ESTUDIOS ELECTRICOS

Empresa	Prime Energía
País	Chile
Proyecto	Parque Fotovoltaico Don Óscar
Descripción	Informe de Mínimo Técnico

PrimeEnergía

CÓDIGO DE PROYECTO	EE-2023-086
CÓDIGO DE INFORME	EE-EN-2024-0764
REVISIÓN	B

13 ago. 24

Este documento **EE-EN-2024-0764-RB** fue preparado para Prime Energía por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

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

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

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

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: ***Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia*** y ***Electrical Studies Corp.***

Este documento contiene 34 páginas y ha sido guardado por última vez el 13/08/2024 por Matías Parra; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	*Fecha*	*Comentarios*	*Realizó*	*Revisó*	*Aprobó*
A	03.07.2024	Para presentar	CiC	AC	PR
B	13.08.2024	Correcciones del CEN según “COR-GO-DCO-PO-PFV Don Oscar”	MP	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autentificadas 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 5
1.3 Nomenclatura Utilizada 5
2 ASPECTOS NORMATIVOS 6
3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE 7
3.1 Diagrama unilineal 7
3.1.1 Medidores utilizados 11
3.2 Datos del transformador de poder 12
3.3 Datos de los paneles fotovoltaicos 13
3.4 Datos de los inversores 15
3.5 Datos de los transformadores de bloque 17
3.6 Datos de los Consumos de SSAA 18
4 DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO 19
4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo 20
4.1.1 Potencia Bruta 23
4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares 23
4.1.3 Potencia de Perdidas en la Central 23
4.1.4 Potencia Neta 24
4.1.5 Resultados 24
4.2 Mínimo Técnico con inversor individual 25
4.2.1 Potencia Bruta 27
4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares 27
4.2.3 Potencia de Perdidas en la Central 28
4.2.4 Potencia Neta 29
4.2.5 Resultados 29
5 CONCLUSIONES 30
6 ANEXOS 31
6.1 Certificados de calibración de medidor de energía 31
6.2 Registro de inversores 32

1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Don Óscar 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.

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados el día 11 de junio de 2024.

El Parque Fotovoltaico Don Óscar se encuentra ubicado en la comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo. El parque se vincula al SEN mediante una línea de aproximadamente 2 km de longitud en 23 kV a la S/E Llanos Blancos.

El parque cuenta con una potencia instalada en inversores de 9.375 MVA y una potencia instalada en paneles fotovoltaicos de 10.92 MWdc. En tanto, la potencia máxima declarada en su punto de interconexión, en el paño de conexión a la S/E Llanos Blancos, es de 9.0 MW.

El parque está constituido por 3 centros de transformación, cada centro cuenta con un inversor y transformador de bloque. Los equipos utilizados son marca SUNGROW modelos SG3125 de 3.125 MVA de capacidad nominal y 600 V de tensión nominal. El transformador de bloque es de 3.125 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.6 kV / 23 kV (± 2 × 2.5%).

La red colectora está constituida por cables subterráneos, conformada por un circuito colector en la que se conectan los 3 inversores.

Los inversores se encuentran comandados por un control conjunto de planta (PPC) el cual permite el control de las variables eléctricas en su punto de interconexión.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Matías Parra	11 de junio de 2024

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	N° Serie
Adquisidor	Janitza	UMG604	5216/002

Tabla 1.2 – Equipos utilizados

Además de lo mostrado en la Tabla 1.2, se cuenta con datos complementarios del adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 segundo para todas las mediciones.

1.3 Nomenclatura Utilizada

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

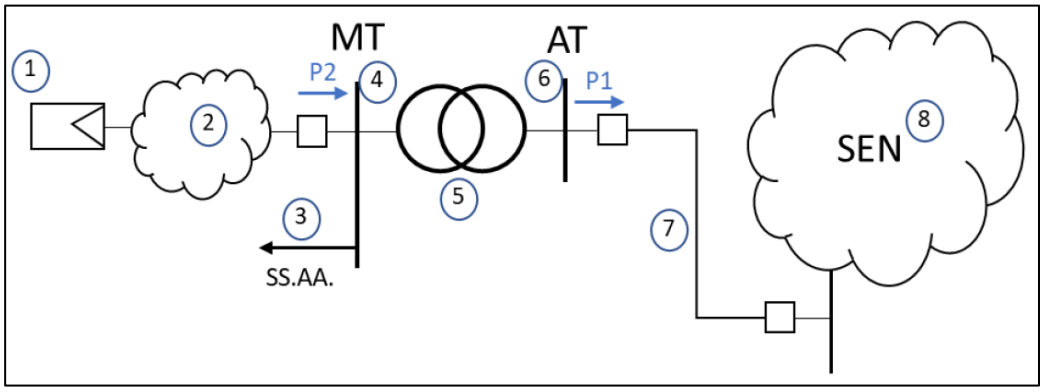


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico

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)**.

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 Don Óscar, 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 entregada por un único inversor.

Se aclara que el PPC no cuenta con la capacidad de ir apagando inversores de forma controlada hasta lograr la operación con un inversor individual.

3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Fotovoltaico Don Óscar se encuentra ubicado en la comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo. El parque se vincula al SEN mediante una línea de aproximadamente 2 km de longitud en 23 kV a la S/E Llanos Blancos.

El parque cuenta con una potencia instalada en inversores de 9.375 MVA y una potencia instalada en paneles fotovoltaicos de 10.92 MWdc. En tanto, la potencia máxima declarada en su punto de interconexión, en el paño de conexión a la S/E Llanos Blancos, es de 9.0 MW.

El parque está constituido por 3 centros de transformación, cada centro cuenta con un inversor y transformador de bloque. Los equipos utilizados son marca SUNGROW modelos SG3125 de 3.125 MVA de capacidad nominal y 600 V de tensión nominal. El transformador de bloque es de 3.125 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.6 kV / 23 kV (± 2 × 2.5%).

La red colectora está constituida por cables subterráneos, conformada por un circuito colector en la que se conectan los 3 inversores.

3.1 Diagrama unilineal

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama unifilar de la conexión del Parque Fotovoltaico Don Óscar hacia la S/E Llanos Blancos 220 kV. En el recuadro **rojo** se visualiza el transformador de poder por el cual se conectan las celdas de media tensión en 23 kV.

En tanto, en la Figura 3.2 se muestra el detalle de las celdas de media tensión en 23 KV de la S/E Llanos Blancos. El recuadro **azul** muestra la celda E11 el cual corresponde al punto de interconexión del Parque Fotovoltaico Don Óscar.

Por último, en la Figura 3.3 se detallan los tres centros de transformación que conforman el parque.

