



P20027

ESTUDIOS PROYECTO CAMPOS DEL SOL

11.11.2022

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades
Generadoras
20027-00-ES-IT-008 Rev. 0
Preparado para Enel Green Power Chile S.A





P20027

ESTUDIOS PROYECTO CAMPOS DEL SOL

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en
Unidades Generadoras

I-SEP Ingenieros SpA.

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

Padre Mariano 82
Oficina 603
Providencia, Santiago
Chile

+56 2 2604 8761

www.i-sep.cl
empresa@i-sep.cl

REV.	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev. A	David Figueroa	03.11.2022	I-SEP	04.11.2022	Emitido para su revisión interna
Rev. B	David Figueroa	04.11.2022	I-SEP	04.11.2022	Coordinación Interna
Rev. 0	David Figueroa	11.11.2022	I-SEP	11.11.2022	Aprobado por ENEL

CONTENIDOS

1.	IDENTIFICACIÓN	4
2.	OBJETIVOS Y ALCANCE	4
3.	INTRODUCCIÓN	4
4.	REFERENCIAS TÉCNICAS	5
4.1.	DOCUMENTOS	5
4.2.	NORMAS Y ESTÁNDARES	5
5.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	6
5.1.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTÁICO CAMPOS DEL SOL	8
5.1.1.	PARÁMETROS LÍNEA 1x220 KV CARRERA PINTO – CAMPOS DEL SOL	8
5.1.2.	TRANSFORMADORES ELEVADORES 220/33/33 KV	12
5.1.3.	INVERSORES PF CAMPOS DEL SOL	13
5.1.4.	TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,6/0,6 KV	14
5.1.5.	CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF CAMPOS DEL SOL	15
5.1.6.	TRANSFORMADORES ZIG-ZAG	18
6.	REVISIÓN NORMATIVA	19
7.	DETERMINACIÓN MÍNIMO TÉCNICO	20
7.1.	DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	20
7.2.	ANTECEDENTES DE OPERACIÓN	21
7.3.	CÁLCULO DE MÍNIMO TÉCNICO DEL PARQUE	23
8.	CONCLUSIONES	24
ANEXO I	REGISTRO SS.AA	
ANEXO II	REGISTRO DE POTENCIA	
ANEXO III	BASE DE DATOS	

1. IDENTIFICACIÓN

- ◆ Nombre del Proyecto : Parque Fotovoltaico Campos del Sol
- ◆ Número Único de Proyecto (NUP) : 677
- ◆ 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 los inversores del Parque Fotovoltaico Campos del Sol, en adelante PFV Campos del Sol, NUP 677, propiedad de Enel Green Power Chile S.A, según lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, y en el **Anexo Técnico: Mínimo Técnico**.

3. INTRODUCCIÓN

El proyecto Campos del Sol consiste en un parque fotovoltaico que se ubica en la comuna de Copiapó, en la Provincia de Copiapó, Región de Atacama. Contempla un total de 126 inversores SUNGROW SG3125HV-20 de 3593 kVA a 25°C, lo que otorga una potencia total instalada de 452,72 MWp mientras que en el punto de conexión se estima una inyección de 381 MW¹ y una máxima generación de 390,11 MW², solo bajo condiciones favorables de radiación solar y temperatura ambiente. La energía inyectada por el parque es evacuada a través de circuitos de 33 kV que se conectan a las instalaciones de transformación de 33/220 kV ubicadas en la S/E Campos del Sol, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), a través de la línea de transmisión 1x220 kV Carrera Pinto – Campos del Sol.

En este contexto, I-SEP se ha adjudicado el desarrollo del informe de mínimo técnico (MinTec), requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto PFV Campos del Sol, el cual tiene por objetivo determinar el mínimo técnico global que puede generar el parque.

¹ Valor extraído de documento “GRE.EEC.C.74.CL.P.07576.00.087.00_CamposDelSol_PmaxPOL.pdf”, coherente con lo informado por ENEL en la solicitud de inicio del proceso de conexión del parque fotovoltaico Campos del Sol ante el CEN.

² Valor extraído desde la estadística de potencia y energía generable mensual con prob. de excedencia de 20%, correspondiente al mes de diciembre, a las 11 hrs. Dicho documento se ha cargado en la información técnica del proyecto con el nombre de “Potencia y energía generable mensual con prob. de excedencia 20%, 50% y 80%.xlsx”.

4. REFERENCIAS TÉCNICAS

El presente informe ha sido desarrollado con los siguientes antecedentes, los cuales se encuentran en la carpeta Anexos adjunta a este informe:

4.1. DOCUMENTOS

- a) Documento “ANEXO II REGISTRO DE POTENCIA.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas en las pruebas del día 14/10/2022.
- b) Documento 20027-00-ES-IT-001 “Estudio de Ajuste y Coordinación de Protecciones” realizado por I-SEP.
- c) Documento “ANEXO I REGISTRO SS.AA.zip”, obtenidas en terreno, que registra las mediciones obtenidas del medidor de servicios auxiliares de la subestación en las pruebas del día 14/10/2022.
- d) BD PowerFactory DIgSILENT “ANEXO III BASE DE DATOS.pfd”.

4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES

- I. Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, versión septiembre 2020.
- II. Anexo Técnico “Mínimo Técnico”

