



I-SEP

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

P21006

ESTUDIOS ELÉCTRICOS PARQUE FOTOVOLTAICO DOMEYKO

20.04.2023

Informe de Potencia Máxima en Unidades Generadoras
21006-00-ES-IT-017 Rev. 1
Preparado para Enel Green Power Chile S.A.





P21006

ESTUDIOS ELÉCTRICOS PARQUE

FOTOVOLTAICO DOMEYKO

Informe de Potencia Máxima 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	Nicolás Tardón P.	19-10-2022	I-SEP	20-10-2022	Emitido para su revisión interna
Rev.B	Nicolás Tardón P.	21-10-2022	I-SEP	21-10-2022	Emitido para revisión
Rev.0	Nicolás Tardón P.	26-10-2022	I-SEP	26-10-2022	Emitido para uso
Rev.1	Nicolás Tardón P.	20-04-2023	I-SEP		

CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN	4
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
3. INTRODUCCIÓN	4
4. REFERENCIAS TÉCNICAS	4
4.1. DOCUMENTOS	4
4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES	5
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	5
5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DOMEYKO	8
5.1.1. PARÁMETROS LINEA DE TRANSMISIÓN S/E HADES – S/E PURI	8
5.1.2. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33/33 kV	11
5.1.3. PANELES PF DOMEYKO	11
5.1.4. INVERSORES PF DOMEYKO	13
5.1.5. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,68/0,68 KV	15
5.1.6. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF DOMEYKO	16
5.1.7. TRANSFORMADORES ZIG-ZAG	18
6. REVISIÓN NORMATIVA	19
7. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	19
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	19
7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN	20
7.3. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE	22
7.4. CORRECCIÓN DE RESULTADOS	23
7.4.1. CORRECCIÓN DE POTENCIA ACTIVA BRUTA	24
7.5. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE CON CORRECCIÓN POR TEMPERATURA E IRRADIANCIA.	27
8. CONCLUSIONES	28

ANEXO I	REGISTRO SS.AA
ANEXO II	REGISTRO DE RADIACIÓN
ANEXO III	REGISTRO BASE DE DATOS
ANEXO IV	MANUALES DE CELDAS E INVERSORES

1. IDENTIFICACIÓN

- ◆ Nombre del Proyecto : Proyecto Parque Fotovoltaico Domeyko
- ◆ Numero Único de Proyecto (NUP) : 1514
- ◆ Empresa Propietaria del Proyecto : Enel Green Power Chile S.A.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el valor de Potencia Máxima para los inversores del Parque Fotovoltaico Domeyko (PFV Domeyko) NUP 1514, 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: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras.**

3. INTRODUCCIÓN

El proyecto Domeyko consiste en un parque fotovoltaico que se ubica en la comuna de Antofagasta, provincia de Antofagasta, Región de Antofagasta. Contempla un total de 100 inversores Sunway TG1800 1500V TE-680 OD de 2120 kW, lo que otorga una potencia instalada de 212 MW. 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 Hades, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), a través de la línea de transmisión 1x220 kV S/E Hades – S/E Puri.

En este contexto, I-SEP se ha adjudicado el desarrollo del informe técnico de potencia máxima, requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto PFV Domeyko, el cual tiene por objetivo determinar la potencia máxima que puede generar el parque considerando la totalidad de unidades en servicio.

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) Anexo II: provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas en las pruebas del día 29/09/2022.
- b) Documento 21006-00-ES-IT-006 “Estudio de Flujos de Potencia” realizado por I-SEP.
- c) Anexo I: Documento “SSAA.zip”, obtenidas en terreno, que registra las mediciones obtenidas del medidor de servicios auxiliares de la subestación en las pruebas del día 19/09/2022.
- d) Anexo III: BD PowerFactory DIgSILENT “BD_Domeyko.pfd”.
- e) Anexo IV: AGRE.EEC.R.99.CL.P.11871.03.001.00-CATALOGUE MODULES LR4-72HBD 425-455M
- f) Anexo IV: P-Q Capability_SUNWAY TG1800 1500V TE - 680 (Valle del Sol)
- g) Anexo IV: GRE.EEC.R.99.CL.P.11871.12.118.00 - Inverter - Datasheet

4.2. NORMAS Y ESTÁNDARES

- I. Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, versión septiembre 2020.
- II. Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras.

5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE

En la Figura 5-1 se muestra un diagrama unilineal de la zona de influencia, destacando en un recuadro **rojo** el proyecto PFV Domeyko. Por otro lado, la Figura 5-2 muestra el diagrama unilineal del sistema colector del PFV Domeyko.

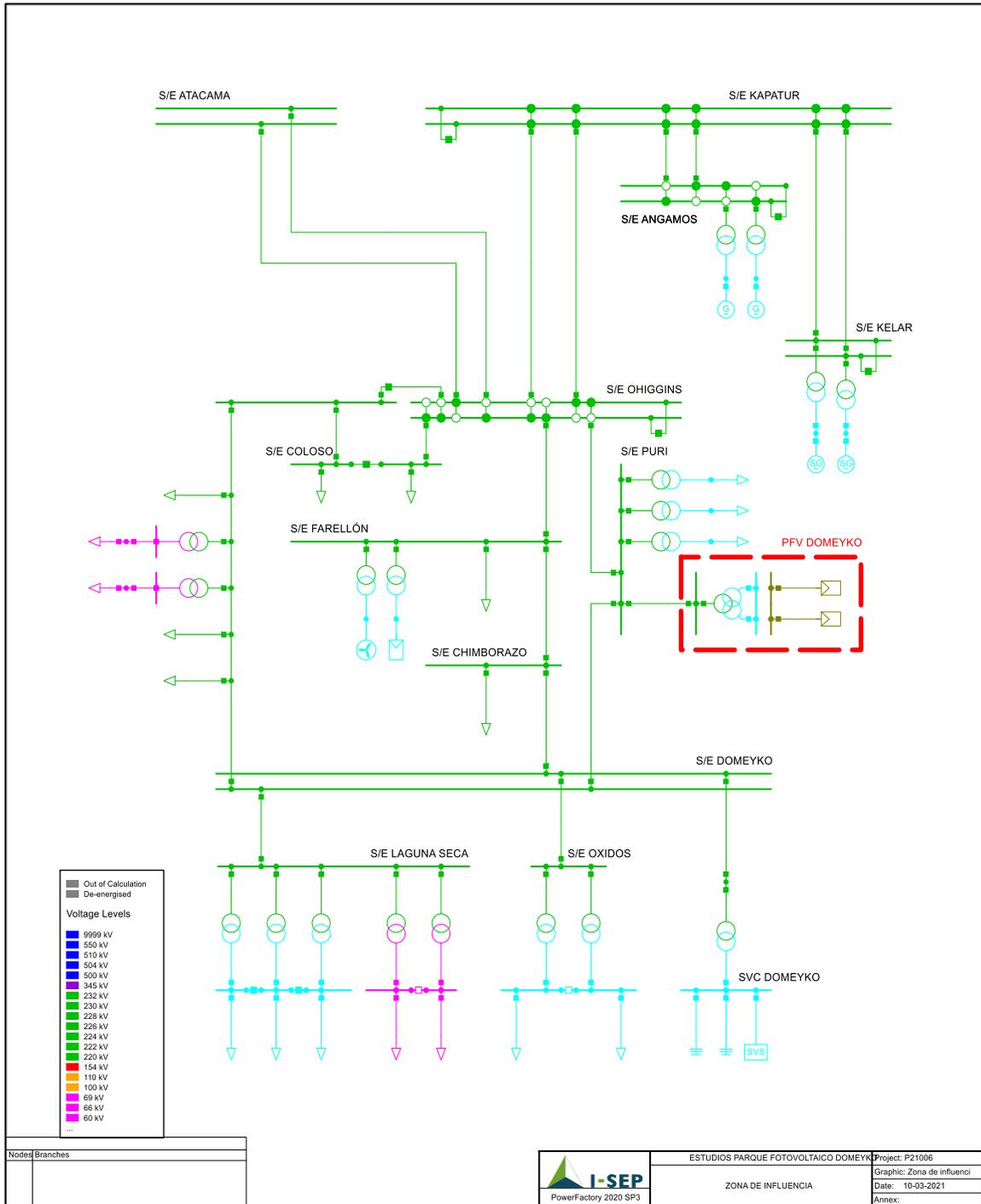


Figura 5-1 Diagrama unilineal de la zona de influencia en estudios ¹.

