

**Empresa:** METKA

**País:** Chile

**Proyecto:** Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes

**Descripción:** Informe de Mínimo Técnico

**Código de Proyecto:** EE-2022-117

**Código de Informe:** EE-EN-2023-0622

**Revisión:** C

*Development and Simulation of Mathematical Models  
of Control System of Electricity Generation Plants  
ISO9001:2015 Certified*



Este documento EE-EN-2023-0622-RB fue preparado para METKA por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

**Ing. Claudio Celman**

Sub-Gerente Dpto. Ensayos

[claudio.celman@estudios-electricos.com](mailto:claudio.celman@estudios-electricos.com)

**Ing. Andrés Capalbo**

Sub-Gerente Dpto. Ensayos

[andres.capalbo@estudios-electricos.com](mailto:andres.capalbo@estudios-electricos.com)

**Ing. Pablo Rifrani**

Gerente Dpto. Ensayos

[pablo.rifrani@estudios-electricos.com](mailto:pablo.rifrani@estudios-electricos.com)

[www.estudios-electricos.com](http://www.estudios-electricos.com)

Este documento contiene 35 páginas y ha sido guardado por última vez el 14/11/2023 por Federico García, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	18/05/2023	Para presentar.	MV/JE	AC	PR
B	30/05/2023	Correcciones según observaciones Sonnedix	CiC	AC	PR
C	14/11/2023	Correcciones según observaciones CEN	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	Definiciones y Nomenclatura .....	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS .....	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE .....	8
3.1	Unilineales y planos.....	8
3.2	Datos de los paneles solares .....	12
3.3	Datos de los inversores .....	14
3.4	Datos del transformador principal .....	16
3.5	Datos del transformador de bloque.....	17
3.6	Determinación de consumos de SSAA de planta .....	18
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO .....	22
4.1	Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio.....	23
4.1.1	Potencia Bruta.....	24
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares .....	24
4.1.3	Potencia de Pérdidas en la central .....	25
4.1.4	Potencia Neta .....	26
4.1.5	Resultados .....	26
4.2	Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	27
4.2.1	Potencia Bruta.....	28
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares .....	28
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central .....	29
4.2.4	Potencia Neta .....	30
4.2.5	Resultados .....	30
5	CONCLUSIONES .....	31
6	ANEXOS .....	32
6.1	Certificado de calibración del medidor de energía .....	34



## 1 INTRODUCCIÓN

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

El Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes cuenta con una potencia instalada de 152.46 MVA y se encuentra ubicado en la región de Valparaíso, en la comuna de Los Andes. El parque se vincula al SEN mediante un transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ( $\pm 11 \times 1.25\%$ ) y de capacidad 160 MVA (ONAF2), ubicado en la S/E Meseta de Los Andes.

El parque está constituido por 42 inversores marca Power Electronics modelo FS3510K, de 3.63 MVA de capacidad nominal y 660 V de tensión nominal. Cuenta con 42 transformadores de bloque de 3.63 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.66 kV / 33 kV ( $\pm 2 \times 2.5\%$ ). La red colectora está constituida por cables subterráneos y dividida en 7 circuitos colectores, en cada uno de ellos se conectan 6 inversores.

### 1.1 Fecha ensayo y personal auditor

<b>Personal</b>	<b>Fecha de ensayo</b>
Ing. Iñaki Cubillos	5 de mayo de 2023

### 1.2 Medidores utilizados

<b>Denominación</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precisión</b>
Analizador de energía	Janitza	UMG 512 PRO	$\pm 0.2\%$

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, con una tasa de muestro de 1 segundo. Se cuenta con mediciones de todos los inversores y variables meteorológicas adquiridas con una tasa de muestreo de 1 minuto.



### 1.3 Definiciones y Nomenclatura

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

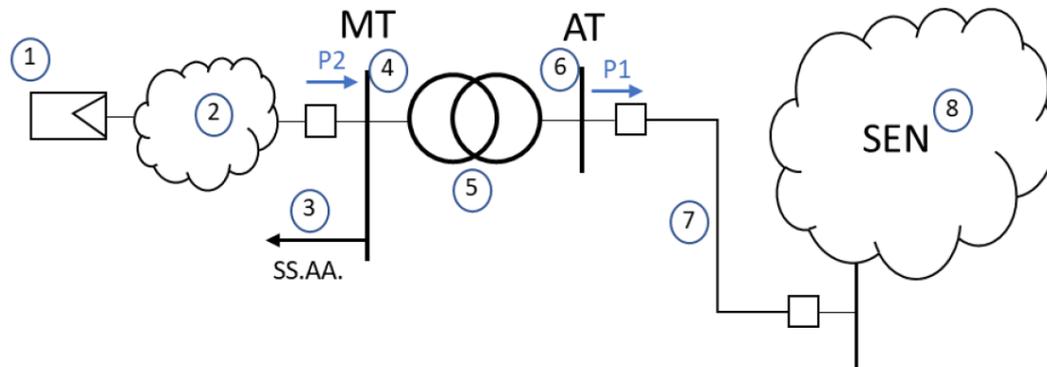


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico

- 1) **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque fotovoltaico.
- 2) **Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector):** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque fotovoltaico, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
- 3) **Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.).**
- 4) **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque fotovoltaico.
- 5) **Transformador de Poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque fotovoltaico.
- 6) **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque fotovoltaico.
- 7) **Línea dedicada de la central:** Línea de alta tensión que vincula el parque fotovoltaico con el sistema eléctrico.
- 8) **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**



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

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



## 2 ASPECTOS NORMATIVOS

---

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

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

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



### 3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

---

El Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes cuenta con una potencia instalada de 152.46 MVA y se encuentra ubicado en la región de Valparaíso, en la comuna de Los Andes. El parque se vincula al SEN mediante un transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ( $\pm 11 \times 1.25\%$ ) y de capacidad 160 MVA (ONAF2), ubicado en la S/E Meseta de Los Andes.

El parque está constituido por 42 inversores marca Power Electronics modelo FS3510K, de 3.63 MVA de capacidad nominal y 660 V de tensión nominal. Cuenta con 42 transformadores de bloque de 3.63 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.66 kV / 33 kV ( $\pm 2 \times 2.5\%$ ). La red colectora está constituida por cables subterráneos y dividida en 7 circuitos colectores, en cada uno de ellos se conectan 6 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 el presente documento se detalla la metodología de pruebas de equipos a nivel de inversor fotovoltaico y a nivel PPC con un cronograma de trabajos según el plan de habilitación previsto.

