

Empresa: Colbún S.A.

País: Chile

Proyecto: PMG PFV Machicura

Descripción: Informe de Potencia Máxima

Código de Proyecto: EE-2021-103

Código de Informe: EE-EN-2022-1192

Revisión: A



30 de septiembre de 2022



Este documento EE-EN-2022-1192-RA fue preparado para Colbún S.A. 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 34 páginas y ha sido guardado por última vez el 30/09/2022 por César Colignon, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	30-09-2022	Para presentar.	NS/CiC	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	Nomenclatura y observaciones generales	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	8
3.1	Unilineales y planos.....	8
3.2	Datos de los paneles solares	10
3.3	Datos de los inversores	12
3.3.1	SMA SUNNY Central SC-4600-UP	12
3.3.2	Huawei SUN2000-185KTL-H1	14
3.4	Datos del transformador de bloque.....	16
3.4.1	Centro de transformación N°1	16
3.4.2	Centros de transformación N°2, N°3 y N°4	17
3.5	Determinación de consumos de SSAA de planta	18
4	DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	20
4.1	Ensayo de Potencia Máxima	21
4.2	Correcciones y resultados	24
4.2.1	Potencia Bruta	24
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	25
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	26
4.2.4	Potencia Neta	27
4.2.5	Resumen de cálculos	28
5	CONCLUSIONES	29
6	ANEXOS	30
6.1	Determinación de condiciones meteorológicas de sitio	30
6.2	Certificado de calibración de medidores de potencia neta	32



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del PMG PFV Machicura 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 PMG PFV Machicura se ubica en la región del Maule, emplazado en la comuna de Colbún, y tiene una potencia instalada de 9.225 MVA distribuidos en 1 inversor SMA modelo SUNNY Central SC-4600-UP de 4.6 MVA y 25 inversores marca HUAWEI modelo SUN2000-185KTL-H1 con capacidad 185 kVA. El parque se vincula al SEN por medio de un *tap-off* sobre la línea de doble circuito que alimenta los servicios auxiliares de Central Machicura proveniente desde la barra de servicios auxiliares de Central Colbún.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

<i>Personal</i>	<i>Fecha de ensayo</i>
Ing. Rocío Pulido	12 de septiembre de 2022
Ing. Nicolás Silva	

1.2 Medidores utilizados

<i>Denominación</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Precisión</i>
Analizador de energía	Janitza	UMG 512	±0.2%
Analizador de energía	Janitza	UMG 604	±0.2%

Tabla 1.1 – Equipos utilizados.

Además de lo mostrado en la Tabla 1.1, se cuenta con datos complementarios del sistema controlador de planta adquiridos mediante el SCADA de la central. Se cuenta con mediciones del inversor SMA cada 5 segundos, y medidas de todos los inversores HUAWEI y estaciones meteorológicas adquiridas con una tasa de muestreo de 5 minutos.



1.3 Nomenclatura y observaciones generales

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

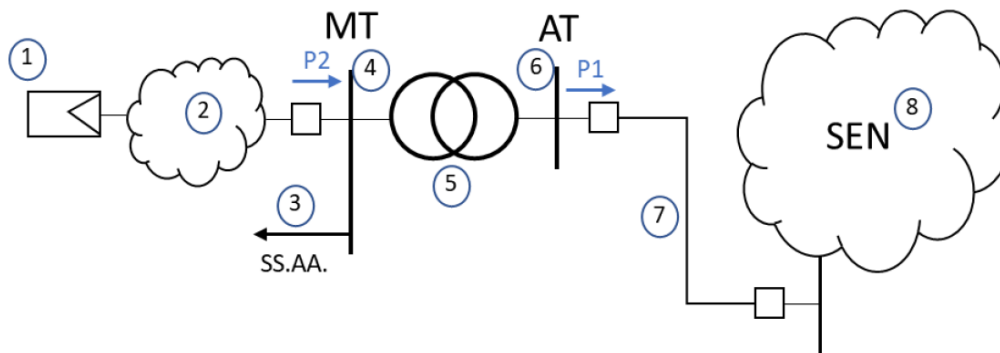


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico.

- 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] (ver número “7” en Figura 1.1).
- ✓ **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] (ver número “2” en Figura 1.1).
- ✓ **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 PMG PFV Machicura cuenta con una potencia aparente instalada de 9.225 MVA y se encuentra ubicado en la región del Maule, a un costado del lago Machicura. El parque se vincula al SEN mediante dos *tap-off* sobre la línea de doble circuito que alimenta los servicios auxiliares de Central Machicura proveniente desde la barra de servicios auxiliares de Central Colbún.

El parque está constituido por 26 inversores, 25 de estos inversores son marca Huawei modelo SUN2000-185KTL-H1 de 185 kVA de potencia aparente nominal y 800 V de tensión nominal. El inversor restante, es marca SMA y modelo SC-4600-UP de 4600 kVA de potencia aparente nominal y 690 V de tensión nominal.

Los 25 inversores Huawei se distribuyen en 3 centros de transformación, donde el primero de ellos (CT-2) agrupa 9 inversores y los dos restantes (CT-3 y CT-4) concentran la producción de 8 inversores cada uno. Estos transformadores tienen una capacidad de 1600 kVA y una relación de transformación de 0.8 kV / 13.8 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$).

En tanto, el inversor SMA tiene asociado un transformador de 4600 kVA de capacidad y una relación de transformación de 0.69 kV / 13.8 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$).

La red colectora está dividida en 2 circuitos colectores. El primero de ellos conecta los 3 centros de transformación que agrupan los inversores Huawei y el segundo circuito evacúa la energía del inversor SMA.

3.1 Unilineales y planos

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal del parque fotovoltaico y su conexión mediante los dos circuitos colectores sobre la línea de doble circuito proveniente de los SSAA de Central Colbún.