¹ Imagen obtenida desde antecedente (b)

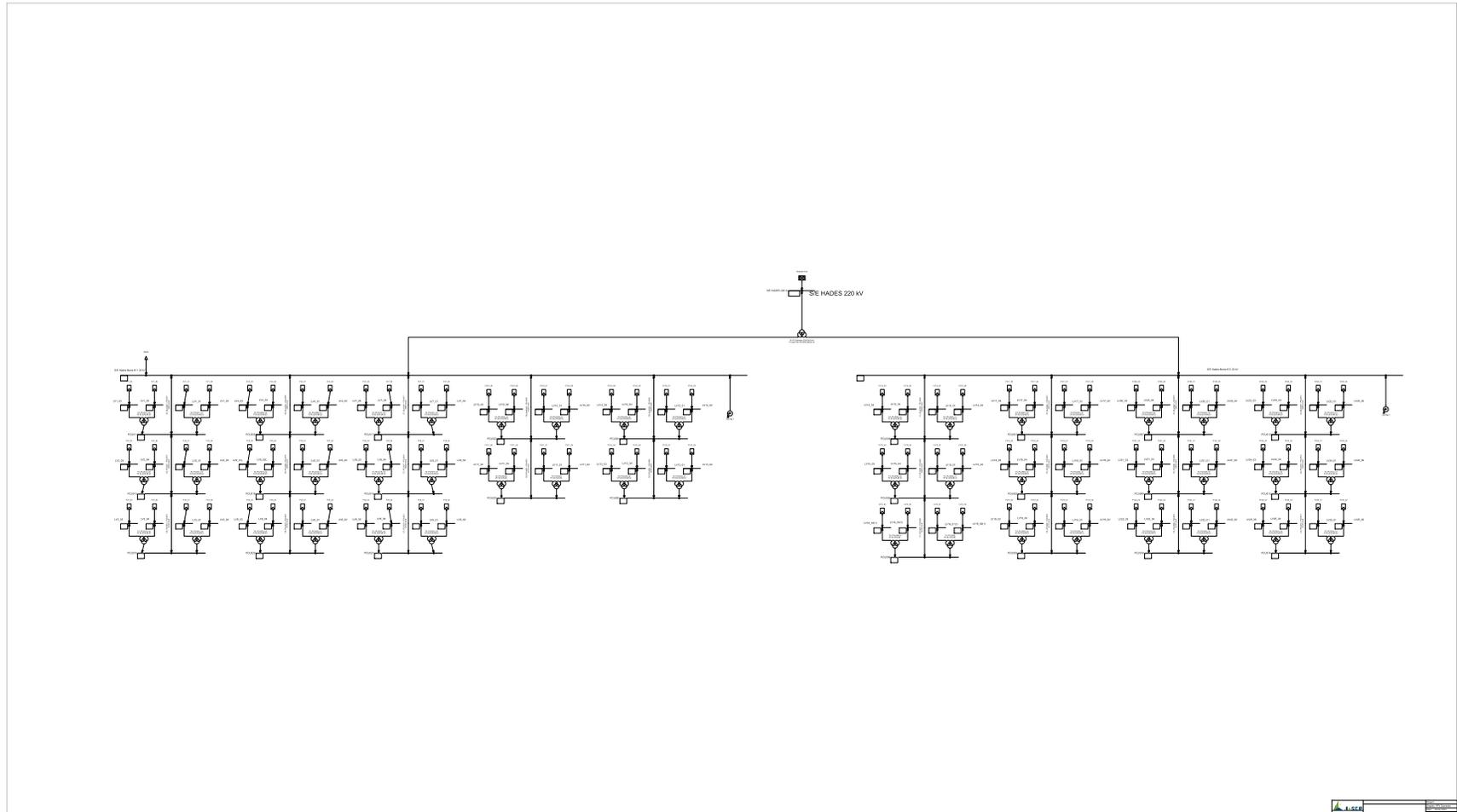


Figura 5-2 Diagrama unilineal sistema colector PFV Domeyko.

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO DOMEYKO

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

5.1.1. PARÁMETROS LINEA DE TRANSMISIÓN S/E HADES – S/E PURI

Las características principales del conductor de fase y cable de guarda utilizado en la línea 220 kV Hades – Puri, de longitud 18,5km, se indican respectivamente en la Tabla 5-1 y Tabla 5-2.

Tabla 5-1: Características del conductor AAAC FLINT 740.8 MCM.

PARÁMETROS	VALOR
Nombre de código	AAAC FLINT 740.8 MCM
Sección	375 [mm ²]
Diámetro del conductor	25,13 [mm]
Resistencia DC a 20°C	0,08944 [Ω/km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	9,786 [mm]

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

The screenshot shows the configuration window for a conductor in PowerFactory. The 'Name' field is set to 'AAAC FLINT 740.8 MCM'. The 'Nominal Voltage' is 220 kV, 'Nominal Current' is 1 kA, and 'Number of Subconductors' is 1. Under 'Conductor Model', 'Solid Conductor' is selected. The '(Sub-)Conductor' section contains: 'DC-Resistance (20°C)' at 0.08944 Ohm/km, 'GMR (Equivalent Radius)' at 9.786 mm, and 'Outer Diameter' at 25.13 mm. The 'Skin effect' checkbox is checked.

Figura 5-3 Parámetros de conductor AAAC FLINT 740.8 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	12,8 [mm]
Resistencia DC (20°C)	0,658[Ω/km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	4,984 [mm]

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

The screenshot displays the configuration window for a guard conductor in PowerFactory. The parameters are as follows:

- Name:** Conductor guardia-OPGW
- Nominal Voltage:** 220 kV
- Nominal Current:** 1 kA
- Number of Subconductors:** 1
- Conductor Model:** Solid Conductor (selected)
- (Sub-)Conductor:**
 - DC-Resistance (20°C): 0,658 Ohm/km
 - GMR (Equivalent Radius): 4,984 mm
 - Outer Diameter: 12,8 mm
- Skin effect:** Unchecked

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

La modelación referente a la disposición, de los conductores, de la línea Hades – Puri 220 kV, se determinó mediante un promedio ponderado de las distancias geométricas de las estructuras representativas, de esta manera se generó un modelo equivalente y representativo.

Tabla 5-3 Disposición de conductores de fase, al punto de soporte.

CIRCUITO	DISPOSICIÓN					
	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
C1	-4,183	4,183	3,683	12,01	12,01	17,01

Tabla 5-4 Disposición de cable de guardia, al punto de soporte.

CIRCUITO	DISPOSICIÓN	
	X1 [m]	Y1 [m]
CG	1,18	21,76

La siguiente figura muestra las características de la torre.

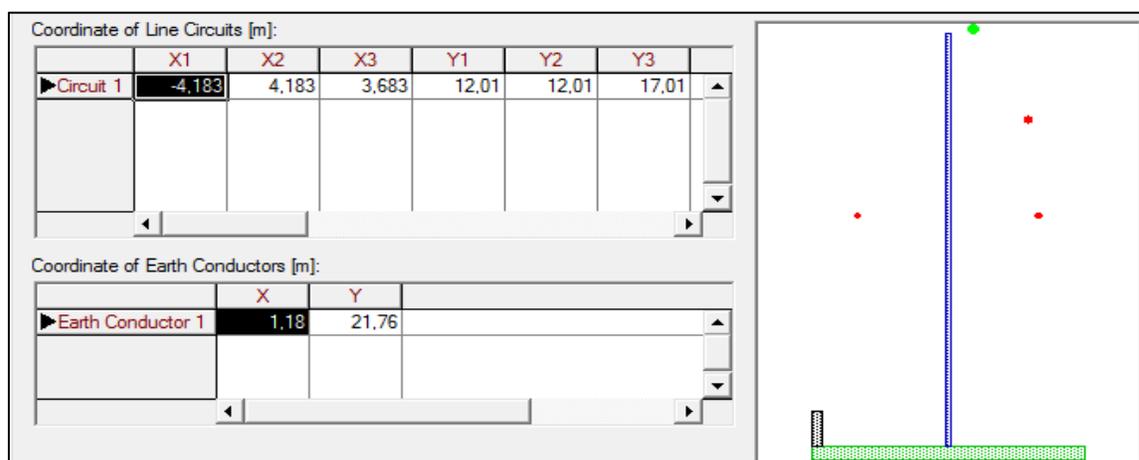


Figura 5-5 Geometría de torre representativa para línea 1x220 kV Hades – Puri.

dicho lo anterior, los parámetros a 20°C asociados a la línea se muestran a continuación, los cuales han sido determinados considerando una resistividad de terreno de 18344,95[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 Hades – Puri.

