

Empresa: ENGIE

País: Chile

Proyecto: Parque Fotovoltaico Capricornio

Descripción: Informe de Mínimo Técnico

Código de Proyecto: EE-2020-021

Código de Informe: EE-EN-2022-0791

Revisión: A



15 de septiembre de 2022



Este documento EE-EN-2022-0791-RA fue preparado para ENGIE 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 37 páginas y ha sido guardado por última vez el 15/09/2022 por César Colignon, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	15/Sept/2022	Para presentar.	CiC/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.....	5
1.1	Fecha ensayo y personal auditor	5
1.2	Medidores utilizados.....	5
1.3	Definiciones y Nomenclatura	6
2	ASPECTOS NORMATIVOS	8
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	9
3.1	Unifilar de planta.....	9
3.2	Datos de los paneles solares	12
3.3	Datos de los inversores	15
3.4	Datos de los transformadores de bloque.....	17
3.5	Datos del transformador de poder	18
3.6	Datos del transformador de servicios auxiliares.....	19
3.7	Datos de consumos de SSAA de planta.....	20
3.7.1	Cargas esenciales de corrientes alterna	20
3.7.2	Cargas permanentes de corriente continua.....	21
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	Consideraciones para la estimación de la Potencia Bruta.....	28
4.2.2	Pérdidas en el transformador principal.....	31
4.2.3	Pérdidas en red colectora de media tensión.....	32
4.2.4	Potencia de Servicios Auxiliares	33
4.2.5	Determinación de la Potencia Bruta	34
4.2.6	Resultados.....	34
5	CONCLUSIONES	35



6 ANEXOS	36
6.1 Certificado de calibración del medidor de energía	36



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Capricornio 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 Capricornio se ubica en la región de Antofagasta, emplazado al noroeste de la comuna de Antofagasta, y tiene una potencia bruta instalada de 81.250/93.418 MVA (@50°C/25°C). El parque se vincula al SEN por medio de un transformador de poder de relación 33 kV / (110 kV \pm 11 \times 1.25%) y de capacidad 72/90 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en el paño HT1 de la S/E Elevadora Capricornio 110 kV.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. César Colignon	30 de agosto de 2022 y 02 de septiembre de 2022

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	Precisión
Analizador de energía	Janitza	UMG 604	\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 el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 segundo y medidas de todos los inversores adquiridas con una tasa de muestreo de 10 minutos.



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:

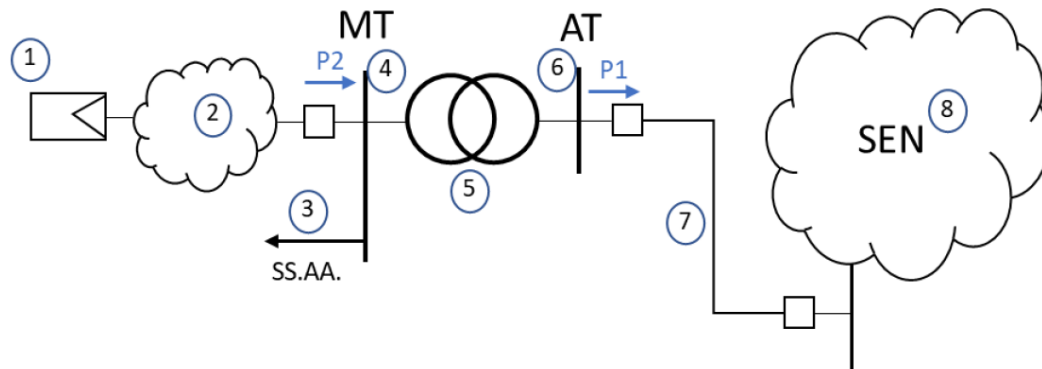


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico

- 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 Capricornio, 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 cercano a 0.0 kW.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Fotovoltaico Capricornio está constituido por 13 centros de transformación, cada uno conformado por un inversor de 3.125/3.593 MVA (@50°C/25°C) de capacidad nominal y un transformador de bloque de tres devanados de relación 0.6/0.6/33 kV y capacidad 6.250/7.186 MVA (@50°C/25°C).