#### 3.1 Unilineales y planos

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal del parque fotovoltaico y su conexión mediante un circuito que acomete al paño J9/J10 de Se Los Maquis.

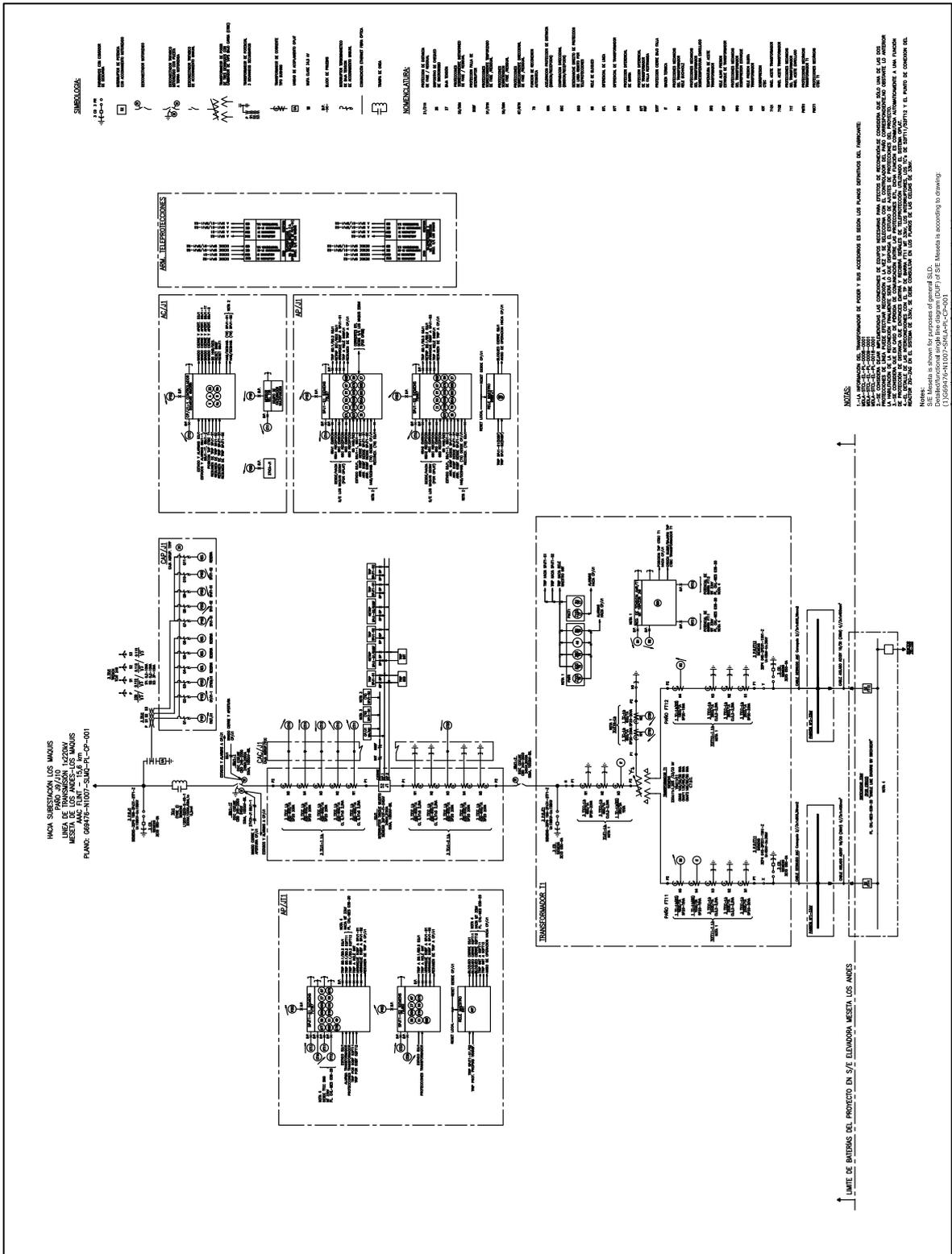


Figura 3.1 – S/E Los Maquis – Punto de interconexión – Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes

