



INFORME DE POTENCIA MÁXIMA
EN UNIDADES GENERADORAS

X-ELIO ⊕

CONTRATISTA

CLIENTE

“INGENIERÍA Y ESTUDIOS PROYECTO LA CRUZ”



Descripción:

INFORME DE POTENCIA MÁXIMA EN UNIDADES GENERADORAS

Nº Documento:

20020-01-ES-IT-009

X-ELIO

S/N

GRUPO ORTIZ

CHI-LCR-PV-EL-CNS-13

Revisión N°:

A

Fecha

07/02/2022

REVISIONES DEL DOCUMENTO

Nº REVISIÓN	FECHA	MOTIVO DE LA REVISIÓN
A	07/02/2022	

VALIDACIONES DEL DOCUMENTO

EMITIDO POR:

REVISADO POR:

I-SEP

GRUPO ORTIZ



P20020

INGENIERÍA Y ESTUDIOS PROYECTO LA CRUZ

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.	01.02.2022	Diego Abarca	04.02.2022	
Rev. B	Cristian Valenzuela R.	07.02.2022			

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	4
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	5
5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO LA CRUZ SOLAR	8
5.1.1. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33 kV	8
5.1.2. TRANSFORMADOR ZIG ZAG	9
5.1.3. SISTEMA DE CABLES DE MEDIA TENSIÓN	9
5.1.4. INVERSORES	12
5.1.5. TRANSFORMADORES DE BLOQUE	13
6. REVISIÓN NORMATIVA	13
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	16
8. CONCLUSIONES	18
9. ANEXOS	19

1. IDENTIFICACIÓN

- | | | |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1) Nombre del Proyecto | : | Parque Fotovoltaico La Cruz Solar |
| 2) Numero Único de Proyecto (NUP) | : | 1923 |
| 3) Empresa Propietaria del Proyecto | : | Fotovoltaica Norte Grande 1 SpA. |

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente informe tiene por finalidad establecer el valor de Potencia Máxima para los inversores del Parque Fotovoltaico La Cruz Solar (PFV La Cruz Solar) NUP 1923, propiedad de Fotovoltaica Norte Grande 1 SpA, 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

La sociedad Fotovoltaica Norte Grande 1 se encuentra gestionando la entrada en operación del proyecto PFV La Cruz Solar, NUP 1923, ubicado en la Región de Antofagasta, específicamente en la comuna de María Elena, Provincia de Antofagasta. El proyecto consta de 15 inversores, alcanzando una capacidad instalada de 54,45 MW.

La interconexión del PFV La Cruz Solar con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se realiza mediante la línea 1x220 kV La Cruz Solar – T.O. La Cruz, de longitud 5,779 km que comienza en la subestación elevadora La Cruz y se extiende hasta la subestación existente Tap Off La Cruz 220 kV. 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 La Cruz Solar, 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

- Documento “Pmax.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas en las pruebas del día 18/01/2022.
- Documento CHI-LCR-P0V-CNS-13 R0 “Estudio de Estabilidad Transitoria” realizado por I-SEP
- Documento “SSAA.xlsx”, provisto por el cliente, que registra las mediciones obtenidas del medidor de servicios auxiliares de la subestación en las pruebas del día 18/01/2022.
- Documento “CHI-CRZ-PEE-INV-DST-001_01 Inverter datasheet”, provisto por el cliente.

