



I-SEP

Ingeniería en Sistemas Eléctricos de Potencia

P20068

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO SOL DE LILA

26.08.2022

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en
Unidades Generadoras.

20068-00-ES-IT-018 Rev. 1

Preparado para Enel Green Power Chile S.A.





P20068

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO SOL DE LILA

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 8635

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

REVISIÓN	PREPARADO POR	FECHA	REVISADO POR	FECHA	COMENTARIOS
Rev.A	Eduardo Valdenegro P.	29-06-2022	I-SEP	30-06-2022	Rev. Interna
Rev.B	Eduardo Valdenegro P.	01-07-2022	I-SEP	08-07-2022	Enviado para revisión cliente
Rev.0	Eduardo Valdenegro P.	11-07-2022	Coordinador	18-08-2022	Con comentarios
Rev. 1	Eduardo Valdenegro P.	26-08-2022			

CONTENIDOS

1. IDENTIFICACIÓN	4
2. INTRODUCCIÓN	4
3. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
4. ANTECEDENTES.....	4
5. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE	5
5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOL DE LILA	7
5.1.1. PARÁMETROS LÍNEA 1x220 kV SOL DE LILA – ANDES C1	7
5.1.2. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33/33 kV	9
5.1.3. INVERSORES PF SOL DE LILA.....	10
5.1.4. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,8/0,8 kV.....	10
5.1.5. CABLES Y CONDUCTORES DE MT DEL PF SOL DE LILA.....	11
5.1.6. TRANSFORMADORES ZIG-ZAG	15
6. REVISIÓN NORMATIVA	16
7. DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO	17
7.1. DEFINICIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN	17
7.2. CÁLCULO MÍNIMO TÉCNICO	18
8. CONCLUSIONES	20
9. ANEXOS	21
ANEXO I	RESULTADOS COMPUTACIONALES EN POWERFACTORY
ANEXO II	REGISTRO DE CONSUMO LOS SERVICIOS AUXILIARES
ANEXO III	REGISTROS DE POTENCIA
ANEXO IV	BASE DE DATOS

1. IDENTIFICACIÓN

◆ Nombre del Proyecto	:	Parque Fotovoltaico Sol de Lila
◆ Número Único de Proyecto (NUP)	:	1101
◆ Empresa Propietaria del Proyecto	:	Enel Green Power Chile S.A.

2. INTRODUCCIÓN

El proyecto Sol de Lila consiste en un parque fotovoltaico ubicado en la Región de Antofagasta, comuna y provincia del mismo nombre, que contempla una potencia instalada de 181,67 MW, mientras que en el punto de conexión se estima una inyección de 161,3 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 Sol de Lila, la cual está conectada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), a través de la línea de transmisión Sol de Lila – Andes 220 kV C1.

En este contexto, I-SEP se ha adjudicado el desarrollo del Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en unidades generadoras, requerido por el Coordinador Eléctrico Nacional para la entrada en operación del proyecto PFV Sol de Lila, el cual tiene por objetivo determinar la potencia mínima que puede operar el parque.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo del presente informe es establecer los parámetros de mínimo Técnico del proyecto PFV Sol de Lila, según las pruebas realizadas en el parque y los lineamientos establecido en el **Anexo Técnico: Determinación de mínimos técnicos en Unidades Generadoras.**

4. ANTECEDENTES

Los antecedentes y registro de mediciones consultados para la realización del presente informe fueron los siguientes:

- a) Registro de mediciones realizadas en terreno “PPC 16.06.xlsx” día 16/06/2022.
- b) Documento 20068-00-ES-IT-003 R2 “Estudio de Flujos de Potencia” realizado por I-SEP
- c) Base de datos de PowerFactory “Sol de lila_min.pfd”, desarrollada por I-SEP.

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 Sol de Lila. Por otro lado, la Figura 5-2 muestra el diagrama unilineal del sistema colector del PFV Sol de Lila.

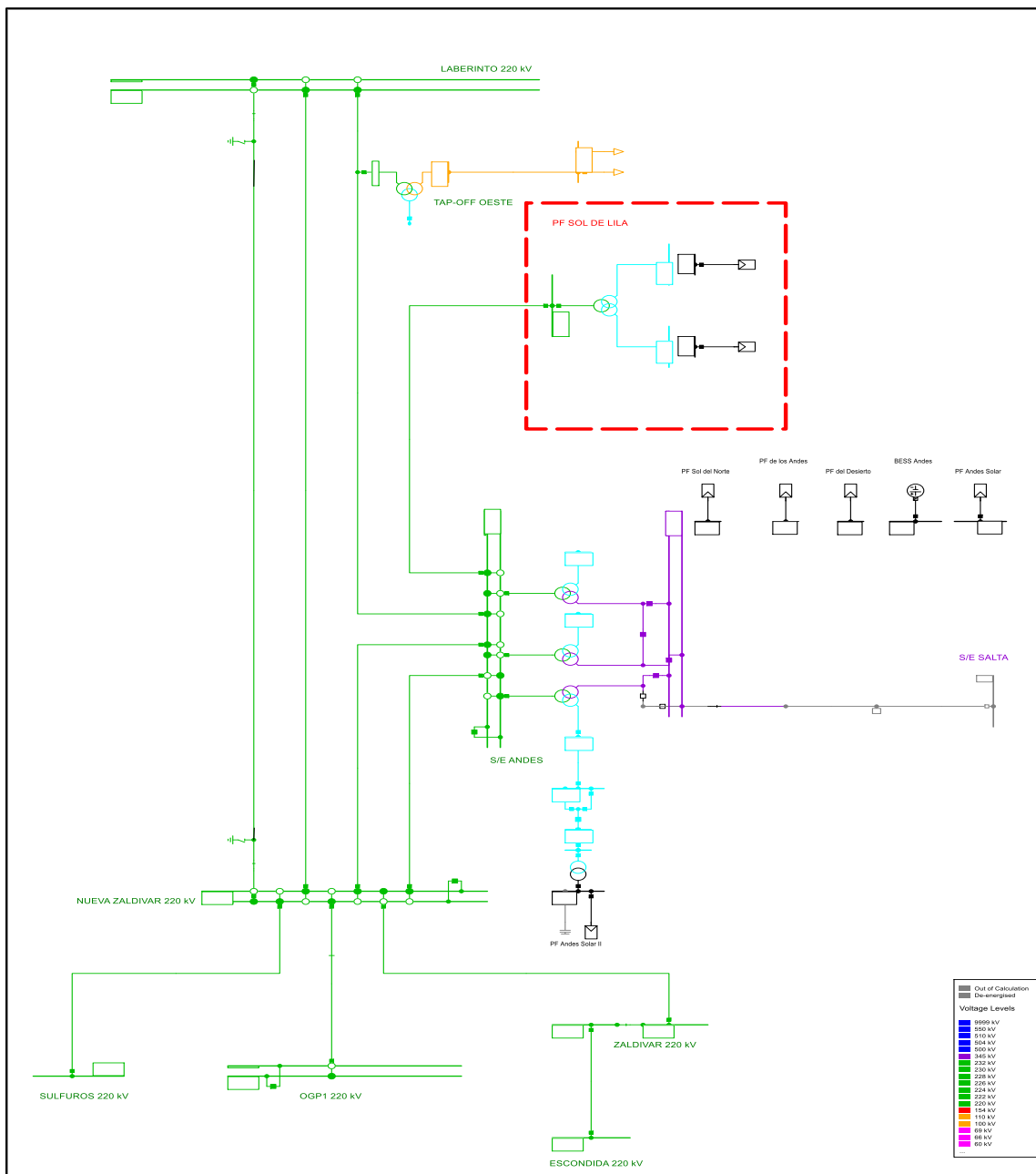


Figura 5-1 Diagrama unilineal de la zona de influencia.¹

¹ Imagen obtenida desde antecedente (b).