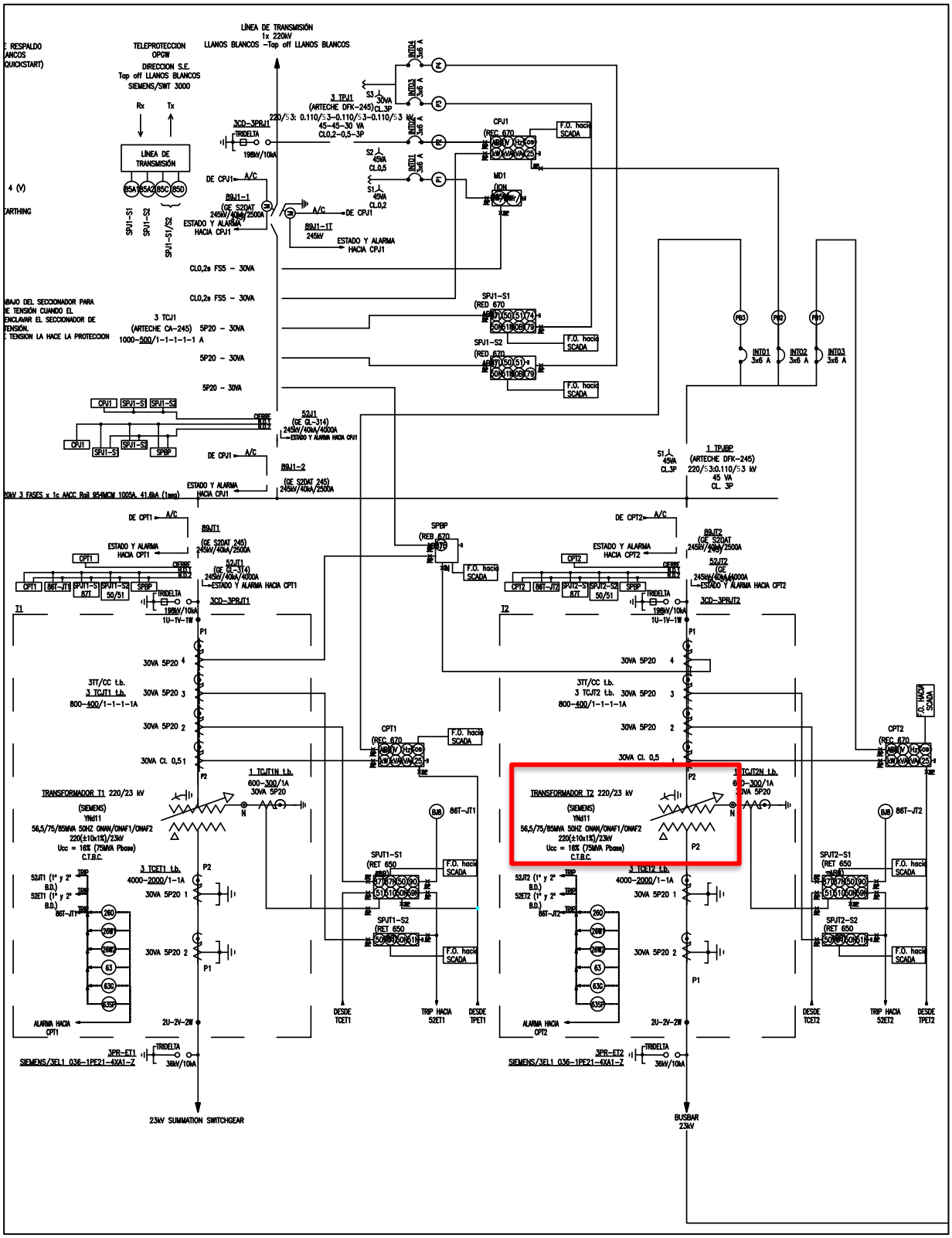


Figura 3.1 – Diagrama unilineal – Conexión a S/E Llanos Blancos del Parque Fotovoltaico Don Óscar

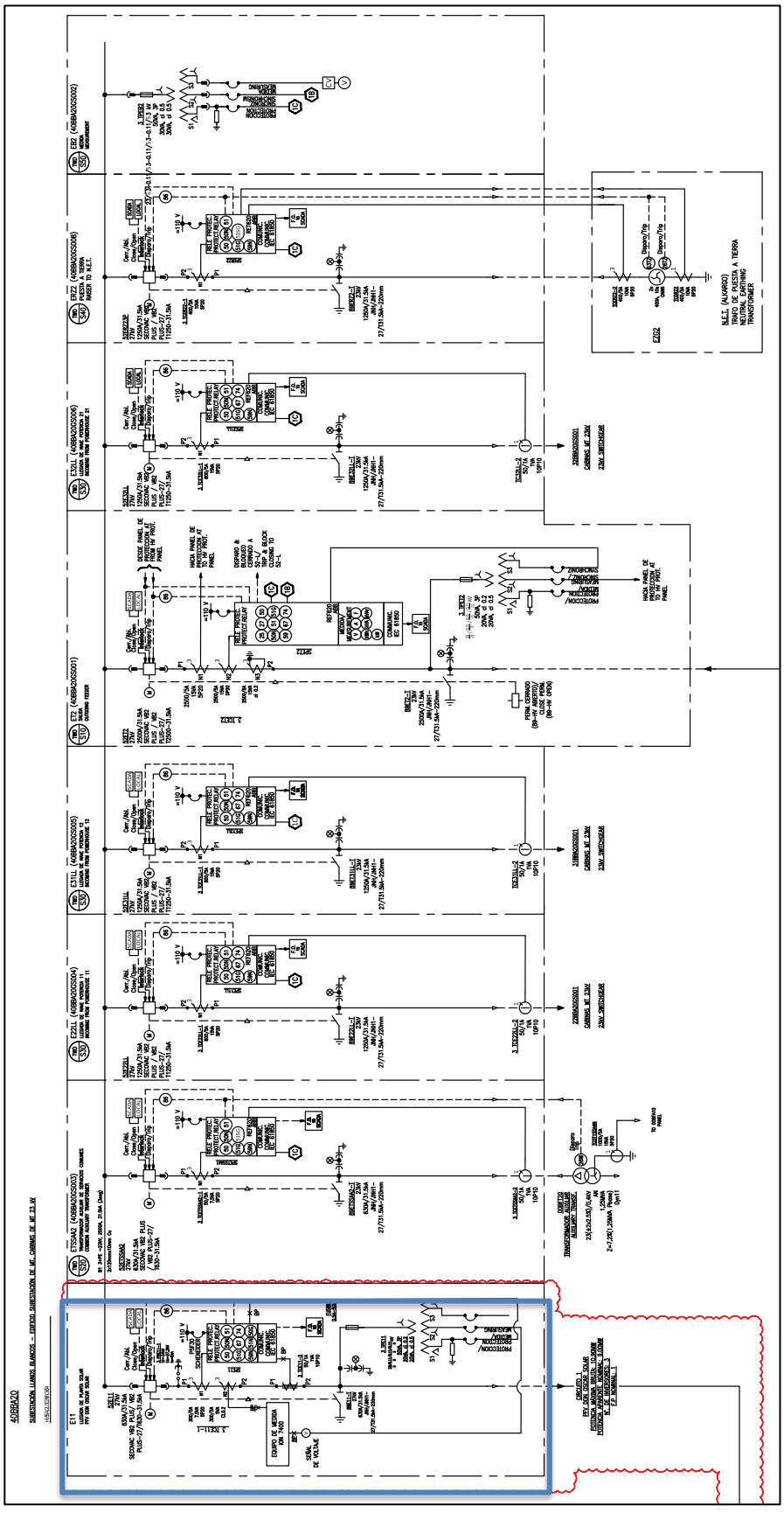


Figura 3.2 –Celdas de media tensión de la S/E Llanos Blancos 23 kV

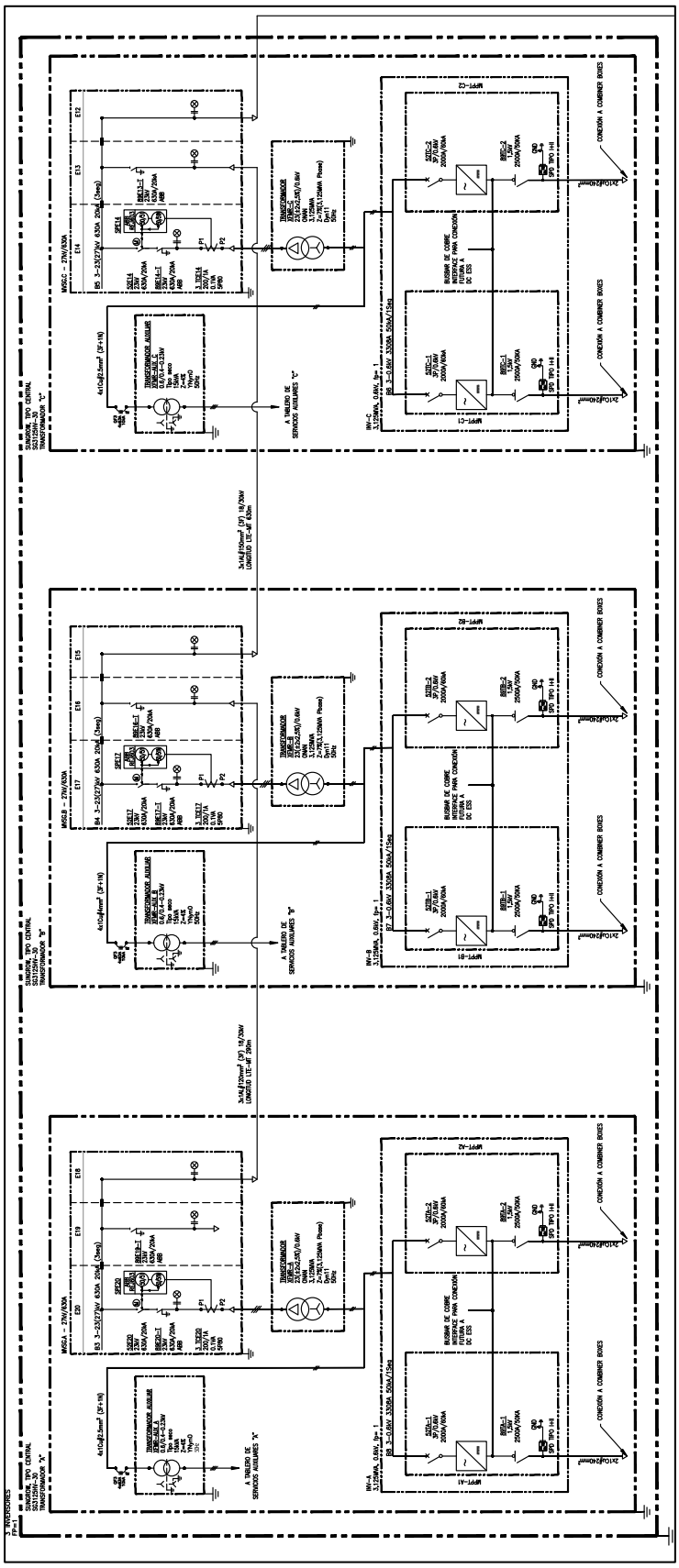


Figura 3.3 – Detalle de los centros de transformación de Parque Fotovoltaico Don Óscar

3.1.1 Medidores utilizados

Para los registros de **Potencia Neta** se mide directamente de los transformadores de corriente y de voltaje en la celda E11 de la S/E Llanos Blancos 23 kV (ver recuadro **azul** de la Figura 3.2), el cual corresponde al punto de interconexión del parque al SEN.

