

Empresa: PRODIEL

País: Chile

Proyecto: Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto

Descripción: Informe de Mínimo Técnico

Código de Proyecto: EE-2020-197

Código de Informe: EE-EN-2021-1954

Revisión: A



12 de enero de 2022



Este documento EE-EN-2021-1954-RA fue preparado para PRODIEL por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Coordinador Dpto. Ensayos
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Coordinador Dpto. Ensayos
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 36 páginas y ha sido guardado por última vez el 12/01/2022 por Federico García, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	12/01/2022	Para presentar.	FG	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



Índice

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Fecha ensayo y personal auditor	4
1.2	Medidores utilizados	4
1.3	Definiciones y Nomenclatura	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	8
3.1	Unifilar de planta.....	8
3.2	Datos de los paneles solares	14
3.3	Datos de los inversores	17
3.4	Datos de los transformadores de bloque.....	19
3.5	Datos del transformador de poder	20
3.6	Datos de consumos de SSAA de planta.....	21
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO	24
4.1	Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio.....	25
4.1.1	Potencia Bruta.....	26
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares	26
4.1.3	Potencia de Pérdidas en la central	27
4.1.4	Potencia Neta	28
4.1.5	Resultados	28
4.2	Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	29
4.2.1	Potencia Bruta.....	30
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	30
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	31
4.2.4	Potencia Neta	32
4.2.5	Resultados	32
5	CONCLUSIONES	33
6	ANEXOS	34
6.1	Certificado de calibración del medidor de energía	34
6.2	Certificado de calibración de medidor de energía (POI).....	35



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto se encuentra emplazado al norte de la comuna de María Elena, región de Antofagasta, y tiene una potencia instalada de 258.696 MVA (@25°C). El parque se conecta a la S/E Sol Del Desierto por medio de dos líneas de 33kV, las cuales llegan a un transformador de poder de tres devanados de relación 220kV/33kV/33kV de 250 MVA de potencia nominal. Desde allí, el parque se conecta al SEN por medio de una línea de transmisión en 220kV de 1.65 km que llega al paño J9 y J10 de la S/E María Elena. La potencia declarada en el punto de interconexión (POI) es de 230 MW.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

<i>Personal</i>	<i>Fecha de ensayo</i>
Ing. Jaime Prieto	20 de diciembre de 2021 y 5 de enero de 2022

1.2 Medidores utilizados

<i>Denominación</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>N° de serie</i>
Multímetro	Fluke	177	97640006
Adquisidor	EE	16CH	EEEQ2010244
Adquisidor	Janitza	UMG510	5100/0731

Tabla 1.1 – Equipos utilizados.

Además de lo mostrado en la tabla, se cuenta con datos complementarios del sistema controlador de planta adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 minuto y medidas de todos los inversores adquiridos con una tasa de muestreo de 1 minuto.



1.3 Definiciones y Nomenclatura

La Figura 1.1, muestra un sistema equivalente de conexión de un parque fotovoltaico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

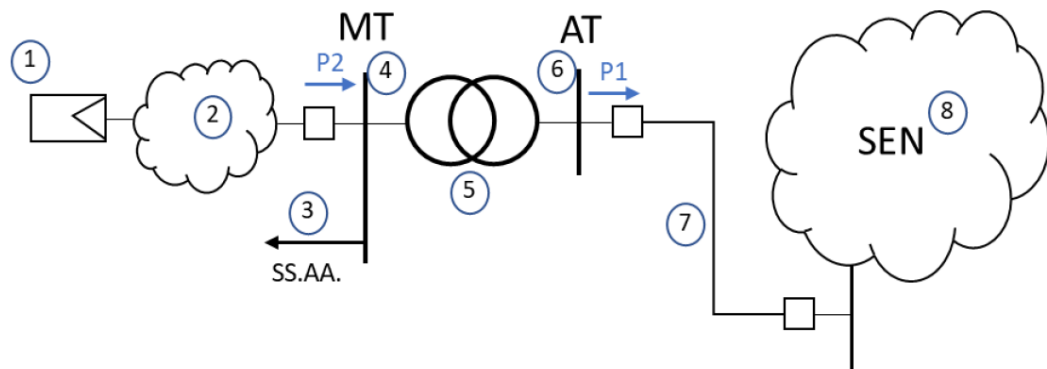


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico

- 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 (Pcolector):** 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 de la central (SS.AA.).**
- 4) **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque fotovoltaico.
- 5) **Transformador de Poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque fotovoltaico.
- 6) **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque fotovoltaico.
- 7) **Línea dedicada de la central:** Línea de alta tensión que vincula el parque fotovoltaico con el sistema eléctrico.
- 8) **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**



A partir de las definiciones anteriores, el presente informe considera la siguiente nomenclatura:

- ✓ **P1:** Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) del parque [MW]. Este valor corresponde a la **Potencia Neta (Pneta)** del parque.
- ✓ **P2:** Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) del parque [MW].
- ✓ **Pbruta:** Suma de los aportes distribuidos de potencia activa inyectada por los inversores a nivel de baja tensión (BT) del parque [MW] (ver número “1” en Figura 1.1).
- ✓ **Pperd:** Pérdidas de potencia activa en línea de transmisión [kW] (ver número “7” en Figura 1.1).
- ✓ **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [kW].
- ✓ **Pssaa:** Potencia de Servicios Auxiliares del parque [kW].
- ✓ **Pcolector:** Pérdidas en el sistema colector del parque [kW] (ver número “2” en Figura 1.1).



2 ASPECTOS NORMATIVOS

El “**Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Se determinan valores de Mínimo Técnico, considerando distintas condiciones operativas del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo:** valor de potencia activa bruta mínima con la cual el parque puede operar considerando todos los inversores y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estables.
- **Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio:** valor de potencia activa bruta mínima entrega por un **único inversor** que permite tener un valor de potencia activa neta de 0 MW.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto está constituido por 36 centros de transformación, los cuales cuentan con 2 inversores y 1 transformador de tres devanados, de relación 0.6/0.6/33 kV.

Cuenta con 72 inversores marca SUNGROW, modelo SG3125HV de 3.593 MVA (@ 25°C) de potencia aparente nominal y 600 V de tensión de operación nominal. Estos equipos totalizan 258.696 MVA (@25°C) de potencia instalada.

La red colectora del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto está compuesta por doce alimentadores en 33kV que colectan la potencia generada por los paneles del parque. El parque se conecta a la S/E Sol Del Desierto por medio de dos líneas de 33kV, las cuales llegan a un transformador de poder de tres devanados de relación 220kV/33kV/33kV de 250 MVA de potencia nominal. Desde allí, el parque se conecta al SEN por medio de una línea de transmisión en 220kV de 1.65 km que llega al paño J9 y J10 de la S/E María Elena. El valor de potencia neta declarado es de 230 MW.