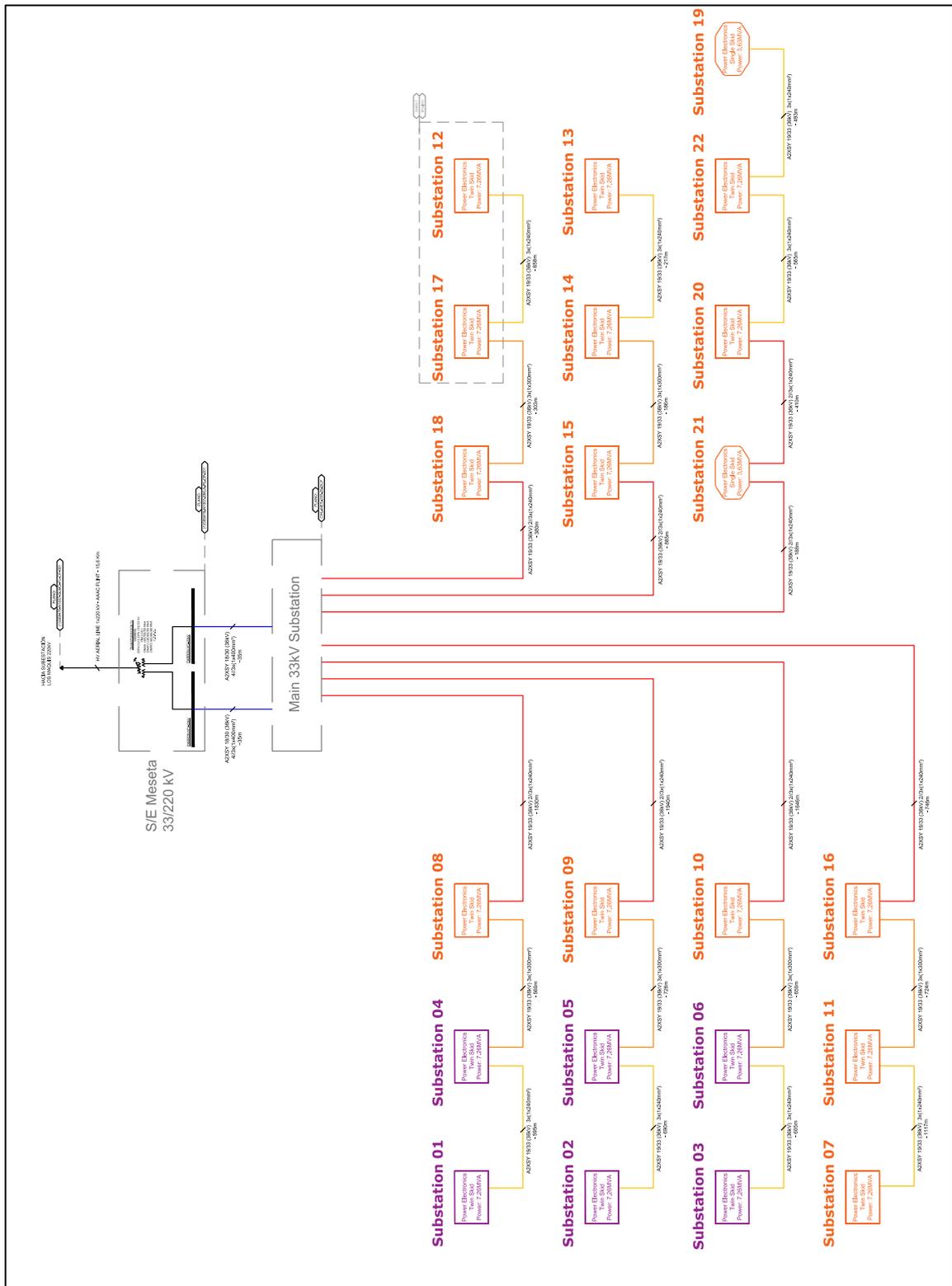


Figura 3.2–Diagrama General del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes

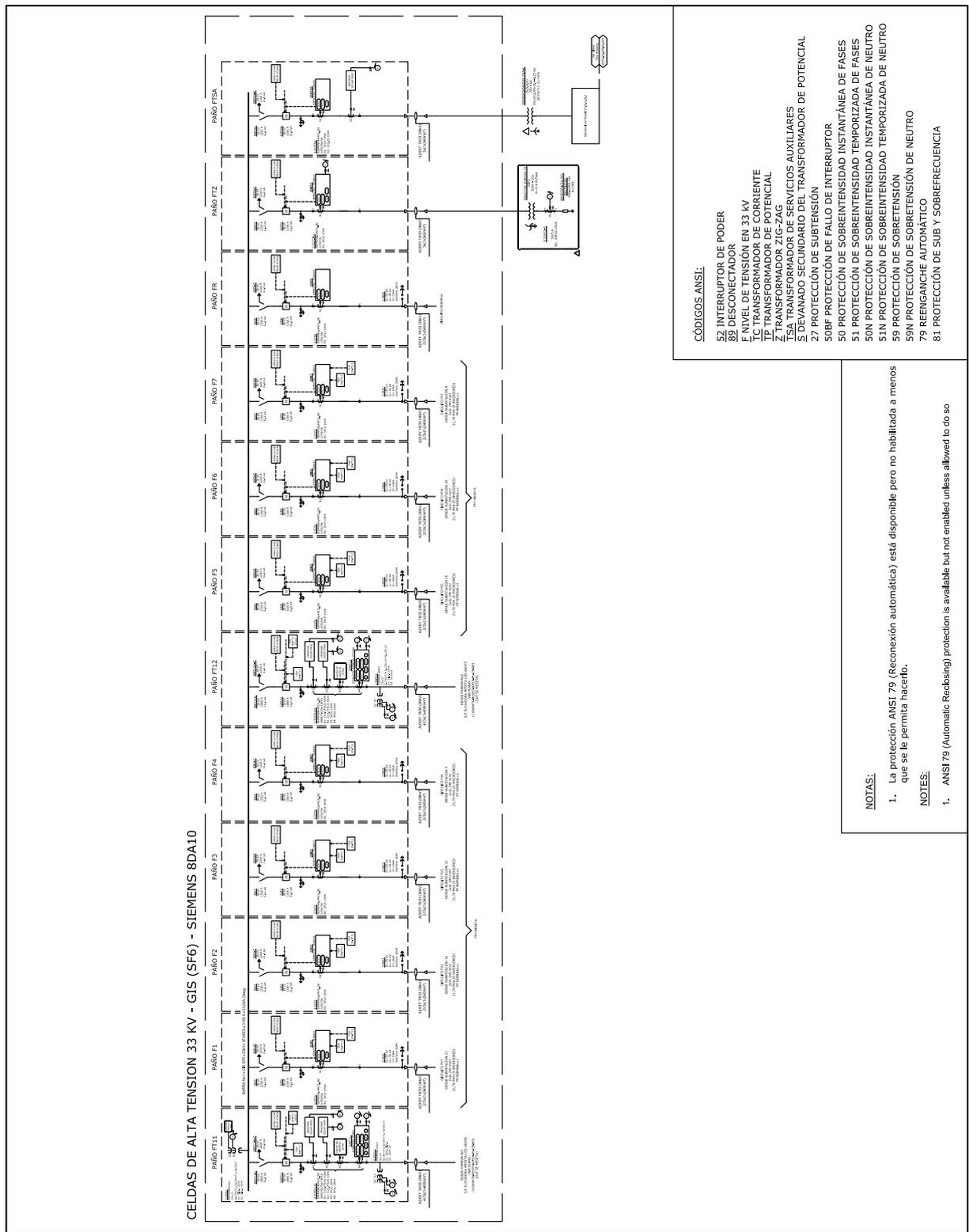


Figura 3.3–Switchgear 33 kV del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



### 3.2 Datos de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes son de marca Trinasolar modelo Vertex TSM-445DEG17MC.20 y TSM-450DEG17MC.20. Sus principales características se presentan en la Figura 3.4.