En el caso de los registros de **Potencia Bruta** se cuenta con datos adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 segundo. Dicho medidor registra la potencia de cada centro de transformación en su lado de baja tensión (ver recuadro **verde** de la Figura 3.4).

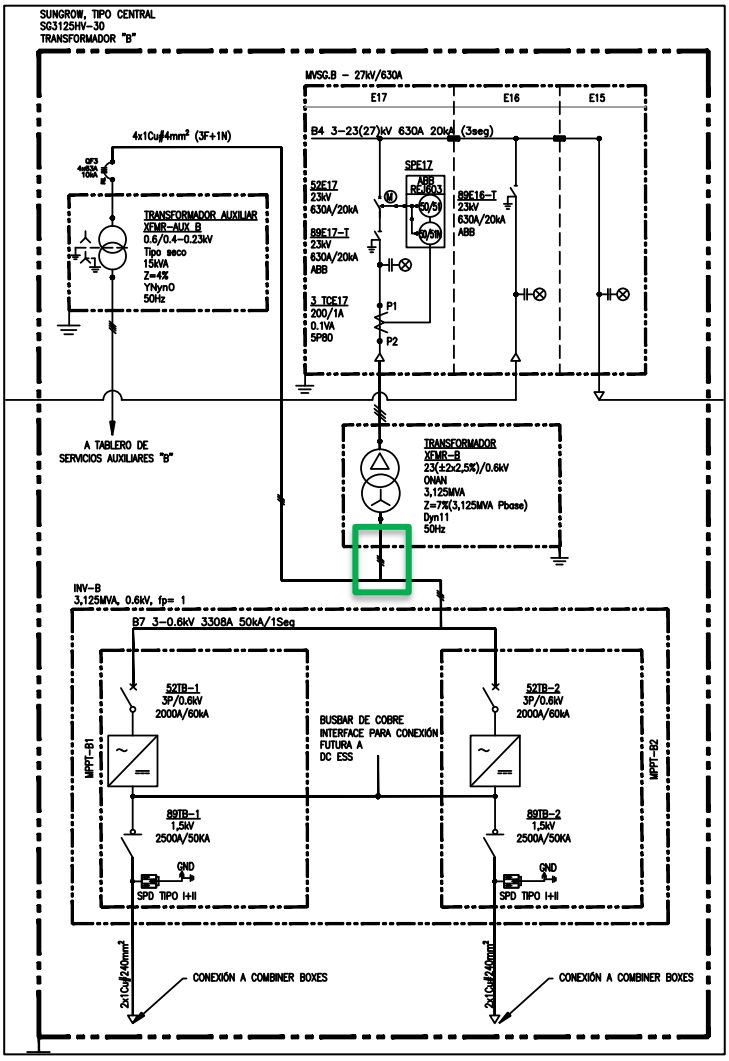


Figura 3.4 – Detalle del centro de transformación

Las variables **ambientales para el día de las pruebas** también son adquiridas mediante el SCADA de la central con la tasa de muestreo de 1 segundo para la temperatura ambiente y la irradiancia perpendicular a los paneles.

En cuanto al registro de **Servicios Auxiliares**, se ha registrado el consumo del parque en horario nocturno, es decir, sin inyección de potencia por parte de los inversores. Se opta por esta metodología, ya que estos datos no se encuentran disponibles para exportar en un registro independiente y, por lo tanto, se debe considerar su estimación.

3.2 Datos del transformador de poder

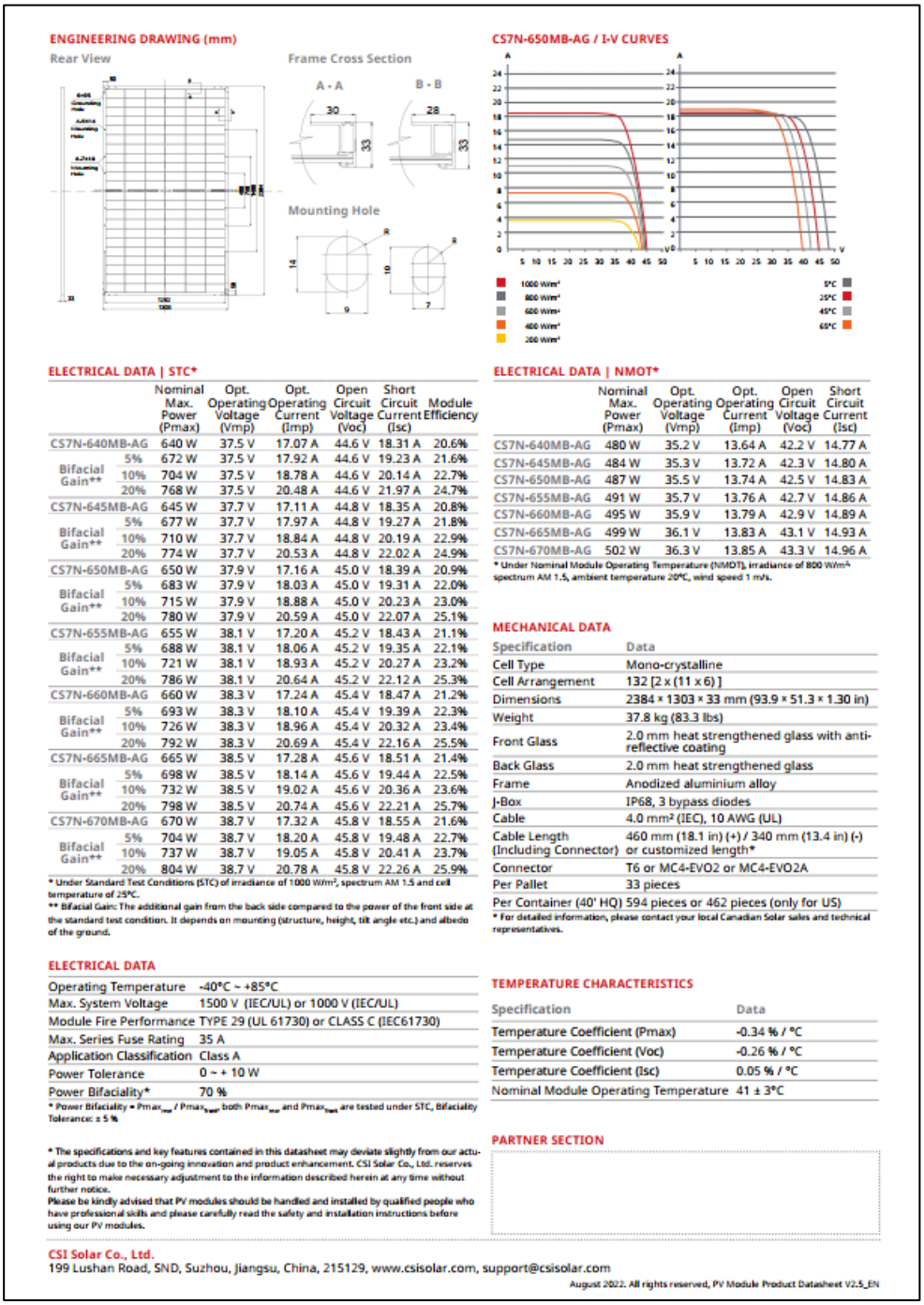
La S/E Llanos Blancos cuenta con dos transformadores de relación 220 kV (± 10 x 1%) / 23 kV con capacidad nominal 56.5/75/85 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2). Uno de estos transformadores permitirá la vinculación de las celdas de media tensión 23 kV de la S/E con su lado de alta tensión. Cabe aclarar Parque Fotovoltaico Don Óscar se interconecta al SI en las celdas de media tensión.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	56.5/75/85 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1/ONAF2
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	23 kV
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia	16%
Pérdidas en carga	339.59 kW
Pérdidas en vacío	37.93 kW
Posiciones de TAP	±10 x 1%

Tabla 3.1 – Datos del transformador de poder

3.3 Datos de los paneles fotovoltaicos

Los paneles del Parque Fotovoltaico Don Óscar son paneles bifaciales de marca Canadian Solar modelo CS7N660 y CS7N655. El Parque Fotovoltaico Don Óscar posee una capacidad DC de 10.92 MW DC, a través de sus 16.608 módulos, con una cantidad de 519 Strings de 32 módulos en serie cada uno. Sus principales características se presentan en la Figura 3.5.



