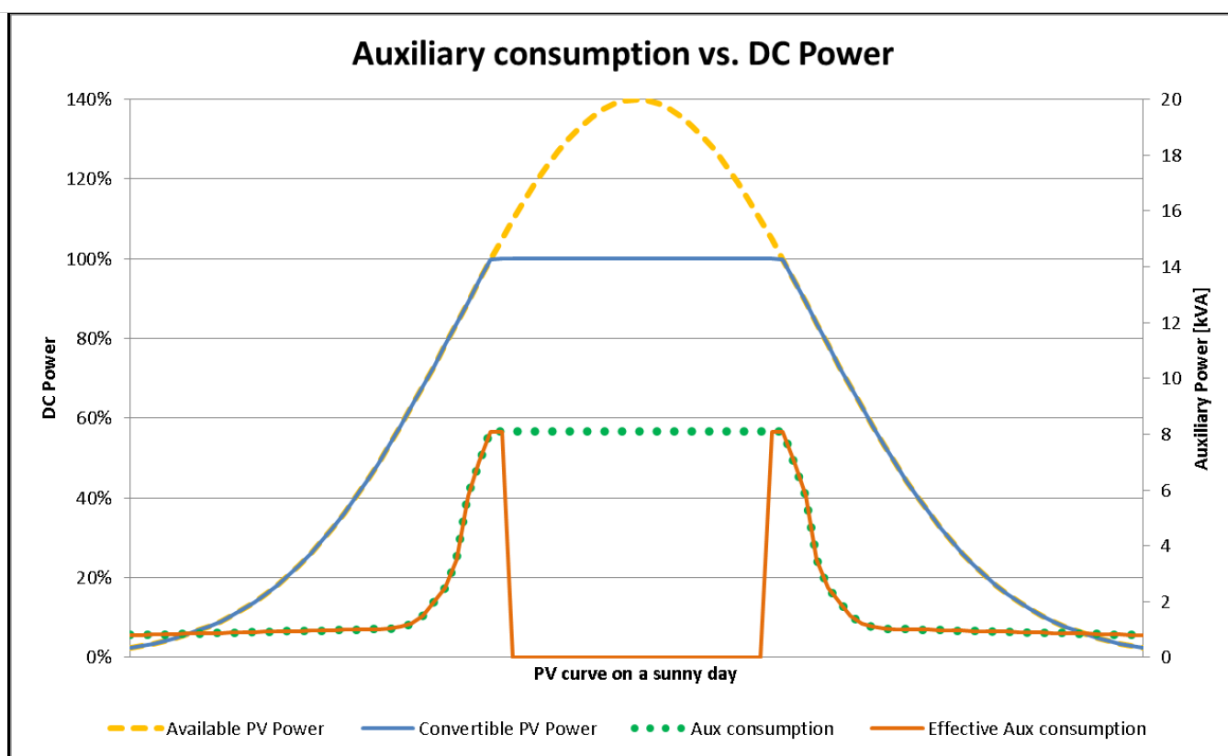


Figura 3.17: Consumo de servicios auxiliares en un día soleado [5].

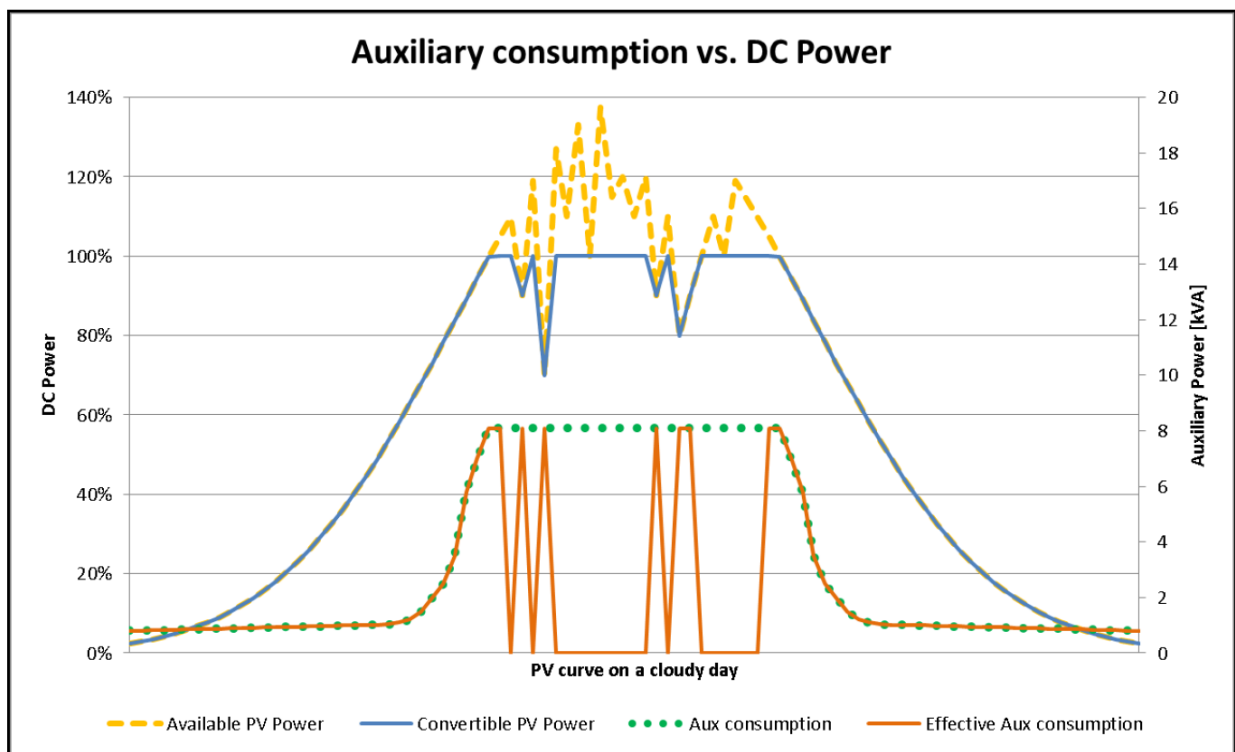


Figura 3.18: Consumo de servicios auxiliares en un día nublado [5].

3.3 ANTECEDENTES Y EXIGENCIAS NORMATIVAS

Las Empresas Generadoras cuyas unidades generadoras hayan entrado en operación en el SEN y aquellas que estén realizando pruebas de operatividad previas a su entrada en operación, deberán informar al Coordinador, el Mínimo Técnico de sus unidades, conforme a los plazos y formas de acuerdo con lo requerido en el anexo técnico: “Determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras”.

El anexo técnico mencionado anteriormente, en su artículo 8 “Consideraciones en la determinación del Mínimo Técnico” se indica que:

“El valor informado para el Mínimo Técnico de las unidades generadoras del SI deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la misma.”

“La Empresa Generadora deberá proporcionar al Coordinador los antecedentes que respaldan el valor de Mínimo Técnico informado, incluyendo los supuestos y metodologías utilizadas para establecer dicho valor, los que deberán recoger las recomendaciones entregadas por el fabricante y antecedentes operativos que hayan sido registrados durante la operación de la respectiva unidad generadora.”

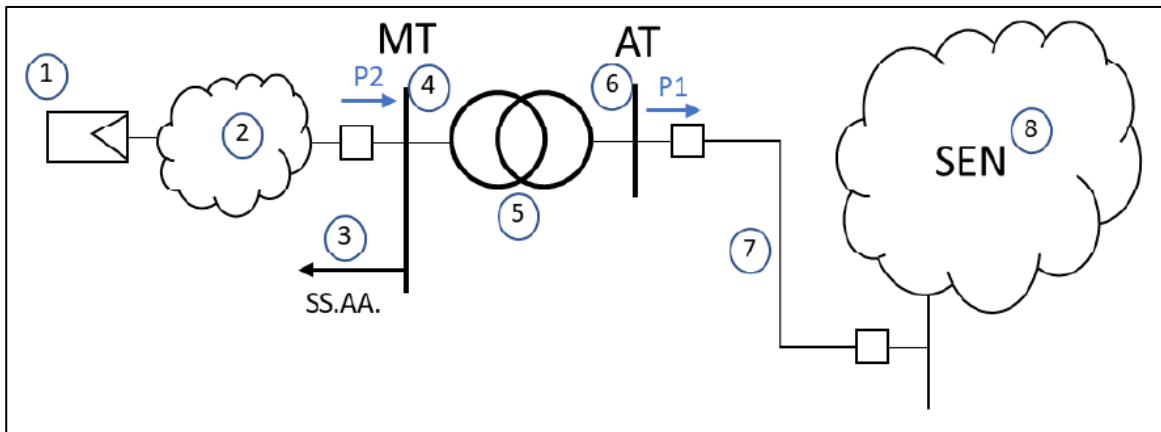
“El valor informado para el Mínimo Técnico de las unidades generadores señalado en el presente Anexo, deberá ser representativo de las características técnicas propias de dichas unidades. Aquellas restricciones operativas tales como restricciones del sistema de transmisión, medioambientales, convenios de riego, entre otras, no deberán ser consideradas en la determinación de este valor”.

