



P21011

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO

VALLE DEL SOL

17.03.2023

Informe de Potencia Máxima en Unidades Generadoras
21011-00-ES-IT-014 Rev. 0
Preparado para Enel Green Power Chile S.A





P21011

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO VALLE DEL SOL

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	Cristian Valenzuela R.	01.03.2023	I-SEP	02.03.2023	Revisión Interna
Rev. B	Cristian Valenzuela R.	06.03.2023	I-SEP	17.03.2023	Emitido para uso
Rev. 0	Cristian Valenzuela R.	17.03.2023			

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. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33 KV	7
5.2. INVERSORES PF VALLE DEL SOL	7
5.3. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,68/0,68 kV	8
5.4. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF VALLE DEL SOL	9
5.5. TRANSFORMADOR ZIG-ZAG	12
5.6. MODELADO DETALLADO DEL PF VALLE DEL SOL	12
6. REVISIÓN NORMATIVA	14
7. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	14
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	14
7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN	15
7.3. CÁLCULO DE POTENCIA MÁXIMA DEL PARQUE	17
8. CONCLUSIONES	18
9. ANEXOS	19
ANEXO I CONSUMO SSAA	
ANEXO II BASE DE DATOS	
ANEXO III DATASHEET INVERSOR	
ANEXO IV 21011-00-ES-IT-011 ECAP	
ANEXO V REGISTROS PMAX	

1. IDENTIFICACIÓN

- ◆ Nombre del Proyecto : PF Valle del Sol
- ◆ Número Único de Proyecto (NUP) : 1210
- ◆ 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 Valle del Sol (desde ahora PF Valle del Sol) NUP 1210, propiedad de Enel Green Power Chile, 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

Enel Green Power Chile se encuentra gestionando la entrada en operación del proyecto Valle del Sol, **NUP 1210**, ubicado en la comuna María Elena, Región de Antofagasta, Chile, contemplando un total de 84 inversores SUNWAY TG de 2120 kW con una inyección de 149,9 MW al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

La interconexión del proyecto Valle del Sol (desde ahora PF Valle del Sol) con el SEN se realiza a través de circuitos de 33 kV que se conectan a las instalaciones de transformación de 33/220 kV ubicadas en la S/E Valle del Sol, la que a través de la línea de transmisión Valle del Sol – Miraje 220 kV se conecta al SEN.

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 PF Valle del Sol el cual tiene por objetivo determinar la potencia máxima que puede generar el parque considerando la totalidad de unidades.

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 IV - Registros Pmax.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas en las pruebas del día 24/02/2023.
- b) Documento “21011-00-ES-IT-011”, “Estudio de ajuste y coordinación de protecciones “realizado por I-SEP.
- c) “Anexo I - Consumo SSAA”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas del medidor de servicios auxiliares de la subestación en las pruebas del día 24/02/2023.

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

El proyecto PF Valle del Sol, **NUP 1210**, consiste en un parque fotovoltaico ubicado en la comuna María Elena, Región de Antofagasta, Chile, contemplando un total de 84 inversores SUNWAY TG de 2120 kW con una inyección de 149,9 MW al SEN. La energía inyectada por el parque es transferida mediante circuitos de 33 kV que se conectan a las instalaciones de transformación de 33/220 kV ubicadas en la S/E Valle del Sol, la que a través de la línea de transmisión Valle del Sol – Miraje 220 kV se conecta al Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

En la Figura 5-1 se muestra un diagrama unilineal de la zona de influencia, señalando en un recuadro **rojo** el proyecto PF Valle del Sol, destacando que este es solo de forma referencial, ya que no fue necesario llevar a cabo la modelación del parque interconectado al SEN para la realización del presente estudio.

En este capítulo se presentan las principales características de los equipos que conforman el proyecto PF Valle del Sol.