ENGINEERING DRAWING (mm)

Rear View

Frame Cross Section

A - A

B - B

Mounting Hole

CS7N-650MB-AG / I-V CURVES

ELECTRICAL DATA | STC*

		Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency
CS7N-640MB-AG		640 W	37.5 V	17.07 A	44.6 V	18.31 A	20.6%
Bifacial Gain**	5%	672 W	37.5 V	17.92 A	44.6 V	19.23 A	21.6%
	10%	704 W	37.5 V	18.78 A	44.6 V	20.14 A	22.7%
	20%	768 W	37.5 V	20.48 A	44.6 V	21.97 A	24.7%
CS7N-645MB-AG		645 W	37.7 V	17.11 A	44.8 V	18.35 A	20.8%
Bifacial Gain**	5%	677 W	37.7 V	17.97 A	44.8 V	19.27 A	21.8%
	10%	710 W	37.7 V	18.84 A	44.8 V	20.19 A	22.9%
	20%	774 W	37.7 V	20.53 A	44.8 V	22.02 A	24.9%
CS7N-650MB-AG		650 W	37.9 V	17.16 A	45.0 V	18.39 A	20.9%
Bifacial Gain**	5%	683 W	37.9 V	18.03 A	45.0 V	19.31 A	22.0%
	10%	715 W	37.9 V	18.88 A	45.0 V	20.23 A	23.0%
	20%	780 W	37.9 V	20.59 A	45.0 V	22.07 A	25.1%
CS7N-655MB-AG		655 W	38.1 V	17.20 A	45.2 V	18.43 A	21.1%
Bifacial Gain**	5%	688 W	38.1 V	18.06 A	45.2 V	19.35 A	22.1%
	10%	721 W	38.1 V	18.93 A	45.2 V	20.27 A	23.2%
	20%	786 W	38.1 V	20.64 A	45.2 V	22.12 A	25.3%
CS7N-660MB-AG		660 W	38.3 V	17.24 A	45.4 V	18.47 A	21.2%
Bifacial Gain**	5%	693 W	38.3 V	18.10 A	45.4 V	19.39 A	22.3%
	10%	726 W	38.3 V	18.96 A	45.4 V	20.32 A	23.4%
	20%	792 W	38.3 V	20.69 A	45.4 V	22.16 A	25.5%
CS7N-665MB-AG		665 W	38.5 V	17.28 A	45.6 V	18.51 A	21.4%
Bifacial Gain**	5%	698 W	38.5 V	18.14 A	45.6 V	19.44 A	22.5%
	10%	732 W	38.5 V	19.02 A	45.6 V	20.36 A	23.6%
	20%	798 W	38.5 V	20.74 A	45.6 V	22.21 A	25.7%
CS7N-670MB-AG		670 W	38.7 V	17.32 A	45.8 V	18.55 A	21.6%
Bifacial Gain**	5%	704 W	38.7 V	18.20 A	45.8 V	19.48 A	22.7%
	10%	737 W	38.7 V	19.05 A	45.8 V	20.41 A	23.7%
	20%	804 W	38.7 V	20.78 A	45.8 V	22.26 A	25.9%

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.
** Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
CS7N-640MB-AG	480 W	35.2 V	13.64 A	42.2 V	14.77 A
CS7N-645MB-AG	484 W	35.3 V	13.72 A	42.3 V	14.80 A
CS7N-650MB-AG	487 W	35.5 V	13.74 A	42.5 V	14.83 A
CS7N-655MB-AG	491 W	35.7 V	13.76 A	42.7 V	14.86 A
CS7N-660MB-AG	495 W	35.9 V	13.79 A	42.9 V	14.89 A
CS7N-665MB-AG	499 W	36.1 V	13.83 A	43.1 V	14.93 A
CS7N-670MB-AG	502 W	36.3 V	13.85 A	43.3 V	14.96 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 × 1303 × 33 mm (93.9 × 51.3 × 1.30 in)
Weight	37.8 kg (83.3 lbs)
Front Glass	2.0 mm heat strengthened glass with anti-reflective coating
Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 10 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	33 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces or 462 pieces (only for US)

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

ELECTRICAL DATA

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. System Voltage	1500 V (IEC/UL) or 1000 V (IEC/UL)
Module Fire Performance	TYPE 29 (UL 61730) or CLASS C (IEC61730)
Max. Series Fuse Rating	35 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ + 10 W
Power Bifaciality*	70 %

* Power Bifaciality = $Pmax_{rear}$ / $Pmax_{front}$, both $Pmax_{rear}$ and $Pmax_{front}$ are tested under STC, Bifaciality Tolerance: ± 5 %

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION

* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

August 2022. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V2.5_EN

Figura 3.5 – Hoja de datos de paneles fotovoltaicos

En la Tabla 3.2 se describe la distribución de paneles en el parque según su potencia nominal en cada centro de transformación.

Centro de Transformación	Módulo INV	Módulo PV [W]	Strings	Cantidad módulos	Potencia DC [kW]
CTA	A1	660	88 (x32 módulos)	2816	1858.56
	A2	660	85 (x32 módulos)	2720	1795.20
CTB	B1	655	86 (x32 módulos)	2752	1802.56
	B2	660	87 (x32 módulos)	2784	1837.44
CTC	C1	655	84 (x32 módulos)	2688	1760.64
	C2	655	89 (x32 módulos)	2848	1865.44
		Total	**519**	**16608**	**10919.84**

Tabla 3.2 – Distribución de paneles fotovoltaicos

3.4 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Don Óscar cuenta con 3 inversores marca SUNGROW, modelo SG3125HV-MV-30. Los inversores son de 3.125 / 3.437 MVA (@50°C / 45°C) de potencia aparente nominal y sus principales características se presentan en la Figura 3.6.

Type designation	SG3125HV-MV-30	SG3400HV-MV-30
Input (DC)		
Max. PV input voltage	1500 V	
Min. PV input voltage / Startup input voltage	875 V / 915 V	
MPP voltage range	875 – 1300 V	
No. of independent MPP inputs	2	
No. of DC inputs	16 / 18 / 22 / 24 / 28 (max. 24 for floating system)	
Max. PV input current	3997 A	
Max. DC short-circuit current	10000 A	
PV array configuration	Negative grounding or floating	
Output (AC)		
AC output power	3125 kVA @ 50 °C / 3437 kVA @ 45 °C	3437 kVA @ 45 °C
Max. inverter output current	3308 A	
AC voltage range	20 kV – 35 kV	
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz	
Harmonic (THD)	< 3 % (at nominal power)	
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging	
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE	
Efficiency		
Inverter max. efficiency	99.0%	
Inverter European efficiency	98.7%	
Transformer		
Transformer rated power	3125 kVA	3437 kVA
Transformer max. power	3437 kVA	
LV / MV volatage	0.6 kV / (20 – 35) kV	
Trnsformer vector	Dy11	
Transformer cooling type	ONAN (Oil-natural, air-natural)	
Oil type	Mineral oil (PCB free) or degradable oil on request	
Protection & Function		
DC input protection	Load break switch + fuse	
Inverter output protection	Circuit breaker	
AC MV output protection	Circuit breaker	
Surge protection	DC Type I + II / AC Type II	
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes	
Insulation monitoring	Yes	
Overheat protection	Yes	
Q at night function	Optional	
General Data		
Dimensions (W*H*D)	6058 * 2896 * 2438 mm	
Weight	15 T	
Degree of protection	Inverter: IP55 (optional: IP65) / Others: IP54	
Auxiliary power supply	5 kVA (optional: max. 40 kVA)	
Operating ambient temperature range	-35 to 60 °C (> 50 °C derating)	-35 to 60 °C (> 45 °C derating)
Allowable relative humidity range	0 – 100 %	
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling	
Max. operating altitude	1000 m (standard) / > 1000 m (optional)	
Display	Touch screen	
Communication	Standard: RS485, Ethernet; Optional: optical fiber	
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116	
Grid support	Q at night (Optional), L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control	

Figura 3.6 – Hoja de datos de inversores

Se aprecia en la Figura 3.7, que el máximo consumo de potencia en operación es de 4.105 kW en máxima carga y se considerará dicho valor en el cálculo de consumos de Servicios Auxiliares del parque.

SG3125HV		Max self-consumption-in- operation (W)	Standby Consumption (W)
Inverters	Control-power-consumption	312	200
	Fans consumption@full power	3508	0
LV cabinet	Monitoring	15	15
	Light	0	0
	Fans of container activated @>40C ambient Temp.	0	0
	Fans of LV cabinet	64	0
	Aux. transformer 6.4KVA	206	200
Max. in total		**4105**	**415**

Figura 3.7 – Detalle de consumos propios de los inversores.

La curva de capacidad de los inversores cumple con la forma mostrada en la Figura 3.8.