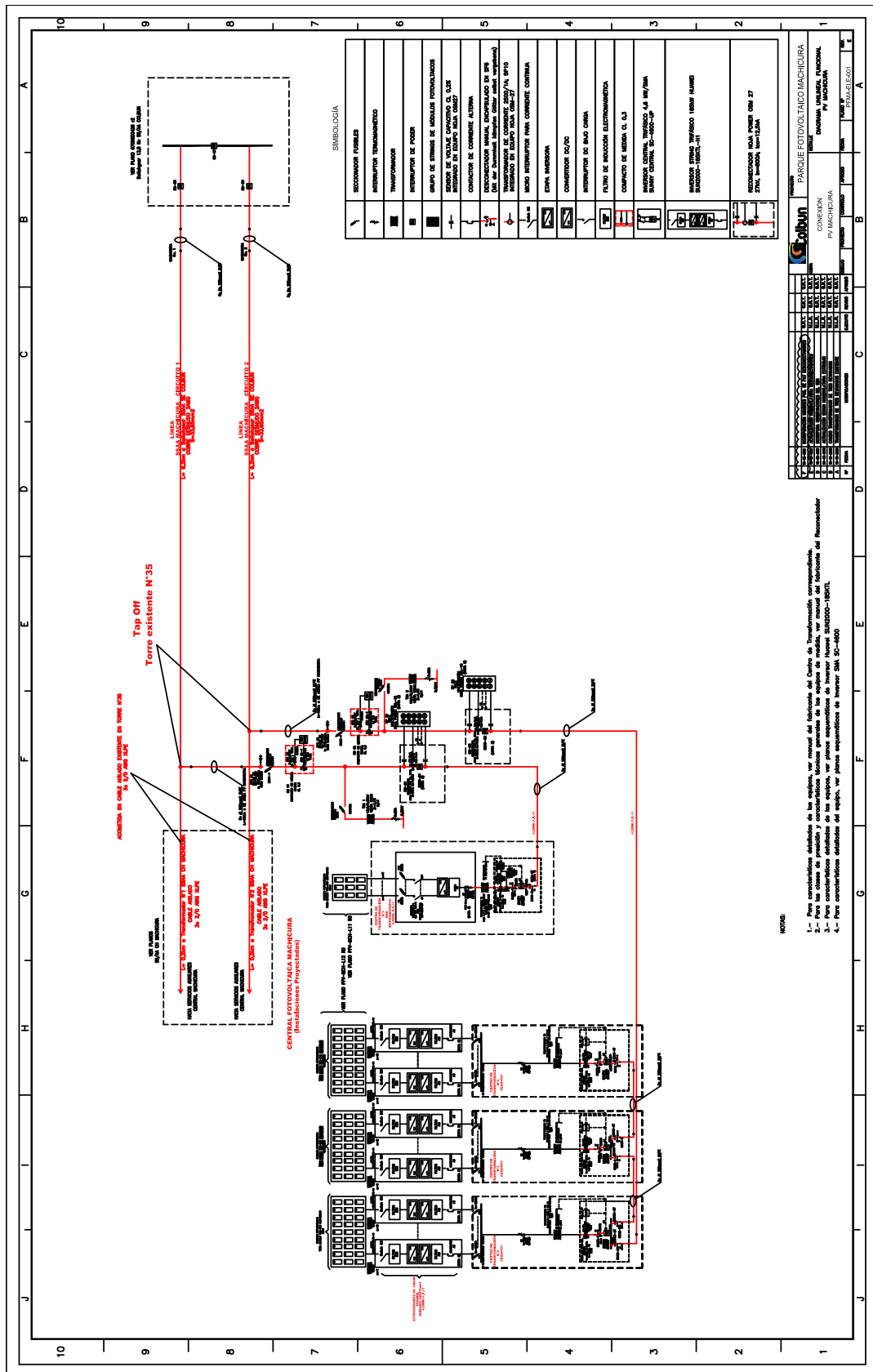


Figura 3.1 – S/E Castilla – Punto de interconexión – PMG PFV Machicura



3.2 Datos de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos del PMG PFV Machicura son de marca Trinasolar modelo Vertex TSM-490DEG18MC.20y TSM-495DEG18MC.20. Sus principales características se presentan en la Figura 3.2.

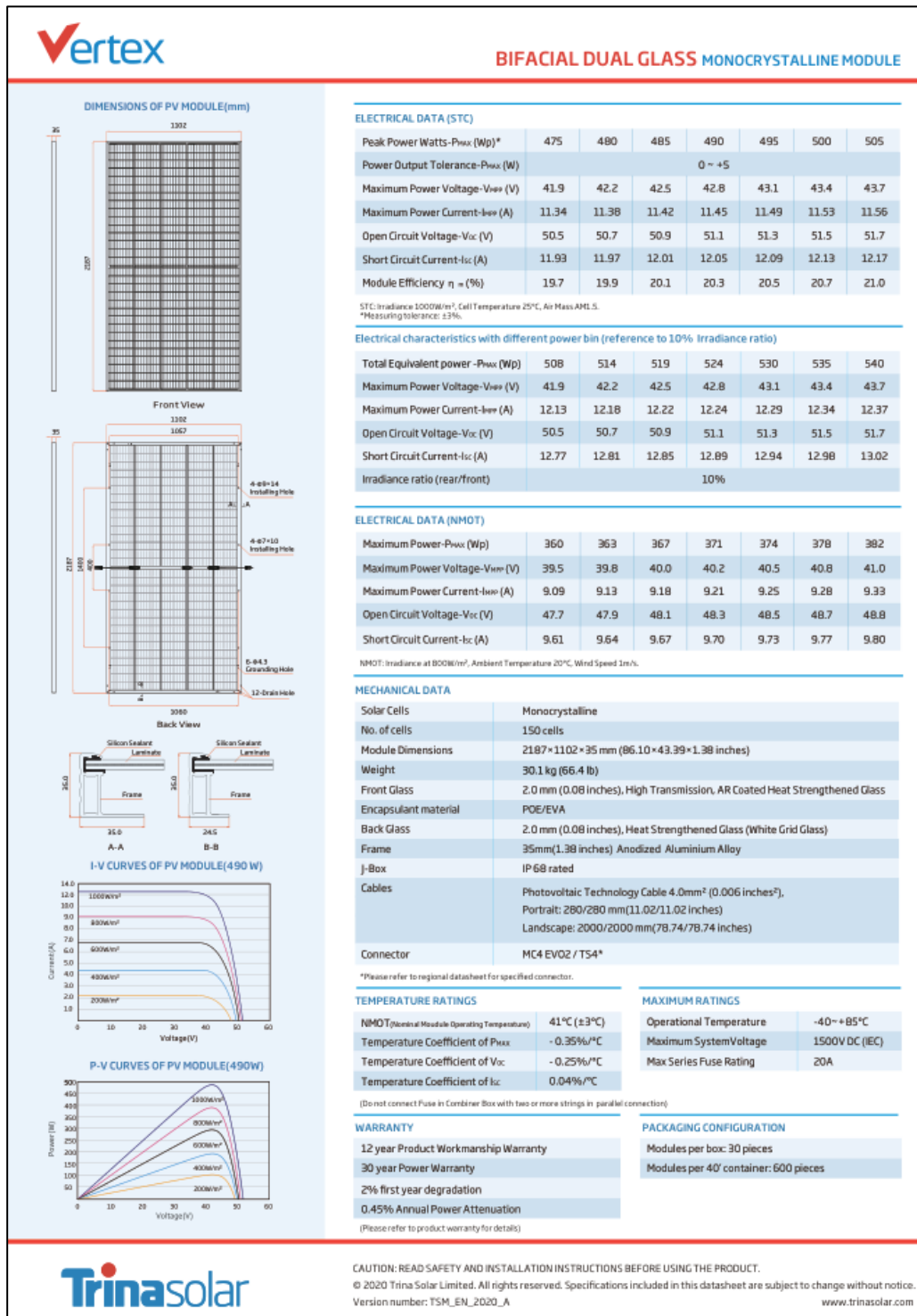


Figura 3.2 – Datos de paneles Trinasolar Vertex TSM-DEG18MC.20



El parque cuenta con un total 6534 paneles TSM-490DEG18MC.20 y 15390 paneles TSM-495DEG18MC.20. Considerando lo anterior, el PMG PFV Machicura cuenta con una capacidad instalada de 10819.71 kWp en corriente continua. A continuación, se presenta la distribución de paneles por bloque.

Cabe destacar que considerando la potencia en instalada en AC de 9225.0 kW se obtiene una relación DC/AC de 1.173.