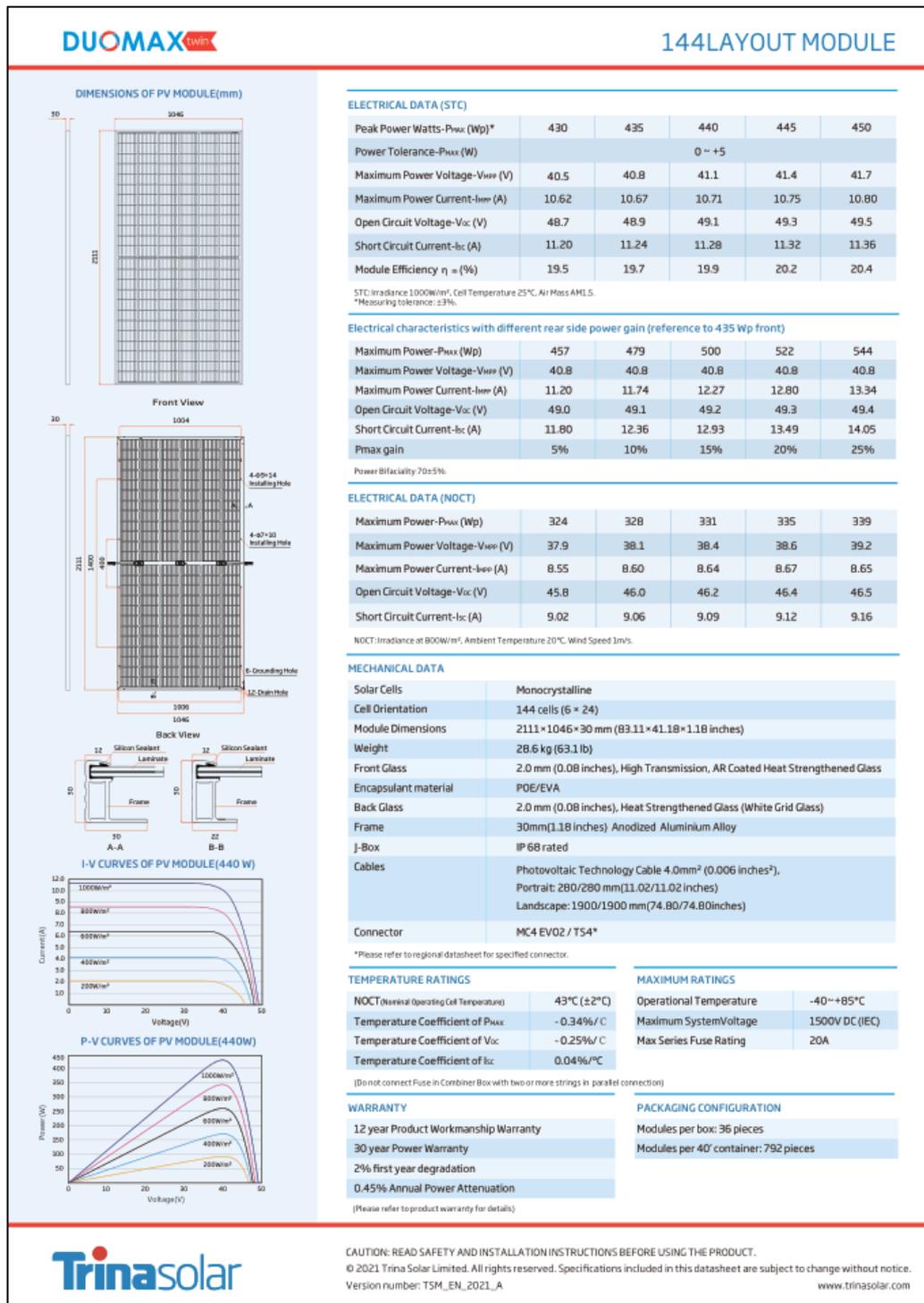


Figura 3.4 – Datos de paneles Trinasolar Vertex TSM-DEG17MC.20



El parque cuenta con un total 102816 paneles TSM-445DEG17MC.20 y 254016 paneles TSM-450DEG17MC.20. Considerando lo anterior, el Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes cuenta con una capacidad instalada de 160.06 MWp en corriente continua. A continuación, se presenta la distribución de paneles por bloque.

Cabe destacar que considerando la potencia en instalada en AC de 152.46 MW se obtiene una relación DC/AC de 1.05.

<b>Bloque</b>	<b>Tipo de panel</b>	<b>Potencia módulos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia DC [MWp]</b>
1	TSM-445DEF17MC.20	445	102816	45.753
2	TSM-450DEF17MC.20	450	254016	114.307
		<b>Total</b>	356832	160.06

Tabla 3.1 – Distribución de paneles solares



### 3.3 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes cuenta con 42 inversores marca Power Electronics modelo FS3510K, de 3.63 MVA de capacidad nominal y 660 V de tensión nominal. Sus principales características se muestran en la Figura 3.5.

		FRAME 1	FRAME 2
REFERENCE		FS2340K	FS3510K
<b>OUTPUT</b>	AC Output Power(kVA/kW) @50°C <sup>[1]</sup>	2340	3510
	AC Output Power(kVA/kW) @40°C <sup>[1]</sup>	2420	3630
	Max. AC Output Current (A) @40°C	2117	3175
	Operating Grid Voltage(VAC) <sup>[2]</sup>	660V ±10%	
	Operating Grid Frequency(Hz)	50Hz/60Hz	
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519	
	Power Factor (cosine phi) <sup>[3]</sup>	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive Power injection at night	
<b>INPUT</b>	MPPt @full power (VDC) @35°C <sup>[4]</sup>	934V-1500V	
	MPPt @full power (VDC) @50°C <sup>[4]</sup>	934V-1310V	
	Maximum DC voltage	1500V	
	Number of PV inputs <sup>[2]</sup>	Up to 36	
	Number of Freemaq DC/DC inputs <sup>[5]</sup>	Up to 6	
	Max. DC continuous current (A) <sup>[5]</sup>	2645	3970
	Max. DC short circuit current (A) <sup>[5]</sup>	4000	6000
<b>EFFICIENCY &amp; AUXILIARY SUPPLY</b>	Efficiency (Max) (η)	98.84%	98.90%
	Euroeta (η)	98.48%	98.65%
	Max. Power Consumption (KVA)	8	10
<b>CABINET</b>	Dimensions [WxDxH] (ft)	12 x 7 x 7	
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.7 x 2.2 x 2.2	
	Weight (lb)	12125	12677
	Weight (kg)	5500	5750
	Type of ventilation	Forced air cooling	
<b>ENVIRONMENT</b>	Degree of protection	NEMA 3R - IP55	
	Permissible Ambient Temperature	-35°C to +60°C / >50°C Active Power derating	
	Relative Humidity	4% to 100% non condensing	
	Max. Altitude (above sea level)	2000m; >2000m power derating (Max. 4000m)	
	Noise level <sup>[6]</sup>	< 79 dBA	
<b>CONTROL INTERFACE</b>	Communication protocol	Modbus TCP	
	Plant Controller Communication	Optional	
	Keyed ON/OFF switch	Standard	
<b>PROTECTIONS</b>	Ground Fault Protection	GFDI and Isolation monitoring device	
	General AC Protection	Circuit Breaker	
	General DC Protection	Fuses	
	Overvoltage Protection	AC, DC Inverter and auxiliary supply type 2	
<b>CERTIFICATIONS</b>	Safety	UL1741, CSA 22.2 No.107.1-16, UL62109-1, IEC62109-1, IEC62109-2	
	Compliance	NEC 2017 / IEC	
	Utility interconnect	EEE 1547.1-2005 / UL1741SA-Feb. 2018 / IEC62116:2014	

Figura 3.5 – Hoja de datos del inversor Power Electronics modelo FS3510K

Se aprecia que el máximo consumo de potencia en operación es de 10 kVA y se considerará dicho valor en el cálculo de consumos de Servicios Auxiliares del parque.