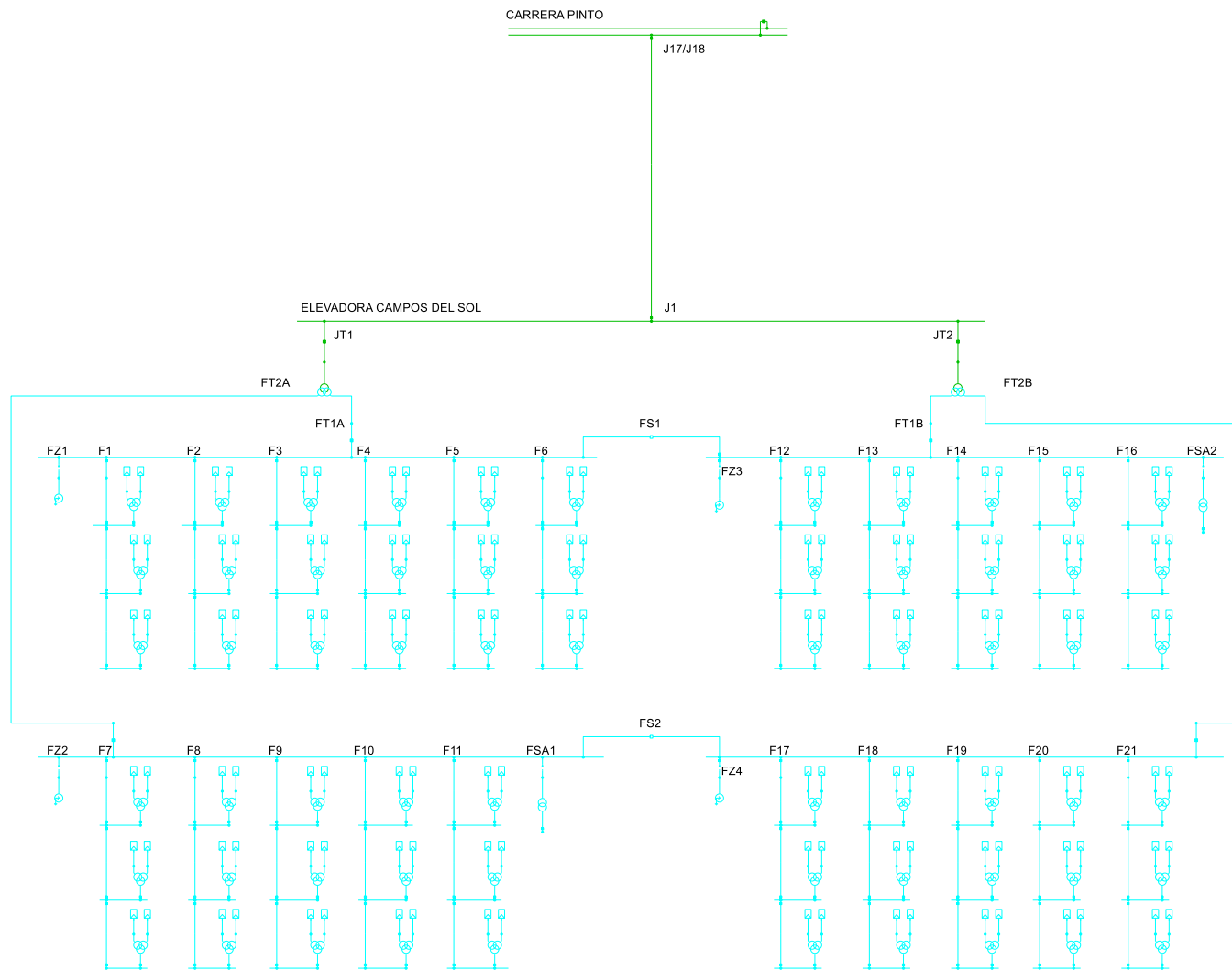


Figura 5-2 Diagrama unilineal sistema colector PFV Campos del Sol.

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO CAMPOS DEL SOL

A continuación, se exponen los aspectos más relevantes de las instalaciones del parque a efectos del presente estudio.

5.1.1. PARÁMETROS LÍNEA 1x220 KV CARRERA PINTO – CAMPOS DEL SOL

Las características principales del conductor de fase y cable de guarda utilizado en la línea 1x220 kV Carrera Pinto – Campos del Sol, de longitud 7,34 km, se indican respectivamente en la Tabla 5-1 y Tabla 5-2.

Tabla 5-1: Características del conductor ACAR 800 MCM.

PARÁMETROS	VALOR
Nombre de código	ACAR 800 MCM
Sección	405 [mm ²]
Diámetro del conductor	26,14 [mm]
Resistencia DC a 20°C	0,0728 [Ω/km]
Resistencia DC a 30°C	0,0756 [Ω/km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	10,18 [mm]
Cantidad de subconductores por fase	2 [-]
Espaciado entre conductores	0,40 [m]

A continuación, la Figura 5-3 muestra la modelación del conductor de fase en el programa PowerFactory.

The image shows a software configuration window for a conductor model. The fields are as follows:

- Name: ACAR 800 MCM 30 grados
- Nominal Voltage: 220 kV
- Nominal Current: 1 kA
- Number of Subconductors: 2
- Bundle Spacing: 0.4 m
- Conductor Model:
 - Solid Conductor
 - Tubular Conductor
- (Sub-)Conductor:
 - DC-Resistance (20°C): 0.0756 Ohm/km
 - GMR (Equivalent Radius): 10.18 mm
 - Outer Diameter: 26.14 mm
- Skin effect

Figura 5-3 Modelación de conductor ACAR 800 MCM en PowerFactory.

Tabla 5-2: Características del conductor OPGW.

PARÁMETROS	VALOR
Tipo	OPGW
Material exterior	Alambre de acero recubierto de aluminio
Diámetro del cable	13 [mm]
Resistencia DC (20°C)	0,790 [Ω /km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	5,062 [mm]

A continuación, la Figura 5-4 muestra la modelación del cable de guardia en el programa PowerFactory.

The screenshot shows the configuration window for an OPGW conductor in PowerFactory. The fields are as follows:

- Name: OPGW
- Nominal Voltage: 220 kV
- Nominal Current: 1 kA
- Number of Subconductors: 1
- Conductor Model:
 - Solid Conductor
 - Tubular Conductor
- (Sub-)Conductor properties:
 - DC-Resistance (20°C): 0.79 Ohm/km
 - GMR (Equivalent Radius): 5.06 mm
 - Outer Diameter: 13 mm
- Skin effect

Figura 5-4 Modelación de cable de guardia OPGW en PowerFactory.

La torre representativa corresponde a la torre 22A1.1C+3, cuya geometría se detalla en la en la Figura 5-5 y en la Tabla 5-3.