Por ende, el presente informe técnico contiene la información solicitada en el anexo técnico “Determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras”.

4 DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO PARQUE FOTOVOLTAICO DIEGO DE ALMAGRO SUR

En la presente sección se determina el mínimo técnico del PFV Diego de Almagro Sur considerando lo señalado en el anexo técnico “Determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras”. En el artículo 4 de dicho documento se define lo siguiente: “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 el documento de Aplicación de Anexos Técnicos [11], sección mínimo técnico, se definen los siguientes puntos de inyección de corriente y metodología para el cálculo del mínimo técnico.



Los componentes del parque ERNC son los siguientes:

1. Generador equivalente: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque ERNC.
2. Pérdidas en sistema colector del parque: Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque ERNC, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
3. Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.
4. Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder de la central.
5. Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque ERNC.
6. Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder de la central.
7. Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque ERNC con el sistema eléctrico.
8. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
9. P1: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de alta tensión de su subestación de salida.
10. P2: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida.

Considerando la descripción anterior, se solicita enviar e incorporar al informe de mínimo técnico del parque fotovoltaico o eólico la siguiente información:

- a) P1: Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) en la central [MW].
- b) P2: Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) de la central.
- c) Ptrafo: Perdidas del transformador de poder de la central [MW].
- d) SS.AA.: Servicios auxiliares de la central [MW].
- e) Pcolector: Perdidas en el sistema colector del parque [MW].

Finalmente, el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) determinará el mínimo técnico (MT) de la central según la siguiente formula:

$$MT = P1 + Ptrafo + SS.AA. + Pcolector, \text{ ó}$$

$$MT = P2 + Pcolector$$

4.1 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÍNIMA NETA (P1)

Con el objetivo de determinar la potencia de mínimo técnico neta del PFV Diego de Almagro Sur en la barra de 220kV de la SE Inca de Oro, se utilizan los registros de generación del día 02 de junio de 2022, provenientes de los datos recabados del SCADA de la SE Inca de Oro, sistema que monitorea el medidor ION-7650 de la misma, junto con los paños 52FT11 y 52FT12 del sistema de 33kV del PFV Diego de Almagro Sur.

Las pruebas de determinación de mínimo técnico fueron desarrolladas entre 15:38:15 y 16:24:06 del 02 de junio del 2022, a continuación, se presenta el perfil de generación registrado en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro durante la prueba.



Figura 4.1: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022.

Para exponer una mejor visualización de la potencia de mínimo técnico alcanzada, se grafica la potencia evacuada en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro entre las 15:39 y las 16:16 del 02 de junio de 2022.

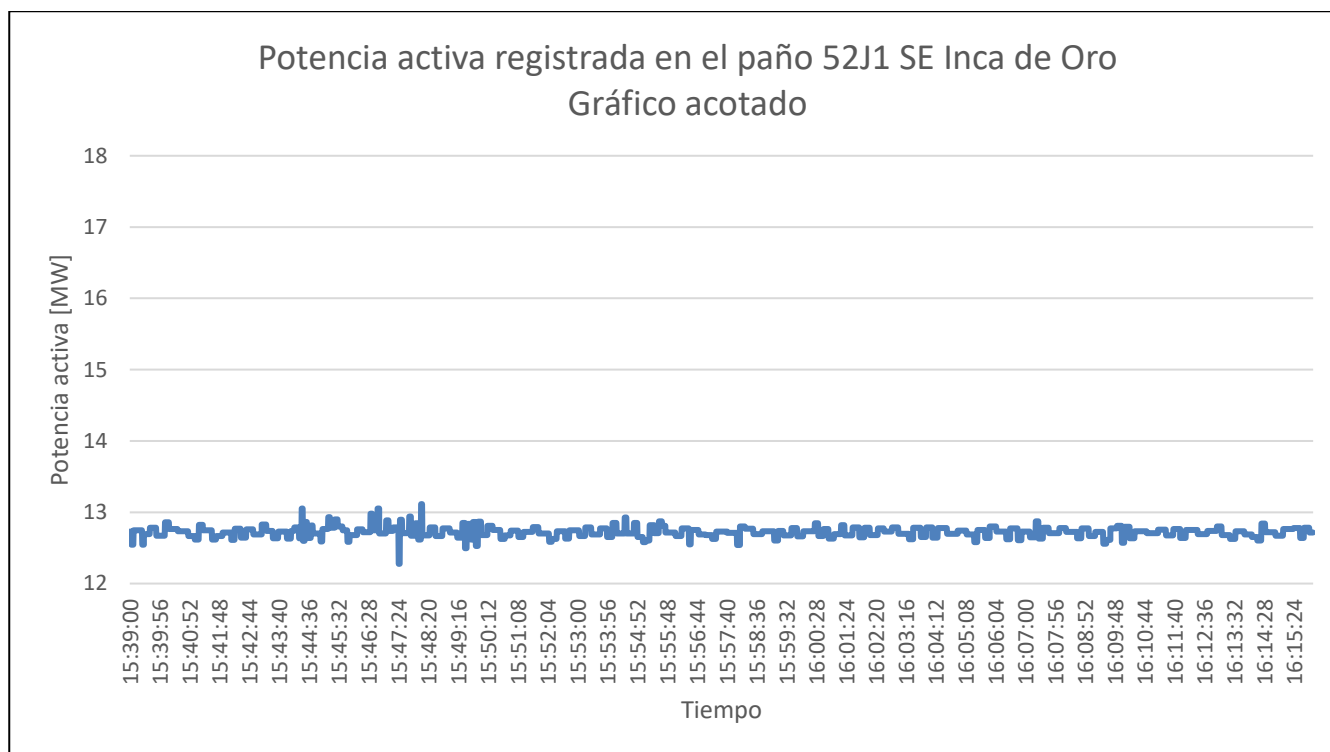


Figura 4.2: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022. Gráfico acotado.

Para determinar el valor de mínimo técnico neto durante la prueba, se procede a calcular la media de los valores de potencia activa en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, registrados entre las 15:39 y las 16:16 de 2 de junio 2022, resultando un mínimo técnico neto (P1) de 12,721 MW.

Es preciso señalar que, durante los ensayos realizados, para valores de potencia activa menores, el control de reactivos del parque no presentaba un comportamiento estable. De acuerdo con la información del PPM (Power Plant Management), el control de reactivos para una carga menor atiende a una parametrización diferente por parte del fabricante [10] y [12].

No obstante, en el ANEXO V se determina que al mantener solo 1 inversor en servicio y apagando los 45 inversores restantes, el parque Diego de Almagro Sur es capaz de inyectar potencia a potencias menores a 12 MW, sin embargo, es una condición que no ha sido probada y tampoco es una operación normal debido a que debe ejecutarse manualmente, lo cual excede los tiempos de respuesta que se manejan en la operación en tiempo real.

También en el ANEXO V, en forma teórica, se muestra que al mantener solo 1 inversor en servicio y apagando los 45 inversores restantes, el parque Diego de Almagro Sur es capaz de inyectar potencia activa a potencias menores a 12 MW, sin embargo, es una condición que no ha sido probada y tampoco es una condición de operación normal. Así, se establece que al inyectar con solo un inversor en servicio en mínimo técnico, la potencia inyectada en el punto de conexión del PFV Diego de Almagro Sur es de 0,0199 MW (SE Inca de Oro), mientras que la potencia inyectada en la SE Illapa es de 0,0197 MW. El resumen de potencias obtenidas se presenta en la Tabla 6.1. Todos estos valores son determinados teóricamente mediante simulación.

4.2 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÍNIMA BRUTA

La potencia mínima bruta (MT) del PFV Diego de Almagro Sur se calcula en base a la potencia mínima neta (P1). Para determinar el MT es necesario añadir al P1 las potencias asociadas a pérdidas del transformador de poder, servicios auxiliares de la SE Inca de Oro, pérdidas del sistema colector del parque y servicios auxiliares de cada inversor, es decir:

$$P_{MT} = P_1 + P_{Trafo} + P_{SSAA} + P_{colector}$$

4.2.1 Determinación de Pérdidas Asociadas al Transformador Elevador 220/33kV.

Las pérdidas asociadas al transformador de poder corresponden a la diferencia registrada entre las barras de 220kV y 33kV de la SE Inca de Oro, donde la inyección de potencia activa en la barra de 33kV está asociada a la suma de los paños 52FT11 y 52FT12, por otra parte, en la barra de 220kV la potencia es evacuada por el paño 52J1. La Figura 4.3 representa la diferencia de potencia activa entre los dos puntos mencionados durante la prueba de mínimo técnico.