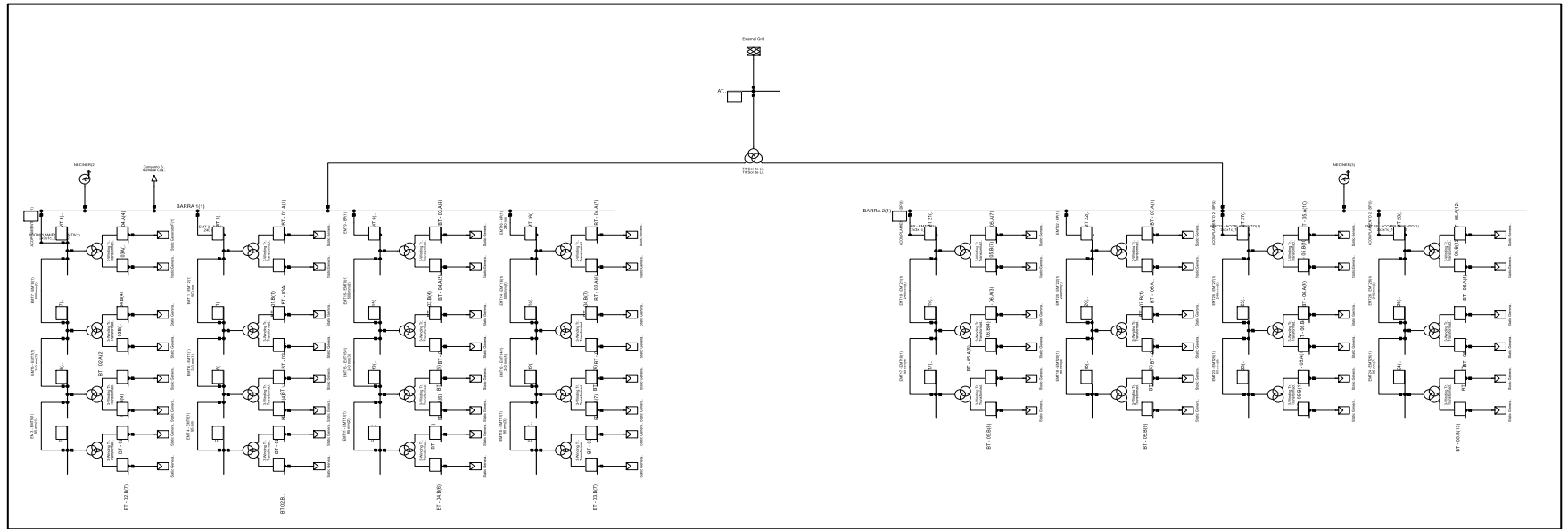


Figura 5-2 Diagrama unilineal sistema colector PFV Sol de Lila.

5.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PARQUE FOTOVOLTAICO SOL DE LILA

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 SOL DE LILA – ANDES C1

Las características principales del conductor de fase y cable de guarda utilizado en la línea 1x220 kV Sol de Lila – Andes C1, de longitud 1,448 km, se indican respectivamente en la Tabla 5-1 y Tabla 5-2.

Tabla 5-1: Características del conductor ACAR 1200 MCM.

PARÁMETROS	VALOR
Nombre de código	ACAR 1200 MCM
Sección	608,4 [mm ²]
Diámetro del conductor	32,02 [mm]
Resistencia DC a 20°C	0,0510 [Ω/km]
Resistencia DC a 30°C	0,0528 [Ω/km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	12,47 [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 parameters are as follows:

- Name: Conductor Fase-ACAR 1200 MCM
- Nominal Voltage: 220 kV
- Nominal Current: 1 kA
- Number of Subconductors: 1
- Conductor Model: Solid Conductor (selected)
- (Sub-)Conductor:
 - DC-Resistance (20°C): 0,051 Ohm/km
 - GMR (Equivalent Radius): 12,47 mm
 - Outer Diameter: 32,02 mm
- Skin effect:

Figura 5-3 Parámetros de conductor ACAR 1200 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	14,8 [mm]
Resistencia DC (20°C)	0,337 [Ω /km]
Radio Medio Geométrico (GMR)	5,763 [mm]

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

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

Las estructuras que componen la línea Sol de Lila - Andes 220 kV, corresponden mayoritariamente a las torres del tipo 22A1.1C y 22A90.1C. Respectivamente, existe una cantidad de 2 y 3 torres de los citados tipos. Por lo tanto, la estructura representativa utilizada de la línea se determina mediante un promedio ponderado de las distancias geométricas de ambas estructuras para generar una estructura equivalente que sea representativa del tramo.

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

CIRCUITO	DISPOSICIÓN							ALTURA MEDIA		
	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]	FLECHA [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
C1	4,306	4,006	-4,306	19,0	25,00	19,00	10,32	12,12	18,12	12,12

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

CIRCUITO	DISPOSICIÓN			ALTURA MEDIA
	X1 [m]	Y1 [m]	FLECHA [m]	Y1 [m]
CG	0,6728	29,53	10,32	22,65

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

$$Altura\ Media = Altura\ al\ punto\ de\ soporte - \frac{2}{3} \cdot flecha$$

La siguiente figura muestra las características de la torre en PowerFactory.

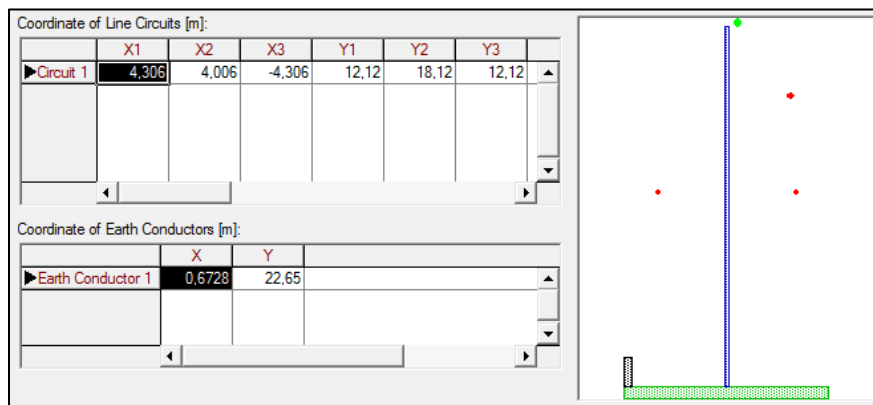


Figura 5-5 Geometría de torre representativa para línea 1x220 kV Sol de Lila – Andes C1.

Con lo anteriormente planteado, los parámetros a 20°C asociados a la línea se muestran a continuación, los cuales han sido determinados considerando una resistividad de terreno de 1532 [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 Sol de Lila – Andes C1.

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	1,448	0,0529	0,4060	0,2808	1,0960	2,8490	1,8760

5.1.2. TRANSFORMADOR ELEVADOR 220/33/33 kV

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

Figura 5-6: Parámetros del transformador elevador TR1 en PowerFactory.

5.1.3. INVERSORES PF SOL DE LILA

El proyecto PF Sol de Lila contempla un total de 982 inversores Huawei SUN 2000 185KTL de 185 kW. La potencia nominal instalada del parque es de 181,67 MW. 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 el PFV Sol de Lila.

PARÁMETROS	VALOR
Fabricante	Huawei
Modelo	SUN 2000 185KTL
Potencia Nominal @ 25°C	185 [kVA]
Tensión Nominal	0,800 [kV]
Corriente de operación máxima	133,5 [A]
Corriente de cortocircuito	206,7 [A]

5.1.4. TRANSFORMADORES DE BLOQUE 33/0,8/0,8 kV

El PF Sol de Lila contempla 63 transformadores de bloque. Los parámetros utilizados de dichos transformadores se indican en la siguiente tabla, conforme a lo detallado en el antecedente (b):

Tabla 5-7 Parámetros transformadores de bloque de tres devanados 33/0,8/0,8 kV.

PARÁMETROS	VALORES
Potencia Nominal ONAN	6000 [kVA]
Niveles de Tensión	33/0,8/0,8 [kV]

PARÁMETROS	VALORES
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia de secuencia positiva (Base 3 MVA)	HV-MV: 6,1 [%]; MV-LV: 28,5 [5]; LV-HV: 6,1 [%]
Impedancia de secuencia cero (Base 3 MVA)	HV-MV: 6,1 [%]; MV-LV: 28,5 [5]; LV-HV: 6,1 [%]
Pérdidas en el cobre	44 [kW]
Pérdidas en vacío, secuencia positiva	5,4 [kW]

A continuación, la Figura 5-7 muestra los parámetros de los transformadores del PFV Sol de Lila en el programa PowerFactory.