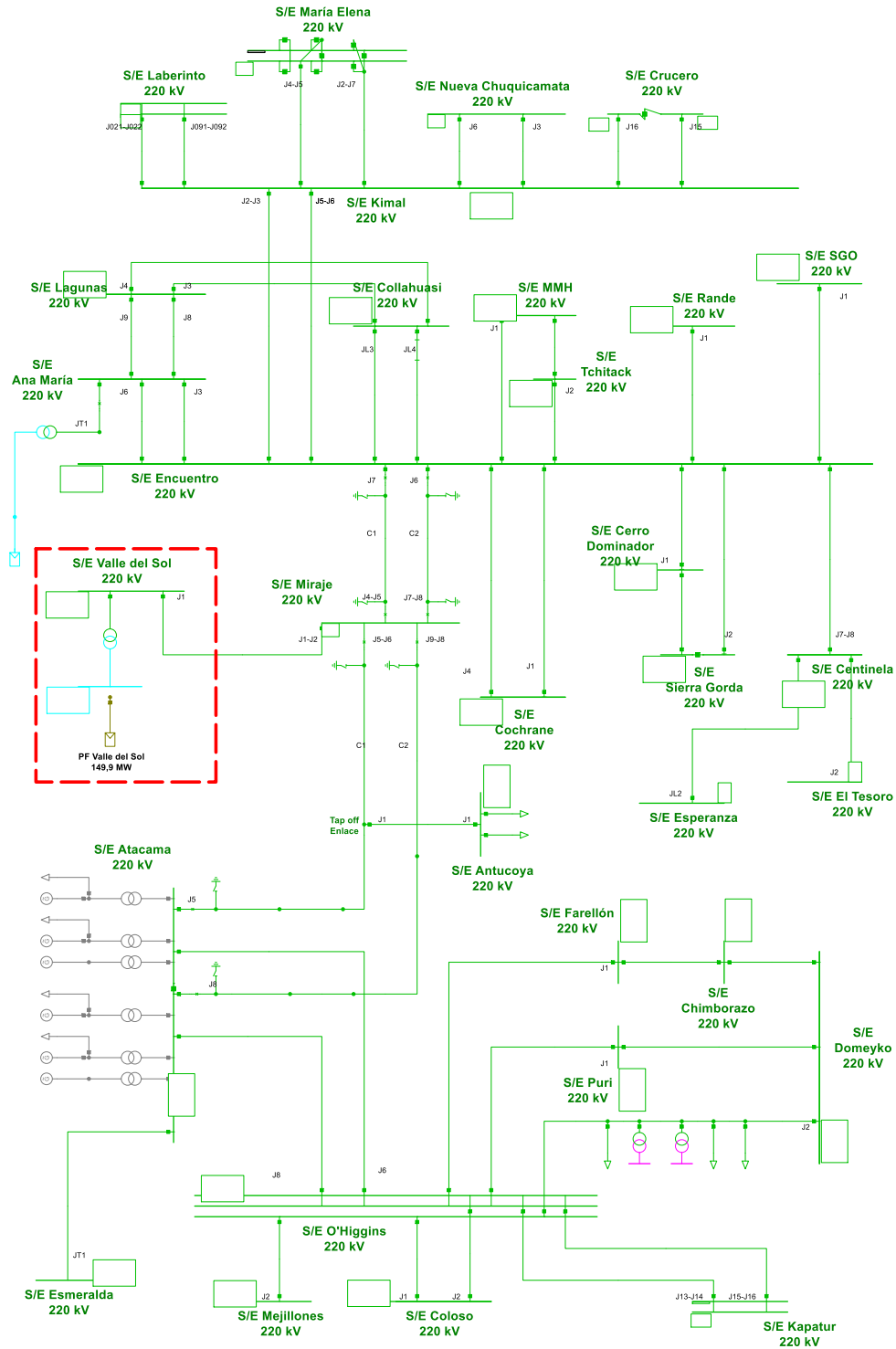


Figura 5-1 Diagrama unilíneal de la zona de influencia.¹

¹ La imagen de la zona de influencia es referencial y no se corresponde al modelado de la Base de Datos adjunta a este informe.

5.1. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33 KV

Los principales parámetros del transformador elevador del PF Valle del Sol, son los indicados en la siguiente imagen, conforme a la información contenida en el antecedente b).

Figura 5-2 Modelado de transformador elevador en PowerFactory.