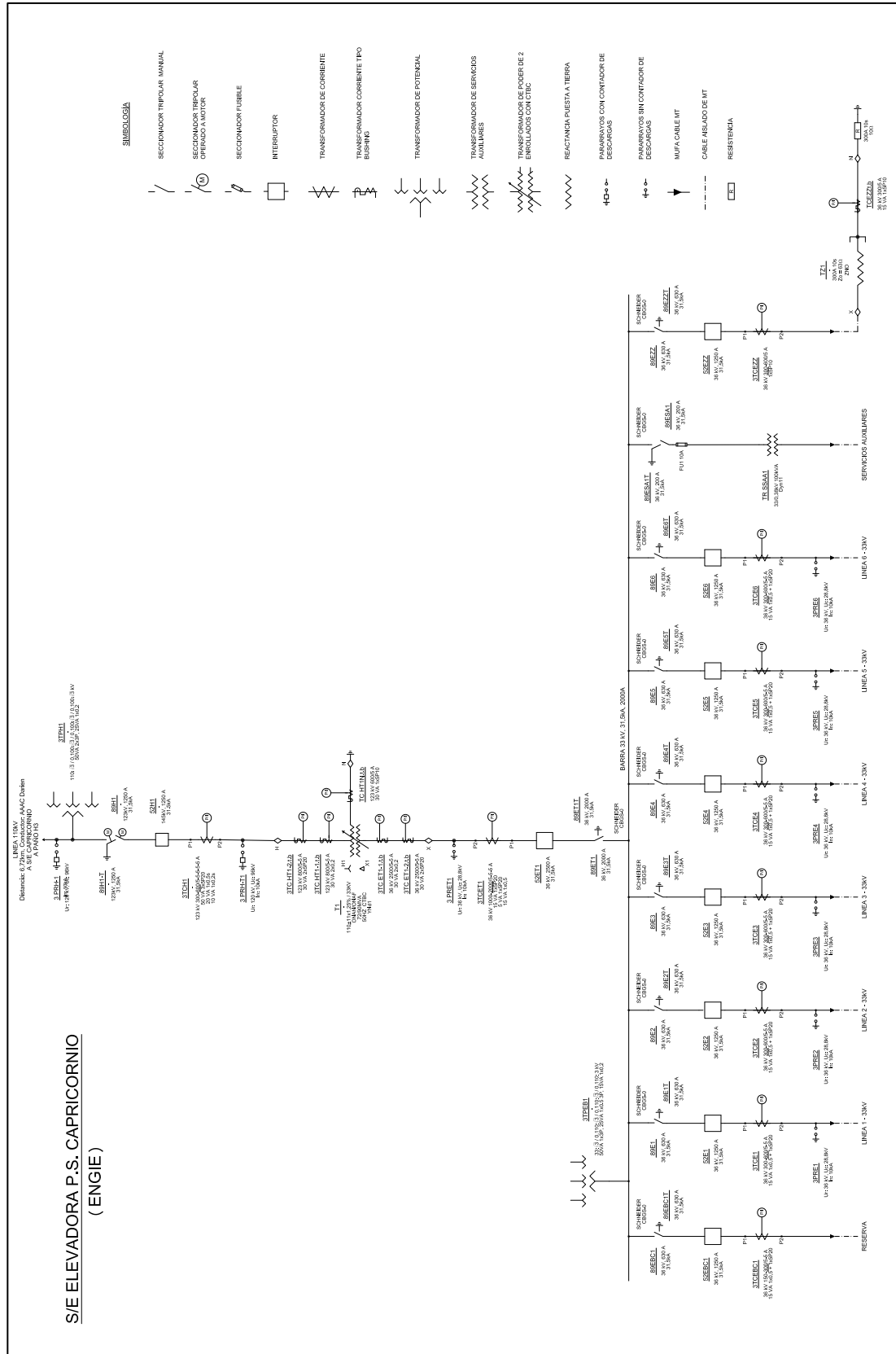
Cuenta con 26 inversores Sungrow modelo SG3125HV-20 de 3.125/3.593 MVA (@50°C/25°C) de potencia aparente nominal y 600 V de tensión de operación nominal. Estos equipos totalizan una potencia bruta instalada de 81.250/93.418 MVA (@50°C/25°C). La red colectora del Parque Fotovoltaico Capricornio cuenta con 6 alimentadores en 33 kV. El parque se vincula al SEN por medio de un transformador de poder de relación 33 kV / (110 kV \pm 11 \times 1.25%) y de capacidad 72/90 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en el paño HT1 de la S/E Elevadora Capricornio 110 kV.