The screenshot shows the configuration window for a transformer in PowerFactory. The name is 'Trf 33/0,8/0,8 kV 6 MVA'. The technology is 'Three Phase Transformer'. The rated power is 6 MVA on the HV side, 3 MVA on the MV side, and 3 MVA on the LV side. The rated voltage is 33 kV on the HV side, 0,8 kV on the MV side, and 0,8 kV on the LV side. The vector group is D for HV, Y for MV, and Y for LV. The phase shift is 0, 11, and 11 degrees for HV, MV, and LV respectively. The short-circuit voltage (uk) is 6,1% for HV-MV, 28,5% for MV-LV, and 6,1% for LV-HV. The copper losses are 22 kW for HV-MV, 0 kW for MV-LV, and 22 kW for LV-HV. The short-circuit voltage (uk0) is 6,1% for HV-MV, 28,5% for MV-LV, and 6,1% for LV-HV. The SHC-Voltage, Real Part is 0% for HV-MV, 0% for MV-LV, and 0% for LV-HV.

Figura 5-7 Parámetros de transformadores de bloque de dos devanados en PowerFactory.

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

La conexión entre los transformadores de bloque 33/0,8/0,8 kV y la barra de 33 kV de la S/E Sol de Lila se desarrolla por medio de tramos directamente enterrados utilizando cables de aluminio de 95, 185, 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 el antecedente (b).

Tabla 5-8 Características de los cables de MT.

PARÁMETROS	CABLE 95 mm ²	CABLE 185 mm ²	CABLE 240 mm ²	CABLE 500 mm ²
Aislación	XLPE	XLPE	XLPE	XLPE
Cubierta	Poliolefina	Poliolefina	Poliolefina	Poliolefina
Pantalla	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Material conductor	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Aluminio
Diámetro cable [mm]	34,1	38,6	40,9	49,4

PARÁMETROS	CABLE 95 mm ²	CABLE 185 mm ²	CABLE 240 mm ²	CABLE 500 mm ²
Diámetro conductor [mm]	11,5	16	18,3	13,4
Espesor aislación [mm]	7,25	7,25	7,25	7,25
Espesor cubierta [mm]	2,75	2,75	2,75	2,75
Espesor pantalla [mm]	0,30	0,30	0,3	0,3

A continuación, la siguiente figura muestra los parámetros de los cables de MT del PF Sol de Lila en el programa PowerFactory.

The figure consists of four screenshots of the PowerFactory software interface, each showing the configuration for a different cable size: 95 mm², 185 mm², 240 mm², and 500 mm². Each screenshot includes a cross-section diagram and a table of layer properties.

95 mm² Cable Parameters:

Layer	Material	Resistivity (uOhm/cm)	Relative P.	Thickness (mm)	Filling Factor (%)	DC-Resista. (Ohm/km)
Conductor	Aluminum	2,8264	1	5,75	85,03507	0,32
Sheath	Aluminum	2,84	1	0,3	100	1,064781
Armour	Unknown	2,84	1	1	100	0
1 (Insulation)	Unknown	0,02	3	7,25		
2 (Overheath)	Unknown	0,02	3	2,75		
3 (Serving)	Unknown	0,02	3	1		

185 mm² Cable Parameters:

Layer	Material	Resistivity (uOhm/cm)	Relative P.	Thickness (mm)	Filling Factor (%)	DC-Resista. (Ohm/km)
Conductor	Aluminum	2,8264	1	8	85,71561	0,164
Sheath	Unknown	2,84	1	0,3	100	0,9187024
Armour	Unknown	2,84	1	1	100	0
1 (Insulation)	XLPE (p-18/3)	0	2,5	7,25		
2 (Overheath)	Unknown	0,02	3	2,75		
3 (Serving)	Unknown	0,02	3	1		

240 mm² Cable Parameters:

Layer	Material	Resistivity (uOhm/cm)	Relative P.	Thickness (mm)	Filling Factor (%)	DC-Resista. (Ohm/km)
Conductor	Aluminum	2,8264	1	9,15	85,96596	0,125
Sheath	Aluminum	2,84	1	0,3	100	0,846445
Armour	Unknown	2,84	1	1	100	0
1 (Insulation)	XLPE (p-18/3)	0	2,5	7,5		
2 (Overheath)	Unknown	0,02	3	2,75		
3 (Serving)	Unknown	0,02	3	1		

500 mm² Cable Parameters:

Layer	Material	Resistivity (uOhm/cm)	Relative P.	Thickness (mm)	Filling Factor (%)	DC-Resista. (Ohm/km)
Conductor	Aluminum	2,8264	1	13,4	82,81687	0,095
Sheath	Aluminum	2,84	1	0,3	100	0,6911322
Armour	Unknown	2,84	1	1	100	0
1 (Insulation)	XLPE (p-18/3)	0	2,5	7,25		
2 (Overheath)	Unknown	0,02	3	2,75		
3 (Serving)	Unknown	0,02	3	1		

Figura 5-8 Parámetros del cable 95 mm², 185 mm², 240 mm² Y 500 mm².

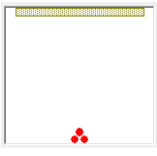
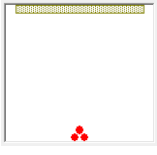
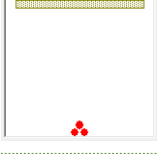
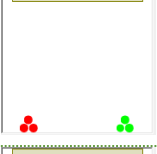
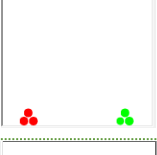
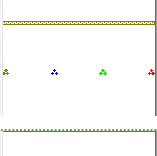

Los tramos del sistema de cables se muestran en la Tabla 5-9. Cada circuito representa un subgrupo de cables trifásicos; de esta manera, se tienen disposiciones de 1, 2 y 4 circuitos de cables en paralelo.

Tabla 5-9 Detalle del conexionado del PF Sol de Lila.

CIRCUITOS DE MT					
CIRCUITO	DESDE-HASTA	CONDUCTORES POR FASE	CIRCUITOS POR FASE	CALIBRE [mm ²]	LONGITUD [km]
Circuito 1	EMT3-EMT5	3	1	95	0,523
	EMT5-EMT7	3	1	240	0,523
	EMT7-EMT8	3	1	500	0,264
	EMT8- ACOPLAMIENTO ACOPLAMIENTO – BP	3	2	240	0,312 1,371
Circuito 2	EMT4-EMT6	3	1	95	0,525
	EMT6-EMT1	3	1	240	0,420
	EMT1-EMT2	3	1	500	0,532
	EMT2-BP	3	2	240	0,459
Circuito 3	EMT11-EMT13	3	1	95	0,528
	EMT13-EMT15	3	1	240	0,536
	EMT15-EMT9	3	1	500	0,655
Circuito 4	EMT9-BP	3	2	240	0,611
	EMT10-EMT12	3	1	95	0,526
	EMT12-EMT14	3	1	240	0,537
	EMT14-EMT16	3	1	500	0,527
	EMT16-BP	3	2	240	1,01
Circuito 5	EMT17-EMT19	3	1	95	0,607
	EMT19-EMT21	3	1	240	0,583
	EMT21-ACOPLAMIENTO ACOPLAMIENTO-BP	3	2	185	0,312 1,371
	EMT18-EMT20	3	1	95	0,6
Circuito 6	EMT20-EMT22	3	1	240	0,618
	EMT22-BP	3	2	185	1,371
	EMT23-EMT25	3	1	95	0,608
Circuito 7	EMT25-EMT27	3	1	240	0,582
	EMT27-ACOPLAMIENTO ACOPLAMIENTO-BP	3	2	185	0,649 1,371
	EMT24-EMT26	3	1	95	0,582
	EMT26-EMT28	3	1	240	0,620
Circuito 8	EMT28-ACOPLAMIENTO ACOPLAMIENTO-BP	3	2	185	0,334 1,371

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

Tabla 5-10 Disposición de los tramos con cables enterrados del PF Sol de Lila.