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 PFV La Cruz Solar se encuentra constituido por 15 inversores Power Electronics de 3,63 MVA cada uno, alcanzando una capacidad instalada de 54,45 MW. La interconexión del PFV La Cruz Solar con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se realiza mediante la línea 1x220 kV La Cruz Solar – T.O. La Cruz, de longitud 5,779 km que comienza en la subestación elevadora La Cruz y se extiende hasta la subestación existente Tap Off La Cruz 220 kV

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

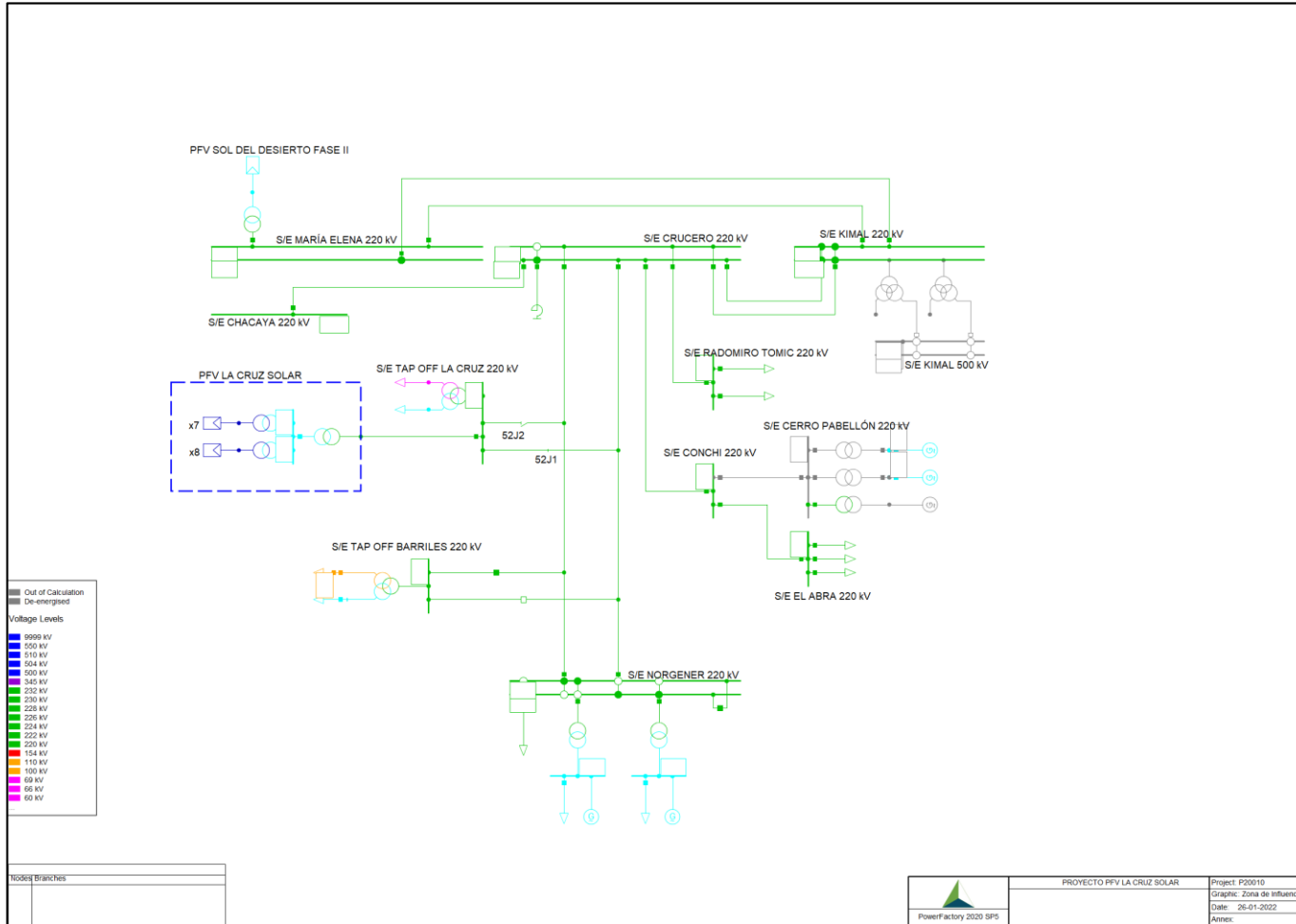


Figura 5-1 Diagrama unilineal de la zona de influencia.