La fuente primaria de energía corresponde a paneles solares marca TALLMAX modelo TSM-DE15H(II).

3.1 Unifilar de planta

La red colectora del Parque Fotovoltaico Capricornio está compuesta por seis alimentadores en 33 kV que colectan la potencia generada por los paneles del parque. Cinco de estos alimentadores tienen dos centros de transformación y el restante posee tres centros de transformación.

La barra principal de 33 kV del Parque Fotovoltaico Capricornio y su transformador principal se aprecian en la Figura 3.1. En tanto, en la Figura 3.2 se muestra el detalle de los circuito alimentadores.



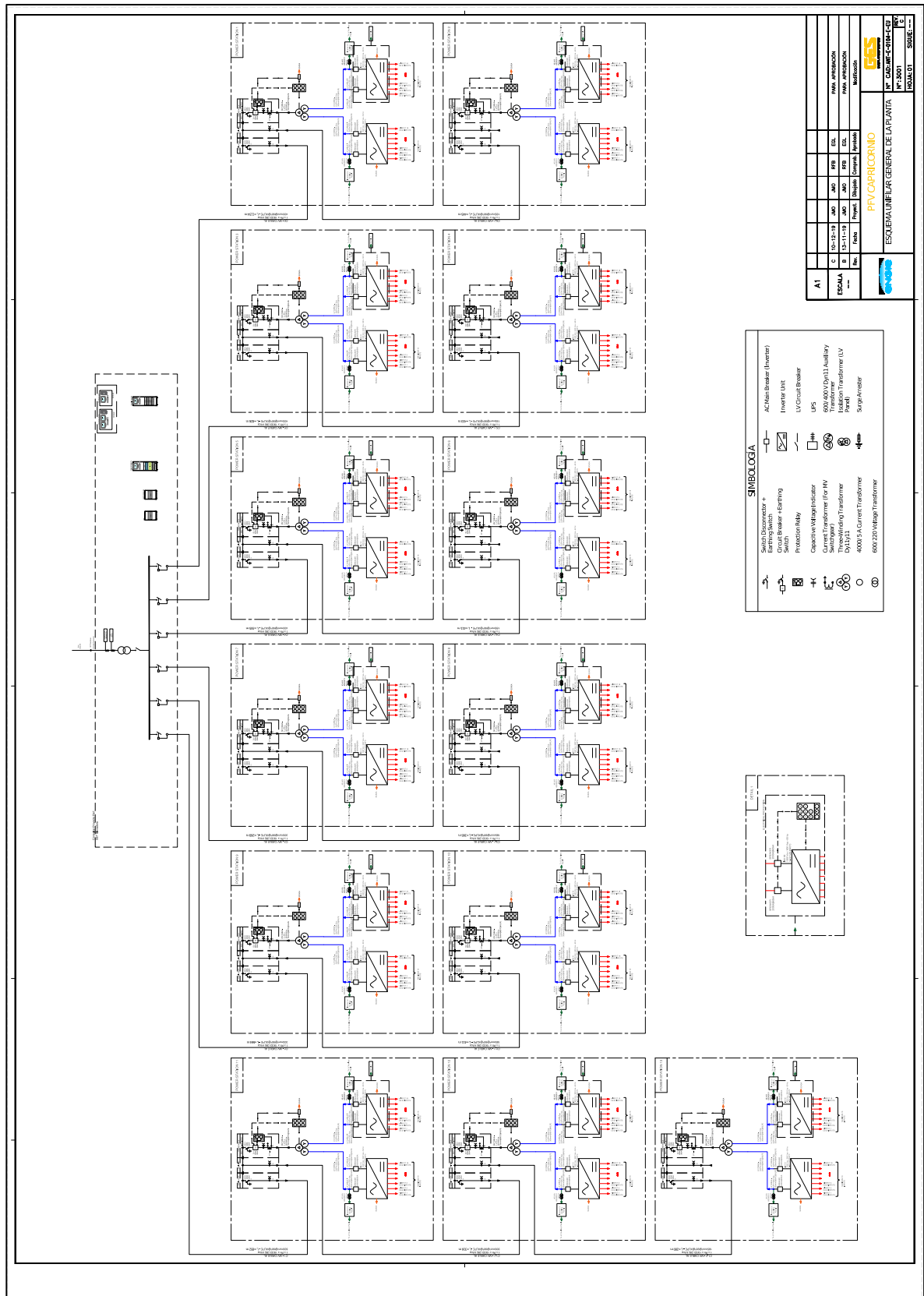


Figura 3.2 - Detalle de red colectoras - Parque Fotovoltaico Capricornio



3.2 Datos de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos del Parque Fotovoltaico Capricornio son de marca TALLMAX modelo TSM-DE15H(II). Sus principales características se presentan en las Figura 3.3 y Figura 3.4.