Bloque	Inversores (cantidad)	Potencia módulos	Cantidad	Potencia DC [kWp]
1	SMA (1)	495	10935	5412.82
2	Huawei (25)	495	4455	2205.23
		490	6534	3201.66
		Total	21924	10819.71

Tabla 3.1 – Distribución de paneles solares



3.3 Datos de los inversores

3.3.1 SMA SUNNY Central SC-4600-UP

El PMG PFV Machicura también cuenta con 1 inversor marca SMA, modelo SUNNY Central SC-4600-UP. Posee una potencia nominal de 4600 kVA sus principales características se muestran en la Figura 3.3.

DATA TABLE		
DESCRIPTION	DATA	VALUE/DETAIL
		MVPS-4600-S2-10
Inverter Model	SC UP	Sunny Central 4600 UP
Inverter A.C. Voltage Output	$V_{AC,INV}$	690 V
Medium Voltage Transformer _Rated Power	$A_{@25^{\circ}C}$	4600 kVA
	$A_{@50^{\circ}C}$	4140 kVA
Medium Voltage Transformer _Rated Ratio	V_{MV}/V_{LV}	$V_{MV}/690$ V

Figura 3.3 – Parámetros nominal del inversor SMA SC-4600-UP

En la Figura 3.4 se muestra la curva de consumos propios del inversor en función de la potencia DC disponible. Cabe destacar que el valor de consumos auxiliares en alta carga es de aproximadamente 7.5 kVA.

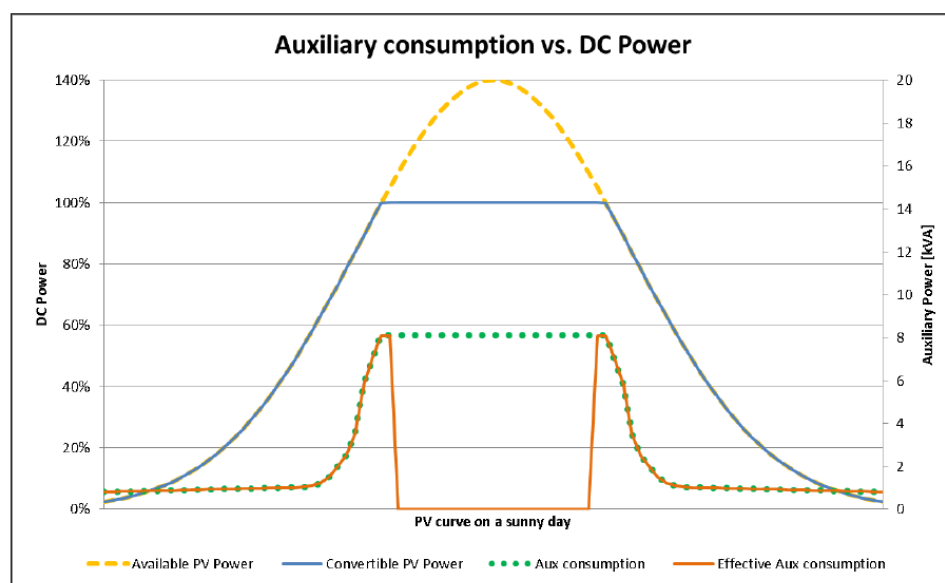


Figura 3.4 – Consumos internos de inversor



Las Figura 3.5 y la Figura 3.6 muestran las curvas de capacidad para $U > 1.0$ p.u. y $U = 0.95$ p.u., del inversor SMA SC4600UP, respectivamente.

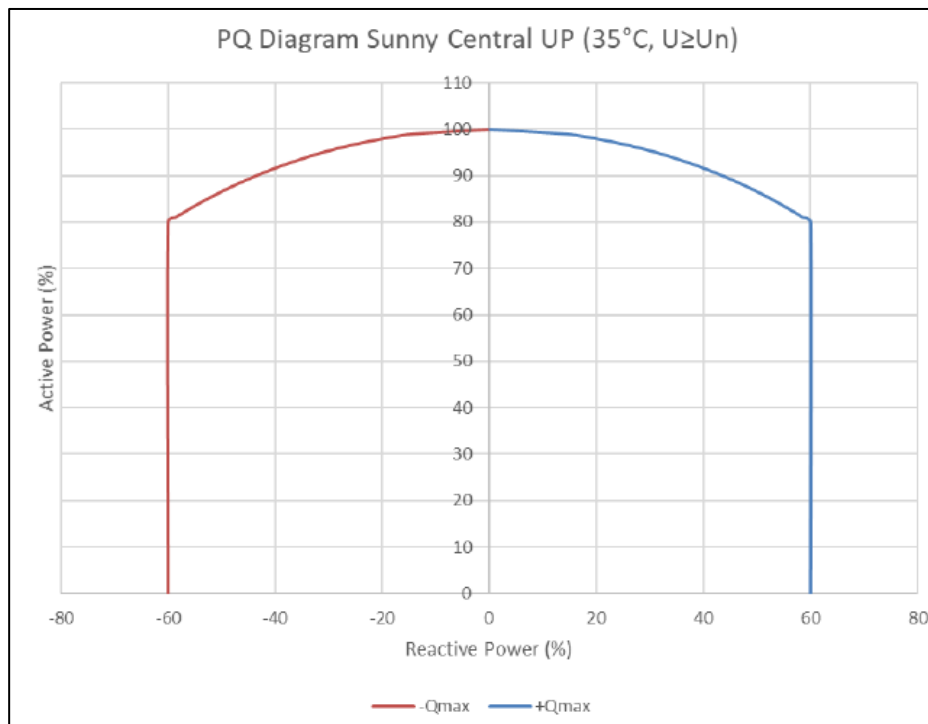


Figura 3.5 – Curva de capacidad del inversor SMA SC-4600-UP – $U = 1.00$ p.u.

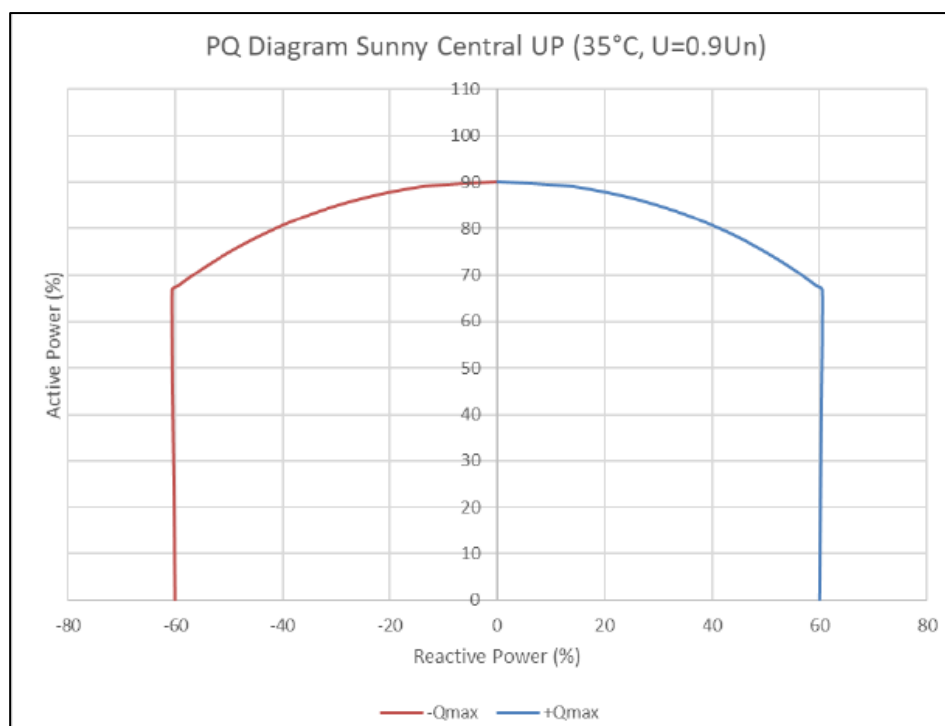


Figura 3.6 – Curva de capacidad del inversor SMA SC-4600-UP – $U = 0.9$ p.u.