DIAGRAMA	TRAMO	X1 [m]	X2 [m]	X3 [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
	Circuito 3x1x95 [mm ²]	-0,03	0,03	0	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x1x240 [mm ²]	-0,03	0,03	0	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x1x500 [mm ²]	-0,03	0,03	0	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x2x185 [mm ²]	-0,03	0,03	0	0,8	0,8	0,75
		0,57	0,63	0,6	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x2x240 [mm ²]	-0,03	0,03	0	0,8	0,8	0,75
		0,57	0,63	0,6	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x4x180 [mm ²]	-0,03	0,03	0,	0,8	0,8	0,75
		0,77	0,83	0,8	0,8	0,8	0,75
		1,57	1,63	1,6	0,8	0,8	0,75
		2,37	2,43	2,4	0,8	0,8	0,75
	Circuito 3x4x240 [mm ²]	-0,03	0,03	0,	0,8	0,8	0,75
		0,77	0,83	0,8	0,8	0,8	0,75
		1,57	1,63	1,6	0,8	0,8	0,75
		2,37	2,43	2,4	0,8	0,8	0,75

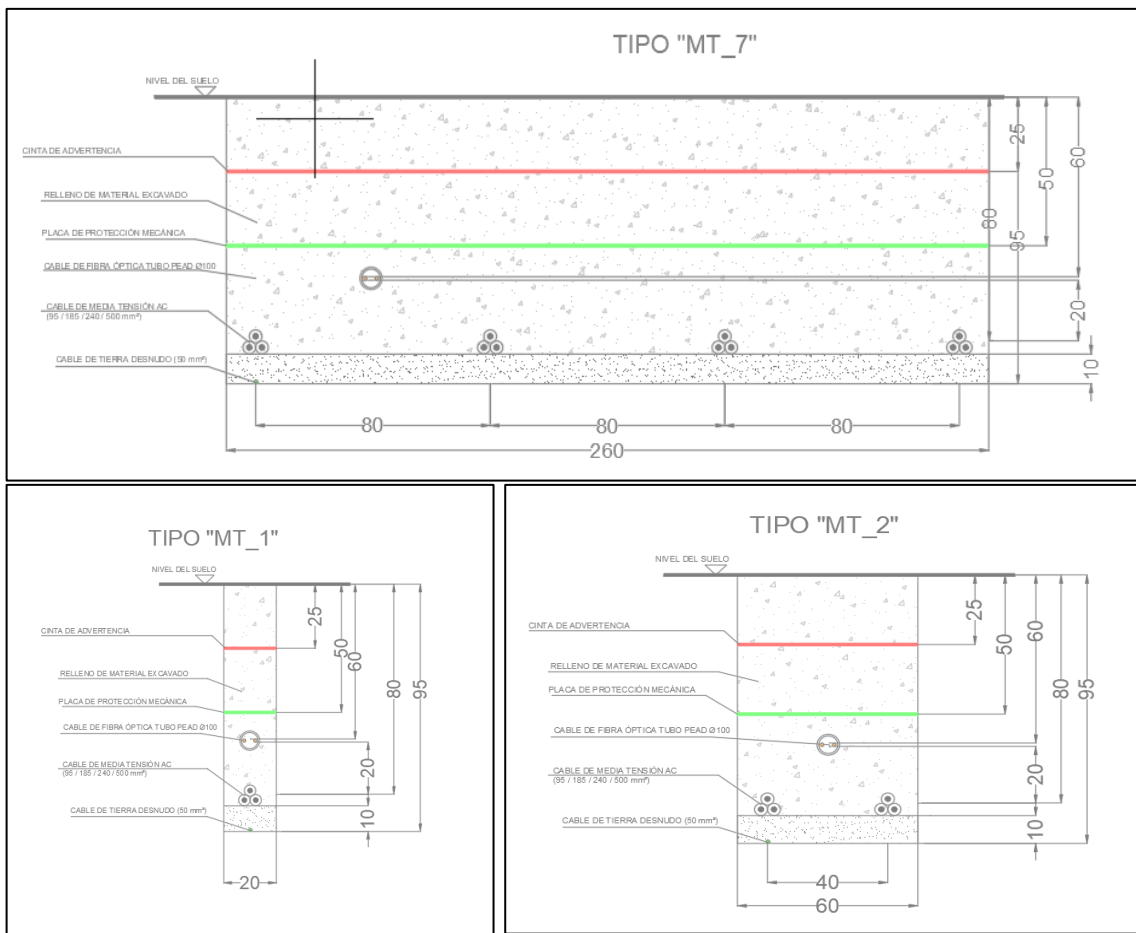


Figura 5-9 Trincheras para los conductores de MT.

5.1.6. TRANSFORMADORES ZIG-ZAG

El PF Sol de Lila 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 5-11 Parámetros transformador zig-zag.

PARÁMETROS	VALOR
Tensión nominal	33 [kV]
Capacidad de corriente de cortocircuito ($3 \cdot I_0$)	50 [A]
Resistencia a tierra (calculada)	381,05 [Ω]

6. REVISIÓN NORMATIVA

A continuación, se exponen los principales estándares normativos (Anexo Técnico: “Determinación de mínimos técnicos en unidades generadoras” disponible en la página de la CNE) que son de relevancia para el presente informe.

Artículo 9: Informe Técnico:

El Informe Técnico que respalda el valor de 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.

Este informe deberá contener, al menos, la siguiente información:

- 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 y 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, la DO deberá verificar que dicho informe contiene todos los antecedentes especificados en el presente Artículo, para lo cual tendrá un plazo de 15 días hábiles. En el caso de detectar que existen antecedentes faltantes para un adecuado análisis del Mínimo Técnico informado, la DO solicitará a la Empresa Generadora completar el informe, para lo cual ésta tendrá un plazo de 15 días hábiles.

Cuando la DO 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 CDEC y notificará a las empresas Coordinadas sobre el inicio del proceso de aprobación del Mínimo Técnico informado.

7. DETERMINACIÓN DE 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:

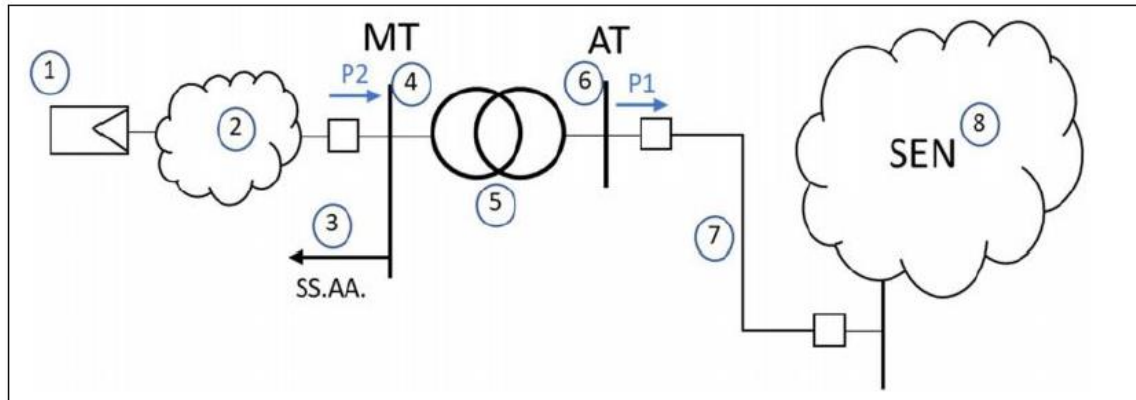


Figura 7-1 Sistema Equivalente parque fotovoltaico.

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 PF Sol de Lila.
2. **Pérdidas en sistema colector del parque:** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del PF Sol de Lila, principalmente en el sistema de cables de media tensión, y en los transformadores asociados a los centros de transformación.
3. **Servicios Auxiliares (SSAA) de la central.**
4. **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la barra de 33 kV que conecta con el lado de baja tensión del transformador de poder de la central.
5. **Transformador de poder:** Equipo elevador de 220/33 kV presente en la subestación de salida del PF Sol de Lila.
6. **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la barra de 220 kV que conecta con el lado de alta tensión del transformador de poder de la central.
7. **Línea dedicada de la central:** Línea dedicada que vincula el PF Sol de Lila con el Sistema Eléctrico Nacional.
8. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**
9. **P1:** Potencia inyectada al SEN (referida a S/E Andes en este caso).
10. **P2:** Potencia inyectada por el PF Sol de Lila en la barra de 33 kV de su subestación de salida.