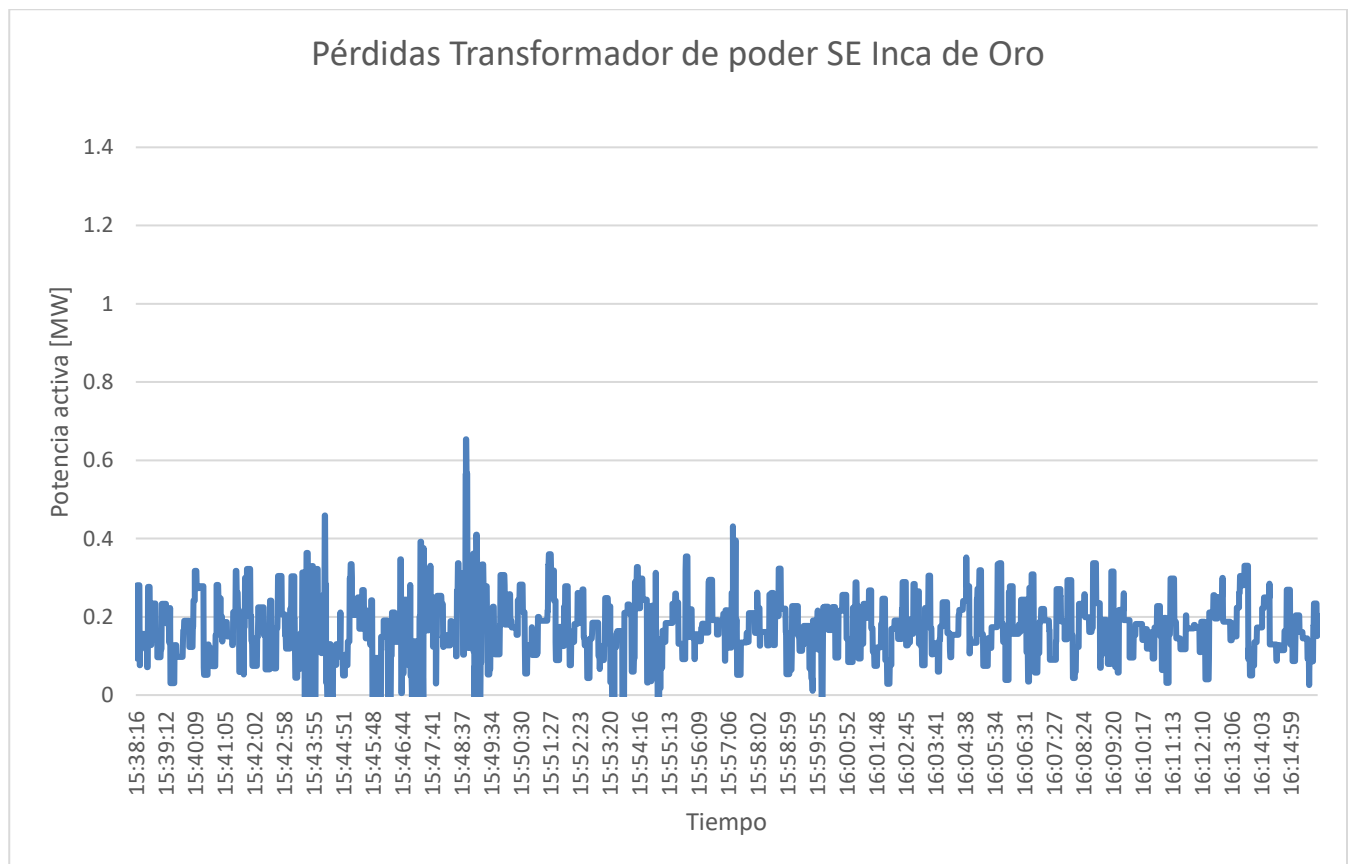


Figura 4.3: Registro de potencia a mínimo técnico [MW] en el paño 52J1 de la SE Inca de Oro, el día 02-06-2022. Gráfico acotado.

Las pérdidas asociadas al transformador de poder durante la prueba de mínimo técnico, se determinan a partir de la media de los registros presentados en la Figura 4.3, obteniéndose un valor de 169,93 kW.

4.2.2 Determinación de Pérdidas Asociadas a los Servicios Auxiliares.

Servicios auxiliares a nivel de inversores.

Considerando que el mínimo técnico a nivel de inversor es cercano a 276,5 kW, es decir, un 6% de la capacidad nominal del inversor, los servicios auxiliares por conceptos de sistema de control, comunicación y enfriamiento a nivel de los inversores se determinan a partir de la Figura 3.17 y corresponden a 710 W.

Para calcular el consumo de los 46 inversores incluidos en el PFV Diego de Almagro Sur, se escala el consumo a la totalidad de los centros de transformación del parque, por lo tanto, con mínimo técnico, los consumos auxiliares a nivel de inversor es de 32,66 kW. Estos consumos auxiliares son entregados por el lado en corriente continua de los inversores, tal como se indica en ANEXO III.

Servicios auxiliares asociados a la SE Inca de Oro

El día 02 de junio de 2022 se registraron los consumos de los servicios auxiliares de la SE Inca de Oro asociados a equipos de protección, medición, calefacción de la sala eléctrica, operación de los equipos de poder, iluminación, entre otros consumos correspondientes a la barra de 400V. La Figura 4-4 muestra el perfil de carga de los servicios auxiliares durante el ensayo de mínimo técnico del parque.

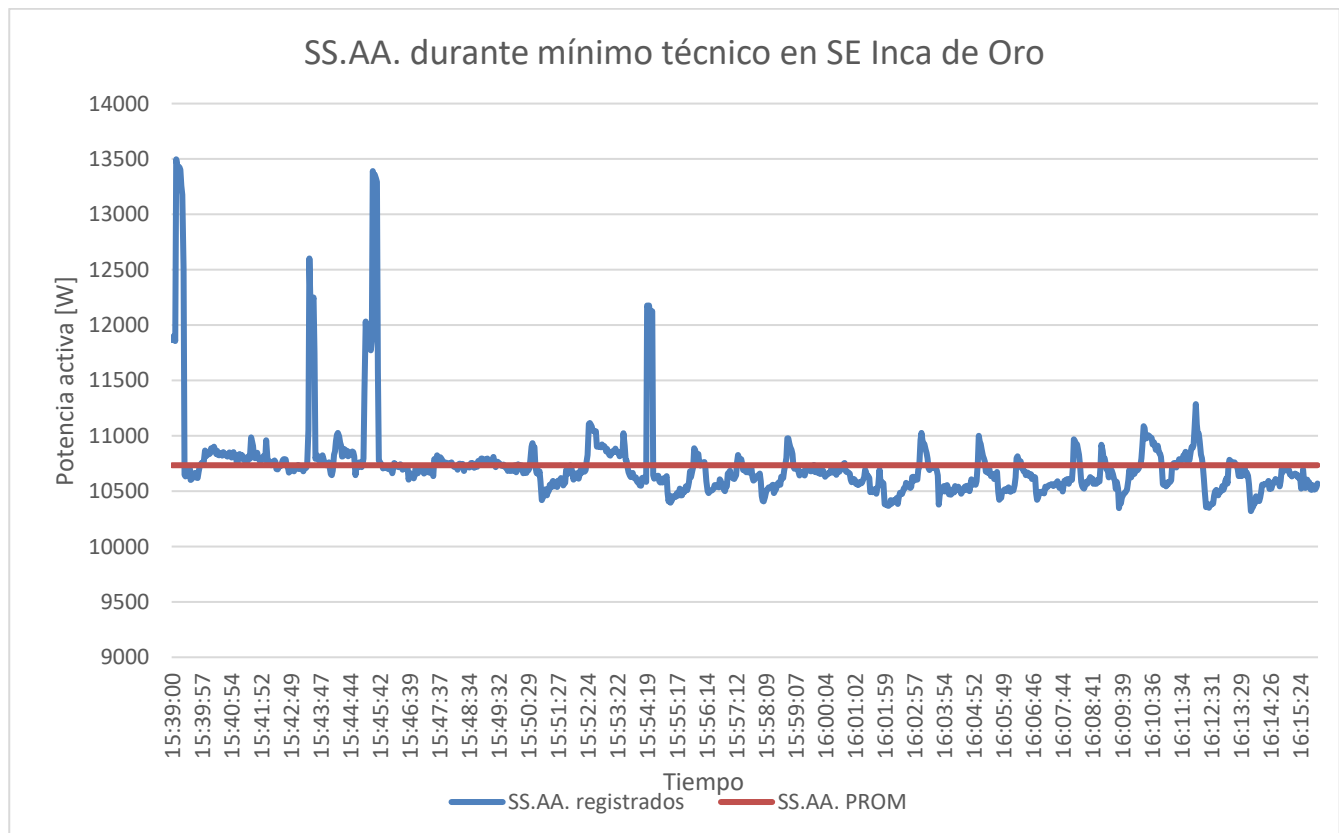


Figura 4.4: Registro del comportamiento de potencia activa en SSAA de SE Inca de Oro.

Tal como se puede apreciar, los consumos asociados a 400V de la SE Inca de Oro son relativamente constantes, por lo tanto, se considerarán los SS.AA. de la SE Inca de Oro como constantes e igual al promedio del registro durante la prueba de mínimo técnico, es decir, 10,734 kW.

4.2.3 Determinación de Pérdidas Asociadas al sistema colector.

Para determinar las pérdidas del sistema colector de 33 kV se utiliza la expresión:

$$P_{sist. colector} = P_{CT's} - P_{SS.AA. SE} - P_{Trafo} - P_{MTN}$$

Dado que la $P_{SS.AA. SE}$, P_{Trafo} y P_{MTN} son conocidas, se determina la potencia despachada de los inversores ($P_{CT's}$), considerando los datos que entregó la medición de potencia de éstos el día de la medición.