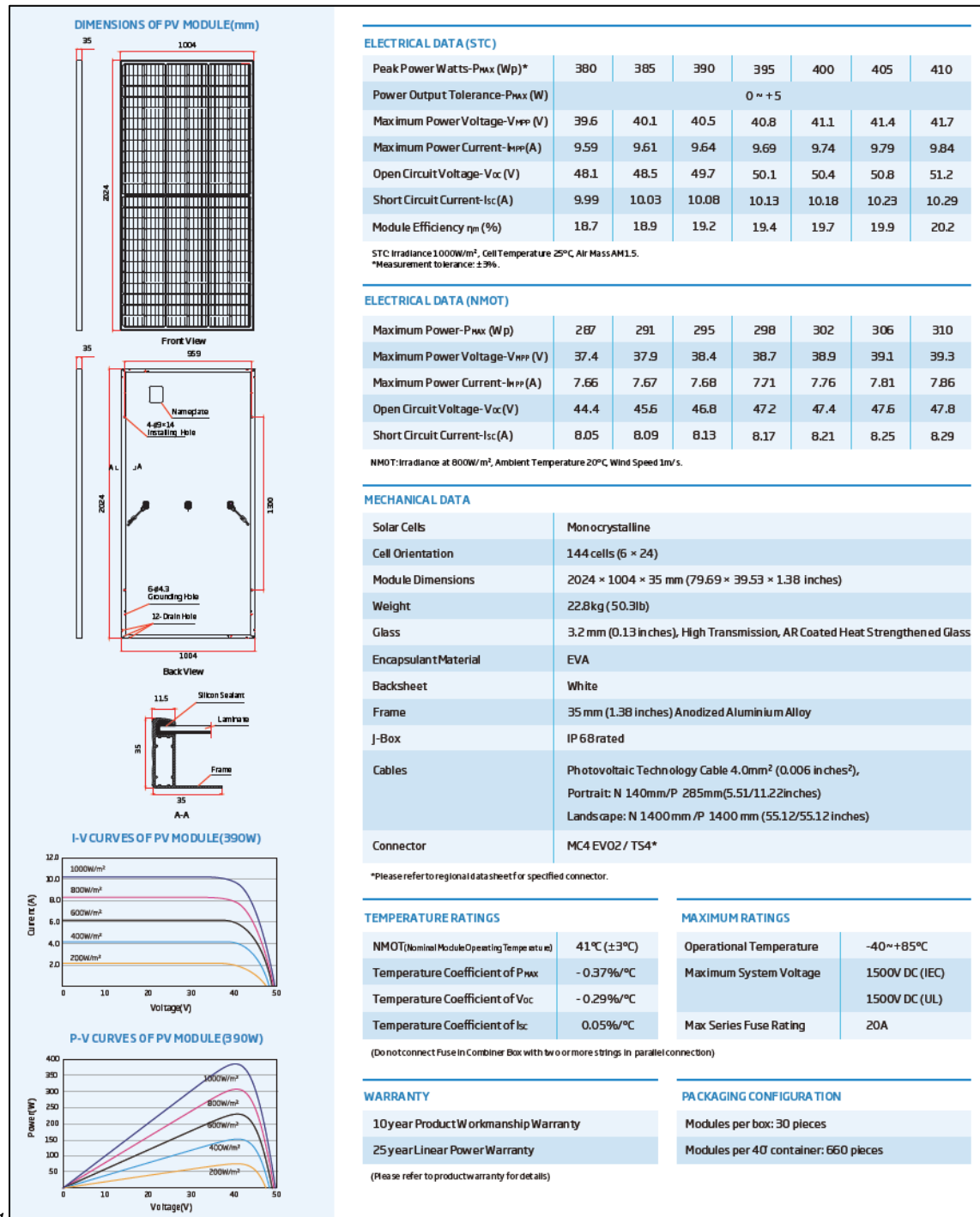