7.2. CÁLCULO MÍNIMO TÉCNICO

Se realizaron los ensayos para la determinación del mínimo técnico del Parque PF Sol de Lila el día 16 de junio del 2022. Dichos ensayos consistieron en el cambio de consigna de la generación de potencia activa a 0 MW durante un intervalo de 15 minutos a través del PPC, disminuyendo gradualmente la inyección de energía del parque, en forma simultánea, se realizaron las medidas para determinar el mínimo técnico del parque y la potencia activa inyectada en la barra de 220 kV del parque (P1). Posteriormente se vuelve a la consigna inicial para reestablecer la operación del parque. Se analiza un intervalo de 10 min para obtener el promedio de potencia inyectada por el parque para determinar el mínimo técnico.

En la Figura 7-2 se observa el gráfico de potencia activa para las pruebas mínimo técnico realizadas en el PF Sol de Lila obtenida por medio del antecedente (a). Para la obtención de la potencia activa inyectada en la barra de 220 kV del parque se calcula un promedio aritmético de las mediciones realizadas en terreno entre las 11:21:36 a 11:31:36 hrs ante un cambio de consigna de 0 MW en el PPC.

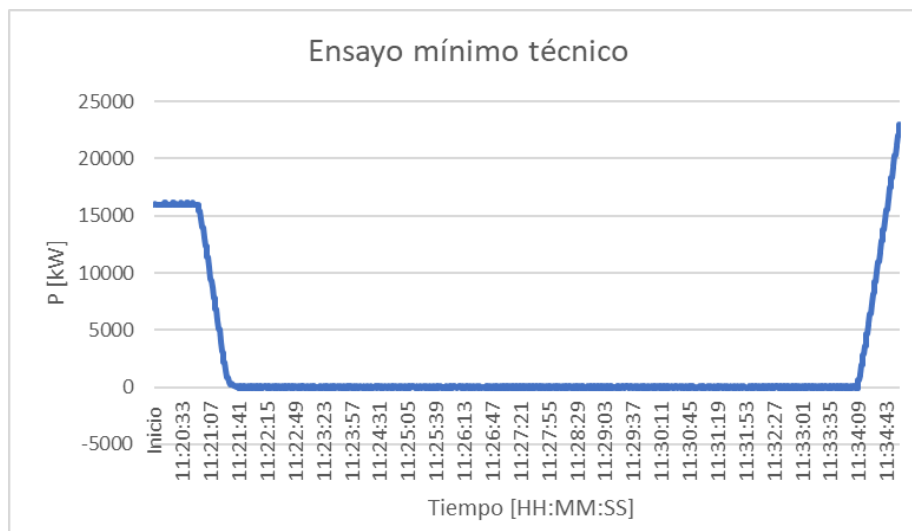


Figura 7-2 Registro de potencia activa ante ensayo de mínimo técnico.

A partir del resultado indicado en la Tabla 7-1, se verifica que ante una consigna de 0 MW los inversores son capaces de seguir operando de manera estable a aproximadamente un 0,15% de la potencia nominal.

Tabla 7-1: Promedio del registro.

PARÁMETRO	POTENCIA [MW]
Potencia inyectada en la barra de 220 kV del parque	0,002

Finalmente, con los resultados obtenidos del ensayo se puede determinar el mínimo técnico del parque considerando las pérdidas del sistema y el consumo de los servicios auxiliares, tal y como se especifica en la siguiente ecuación:

$$MinTec = P1 + P_{trafo} + P_{colector} + SSAA + P_{Línea}$$

Donde:

- P1 : Potencia activa inyectada al SEN (referida a S/E Andes) [MW].
 P_{trafo} : Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [MW].
 P_{colector} : Pérdidas activas en el sistema colector del parque [MW].
 SSAA : Consumo asociado a los Servicios Auxiliares del parque [MW].
 P_{Línea} : Pérdidas activas en la línea de transmisión Sol de Lila – Andes.

Las pérdidas del sistema colector de media tensión, del transformador de poder y de la línea de transmisión se obtienen mediante simulaciones en la base de datos del antecedente (c). Dicha simulación indica las pérdidas previamente mencionadas en conjunto como “Grid Losses” (ver Anexo I) con un valor de 0,24 MW. Para ello, se consideró una inyección de 0,000281 MW por inversor para que el PF Sol de Lila inyecte 0,002 MW en la barra de 220 kV. Por lo tanto, para obtener las pérdidas del transformador y de la línea de transmisión se calcula la resta de la potencia activa de entrada y la potencia activa de salida del transformador como también la potencia activa de entrada y salida en la línea de transmisión (encerradas en cuadro rojo). Dicho lo anterior, las pérdidas del transformador de poder corresponden a un valor de 0,067 MW, mientras que las pérdidas en la línea de transmisión se consideran despreciables, debido a que estas varían levemente en el 5to decimal. Estos datos se aprecian en la Figura 7-3.

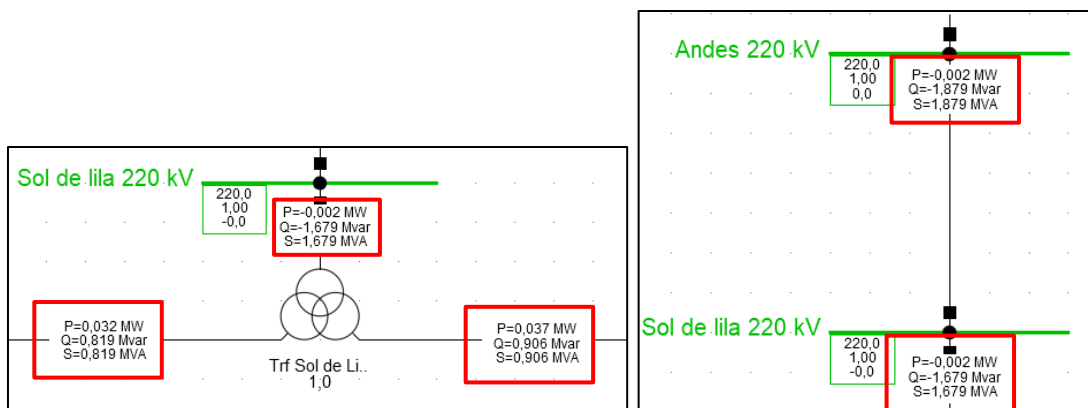


Figura 7-3 Pérdidas en el transformador de poder y línea de transmisión.

A partir de los antecedentes mencionados se obtiene que las pérdidas del sistema colector tienen un valor de 0,173 MW.

Por otra parte, el consumo de los Servicios Auxiliares (SSAA) resulta en un valor de 0,03652 MW, el cual corresponde al promedio de los registros tomados en simultáneo durante el ensayo de mínimo técnico señalados en el Anexo II.

En virtud de lo señalado, el mínimo técnico del parque se determina de acuerdo con lo siguiente:

$$MinTec = 0,002 \text{ MW} + 0,067 \text{ MW} + 0,173 \text{ MW} + 0,03652 \text{ MW} = 0,279 \text{ MW}$$

En consecuencia, considerando la metodología descrita en el presente informe, se calcula que el mínimo técnico del PF Sol de Lila es de 0,279 MW.

8. CONCLUSIONES

En el presente informe se obtuvo el parámetro de mínimo técnico para el PF Sol de Lila. Lo anterior según los datos obtenidos de las pruebas realizadas el día 16/06/2022. Para ello se realizó un cálculo de la media aritmética de los registros obtenidos entre las 11:21:36 a 11:31:36 (horas Chile) del registro mencionado en el antecedente (a). Luego, al sumar las pérdidas del sistema colector y transformador principal, obtenidas a través de una simulación en el software PowerFactory, y agregando el promedio de consumo de los servicios auxiliares se obtiene un valor de mínimo técnico bruto de 0,279 MW.

Tabla 8-1 Resumen de mínimo técnico neto y consumos del PFV Sol de Lila.