La fuente primaria de energía corresponde a paneles solares marca AstroTwins y Longi, modelos CHSM72M y LR4-72HBD, respectivamente.

3.1 Unifilar de planta

La red interna de media tensión (MT) del parque se encuentra compuesta por 12 alimentadores en MT, donde estos alimentadores exportan la energía proveniente de 3 centros de transformación. El número total de centros de transformación distribuidos en los alimentadores es de 36, los cuales cuentan con 2 inversores y 1 transformador de tres devanados.

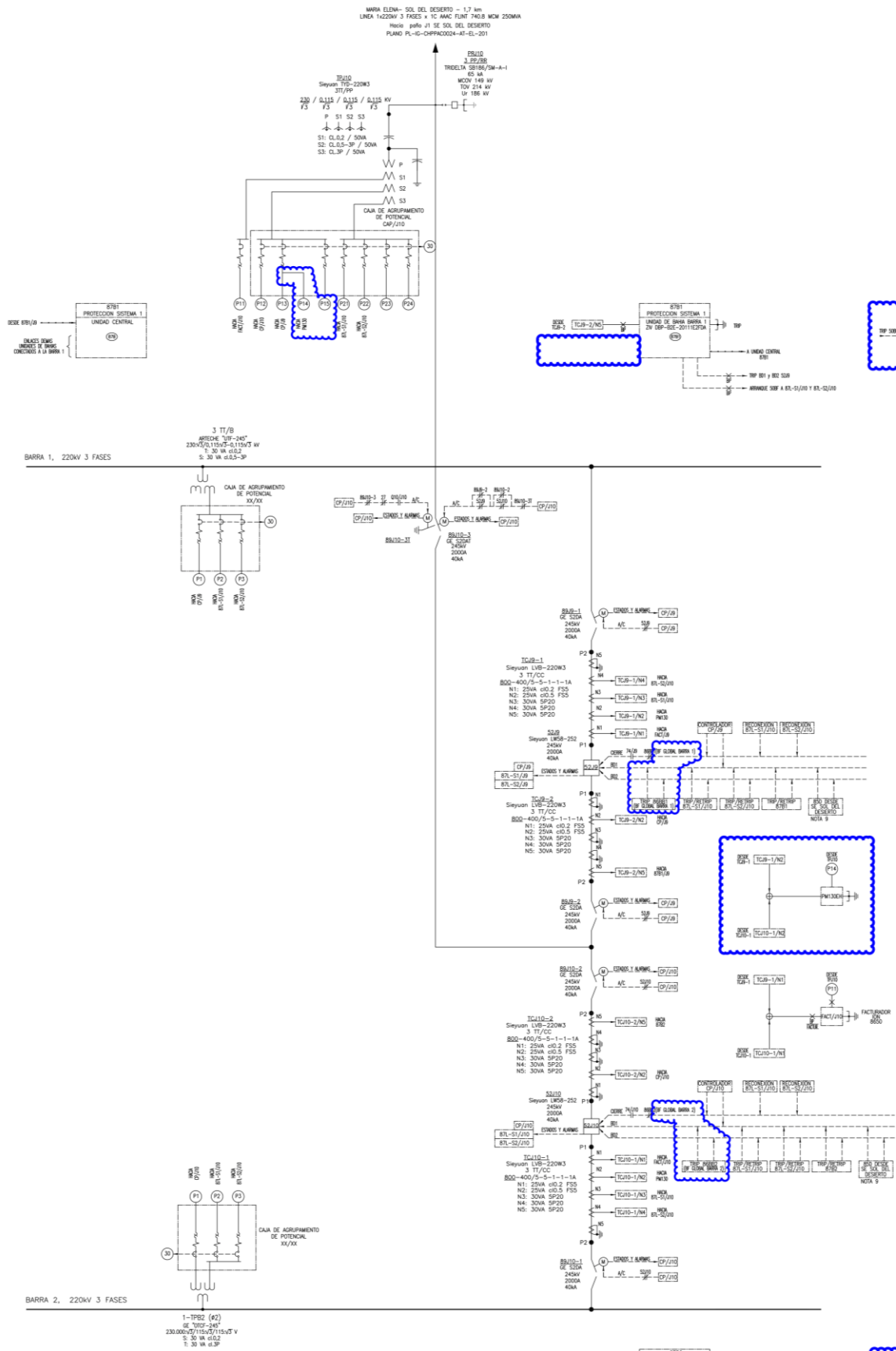
La disposición de los centros de transformación dentro de los doce circuitos colectores en MT es la siguiente:

- Feeder 1 (LMT1): Centros de transformación CT01, CT02 y CT03.
- Feeder 2 (LMT2): Centros de transformación CT04, CT05 y CT06.
- Feeder 3 (LMT3): Centros de transformación CT07, CT08 y CT09.
- Feeder 4 (LMT4): Centros de transformación CT10, CT11 y CT12.



- Feeder 5 (LMT5): Centros de transformación CT13, CT14 y CT15.
- Feeder 6 (LMT6): Centros de transformación CT16, CT17 y CT18.
- Feeder 7 (LMT7): Centros de transformación CT19, CT20 y CT21.
- Feeder 8 (LMT8): Centros de transformación CT22, CT23 y CT24.
- Feeder 9 (LMT9): Centros de transformación CT25, CT26 y CT27.
- Feeder 10 (LMT10): Centros de transformación CT28, CT29 y CT30.
- Feeder 11 (LMT11): Centros de transformación CT31, CT32 y CT33.
- Feeder 12 (LMT12): Centros de transformación CT34, CT35 y CT36

A continuación, se presentan los diagramas unilineales del parque. En la Figura 3.1 se presenta el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220kV, el cual corresponde al punto de interconexión (POI) del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto.



A continuación, se presenta en la Figura 3.2 el diagrama unilineal de la S/E Sol Del Desierto 220kV. El recuadro azul muestra el transformador principal del parque, el cual se conecta a la barra de 220kV de la subestación mediante el interruptor 52JT1. En tanto, el recuadro rojo muestra el paño J1, en el cual se conecta la línea de transmisión de 1.65 km que va hacia la S/E María Elena.