3.3.2 Huawei SUN2000-185KTL-H1

El PMG PFV Machicura cuenta con 25 inversores marca Huawei, modelo SUN2000-185KTL-H1. Los mismos poseen una potencia nominal de 185 kVA cada uno y sus principales características se muestran en la Figura 3.7.

Model	SUN2000-168KTL-H1	SUN2000-175KTL-H0	SUN2000-185KTL-H1	SUN2000-185KTL-INH0
d.c. Max. Input Voltage:	1500V	1500V	1500V	1500V
d.c. Max. Input Current:	9 x 26A	9 x 26A	9 x 26A	9 x 26A
Isc PV:	9 x 40A	9 x 40A	9 x 40A	9 x 40A
MPP Voltage Range:	500V – 1500V	500V – 1500V	500V – 1500V	500V – 1500V
a.c. Output Nominal Voltage:	3~, 800V	3~, 800V	3~, 800V	3~, 800V
a.c. Nominal Operating Frequency:	50Hz / 60Hz	50Hz	50Hz / 60Hz	50Hz / 60Hz
a.c. Max. Output Current:	122,5A	140,7A	134,9A	134,9A
a.c. Rated Output Power:	150kW	175kW	175kW	160kW
a.c. Max. Output Power:	168kVA	193kVA	185kVA	185kVA
Power Factor:	0,8 leading ... 0,8 lagging	0,8 leading ... 0,8 lagging	0,8 leading ... 0,8 lagging	0,8 leading ... 0,8 lagging
Protection Class:	Class I	Class I	Class I	Class I
Ingress Protection:	IP65	IP65	IP65	IP65
Overtoltage Category:	II(PV), III(MAINS)	II(PV), III(MAINS)	II(PV), III(MAINS)	II(PV), III(MAINS)
Operating Temperature Range:	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C	-25°C ... +60°C

Figura 3.7 – Hoja de datos del inversor Huawei SUN2000-185KTL-H1

Los inversores Huawei son del tipo “String Inverter” y en este tipo de equipos los consumos internos son de carácter despreciable.



La Figura 3.8 muestra la curva de capacidad de los inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1.

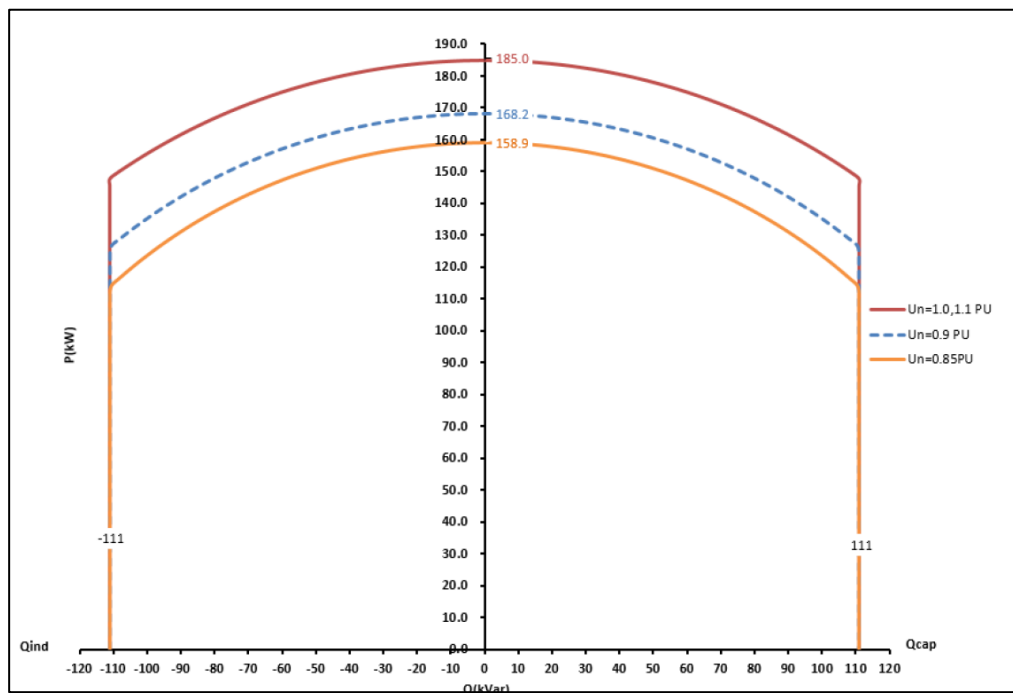


Figura 3.8 – Curva de capacidad de los inversores Huawei SUN2000-185KTL-H1



3.4 Datos del transformador de bloque

3.4.1 Centro de transformación N°1

El PMG PFV Machicura cuenta con 1 transformador de bloque de 4.6 MVA (KNAN) y relación 0.69 kV / 13.8 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$), que interconecta la salida del inversor SMA con la red de MT.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.2 los parámetros más relevantes para el modelamiento del transformador.

Característica	Nominal
Potencia Nominal	4.6 MVA
Refrigeración	KNAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	13.8 kV
Tensión nominal lado LV	0.69 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	7.0%
Perdidas en carga	38.00 kW
Pérdidas de vacío	3.10 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

Tabla 3.2 – Datos de placa del transformador de bloque – CT N°1



3.4.2 Centros de transformación N°2, N°3 y N°4

El PMG PFV Machicura cuenta con 3 transformadores de bloque de 1.6 MVA (ONAN) y relación 0.8 kV / 13.8 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$), que interconecta la salida de los inversores HUAWEI con la red de MT.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.3 los parámetros más relevantes para el modelamiento de los transformadores.

Característica	Nominal
Potencia Nominal	1.6 MVA
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	13.8 kV
Tensión nominal lado LV	0.8 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	5.92%
Perdidas en carga	13.23 kW
Pérdidas de vacío	1.12 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

Tabla 3.3 – Datos de placa del transformador de bloque – CTs N°2, N°3 y N°4



3.5 Determinación de consumos de SSAA de planta

La determinación de los consumos de SSAA del PMG PFV Machicura se realiza considerando el flujo de potencia neta con la totalidad de los inversores, de cada circuito, apagados. En la Figura 3.9 se muestra que el consumo total del circuito 1 es de 3.62 kW, en tanto, se muestra en la Figura 3.10 que el consumo del circuito 2 es de 3.05 kW. Esto totaliza un consumo total 6.67 kW como parque completo.