CENTRAL	MÍNIMO TÉCNICO BRUTO [MW]	MÍNIMO TÉCNICO NETO [MW]	PÉRDIDAS TRANSFORMADORES DE PODER [MW]	PÉRDIDAS SISTEMA COLECTOR [MW]	CONSUMOS SS.AA. [MW]	PÉRDIDAS LÍNEA SOL DE LILA - ANDES [MW]
PFV Sol de Lila	0,279	0,002	0,067	0,173	0,03652	0*
*: las pérdidas en la línea de transmisión se consideran despreciables, debido a que estas varían levemente en el 5to decimal.						



ANEXOS

P20068

ESTUDIOS DE CONEXIÓN PROYECTO SOL DE LILA 26.08.2022

Informe de Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras
20068-00-ES-IT-018 Rev. 1
Preparado para Enel Green Power Chile S.A.

ANEXO I

P20068

RESULTADOS COMPUTACIONALES EN POWERFACTORY

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		1,00 kVA	
Consider reactive power limits	No	Bus Equations(HV) Model Equations		0,10 %	
Grid: Grid	System Stage: Grid	Study Case: Study Case	Annex:	/ 1	
Grid: Grid Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	88	No. of Terminals	4
No. of 2-w Trfs.	0	No. of 3-w Trfs.	29	No. of syn. Machines	0
No. of Loads	1	No. of Shunts/Filters	0	No. of SVS	0
Generation	=	0,28 MW	-0,00 Mvar	0,28 MVA	
External Infeed	=	-0,00 MW	-1,88 Mvar	1,88 MVA	
Inter Grid Flow	=	0,00 MW	0,00 Mvar		
Load P(U)	=	0,04 MW	0,00 Mvar	0,04 MVA	
Load P(Un)	=	0,04 MW	0,00 Mvar	0,04 MVA	
Load P(Un-U)	=	-0,00 MW	-0,00 Mvar		
Motor Load	=	0,00 MW	0,00 Mvar	0,00 MVA	
Grid Losses	=	0,24 MW	-1,88 Mvar		
Line Charging	=		-1,92 Mvar		
Compensation ind.	=		0,00 Mvar		
Compensation cap.	=		0,00 Mvar		
Installed Capacity	=	181,67 MW			
Spinning Reserve	=	0,00 MW			
Total Power Factor:					
Generation	=	1,00 [-]			
Load/Motor	=	1,00 / 0,00 [-]			

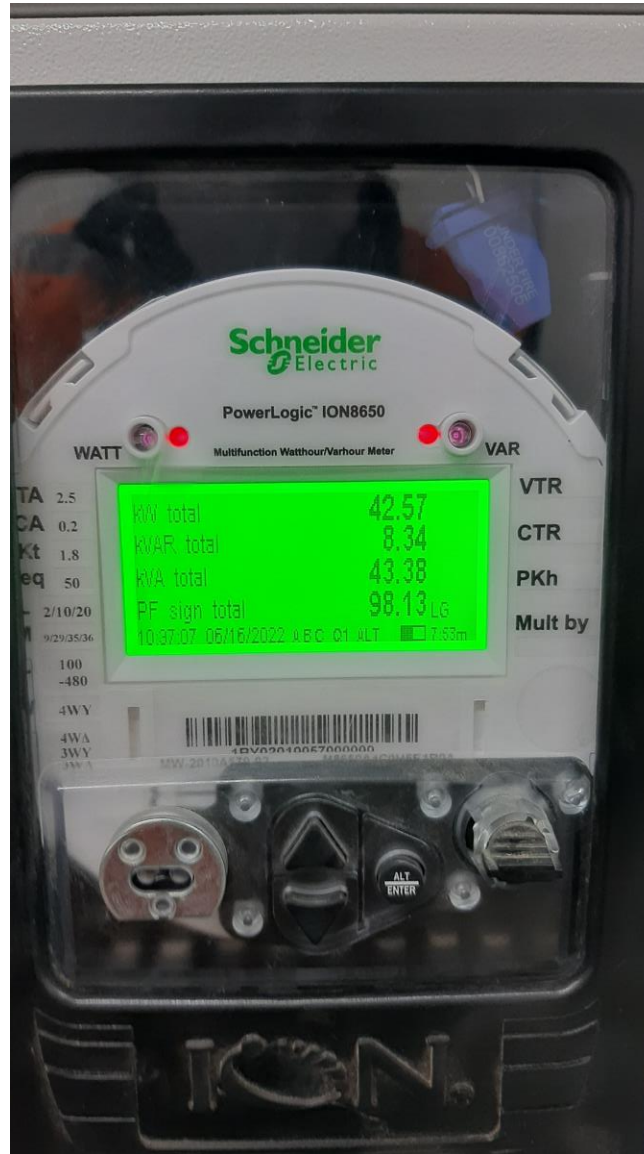
Figura 9-1 Pérdidas del sistema colector MT y transformador principal.