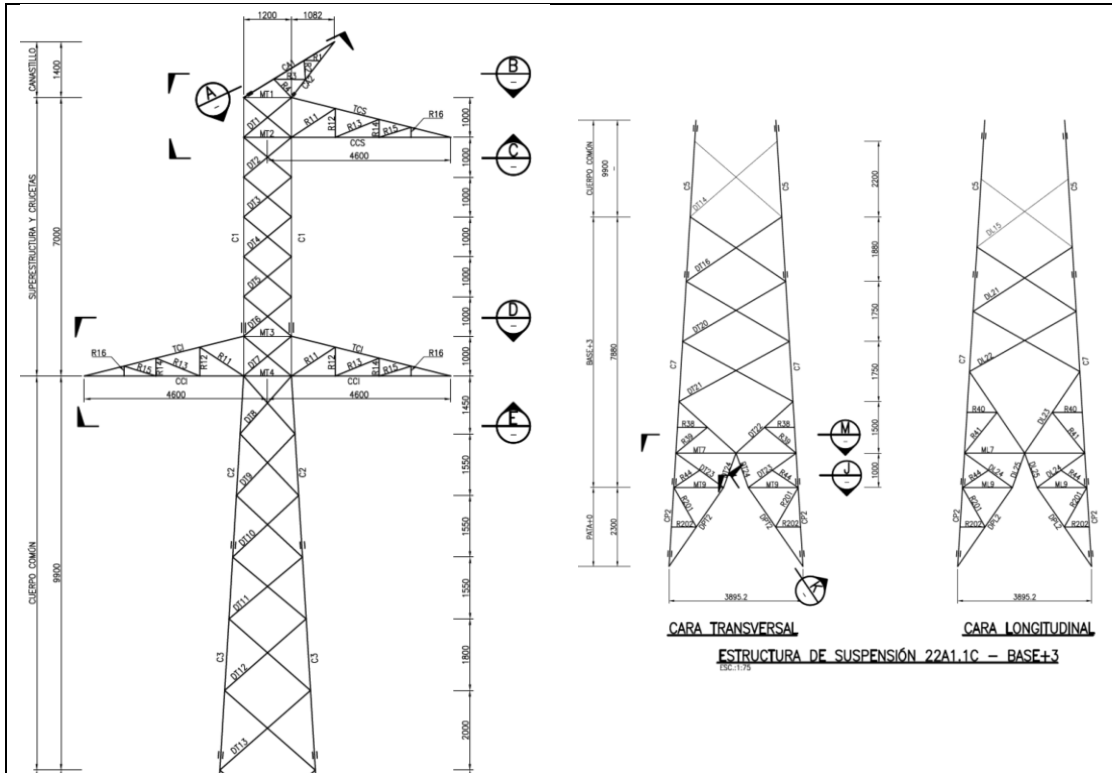


Figura 5-5 Torre 22A1.1C+3.

Tabla 5-3 Disposición de conductores de fase.

CIRCUITO	ESTRUCTURA DE SUSPENSIÓN 22A1.1C+3								ALTURA MEDIA		
	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]	CADENA [m]	FLECHA [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
C1	4,60	4,60	-4,60	26,08	20,08	20,08	3,295	7,830	17,57	11,57	11,57

Tabla 5-4 Disposición de cable de guardia.

CIRCUITO	ESTRUCTURA DE SUSPENSIÓN 22A1.1C+3				ALTURA MEDIA
	X1 [m]	Y1 [m]	CADENA [m]	FLECHA [m]	Y1 [m]
CG	1,682	28,48	0	7,830	23,26

La altura promedio de los conductores respecto del suelo, indicada anteriormente como coordenada “Y”, se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$Altura Media = \frac{1}{3} \cdot Altura Cadena + \frac{2}{3} \cdot (Altura Cadena - Flecha)$$

La siguiente figura muestra la modelación de la torre en PowerFactory.

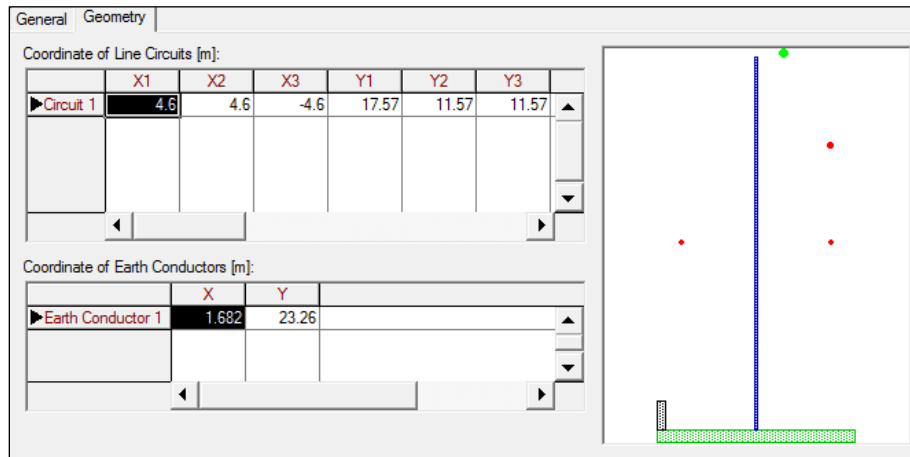


Figura 5-6 Geometría de torre representativa para línea 1x220 kV Carrera Pinto – PFV Campos del Sol.

Con lo anteriormente planteado, los parámetros a 30°C asociados a la línea se muestran a continuación, los cuales han sido determinados considerando una resistividad de terreno de 3360 [Ω -m]. Dicho valor se obtiene como el promedio de las resistividades de la primera capa de las dos mediciones realizadas en el trazado de la línea de transmisión, antecedente b).

Tabla 5-5 Parámetros eléctricos línea 1x220 kV Carrera Pinto – Campos del Sol.

CIRCUITO	LONGITUD DEL TRAMO [km]	R1 [Ω /km]	X1 [Ω /km]	R0 [Ω /km]	X0 [Ω /km]	B1 [μ S/km]	B0 [μ S/km]
1	7,34	0,0387	0,3067	0,3806	1,1840	3,7551	2,2637

5.1.2. TRANSFORMADORES ELEVADORES 220/33/33 kV

Los parámetros utilizados para modelar los dos transformadores elevadores del PFV Campos del Sol, son los indicados en las imágenes, conforme a la información contenida en el antecedente b).

Name: TR1 220 MVA 220/33/33 kV
Technology: Three Phase Transformer

Rated Power:
 HV-Side: 220 MVA
 MV-Side: 110 MVA
 LV-Side: 110 MVA

Rated Voltage:
 HV-Side: 220 kV
 MV-Side: 33 kV
 LV-Side: 33 kV

Vector Group:
 HV-Side: YN
 MV-Side: D
 LV-Side: D
 Name: YN0d1d1

Phase Shift:
 HV-Side: 0. +30deg
 MV-Side: 1. +30deg
 LV-Side: 1. +30deg

Short-Circuit Voltage uk:
 HV-MV: 16.635 %
 MV-LV: 31.85 %
 LV-HV: 16.605 %

Copper Losses:
 HV-MV: 245.58 kW
 MV-LV: 436.63 kW
 LV-HV: 246.06 kW

Zero Sequence Impedance:
 Short-Circuit Voltage uk0:
 HV-MV: 16.635 %
 MV-LV: 31.85 %
 LV-HV: 16.605 %

SHC-Voltage, Real Part:
 HV-MV: 0. %
 MV-LV: 0. %
 LV-HV: 0. %

Tap HV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 1.5 %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: -10
 Max. Position: 10

Tap MV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 0. %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: 0
 Max. Position: 0

Tap LV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 0. %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: 0
 Max. Position: 0

Magnetising Impedance:
 Position: Star Point
 No Load Current: 0.045 %
 No Load Losses: 87.9 kW

Zero Sequence Magnetising Impedance:
 Position: Star Point
 No Load Current: 0. %
 Mag. R/X: 0.

Tap Modelled at: Star Point

Figura 5-7: Modelación de transformador elevador TR1 en PowerFactory.