A continuación, se muestra la gráfica de potencia activa en bornes del inversor N°24 durante la prueba de mínimo técnico.

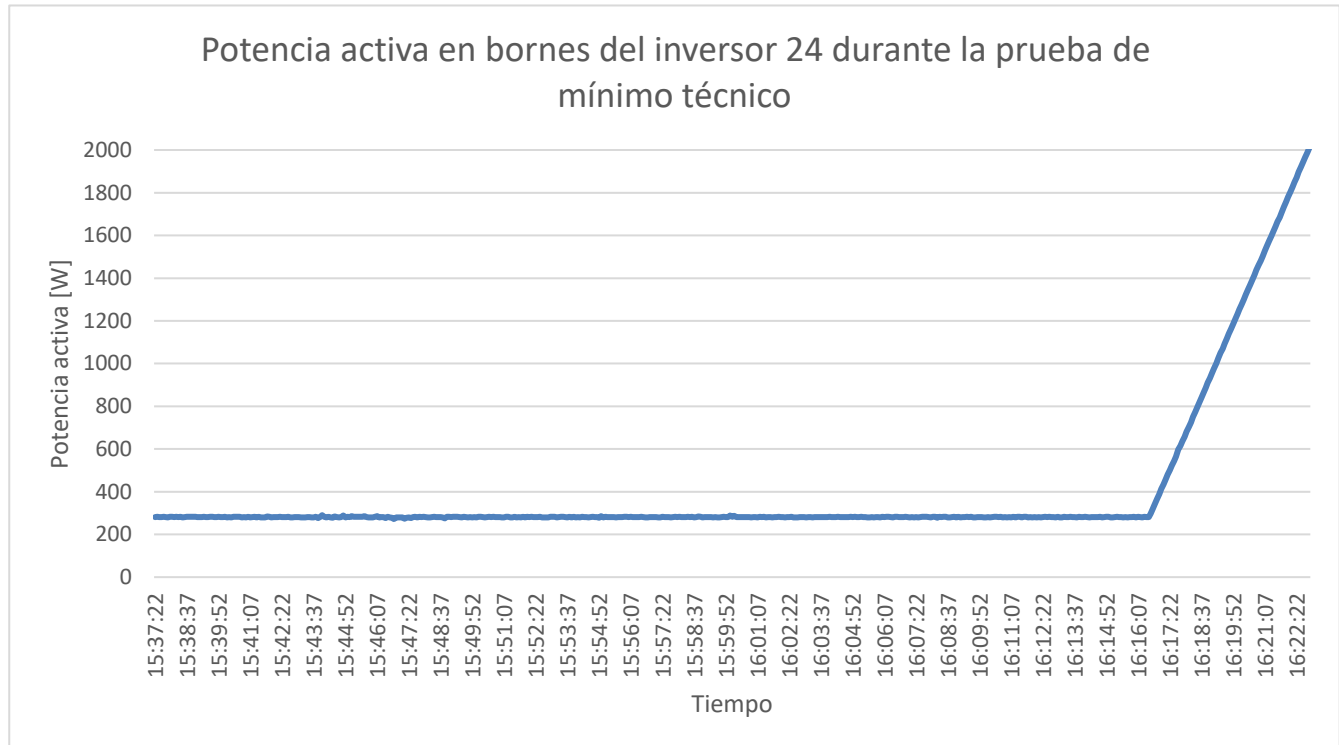


Figura 4.5: Registro del comportamiento de potencia activa en bornes del inversor 24 durante la prueba de mínimo técnico.

Según los datos obtenidos indicados en el gráfico, se procede mediante el promedio del registro entre las 15:39 y las 16:16 de 2 de junio 2022, obteniéndose un valor de 281,04 kW.

Debido a que el controlador centralizado de la planta envía consignas idénticas a todos los inversores, es que la potencia activa ($P_{CT's}$) total del parque generada es:

$$P_{CT's} = 12927,84 \text{ kW}$$

Finalmente, para determinar las pérdidas del sistema colector, se debe considerar la siguiente expresión:

$$P_{sist. colector} = P_{CT's} - P_{SS.AA. SE} - P_{Trafo} - P_{MTN}$$

Donde:

$P_{CT's}$: Potencia despachada a nivel de CT's durante la prueba de mínimo técnico.

$P_{sist. colector}$: Pérdidas del sistema colector.

$P_{SS.AA.SE}$: Consumos auxiliares en la SE Inca de Oro.

$P_{sist. colector}$: Pérdidas del sistema colector.

P_{Trafo} : Pérdidas del transformador de poder.

P_{MTN} : Potencia mínima neta.

$$P_{sist. colector} = 26,176 \text{ kW}$$

4.2.4 Determinación de Potencia Mínima Bruta.

De los cálculos realizados y resultados obtenidos, se tiene obtiene la Tabla 4.1 con el resumen de las diferentes potencias de interés:

Elemento	Potencia [kW]
Potencia activa neta en 52J1 SE Inca de Oro o punto conexión (P_{MTN})	12721
Potencia activa inyectada en SE Illapa (ver ANEXO V)	12720,1
Pérdidas en el transformador de poder (P_{Trafo})	169,93
Potencia activa neta en 52FT11 + 52FT12 (P2)	12891
Consumo SS.AA. SE Inca de Oro ($P_{SS.AA. SE}$)	10,734
Pérdidas sistema colector de 33kV ($P_{sist. colector}$)	26,176
Consumo SS.AA. a nivel de inversores ¹ ($P_{SS.AA. INV}$)	32,66
Pérdidas de la línea 1x220 kV Inca de Oro-Illapa (ver ANEXO V)	0,9

Tabla 4.1: Resumen de potencias calculadas y registradas, asociadas al PFV Diego de Almagro Sur.

A partir de los antecedentes anteriormente presentados, el mínimo técnico bruto (P_{MTB}) se encuentra determinado por lo siguiente expresión:

$$P_{MTB} = P_{SS.AA. INV} + P_{sist. colector} + P_{SS.AA. SE} + P_{Trafo} + P_{MTN}$$

$$P_{MTB} = 12,961 \text{ MW}$$

¹ Los consumos auxiliares asociados a los inversores del PFV Diego de Almagro Sur son compensados por el lado DC de los inversores, Figura 3.17.

5 CONCLUSIONES

En base a las mediciones en el paño 52J1 y los servicios auxiliares de la SE Inca de Oro realizadas el 2 de junio de 2022 y los registros SCADA recabados para el mismo día, resulta posible determinar que el mínimo técnico neto del PFV Diego de Almagro Sur es de 12,721 MW.


Por otra parte, se determinó que: las pérdidas del transformador durante el mínimo técnico son de 169,93kW, los consumos auxiliares de la SE Inca de Oro ascienden a 10,734 kW, las pérdidas del sistema colector son de 26,176 kW y los consumos auxiliares de los inversores son de 32,66 kW, resultando finalmente una potencia de mínimo técnico bruta de 12,961 MW, correspondiente aproximadamente al 6% de la potencia instalada del parque. Además, la potencia inyectada en la SE Illapa corresponde a 12,7201 MW, y para esta condición de operación se determina que las pérdidas de la línea 1x220 kV Inca de Oro-Illapa son de 0,9 kW.

6 REFERENCIAS

- [1]. Guía Técnica Homologación de Modelos Dinámicos centrales ERNC.pdf en su versión 3, CEN.
- [2]. Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, CNE, septiembre 2020.
- [3]. Manual instrumento de medida “PureBB-3phases-SMX-0621-0100-V2-26122017(1).pdf”, ELSPEC.
- [4]. Manual instrumento de medida “SMX-0618-0100-Portable-BLACKBOX-User-Installation-Manual-V1.3-b.pdf”, ELSPEC.
- [5]. Información técnica Proyecto Diego de Almagro Sur “MVPS 4600-S2 Documentation”, SMA, 2020.
- [6]. Technical Information Document – Sunny Central UP (-US), SMA Solar Technology, march 2020.
- [7]. Información técnica transformador de poder ABB: “Anexo 2 - Placa transformador de Poder 3D.pdf” y “Anexo 3 - Ensayos del Transformador (FAT).pdf”.
- [8]. Estudio ECAP – PFV Diego de Almagro Sur: “PVDA-S42-5-e1-IN-20-4.pdf”, Colbún.
- [9]. Estudio Estabilidad Transitoria – PFV Diego de Almagro Sur: “PVDA-S42-5-e1-IN-18-2.pdf”, Colbún.
- [10]. Technical Information - SMA GRID GUARD 10.0 - Grid Management Services via Inverter and System Controller.
- [11]. Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos.
- [12]. Power Plant Manager Site Acceptance Test Project: Diego de Almagro Sur, SMA Solar Technology.