ANEXO II

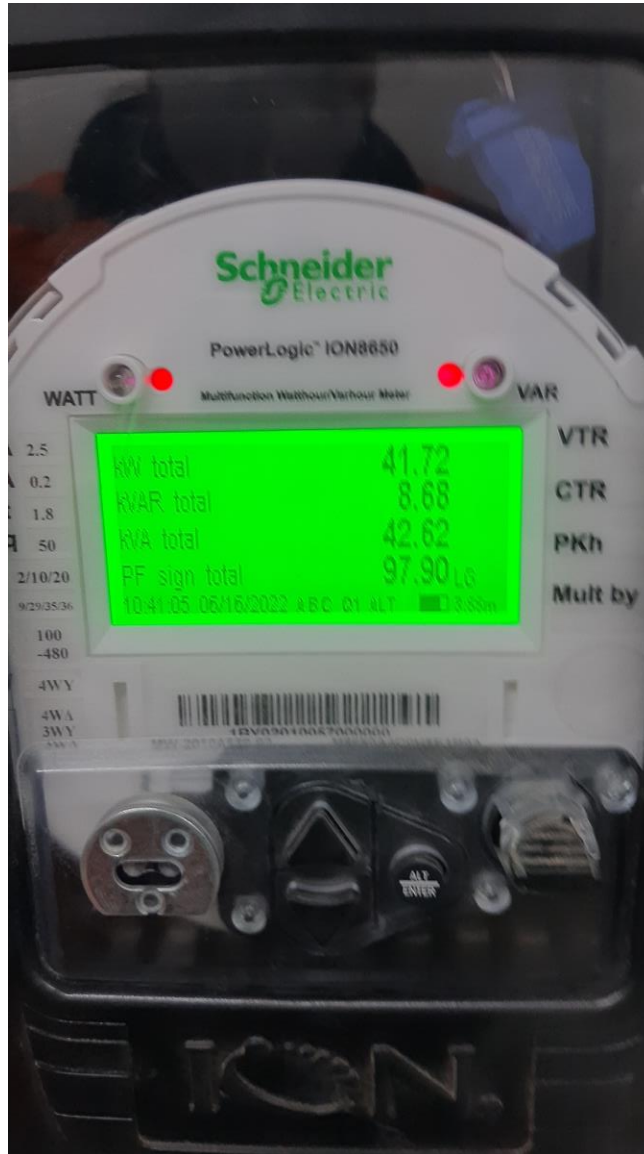
P20068

REGISTRO DE CONSUMO SSAA

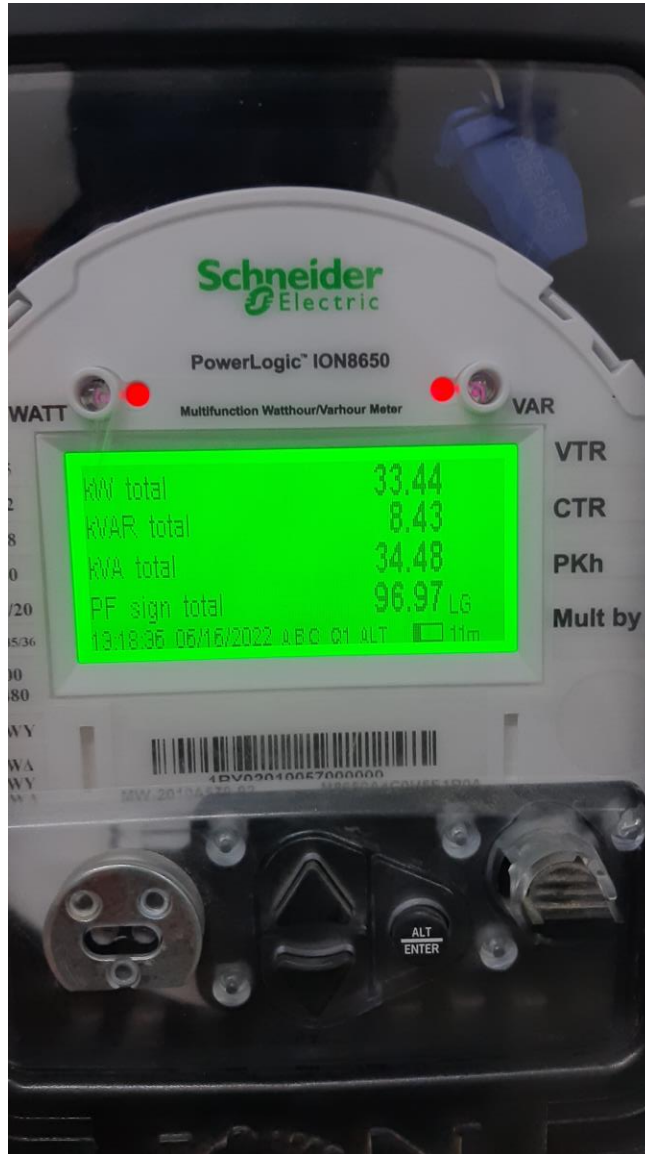


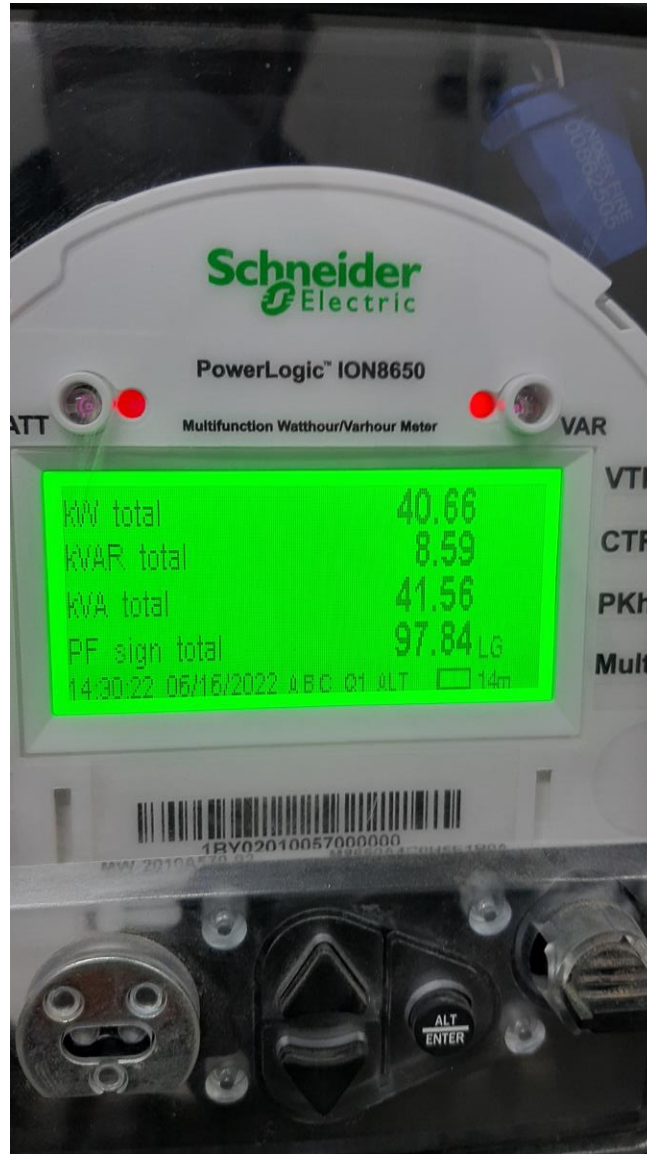


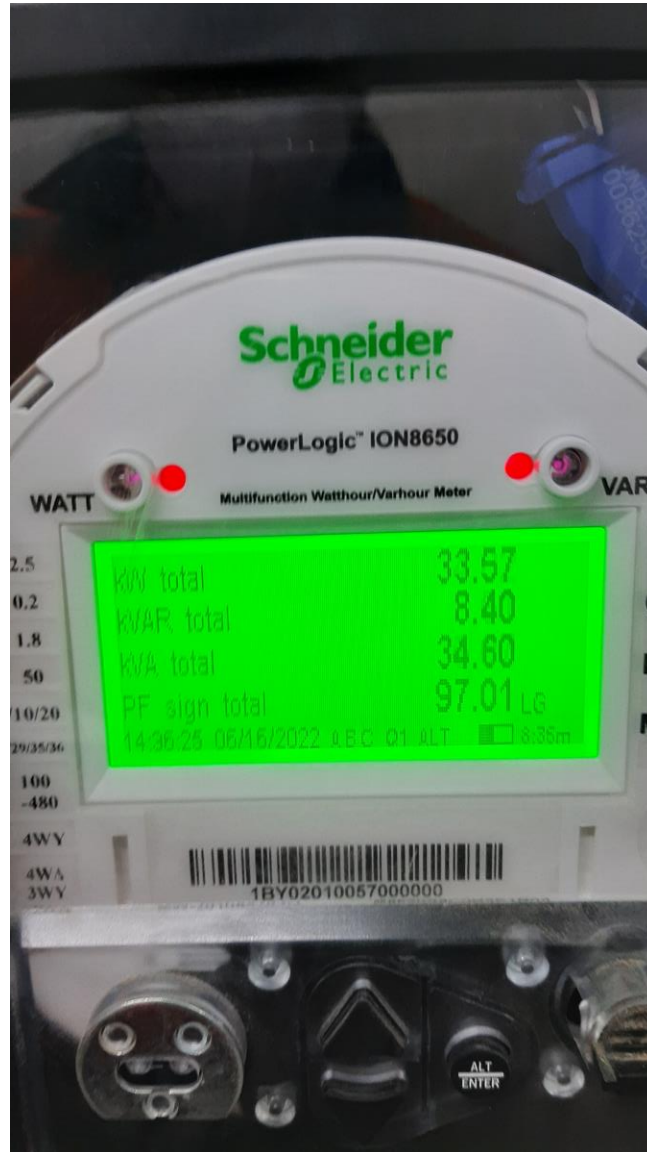