La Figura 3.6 muestra la curva de capacidad de los inversores.

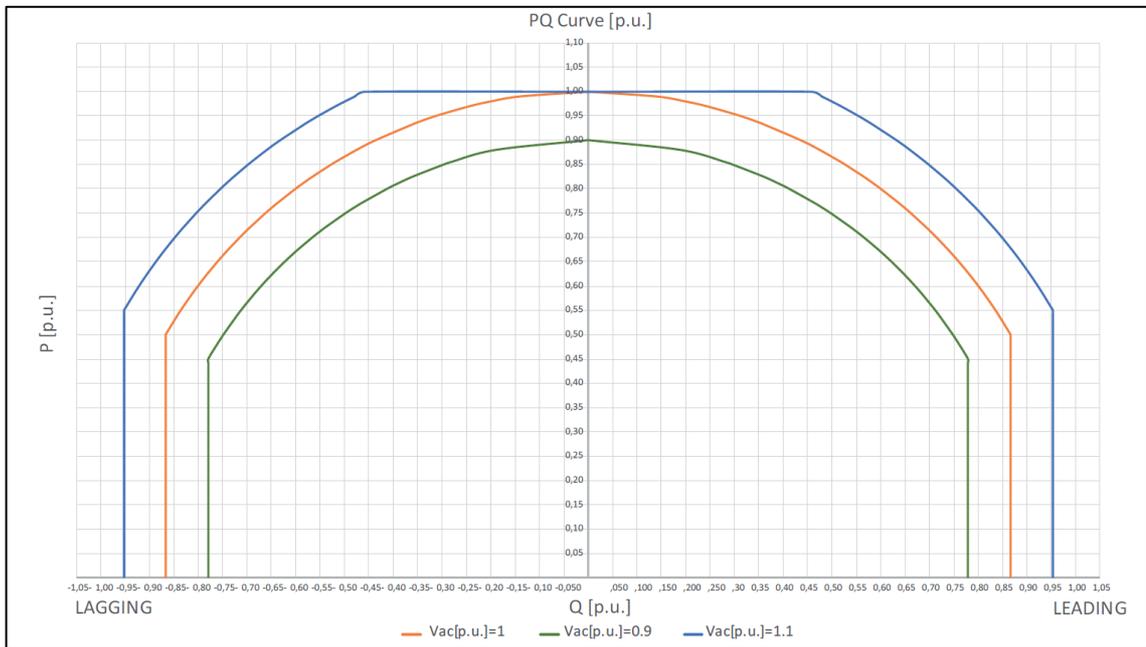


Figura 3.6 – Curva de capacidad del inversor



### 3.4 Datos del transformador principal

El parque se vincula al SEN mediante un transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ( $\pm 11 \times 1.25\%$ ) y de capacidad 160 MVA (ONAF2), ubicado en la S/E Meseta de Los Andes.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	
Potencia Nominal	160 MVA	
Refrigeración	ONAF	
Frecuencia Nominal	50 Hz	
Tensión nominal lado HV	220 kV	
Tensión nominal lado LV1	33 kV	
Tensión nominal lado LV2	33 kV	
Tipo de conexión	YNd11d11	
Impedancia de corto circuito (HV-LV1)	11.73% (80MVA)	
Impedancia de corto circuito (HV-LV2)	11.88% (80MVA)	
Pérdidas en carga (HV-LV1)	164.0 kW	332.8 kW
Pérdidas en carga (HV-LV2)	168.8 kW	
Pérdidas de vacío	81.3 kW	
Posiciones de TAP	$\pm 11 \times 1.25\%$	

Tabla 3.2 - Datos de transformador principal



### 3.5 Datos del transformador de bloque

El Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes cuenta con 42 transformadores de bloque de 3.63 MVA (ONAN) y relación 0.66 kV / 33 kV ( $\pm 2 \times 2.5\%$ ), que interconecta la salida de los inversores con la red de MT.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Potencia Nominal	3.63 MVA
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.66 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	7%
Perdidas en carga	30 kW
Pérdidas de vacío	3.1 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

*Tabla 3.3 – Datos de transformador de bloque*



### 3.6 Determinación de consumos de SSAA de planta

En el documento “6373-01-CP-MC-001\_0 MC SSAA.pdf” se detalla el dimensionamiento de las cargas de corriente alterna y corriente continua de los servicios auxiliares del parque. Un resumen de estos puede verse en las Tabla 3.4, Tabla 3.5 (barra 1) y Tabla 3.6 (barra 2).

Para las pruebas de potencia máxima se ha considerado los servicios esenciales de corriente alterna (ver Tabla 3.4) y las cargas permanentes de corriente continua (ver Tabla 3.5 y Tabla 3.6). Estos consumos corresponden a 54.41 kW esenciales en corriente alterna y 4.80 kW en corriente continua, totalizando 59.21 kW de SSAA esenciales y permanentes.