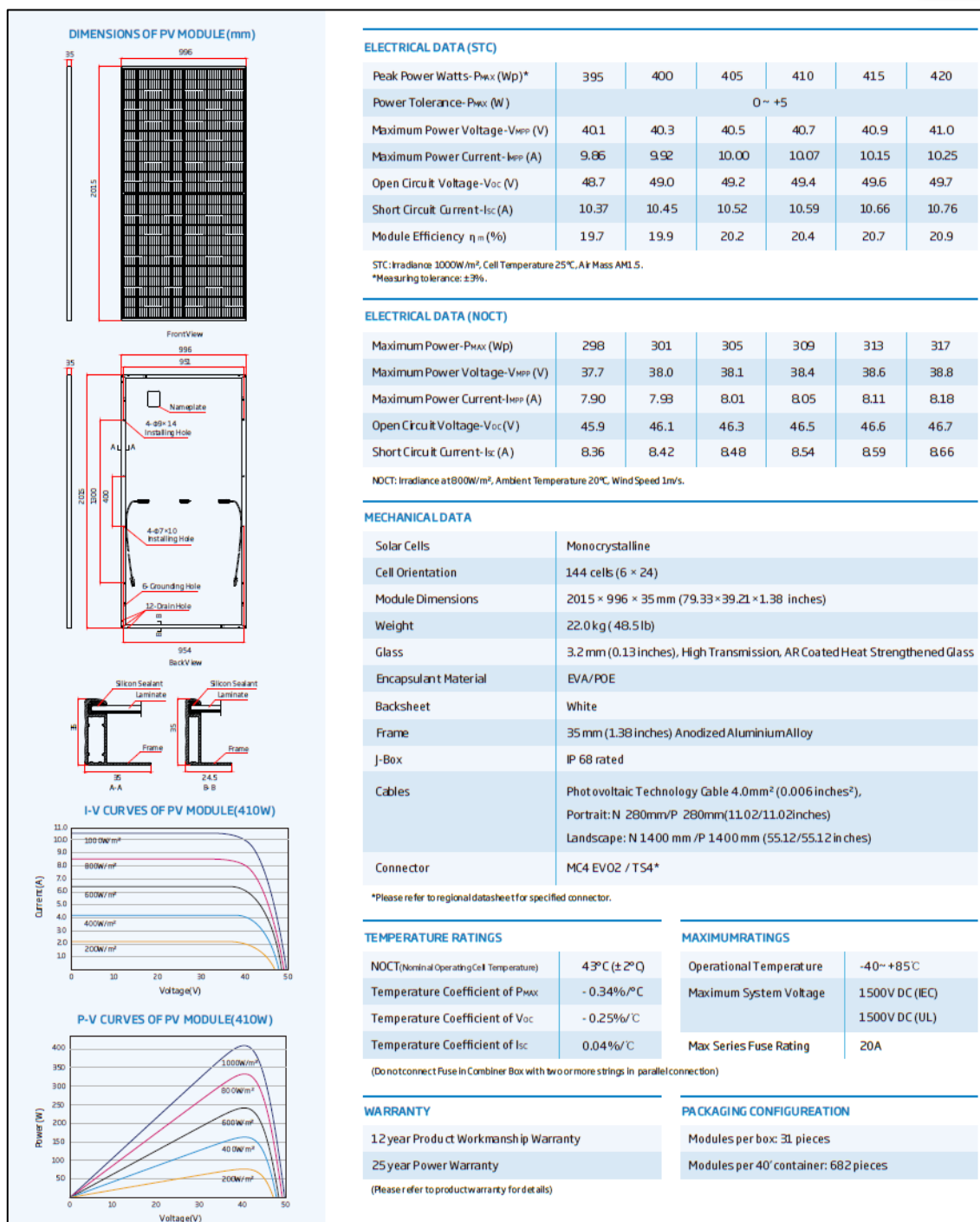