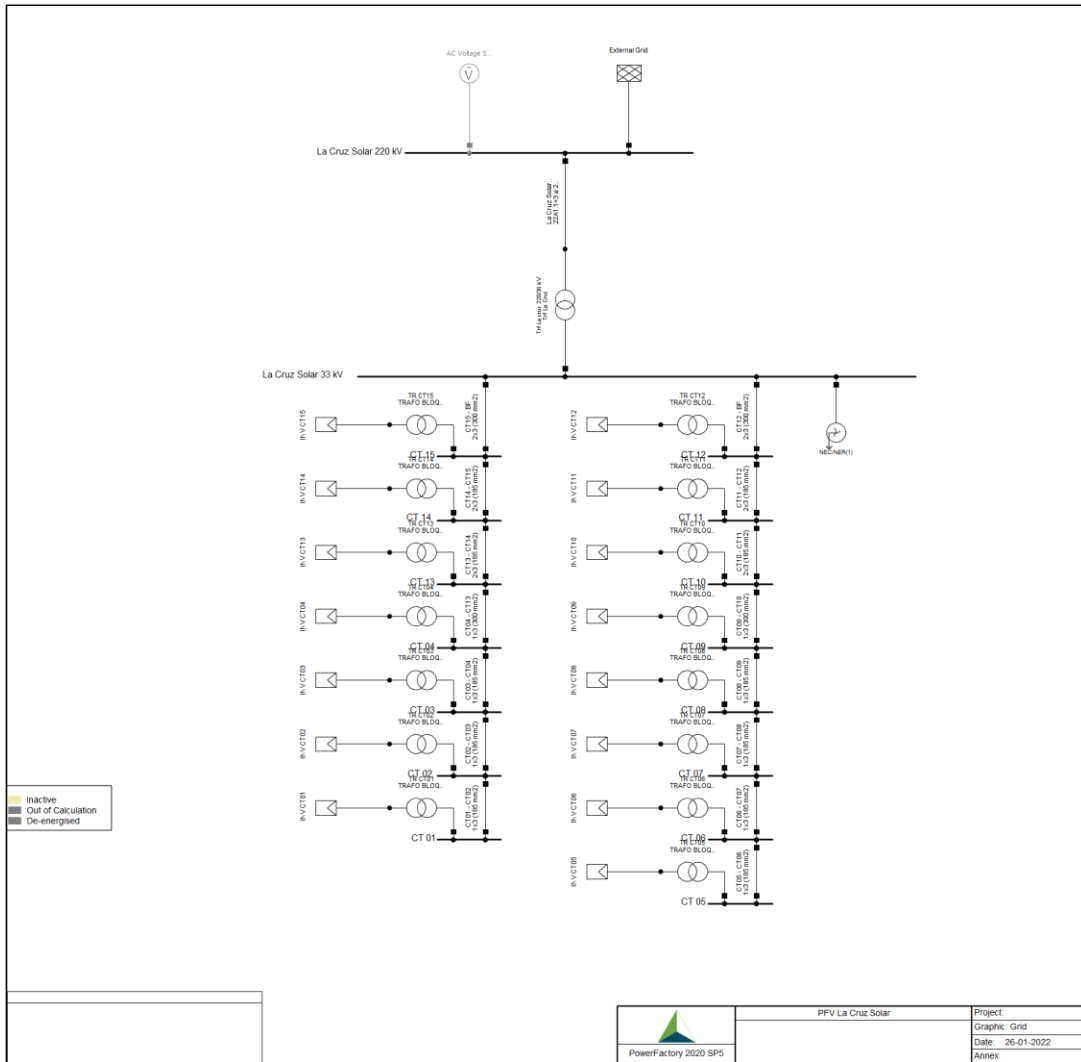


Figura 5-2 Diagrama unilineal sistema colector PFV La Cruz Solar.

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO LA CRUZ SOLAR

A continuación, se presentan las principales características de los equipos que conforman el proyecto PFV La Cruz Solar.