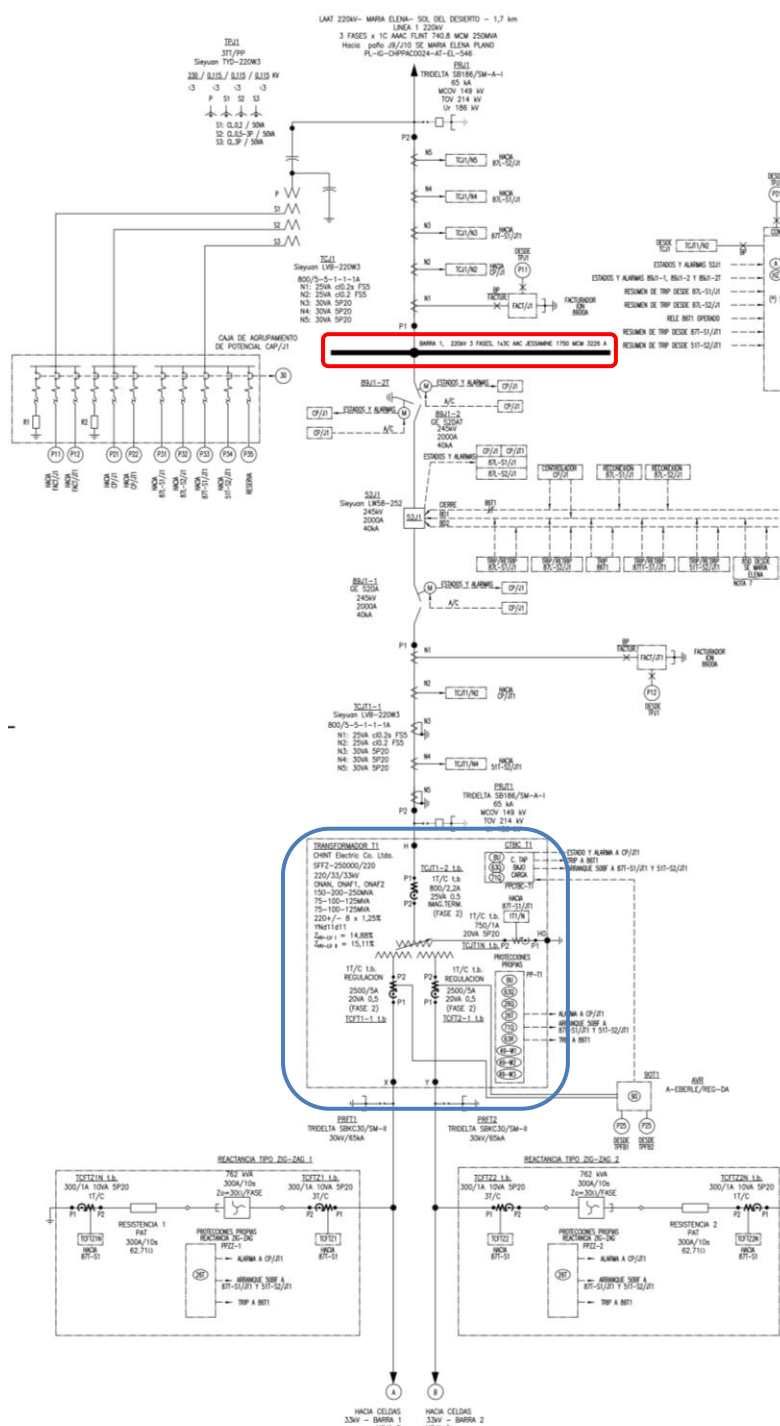


Figura 3.2 – Diagrama unilineal S/E Sol Del Desierto



Finalmente, se presenta en las Figura 3.3, Figura 3.4 y Figura 3.5 la distribución de los centros de transformación del parque. Cabe recordar que cada uno cuenta con dos inversores y con un transformador de bloque de tres devanados. El recuadro azul señala la estación CT36, correspondiente a la más lejana al punto de interconexión, en tanto, el recuadro rojo señala la estación CT1, correspondiente a la más cercana al punto de interconexión.



Figura 3.3 – Distribución de centros de transformación PF Sol Del Desierto (1 de 3)

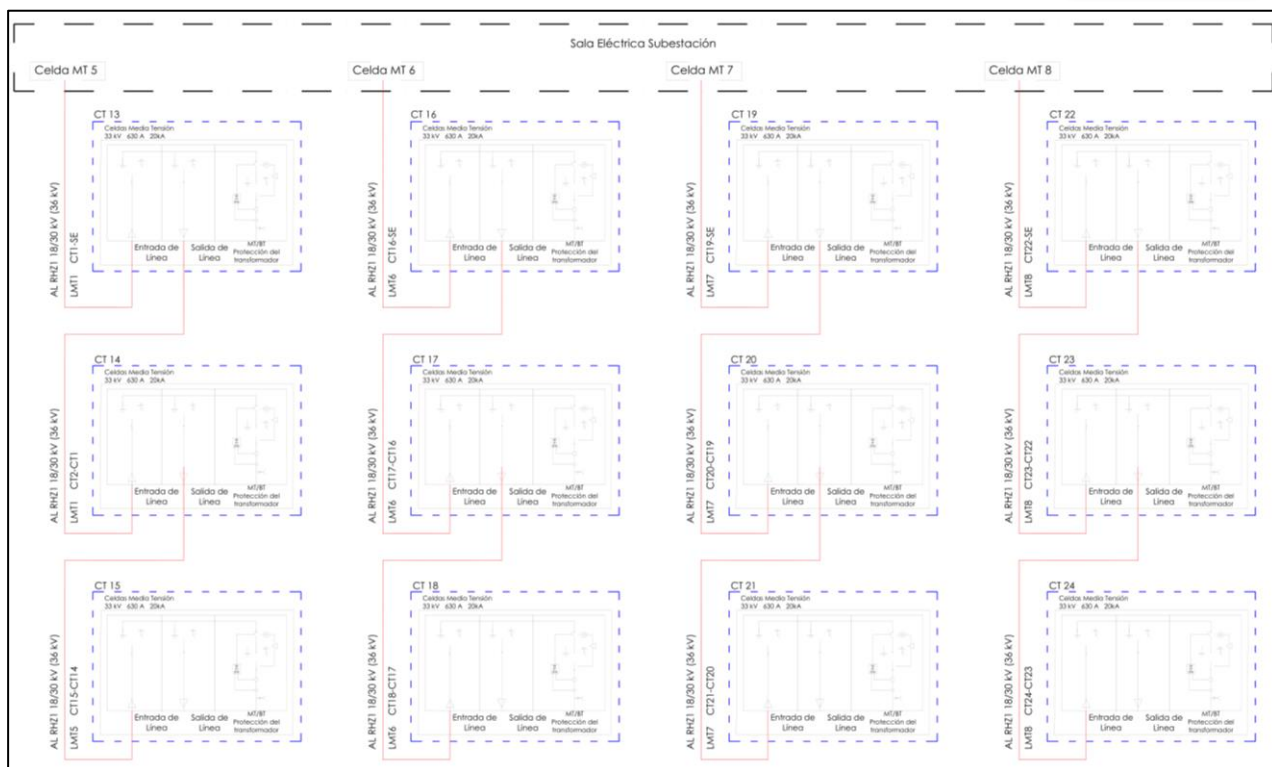


Figura 3.4 – Distribución de centros de transformación PF Sol Del Desierto (2 de 3)