Consumo de cargas esenciales de corriente alterna:

$$P_{SSAA,CA} = 64.01 \text{ kVA} * 0.85 = 54.4085 \text{ kW}$$

Consumo de cargas permanentes de corriente continua:

$$P_{SSAA,CC} = 2.4 \text{ kW} + 2.4 \text{ kW} = 4.8 \text{ kW}$$

Consumo total SSAA:

$$P_{trSSAA} = 54.4085 \text{ kW} + 4.8 \text{ kW} = 59.21 \text{ kW}$$



Dato IB:I.Base ID:I.Detalle HCTG:HCTG Tip:Típico	Cto. N°	Ítem	Cant.	Fases	Pot. Unit. [W]	Pot. Total [W]	Factor demanda [Fd]	Pot. Total [kW]	FP	Pot. Total [kVA]
<b>TABLERO GENERAL CA SERVICIOS AUXILIARES (TGCA)</b>										
<b>Barra Red II Servicios Auxiliares Esenciales</b>										
TIP	CB2-1	Tablero distribución fuerza y alumbrado(Alimentador Esencial)	1	3	-	-	1	-	0,85	4,71
TIP	CB2-2	Tablero distribución CA sistema celdas MT	1	3	-	-	1	-	0,85	30,00
TIP	CB2-3	Cargador de baterías 1	1	3	9375	9375	0,5	4,69	0,9	5,21
TIP	CB2-4	Cargador de baterías 2	1	3	9375	9375	0,5	4,69	0,9	5,21
TIP	CB2-5	Calefacción, alumbrado y enchufe armarios de control y protecciones	1	1	2200	2200	0,33	0,73	1	0,73
TIP	CB2-6	Calefacción, alumbrado y enchufe armarios telecomunicaciones	1	1	2200	2200	0,33	0,73	1	0,73
TIP	CB2-7	Calefacción, alumbrado y enchufe tablero Tapcon T1 (Regulador de Voltaje)	1	1	2200	2200	0,33	0,73	1	0,73
TIP	CB2-8	Tablero control sistema contra incendio	1	1	300	300	1	0,30	1	0,30
TIP	CB2-9	Tablero control climatización	1	1	300	300	1	0,30	1	0,30
TIP	CB2-10	Motor interruptor 52J1	3	3	800	2400	0,33	0,80	0,85	0,94
HCTG	CB2-11	Motores desconectores paño J1 (uno a la vez)	1	3	500	500	0,33	0,17	0,85	0,20
HCTG	CB2-12	Tablero ventiladores transformador T1	8	3	750	6000	1	6,00	0,85	7,06
TIP	CB2-13	Tablero cambiador de taps T1 (CTBC)	1	3	1520	1520	1	1,52	0,85	1,79
TIP	CB2-14	Tablero control gases sala baterías	1	1	300	300	1	0,30	1	0,30
		<b>SUBTOTAL [ kVA]</b>								<b>58,19</b>
		<b>MARGEN DE RESERVA</b>						<b>10%</b>		<b>5,819</b>
TIP	CB02	<b>Total [kVA]</b>							<b>0,85</b>	<b>64,01</b>

Tabla 3.4 – Consumo de cargas esenciales de corriente alterna del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



Dato IB:I.Base ID:I.Detalle HCTG:HCTG Tip:Típico	Cto. N°	Ítem	Cant.	Pot. Unit. [W]	Factor diversidad	Pot. Total [W]	IN (A)
		<b>TABLERO DISTRIBUCIÓN CC (TGCC)-BARRA 1</b>					
TIP	CB1-1	Tablero distribución CC sistema MT	1	400	1	400	3,2
TIP	CB1-2	Cto.1 armario de control paño J1	1	200	1	200	1,6
TIP	CB1-3	Cto.1 armario de protección LT Los Maquis	1	200	1	200	1,6
TIP	CB1-4	Cto.1 armario de protección transformador	1	200	1	200	1,6
TIP	CB1-5	Cto.1 armario SCADA	1	642	1	642	5,1
TIP	CB1-6	Cto.1 armario telecomunicaciones LT Los Maquis	1	320	1	320	2,6
TIP	CB1-7	Cto.1 control Tablero CTBC	1	20	1	20	0,2
TIP	CB1-8	Cto.1 control tablero transformador T1	1	200	1	200	1,6
TIP	CB1-9	Cto.1 control tablero Tapcon T1 (Regulador de Voltaje)	1	20	1	20	0,2
TIP	CB1-10	Cto.1 alimentación facturador TGCA	1	20	1	20	0,2
HCTG	CB1-11	Cto.Cierre 52J1	3	275	1	825	6,6
HCTG	CB1-12	Cto, Apertura 1 52J1	3	275	1	825	6,6
HCTG	CB1-13	Cto1. Control desconectores paño J1	1	20	1	20	0,2
	CB1-14	Reserva					
	CB1-15	Reserva					
		SUBTOTAL [ W/A]				2222	17,8
		MARGEN DE RESERVA	10%			222	1,8
	CB1-0	Total [W/A]	1			2444	19,6

Tabla 3.5 – Consumo de corriente continua permanentes de la barra 1 del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



Dato IB:I.Base ID:I.Detalle HCTG:HCTG Tip:Típico	Cto. N°	Ítem	Cant.	Pot. Unit. [W]	Factor diversidad	Pot. Total [W]	IN (A)
		<b>TABLERO DISTRIBUCIÓN CC (TGCC)-BARRA 2</b>					
TIP	CB2-1	Tablero distribución CC sistema MT	1	400	1	400	3,2
TIP	CB2-2	Cto.2 armario de control paño J1	1	200	1	200	1,6
TIP	CB2-3	Cto.2 armario de protección LT Los Maquis	1	200	1	200	1,6
TIP	CB2-4	Cto.2 armario de protección transformador	1	200	1	200	1,6
TIP	CB2-5	Cto.2 armario SCADA	1	642	1	642	5,1
TIP	CB2-6	Cto.2 armario telecomunicaciones LT Los Maquis	1	320	1	320	2,6
TIP	CB2-7	Cto.2 control Tablero CTBC	1	20	1	20	0,2
TIP	CB2-8	Cto.2 control tablero transformador T1	1	200	1	200	1,6
TIP	CB2-9	Cto.2 control tablero Tapcon T1 (Regulador de Voltaje)	1	20	1	20	0,2
TIP	CB2-10	Cto.2 alimentación facturador TGCA	1	20	1	20	0,2
HCTG	CB2-11	Cto, Apertura 2 52J1	3	275	1	825	6,6
HCTG	CB2-12	Cto1. Control desconectores paño J1	1	20	1	20	0,2
	CB2-13	Reserva					
	CB2-14	Reserva					
		SUBTOTAL [ W/A]				2222	17,8
		MARGEN DE RESERVA	10%			222	1,8
	CB2-0	Total [W/A]	1			2444	19,6

Tabla 3.6 – Consumo de corriente continua permanentes de la barra 2 del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



## 4 DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO

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

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

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores (considerando todos los inversores en servicio), más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en 220 kV en paño J1 de la S/E Meseta de Los Andes 220 kV.



#### 4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio

El día 5 de mayo de 2023 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio. Para lograr esta condición, se da orden de detención a todos los inversores del parque a excepción del inversor INV19\_37. En esta condición los circuitos colectores y los transformadores de bloque se mantienen energizados.

En la Figura 4.1 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando únicamente el inversor INV19\_37 en servicio.