Considerando que los consumos de los 4 transformadores de bloque en vacío totalizan 6.46 kW, los consumos de SSAA del parque se pueden estimar en **0.21 kW** al calcular la diferencia entre los valores presentados.

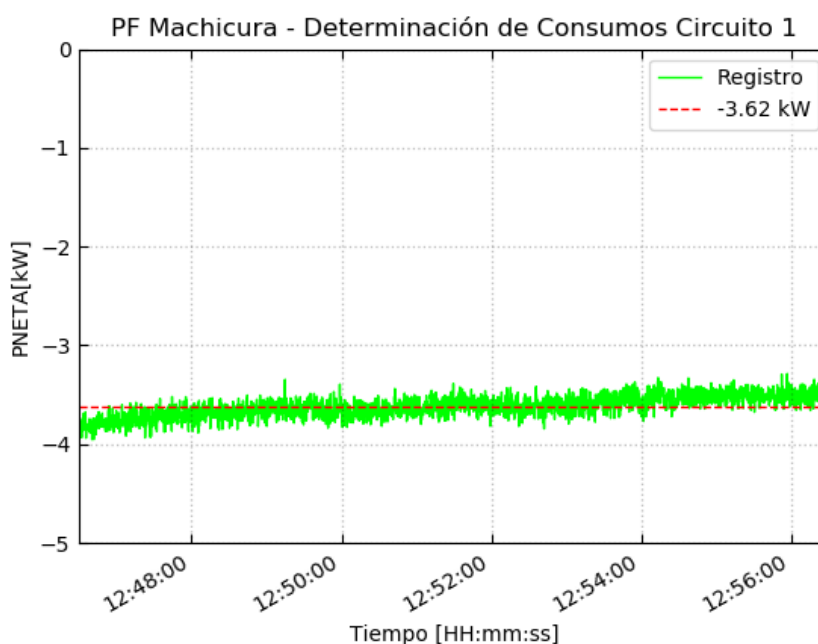


Figura 3.9 – Potencia neta con inversor SMA apagado

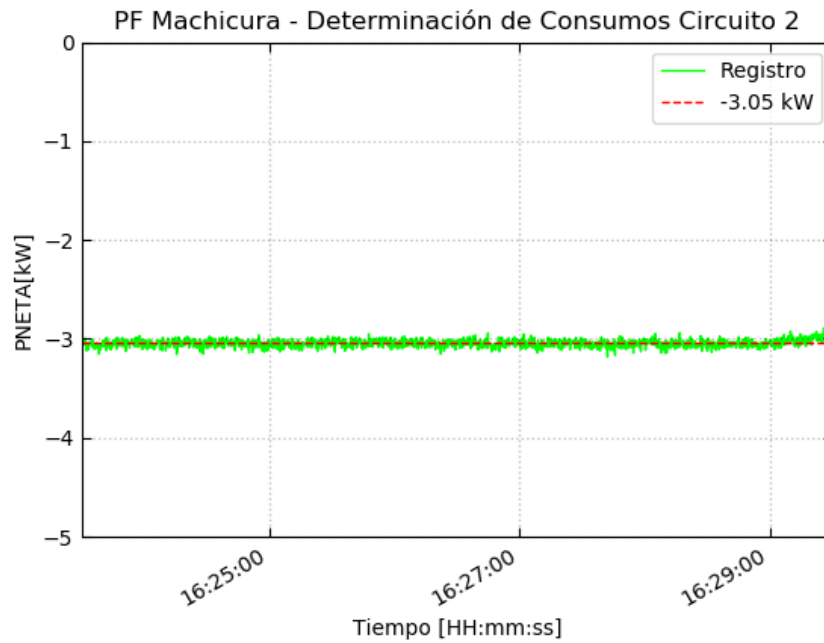


Figura 3.10 – Potencia neta con inversores Huawei apagados



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 PMG PFV Machicura se cuenta con mediciones de la Potencia Bruta proveniente de los inversores, de la Potencia Neta registrada en el POI y mediciones de la irradiancia y temperatura ambiente, que inciden directamente en la producción de los paneles fotovoltaicos.

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 [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PMG PFV Machicura	(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 PMG PFV Machicura.
- (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 los *tap-off* sobre la línea de doble circuito que alimenta los servicios auxiliares de Central Machicura proveniente desde la barra de servicios auxiliares de Central Colbún.



4.1 Ensayo de Potencia Máxima

El día 12 de septiembre de 2022 se realizó el ensayo de Potencia Máxima en condiciones de máxima irradiancia y con la totalidad del PMG PFV Machicura.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 4.1 se muestra la potencia neta medida ($P_{neta,med}$). En tanto las Figura 4.2 y Figura 4.3 se muestra la medición de potencia de inversores ($P_{inv_{Huawei}}$ y $P_{inv_{SMA}}$) y el registro de cada colector.

En la Figura 4.4 se muestra el registro de irradiancia perpendicular a los paneles ($I_{r_{med}}$) y de temperatura de panel ($T_{p_{med}}$). Finalmente, en la Figura 4.5 se muestra el registro de irradiancia del día completo marcando el período considerado en el ensayo de Potencia Máxima.

