



**ESTUDIOS
ELECTRICOS**

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Prime Energía
Chile
Parque Fotovoltaico Lucas
Informe de Potencia Máxima



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-086
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0044
REVISIÓN B

2 abr. 24



Este documento **EE-EN-2024-0044-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 26 páginas y ha sido guardado por última vez el 02/04/2024 por Iñaki Cubillos; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	11.03.2024	Para presentar	CiC	AC	PR
B	02.04.2024	Corrige según observaciones del CEN	NS	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	5
	1.2 Medidores utilizados	5
	1.3 Nomenclatura Utilizada.....	6
2	ASPECTOS NORMATIVOS	8
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	9
	3.1 Diagrama unilineal	9
	3.2 Datos de los paneles fotovoltaicos	12
	3.3 Datos de los inversores	13
	3.4 Datos de los transformadores de bloque.....	15
	3.5 Datos de los Consumos de SSAA.....	16
4	DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	17
	4.1 Ensayo de Potencia Máxima.....	18
	4.1.1 Potencia de Servicios Auxiliares	21
	4.1.2 Potencia Neta	21
	4.1.3 Potencia Bruta	21
	4.1.4 Potencia de Perdidas en la Central.....	22
	4.1.5 Resultados	22
5	CONCLUSIONES	23
6	ANEXOS	24
	6.1 Certificados de calibración de medidores de energía.....	24



1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Fotovoltaico Lucas de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadores”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El Parque Fotovoltaico Lucas, cuenta con una potencia instalada de 9.375 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo. El parque se vincula al SEN mediante una línea de 23 kV y 1.27 km de longitud a la S/E Llanos Blancos.

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados entre los días 22 y el 23 de febrero de 2024.

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 modelo 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 ($\pm 2 \times 2.5\%$).

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. Iñaki Cubillos	22 y 23 de febrero de 20224

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	N° Serie
Adquisidor	Janitza	UMG512 PRO	4201/5361
Adquisidor	EE	16CH	EE-EQ-2009-137

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. Las mismas mediciones se encuentran adquiridas para los dos días de pruebas con una tasa de muestreo de 5 minutos.



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:

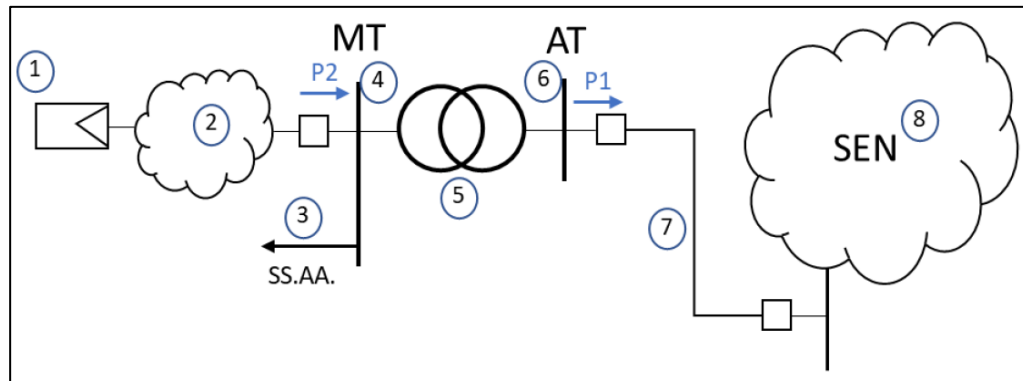


Figura 1-1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico.

- 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).**



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].
- ✓ **P2:** Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) del parque [MW].
- ✓ **Pperd:** Pérdidas de potencia activa en línea de transmisión [MW].
- ✓ **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [kW].
- ✓ **SS.AA.:** Servicios Auxiliares del parque [kW].
- ✓ **Pcolector:** Pérdidas en el sistema colector del parque [kW].
- ✓ **IR:** Irradiancia.
- ✓ **Tamb:** Temperatura ambiente.
- ✓ **Tp:** Temperatura de panel.
- ✓ **Pneta,med:** Potencia neta sin corregir.
- ✓ **Pbruta,med:** Potencia bruta sin corregir.
- ✓ **Pbruta,ir:** Potencia bruta corregida por irradiancia.
- ✓ **Pbruta,corr:** Potencia bruta corregida por irradiancia y temperatura de operación del panel.