ANEXOS

ANEXO I DATASHEET Y PRUEBAS FÁBRICA TRANSFORMADOR DE BLOQUE BT/MT [5]



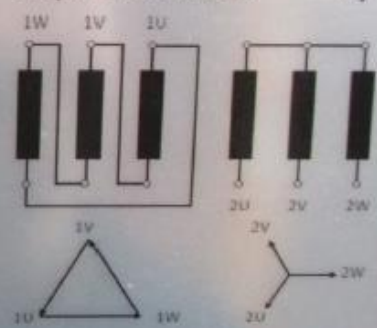
SBG
Your dedicated partner
of the SGB-SMIT Group

Sächsisch-Bayerische Starkstrom-Gerätebau GmbH
Ohmstraße 1
D-08496 Neumark/Sachsen
Made in Germany



No. de Serie: 2788618 **Modelo:** DNT 4140 H/30 **Año de Fabricación:** 11.2020

Especificación: D_00150054_01 **Libro de Instrucción:** B2 **Versión de Fabricación:** Q1

Clase: KNAN	Líquido Aislante: MIDEL EN	Modo de Operación: Step-up
Aumento Temp. Ac./Dev.: 80 / 95°C	Frecuencia: 50 Hz	
Potencia Nom. @25°C: 4600 kVA	@40°C: 4140 kVA	Grupo de Conexión: Dy11
Alta Tensión: 33000 V	Baja Tensión: 690 V	
AC/BIL (HV): 70 / 170 kV	AC/BIL (LV): 10 / 30 kV	
Mat. de Devanado (HV): Al	Mat. de Devanado (LV): Al	
Perdidas en Vacío: 37091 W (@115°C)	Perdidas con Carga: 3056 W	

Corriente de cortocircuito permanente: 1,034 kA 6,5 % Tens. de cortocir. #140 kVA

Pos. del desviador:	1/A	2/B	3/C	4/D	5/E
Voltaje Nominal:	34650	33825	33000	32175	31350
Corriente Nominal:	68,98	70,66	72,45	74,29	76,24

Núcleo y Bobinas: 3969 kg	Presión min. de operación: -4,3 kPa max; 3,2 kPa	Perfil de Carga: 24h
Tanque: 2106 kg	Presión de Alarma del Aceite: 20 kPa	Pantal. entre devan.: no
Masa total: 8520 kg	Nivel de PCB (equipo nuevo): 0 ppm	Temp. Ambiente: -25 - +40°C
Vol. + Masa de Aceite: 2045 l / 1880 kg	Temp. de Alarma del Aceite: 122 °C	

CERTIFICADO DE ENSAYO		No.d.fáb : 2788618
Tipo : DNT 4140 H/30	Prescri. : DIN EN 60076-1	Año de constr. : 2020

Modelo

 Transformador en aceite
 Protección anticorrosiva: pintura C3

Max 4600kVA @ 25 °C temperature ambiente

Potencia: 4140.0kVA	Frec.: 50,00Hz	Tens. d.c.-ci: 6.5%	Cl.: LT	M.d.op.: DB	Um(kV) : 36.0/3.6	Croq. acot. : AK4183
Ten. nom. [V]: 33000/690	Gr.de di. : Dy11	Clase de prot. : IP54	Clase de cúsl. : A	T.de refrig. : KNAN	Valores de med.	
Corr. nom. [A]: 72,4/3484	Refriger. : Midel eN 1204	Peso medio : 1.880t	Peso total : 8.520t	Po [W] : 3056	Pk [W] : 37091	PEI [%] : 99.486 / kPEI [%] : 0.287
Derivaciones : ±2x2,5%				ukn [%] : 6.5	Lpa[dB(A)] :	Lwa [dB] :

Medición en vacío con conex. lado t.i. 690 V y 50.00 Hz											
Fase	Leer	C	Volt.	Leer	C	Amp.	A.va.medio	Leer	Σ	C	Watio
2U-2V			687.74			4.59					
2V-2W			690.82			3.44	4.30				
2W-2U			691.25			4.86	Io 0.124%				3056

Medic. en cortocir. con conex. lado t.s. 33000 V y 50.00 Hz											
Fase	Leer	C	Volt.	Leer	C	Amp.	A.va.medio	Leer	Σ	C	Watio
1U-1V			1090.79			36.92					7991
1V-1W			1092.47			37.27	37.31				34.0
1W-1U			1122.91			37.75					7957

Fase	Leer	C	Volt.	Leer	C	Amp.	A.va.medio	Leer	Σ	C	Watio

Pk en	Conexi./Cortocir.	33000 V/690 V	con 115 °C	Pk en									
con 23.5 °C	Pz W	I ² R W	Pk W	ukn %	ur %	ux %	con °C	Pz W	I ² R W	Pk W	ukn %	ur %	ux %
29957	4378	32713	37091	6.51	0.90	6.45							


Medic. de la resistencia con 23.5 °C (Valores de medic.[Ohm])							
Esc.de ten.V	1U-1V	1V-1W	1W-1U	2U-2V	2V-2W	2W-2U	Esc.de ten.V
33000.0	1.617	1.621	1.616	0.0006221	0.0006274	0.0006348	690.0

Medición de la relación de transformación (Error [%])						
Conexión V	34650	33825	33000	32175	31350	
Transf. nom.	50.22	49.02	47.83	46.63	45.43	
1U-1V/2U-2V	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	
1V-1W/2V-2W	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	
1W-1U/2W-2U	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	

Ensayos de aislamiento						
En. del arrollam.	kV	Hz	min	En. entre espir.	kV	Hz sec
t.s./t.i. Núcleo	70.0	50.0	1	t.i.-Lado	1.380	125 48.0
t.i./Núcl.	10.0	50.0	1			

Ensayos adicionales	NOTAS

0020207083	SPAN 40°C [35°C]		
Fecha de exped. 05.11.2020	Fecha de la prueba 05.11.2020	verificado Gohr	SÄCHSISCH-BAYERISCHE STARKSTROM-GERÄTEBAU Ohmstr. 01, 08492 Neumark/Sachsen

		PROTOCOLO DE ENSAYOS Resumen				N° de Protocolo: 1ZBR 21 - 0338	
		Pág 3 de 127					
N° de Serie: 2XBR62264							
Pérdidas e Intensidad de Vacío							
Tensión (% de la Nominal)	Posición	Potencia Base (MVA)	Pérdidas en Vacío (kW)		Intensidad de Vacío		
			Medidas	Garantizadas	Medida	Garantizada	
110	- / 17 / -	250	151,0		0,2326 %	1,000 %	
100	- / 17 / -	250	96,38	131,0	0,04832 %	0,07000 %	
90	- / 17 / -	250	72,66		0,03419 %		
Pérdidas en Carga y Tensión de Cortocircuito							
Terminales	Tensiones (kV)	Posiciones	Potencia Base (MVA)	Pérdidas a Temp. Ref.		Impedancia a Temp. Ref.	
				Medidas (kW)	Garantizadas (kW)	Medida (%)	Garantizada (%)
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3 Y1-Y2-Y3	220 / 33 / 33	9 / - / -	150	271,75		7,57	
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3 Y1-Y2-Y3	220 / 33 / 33	9 / - / -	250	758,87	904,00	12,62	
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3	242 / 33	1 / -	125	358,25		12,09	12,60
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3	220 / 33	9 / -	125	368,86		11,82	12,20
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3	198 / 33	17 / -	125	398,83		11,73	12,10
H1-H2-H3-H0 Y1-Y2-Y3	242 / 33	1 / -	125	364,07		12,23	12,60
H1-H2-H3-H0 Y1-Y2-Y3	220 / 33	9 / -	125	369,56		11,95	12,20
H1-H2-H3-H0 Y1-Y2-Y3	198 / 33	17 / -	125	394,07		11,85	12,10
X1-X2-X3 Y1-Y2-Y3	33 / 33	- / -	125	720,58		22,34	
Pérdidas Totales							
Terminales	Tensiones (kV)	Posiciones	Potencia Base (MVA)	Pérdidas a Temp. Ref.			
				Medidas (kW)	Garantizadas (kW)		
H1-H2-H3-H0 X1-X2-X3 Y1-Y2-Y3	220 / 33 / 33	9 / - / -	250	855,25	1072		
Fecha: 26-abr-2021		Ingeniero de Ensayo: Robson Montes		Departamento de Ensayo: PGTR			

ANEXO III DATASHEET INVERSOR Y CONSUMOS AUXILIARES

La información técnica de inversores y centros de transformación del tipo MVPS 4600-S2 entregada por el fabricante en el documento [5], se presenta a continuación:

DOCUMENTATION

Project Diego del Almagro



Order Number	516-3005766
SAP Number	676953
Project Name	Diego del Almagro (Chile) - 1
Customer	Colbun
Change Proposal Number	1267
Station Serial Number	CT 422/20

Installed Main Components		
Number	Name	Component
1	MVT	4140 kVA 33/0.69 kV KNAN hermetically sealed liquid immersed transformer (SBG)
2	INV	Central Inverter SC 4600-UP
3	BW	Low Voltage Busbar/Busway between inverter and transformer
4	MVSG	Medium Voltage Ring Main Unit Switchgear SIEMENS 8DJH RRL with Circuit breaker
5	MVC	3 x Medium Voltage Cable N2XS(F)2Y 18/30kV 70mm ² between transformer and Medium Voltage Switchgear
6	STSD	230V 50 Hz low voltage distribution panel
7	SCAS-P	Low voltage cable from BW to fuse holder for installation of auxiliary power supply