5.2. INVERSORES PF VALLE DEL SOL

El proyecto PF Valle del Sol consta con un total de 84 inversores Sunway TG1800 1500V TE -680 OD de 2120 kVA a 25°C. La potencia nominal máxima instalada del parque es de 178,1 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 5-1 Parámetros de los inversores utilizados en el modelado del PF Valle del Sol.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	Enertronica Santerno
Modelo	Sunway TG1800 1500V TE-680 OD
Potencia Aparente Máxima @ 25°C	2,120 [MVA]
Potencia Nominal @ 45°C	1,884 [MVA]
Tensión Nominal	0,680 [kV]
Corriente de operación máxima @ 25°C	0,900 [kA]
Corriente de cortocircuito subtransitoria	1,350 [kA]

La Figura 5-3 muestra el modelado de los inversores del PF Valle del Sol en el programa PowerFactory.

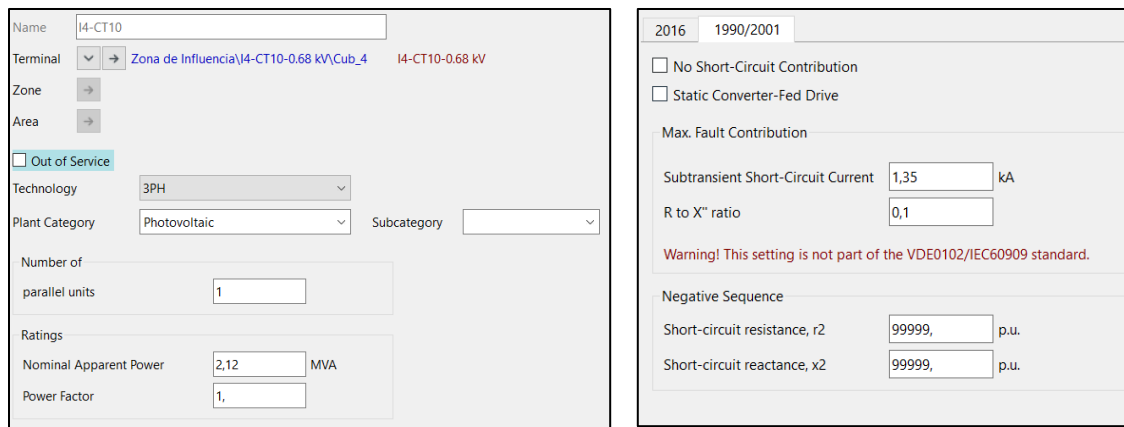


Figura 5-3 Modelado de los inversores en PowerFactory.

5.3. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,68/0,68 kV

El PF Valle del Sol consta de 42 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 5-2 Parámetros transformadores de bloque de tres devanados 33/0,68/0,68 kV.

PARÁMETROS	VALORES
Potencia Nominal ONAN	3,8 [MVA]
Niveles de Tensión	33/0,68/0,68 [kV]
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia de secuencia positiva (Base 3,8 MVA)	HV-MV: 7,0000 [%]; MV-LV: 11,7764 [%]; LV-HV: 7,0000 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 3,8 MVA)	HV-MV: 7,0000 [%]; MV-LV: 11,7764 [%]; LV-HV: 7,0000 [%]
Pérdidas totales en el cobre, nominal	33,95 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	3,45 [kW]
Corriente de magnetización, secuencia positiva	0,35 [%]

A continuación, la Figura 5-4 muestra el modelado de los transformadores del PF Valle del Sol en el programa PowerFactory.

The screenshot displays the configuration window for a transformer in PowerFactory. Key parameters include:

- Name:** Trf 33 kV/0,68 kV
- Technology:** Three Phase Transformer
- Rated Power:** HV-Side: 3,8 MVA; MV-Side: 1,9 MVA; LV-Side: 1,9 MVA
- Rated Voltage:** HV-Side: 33, kV; MV-Side: 0,68 kV; LV-Side: 0,68 kV
- Vector Group:** HV-Side: D; MV-Side: Y; LV-Side: Y
- Phase Shift:** HV-Side: 0, *30deg; MV-Side: 11, *30deg; LV-Side: 11, *30deg
- Short-Circuit Voltages (uk):** HV-MV: 7, %; MV-LV: 11,7764, %; LV-HV: 7, %
- Copper Losses (kW):** HV-MV: 16,975; MV-LV: 0; LV-HV: 16,975
- Tap Settings:** HV-Side (2,5% tap, 0 deg phase shift), MV-Side (0% tap, 0 deg phase shift), LV-Side (0% tap, 0 deg phase shift)

Figura 5-4 Modelado de transformadores de bloque de dos devanados en PowerFactory.