CIRCUITO	LONGITUD DEL TRAMO [km]	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	B1 [uS/km]	B0 [uS/km]
1	18,5	0,0906	0,4152	0,4710	1,3238	2,7844	1,8105

5.1.2. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33/33 kV

Los parámetros del transformador elevador del PF Domeyko, son los indicados en las imágenes siguientes, conforme a la información contenida en el antecedente (b).

Figura 5-6: Parámetros de transformador elevador en PowerFactory.

5.1.3. PANELES PF DOMEYKO

Los parámetros de los paneles, del proyecto, se indican en la siguiente tabla, conforme la información detallada en el antecedente (e).

Tabla 5-6 Parámetros de los Paneles utilizados en el PFV Domeyko.

PARÁMETROS	VALOR	
Fabricante	LONGI Solar	
Modelo	LR4-72HBD 430M	LR4-72HBD 435M
Máxima Potencia diurna	430 [W]	435 [W]
Tensión a máxima potencia	0,412 [kV]	0,414 [kV]
Corriente de cortocircuito	11,09 [A]	11,16 [A]
Eficiencia	19,2%	19,4%
coeficiente de temperatura para potencia	-0,37%	

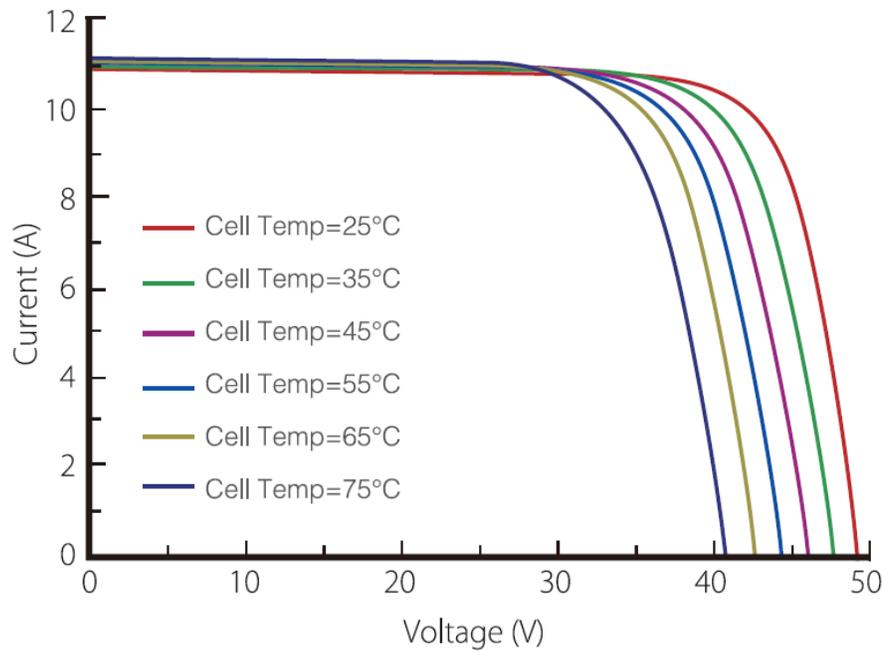


Figura 5-7: Curva de Voltaje v/s Corriente en función de la temperatura de la celda.

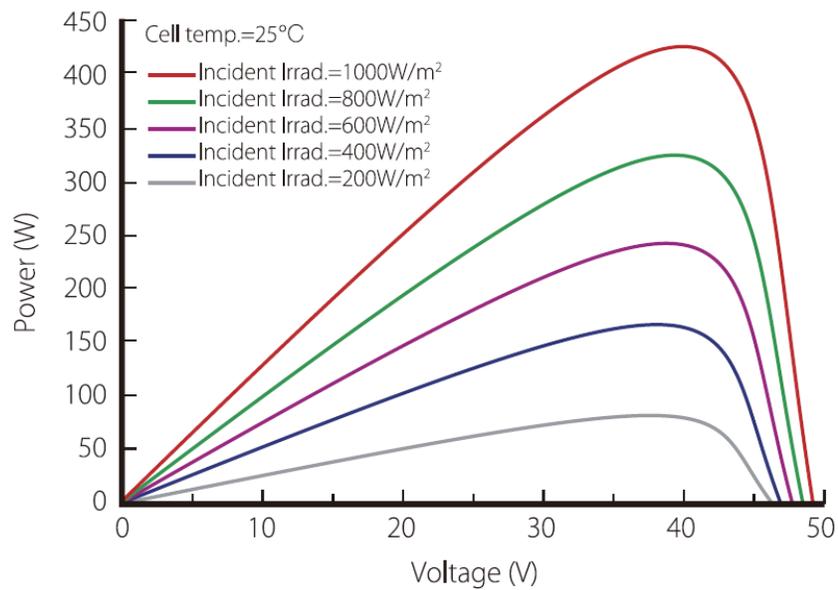


Figura 5-8: Curva de Voltaje v/s Potencia en función de la irradiancia solar.

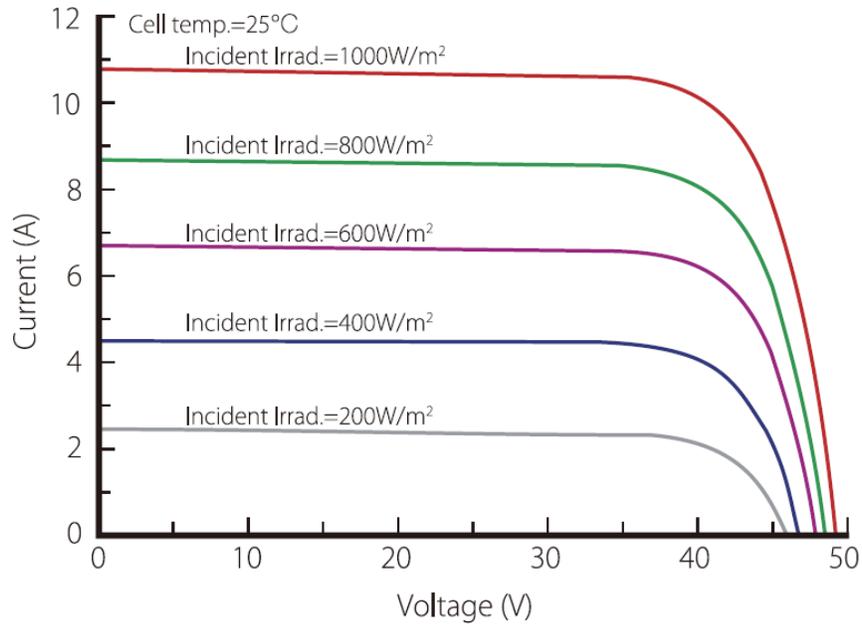


Figura 5-9: Curva de Voltaje v/s Corriente en función de la irradiación solar.

5.1.4. INVERSORES PF DOMEYKO

Los parámetros de los inversores, del proyecto, se indican en la siguiente tabla, conforme la información detallada en el antecedente (b).