2 ASPECTOS NORMATIVOS

El “**Anexo Técnico**: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras” establece las metodologías y procesos para efectuar los ensayos de verificación del máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación.

El **Artículo 39** es el que corresponde considerar para el caso en cuestión debido a que se trata de una central cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación (no hay almacenamiento de energía). Éste establece que el valor de Potencia Máxima deberá ser obtenido a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías, especificándose las metodologías, cálculos y todos los antecedentes y aspectos técnicos usados para la obtención de dicho valor.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Fotovoltaico Lucas, cuenta con una potencia instalada de 9.375 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Coquimbo, Región de Coquimbo. El parque se vincula al SEN mediante una línea de 23 kV y 1.27 km de longitud a la S/E Llanos Blancos.

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 modelo 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 ($\pm 2 \times 2.5\%$).

3.1 Diagrama unilineal

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.

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama unifilar general del Parque Fotovoltaico Lucas. En tanto, en la Figura 3.2 se muestra el detalle de los tres centros de transformación que conforman el parque.

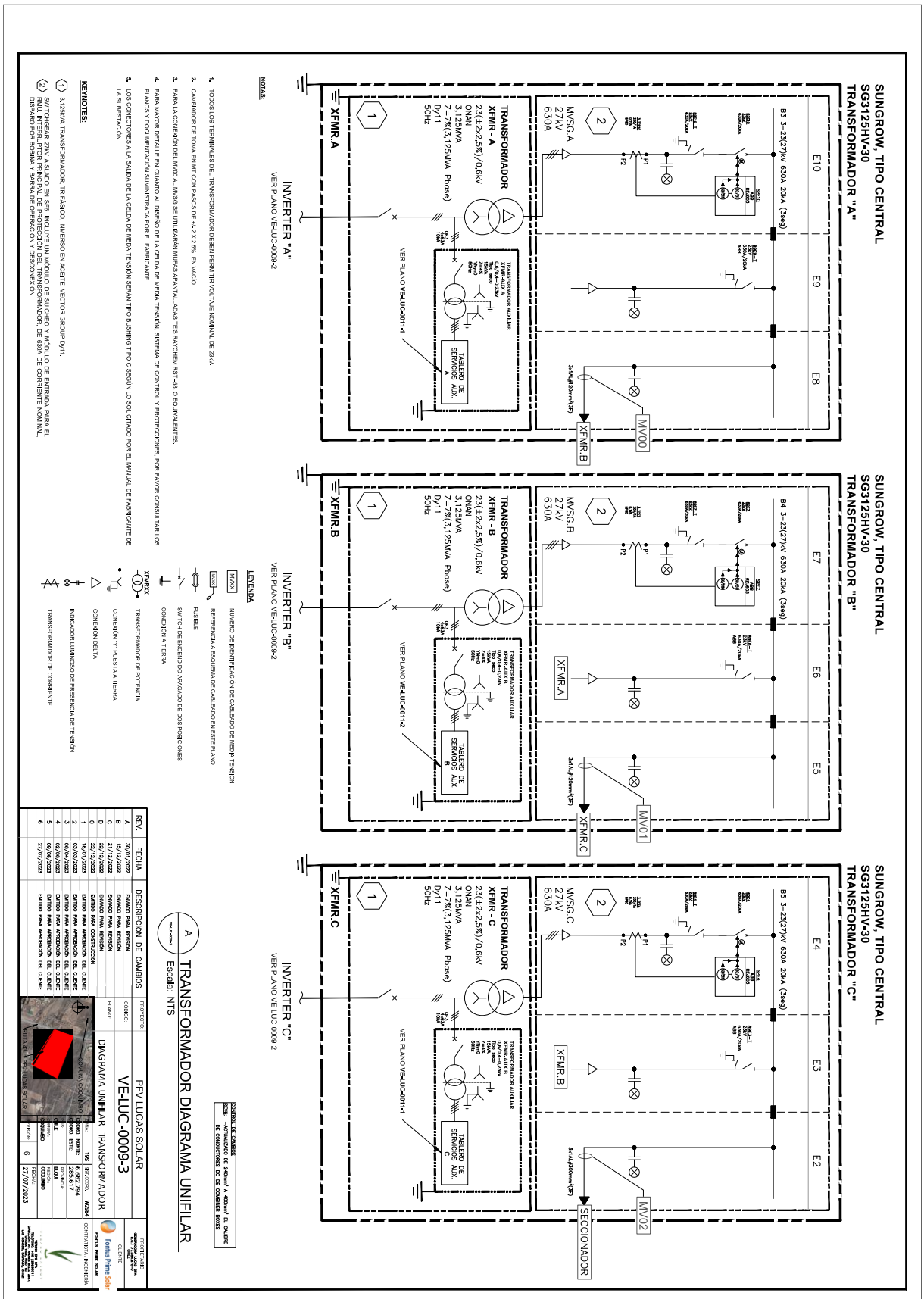


Figura 3.2 – Detalle de los centros de transformación - PFV Lucas



3.2 Datos de los paneles fotovoltaicos

Los paneles del Parque Fotovoltaico Lucas son paneles bifaciales de marca Canadian Solar modelos CS7N660 y CS7N655. El Parque Fotovoltaico Lucas posee una capacidad DC de 10.5 MW DC, a través de sus 16.000 módulos, con una cantidad de 500 Strings de 32 módulos en serie cada uno. Sus principales características se presentan en la Figura 3.3.