Como escenario de operación inicial se cuenta con los 42 inversores del parque operativos, luego se da orden de detención a todos los inversores, a excepción del equipo INV19\_37. A continuación, se procede a consignarle un valor de potencia activa de 0.23 MW, ya que se ha verificado previamente que es el valor de potencia activa que consume el parque con todos los inversores apagados. En esta condición se registra un valor de potencia neta de 0 MW en el paño J1 de la S/E Meseta de Los Andes 220 kV.

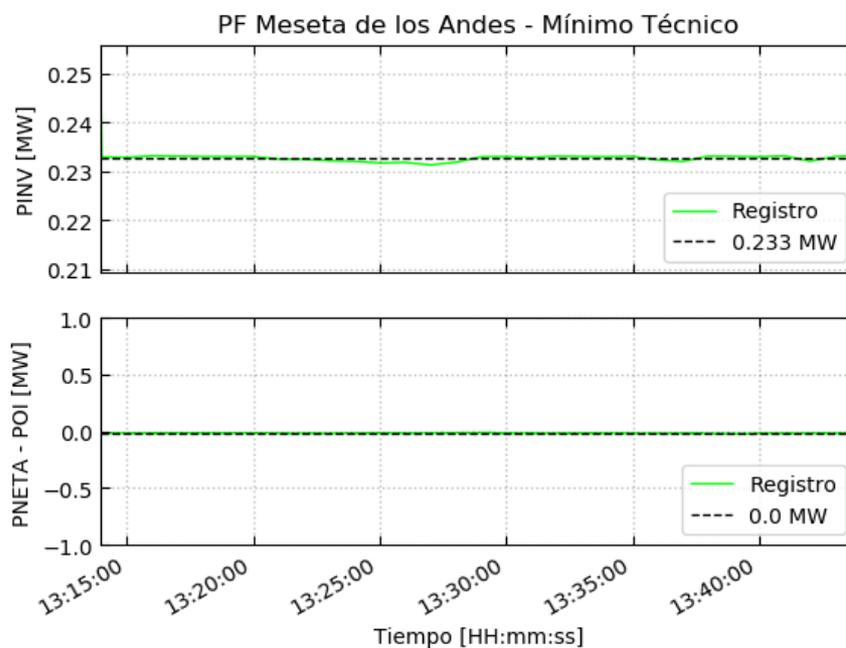


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Inversor INV19\_37

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



#### 4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de inversor (PINV) presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del inversor. Estos consumos se estiman en 10 kW según se observa en la Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 0.233 MW + 1 \times 10 kW = 243 kW$$

$$P_{bruta} = 0.2430 MW$$

#### 4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios del inversor en operación en kW más los Servicios Auxiliares del parque.

Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno de cada inversor en servicio se estima en 10 kW. Adicionalmente, en base a lo presentado en la Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 59.21 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 1 \times 10 kW + 59.21 kW = 69.21 kW$$

$$P_{SSAA} = 0.0692 MW$$



#### 4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

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

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el inversor INV19\_37 y la **Potencia Neta Medida** ( $P_{neta}$ , ver Figura 4.1).

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 59.21 kW.

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

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

$$P_{perd,central} = 0.233 \text{ MW} - 59.21 \text{ kW} - 0.0 \text{ MW} = 173.79 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central} = 0.1738 \text{ MW}$$

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

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

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

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



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

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 81.3 \text{ kW} = 81.30 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT} = 173.79 \text{ kW} - 81.30 \text{ kW} = 92.49 \text{ kW}$$

#### 4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño J1 de la S/E Meseta de Los Andes. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 0 MW, considerando la operación de un único inversor.

$$P_{neta} = 0.0000 \text{ MW}$$

#### 4.1.5 Resultados

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	0.2430	0.0692	0.1738	0.0000

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Inversor INV19\_37 – Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



#### 4.2 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

A continuación, se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo, es decir, con los 42 inversores en funcionamiento. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de inversores en servicio.

En la Figura 4.2 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico realizado el día 5 de mayo de 2023 considerando todos los inversores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de la potencia neta, inyectada por la totalidad de los inversores en servicio y de la potencia neta, potencia inyectada en 220 kV del transformador principal del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes. La diferencia registrada entre ambos valores es de 0.65 MW.

Se presenta en la Figura 4.2 un registro de operación estable a mínimo técnico obtenido entre las 10:57 y 11:30 hrs.

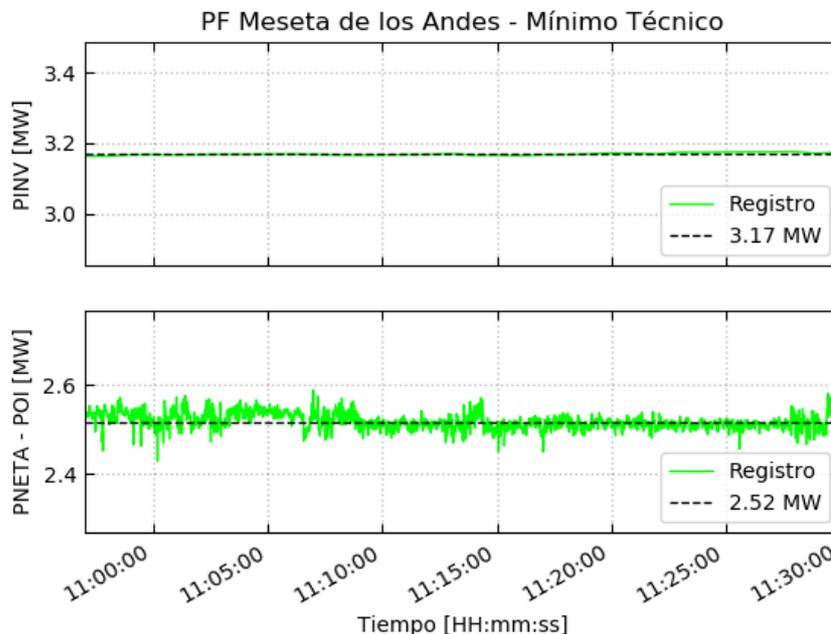


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio

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



#### 4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de inversor (PINV) 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 10 kW según se observa en la Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 3.17 \text{ MW} + 42 \times 10 \text{ kW} = 3.5900 \text{ MW}$$

Cabe mencionar que el valor de 3.17 MW de potencia bruta implica un despacho aproximado 75.5 kW por cada inversor, se ha observado durante los ensayos que, para valores menores de potencia activa, los inversores entran y salen de servicio de forma recurrente y no se permite obtener una operación estable del Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes (ver anexo 6.1).