Tabla 5-7 Parámetros de los inversores utilizados en el PFV Domeyko.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	Enertronica Santerno
Modelo	Sunway TG1800 1500V TE – 680 OD
Potencia Nominal @ 40°C	2,12 [MVA]
Tensión Nominal	0,68 [kV]
Corriente de cortocircuito	1350 [A]

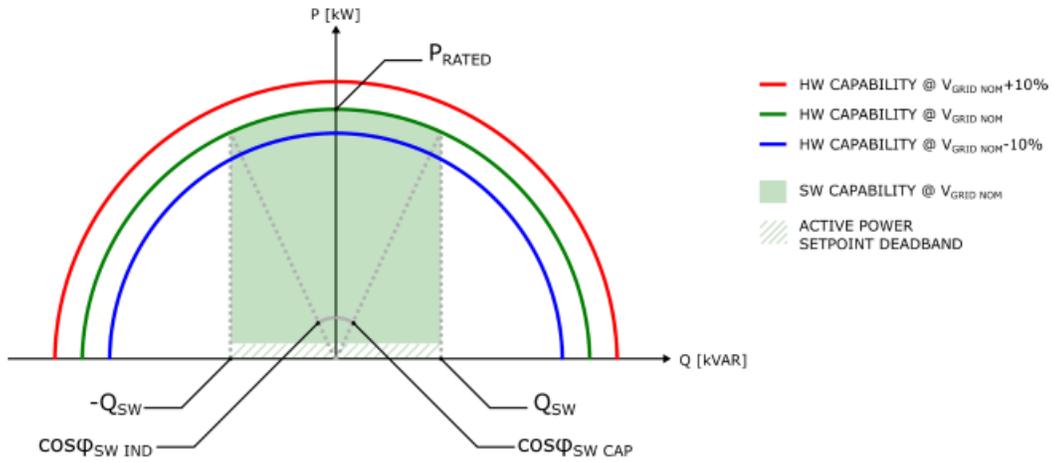


Tabla 5-8 Diagrama PQ de los inversores.

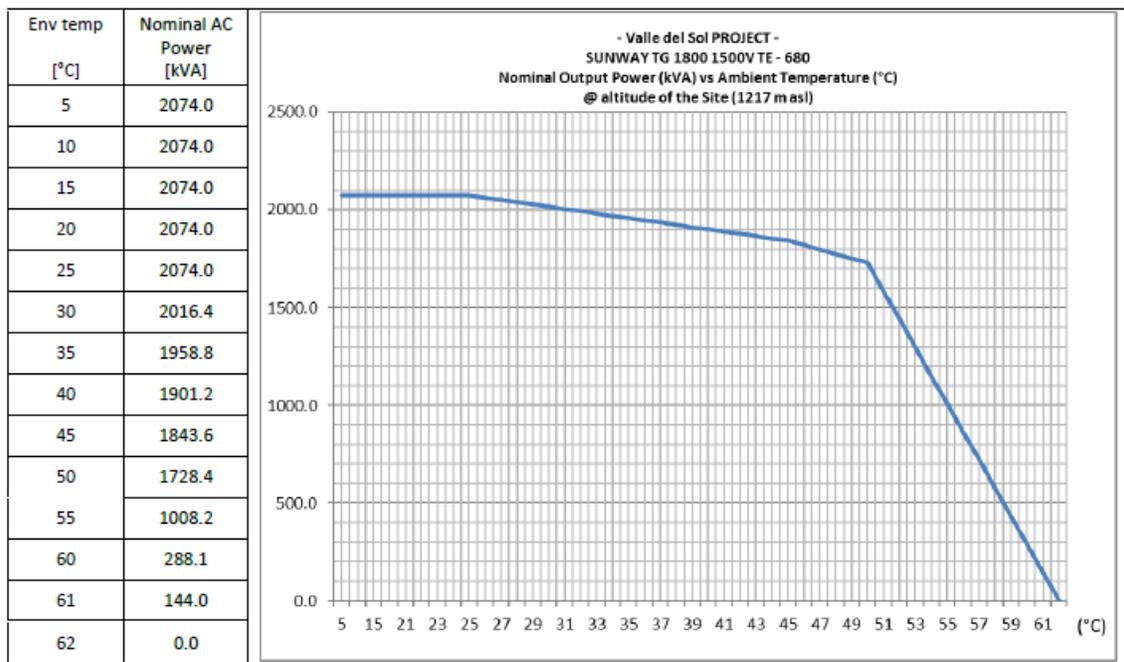


Tabla 5-9 Potencia Nominal de Salida de los inversores en función de la Temperatura Ambiente.

5.1.5. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,68/0,68 KV

El PFV Domeyko cuenta con 50 transformadores de bloque. Los parámetros de dichos transformadores se indican en la siguiente tabla, conforme a lo detallado en el antecedente (b).

Tabla 5-10 Parámetros transformadores de bloque de tres devanados 33/0,68/0,68 kV.

PARÁMETROS	VALORES
Potencia Nominal ONAN	3,8/1,9/1,9 [MVA]
Niveles de Tensión	33/0,68/0,68 [kV]
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia de secuencia positiva (Base 1,9 MVA)	HV-MV: 7 [%]; MV-LV: 11,7764 [%]; LV-HV: 7 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 1,9 MVA)	HV-MV: 7 [%]; MV-LV: 11,7764 [%]; LV-HV: 7 [%]
Pérdidas en el cobre	33,95 [kW]

A continuación, la Figura 5-10 muestra los parámetros de los transformadores del PF Domeyko en el programa PowerFactory.

The screenshot shows the configuration window for a transformer in PowerFactory. The name is 'Trf 33kV/0.68 kV'. The rated power is 3.8 MVA on the HV side and 1.9 MVA on the MV and LV sides. The rated voltage is 33 kV on the HV side and 0.68 kV on the MV and LV sides. The vector group is Dy11y11. The short-circuit voltage (uk) is 7% for HV-MV and LV-HV, and 11.7764% for MV-LV. The copper losses are 16.975 kW for HV-MV and LV-HV, and 0 kW for MV-LV. The zero sequence impedance is 7% for HV-MV and LV-HV, and 11.7764% for MV-LV. The SHC-Voltage, Real Part is 0% for all voltage levels.

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

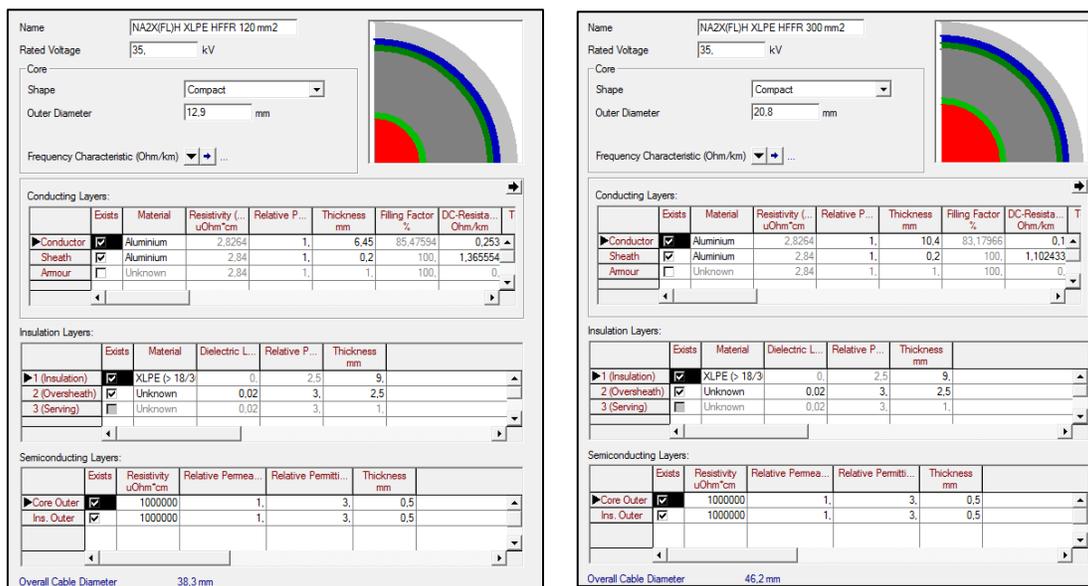
5.1.6. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF DOMEYKO

La conexión entre el transformador de bloques 33/0,68/0,68 kV y la barra de 33 kV de la S/E Hades se desarrolla por medio de tramos directamente enterrados utilizando cables de aluminio de 120, 300, 500 y 630 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 el antecedente b).