Power Class	:		→	MVPS-4200-S2-US-10
Target Country	:	CL	→	Chile
Inverter type	:	0	→	SC UP
Inverter Power	:	3	→	4600 kVA
Ambient Temperature	:	1	→	-25°C to +55°C
Altitude	:	1	→	1001 - 2000 m
Environment	:	0	→	Standard
MV Transformer	:	1	→	KNAN
Transformer Protection	:	1	→	Full Protection
Nominal Voltage	:	H	→	33 kV
Nominal Frequency	:	0	→	50 Hz
Transformer Vector Group	:	0	→	Dy11
Transformer Tap Changer	:	1	→	With
Transformer Shield Winding	:	0	→	Without
Transformer Load Profile	:	6	→	24 Hours
Transformer Losses	:	1	→	Eco Design 1
Oil Containment	:	1	→	With
MV Switchgear	:	2	→	3F-SD-SD-CB-36 kV
Accessories MV Switchgear	:	1	→	Auxiliary Contacts
LV-Transformer	:	2	→	20 kVA, 400 V
Safety Equipment	:	0	→	Without
Monitoring	:	1	→	MVSG
Cable Entry Kit	:	1	→	With
Transport Packaging	:	1	→	Sea Freight
Country Package	:	0	→	Without
Language	:	ES	→	Spanish
Factory Warranty	:	0	→	1 year
Customized Solution	:	1	→	Yes

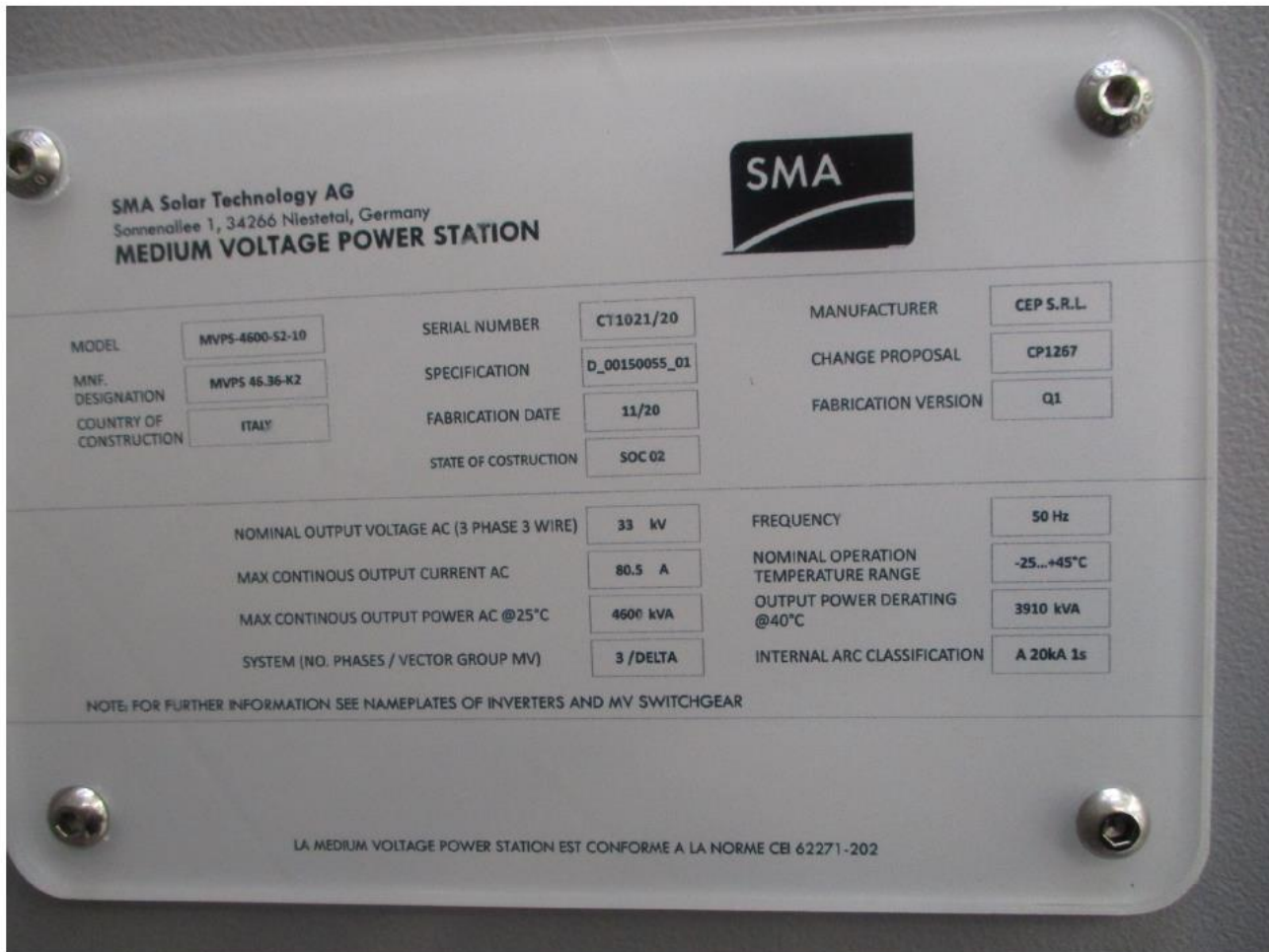


Figura 6.1: Placa de datos Centro de transformación tipo MVPS-4600 S2- PFV Diego de Almagro Sur.

Respecto al consumo de servicio auxiliares de cada centro de transformación, el fabricante en el documento [6], indica lo siguiente: “El inversor convierte la energía de CC a CA, lo que requiere algo de energía auxiliar para el sistema de control, comunicación y enfriamiento. La cantidad de energía auxiliar depende de la temperatura ambiente y de la potencia de salida producida. La alimentación auxiliar se extrae del lado de CA en los terminales del inversor.

Si la potencia fotovoltaica disponible supera el 100 % de la potencia de CC que puede convertir el inversor según el valor nominal de la placa de datos, el inversor produce algo más de potencia de CA para compensar sus pérdidas internas. De esta forma el consumo auxiliar efectivo del inversor es de 0 kVA en cuanto la potencia DC supera el 100%.”

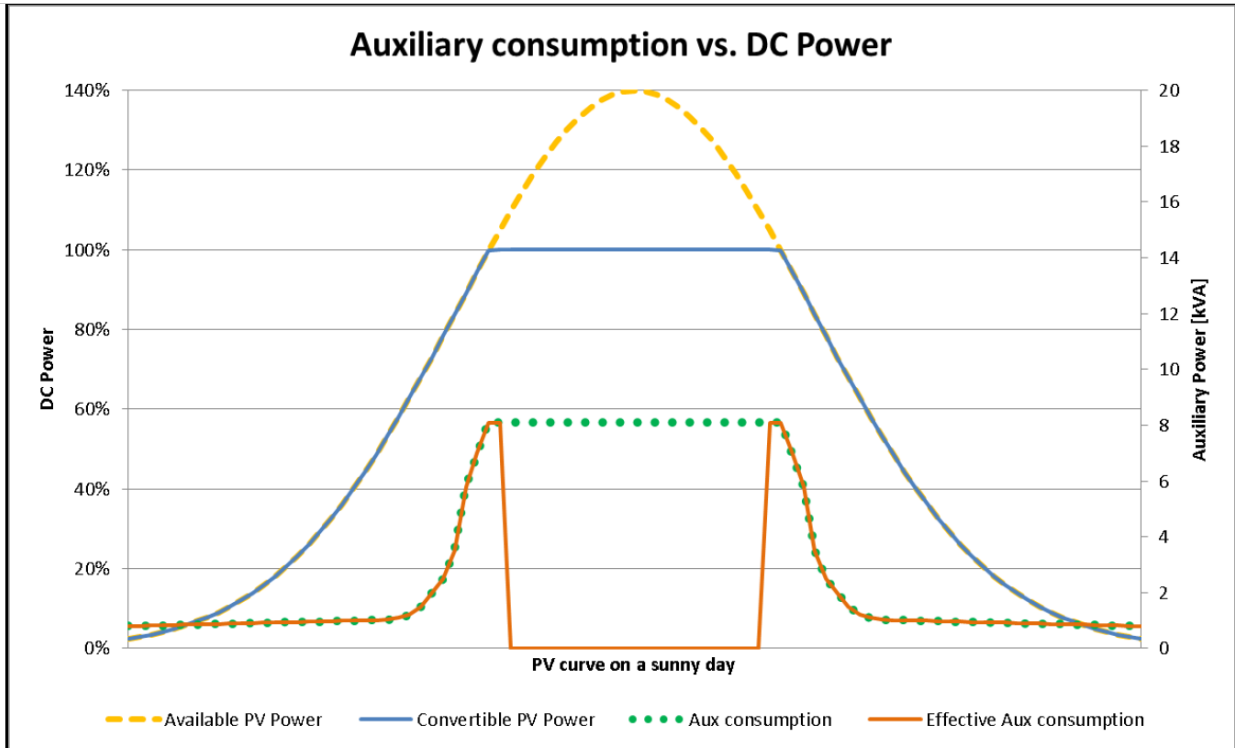


Figura 6.2: Consumo de servicios auxiliares en un día soleado [5].