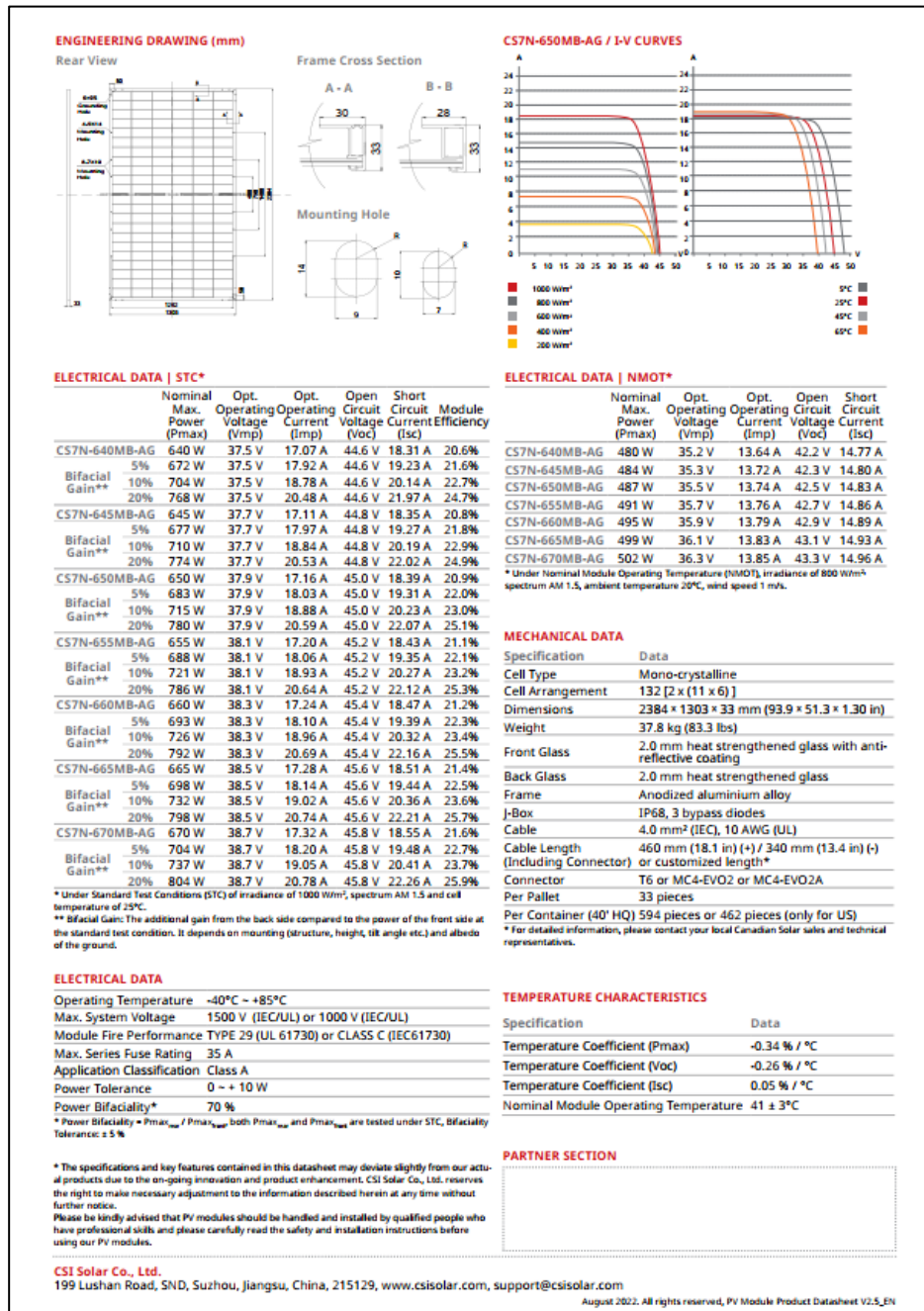


Figura 3.3 – Hoja de Datos – Panel Solar



En la Tabla 3.1 se describe la distribución de paneles en el parque según su potencia nominal.

Modelo	Cantidad Strings	Cantidad módulos	Potencia DC [MW]
CS7N660 - 660W	250 (x32 módulos)	8000	5.28
CS7N655 - 655W	250 (x32 módulos)	8000	5.24
Total	500	16000	10.52

Tabla 3.1 – Distribución Paneles Fotovoltaicos

3.3 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Lucas 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 3.4.

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 voltage	0.6 kV / (20 – 35) kV	
Transformer 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 3.4 – Hoja de Datos – Inversor



Se aprecia en la Figura 3.5 , 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 3.5 - Detalle de consumos propios de los inversores.