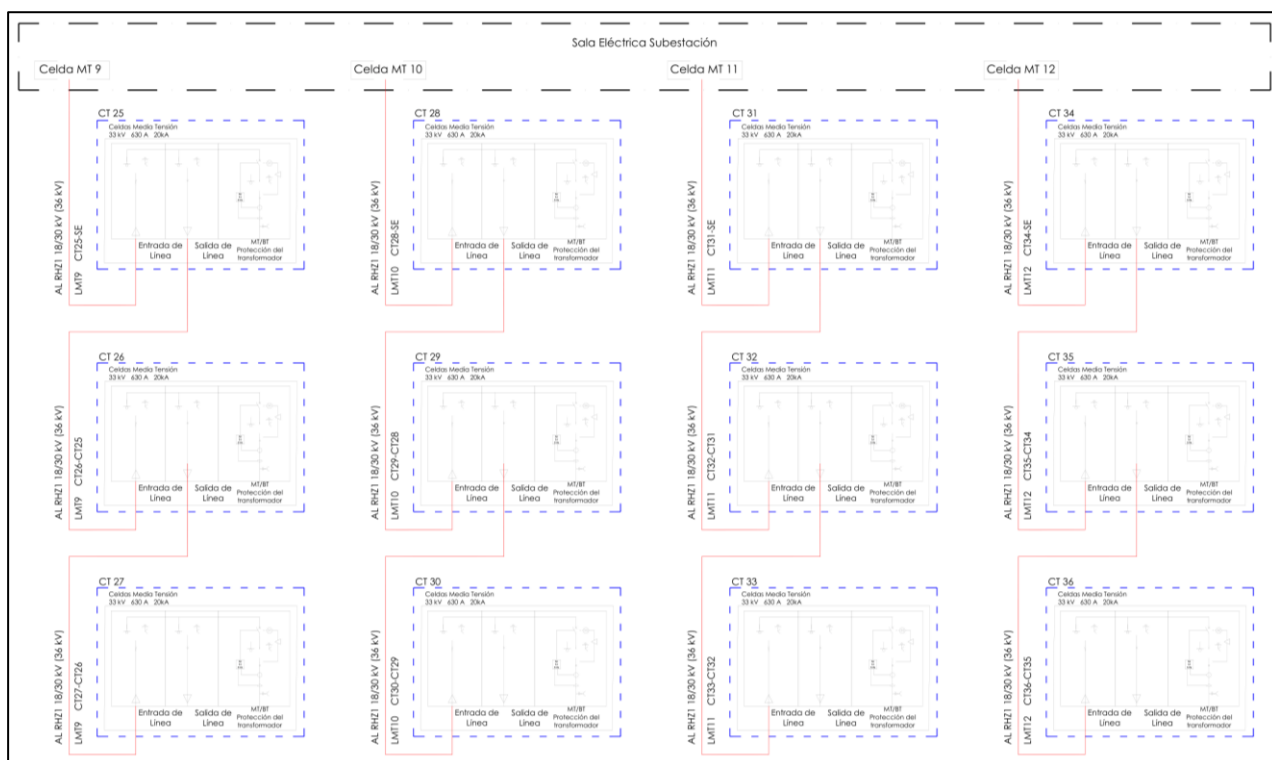


Figura 3.5 – Distribución de centros de transformación PF Sol Del Desierto (3 de 3)



3.2 Datos de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto son de marca AstroTwins y Longi, modelos CHSM72M y LR4-72HBD, respectivamente.

Sus principales características se presentan en las Figura 3.6 y Figura 3.7.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS						
Power rating (front)	405 Wp		410 Wp		415 Wp	
Testing Condition	Front	Back	Front	Back	Front	Back
STC rated output (P_{mpp}/Wp)*	405	285	410	289	415	292
Rated voltage (V_{mpp}/V) at STC	40.89	41.10	41.10	41.31	41.31	41.52
Rated current (I_{mpp}/A) at STC	9.91	6.94	9.98	6.99	10.05	7.04
Open circuit voltage (V_{oc}/V) at STC	48.42	46.99	48.60	47.17	48.78	47.34
Short circuit current (I_{sc}/A) at STC	10.38	7.28	10.46	7.33	10.54	7.39
Module efficiency	19.7%	13.9%	19.9%	14.0%	20.2%	14.2%
Temperature coefficient (P_{mpp})	- 0.3528%/°C					
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.0400%/°C					
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.2769%/°C					
Nominal module operating temperature (NMOT)	44±2°C					
Maximum system voltage (IEC/UL)	1500V _{DC}					
Number of diodes	3					
Junction box IP rating	IP 68					
Maximum series fuse rating	20 A					

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (Integrated power)					
P_{mpp} gain	P_{mpp}	V_{mpp}	I_{mpp}	V_{oc}	I_{sc}
5%	425 Wp	40.89 V	10.40 A	48.42 V	10.90 A
10%	446 Wp	40.89 V	10.90 A	48.42 V	11.42 A
15%	466 Wp	40.79 V	11.42 A	48.52 V	11.94 A
20%	486 Wp	40.79 V	11.91 A	48.52 V	12.46 A
25%	506 Wp	40.79 V	12.41 A	48.52 V	12.98 A

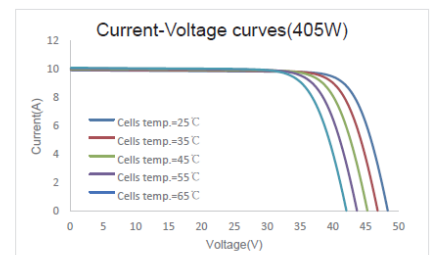
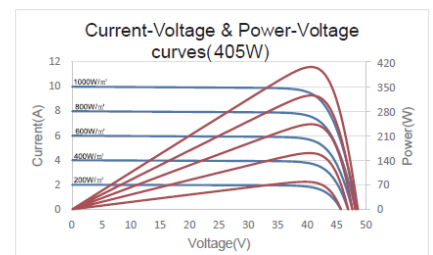
Electrical characteristics with different rear power gain (reference to 405W)

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Outer dimensions (L x W x H)	2038 x 1010 x 30 mm 80.24 x 39.76 x 1.18 in
Module composition	Glass / POE / Glass
Front glass thickness	2.0 mm / 0.079 in
Cable length (IEC/UL)	1400 mm / 55.12 in
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
① Maximum mechanical test load	2400 Pa (snow load) / 2400 Pa (back)
Fire performance (IEC/UL)	Class A (IEC) or Type 3 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

① Refer to Astronergy crystalline installation manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5×Maximum Mechanical Design Load.