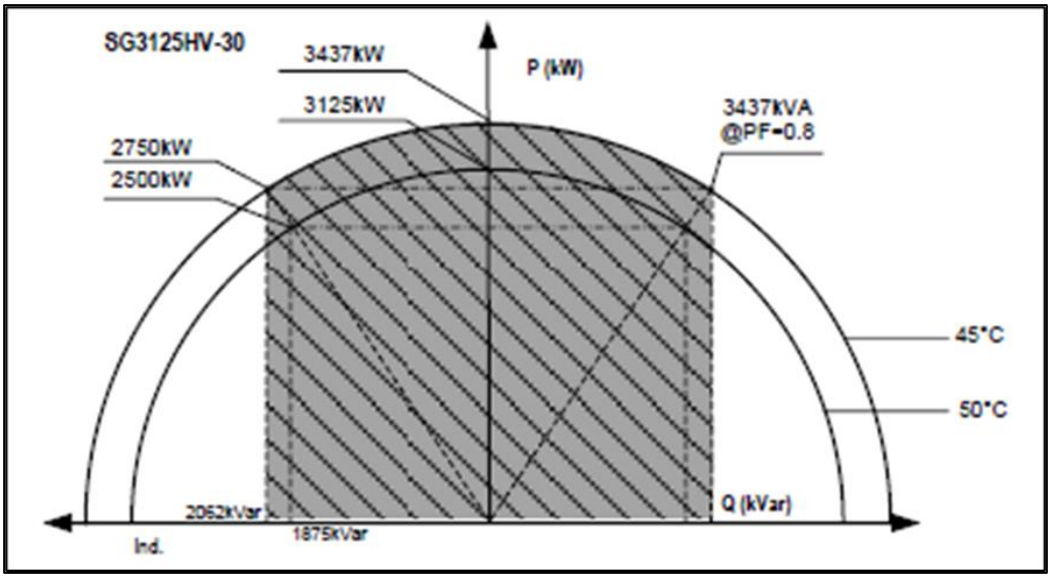


Figura 3.8 – Curva de capacidad de los inversores

3.5 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Fotovoltaico Don Óscar cuenta con 3 transformadores de bloque de dos devanados que permiten la interconexión de un inversor. Su relación de transformación es de 0.6 / 23 kV y de 3.125 MVA de capacidad nominal.

Los datos característicos de los mismos se muestran en la Tabla 3.3.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	3.125 MVA
Refrigeración	ONAN
Tensión nominal lado HV	23 kV
Tensión nominal lado LV	0.6 kV
Grupo de conexión	Dy11
Impedancia	6.71%
Pérdidas en carga	22.34 kW
Pérdidas en vacío	1.859 kW
Posiciones de TAP	±2 x 2.5 %

Tabla 3.3 – Datos de los transformadores de bloque

3.6 Datos de los Consumos de SSAA

Los consumos de servicios auxiliares (SSAA) del Parque Fotovoltaico Don Óscar se determinaron mediante la medición del consumo del parque en el punto de interconexión durante el horario nocturno, cuando los inversores están fuera de servicio.

En la Figura 3.9 se muestra el registro y la media del valor medido corresponde a -0.0073 MW.

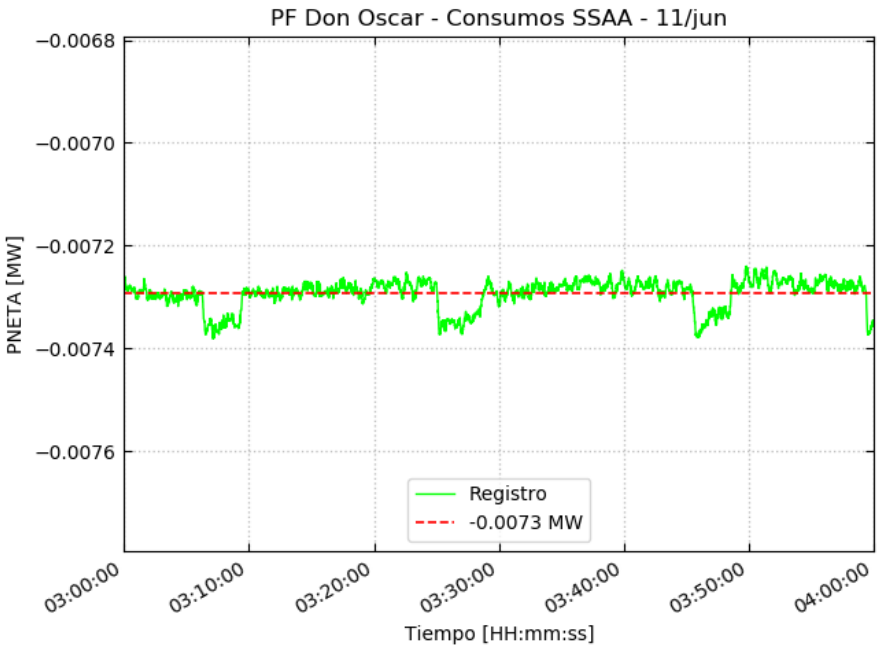


Figura 3.9 – Registro de consumos de SSAA

4 DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

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 las unidades.

Tal como se ha mencionado en el capítulo 2 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y considerando la operación de un **único inversor**.

Para ambas 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 [MW]	Consumos propios [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Don Oscar	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

(1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la sumatoria de potencia bruta medida directamente en bornes de las unidades de generación con sus consumos propios.

(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 la S/E Llanos Blancos 23 kV (POI).

4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 11 de junio de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico de planta completa, es decir, con los 3 inversores del parque en servicio.

En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 0.1501 MW inyectado en el paño de interconexión en 23 kV a la S/E Llanos Blancos.

En tanto, en la Figura 4.2 se muestra el registro de potencia de los inversores (P_{INV}), se aprecia un valor medio de 0.1595 MW totalizando la inyección en bornes de todas las unidades. El valor medio implica un despacho aproximado de 53.2 kW por unidad, en la sección 6.2 se muestra el registro de cada inversor durante la prueba.