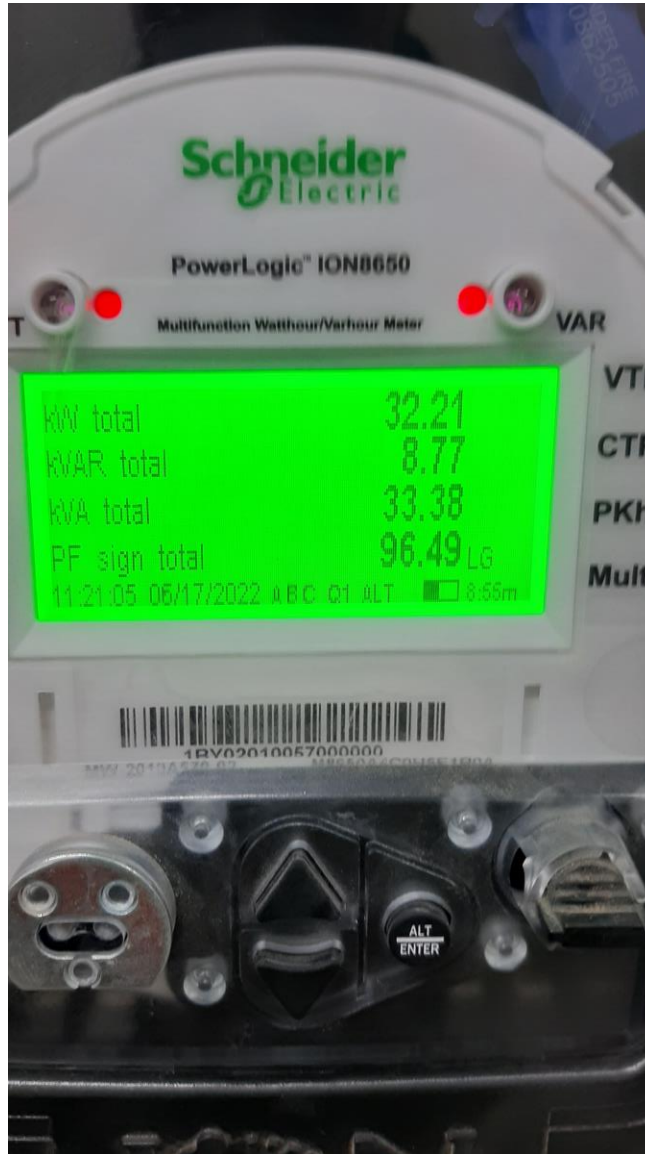


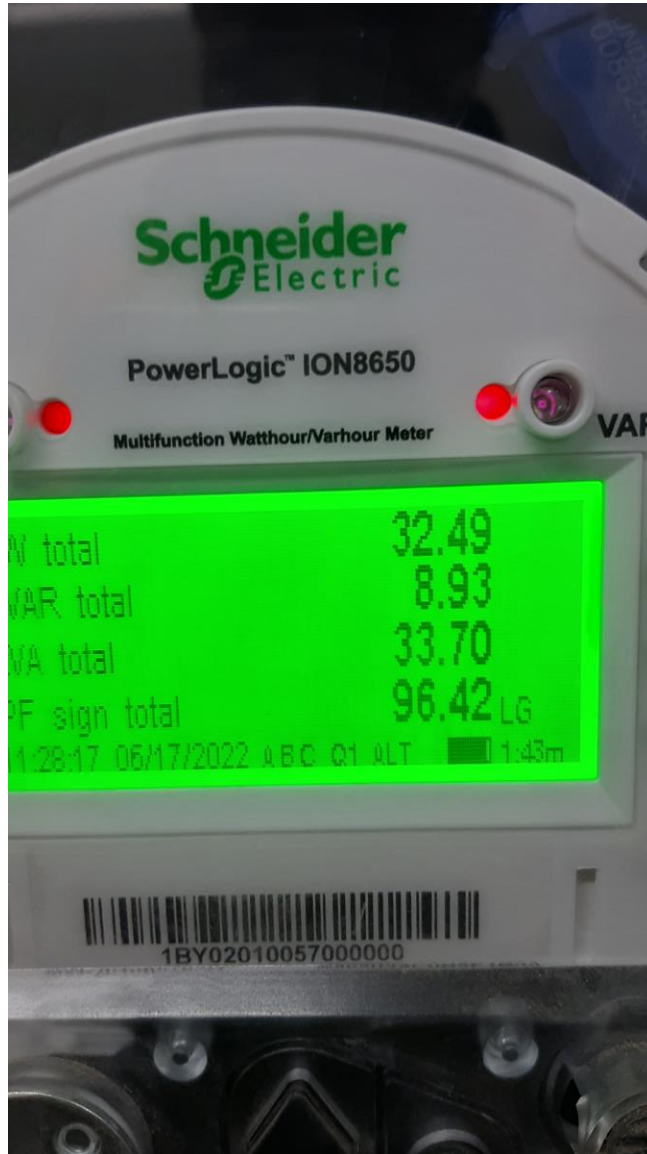


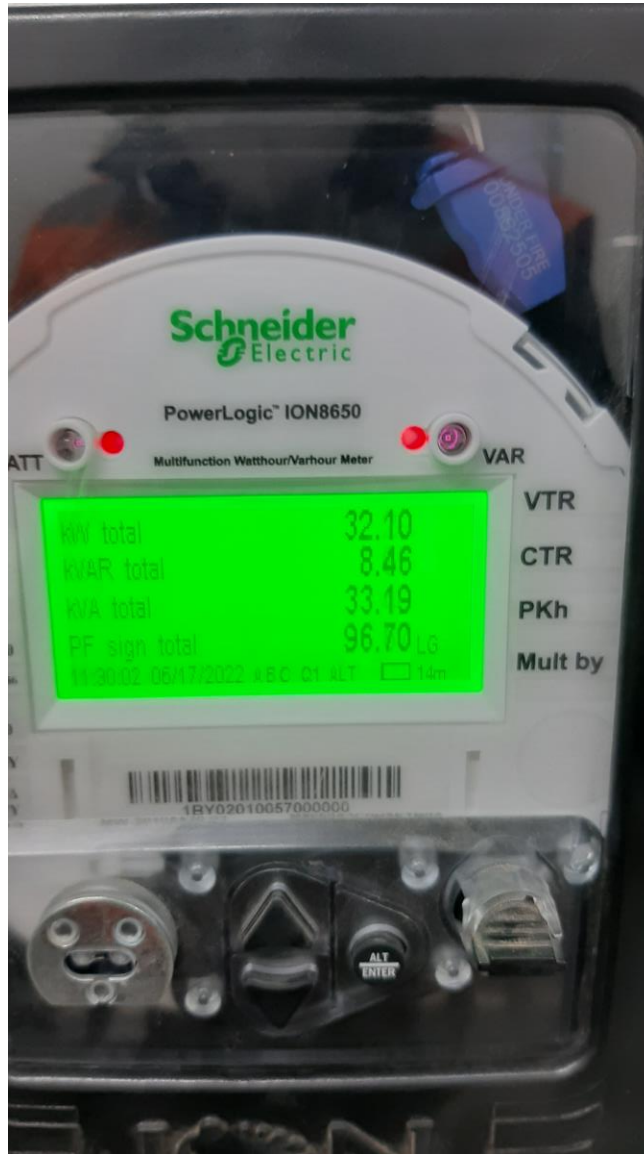


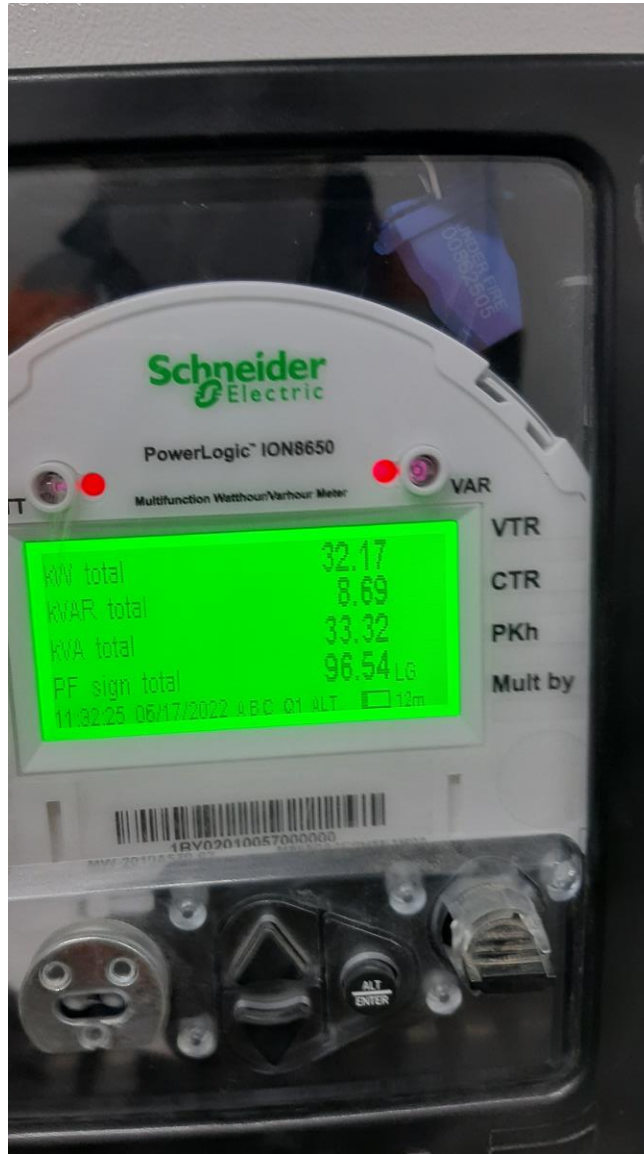












ANEXO III

P20068

REGISTRO DE POTENCIA

ANEXO IV

P20068

BASE DE DATOS