Figura 3.6 – Datos de paneles AstroTwins modelo CHSM72M

CURVE



PACKING SPECIFICATIONS

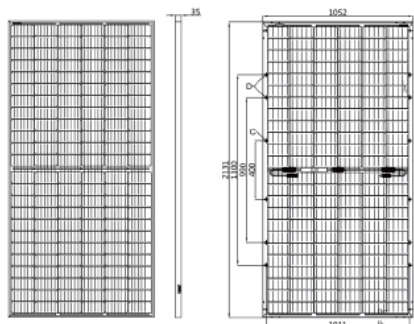
① Weight (module only)	26.3 kg / 57.98 lbs
② Packing unit	36 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	994 kg / 2191 lbs
Number of modules per 40'HQ container	792 pcs

① Tolerance +/- 1.0kg
② Subject to sales contract



LR4-72HBD 425~445M

Design (mm)



Mechanical Parameters

Cell Orientation: 144 (6x24)
Junction Box: IP68, three diodes
Output Cable: 4mm², 300mm in length,
length can be customized
Glass: Dual glass
2.0mm tempered glass
Frame: Anodized aluminum alloy frame
Weight: 29.5kg
Dimension: 2131x1052x35mm
Packaging: 30pcs per pallet
150pcs per 20'GP
600pcs per 40'HC

Operating Parameters

Operational Temperature: -40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W
Voc and Isc Tolerance: ±3%
Maximum System Voltage: DC1500V (IEC / UL)
Maximum Series Fuse Rating: 20A
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C
Safety Class: Class II
Fire Rating: UL type 3
Bifaciality: Glazing≥70%

Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

Model Number	LR4-72HBD-425M		LR4-72HBD-430M		LR4-72HBD-435M		LR4-72HBD-440M		LR4-72HBD-445M	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	425	316.0	430	319.7	435	323.5	440	327.2	445	331
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49.4	46.0	49.6	46.2	49.8	46.4	49.9	46.5	50.1	46.7
Short Circuit Current (Isc/A)	11.02	8.93	11.09	8.98	11.16	9.04	11.25	9.11	11.32	9.16
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	41.0	38.1	41.2	38.2	41.4	38.4	41.5	38.5	41.7	38.7
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.37	8.30	10.44	8.36	10.51	8.42	10.61	8.50	10.68	8.55
Module Efficiency(%)	19.0		19.2		19.4		19.6		19.9	

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

Electrical characteristics with different rear side power gain (reference to 425W front)

Pmax /W	Voc/V	Isc /A	Vmp/V	Imp /A	Pmax gain
446	49.4	11.58	41.0	10.88	5%
468	49.4	12.13	41.0	11.40	10%
489	49.5	12.68	41.1	11.92	15%
510	49.5	13.23	41.1	12.44	20%
531	49.5	13.78	41.1	12.96	25%

Temperature Ratings (STC)

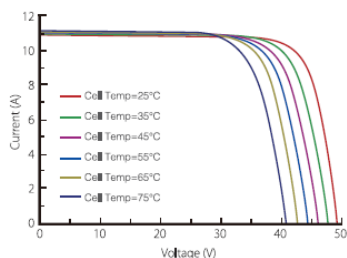
Temperature Coefficient of Isc	+0.060%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.300%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.370%/°C

Mechanical Loading

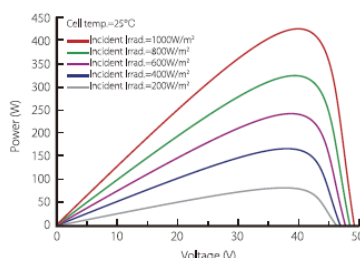
Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

I-V Curve

Current-Voltage Curve (LR4-72HBD-425M)



Power-Voltage Curve (LR4-72HBD-425M)



Current-Voltage Curve (LR4-72HBD-425M)

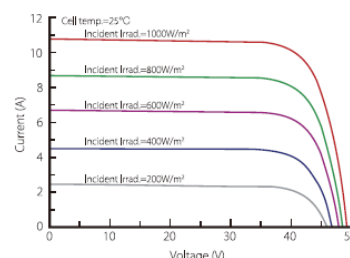


Figura 3.7 – Datos de paneles Longi modelo LR4-72HBD



En la siguiente figura se presentan la cantidad de paneles por tipo que tiene el parque:

Módulo FV	
Fabricante	LONGI
Modelo	LR4-72HBD
Potencia [Wp]	430 / 435
Número total por planta FV	227070 módulos de 430 Wp 56070 módulos de 435 Wp
Fabricante	CHINT
Modelo	CHSM72M(DG)/F-BH
Potencia [Wp]	405 / 410
Número total por planta FV	180900 módulos de 410 Wp 118890 módulos de 405 Wp

Figura 3.8 – Cantidad de paneles por tipo



3.3 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto cuenta con 72 inversores marca SUNGROW, modelo SG3125HV. Los mismos poseen una potencia nominal de 3.593 MVA cada uno, y sus principales características se presentan en la Figura 3.9.

SG3125HV	
Input (DC)	SG3125HV
Max. PV input voltage	1500V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	875 V / 915 V
MPP voltage range for nominal power	875 – 1300 V
No. of independent MPP inputs	1
No. of DC inputs	21 (optional: 24 negative grounding or floating; 28 negative grounding)
Max. PV input current	4178 A
Output (AC)	
AC output power	3593 kVA @ 25 °C / 3437 kVA @ 45 °C / 3125 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	3458 A
Nominal AC voltage	600 V
AC voltage range	480 – 690 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % In
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / Connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / Euro. efficiency	99.0 % / 98.7 %
Protection and Function	
DC input protection	Load break switch + fuse
AC output protection	Circuit breaker
Overvoltage protection	DC Type I + II / AC Type II
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes
Insulation monitoring	Yes
Overheat protection	Yes
Night SVG function	Yes
Anti-PID function	Optional
General Data	
Dimensions (W*H*D)	2991*2591*2438 mm
Weight	6.5 T
Isolation method	Transformerless
Degree of protection	IP54
Auxiliary power supply	415 V, 15 kVA (Optional: max. 40 kVA)
Operating ambient temperature range	-35 to 60 °C (> 50 °C derating)
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 95 %
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	Touch screen
Communication	Standard: RS485, Ethernet; Optional: optical fiber
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 62116, IEC 61727
Grid support	Night SVG function, L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control
Type designation	SG3125HV-10
© 2018 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 1.0	

Figura 3.9 – Hoja de datos de los inversores



La Figura 3.10 muestra la curva de capacidad de los inversores SG3125HV.