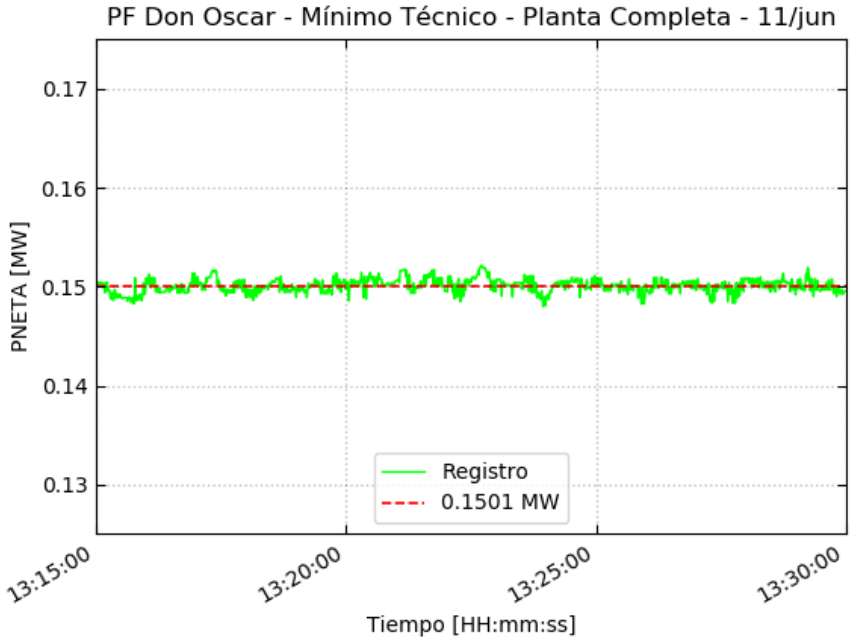


Figura 4.1 – Potencia neta – Planta completa

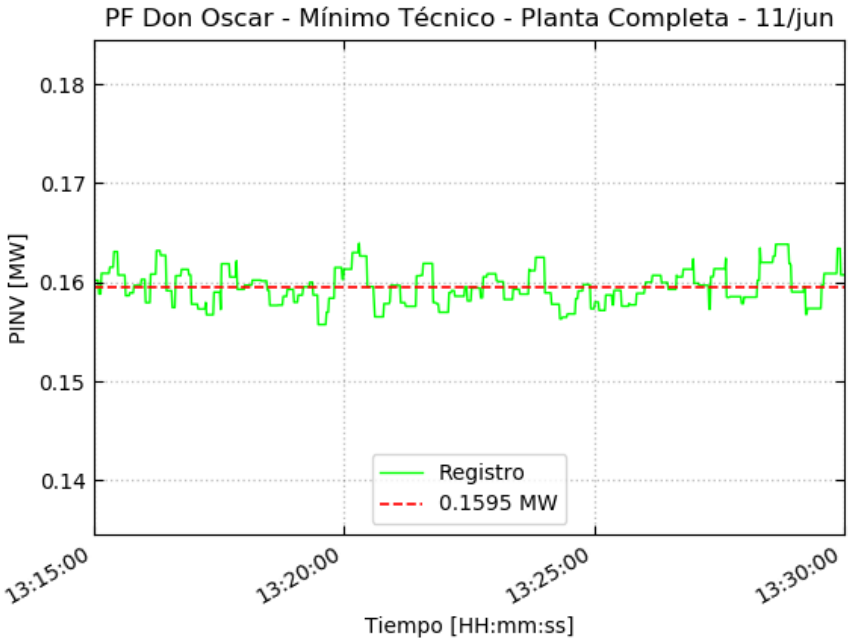


Figura 4.2 Potencia de inversores – Planta completa

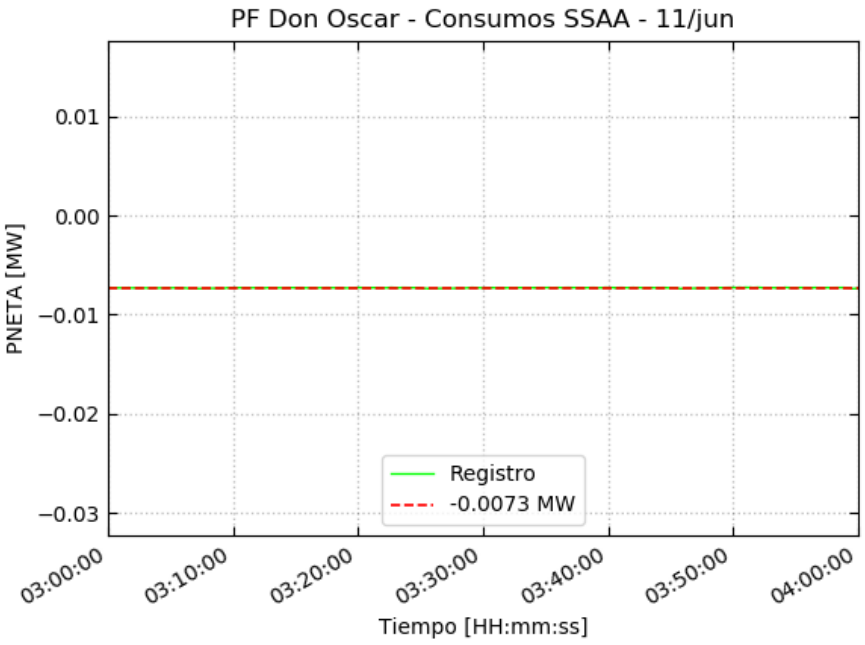


Figura 4.3 – Consumos de SSAA

En las Figura 4.4 y Figura 4.5 puede observarse la temperatura ambiente y la irradiancia que se registraron durante el día completo y en el recuadro **rojo** se remarca las horas 13:15 y 13:30 correspondiente al período de pruebas.

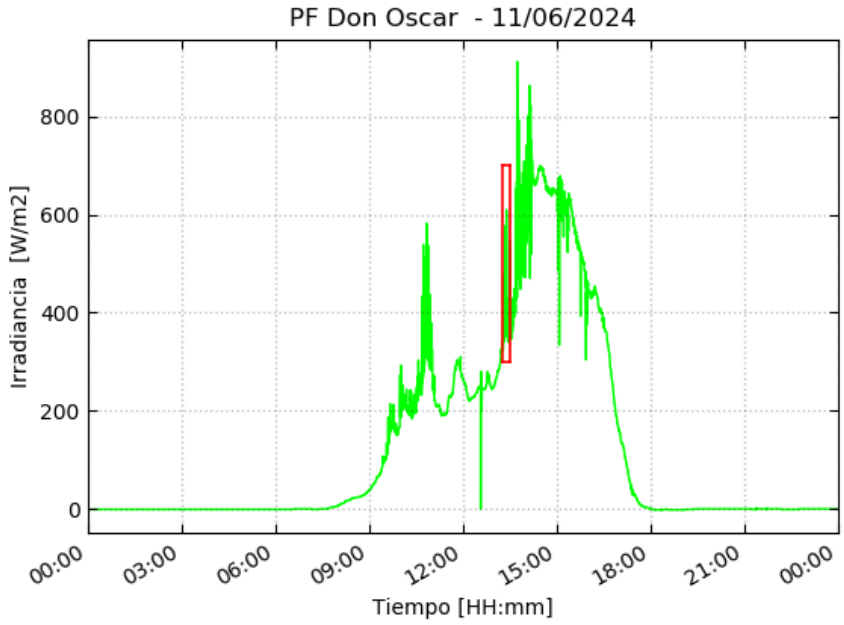


Figura 4.4 – Irradiación POA durante pruebas de mínimo técnico

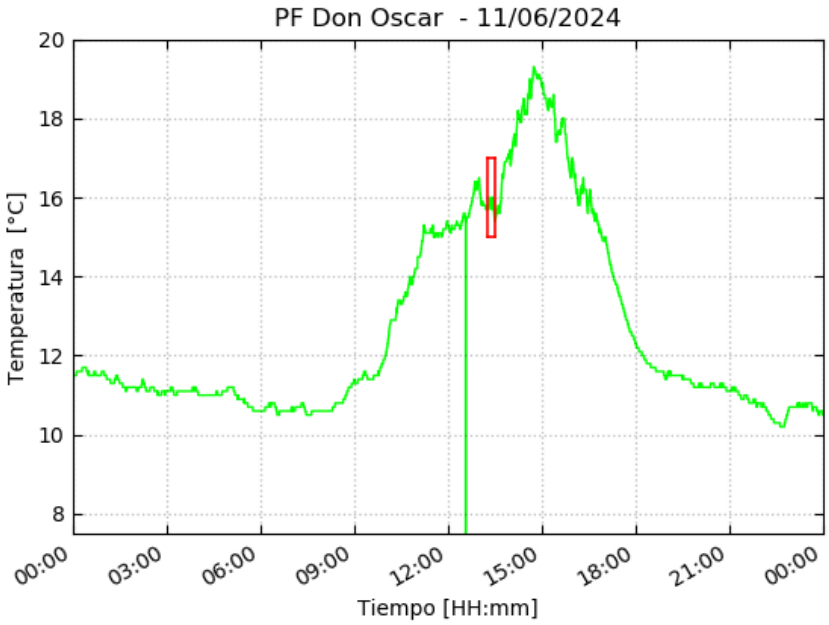


Figura 4.5 – Temperatura ambiente durante pruebas de mínimo técnico

4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.2, se realiza en bornes de los equipos y ya se encuentran descontados los consumos propios del inversor. Estos consumos se estiman en 4.105 kW según se observa en la Figura 3.7. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = P_{INV} + N° \, INV \, x \, Consumos \, propios$$

$$P_{bruta} = 0.1595 \, MW + 3 \, x \, 4.105 \, kW = 0.1718 \, MW$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) 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 Consumos de SSAA registrados en la Sección 3.6.

Según se observa en la Figura 3.7, el consumo interno de cada inversor se estima en 4.105 kW.

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

$$P_{SSAA} = N° \, INV \, x \, Consumos \, Propios + P_{Consumo,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 3 \, x \, 4.105 \, kW + 0.0073 \, MW = 0.0196 \, MW$$

4.1.3 Potencia de Perdidas en la Central

La **Potencia de Perdidas en la Central**, corresponde a las perdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Potencia Máxima, el cálculo de las Perdidas en la central se realiza consideración la diferencia entre la potencia bruta abastecida por cada uno de los inversores del parque y la Potencia Neta Medida (P_{Neta} ver Figura 4.1). Además, se debe considerar el valor de potencia de los servicios auxiliares, registrados en 0.0073 MW.

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

$$P_{perd,central} = P_{INV} - P_{Consumo,SSAA} - P_{Neta}$$

$$P_{perd,central} = 0.1595 \, MW - 0.0073 \, MW - 0.1501 \, MW = 0.0021 \, MW$$

Al no haber un transformador de poder principal, el valor de las pérdidas de media tensión corresponde al total de pérdidas de la instalación, según la siguiente expresión.

$$P_{perd,central} = P_{perd,MT}$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Fotovoltaico Don Óscar corresponde a la potencia inyectada en la barra de 23 kV de la S/E Llanos Blancos (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 0.1501 MW.

$$P_{Neta} = 0.1501\ MW$$

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. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayo del Parque Fotovoltaico Don Óscar considerando el parque completamente operativo.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Don Óscar	0.1718	0.0196	0.0021	0.1501

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Parque Fotovoltaico Don Óscar – Planta completa

4.2 Mínimo Técnico con inversor individual

El día 11 de junio de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando la operación de un único inversor y todos los elementos de red (transformadores y circuitos colectores) del Parque Fotovoltaico Don Óscar en servicio. Para lograr esta condición el operador de turno del parque debe debe dar una orden de detención a los equipos CTA y CTB, y dejar en servicio el inversor del centro de transformación CTC. **La orden de detención se realiza de forma manual**, enviando un comando individualizado a cada equipo desde la consola de operación centralizada. Se aclara que El PPC no cuenta con la capacidad de ir apagando inversores de forma automática y controlada hasta lograr la operación con un inversor individual.