5.4. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF VALLE DEL SOL

La conexión entre los transformadores 33/0,68/0,68 kV y la barra de 33 kV de la S/E Valle del Sol se desarrolla por medio de tramos directamente enterrados utilizando cables de aluminio de 240, 400 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 5-3 Características de los cables de MT

PARÁMETROS	CABLE 240 mm ²	CABLE 400 mm ²	CABLE 630 mm ²
Aislación	XLPE	XLPE	XLPE
Cubierta	DMZ1	DMZ1	DMZ1
Pantalla	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Material conductor	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Diámetro cable [mm]	46,72	51,88	58,72
Diámetro conductor [mm]	18,40	26,60	30,00
Espesor aislación [mm]	8,00	8,00	8,00
Espesor cubierta [mm]	3,00	3,00	3,20
Espesor pantalla [mm]	0,30	0,30	0,30

A continuación, la Figura 5-5 muestra el modelado de los cables de MT del PF Valle del Sol en el programa PowerFactory.

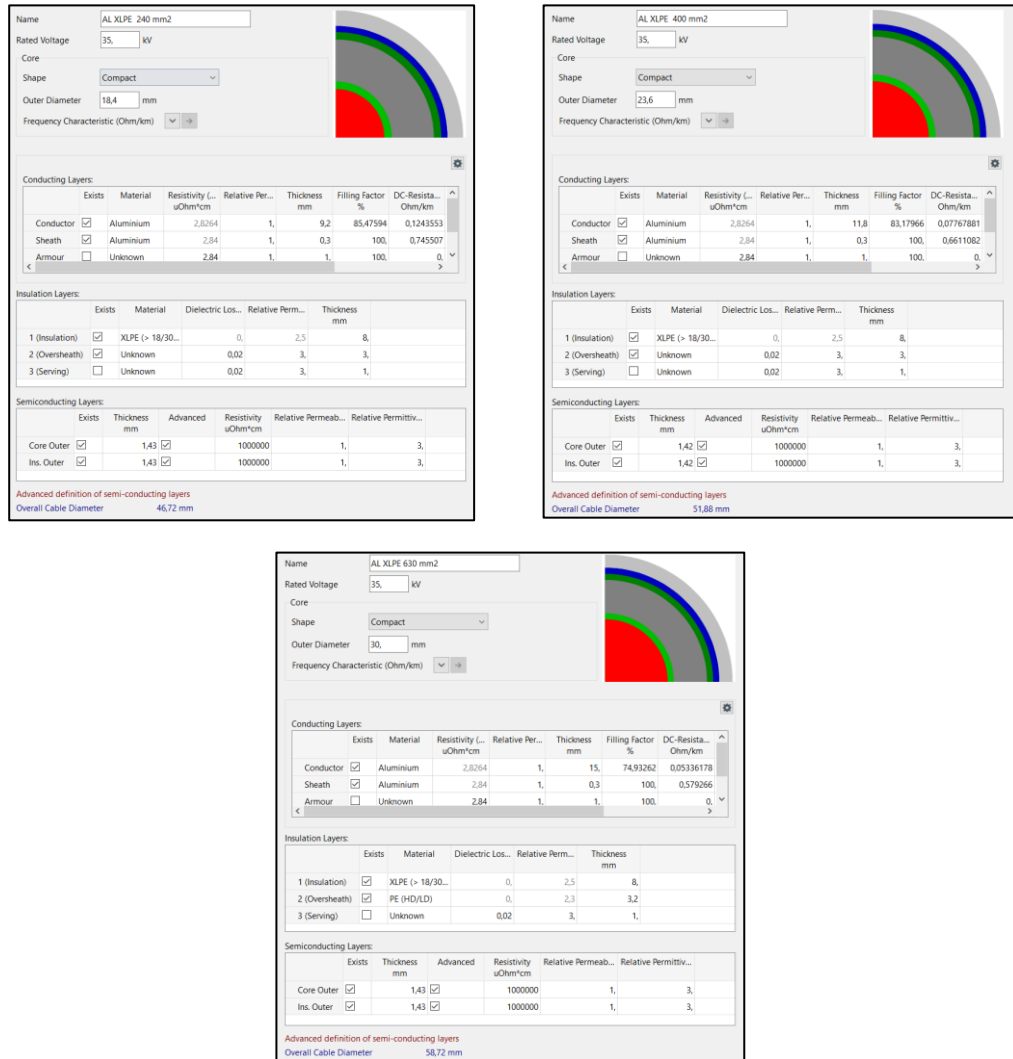


Figura 5-5 Modelado del cable 240 mm², 400 mm² y 630 mm².