5.1.1. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33 kV

Los parámetros del transformador elevador del PFV La Cruz Solar son los indicados en la siguiente tabla, conforme a la información contenida en el antecedente b):

Tabla 5-1 Parámetros transformador de poder 220/33 kV PF La Cruz Solar.

PARÁMETROS	VALOR
Potencia Nominal ONAN	50 [MVA]
Potencia Nominal ONAF	60 [MVA]
Niveles de Tensión	220/33 [kV]
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia de secuencia positiva (Base 60 MVA)	10,93 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 60 MVA)	9,698 [%]
Pérdidas en el cobre	225,82 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	34,51 [kW]
Corriente de magnetización, secuencia positiva	0,09 [%]

A continuación, la Figura 5-3 muestra la modelación del transformador elevador del PF La Cruz Solar en el programa PowerFactory.

The screenshot shows the 'Basic Data' configuration window for a transformer in PowerFactory. The configuration is as follows:

- Name:** Trf La Cruz
- Technology:** Three Phase Transformer
- Rated Power:** 60 MVA
- Nominal Frequency:** 50 Hz
- Rated Voltage:**
 - HV-Side: 220 kV
 - LV-Side: 33 kV
- Vector Group:** YN (HV-Side), D (LV-Side)
- Phase Shift:** 11 *30deg
- Name:** YNd11
- Positive Sequence Impedance:** 10,93 % (Short-Circuit Voltage uk)
- Copper Losses:** 225,82 kW
- Zero Sequence Impedance:** 9,698 % (Short-Circuit Voltage uk0)
- SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r:** 0 %

Figura 5-3: Modelación de transformador elevador en PowerFactory.

5.1.2. TRANSFORMADOR ZIG ZAG

El proyecto considera un transformador zig-zag en el lado de 33 kV para proporcionar una conexión a tierra con la corriente de falla a tierra limitada por la impedancia de secuencia cero del transformador. Los parámetros del transformador se presentan a continuación en función a lo mostrado en el antecedente b):

Tabla 5-2: Parámetros transformador zig-zag.

PARÁMETROS	VALOR
Tensión nominal	33 [kV]
Capacidad de corriente de cortocircuito ($3 \cdot I_0$)	1000 [A]
Resistencia a secuencia cero	66,2 [Ω]
Resistencia de puesta a tierra	0 [Ω]

5.1.3. SISTEMA DE CABLES DE MEDIA TENSIÓN

La conexión entre los transformadores 33/0,66 kV y la barra de 33 kV de la S/E La Cruz Solar se desarrolla por medio de tramos directamente enterrados utilizando cables de aluminio de 185 mm² y 300 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 185 mm ²	CABLE 300 mm ²
Aislación	XLPE	XLPE
Cubierta	LSHQ	LSHQ
Pantalla	Cobre	Cobre
Material conductor	Aluminio	Aluminio
Diámetro cable [mm]	43,32	51,44
Diámetro conductor [mm]	16,20	20,60
Espesor aislación [mm]	10,8	12,6
Espesor cubierto [mm]	2,03	2,11
Espesor pantalla [mm]	0,30	0,30





Los tramos del sistema de cables se muestran en la Figura 5-4. Cada circuito representa un subgrupo de cables trifásicos; de esta manera, se tendrán disposiciones de 2 circuitos de cables en paralelo. Los detalles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-4 Detalle del conexionado del PF La Cruz Solar.