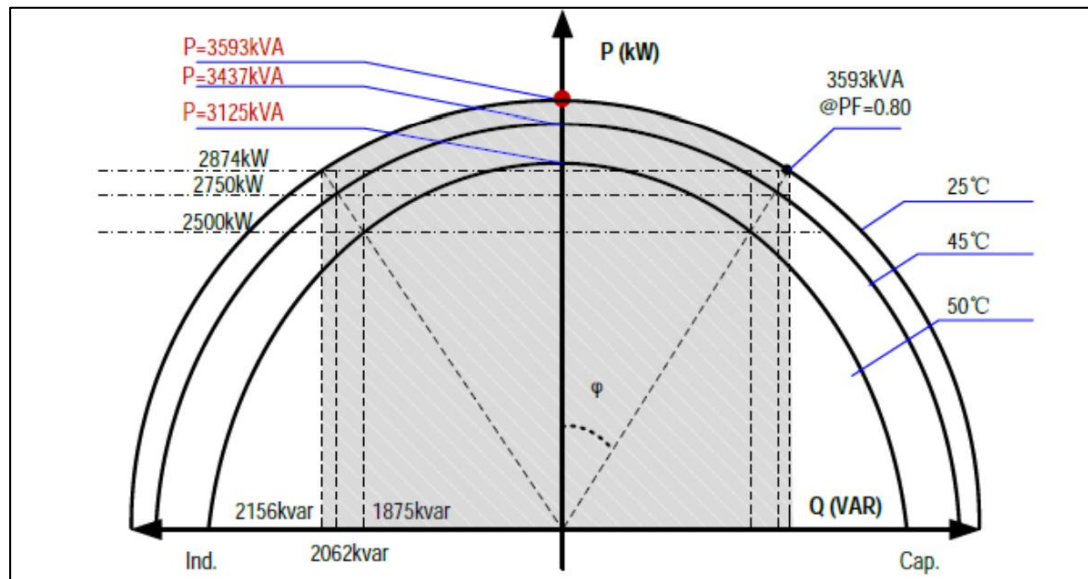


Figura 3.10 – Curva de capacidad del inversor.

En la Figura 3.11 se presenta el detalle de consumos propios del inversor, considerando el equipo en servicio o en condición de standby.

SG3125HV-20		Max self-consumption-in-operation (W)	Standby Consumption (W)	Q at night (kW)
Inverters	Control-power-consumption	312	200	Max.32.81 (reactive power output:2062KVar)
	Fans consumption@full power	4500	0	
LV cabinet	Monitoring	15	15	
	Light	0	0	
	Fans of container activated @>40C ambient Temp.	0	0	
	Fans of LV cabinet	64	0	
Max. in total		4891	215	32.81

Figura 3.11 – Consumos propios de inversor



3.4 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto cuenta con 36 transformadores de bloque. Cada uno tiene una potencia nominal 7.2 MVA y cuenta con tres devanados, dos devanados de baja tensión de 660V y un devanado de alta tensión de 33kV. El transformador no posee cambiador de tomas.

La placa característica de los mismos se muestra en la Tabla 3.1.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	7.2 MVA
Refrigeración	ONAN
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.6 kV/0.6 kV
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia	7 %
Pérdidas en carga	50.5 kW
Pérdidas en vacío	6.85 kW

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



3.5 Datos del transformador de poder

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto cuenta con un transformador principal. El transformador es de potencia nominal 150/200/250 MVA según método de enfriamiento ONAN/ONAF1/ONAF2, cuentan con dos devanados de media tensión de 33kV/33kV y un devanado de alta tensión de 220kV. El transformador posee cambiador de tomas bajo carga.

La placa característica de los mismos se muestra en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	150/200/250 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1/ONAF2
Tensión nominal lado HV	220.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV/33.0 kV
Grupo de conexión	YNd11d11
Impedancia	14.5 %
Pérdidas en carga	620 kW
Pérdidas en vacío	80 kW
Posiciones de TAP	±8 x 1.25 %

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.6 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto cuenta con un transformador de poder, para alimentar sus servicios auxiliares, de potencia nominal 300 kVA. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.4 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

En los documentos “MC-IG-CHPPAC0024-AT-EL-255-00 MC SSAA CA” y “MC-IG-CHPPAC0024-AT-EL-257-00 MC SSAA CC” se detalla el dimensionamiento de las cargas de corriente alterna y corriente continua de los servicios auxiliares del parque.

Para las pruebas de mínimo técnico se ha considerado los servicios esenciales de corriente alterna (ver Tabla 3.3) y las cargas permanentes de corriente continua (ver Tabla 3.4). Estos consumos corresponden a 80.2485 kW esenciales en corriente alterna y 3.4726 kW en corriente continua, totalizando 83.72 kW de SSAA esenciales y permanentes.

Consumo de cargas esenciales de corriente alterna:

$$P_{tr,SSAA,CA} = 94.41 \text{ kVA} * 0.85 = 80.2485 \text{ kW}$$

Consumo de cargas permanentes de corriente continua:

$$P_{tr,SSAA,CC} = 3.4726 \text{ kW}$$

Consumo total SSAA:

$$P_{tr,SSAA} = 80.2485 \text{ kW} + 3.4726 \text{ kW} = 83.72 \text{ kW}$$



SS/AA Esenciales (380/220VCA)						
ITEM	Cantidad	Potencia Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Factor de Demanda	Factor de Potencia	Potencia Total [kVA]
Cargador de Baterías 1 ⁴	1	18750	18750	0,5	0,85	11,03
Cargador de Baterías 2 ⁴	1	18750	18750	0,5	0,85	11,03
Climatización Sala de Control y Celdas MT ¹	1	17500	17500	0,7	0,85	14,42
Alumbrado emergencia	1	7000	7000	1	0,85	7,67
Sistema de televigilancia (CCTV)	1					3
UPS ³	1					1,603
Armario de control y protecciones paño J1 ²	1	2000	2000	1	0,85	2,36
Armario de control y protecciones paño JT1 ²	1	2000	2000	1	0,85	2,36
Switchgear GIS 36 kV (Equipos y calefacción Celdas MT)	16	120	1920	1	0,85	2,4
Armario de detección de incendios	1	500	500	0,5	0,85	0,3
Gabinete control CTBC T1 ⁵	1	2200	2200	1	0,85	2,59
Ventilación Forzada T1	15	950	14250	1	0,85	16,77
Armario Comunicaciones y SCADA Subestación	1	140	140	1	0,85	0,17
Armario SCADA PV Plant						3
Armario control PV Plant	2	300	600	1	0,85	0,71
Almacén O&M (reserva de carga aprox)	1	4250	4250	1	0,85	5
Edificio O&M (reserva de carga aprox)	1	8500	8500	1	0,85	10
Total						94,41

Tabla 3.3 – Consumo de cargas esenciales de corriente alterna del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto



Equipos	Cantidad	Potencia Unitaria [W]	Potencia Total [W]
ARMARIOS PAÑO DE LÍNEA (J1)			
PROTECCIONES PAÑOS DE LINEA	2	13	26
CONTROLADOR PAÑO DE LINEA	1	13	13
MEDICIÓN/FACTURACIÓN PAÑO DE LINEA	1	18	18
SWITCH COMUNICACIONES	1	45	45
RELÉS AUXILIARES	1	13	13
ALARMAS	1	13	13
ARMARIOS PAÑO DE TRANSFORMACIÓN (JT1)			
PROTECCIONES PAÑOS DE TRANSFORMACIÓN	2	13	26
CONTROLADOR PAÑO DE TRANSFORMACIÓN	1	13	13
AVR	1	25	25
MEDICIÓN/FACTURACIÓN PAÑO DE TRANSFORMACIÓN	1	18	18
SWITCH COMUNICACIONES	1	45	45
RELÉS AUXILIARES	1	13	13
ALARMAS	1	13	13
ARMARIO UCS			
SCADA N°1	1	60	60
SCADA N°2	1	60	60
SW-O&M	1	45	45
SW-AT-UCS	1	45	45
ROUTER/FIREWALL	1	65	65
I/O BOX	1	10	10
HMI	1	15	15
RELOJ GPS	1	45	45
ARMARIO SSAA CA			
EQUIPO CONTROLADOR	1	13	13
MEDICIÓN/FACTURACIÓN SSAA	1	18	18
RELÉS AUXILIARES	1	13	13
SWITCH COMUNICACIONES	1	45	45
ARMARIO SSAA CC			
RELÉS AUXILIARES	1	13	13
CELDAS MT			
LED-MODUL, ROT	53	2.2	58.3 ¹
LED-MODUL, GRUEN	53	2.2	58.3 ¹
CB off block release coil	16	9	0 ¹
Feldleitgerät GE Multilin F650	16	25	425 ¹
Disconnecter release coil	17	9	0 ¹
Earthing switch release coil	17	9	0 ¹
Erweiteres Tarifmessgerät ION 8650	2	20	40 ¹
PARQUE FOTOVOLTAICO			
ARMARIO CONTROL PLANTA DE GENERACIÓN	2	30	60
ARMARIO SCADA PV PLANT	1	500	500 ⁴
INVERSOR			
INVERSOR			1603 ³
SUBTOTAL CONSUMOS PERMANENTES			3472,6 W

Tabla 3.4 – Cargas de corriente continua permanentes del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto



4 DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO

El Mínimo Técnico corresponde al menor valor de potencia activa bruta que el parque es capaz de mantener de manera estable.

Tal como se ha mencionado en el capítulo 2 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio**.

Para cada una de las pruebas de Mínimo Técnico realizadas, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Sol Del Desierto	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores (considerando todos los inversores en servicio), más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en 220 kV en el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220 kV.



4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio

El día 5 de enero de 2022 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio. Para lograr esta condición se da orden de detención a todos los inversores del parque que se encuentran operativos a excepción del inversor CT09-INV1. En esta condición los circuitos colectores y los transformadores de bloque se mantienen energizados.

En la Figura 4.1 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando únicamente el inversor CT09-INV1 en servicio.

A continuación, se procede a consignarle un valor de potencia activa de 0.32 MW, ya que se ha verificado previamente que es el valor de potencia activa que consume el parque con todos los inversores apagados, para que en esta condición lograr registrar un valor de potencia neta de 0 MW en el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220 kV.

Por cuestiones prácticas de la prueba la misma se realizó en una potencia neta ligeramente inferior a 0 MW, pero a los fines del cálculo de MT se considera como 0 MW.

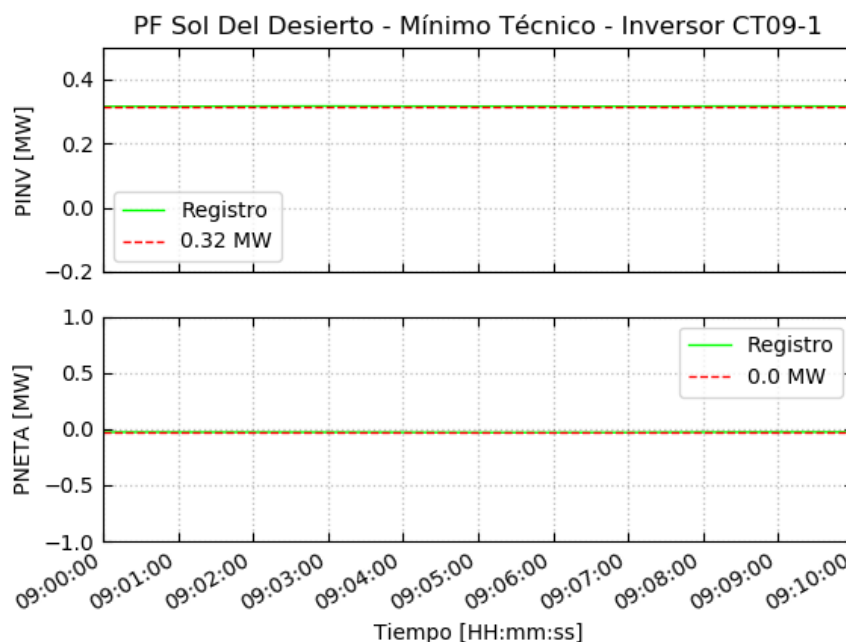


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Inversor CT09-INV1

A continuación, se realiza el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.



4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de inversor (PINV) presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del inversor. Estos consumos se estiman en 4.891 kW, según se observa en la Figura 3.11. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = P_{INV} + N^{\circ} INV \times Consumos Propios$$

$$P_{bruta} = 0.32 MW + 1 \times 4.891 kW = 324.89 kW$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.11, el consumo interno de cada inversor en servicio se estima en 4.891 kW, en tanto, para los inversores en *standby* se considera un consumo de 215 W. Adicionalmente, en base a lo presentado en las Tabla 3.3 y Tabla 3.4, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 83.72 kW.

En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

$$P_{SSAA} = N^{\circ} INV_{standby} \times Consumos_{standby} + N^{\circ} INV_{en servicio} \times Consumos_{en servicio} + P_{tr.SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 71 \times 0.215 kW + 1 \times 4.891 kW + 83.72 kW = 103.88 kW$$



4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el inversor CT09-INV1 y la **Potencia Neta Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.1). Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 83.72 kW y el consumo del resto de los inversores en condición *standby*.

La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{INV} - P_{tr,SSAA} - N^{\circ} INV_{standby} \times Consumos_{standby} - P_{neta,med}$$

$$P_{perd,central} = 0.32 \text{ MW} - 83.72 \text{ kW} - 71 \times 0.215 \text{ kW} - 0.0 \text{ MW} = 221.01 \text{ kW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{perd,tr_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{perd,redMT}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular de los ensayos. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{V_{vacío}}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor a 1%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 80 \text{ kW} = 80 \text{ kW}$$



En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{Perd,redMT} = P_{Perd,central} - P_{Perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,redMT} = 221.01 \text{ kW} - 80 \text{ kW} = 141.01 \text{ kW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220kV. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 0 MW, considerando la operación de un único inversor.

$$P_{neta} = 0.0 \text{ MW}$$

4.1.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Sol Del Desierto	324.89	103.88	221.01	0.0

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Inversor CT09-INV1 – Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto



4.2 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 20 de diciembre de 2021 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de inversores en servicio.