La curva de capacidad de los inversores cumple con la forma mostrada en la Figura 3.6.

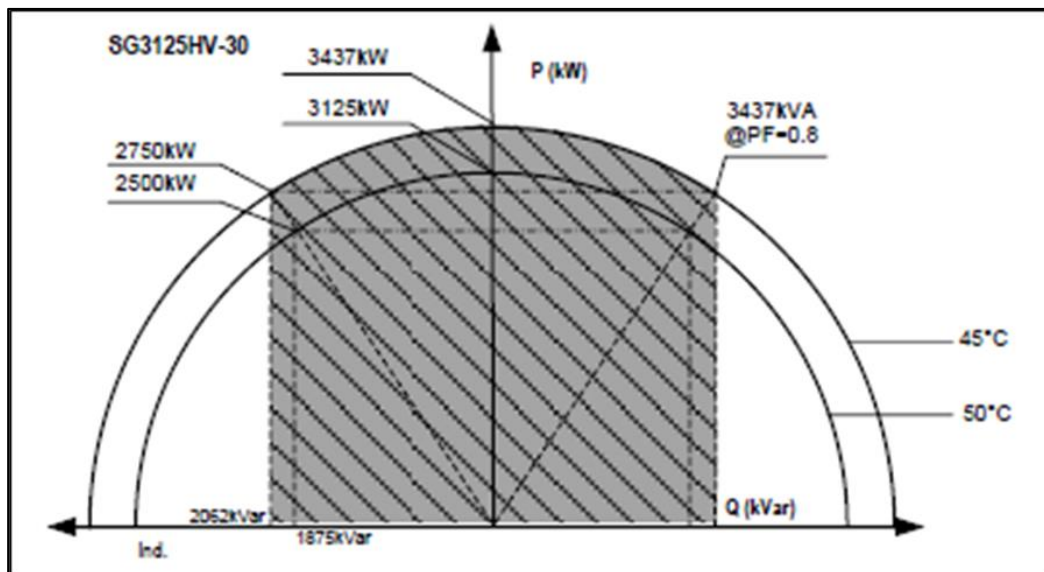


Figura 3.6 – Curva de capacidad del inversor



3.4 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Fotovoltaico Lucas cuenta con tres (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 3.2.

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	1.85 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.2 - Datos de los transformadores de bloque



3.5 Datos de los Consumos de SSAA

Los Consumos de SSAA del Parque Fotovoltaico Lucas se determinaron a través de la medición del proceso de detención del parque, en donde fue posible registrar el valor del consumo cuando los inversores se encuentran apagados, siendo este valor de 0.0065 MW. El registro de estas mediciones se puede observar en la Figura 3.7.