Tabla 5-11 Características de los cables de MT.

PARÁMETROS	CABLE 120 mm ²	CABLE 300 mm ²	CABLE 500 mm ²	CABLE 630 mm ²
Aislación	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Cubierta	HFFR	HFFR	HFFR	HFFR
Pantalla	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Material conductor	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Diámetro cable [mm]	38,3	46,2	52,3	57,4
Diámetro conductor [mm]	12,9	20,8	26,9	32
Espesor aislación [mm]	9	9	9	9
Espesor cubierta [mm]	2,5	2,5	2,5	2,5
Espesor pantalla [mm]	0,2	0,2	0,2	0,2

A continuación, la siguiente Figura muestra las características de los cables de MT del PF Domeyko en el programa PowerFactory.



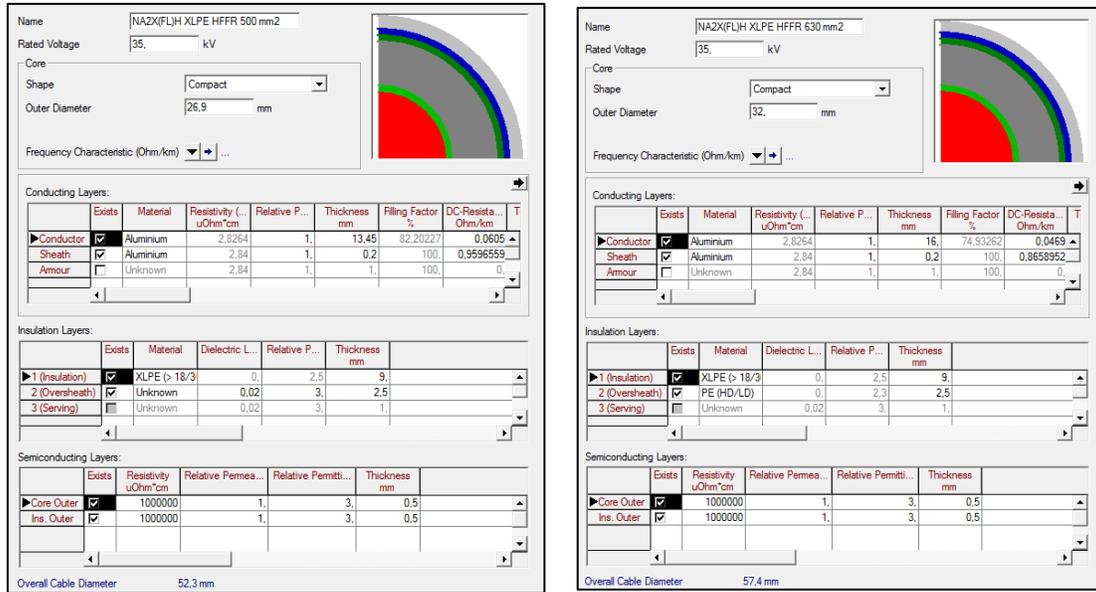


Figura 5-11 Datos del cable 120 mm², 300 mm²,500 mm² Y 630 mm²

Los tramos del sistema de cables de cada circuito representan un subgrupo de cables trifásicos; con disposiciones de circuitos simples.

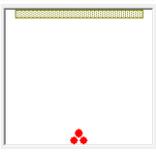
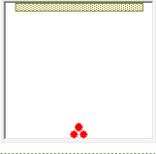
Tabla 5-12: Detalle del conexionado del PF Domeyko.

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [MM2]	LONGITUD [KM]
Circuito 1	Bus33kV - PCU004	3	1	630	0,390
	PCU004 - PCU005	3	1	300	0,381
	PCU005 - PCU006	3	1	120	2,660
Circuito 2	Bus33kV - PCU001	3	1	630	0,743
	PCU001 - PCU002	3	1	300	0,273
	PCU002 - PCU003	3	1	120	0,270
Circuito 3	Bus33kV - PCU016	3	1	630	2,260
	PCU007 - PCU008	3	1	300	0,315
	PCU008 - PCU016	3	1	120	2,442
Circuito 4	Bus33kV - PCU010	3	1	630	3,037
	PCU010 - PCU012	3	1	300	0,910
	PCU012 - PCU014	3	1	120	0,617
Circuito 5	Bus33kV - PCU011	3	1	630	3,630
	PCU011 - PCU013	3	1	300	0,615
	PCU013 - PCU015	3	1	120	0,564
Circuito 6	Bus33kV - PCU009	3	1	630	2,810
	PCU009 - PCU018	3	1	300	2,065
	PCU018 - PCU020	3	1	120	0,467
Circuito 7	Bus33kV - PCU017	3	1	630	4,287
	PCU017 - PCU019	3	1	300	0,588
	PCU019 - PCU021	3	1	120	1,853
Circuito 8	Bus33kV - PCU022	3	1	500	4,913

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [MM2]	LONGITUD [KM]
Circuito 9	PCU022 - PCU023	3	1	120	0,366
	Bus33kV - PCU024	3	1	630	5,100
	PCU024 - PCU025	3	1	120	0,420

En base a lo anterior, las disposiciones utilizadas en cada uno de los tramos se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5-13: Disposición de los tramos con cables enterrados del PF Domeyko.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [M]	X2 [M]	X3 [M]	Y1 [M]	Y2 [M]	Y3 [M]
	Circuito 3x1x120 [mm2]	-0,024	0,024	0	0,74	0,74	0,7
	Circuito 3x1x300 [mm2]	-0,028	0,028	0	0,75	0,75	0,7
	Circuito 3x1x500 [mm2]	-0,032	0,032	0	0,753	0,753	0,7
	Circuito 3x1x630 [mm2]	-0,035	0,035	0	0,76	0,76	0,7

5.1.7. TRANSFORMADORES ZIG-ZAG

El PF Domeyko tiene dos 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 5-14: Parámetros transformador zig-zag.

PARÁMETROS	VALOR
Tensión nominal	33 [kV]
Capacidad de corriente de cortocircuito (3·I0)	0,19052 [kA]
Reactancia de secuencia cero (calculada)	297,314 [Ω]
Reactancia a tierra	100 [Ω]

6. REVISIÓN NORMATIVA

A continuación, se exponen los principales estándares normativos (Anexo Técnico: “Pruebas de Potencia Máximas en Unidades Generadoras” disponible en la página de la CNE) que son de relevancia para el presente informe.

Artículo 39: Potencia máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación.

Para las unidades generadoras que no tengan capacidad de regulación, y que por lo tanto no sea aplicable lo establecido en el Artículo 16 del presente Anexo, el valor de potencia Máxima deberá ser obtenido en función de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.

7. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

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:

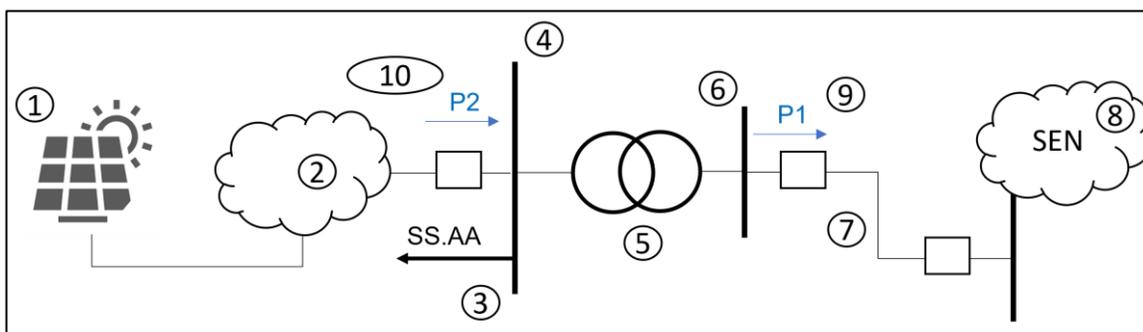


Figura 7-1 Diagrama de sistema equivalente.