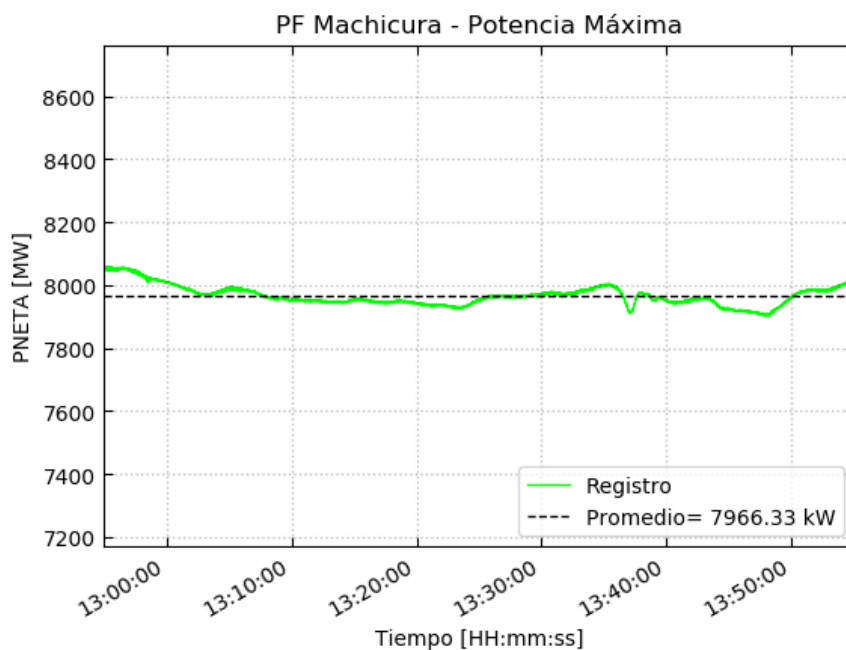


Figura 4.1 – Potencia Máxima – Potencia neta

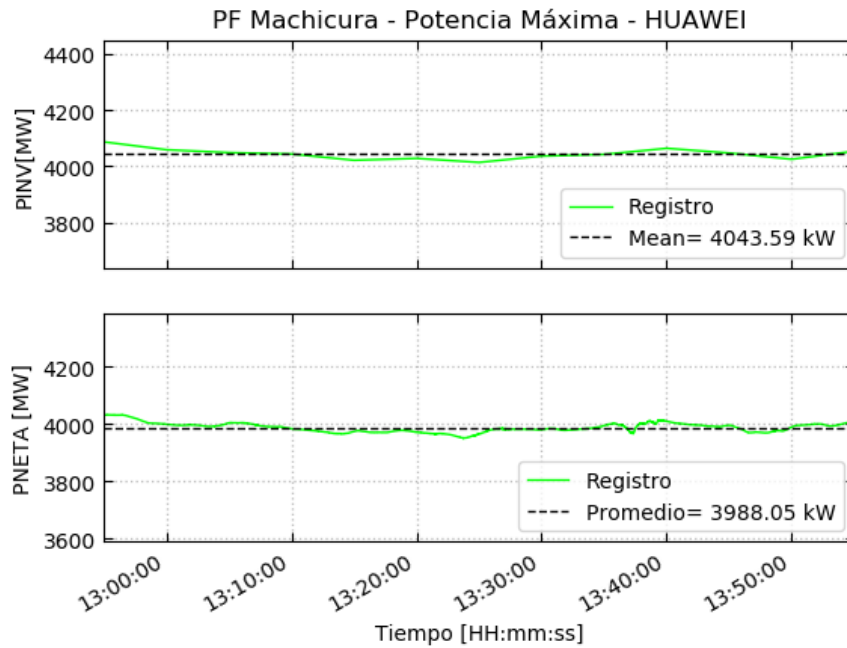


Figura 4.2 – Potencia Máxima – Colector Huawei

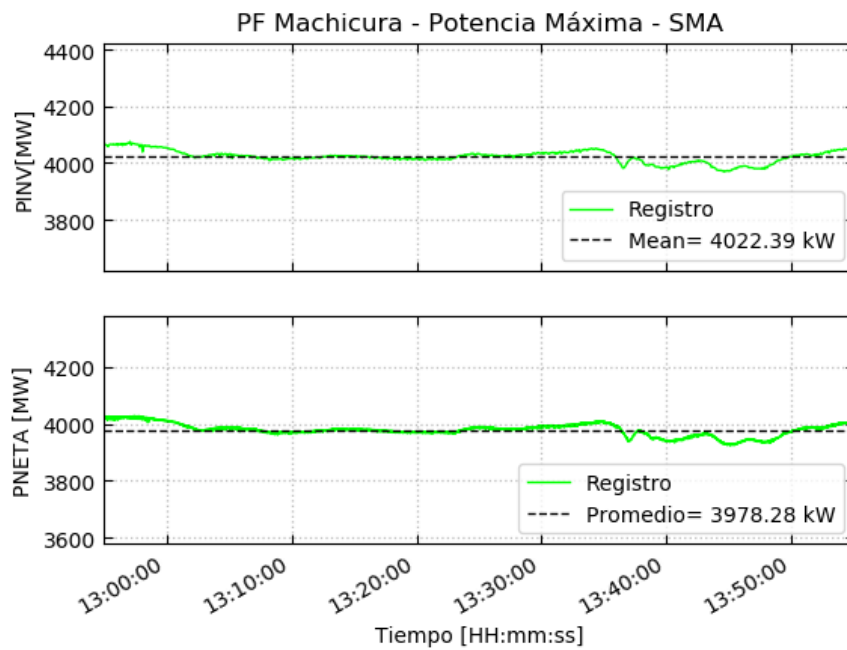


Figura 4.3 – Potencia Máxima – Colector SMA

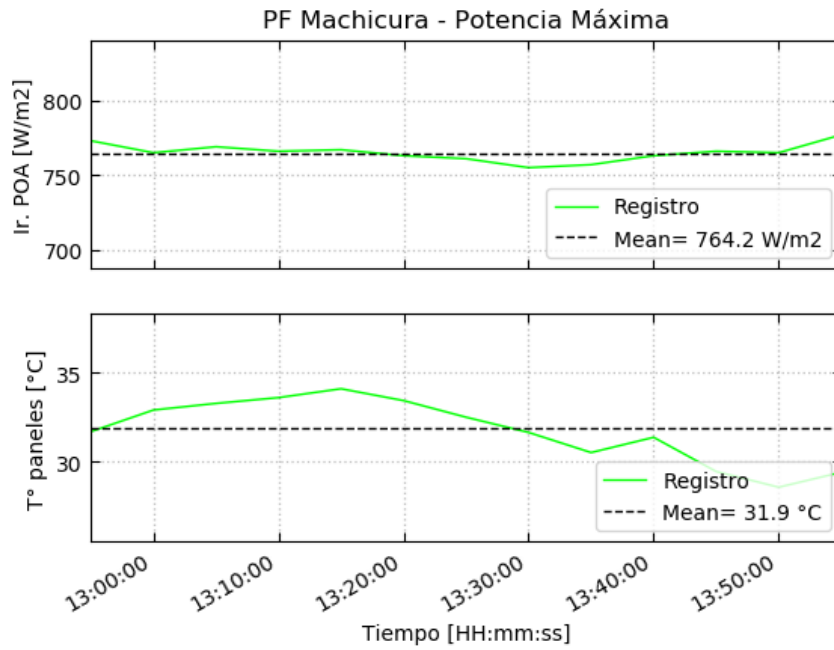


Figura 4.4 – Potencia Máxima – Variables ambientales

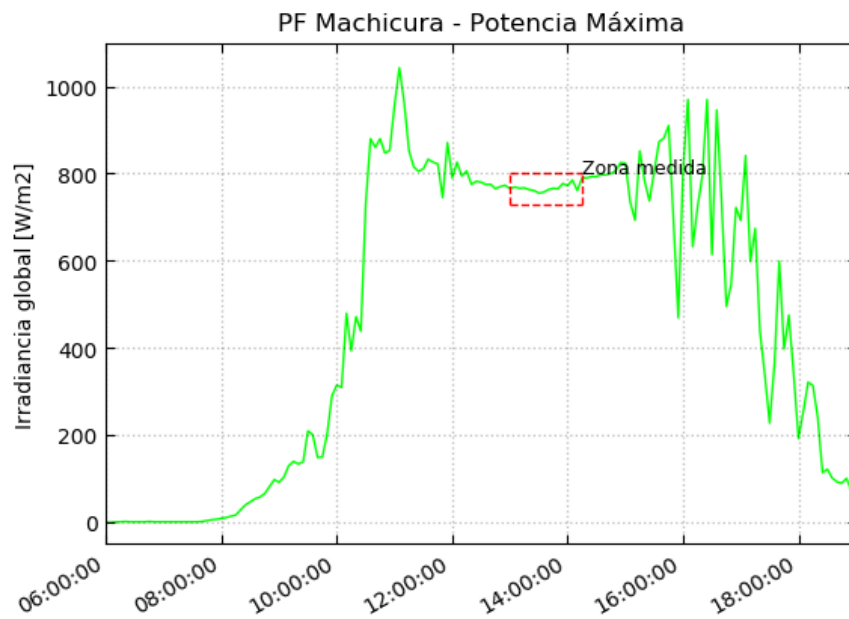


Figura 4.5 – Potencia Máxima – Irradiancia día completo



4.2 Correcciones y resultados

En la presente sección se realizará el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1. Para el desarrollo de los cálculos se han considerado los valores medios de cada variable durante el período de medición, los cuáles se presentan en las Figura 4.1 a Figura 4.4.