Figura 3.3 – Datos de paneles TALLMAX modelo TSM-DE15H(II) (1 de 2)





Se presenta en la Tabla 3.1 el número de módulos solares para cada inversor instalado en el Parque Fotovoltaico Capricornio. Se destaca un total de 249.210 paneles, distribuidos entre los 26 inversores presentes. La relación DC/AC ha sido calculada considerando el valor de potencia nominal de los inversores referida a 45°C de 3.437 MVA.

<i>Inversor</i>	<i>Potencia Módulo [Wp]</i>	<i>Strings (30 Módulos)</i>	<i>Potencia DC [kWp]</i>	<i>Relación DC/AC</i>
CT01-1	395	309	3661.65	1.07
CT01-2	395	312	3697.20	1.08
CT02-1	395	312	3697.20	1.08
CT02-2	395	312	3697.20	1.08
CT03-1	395	312	3697.20	1.08
CT03-2	395	312	3697.20	1.08
CT04-1	395	312	3697.20	1.08
CT04-2	395	311	3685.35	1.07
CT05-1	390	186	2176.20	1.14
	405	144	1749.60	
CT05-2	390	310	3627.00	1.13
	410	21	258.30	
CT06-1	390	330	3861.00	1.12
CT06-2	390	330	3861.00	1.12
CT07-1	390	333	3896.10	1.13
CT07-2	390	333	3896.10	1.13
CT08-1	390	333	3896.10	1.13
CT08-2	390	333	3896.10	1.13
CT09-1	390	333	3896.10	1.13
CT09-2	390	333	3896.10	1.13
CT10-1	390	333	3896.10	1.13
CT10-2	390	333	3896.10	1.13
CT11-1	390	333	3896.10	1.13
CT11-2	390	333	3896.10	1.13
CT12-1	390	333	3896.10	1.13
CT12-2	385	279	3222.45	0.94
CT13-1	385	276	3187.80	0.93
CT13-2	385	276	3187.80	0.93
TOTAL		8307	97518.45	1.091

Tabla 3.1 – Distribución de módulos fotovoltaicos



3.3 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Capricornio cuenta con 26 inversores marca SUNGROW, modelo SG3125HV-20. Los inversores son de 3.125 MVA (@50°C) de potencia aparente nominal y sus principales características se presentan en la Figura 3.5.

Input (DC)	SG3125HV-20
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	875 V / 915 V
MPP voltage range for nominal power	875 – 1300 V
No. of independent MPP inputs	1
No. of DC inputs	15
Max. PV input current	4178 A
Output (AC)	
AC output power	3593 kVA @ 25 °C / 3437 kVA @ 45 °C / 3125 kVA @ 50 °C
Max. AC output current	3458 A
Nominal AC voltage	600 V
AC voltage range	480 – 690 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I _n
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / Connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / Euro. efficiency	99.0 % / 98.7 %
Protection and Function	
DC input protection	Load break switch + fuse
AC output protection	Circuit breaker
Overvoltage protection	DC Type I + II / AC Type II
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes
Insulation monitoring	Yes
Overheat protection	Yes
Q at night function	Optional
Anti-PID function	Optional
General Data	
Dimensions (W*H*D)	2991*2591*2438 mm
Weight	6.5 T
Isolation method	Transformerless
Degree of protection	IP55
Auxiliary power supply	415 V, 15 kVA (Optional: max. 40 kVA)
Operating ambient temperature range	-35 to 60 °C (> 50 °C derating)
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 95 %
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling
Max. operating altitude	4000 m (> 3000 m derating)
Display	Touch screen
Communication	Standard: RS485, Ethernet; Optional: optical fiber
Compliance	CE, IEC 62109, IEC 62116, IEC 61727
Grid support	Q at night function (optional), L/HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control
Type designation	SG3125HV-20