CIRCUITOS DE MT				
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CALIBRE [mm ²]	LONGITUD [km]
CIRCUITO 1	CT01-CT02	1	185	0,241
	CT02-CT03	1	185	0,346
	CT03-CT04	1	185	0,762
	CT04-CT13	1	300	0,579
	CT13-CT14	2	185	0,245
	CT14-CT15	2	185	0,247
	CT15-BP 33kV	2	300	0,341
CIRCUITO 2	CT05-CT06	1	185	0,306
	CT06-CT07	1	185	0,248
	CT07-CT08	1	185	0,147
	CT08-CT09	1	185	0,245
	CT09-CT10	1	300	0,147
	CT10-CT11	2	185	0,245
	CT11-CT12	2	185	0,245
	CT12-BP 33kV	2	300	0,940

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

Tabla 5-5 Disposición de los tramos con cables enterrados del PF La Cruz Solar.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
	Circuito 1x185 [mm ²]	0	0,04332	-0,04332	0,97334	1,01666	1,01666
	Circuito 1x300 [mm ²]	0	0,04332	-0,04332	0,97334	1,01666	1,01666
	Circuito 2x185 [mm ²]	0,15	0,19332	0,10668	0,97334	1,01666	1,01666
		-0,15	-0,19332	-0,10668	0,97334	1,01666	1,01666
	Circuito 2x300 [mm ²]	0,15	0,19332	0,10668	0,97334	1,01666	1,01666
		-0,15	-0,19332	-0,10668	0,97334	1,01666	1,01666

Finalmente, se debe mencionar que la resistividad considerada para el sistema de media tensión (MT) es de 153 Ohm-m, conforme a lo indicado en el antecedente b).

5.1.4. INVERSORES

El proyecto PF La Cruz Solar se modela con un total de 15 inversores de 3,63 MVA, llegando a una capacidad instalada de 54,45 MW. Los parámetros de los inversores considerados para representar el proyecto se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5-6 Parámetros de los inversores utilizados en la modelación del PF La Cruz Solar.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	HEMK
Modelo	FS3510K
Potencia Nominal @ 50°C	3,510 [MVA]
Potencia Nominal @ 40°C	3,630 [MVA]
Tensión Nominal	0,660 [kV]
Corriente de cortocircuito	4,15 [kA]

A continuación, la Figura 5-5 muestra la modelación de los inversores del PF La Cruz Solar en el programa PowerFactory.

The screenshot shows the 'General' configuration window for an inverter in PowerFactory. The 'Name' field is 'INV CT15'. The 'Terminal' is set to 'PF La Cruz Solar\Terminal(14)\Cub_2'. The 'Technology' is '3PH' and the 'Plant Category' is 'Photovoltaic'. The 'Number of parallel units' is set to 1. Under 'Ratings', the 'Nominal Apparent Power' is 3,63 MVA and the 'Power Factor' is 1,.

Figura 5-5 Modelación de los inversores en PowerFactory.

5.1.5. TRANSFORMADORES DE BLOQUE

El PF La Cruz Solar se modela con 15 transformadores de bloque. Los parámetros utilizados para modelar dichos transformadores se indican en las siguientes tablas:

Tabla 5-7 Parámetros transformadores de bloque de dos devanados 33/0,66 kV.

PARÁMETROS	VALORES
Potencia Nominal	3,63 [MVA]
Niveles de Tensión	33/0,66 [kV]
Grupo de conexión	Dy11
Impedancia de secuencia positiva (Base 3,739 MVA)	7,00 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 3,739 MVA)	6,30 [%]
Pérdidas en el cobre	30 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	3,4 [kW]
Corriente de magnetización, secuencia positiva	0,5 [%]

A continuación, la Figura 5-6 muestra la modelación de los transformadores del PF La Cruz Solar en el programa PowerFactory.