4.2.1 Potencia Bruta

La determinación de la **Potencia Bruta Medida** ($P_{bruta,med}$) se realiza considerando el registro de potencia de todos los inversores, a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo según la siguiente expresión.

$$P_{bruta,med} = P_{inv_{huawei}} + P_{inv_{SMA}} + Consumos\ propios$$

En base a lo presentado en la sección 3.3.1 se estiman los consumos propios del inversor SMA ($SSAA_{INV_{SMA}}$) en 7.5 kW. En tanto, según se muestra en la sección 3.3.2, los consumos propios de los inversores Huawei se pueden considerar despreciables.

La potencia bruta máxima del PMG PFV Machicura debe ser determinada para las condiciones nominales de irradiancia y temperatura de panel del sitio. En base a lo presentado en la sección 6.1 se determina una irradiancia de sitio ($I_{r_{sitio}}$) de 950.5 W/m² y un valor de temperatura de panel de sitio ($T_{p_{sitio}}$) de 34.2 °C.

La corrección por irradiancia se realiza a partir de considerar una dependencia lineal entre la potencia y dicha magnitud, lo cual es una aproximación aceptable en función de lo que puede observarse en los registros y en la documentación de los paneles presentada en la Figura 3.2.

El resultado se muestra a continuación.

$$P_{bruta,ir} = P_{bruta,med} * \frac{I_{r_{sitio}}}{I_{r_{med}}}$$



Para la corrección por temperatura de panel, se debe determinar en primer lugar la diferencia calculada entre la temperatura de los paneles durante el ensayo y la correspondiente a las condiciones de sitio (ΔT).

$$\Delta T = T_{p_{med}} - T_{p_{sitio}}$$

Utilizando el coeficiente de temperatura dado por el fabricante de los paneles de $C_{temp} = -0.35 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (ver Figura 3.2), se realiza la corrección por temperatura de operación de los paneles y se obtiene el valor de **Potencia Bruta Corregida** ($P_{Bruta,Max}$), según la siguiente expresión.

$$P_{bruta,Max} = \frac{P_{bruta,ir}}{(1 + C_{temp} * \Delta T)}$$

En caso de que el valor de **Potencia Bruta Corregida** sea mayor a la potencia bruta instalada de 9225.0 kW, se debe limitar el valor de **Potencia Bruta Corregida** a este valor.

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.

En base a lo presentado en la sección 3.3.1 se estiman los consumos propios del inversor SMA ($SSAA_{INV_{SMA}}$) en 7.5 kW. En tanto, según se muestra en la sección 3.3.2, los consumos propios de los inversores Huawei se pueden considerar despreciables. En tanto, según se muestra en la sección 3.5 se estima el consumo de servicios auxiliares del parque en 0.21 kW.

$$P_{SSAA} = P_{tr,SSAA} + SSAA_{INV_{SMA}}$$



4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en los transformadores de poder de la central y de las pérdidas en las línea de transmisión que vinculan los centros de transformación con los tap-off sobre la línea de doble circuito que alimenta los servicios auxiliares de Central Machicura proveniente desde la barra de servicios auxiliares de Central Colbún.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Potencia Máxima, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en los inversores (ver Figura 4.2 y Figura 4.3) y la **Potencia Neta Medida** ($P_{neta,med}$, ver Figura 4.1). Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 0.21 kW.

La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central medida** ($P_{perd,central,med}$) se presenta a continuación.

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

Este valor de pérdidas considera las pérdidas en condición de vacío en los transformadores del parque ($P_{Perd,vacío,trafos}$) y las pérdidas resistivas de transformadores y red colectora asociadas al nivel de carga en la condición de ensayo ($P_{Perd,central,med,carga}$). A continuación, se procede a desglosar el valor de pérdidas medidas entre los valores correspondiente a carga y vacío.

$$P_{perd,central,med,carga} = P_{perd,central,med} - P_{Perd,vacío,trafos}$$

$$P_{perd,central,vacío} = P_{Perd,vacío,trafos}$$

Este valor de pérdidas en carga medido ($P_{perd,central,med,carga}$) debe ser corregido para el despacho en escenario de **Potencia Bruta Máxima**. La siguiente expresión muestra la **Potencia de Pérdidas en la central en carga corregida** ($P_{perd,central,carga,corr}$). Cabe mencionar que el valor de pérdidas en vacío no depende de la condición de despacho del parque.

$$P_{perd,central,carga,corr} = P_{perd,central,med,carga} \times \left(\frac{P_{bruta,max}}{P_{bruta,med}} \right)^2$$



Entonces el valor total de **Pérdidas en la central corregida** ($P_{perd,central,corr}$) queda determinado por la siguiente expresión.

$$P_{perd,central,corr} = P_{perd,central,corr,carga} + P_{perd,central,vacio}$$

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

- Pérdidas en los transformadores del parque ($P_{Perd,trafos}$)
- Pérdidas en circuitos colectores ($P_{Perd,líneas}$)

En las Tabla 3.2 y Tabla 3.3 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga de los transformadores del parque, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal de los equipos y deben ser determinadas en la condición de referencia de sitio. Las pérdidas en carga en este escenario ($P_{Perd,carga,trafos}$) se calculan según la siguiente expresión.

$$P_{Perd,carga,trafos} = P_{Perd,carga,nominal,trafos} \times \left(\frac{P_{bruta,max}}{S_{nom,trafos}} \right)^2$$

La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{Perd,trafos} = P_{Perd,carga,trafos} + P_{Perd,vacio,trafos}$$

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

$$P_{Perd,línea} = P_{perd,central,corr} - P_{Perd,trafos}$$

4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 23 kV en el paño E2 de la S/E Castilla 23 kV. Para obtener el valor de **Potencia Neta Corregido** se utilizará el valor de Potencia bruta corregida, de Potencia de Servicios Auxiliares y Potencia de Pérdidas de la central corregida, según la siguiente expresión.

$$P_{neta,corr} = P_{Bruta,Max} - P_{SSAA} - P_{perd,central,corr}$$



4.2.5 Resumen de cálculos

En la Tabla 4.2 se presentan los resultados de las ecuaciones presentadas en la secciones precedentes. Se destacan los valores a presentar como resultado final en la sección 5.