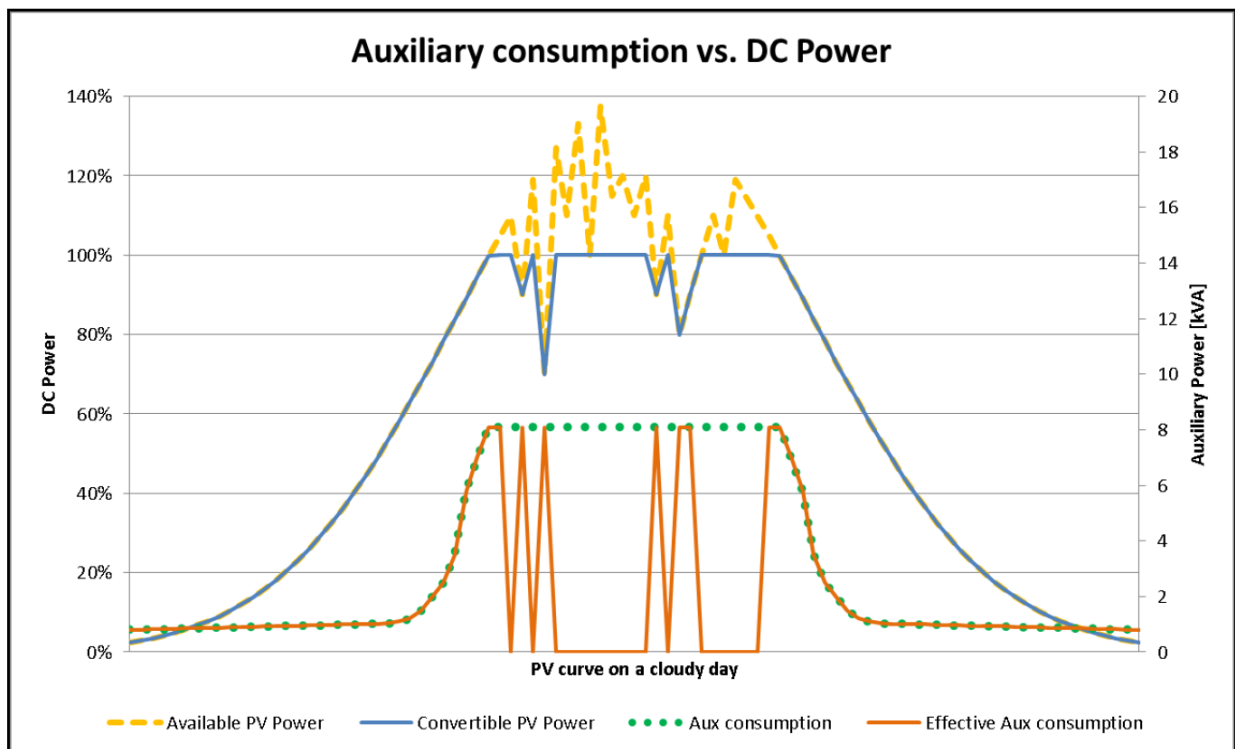


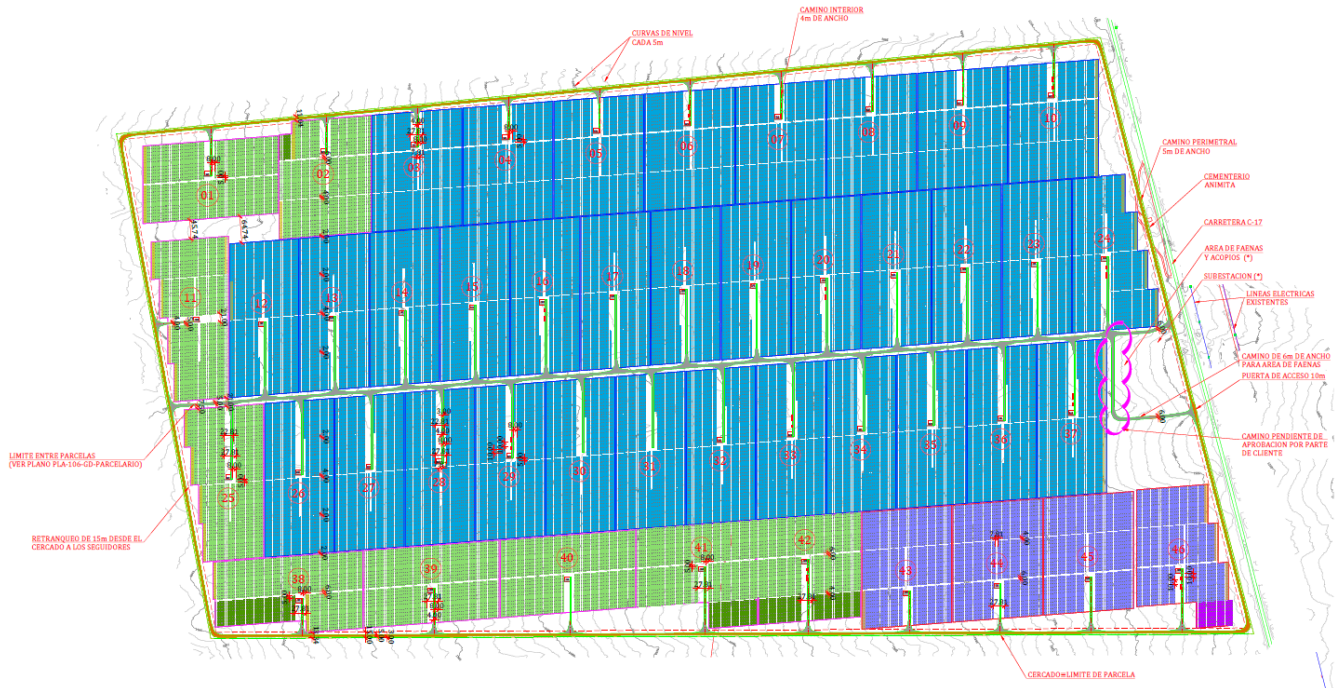
Figura 6.3: Consumo de servicios auxiliares en un día nublado [5].

ANEXO IV NÚMERO DE PANELES POR INVERSOR

En el presente anexo se entrega un *layout* del PFV Diego de Almagro Sur, en donde se indica el número de paneles solares por inversor. Además, se entrega la distribución de los paneles por cada centro de transformación en el documento adjunto “ANEXO 4 IOCL.0094003.00-LIS-102-G-Arbol de planta-v0b.xlsx”.

En total son 470205 módulos distribuidos en 17415 *Strings*. A continuación, se indica el resumen de distribución de paneles y el *layout* respectivo.

BLOQUE	POTENCIA FRONTAL MODULOS (Wp)	MODULOS/INVERSOR
1	490.00	10287.00
2	490.00	10287.00
3	495.00	10206.00
4	495.00	10206.00
5	495.00	10206.00
6	495.00	10206.00
7	495.00	10206.00
8	495.00	10206.00
9	495.00	10206.00
10	495.00	10206.00
11	490.00	10287.00
12	495.00	10206.00
13	495.00	10206.00
14	495.00	10206.00
15	495.00	10206.00
16	495.00	10206.00
17	495.00	10206.00
18	495.00	10206.00
19	495.00	10206.00
20	495.00	10206.00
21	495.00	10206.00
22	495.00	10206.00
23	495.00	10206.00
24	495.00	10206.00
25	490.00	10287.00
26	495.00	10206.00
27	495.00	10206.00
28	495.00	10206.00
29	495.00	10206.00
30	495.00	10206.00
31	495.00	10206.00
32	495.00	10206.00
33	495.00	10206.00
34	495.00	10206.00
35	495.00	10206.00
36	495.00	10206.00
37	495.00	10206.00
38	490.00	10287.00
39	490.00	10287.00
40	490.00	10287.00
41	490.00	10287.00
42	490.00	10287.00
43	500.00	10206.00
44	500.00	10206.00
45	500.00	10206.00
46	500.00	10206.00
		470205.00



De los cálculos realizados y simulación obtenida, se tiene la Tabla 6.1 con el resumen de las diferentes potencias de interés para condición de 1 inversor generando a mínimo técnico:

Elemento	Potencia [kW]
Potencia activa neta en 52J1 SE Inca de Oro o punto conexión (P_{MTN})	19,9
Potencia activa en SE Illapa	19,7
Pérdidas en el transformador de poder (P_{Trafo})	104
Consumo SS.AA. SE Inca de Oro ($P_{SS.AA. SE}$)	10,734
Pérdidas sistema colector de 33kV ($P_{sist. colector}$)	146,366
Potencia activa neta (P2)	124
Consumo SS.AA. a nivel de inversores ² ($P_{SS.AA. INV}$)	32,66
Pérdidas de la línea 1x220 kV Inca de Oro-Illapa	0,2

Tabla 6.1: Resumen de potencias calculadas y registradas con 1 inversor generando a mínimo técnico, asociadas al PFV DAS.