En la Figura 4.6 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 0.0282 MW inyectado en el paño de interconexión en 23 kV a la S/E Llanos Blancos.

En tanto, en la Figura 4.7 se muestra el registro de potencia del inversor (P_{INV}) en servicio, se aprecia un valor medio de 0.0367 MW considerando la inyección en bornes de la unidad.

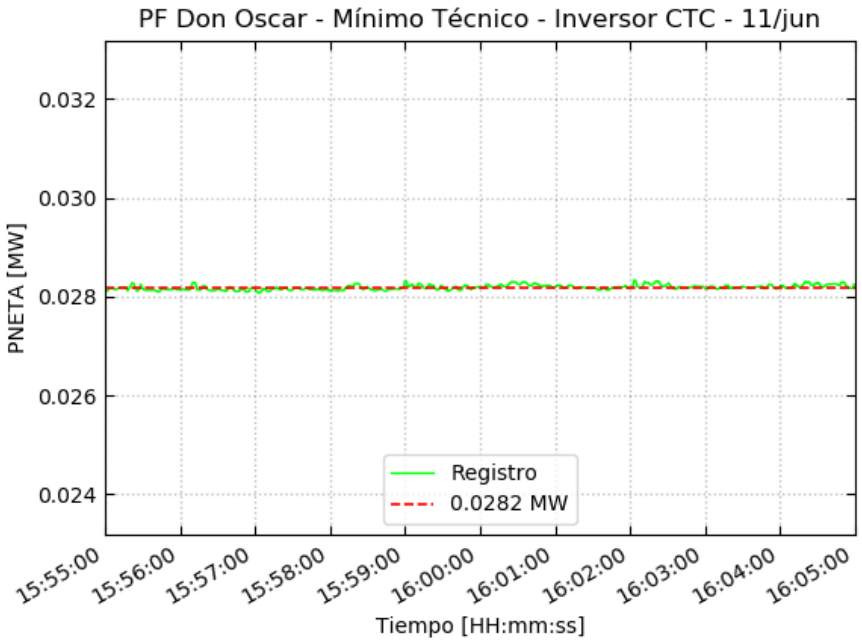


Figura 4.6 – Potencia neta – Inversor individual

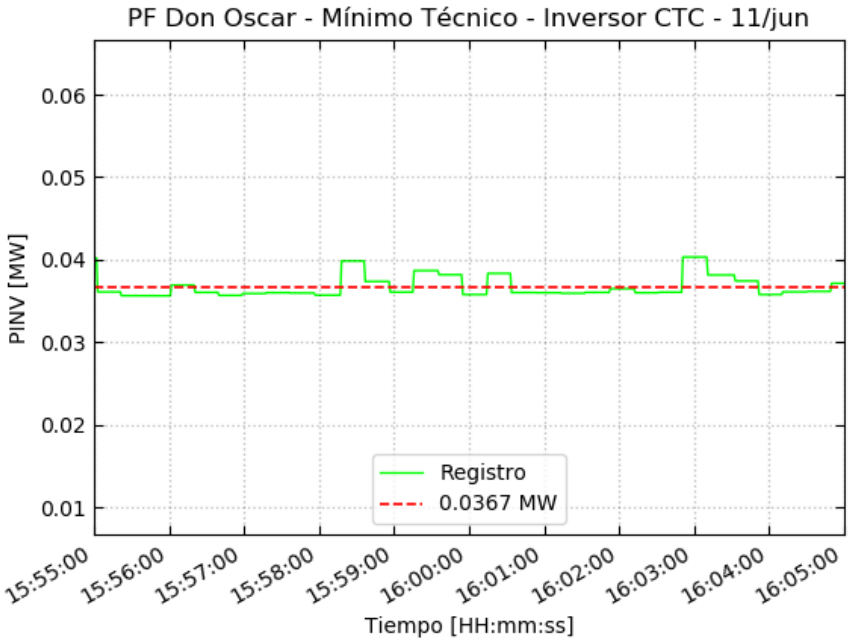


Figura 4.7 – Potencia de inversores – Inversor individual

En las Figura 4.4 y Figura 4.5 puede observarse la temperatura ambiente y la irradiancia que se registraron durante el día completo y en el recuadro **rojo** se remarca las horas 15:55 y 16:05 correspondiente al período de pruebas.

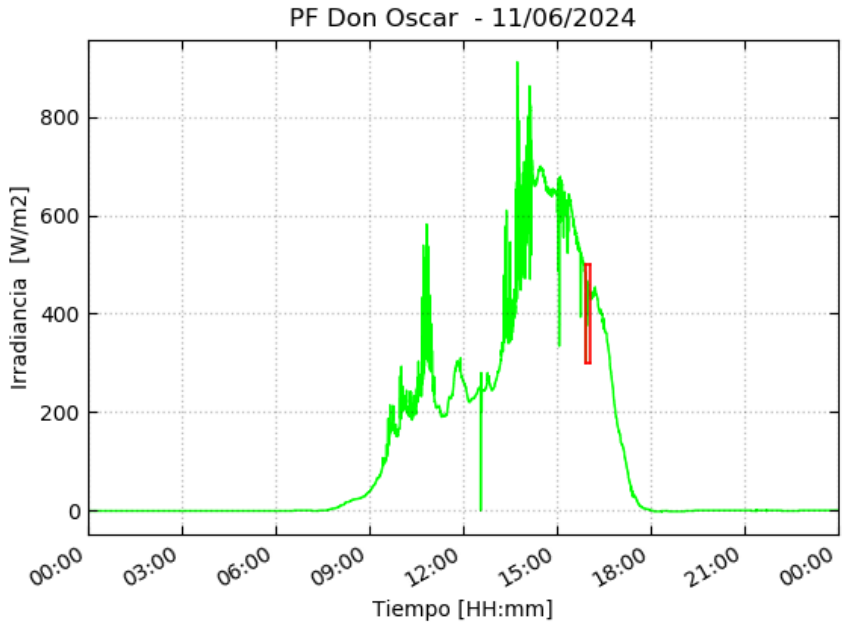


Figura 4.8 – Irradiación POA durante pruebas de mínimo técnico con un inversor operativo

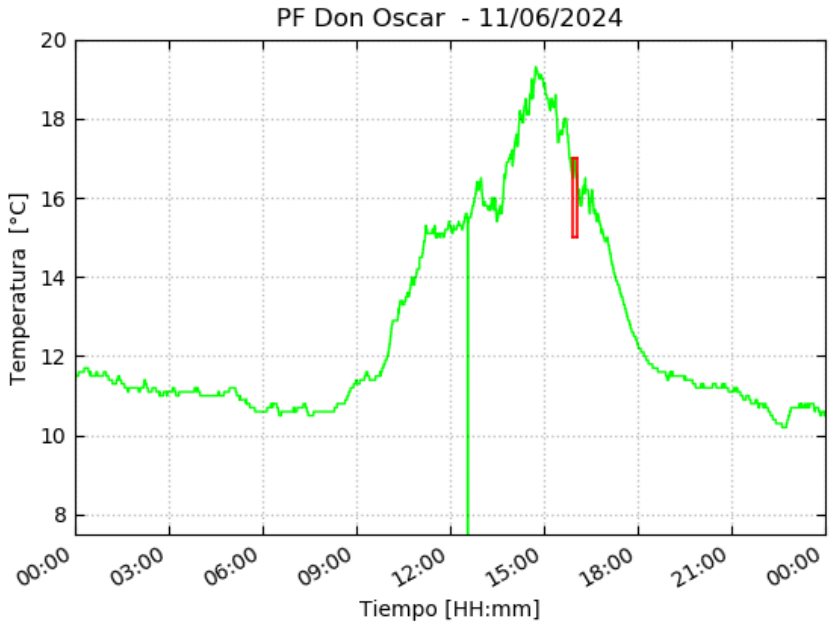


Figura 4.9 – Temperatura ambiente durante pruebas de mínimo técnico con un inversor operativo

4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.7, se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del inversor. Estos consumos se estiman en 4.105 kW según se observa en la Figura 3.7. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = P_{INV} + N° \, INV \; x \; Consumos \; propios$$

$$P_{bruta} = 0.0367 \, MW + 1 \; x \; 4.105 \, kW = 0.0408 \, MW$$

4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores (considerando la única unidad en servicio) más los Consumos de SSAA registrados en la Sección 3.6.

Según se observa en la Figura 3.7, el consumo interno del inversor se estima en 4.105 kW.

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

$$P_{SSAA} = N° \, INV \, x \, Consumos \, Porpios + \, P_{Consumo,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 1 \, x \, 4.105 \, kW + 0.0073 \, MW = 0.0114 \, MW$$

4.2.3 Potencia de Perdidas en la Central

La **Potencia de Perdidas en la Central**, corresponde a las perdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Potencia Máxima, el cálculo de las Perdidas en la central se realiza consideración la diferencia entre la potencia bruta abastecida por cada uno de los inversores del parque y la Potencia Neta Medida (P_{Neta} ver Figura 4.6). Además, se debe considerar el valor de potencia de los servicios auxiliares, registrados en 0.0073 MW.