Name: TR2 220 MVA 220/33/33 kV
Technology: Three Phase Transformer

Rated Power:
 HV-Side: 220 MVA
 MV-Side: 110 MVA
 LV-Side: 110 MVA

Rated Voltage:
 HV-Side: 220 kV
 MV-Side: 33 kV
 LV-Side: 33 kV

Vector Group:
 HV-Side: YN
 MV-Side: D
 LV-Side: D
 Name: YN0d1d1

Phase Shift:
 HV-Side: 0. +30deg
 MV-Side: 1. +30deg
 LV-Side: 1. +30deg

Short-Circuit Voltage uk:
 HV-MV: 16.615 %
 MV-LV: 31.75 %
 LV-HV: 16.545 %

Copper Losses:
 HV-MV: 245.66 kW
 MV-LV: 437.86 kW
 LV-HV: 246.22 kW

Zero Sequence Impedance:
 Short-Circuit Voltage uk0:
 HV-MV: 16.615 %
 MV-LV: 31.75 %
 LV-HV: 16.545 %

SHC-Voltage, Real Part:
 HV-MV: 0. %
 MV-LV: 0. %
 LV-HV: 0. %

Tap HV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 1.5 %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: -10
 Max. Position: 10

Tap MV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 0. %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: 0
 Max. Position: 0

Tap LV-Side:
 Add. Voltage per Tap: 0. %
 Phase of du: 0. deg
 Neutral Position: 0
 Min. Position: 0
 Max. Position: 0

Magnetising Impedance:
 Position: Star Point
 No Load Current: 0.048 %
 No Load Losses: 90.4 kW

Zero Sequence Magnetising Impedance:
 Position: Star Point
 No Load Current: 0. %
 Mag. R/X: 0.

Tap Modelled at: Star Point

Figura 5-8: Modelación de transformador elevador TR2 en PowerFactory.

5.1.3. INVERSORES PF CAMPOS DEL SOL

El proyecto PFV Campos del Sol se modela con un total de 126 inversores SUNGROW SG3125HV-20 de 3593 kVA a 25°C. La potencia nominal instalada del parque será de 452,72 MWp. Los parámetros de los inversores considerados para representar el proyecto se indican en la siguiente tabla, conforme la información detallada en el antecedente b).

Tabla 5-6 Parámetros de los inversores utilizados en la modelación del PFV Campos del Sol.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	SUNGROW
Modelo	SG3125HV-20
Potencia Nominal @ 25°C	3,593 [MVA]
Potencia Nominal @ 40°C	3,437 [MVA]
Potencia Nominal @ 50°C	3,120 [MVA]
Tensión Nominal	0,690 [kV]
Corriente de operación máxima	3,458 [kA]
Corriente de cortocircuito subtransitoria	3,876 [kA]
Corriente de cortocircuito transitoria	3,458 [kA]

A continuación, la Figura 5-9 muestra la modelación de los inversores del PFV Campos del Sol en el programa PowerFactory.

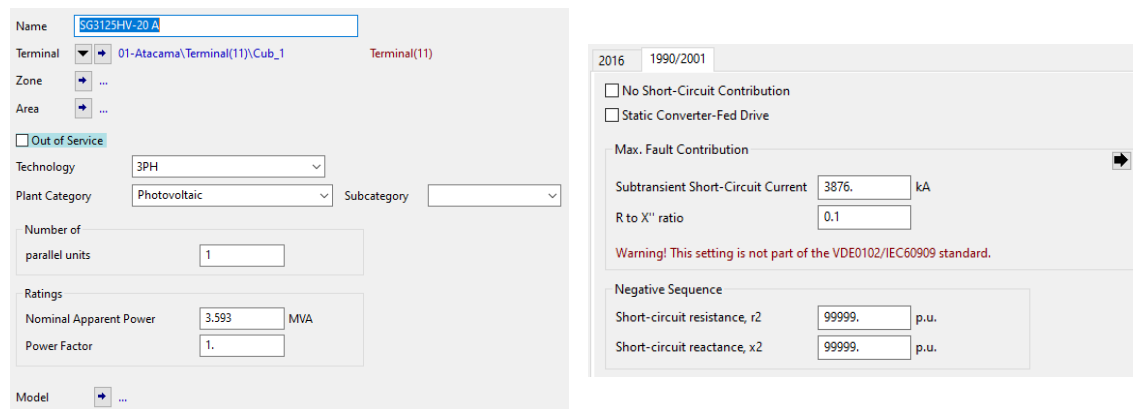


Figura 5-9 Modelación de los inversores en PowerFactory.

5.1.4. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,6/0,6 kV

El PFV Campos del Sol se modela con 63 transformadores de bloque. Los parámetros utilizados para modelar dichos transformadores se indican en la siguiente tabla, conforme a lo detallado en el antecedente b):

Tabla 5-7 Parámetros transformadores de bloque de dos devanados 33/0,6/0,6 kV.

PARÁMETROS	VALORES
Potencia Nominal ONAN/ONAF	6,250/7,186 [MVA]
Niveles de Tensión	33/0,6/0,6 [kV]
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia de secuencia positiva (Base 3,125 MVA)	HV-MV: 6,50 [%]; MV-LV: 13 [5]; LV-HV: 6,5 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 3,125 MVA)	HV-MV: 6,50 [%]; MV-LV: 13 [5]; LV-HV: 6,5 [%]
Pérdidas en el cobre	45 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	5,23 [kW]
Corriente de magnetización, secuencia positiva	0,35 [%]

A continuación, la Figura 5-10 muestra la modelación de los transformadores del PF Campos del Sol en el programa PowerFactory.

Figura 5-10 Modelación de transformadores de bloque de dos devanados en PowerFactory.

5.1.5. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF CAMPOS DEL SOL

La conexión entre los transformadores 33/0,6/0,6 kV y la barra de 33 kV de la S/E Campos del Sol se desarrolla por medio de tramos directamente enterrados utilizando cables de aluminio de 240, y 500 mm². Las características de cada uno de los cables utilizados en el proyecto se describen en la siguiente tabla, conforme a la información contenida en los antecedentes b).

Tabla 5-8 Características de los cables de MT.

PARÁMETROS	CABLE 240 [mm ²]	CABLE 500 [mm ²]
Aislación	HPTE	HPTE
Cubierta	LSOH	LSOH
Pantalla	Aluminio	Aluminio
Material conductor	Aluminio	Aluminio
Diámetro cable [mm]	39,6	49,6
Diámetro conductor [mm]	18,2	26,7
Espesor aislación [mm]	6,7	7,0
Espesor cubierta [mm]	2,2	2,5
Espesor pantalla [mm]	0,30	0,30

A continuación, la siguiente figura muestra la modelación de los cables de MT del PFV Campos del Sol en el programa PowerFactory.