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):** Corresponde a la barra A de 33 kV del PFV Domeyko, 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 Domeyko, corresponde a los transformadores de poder 1.
6. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 220 kV del PFV Domeyko, 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 Domeyko en la barra de 220 kV de su subestación de salida.
10. **P2:** Potencia inyectada por el PFV Domeyko en la barra A y B de 33 kV de su subestación de salida.

7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

Para la determinación de la potencia máxima del PFV Domeyko 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 14:10:44 y las 15:10:44 del día 29-09-2022 es de **182,05 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 29-09-2022.

Por otra parte, se tiene que, de acuerdo con el antecedente c), los consumos de servicios auxiliares son de 0,007922 MW.

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 1,8667 MW brutos por inversor. 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 5,81 MW, como se muestra en la siguiente figura.

Grid: PFV Domeyko		System Stage: PFV Domeyko		Study Case: Study Case		Annex: / 1	
Grid: PFV Domeyko Summary							
No. of Substations	0	No. of Busbars	255	No. of Terminals	0	No. of Lines	51
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	102	No. of syn. Machines	0	No. of asyn. Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0		
Generation	=	186,67 MW	-0,00 Mvar	186,67 MVA			
External Infeed	=	-182,05 MW	40,14 Mvar	186,42 MVA			
Inter Grid Flow	=	0,00 MW	0,00 Mvar				
Load P(U)	=	0,01 MW	-0,00 Mvar	0,01 MVA			
Load P(Un)	=	0,01 MW	0,00 Mvar	0,01 MVA			
Load P(Un-U)	=	0,00 MW	0,00 Mvar				
Motor Load	=	0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA			
Grid Losses	=	4,61 MW	40,14 Mvar				
Line Charging	=		-3,40 Mvar				
Compensation ind.	=		0,00 Mvar				
Compensation cap.	=		0,00 Mvar				
Installed Capacity	=	212,00 MW					
Spinning Reserve	=	0,00 MW					
Total Power Factor:							
Generation	=	1,00 [-]					
Load/Motor	=	1,00 / 0,00 [-]					

Figura 7-3 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.

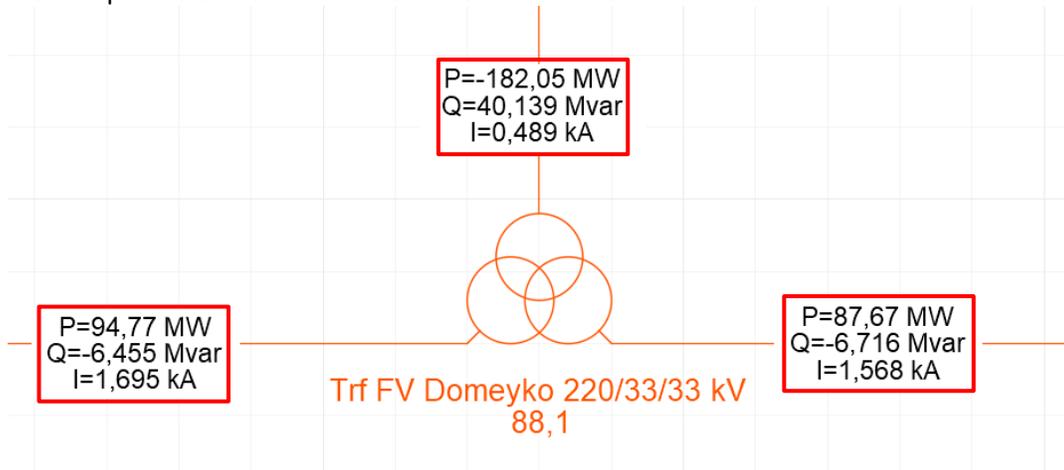


Figura 7-4 Valores de flujos de potencia de los transformadores de poder del PFV Domeyko.

Así, el Transformador tiene unas pérdidas de 0,32 MW, por lo que las pérdidas del sistema colector equivalen a 4,29 MW. Finalmente se debe considerar un promedio de 0,007922 MW de las pérdidas de los SS.AA, obtenidos en terreno y mostrados en el ANEXO I

7.3. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE

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

Se define, por lo tanto, que la potencia máxima bruta es igual a:

$$P_{Max\ Bruta} = P_1 + P_{trafo} + P_{sist.\ colector} + P_{SS.AA}$$

En donde:

P_1 es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia máxima neta del parque, que para el presente estudio equivale a **182,05 MW**.

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas de los transformadores de poder **0,32 MW**.

$P_{sist.\ colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector **4,29 MW**.

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a **0,007922MW**.

Así, se tiene que la potencia máxima del parque es igual a:

Tabla 7-1 Resumen de potencias máxima bruta, neta y consumos del PFV Domeyko.

CENTRAL	POTENCIA MÁXIMA BRUTA [MW]	POTENCIA MÁXIMA NETA [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [MW]
PFV Domeyko	186,67	182,05	0,32	4,29	0,007922
Potencia máxima bruta = Potencia máxima neta + Pérdidas de la red (Transformador de poder + Sistema colector) + consumos de SS.AA.					

7.4. CORRECCIÓN DE RESULTADOS

En la presente sección se realizará el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 7-1. Para el desarrollo de los cálculos se han considerado los valores medios de cada variable durante el período de medición, los cuáles se presentan en las Figura 7-5 y Figura 7-6.

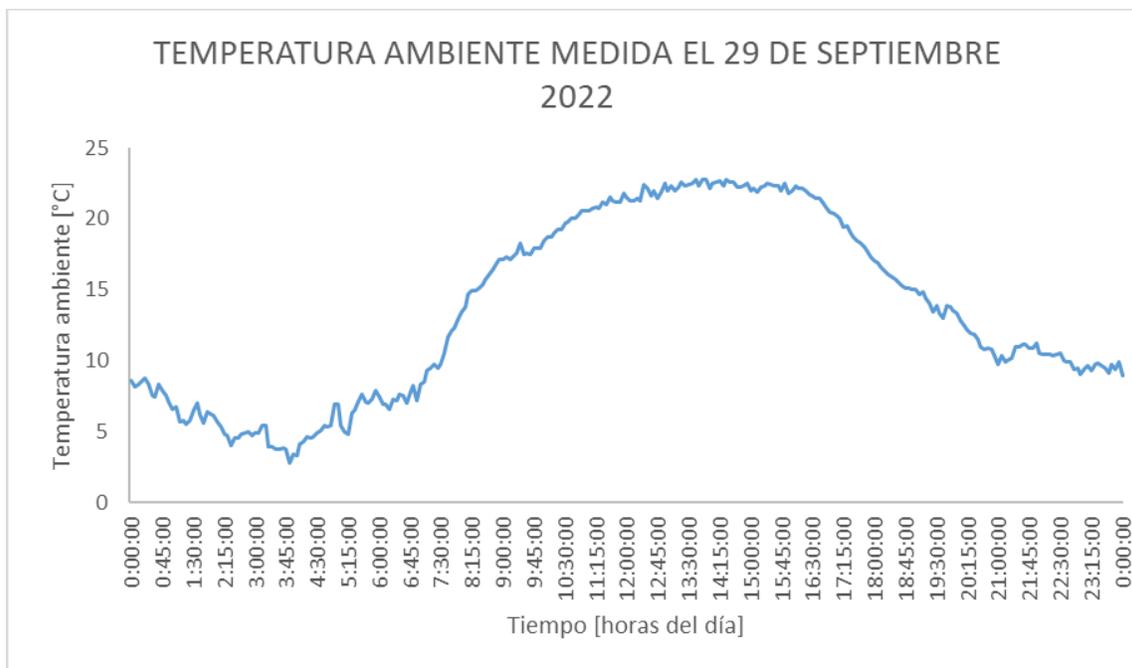


Figura 7-7 Mediciones de temperatura ambiente del PFV Domeyko.