#### 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 del parque.

Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno de cada inversor en servicio se estima en 10 kW y se debe considerar la totalidad de equipos en servicio. Adicionalmente, en base a lo presentado en la Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 59.21 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 42 \times 10 \text{ kW} + 59.21 \text{ kW} = 479.21 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.4792 \text{ MW}$$



#### 4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central

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

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en los inversores y la **Potencia Neta Medida** ( $P_{neta}$ , ver Figura 4.2).

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 59.21 kW.

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

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

$$P_{perd,central} = 3.17 \text{ MW} - 59.21 \text{ kW} - 2.52 \text{ MW} = 590.79 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central} = 0.5908 \text{ MW}$$

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

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

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

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

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor al 2%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.



$$P_{Perd, tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 81.3 \text{ kW} = 81.30 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd, redMT} = 590.79 \text{ kW} - 81.30 \text{ kW} = 509.49 \text{ kW}$$

#### 4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño J1 de la S/E Meseta de Los Andes. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 2.52 MW, considerando la operación de la totalidad del parque.

$$P_{neta} = 2.5200 \text{ MW}$$

#### 4.2.5 Resultados

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	3.5900	0.4792	0.5908	2.5200

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes



## 5 CONCLUSIONES

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	0.2430	0.0692	0.1738 <sup>1</sup>	0.0000

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Inversor INV19\_37 – Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Meseta de los Andes	3.5900	0.4792	0.5908 <sup>2</sup>	2.5200

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes

<sup>1</sup> Desglosado en 81.30 kW de pérdidas en el transformador principal y 92.49 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

<sup>2</sup> Desglosado en 81.30 kW de pérdidas en el transformador principal y 509.49 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



## 6 ANEXOS

### 6.1 Verificación de operación estable a nivel inversor

A continuación, se presenta la verificación en terreno del valor mínimo de operación estable para un inversor individual.

En primer lugar, se consigna un valor de aproximadamente 50 kW y se observa que el inversor opera algunos segundos en este valor previo a desconectarse de forma automática.

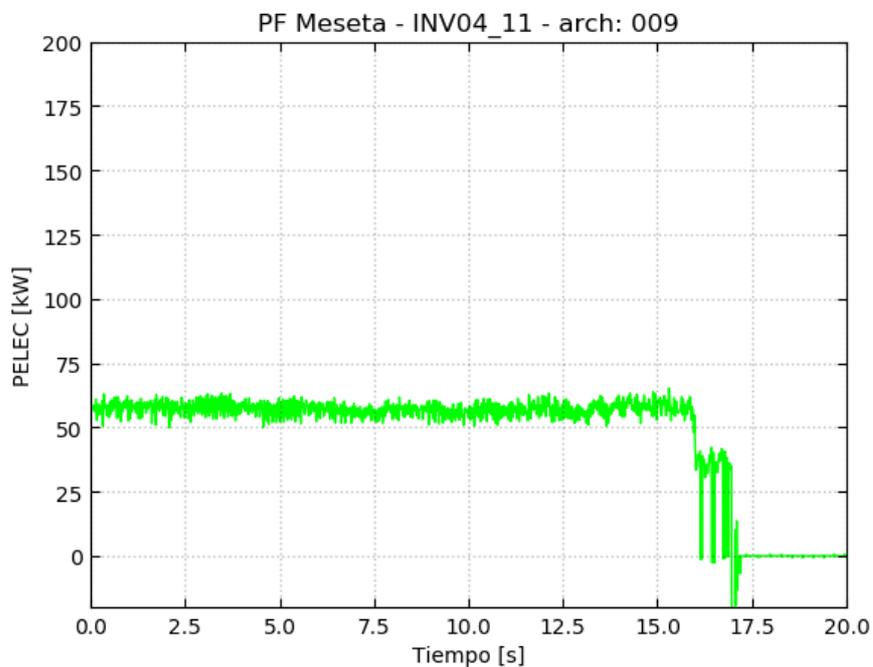


Figura 6.1 – Verificación de operación estable –  $P_o = 50.0$  kW

Luego, se consigna un valor de aproximadamente 75 kW y se aprecia que el inversor puede operar de forma permanente en dicho valor sin desconectarse.

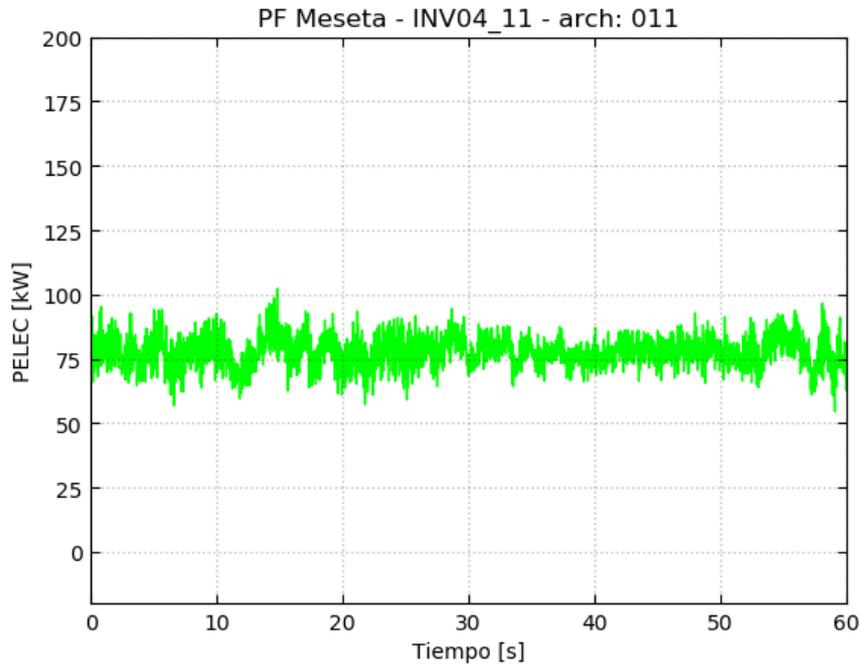


Figura 6.2- Verificación de operación estable -  $P_o = 75.0 \text{ kW}$



## 6.2 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 <b>ESTUDIOS ELECTRICOS</b>		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	21/07/2022
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: 21/07/22 Certificado número: EE-CI-2022-1131	Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 	
<b>Power System Studies &amp; Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning</b>		



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.