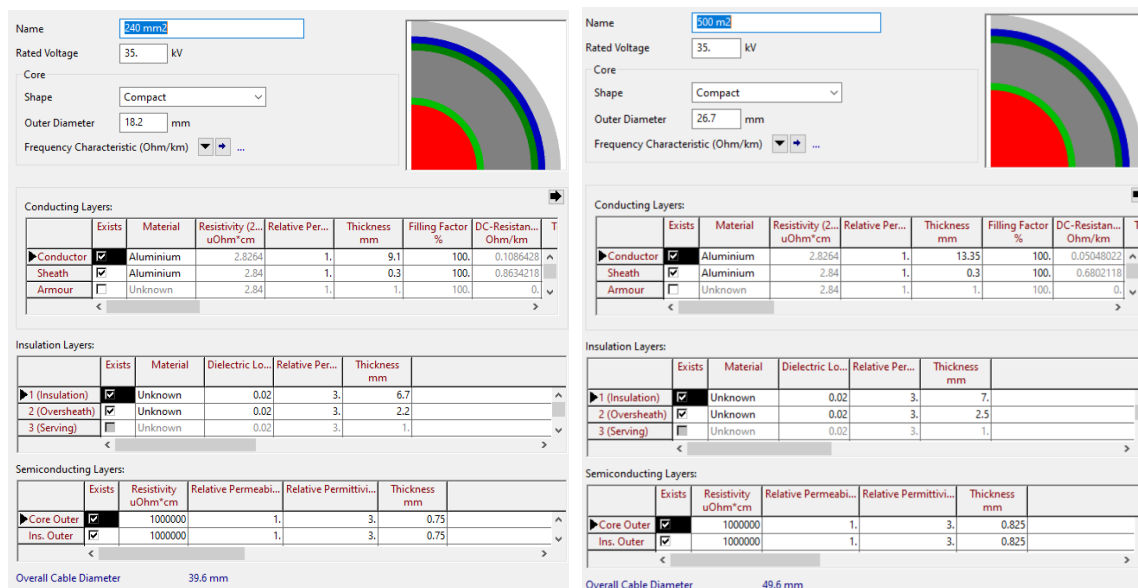


Figura 5-11 Modelado del cable 240 mm² & 500 mm².

Los tramos del sistema de cables se muestran en la Tabla 5-9, conforme la información contenida en b). Cada circuito representa un subgrupo de cables trifásicos; de esta manera, se tendrán disposiciones de 1 y 2 circuitos de cables en paralelo.

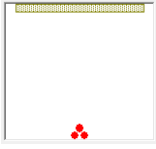
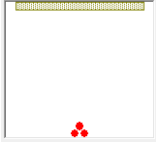
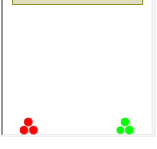
Tabla 5-9 Detalle del conexionado del PFV Campos del Sol.

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [mm ²]	LONGITUD [km]
Circuito 1	EMT6-EMT5	1	1	240	0,379
	EMT5-EMT4	1	1	240	0,556
	EMT4-B1	1	2	500	0,649
Circuito 2	EMT29-EMT8	1	1	240	4,358
	EMT8-EMT7	1	1	500	0,521
	EMT7-B1	1	2	500	0,995
Circuito 3	EMT11-EMT10	1	1	240	0,451
	EMT10-EMT9	1	1	240	0,558
	EM9-B1	1	2	500	1,294
Circuito 4	EMT16-EMT13	1	1	240	0,480
	EMT13-EMT12	1	1	240	0,520
	EMT12-B1	1	2	500	1,650
Circuito 5	EMT55-EMT54	1	1	240	0,524
	EMT54-EMT53	1	1	240	0,524
	EMT53-B1	1	2	500	5,004
Circuito 6	EMT58-EMT57	1	1	240	0,524
	EMT57-EMT56	1	1	240	0,524
	EMT56-B1	1	2	500	5,296
Circuito 7	EMT30-EMT15	1	1	240	3,335
	EMT15-EMT14	1	1	500	0,519
	EMT14-B2	1	2	500	2,007
Circuito 8	EMT19-EMT18	1	1	240	0,416
	EMT18-EMT17	1	1	240	0,522
	EMT17-B2	1	2	500	2,323
Circuito 9	EMT26-EMT21	1	1	240	2,379
	EMT21-EMT20	1	1	500	0,414
	EMT20-B2	1	2	500	2,703
Circuito 10	EMT28-EMT24	1	1	240	0,846
	EMT24-EMT22	1	1	500	0,759
	EMT22-B2	1	2	500	3,398
Circuito 11	EMT27-EMT13	1	1	240	0,827
	EMT13-EMT12	1	1	240	1,162
	EMT12-B2	1	2	500	3,710
Circuito 12	EMT1-EMT3	1	1	240	1,209
	EMT3-EMT2	1	1	240	0,521
	EMT2-B3	1	2	500	0,445
Circuito 13	EMT31-EMT32	1	1	240	1,005
	EMT32-EMT34	1	1	240	0,921
	EMT34-B3	1	2	500	4,480
Circuito 14	EMT63-EMT35	1	1	240	3,767
	EMT35-EMT33	1	1	500	0,601
	EMT33-B3	1	2	500	3,892
Circuito 15	EMT38-EMT37	1	1	240	0,506
	EMT37-EMT36	1	1	240	0,349
	EMT36-B3	1	2	500	3,243
Circuito 16	EMT62-EMT40	1	1	240	3,611
	EMT40-EMT39	1	1	240	0,577
	EMT39-B3	1	2	500	3,023
Circuito 17	EMT43-EMT42	1	1	240	3,335
	EMT42-EMT41	1	1	240	0,490
	EMT41-B4	1	2	500	3,278
Circuito 18	EMT46-EMT45	1	1	240	0,524
	EMT45-EMT44	1	1	240	0,526
	EMT44-B4	1	2	500	3,660

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [mm ²]	LONGITUD [km]
Circuito 19	EMT49-EMT48	1	1	240	0,524
	EMT48-EMT47	1	1	240	0,526
	EMT47-B4	1	2	500	4,022
Circuito 20	EMT52-EMT51	1	1	240	0,524
	EMT51-EMT50	1	1	240	0,524
	EMT50-B4	1	2	500	4,663
Circuito 21	EMT61-EMT60	1	1	240	0,523
	EMT60-EMT59	1	1	240	0,253
	EMT59-B4	1	2	500	5,561

En base a lo anterior, las disposiciones utilizadas en cada uno de los tramos se indican en la siguiente tabla, coherente con la disposición detallada en el antecedente b).