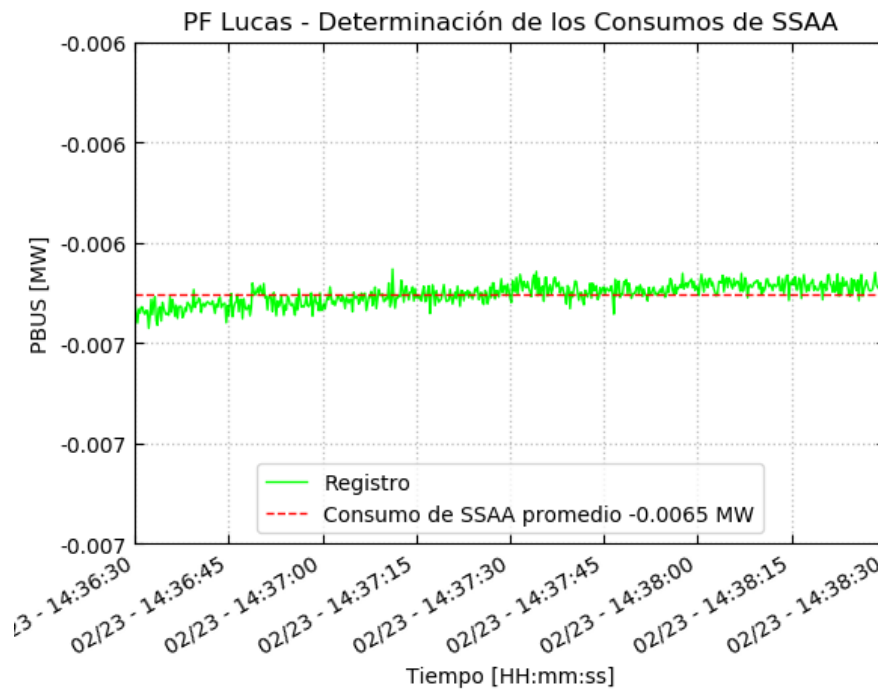


Figura 3.7 – Registro de Consumos de SSAA



4 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

La Potencia Máxima corresponde al máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación y deberá ser obtenido a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.

Para el caso del Parque Fotovoltaico Lucas se cuenta con la medición de la potencia generada por los inversores por medio del sistema de adquisición de datos del PPC y de la Potencia Neta registrada en el POI.

Para la prueba de Potencia Máxima realizada, 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 [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Lucas	(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 la unidad 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 Ensayo de Potencia Máxima

El día 23 de febrero de 2024 se realizó el ensayo de Potencia Máxima con la totalidad de los inversores y elementos de red del Parque Fotovoltaico Lucas en servicio.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 4.1 se muestra la potencia neta medida (P_{Neta}) en el periodo de pruebas y en la Figura 4.2 se muestra la potencia sumada medida de todos los inversores (P_{INV}). Se observa que el valor registrado como potencia de inversores equivale a un despacho aproximado de 3.035 MW por cada unidad.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de temperatura de panel y en la Figura 4.4 se muestra el registro de irradiancia perpendicular a los paneles ($I_{r_{med}}$).

Finalmente, en la Figura 4.5 se muestra el registro de irradiancia del día completo del ensayo de Potencia Máxima, enmarcando el período de prueba efectiva.