Por otro lado, se requiere verificar la potencia inyectada en la SE Illapa considerando a todos los inversores del parque generando a mínimo técnico. Para ello se utiliza la misma base de datos adjunta en el archivo "ANEXO 5 MT-PFV Diego de Almagro Sur.pfd". Así, se inyecta la misma potencia a la salida del transformador de poder en la SE Inca de Oro, obtenida en Tabla 4.1 y correspondiente a 12,721 MW. De esta forma, en la Figura 6.5 se presenta que la inyección a mínimo técnico del PFV Diego de Almagro en la SE Illapa corresponde a 12,7201 MW, esto con todos los inversores generando. Para esta condición de operación se determina que las pérdidas de la línea 1x220 kV Inca de Oro-Illapa son de 0,9 kW.

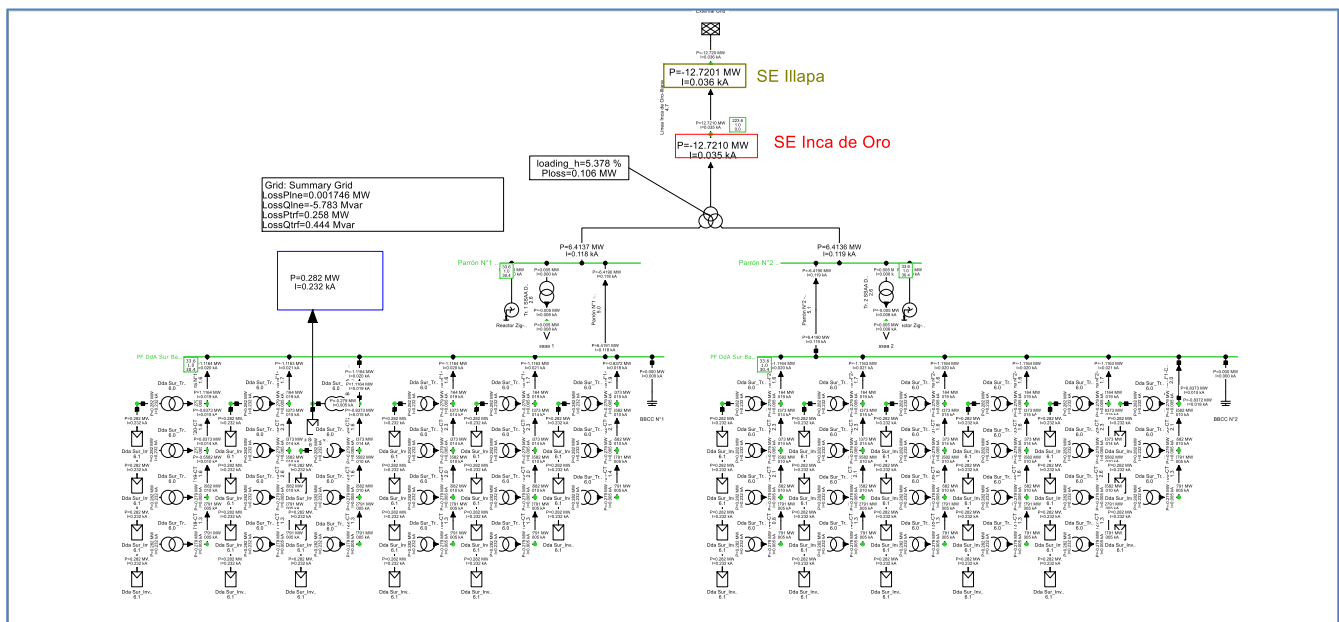


Figura 6.5: Generación de todos los inversores a mínimo técnico en PFV Diego de Almagro Sur.

² Los consumos auxiliares asociados a los inversores del PFV Diego de Almagro Sur son compensados por el lado DC de los inversores, Figura 3.17.

ANEXO VI ESPECIFICACIONES INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

11. Specifications	
SPECIFICATIONS	
Voltage Inputs	4 channels, 600VAC CAT IV, 1000VAC CAT III
Current Channels	4 channels Voltage output CTs (0-10V peak)
Line Frequency	40-70Hz
Waveform Sampling	256 Sample/Cycle at 50/60Hz
Measurements	Continuous PQZ file
Accuracy	IEC 61000-4-30 Class A
LED Indicators	11 Bi-color LEDs
COMMUNICATION	
USB	PQZ file download, FW upgrade & clock setting
LAN	Available in extension module
POWER	
Power Supply	100-240VAC 50/60Hz 10W 5VDC over USB
Battery	Available in extension module
Ride through	15sec
MECHANICAL	
Operating Temperature	-20 to + 65 °C (*)
Humidity	5% to 95% non-condensing
Maximum Operation Altitude	2,000m (1.24Mi)
IP protection	IP 40 (**)
Weight	0.4kg
Dimensions	180 x 115 x 60
STORAGE	
Nonvolatile memory	SD card supporting hot swap
SYNCHRONIZATION	
Internal clock	10 ppm
External synchronization	NTP available in extension module
(*) T>60°C requires an external power supply	
(**) The product is intended for indoor use	

Figura 6.6: Datasheet instrumento de medida PURE BlackBox marca Elspec [3].

Waveform Sampling			
Voltage Sampling Rate	1024 Samples/Cycle		
Current Sampling Rate	256 Samples/Cycle		
Voltage Harmonics (Individual, Even, Odd, Total) Up to -	511 th		
Current Harmonics (Individual, Even, Odd, Total) Up to -	127 th		
Type of Analog to Digital Converter	16/20 ¹ bit		
Storage Capacity			
Internal Memory	32 GB/32TB ²		
Power Quality Analysis			
Transient Detection, Microseconds (50Hz/60Hz)	19.5/16.3µs		
Communication Ports			
Ethernet Ports	3		
Wi-Fi Communications (802.11g)	1		
Power Over Ethernet (PoE- Out)	1		
Digital Input	4		
RS-232	1		
RS-485	1		
Physical			
Dimensions mm	314 X 84 X 271		
Weight	3.7kg		
Control			
Comprehensive web server for local and remote real-time monitoring and control			
Applicable Standards			
Measurement Standards	EN50160, IEE1159, IEE519, IEC61000-4-15, IEC61000-4-7, IEC61000-4-30 Class A		
EMC Standards	EN61326, CFR47FCC, CISPR11 Group 1, FCC PART 15 Subpart B, EN61010-2, IEC61000-3-3, IEC61000-4-2, IEC61000-4-3, IEC61000-4-4, IEC61000-4-5, IEC61000-4-6, IEC61000-4-11		
Environmental Standards	IEC60068-2-1, 2, 6, 27, 30, 75		
Safety Standards	EN61010-1:2001 2nd Edition		
Power Supply		Voltage	
Operating Range	100-260 VAC: 50/60 Hz 100-300 VDC	Voltage Channels	4 (3 Phases + Neut.)+ 1 DC
Auxiliary DC Supply	48 Vdc	Nominal Full Scale	1000V
Auxiliary Supply	PoE In According to 802.3af	Maximum Peak Measurement	8000V
Battery Backup	2 Hours	Input Impedance	3MΩ
Time		Uncertainty	0.1% of Nominal
Current		Frequency	
Real Time Clock	±1 Second per 24 Hours	Current Channels	4 (3 Phases + Neut.)+ 1Grn/DC
Synchronization Device	Uncertainty	Current Channels Receive From Clamp	11-14: 0-10 VPK 15: 0-3 VPK
GPS	100-200µs	Uncertainty	0.1% ±0.1 mV
IRIG B	100-200µs		
Sntp Server	50-100µs		
DCF-77	±15ms	Fundamental Frequency	42.5 Hz to 69 Hz
Environmental Conditions		Frequency Resolution	10 mHz
Operation Temperature	0°C – 50°C (32°F – 122 °F)	Frequency Accuracy	±10 mHz
Storage Temperature	-20°C – 60°C (-4°F – 140 °F)	Disclaimer: Specifications subject to changes without prior notice	

¹ Effective bits

² Equivalent memory size needed without compression

Figura 6.7: Datasheet instrumento de medida G4500 marca Elspec [4].

ANEXO VII ARCHIVOS ADJUNTOS

Anexo a este informe se encuentran los siguientes archivos:

- ANEXO 1 Potencia activa 52J1, 52FT11 y 52FT12 SE Inca de Oro.xlsx: contiene las mediciones de potencia activa en el paño 52J1, 52FT11 y 52FT12 de la SE Inca de Oro, y posterior cálculo de las pérdidas del transformador de poder.
- ANEXO 2 Potencia activa inversor 24.xlsx: contiene las mediciones de potencia activa en bornes del inversor 24 y respectivo cálculo del promedio durante la prueba de mínimo técnico.
- ANEXO 3 SS.AA. SE Inca de Oro.xlsx: contiene las mediciones de potencia activa en los servicios auxiliares (400V) de la SE Inca de Oro.
- ANEXO 4 IOCL.0094003.00-LIS-102-G-Arbol de planta-v0b.xlsx: Contiene la distribución de los paneles solares por cada inversor.
- ANEXO 5 MT-PFV Diego de Almagro Sur.pfd: Contiene base de datos con la prueba desarrollada en ANEXO V.