Tabla 5-10 Disposición de los tramos con cables enterrados del PFV Campos del Sol.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
	Circuito 3x1x240 [mm ²]	0,15	0,13	0,18	0,75	0,8	0,8
	Circuito 3x1x500 [mm ²]	0,15	0,12	0,18	0,75	0,8	0,8
	Circuito 3x2x500 [mm ²]	0,1	0,07	0,13	0,75	0,8	0,8
		0,35	0,32	0,381	0,75	0,8	0,8

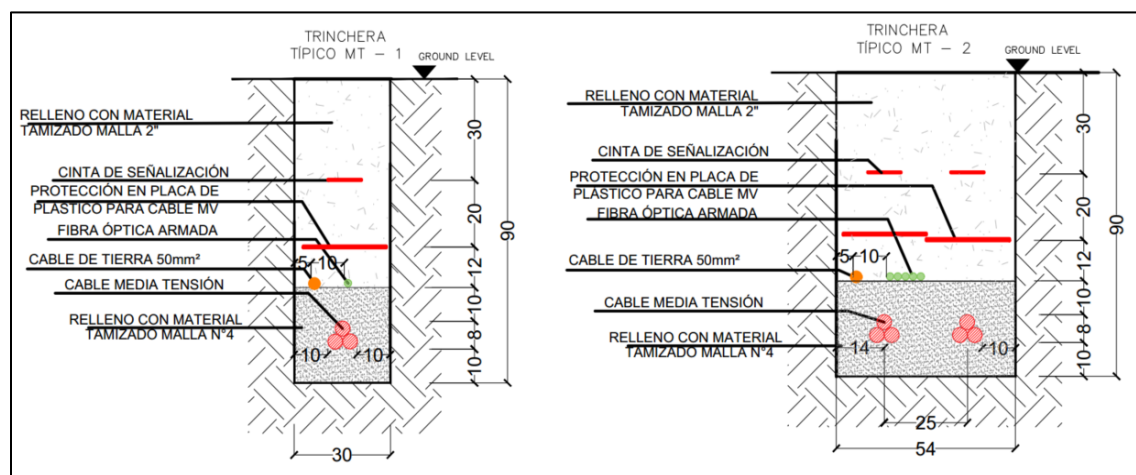


Figura 5-12 Trincheras para los conductores de MT.

5.1.6. TRANSFORMADORES ZIG-ZAG

El PF Campos del Sol proyecta cuatro transformadores zig-zag con puesta a tierra conectado a cada una de las barras de 33 kV de la subestación. Las características principales de los transformadores se indican en la siguiente tabla, conforme a la información contenida en el antecedente b).

Tabla 5-11 Parámetros transformador zig-zag.

PARÁMETROS	VALOR
Tensión nominal	33 [kV]
Capacidad de corriente de cortocircuito ($3 \cdot I_0$)	900 [A]
Impedancia del transformador	63,5 [Ω]

6. REVISIÓN NORMATIVA

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

Artículo 9: Informe Técnico.

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

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

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

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

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

7. DETERMINACIÓN MÍNIMO TÉCNICO

7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

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

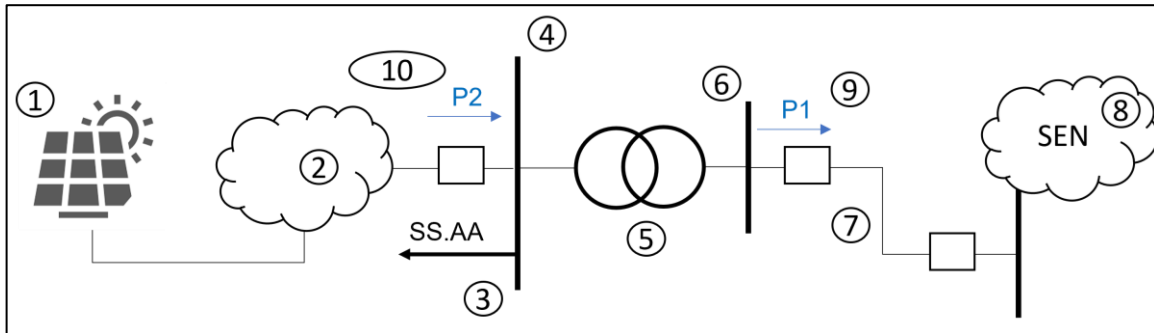


Figura 7-1 Diagrama de sistema equivalente.

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. **Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central:** Corresponde a la potencia requerida por los servicios auxiliares de la SE.
4. **Barra de media tensión (MT):** Correspondería a las barras 1 y 2 de 33 kV del PFV Campos del Sol, en la cual se conecta el lado de baja tensión de los transformadores de poder del parque.
5. **Transformador de poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del PFV Campos del Sol corresponde a los transformadores de poder 1 y 2.
6. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 220 kV del PFV Campos del Sol, en la cual se conecta el lado de alta tensión de los transformadores de poder del parque.
7. **Línea dedicada de la central:** Línea de transmisión que vincula el parque con el sistema eléctrico.
8. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**

9. **P1:** Potencia inyectada por el PFV Campos del Sol en la barra de 220 kV de su subestación de salida.
10. **P2:** Potencia inyectada por el PFV Campos del Sol en las barras 1 y 2 de 33 kV de su subestación de salida.

7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

Para la determinación de la potencia mínima del PFV Campos del Sol se han tomado los valores del equipo de medida del PPC (Power Plan controller) propio del parque. De los resultados presentados en el antecedente a) se puede obtener que la potencia en el punto de conexión durante el período comprendido entre las 03:51:06 y las 04:06:34 del día 14-10-2022 es de **1,29 MW (P1)**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

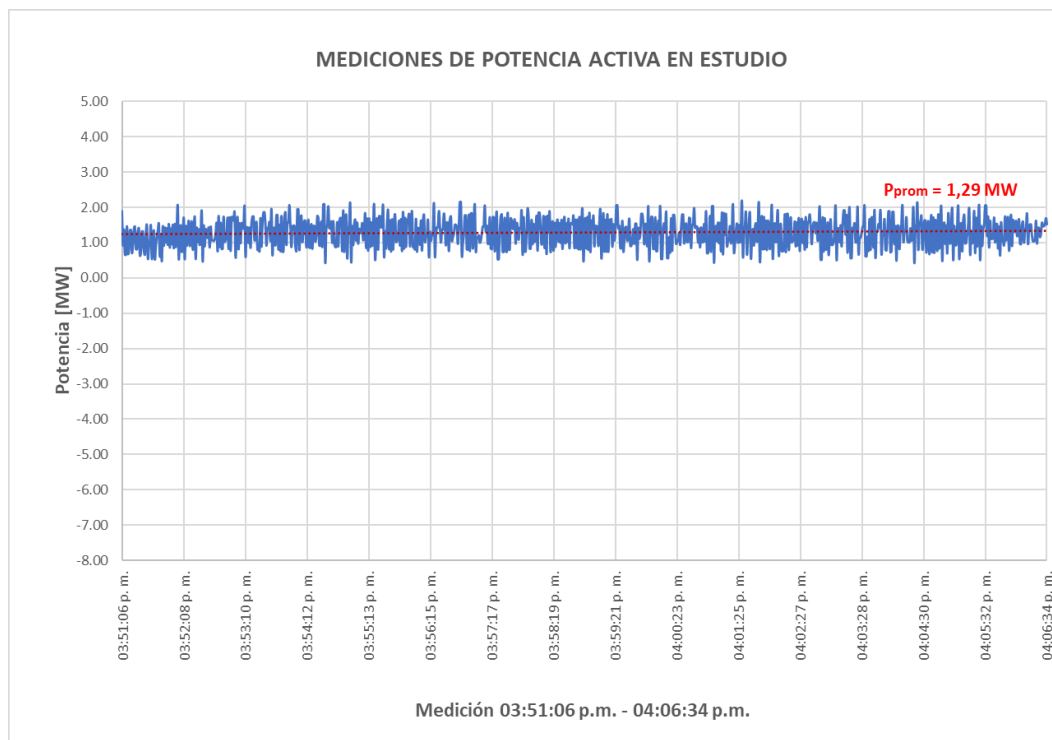


Figura 7-2 Mediciones de potencia activa realizadas el día 14-10-2022.