Sección	Campo	Descripción	Valor	Unidad
4.1 Ensayo de Potencia Máxima	$P_{inv,Huawei}$	Potencia inversores Huawei	4043.59	kW
	$P_{inv,SMA}$	Potencia inversor SMA	4022.39	kW
	$T_{p,med}$	Temperatura panel medida	31.9	°C
	$I_{r,med}$	Irradiancia medida	764.2	W/m ²
	$P_{neta,med}$	Potencia neta medida	7966.33	kW
4.2.1 Potencia Bruta	$P_{bruta,med}$	Potencia bruta medida	8073.48	kW
	$P_{bruta,ir}$	Potencia bruta medida corregida por irradiancia	10041.67	kW
	$T_{p,stc}$	Temperatura de panel en condiciones de sitio	34.2	°C
	$T_{p,med}$	Temperatura de panel en condiciones de prueba	31.9	°C
	ΔT	Diferencia de temperatura	-2.3	°C
	$P_{bruta,max}$	Potencia bruta medida corregida por irradiancia y temperatura (limitada por potencia instalada)	9225	kW
4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares	P_{SSAA}	Potencia estimada de servicios auxiliares	7.71	kW
4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central	$P_{perd,central,med}$	Potencia de pérdidas total en la central, medida	99.44	kW
	$P_{perd,central,vacio}$	Potencia de pérdidas en vacío en la central.	6.46	kW
	$P_{perd,central,med,carga}$	Potencia de pérdidas en carga en la central, medida.	92.98	kW
	$P_{perd,central,carga,corr}$	Potencia de pérdidas en carga en la central, corregida.	121.39	kW
	$P_{perd,central,corr}$	Potencia de pérdidas total en la central, corregida	127.85	kW
	$P_{perd,carga,trafos}$	Pérdidas en carga en los transformadores del parque	89.55	kW
	$P_{perd,trafos}$	Pérdidas totales en los transformadores	96.01	kW
	$P_{perd,linea}$	Pérdidas en línea de transmisión	31.84	kW
4.2.4 Potencia Neta	$P_{neta,corr}$	Potencia neta corregida	9089.44	kW

Tabla 4.2 – Resumen de cálculos



5 CONCLUSIONES

Se demuestra que la máxima potencia bruta corregida a condiciones de sitio de temperatura de celda e irradiancia que podría entregar el parque es de 9225.0 kW, resultando en una potencia neta calculada de 9089.44 kW en el POI. Cabe mencionar que por ser un parque catalogado como PMG su producción se encuentra limitada a 9.0 MW mediante una limitación de consigna en el sistema PPC.

La Tabla 5.1 resume los resultados.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PMG PFV Machicura	9225.0	7.71	127.85 ¹	9089.44

Tabla 5.1 – Potencia Máxima según mediciones – PMG PFV Machicura

¹ Desglosado en 96.01 kW de pérdidas en los transformadores del parque y 31.84 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Determinación de condiciones meteorológicas de sitio

En la presente sección se muestra la estimación de las condiciones meteorológicas de sitio para el PMG PFV Machicura. Para esto se presenta un registro en el que el parque alcanza un valor de potencia neta medio de 9.0 MW.

En la Figura 6.1 se muestra el registro de potencia neta máximo. En tanto, en la Figura 6.2 se muestran las condiciones meteorológicas al momento del registro. Por lo tanto, se considerarán como referencia un valor de irradiancia de sitio (Ir_{sitio}) de 950.5 W/m² y un valor de temperatura de panel de sitio (Tp_{sitio}) de 34.2 °C.

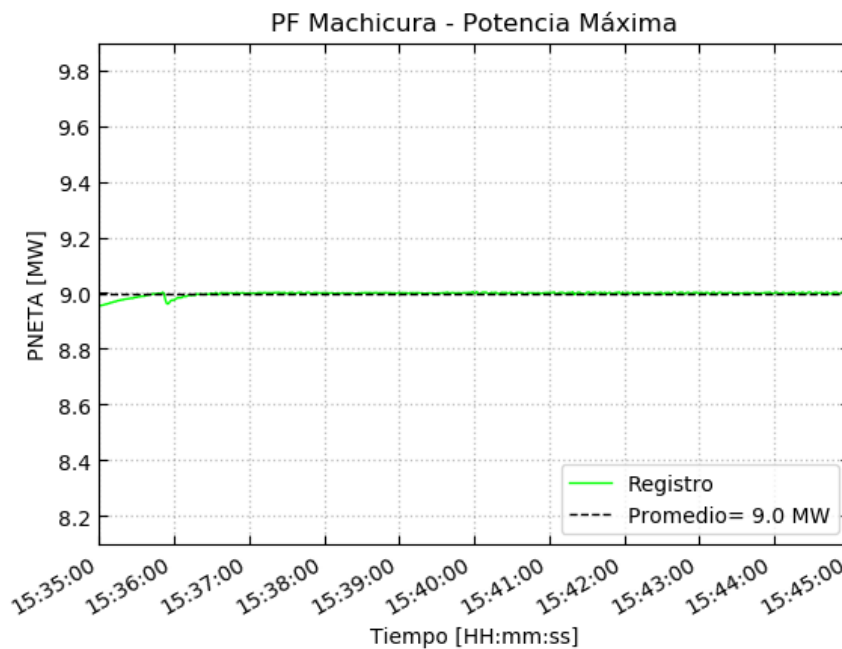


Figura 6.1 – Potencia neta Máxima

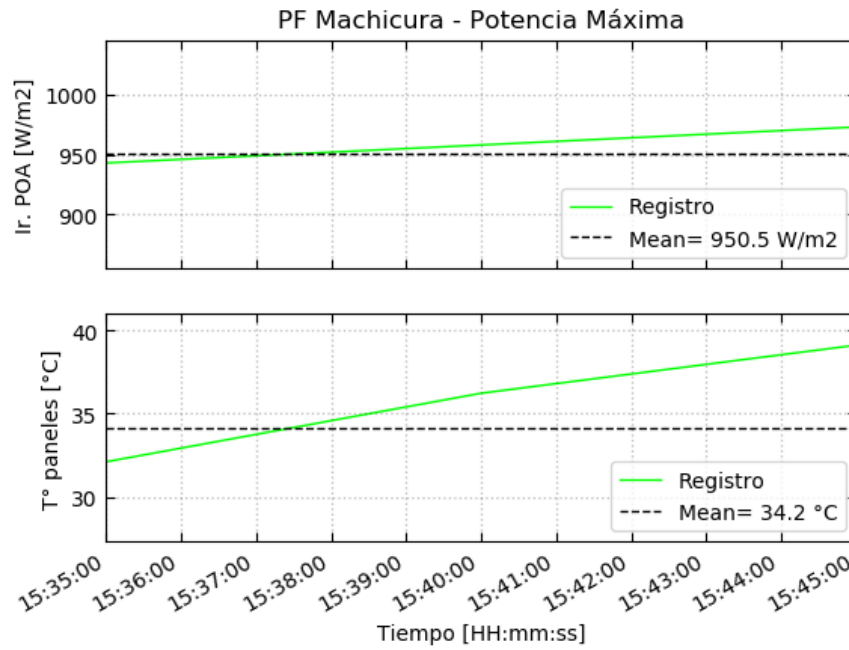


Figura 6.2 – Variables ambientales de referencia



6.2 Certificado de calibración de medidores de potencia neta

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 ESTUDIOS ELECTRICOS		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	21/07/2022
<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	Número de Serie	Última Calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/11/2021
Fecha de evaluación: 21/07/22 Certificado número: EE-CI-2022-1131		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  </div>
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning		



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



ESTUDIOS ELECTRICOS

Estudios Eléctricos declara que el instrumento:

Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 604	5216/002	22/07/2022

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
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/11/2021

Fecha de evaluación: 22/07/22
Certificado número: EE-CI-2022-1129

Nombre Inspector: Leiss, Jorge

Firma:



**Power System Studies & Power Plant Field
Testing and Electrical Commissioning**



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.