Figura 3.5 – Datos de inversor SG3125HV-20



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

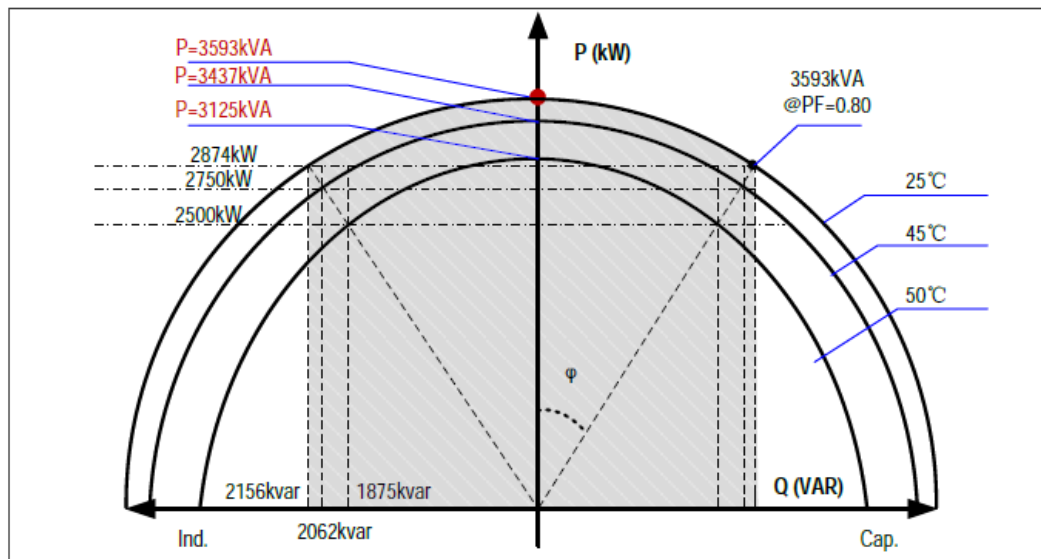


Figura 3.6 – Curva de capacidad del inversor

En la Figura 3.7 se presenta el detalle de consumos propios del inversor, considerando el equipo en servicio o en condición de standby. Se aprecia un consumo en servicio de 4.105 kW y de 415 W en standby.

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- Consumos propios de inversor



3.4 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Fotovoltaico Capricornio cuenta con 13 transformadores de bloque de tres devanados que permiten la interconexión de dos inversores. Su relación de transformación es de 0.6/0.6/33 kV y de 6.250 (@50°C) MVA de capacidad nominal.

Los datos característicos de los mismos se muestran en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	6.25 MVA
Refrigeración	ONAN
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV-1	0.6 kV
Tensión nominal lado LV-2	0.6 kV
Grupo de conexión	Dy11y11
Impedancia	5.865 %
Pérdidas en carga	22.41 kW (por devanado)
Pérdidas en vacío	4.83 kW
Posiciones de TAP	±2 x 2.5 %

Tabla 3.2 – Datos de los transformadores de bloque



3.5 Datos del transformador de poder

El Parque Fotovoltaico Capricornio cuenta con un transformador de poder, de potencia nominal 72/90 MVA según método de enfriamiento ONAN/ONAF. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 33 kV y un arrollamiento de alta tensión de 110 kV. Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

La placa característica de los mismos se muestra en la Tabla 3.3.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	72/90 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	110.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd1
Impedancia	17.638 %
Pérdidas en carga	212.224 kW
Pérdidas en vacío	37.513 kW
Posiciones de TAP	$\pm 11 \times 1.25$ %

Tabla 3.3 - Datos del transformador principal



3.6 Datos del transformador de servicios auxiliares

El Parque Fotovoltaico Capricornio cuenta con un transformador de poder para alimentar sus servicios auxiliares. El transformador es de 100 kVA de potencia aparente nominal y tiene una relación de transformación de 0.4/33 kV.