Por otra parte, se tiene que, los consumos de servicios auxiliares son de 0,01375 MW, valor que se puede corroborar en la siguiente figura.

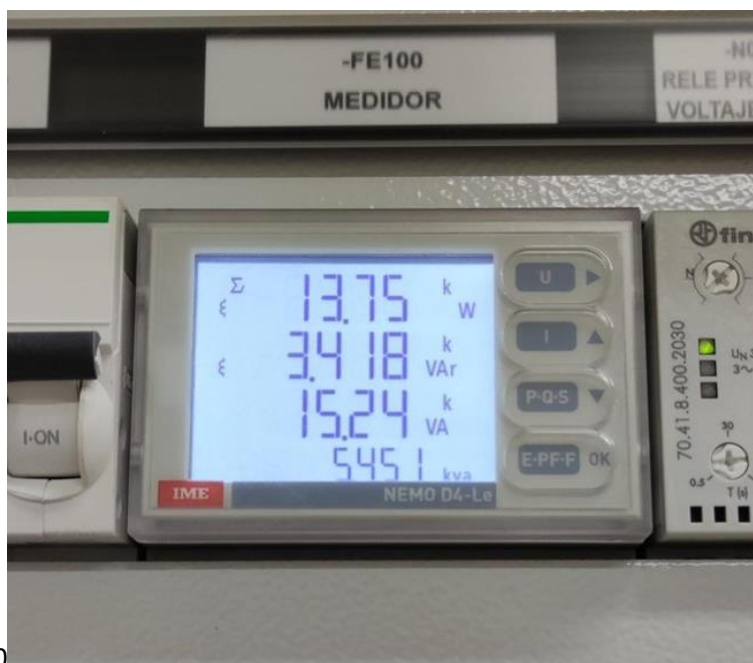


Figura 7-3: Medición de las pérdidas de servicios auxiliares.

A continuación, se realizan simulaciones de flujo de potencia en la base de datos del antecedente (d), pero reemplazando el SEN por una red equivalente, y tomando en consideración el valor de potencia promedio obtenido en el punto de conexión del parque. Para ello, se replica esta potencia ajustando la potencia inyectada por los inversores del parque fotovoltaico, dando un total de 0,01806 MW brutos por inversor (0,00903 MW por módulo). Así, se obtienen las pérdidas de la red, que corresponden a la suma de las pérdidas del sistema colector y las pérdidas del transformador de poder de la central, las cuales equivalen a 0,99 MW, como se muestra en la siguiente figura.

Load Flow Calculation				Grid Summary	
AC Load Flow, balanced, positive sequence				Automatic Model Adaptation for Convergence	No
Automatic tap adjustment of transformers	No			Max. Acceptable Load Flow Error	
Consider reactive power limits	Yes			Bus Equations (HV)	1.00 kVA
				Model Equations	0.10 %
Grid: parque	System Stage: parque	Study Case: Study Case		Annex:	/ 1
Grid: parque Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	69	No. of Terminals	148
No. of 2-w Trfs.	2	No. of 3-w Trfs.	65	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	0	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0
Generation	= 2.28 MW		-0.00 Mvar		2.28 MVA
External Infeed	= -1.29 MW		-18.53 Mvar		18.58 MVA
Inter Grid Flow	= 0.00 MW		0.00 Mvar		
Load P(U)	= 0.00 MW		0.00 Mvar		0.00 MVA
Load P(Un)	= 0.00 MW		0.00 Mvar		0.00 MVA
Load P(Un-U)	= 0.00 MW		0.00 Mvar		
Motor Load	= 0.00 MW		0.00 Mvar		0.00 MVA
Grid Losses	= 0.99 MW		-18.53 Mvar		
Line Charging	=		-20.14 Mvar		
Compensation ind.	=		0.00 Mvar		
Compensation cap.	=		0.00 Mvar		
Installed Capacity	= 452.72 MW				
Spinning Reserve	= 0.00 MW				
Total Power Factor:					
Generation	= 1.00 [-]				
Load/Motor	= 0.00 / 0.00 [-]				

Figura 7-4 Resultados del flujo de potencia.

Estas pérdidas se pueden desglosar entre las pérdidas de los transformadores y las pérdidas de sistema colector. De la siguiente imagen se desprenden las pérdidas de los transformadores, restando la potencia de salida con la de entrada de ambos devanados.

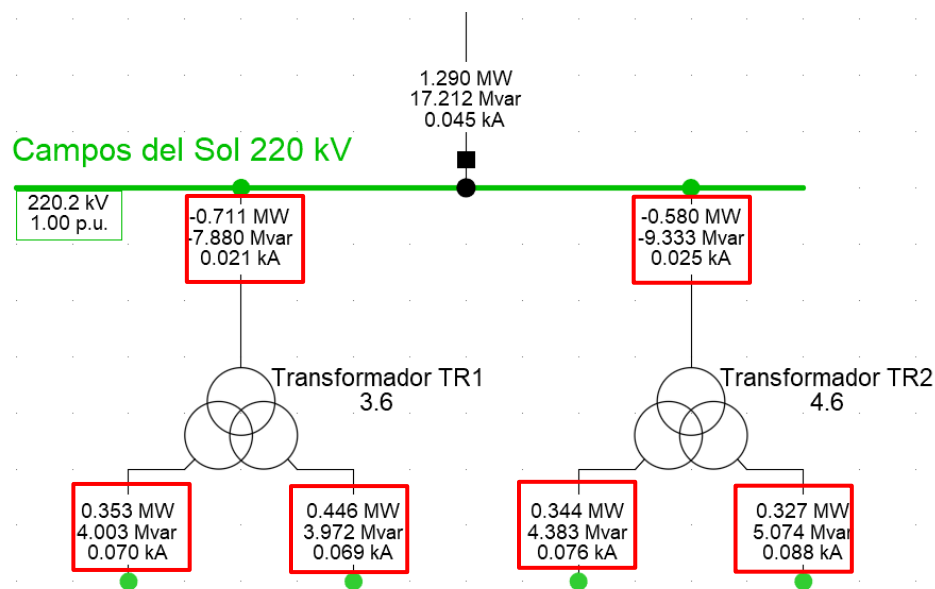


Figura 7-5 Valores de flujos de potencia de los transformadores de poder del PFV Campos del Sol.