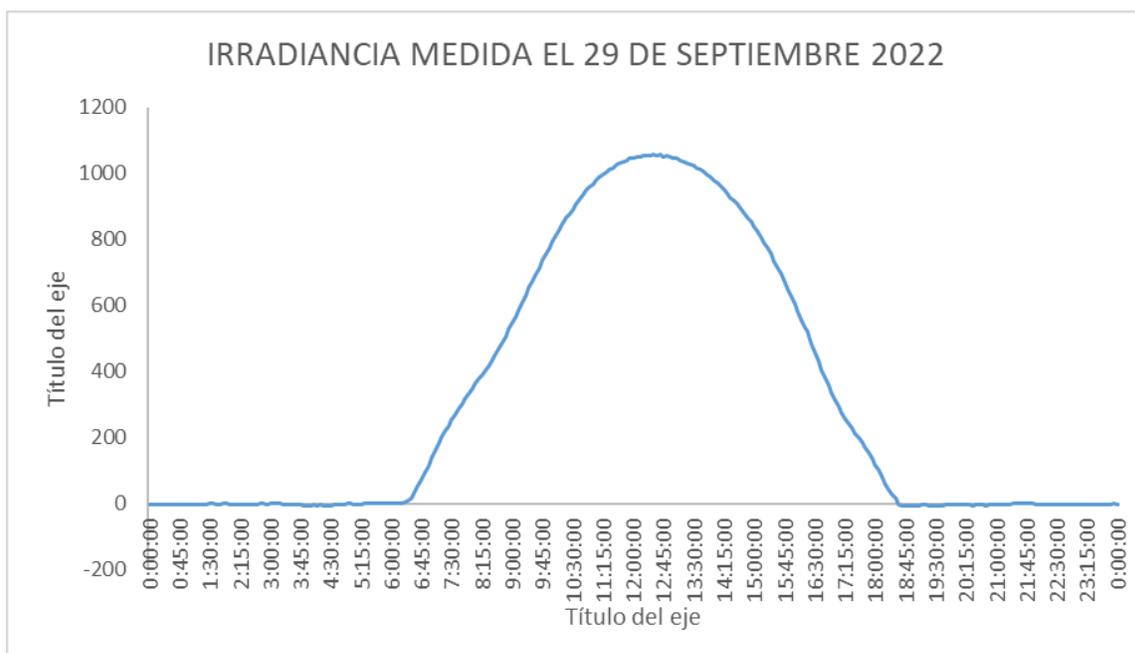


Figura 7-8 Mediciones de irradiancia del PFV Domeyko.

Para el caso de la temperatura ambiente medida el valor promedio (en la ventana de tiempo de interés) es igual a 22,40°C, mientras que el valor promedio de la irradiancia es igual a 890 W/m².

7.4.1. CORRECCIÓN DE POTENCIA ACTIVA BRUTA

En el presente punto, se procede a realizar una corrección de la potencia máxima bruta del parque ante una condición ideal. Para verificar que en la zona del parque existirá una radiación superior o igual a 1000 W/m² se utilizan los registros mensuales disponibles en la pagina <https://solar.minenergia.cl/>. A continuación, las figuras detallan la temperatura ambiente y la irradiancia de la zona donde se emplaza el PFV Domeyko.

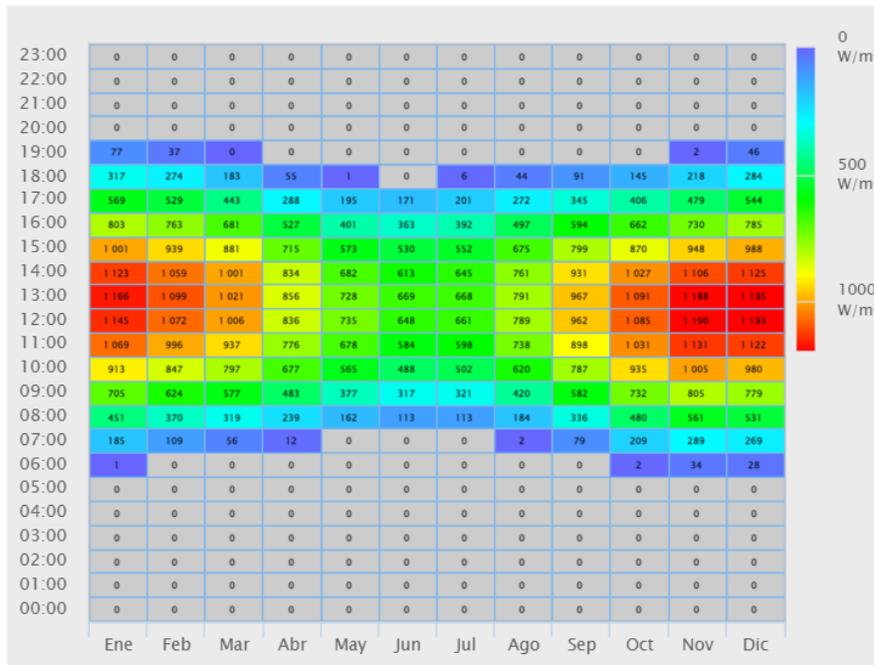


Figura 7-9 Registro de ciclo diario mensual de irradiancia en PFV Domeyko.

De la figura anterior se desprende que la irradiancia en algunos meses supera los 1000 W/m², por lo tanto, el presente análisis considerara un valor de 1000 W/m² en la irradiancia de sitio para la corrección de la potencia bruta máxima del PFV Domeyko.

Por otra parte, la siguiente figura señala el registro histórico de temperaturas en el sitio del proyecto. Las mediciones de temperatura ambiente tomadas en el mismo sitio indican que entre las 12:00 y las 13:00 suelen tener valores 17°C.

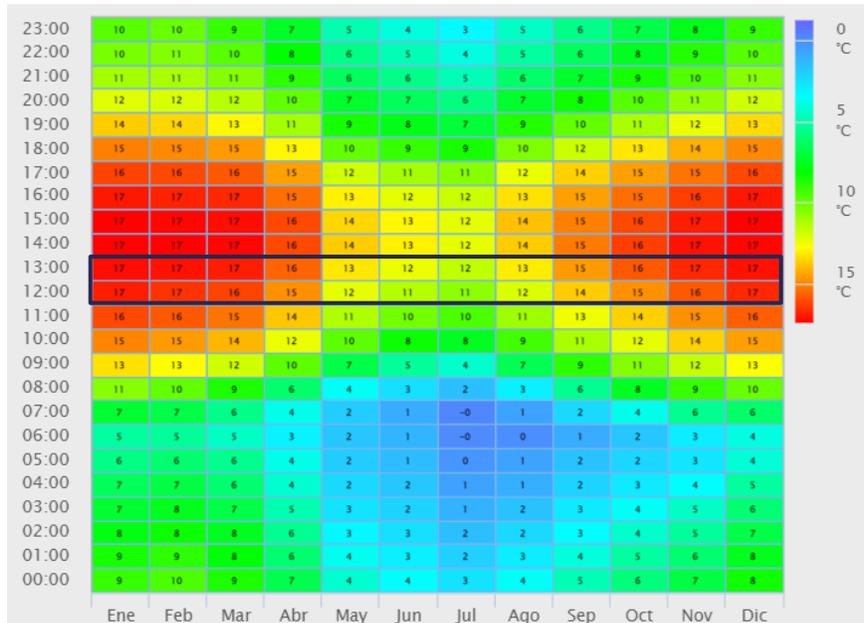


Figura 7-10 Registro de ciclo diario mensual de temperatura ambiente en PFV Domeyko.

Dicho lo anterior, se dará uso a una irradiancia de sitio (I_{rsitio}) igual a 1000 W/m^2 , en tanto para la temperatura ambiente de sitio ($T_{ambsitio}$) se ha determinado un valor de $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

En primer lugar, se realiza la determinación de la **Potencia Bruta Medida** ($P_{bruta, med}$) durante el ensayo (Tabla 7-1).

$$P_{bruta,med} = 186,67 [MW]$$

La corrección por irradiancia se realiza a partir de considerar una dependencia lineal entre la potencia y dicha magnitud, lo cual es una aproximación aceptable en función de lo que puede ser observado en los registros y en la documentación de los paneles presente (e).