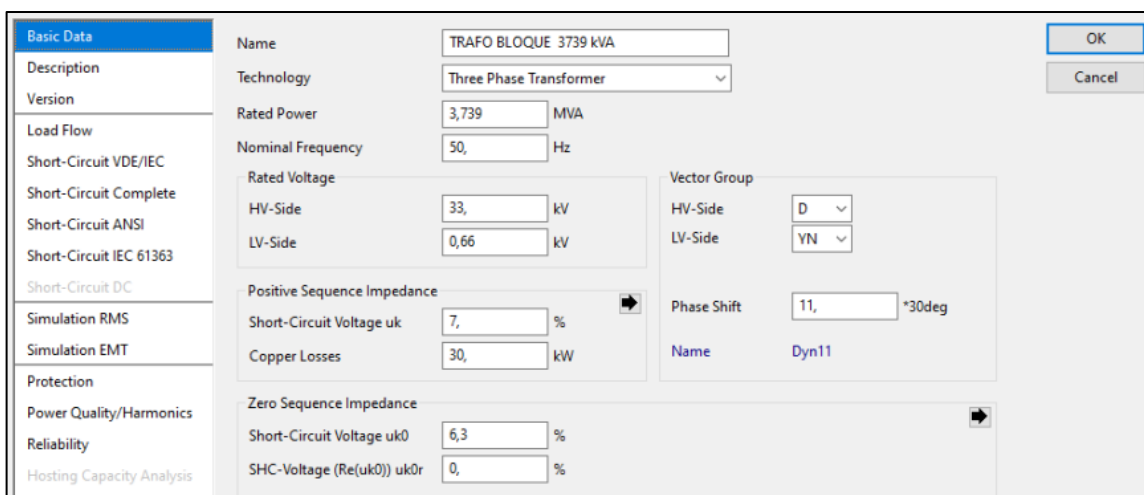


Figura 5-6 Modelación de transformadores de bloque de dos devanados en PowerFactory.

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:

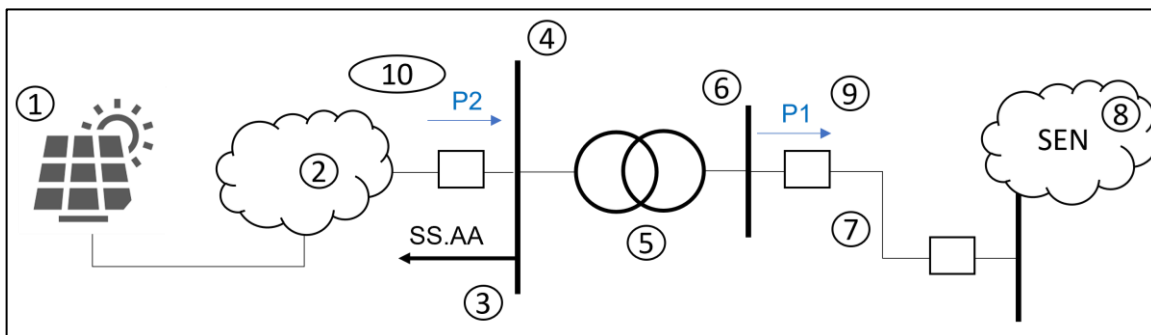


Figura 7-1 Diagrama de sistema equivalente.

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 PFV La Cruz Solar, 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 La Cruz Solar, corresponde a los transformadores de poder 1 y 2.
6. **Barra de alta tensión: (AT):** Corresponde a la barra principal de 110 kV del PFV La Cruz Solar, 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 La Cruz Solar en la barra de 210 kV de su subestación de salida.
10. **P2:** Potencia inyectada por el PFV La Cruz Solar 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 La Cruz Solar se han tomado los valores del equipo de medida MI-2892 (**P1**). 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 14:40:40 y las 15:40:54 del día 18-01-2022 es de **52,0201 MW**. En la siguiente Figura se presentan las mediciones realizadas durante el periodo anteriormente mencionado.