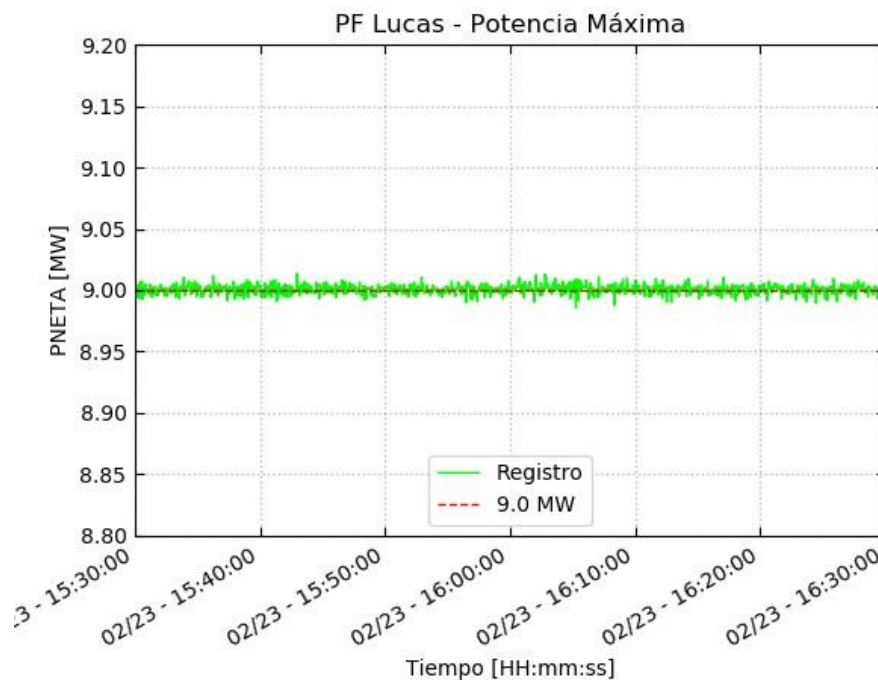


Figura 4.1 – Ensayo de Potencia Máxima – Potencia neta

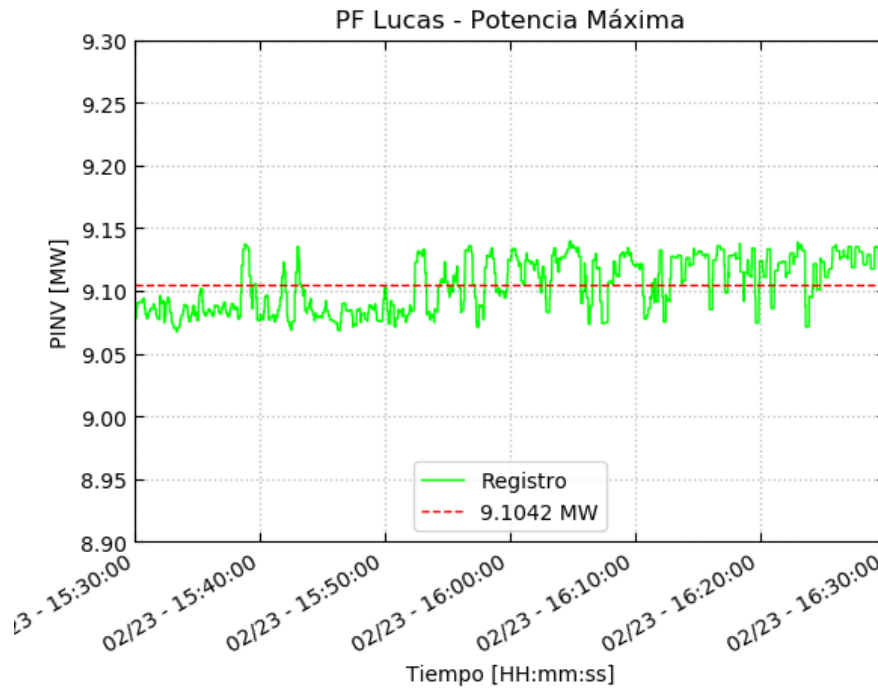


Figura 4.2 – Ensayo de Potencia Máxima – Potencia de inversores

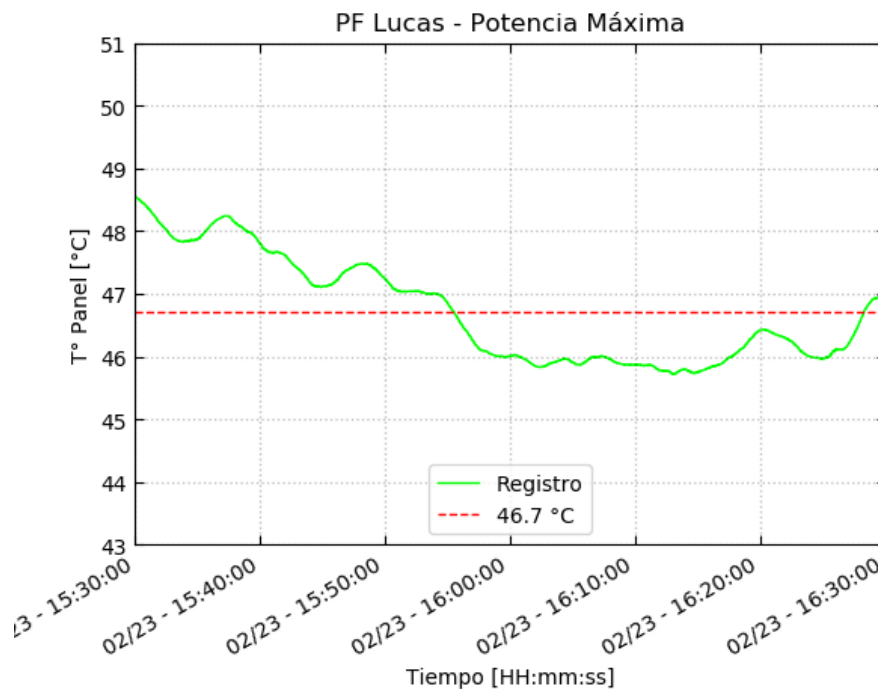


Figura 4.3 – Ensayo de Potencia Máxima – Temperatura de panel

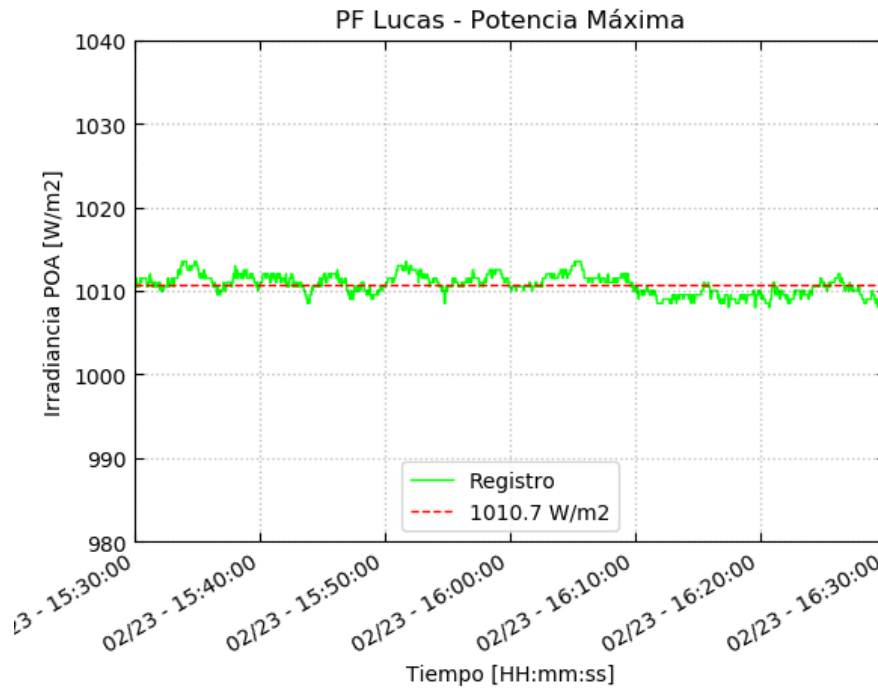


Figura 4.4 – Ensayo de Potencia Máxima – Irradiancia POA

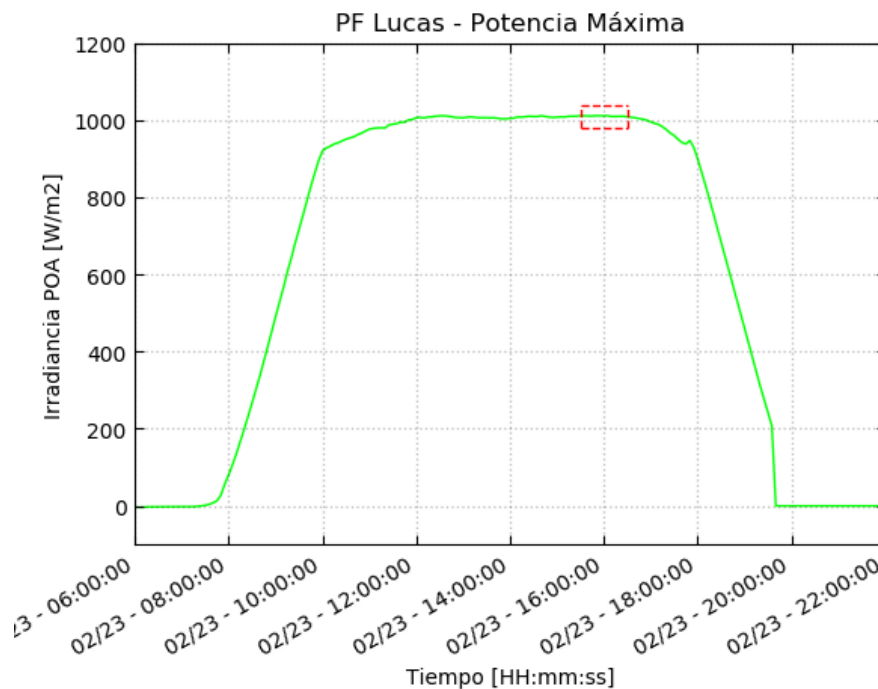


Figura 4.5 – Ensayo de Potencia Máxima – Irradiancia día completo



4.1.1 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 3.5 .

Según se observa en la Figura 3.5, 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**.

$$P_{SSAA} = N^{\circ} INV \times \text{Consumos Propios} + P_{\text{Consumo,SSAA}}$$

$$P_{SSAA} = 3 \times 4.105 \text{ kW} + 0.0065 \text{ MW} = 0.0188 \text{ MW}$$

$$P_{SSAA} = 0.0188 \text{ MW}$$

4.1.2 Potencia Neta

La **Potencia Neta** máxima del Parque Fotovoltaico Lucas corresponde a la potencia inyectada en la barra de 23 kV de la S/E Llanos Blancos (POI).

$$P_{\text{Neta}} = 9.0000 \text{ MW}$$

4.1.3 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.2, 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 3.5. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{\text{bruta}} = 9.1042 \text{ MW} + 3 \times 4.105 \text{ kW} = 9.1165 \text{ MW}$$