El resultado se muestra a continuación.

$$P_{bruta,ir} = P_{bruta,med} \cdot \frac{I_{rsitio}}{I_{rmed}}$$

$$P_{bruta,ir} = 186,67 \cdot \frac{1000}{890} = 209,74 [MW]$$

Para la corrección por temperatura, se debe determinar en primer lugar la temperatura de operación del panel fotovoltaico (T_{pmed}) para las condiciones de ensayo. La temperatura del panel depende de la relación entre los valores medidos de irradiancia (I_{rmed}) y temperatura (T_{amb}) durante el ensayo y las condiciones ambientales para las cuales se ha determinado el valor de NOCT (“Normal Operation Cell Temperature”) del panel (e). La expresión que permite calcular la temperatura del panel se presenta a continuación.

$$T_{p_{med}} = T_{amb} + (NOCT^2 - T_{NOCT}^3) \cdot \frac{I_{r_{prom}}}{I_{r_{NOCT}}}$$

$$T_{p_{med}} = 22,40 + (45 - 25) \cdot \frac{890}{1000} = 40,20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Adicionalmente, se calcula el valor de temperatura de panel para las condiciones de sitio.

$$T_{p_{sitio}} = T_{amb_{sitio}} + (NOCT - T_{NOCT}) \cdot \frac{I_{r_{sitio}}}{I_{r_{NOCT}}}$$

$$T_{p_{sitio}} = 17 + (45 - 25) \cdot \frac{1000}{1000} = 37,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La diferencia calculada entre la temperatura de los paneles durante el ensayo y la correspondiente a las condiciones de sitio (ΔT) se presenta a continuación.

$$\Delta T = T_{p_{med}} - T_{p_{sitio}}$$

$$\Delta T = 40,20 - 37,00 = 3,2$$

Utilizando el coeficiente de temperatura para potencia dado por el fabricante de los paneles $K_{power\ temperature} = -0,37\% [1/^\circ\text{C}]$ (Ver (e)), se hace el ajuste por temperatura de operación de los paneles y se obtiene la Potencia corregida inyectada de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_{corregida} = \frac{P_{bruta}}{1 + \Delta T \cdot t_{power\ temperature}}$$

$$P_{corregida} = \frac{209,74}{1 - 0,0037 \cdot 3,2} = 207,29 \text{ [MW]}$$

Con este valor se procede a calcular el máximo valor de inyección del PFV Domeyko con la corrección de temperatura a través de simulaciones de flujo en el software Power Factory obteniendo los resultados presentados en las figuras a continuación:

²NOCT (Normal Operation Cell Temperature) según fabricante es 45°C (Ver Anexo IV)

³Temperatura ambiente optima de operación de las celdas (Ver Anexo IV)

Grid: PFV Domeyko		System Stage: PFV Domeyko		Study Case: Study Case		Annex: / 1	
Grid: PFV Domeyko Summary							
No. of Substations	0	No. of Busbars	255	No. of Terminals	0	No. of Lines	51
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	102	No. of syn. Machines	0	No. of asyn. Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0		
Generation	= 207,29 MW	0,00 Mvar		207,29 MVA			
External Infeed	= -201,61 MW	50,59 Mvar		207,86 MVA			
Inter Grid Flow	= 0,00 MW						
Load P(U)	= 0,01 MW	0,00 Mvar		0,01 MVA			
Load P(Un)	= 0,01 MW	0,00 Mvar		0,01 MVA			
Load P(Un-U)	= 0,00 MW	-0,00 Mvar					
Motor Load	= 0,00 MW	0,00 Mvar		0,00 MVA			
Grid Losses	= 5,67 MW	50,59 Mvar					
Line Charging	=	-3,36 Mvar					
Compensation ind.	=	0,00 Mvar					
Compensation cap.	=	0,00 Mvar					
Installed Capacity	= 212,00 MW						
Spinning Reserve	= 0,00 MW						
Total Power Factor:							
Generation	= 1,00 [-]						
Load/Motor	= 1,00 / 0,00 [-]						

Figura 7-11 Resultados del flujo de potencia con corrección por temperatura e irradiancia.

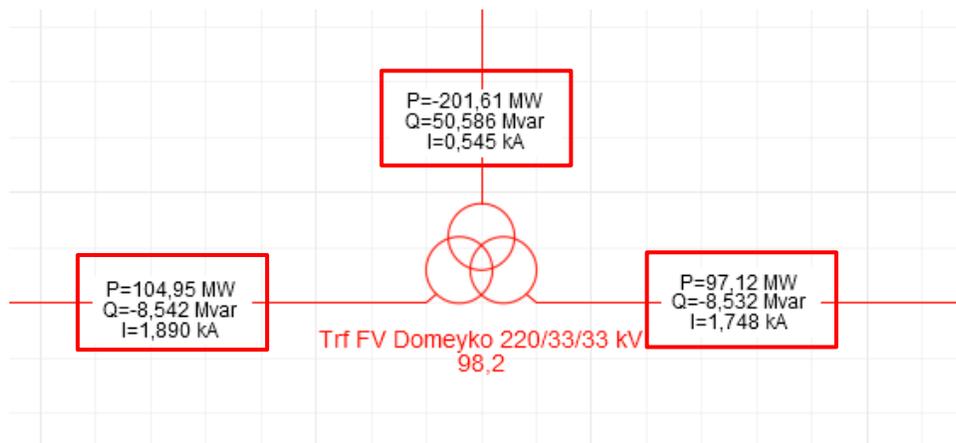


Figura 7-12 Valores de flujos de potencia de los transformadores de poder del PFV Domeyko, con corrección por temperatura e irradiancia.

Así, el Transformador tiene unas pérdidas de 0,46 MW, por lo que las pérdidas del sistema colector equivalen a 5,21 MW. Finalmente se debe considera un promedio de 0,007922 MW de las pérdidas de los SS.AA, obtenidos en terreno y mostrados en el ANEXO I

7.5. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE CON CORRECCIÓN POR TEMPERATURA E IRRADIANCIA.

Con las potencias corregidas, se procede a calcular la potencia máxima bruta y neta del parque.

Se define, por lo tanto, que la potencia máxima bruta es igual a:

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

En donde:

P_1 es la potencia definida en la sección 7.1 y corresponde a la potencia máxima neta del parque, que para el presente estudio equivale a **201,61 MW**.

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas de los transformadores de poder **0,46 MW**.

$P_{sist. colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector **5,21 MW**.

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a **0,007922MW**.

Así, se tiene que la potencia máxima del parque es igual a:

Tabla 7-2 Resumen de potencias máxima bruta, neta y consumos del PFV Domeyko, con corrección por temperatura e irradiancia.

CENTRAL	POTENCIA MÁXIMA BRUTA [MW]	POTENCIA MÁXIMA NETA [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [MW]
PFV Domeyko	207,29	201,61	0,46	5,21	0,007922
Potencia máxima bruta = Potencia máxima 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 máxima neta y bruta para el PFV Domeyko 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 potencia máxima neta del PFV Domeyko es de 201,61 [MW], mientras que la potencia máxima bruta del parque es de 207,29 [MW].



Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

ANEXOS

P21006

ESTUDIOS ELÉCTRICOS PARQUE FOTOVOLTAICO DOMEYKO

20.04.2023

Anexo de potencia máxima
21006-00-ES-IT-017 Rev. 1
Preparado para Enel Green Power Chile S.A.

ANEXO I

P21006

REGISTRO DE SS.AA



ANEXO II

P21006

REGISTRO DE POTENCIA, TEMPERATURA AMBIENTE E IRRADIANCIA MEDIDA

El anexo II se encuentra adjunto en la carpeta de envió.

ANEXO III

P21006

BASE DE DATOS

El anexo III se encuentra adjunto en la carpeta de envió.

ANEXO IV

P21006

MANUALES DE CELDAS E INVERSORES

El anexo IV contiene los manuales de los paneles e inversores del parque. Este se encuentra adjunto en la carpeta de envió.