Así, ambos Transformadores tienen unas pérdidas de 0,18 MW, por lo que las pérdidas del sistema colector equivalen a 0,81 MW. Finalmente se debe considerar un promedio de 0,01375 MW de las pérdidas de los SS.AA, obtenidos en terreno y mostrados en el ANEXO I.

7.3. CÁLCULO DE MÍNIMO TÉCNICO DEL PARQUE

Con las potencias obtenidas, se procede a calcular la potencia mínima neta del parque. Se destaca que la potencia neta del PFV Campos del Sol es registrada en el punto de conexión **P1**, definido en la sección 7.1 del presente informe.

Se define, por lo tanto, que el mínimo técnico es igual a:

$$MinTec = P_1 + P_{trafo} + P_{sist. colector} + P_{SS.AA}$$

En donde:

P_1 es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia mínima neta del parque, con un valor de **1,290 MW**.

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas de los transformadores de poder **0,18 MW**.

$P_{sist. colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector **0,81 MW**.

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a **0,01375 MW**.

Así, se tiene que el mínimo técnico del parque es igual a:

Tabla 7-1 Resumen de mínimo técnico neto y consumos del PFV Campos del Sol.

CENTRAL	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [KW]
PFV Campos del Sol	2,29	1,29	0,18	0,81	0,01375
Potencia mínima bruta = Potencia mínima neta + Pérdidas de la red (Transformador de poder + Sistema colector) + consumos de SS.AA.					

8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtienen los parámetros de potencia mínima neta y bruta para el PFV Campos del Sol de acuerdo con las indicaciones del fabricante, así como la potencia registrada en el punto de conexión del parque, considerando el consumo de servicios auxiliares, las pérdidas del sistema colector y las pérdidas de los transformadores de poder.

De acuerdo con lo expuesto en el presente informe, se concluye que el parámetro de mínimo técnico neto del PFV Campos del Sol es de **1,29 [MW]**, mientras que el mínimo técnico bruto del parque es de **2,29 [MW]**.



Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

ANEXOS

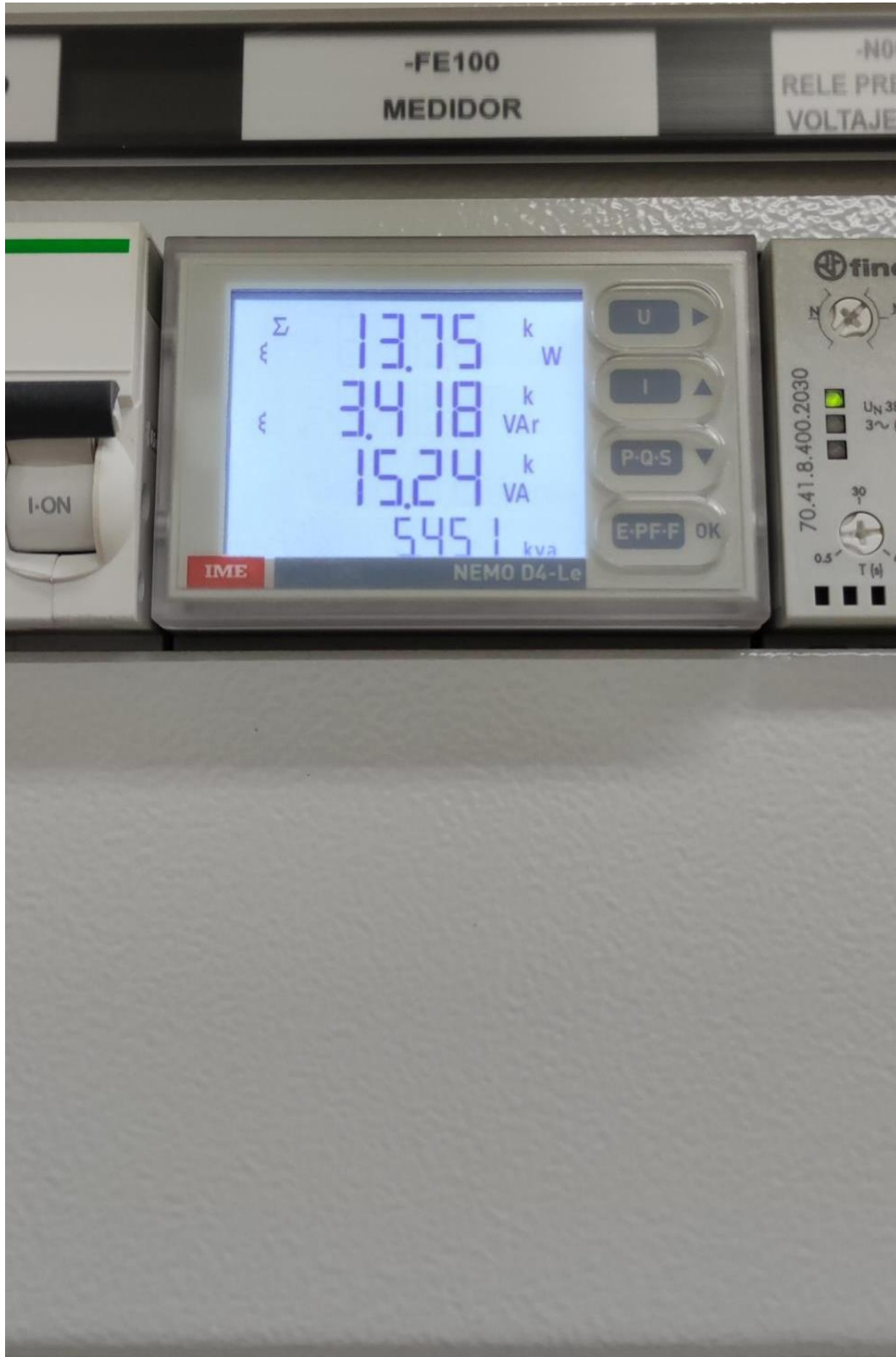
P20027 ESTUDIOS PROYECTO CAMPOS DEL SOL 11.11.2022

Anexo de Determinación de Mínimos Técnicos
20027-00-ES-IT-008 Rev. 0
Preparado para Enel Green Power Chile S.A.

ANEXO I

P20027

REGISTRO DE SS.AA



ANEXO II

P20027

REGISTRO DE POTENCIA MEDIDA

El Anexo II se encuentra adjunto en la carpeta de envío con el nombre: “ANEXO II REGISTRO DE POTENCIA.xlsx”.

ANEXO III

P20027

BASE DE DATOS