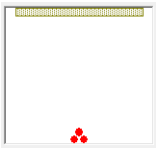
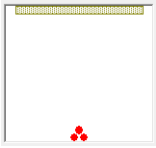
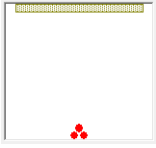
Los tramos del sistema de cables se muestran en la Tabla 5-4 Detalle del conexionado del PF Valle del Sol. Cada circuito representa un subgrupo de cables trifásicos. Cada subgrupo o tríada de cables viaja por un ducto separado del resto.

Tabla 5-4 Detalle del conexionado del PF Valle del Sol.

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [mm ²]	LONGITUD [km]
Circuito 1	Barra 33kV -CT17	1	1	630	2,124
	CT17-CT11	1	1	400	0,432
	CT11-CT05	1	1	240	0,416
Circuito 2	Barra 33kV -CT18	1	1	630	1,735
	CT18-CT12	1	1	400	0,432
	CT12-CT06	1	1	240	0,416
Circuito 3	Barra 33kV -CT19	1	1	630	1,351
	CT19-CT13	1	1	400	0,432
	CT13-CT07	1	1	240	0,416
Circuito 4	Barra 33kV -CT20	1	1	630	0,957
	CT20-CT14	1	1	400	0,432
	CT14-CT08	1	1	240	0,432
Circuito 5	Barra 33kV -CT21	1	1	630	0,571
	CT21-CT15	1	1	400	0,462
	CT15-CT09	1	1	240	0,446
Circuito 6	Barra 33kV -CT03	1	1	630	2,163
	CT03-CT02	1	1	400	0,452
	CT02-CT01	1	1	240	0,396
Circuito 7	Barra 33kV -CT16	1	1	630	0,561
	CT16-CT10	1	1	400	0,414
	CT10-CT04	1	1	240	0,704

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 5-5 Disposición de los tramos con cables enterrados del PF Valle del Sol.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
	Circuito 3x1x240 [mm ²]	-0,024	0,024	0,000	0,740	0,740	0,700
	Circuito 3x1x400 [mm ²]	-0,028	0,028	0,000	0,750	0,750	0,700
	Circuito 3x1x630 [mm ²]	-0,035	0,035	0,000	0,760	0,760	0,700

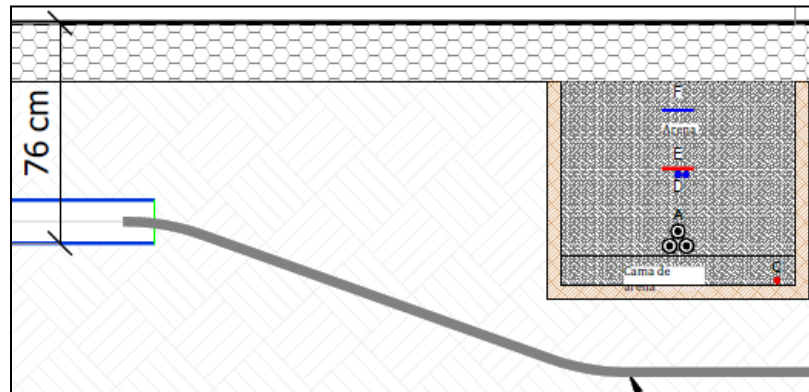


Figura 5-6 Trincheras para los conductores de MT.

5.5. TRANSFORMADOR ZIG-ZAG

El PF Valle del Sol considera un transformador zig-zag con puesta a tierra conectado a la barra de 33 kV de la subestación. Las características principales de los transformadores se indican en la siguiente tabla.