$$P_{\text{bruta}} = 9.1165 \text{ MW}$$



4.1.4 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 considerando 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 0.0065 MW.

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

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

$$P_{perd,central} = 9.1042 \text{ MW} - 0.0065 \text{ MW} - 9.0000 \text{ MW} = 0.0977 \text{ MW}$$

$$P_{perd,central} = 0.0977 \text{ MW}$$

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.

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

4.1.5 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 Lucas.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Lucas	9.1165	0.0188	0.0977	9.0000

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Fotovoltaico Lucas – Resumen de Cálculos

Según se observa en la Tabla 4.2 la **Potencia Bruta Máxima Ensayada** calculada está dentro de lo esperado en base a los registros de potencia disponibles de los inversores.



5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado la Potencia Máxima del Parque Fotovoltaico Lucas.

Se demuestra que la central posee una potencia bruta máxima de 9.1165 MW resultando en una inyección de 9.0 MW en el POI.

La Tabla 5.1 resume los resultados obtenidos.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Lucas	9.1165	0.0188	0.0977	9.0000

Tabla 5.1 – Potencia Máxima – Parque Fotovoltaico Lucas



6 ANEXOS

6.1 Certificados de calibración de medidores de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
 ESTUDIOS ELECTRICOS			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:			
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración	
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	9/5/2023	
<p>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.</p> <p>Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:</p>			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Ultima calibración	Próxima calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/10/2021	29/10/2024
Fecha de evaluación: 9/5/2023		Nombre Inspector: Leiss, Jorge	
Certificado número: EE-CI-2023-0604		Firma: 	



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
Adquisidor CIRION J 16CH	EE-EQ-2009-137	10/05/2023

Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:

Instrumento Patrón	Número de Serie:	Ultima calibración	Próxima calibración
OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/10/2021	29/10/2024

Fecha de evaluación: 10/5/2023
Certificado número: EE-CI-2023-0607

Nombre Inspector: Leiss, Jorge

Firma:

Power System Studies & Power Plant Field
Testing and Electrical Commissioning



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.