En la Figura 4.2 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando todos los inversores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de la potencia inyectada por la totalidad de los inversores en servicio y de la potencia neta, potencia inyectada en 220 kV en el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220kV. La diferencia registrada entre ambos valores es de 0.32 MW.

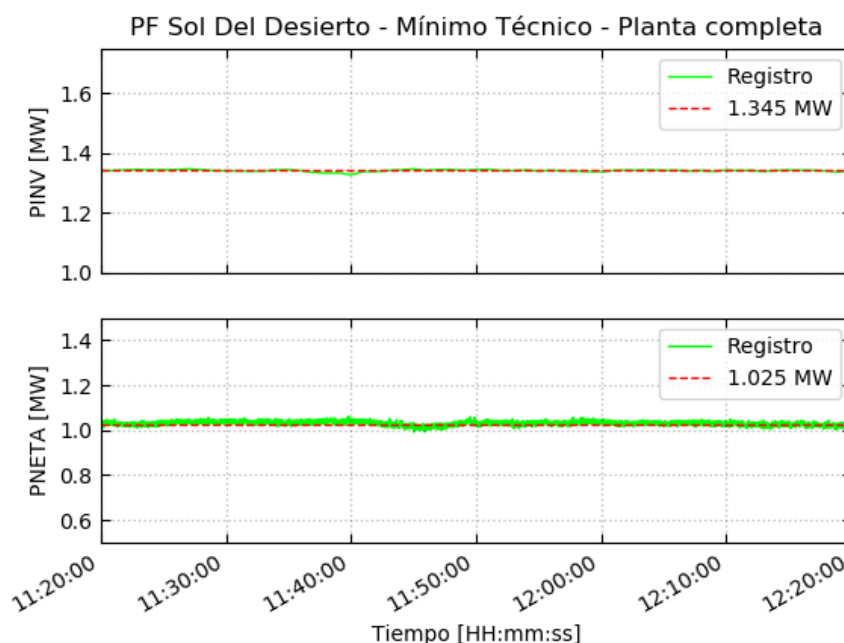


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio

A continuación, se realiza el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.



4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de inversores (PINV) presentada en la Figura 4.2 se realiza en bornes de los equipos y ya se encuentran descontados los consumos propios de cada inversor. Estos consumos se estiman en 4.891 kW, según se observa en la Figura 3.11. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = P_{INV} + N^{\circ} INV \times Consumos Propios$$

$$P_{bruta} = 1.345 MW + 72 \times 4.891 kW = 1697.15 kW$$

Cabe mencionar que el valor de 1.345 MW de potencia bruta implica un despacho aproximado 18.7 kW por cada inversor, se ha observado durante los ensayos que, para valores menores de potencia activa, los inversores entran y salen de servicio de forma recurrente y no se permite obtener una operación estable del Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto.

4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores (considerando todos los inversores en servicio), más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.11, el consumo interno de cada inversor se estima en 4.891 kW y debe considerarse la totalidad de equipos en servicio. Adicionalmente, en base a lo presentado en las Tabla 3.3 y Tabla 3.4, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 83.72 kW.

En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

$$P_{SSAA} = N^{\circ} INV \times Consumos Propios + P_{tr.SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 72 \times 4.891 kW + 83.72 kW = 435.87 kW$$



4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el inversor inversores y la **Potencia Neta Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.2). Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 83.72 kW.

La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{INV} - P_{tr,SSAA} - P_{neta,med}$$

$$P_{perd,central} = 1.345 \text{ MW} - 83.72 \text{ kW} - 1.025 \text{ MW} = 236.28 \text{ kW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{Perd,tr_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{Perd,redMT}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular de los ensayos. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{V_{vacío}}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor a 1%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 80 \text{ kW} = 80 \text{ kW}$$



En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{Perd,redMT} = P_{Perd,central} - P_{Perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,redMT} = 236.28 \text{ kW} - 80 \text{ kW} = 156.28 \text{ kW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño J9 y J10 de la S/E María Elena 220kV. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 1.025 MW, considerando la operación estable de todos los inversores.

$$P_{neta} = 1.025 \text{ MW}$$

4.2.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Sol Del Desierto	1.69715	435.87	236.28	1.025

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto



5 CONCLUSIONES

Se determinó mediante ensayos el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio**. Los resultados se resumen a continuación.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Sol Del Desierto	324.89	103.88	221.01 ¹	0.0

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Inversor CT09-INV1 – Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Sol Del Desierto	1.69715	435.87	236.28 ²	1.025

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Sol Del Desierto

¹ Desglosado en 80.0 kW de pérdidas en el transformador principal y 141.01 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

² Desglosado en 80.0 kW de pérdidas en el transformador principal y 156.28 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 ESTUDIOS ELECTRICOS		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento: Janitza UMG 510 Número de Serie: 5100/0731		
Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso. Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:		
Instrumento	Número de Serie	Última Calibración
Multímetro patrón Fluke 8845A – 6 ½ dígitos	1822003	04/07/2018

Fecha de evaluación: 05/08/20
Certificado número: EE-CI-2021-0440

Nombre Inspector: Leiss, Jorge
Firma:



Power System Studies & Power Plant Field
Testing and Electrical Commissioning



6.2 Certificado de calibración de medidor de energía (POI)

PowerLogic™

70052-0225-11

Certificate of Compliance and Calibration			
Schneider Electric certifies that the PowerLogic™ product listed below meets the published specifications and has been calibrated and tested using equipment and standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) in the US or the National Research Council of Canada (NRC).			
Model	Part #	Serial #	Calibration Date
ION8650	M8650A4C0H5E1C1A	MW-2007A069-02	07-Jul-2020
AUTOMATED TESTING	- Power supply levels tested and adjusted on variable power supply units - Communications verified - Unit ID and serial number programmed - Voltage and current inputs calibrated - Aux I/O calibrated and tested (if applicable) - Required software options programmed - Calibration constants saved to external file (if applicable)		
FINAL TESTING AND INSPECTION	- Serial number verified - Firmware version verified - LCD/Keypad functionality checked (if applicable) - Memory checked - Calibration verified - Software options downloaded and verified (if applicable) - Applicable counters and registers cleared - Dielectric Withstand Test Passed		
TEST EQUIPMENT USED TO CALIBRATE METER (If Applicable)	Model	Serial #	Test Equipment Calibration Due Date
	Radian RD-33-231	300670	13-Dec-2020
 Alexander Stoettner Quality Manager		 Steve Gauthier Plant Manager	

Quality System
Certified to ISO 9001


PowerLogic is a trademark of Schneider Electric.



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.