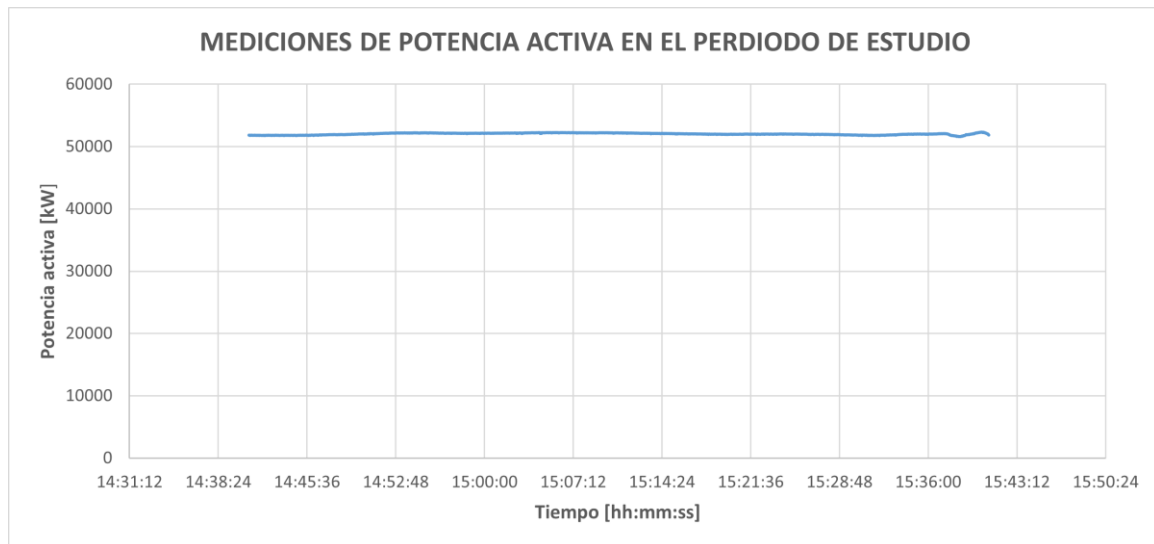


Figura 7-2 Mediciones de potencia activa realizadas el día 18-01-2022.

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 .0,0136 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 3,52089 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 0,78 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	17	No. of Terminals	16	No. of Lines	16
No. of 2-w Trfs.	16	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0	No. of asyn.Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0		
Generation	=	52,81 MW	7,69 Mvar	53,37 MVA			
External Infeed	=	-52,02 MW	0,00 Mvar	52,02 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	=	0,78 MW	7,69 Mvar	0,00 MVA			
Line Charging	=		-1,21 Mvar				
Compensation ind.	=		0,00 Mvar				
Compensation cap.	=		0,00 Mvar				
Installed Capacity	=	54,45 MW					
Spinning Reserve	=	0,00 MW					
Total Power Factor:							
Generation	=	0,99 [-]					
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.

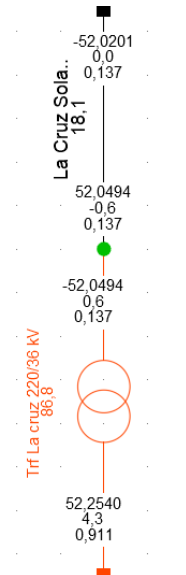


Figura 7-4 Valores de flujos de potencia de los transformadores de poder del PFV La Cruz Solar.

Así, el Transformador tiene unas pérdidas de 0,2339 MW, por lo que las pérdidas del sistema colector equivalen a **0,5461 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 PFV La Cruz Solar 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 **52,0201 MW**.

P_{trafo} Corresponden a las pérdidas de los transformadores de poder **0,2339 MW**.

$P_{sist. colector}$ corresponden a las pérdidas del sistema colector **0,5461 MW**.

$P_{SS.AA}$ corresponde a la potencia consumida por los servicios auxiliares de la subestación, correspondiente a **0,0136 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 PFV Cruz Solar.

CENTRAL	POTENCIA MÁXIMA BRUTA [MW]	POTENCIA MÁXIMA NETA [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [MW]
PFV La Cruz Solar	52,8137	52,0201	0,2339	0,5461	0,0136
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 La Cruz Solar 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 La Cruz Solar es de **52,0201 MW**, mientras que la potencia máxima bruta del parque es de **52,8137 MW**.

9. ANEXOS