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

$$P_{perd,central} = \, P_{INV} - P_{Consumo,SSAA} - \, P_{Neta}$$

$$P_{perd,central} = 0.0367 \, MW - 0.0073 \, MW - \, 0.0282 \, MW = 0.0012 \, MW$$

Al no haber un transformador de poder principal, el valor de las pérdidas de media tensión corresponde al total de pérdidas de la instalación, según la siguiente expresión.

$$P_{perd,central} = P_{perd,MT}$$

4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Fotovoltaico Don Óscar corresponde a la potencia inyectada en la barra de 23 kV de la S/E Llanos Blancos (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 0.0282 MW.

$$P_{Neta} = 0.0282\ MW$$

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. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayo del Parque Fotovoltaico Don Óscar considerando un único inversor en servicio.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Don Óscar	0.0408	0.0114	0.0012	0.0282

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Parque Fotovoltaico Don Óscar – Inversor CTC

5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado el valor de **Mínimo Técnico** del Parque Fotovoltaico Don Óscar. Se ha determinado este valor considerando los escenarios de operación de planta completa y también de inversor individual.

Las Tabla 5.1 y Tabla 5.2 resumen los resultados obtenidos.

Tabla 5.1: Parámetros de Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Don Óscar – Parque Completo

Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PFV Don Óscar	0.1718	0.0196	0.0021	0.1501

Tabla 5.2: Parámetros de Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Don Óscar – 1 Inversor en Operación

Central/Unidad	Mínimo Técnico (1) [MW]	SS.AA. (2) [MW]	Pérdidas en la central (3) [MW]	Potencia Mínima Neta (4) [MW]
PFV Don Óscar	0.0408	0.0114	0.0012	0.0282

(1) Considera la operación del parque fotovoltaico con 2 inversores en modo pausa y 1 entregando una potencia activa de 0.0408 MW.
(2) Corresponde a la suma de los SS.AA. Incluye los consumos propios de los inversores y centros de conversión en operación.
(3) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector en media tensión (0.0012 MW) y del transformador de poder (0 MW).
(4) Potencia inyectada en la celda E11 de la barra de 23 kV de S/E Llanos Blancos.

Se destaca que para que el parque llegue al punto de operación de mínimo técnico con un inversor, el operador deberá acceder a la consola de los inversores y dar una orden de **forma manual** para la eventual detención de los equipos ya que el controlador conjunto de planta no cuenta con la capacidad de apagar de forma automática y controlada los inversores hasta lograr la operación con un inversor individual.

6 ANEXOS

6.1 Certificados de calibración de medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

ESTUDIOS ELECTRICOS

Estudios Eléctricos declara que el instrumento:
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.

Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG604	5216-002	11/4/2024

Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:

Instrumento Patrón	Número de Serie:	Ultima calibración	Proxima calibración
VALIJA OKICRON 256-6	HH594R	4/3/2024	4/3/2025

Fecha de evaluación: 11/4/2024
Certificado número: EE-CI-2024-0412

Nombre Inspector: Leiss, Jorge
Firma:

Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning

6.2 Registro de inversores

En la presente sección se muestra el registro de cada inversor para la prueba de Mínimo Técnico con planta completa.

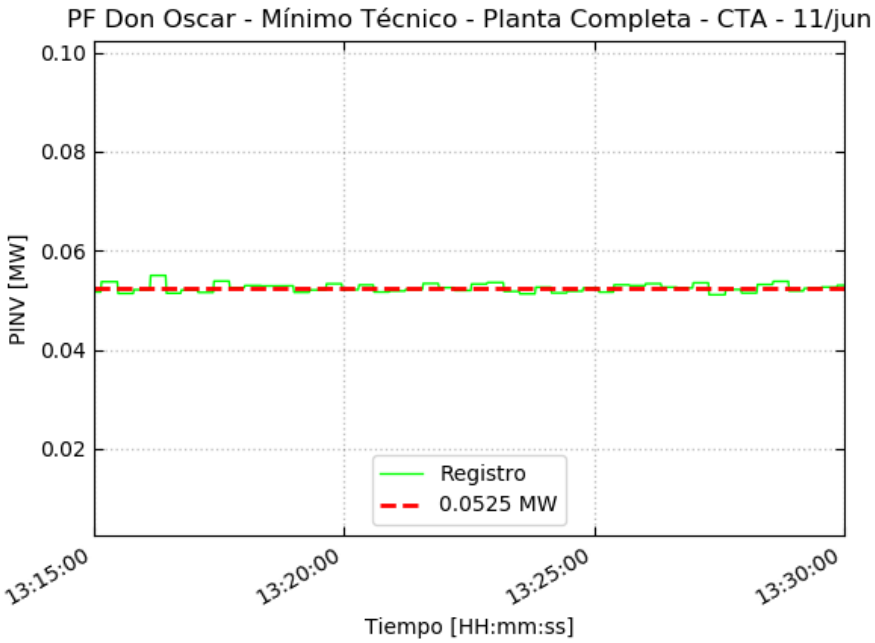


Figura 6.1 – Registro CTA – Planta completa

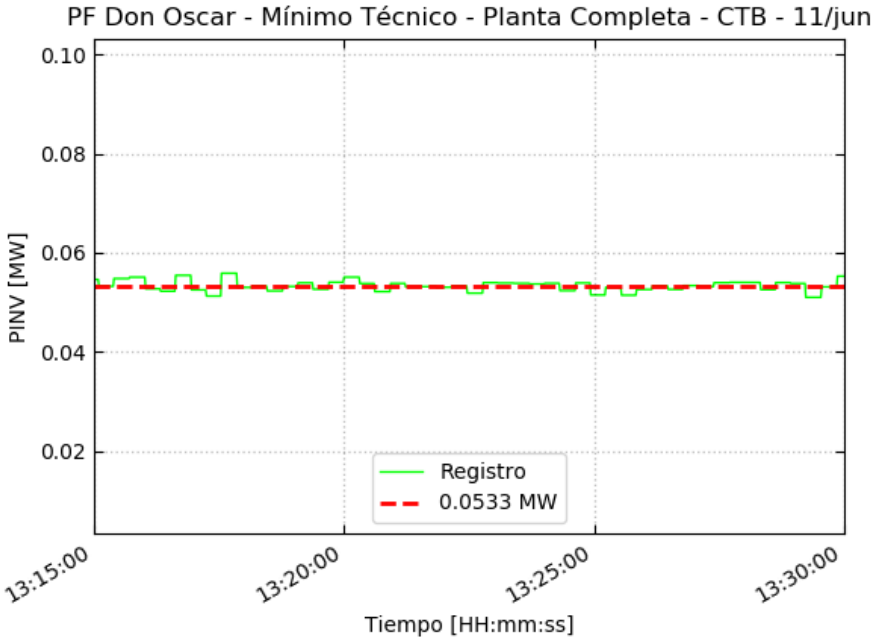


Figura 6.2 – Registro CTB – Planta completa

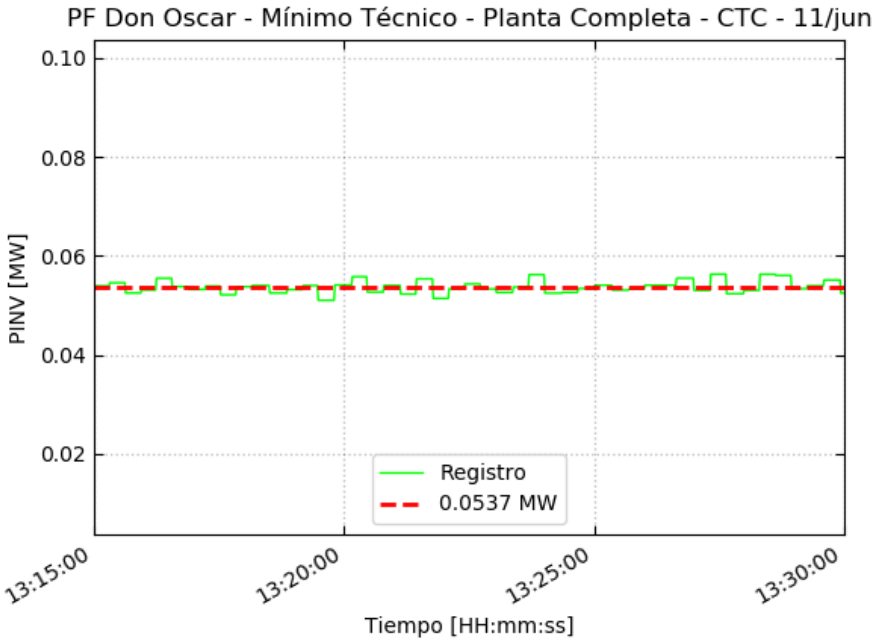


Figura 6.3 – Registro CTC – Planta completa

Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.