Tabla 5-6 Parámetros transformador zig-zag.

PARÁMETROS	VALOR
Tensión nominal	33 [kV]
Capacidad de corriente nominal de cortocircuito ($3 \cdot I_0$)	500 [A]
Impedancia del transformador Zig-Zag	114,315 [Ω]

5.6. MODELADO DETALLADO DEL PF VALLE DEL SOL

En la Figura 5-7 se presenta el modelado detallado del PF Valle del Sol.

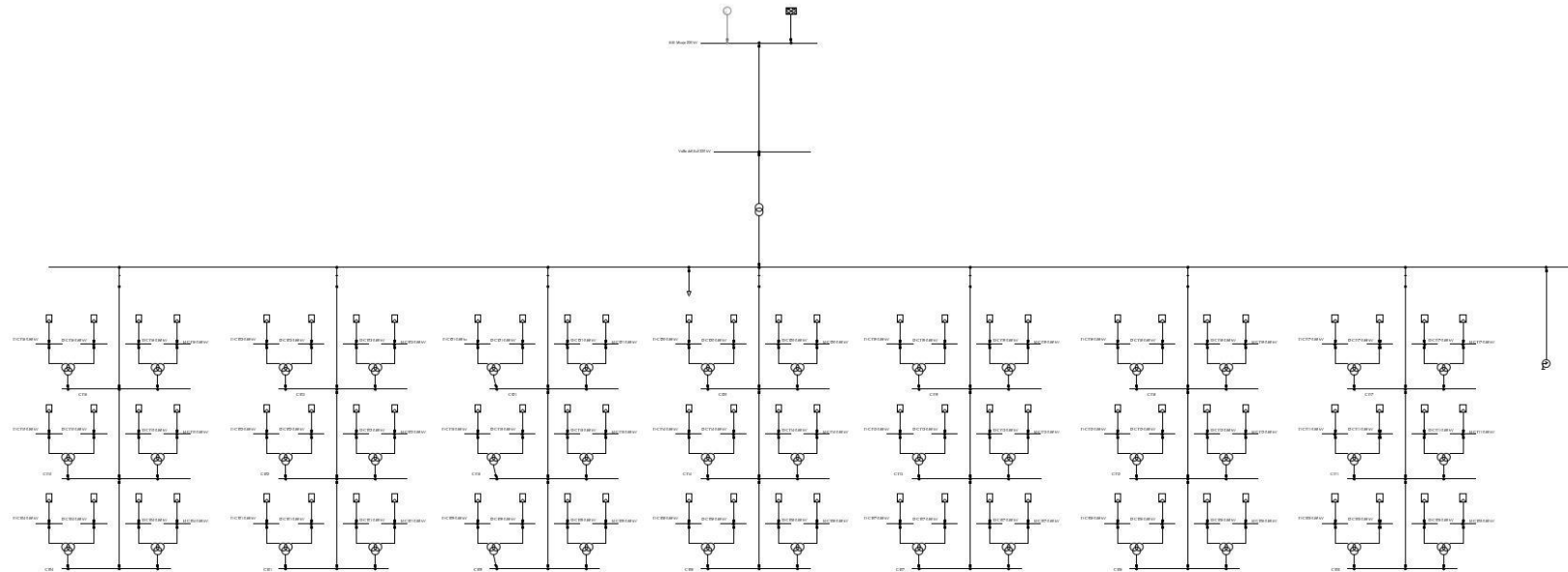


Figura 5-7 Modelado Detallado del PF Valle del Sol.

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:

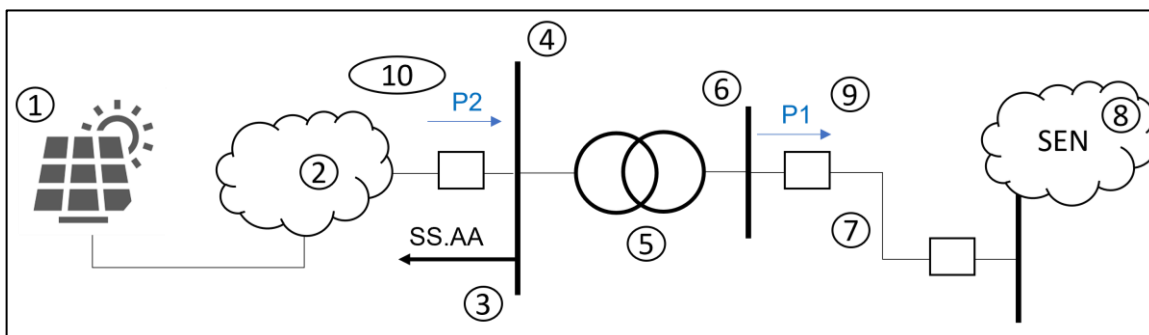


Figura 7-1 Diagrama de sistema equivalente.

Los componentes del parque son los siguientes:

1. **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de 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.**
4. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra A de 33 kV del PF Valle 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 PF Valle 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 PF Valle 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 PF Valle del Sol en la barra de 220 kV de su subestación de salida.
10. **P2:** Potencia inyectada por el PF Valle del Sol en la barra A de 33 kV de su subestación de salida.

7.2. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

Para la determinación de la potencia máxima del PF Valle del Sol se han tomado los valores de la medición obtenida del PPC en el punto de conexión 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 10:51:08 y las 11:51:23 del día 24-02-2023 es de **149,55 MW**.

Por otra parte, se tiene que, de acuerdo con el antecedente c), que corresponde al medidor de los servicios auxiliares de la subestación, el consumo de dicha instalación es de, en promedio, **0,0056 MW**.

A continuación, se realizan simulaciones de flujo de potencia en la base de datos del antecedente b), 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 1,8219 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 3,68 MW, como se muestra en la siguiente figura.

Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex:	/ 1			
Grid: Grid Summary							
No. of Substations	0	No. of Busbars	108	No. of Terminals	7	No. of Lines	22
No. of 2-w Trfs.	1	No. of 3-w Trfs.	42	No. of syn. Machines	0	No. of asyn. Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0		
Generation	=	153,04 MW	-0,00 Mvar	153,04 MVA			
External Infeed	=	-149,35 MW	35,17 Mvar	153,44 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	=	3,68 MW	35,17 Mvar				
Line Charging	=		-3,13 Mvar				
Compensation ind.	=		0,00 Mvar				
Compensation cap.	=		0,00 Mvar				
Installed Capacity	=	178,08 MW					
Spinning Reserve	=	0,00 MW					
Total Power Factor:							
Generation	=	1,00 [-]					
Load/Motor	=	1,00 / 0,00 [-]					

Figura 7-2 Resultados del flujo de potencia.

Estas pérdidas se pueden desglosar entre las pérdidas del transformador y las pérdidas de sistema colector. De la siguiente imagen se desprenden las pérdidas del transformador, restando la potencia de salida con la de entrada.

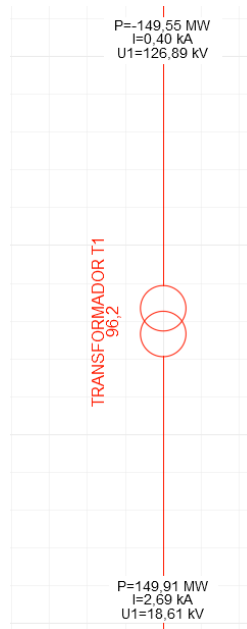


Figura 7-3 Valores de flujos de potencia de los transformadores de poder del PF Valle del Sol.

Así, el transformador tiene unas pérdidas de 0,36 MW, por lo que las pérdidas del sistema colector equivalen a **3,32 MW**.

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 PF Valle 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 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 **149,55 MW**.

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas de los transformadores de poder **0,36 MW**.

$P_{sist. colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector **3,32 MW**.

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a **0,0056 MW**.

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

Tabla 7-1 Resumen de potencias máxima bruta, neta y consumos del PF Valle del Sol.

CENTRAL	POTENCIA MÁXIMA BRUTA [MW]	POTENCIA MÁXIMA NETA [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [kW]
PF Valle del Sol	153,2356	149,55	0,36	3,32	0,0056
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 PF Valle 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 potencia máxima neta del PF Valle del Sol es de **149,55 MW**, mientras que la potencia máxima bruta del parque es de **153,2356 MW**.

9. ANEXOS