La placa característica de los mismos se muestra en la Tabla 3.4.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	100 kVA
Refrigeración	AN
Tensión nominal lado HV	33.0 kV
Tensión nominal lado LV	0.4 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia	5.85 %
Pérdidas en carga	1.502 kW
Pérdidas en vacío	0.051 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.4 – Datos del transformador de servicios auxiliares



3.7 Datos de consumos de SSAA de planta

En el documento “ANT-E-0104-P-MC-0001.pdf” (adjunto) se realiza el dimensionamiento de las cargas de corriente alterna y continua asociadas al funcionamiento de todos los sistemas auxiliares que permiten el funcionamiento del parque.

Para las pruebas de Mínimo Técnico se han considerado los servicios esenciales de corriente alterna y las cargas permanentes de corriente continua. El total de servicios esenciales y cargas permanentes es de **10.55 kW** de potencia. En los siguientes apartados se presentan los antecedentes considerados para este dimensionamiento.

3.7.1 Cargas esenciales de corrientes alterna

El documento adjunto establece como consumos esenciales los siguientes ítems:

- Alumbrado de emergencia
- Rectificadores-cargadores de baterías

En la sección 3.1 del documento adjunto se aprecia que el consumo asociado al alumbrado de emergencia es de 66 W. En tanto los cargadores de batería totalizan un consumo de 8750 W. Por lo tanto, el consumo esencial de corriente alterna es de 8816 W.



3.7.2 Cargas permanentes de corriente continua

En la Tabla 3.5 se presenta el cuadro de cargas simultáneas sin tener en cuenta las cargas innecesarias para el funcionamiento de la instalación. Se aprecia un total de 1733.6 W de consumo permanente.

EQUIPO	ESTIMACION DE CARGAS 125VDC (WATTS)					
	CANT.	CARGAS UNIT. MOMENTANEAS	CARGAS UNIT. PERMANENTES	TOTAL CARGAS MOMENTANEAS	TOTAL CARGAS PERMANENTES	
Motores interruptores HV	1.	1200	50	1200	50	
Bobinas de disparo 1 interruptor HV	1.	1500		1500		
Bobinas de disparo 2 interruptor HV	1.	1500		1500		
Bobinas de cierre interruptor HV	1.	600		600		
Motores DesconectoresHV	2	400		800		
Panel control/protección transformador	1.		112		112	
Panel control/protección línea	1.		70		70	
Panel Control SSAA	1.		28,8		28,8	
Panel Medida	1.		38,4		38,4	
Control - Protección Celdas MT	1		278,1		278,1	
Motores interruptores Celdas MV	8	500		4000		
Armario Scada Subestación	1.		106,3		106,3	
Armario Scada Parque Solar	1.		500		500	
Armario comunicaciones	1.		500		500	
Centralita temperatura TSA	1.		50		50	
Total Consumo (W)			1733,6W		1733,6W	
Total Consumo (A)			13,86A		13,86A	

Tabla 3.5 – Cargas permanente de corriente continua



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]
Capricornio	(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 Capricornio.
- (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 110 kV en paño HT1 de la S/E Elevadora Capricornio 110 kV.



4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio

El día 30 de agosto de 2022 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio. Para lograr esta condición se da orden de detención a todos los inversores del parque a excepción del inversor CT02-1. 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 CT02-1 en servicio.

Como escenario de operación inicial se cuenta con los 26 inversores del parque operativos, luego se da orden de detención a todos los inversores, a excepción del equipo CT02-1. A continuación, se procede a disminuir el valor de potencia activa del inversor buscando alcanzar un valor de potencia neta cercana a 0 MW en el paño HT1 de la S/E Elevadora Capricornio 110 kV.

Esto resulta en un valor de potencia en el inversor CT02-1 de 125 kW según se muestra en la Figura 4.1.

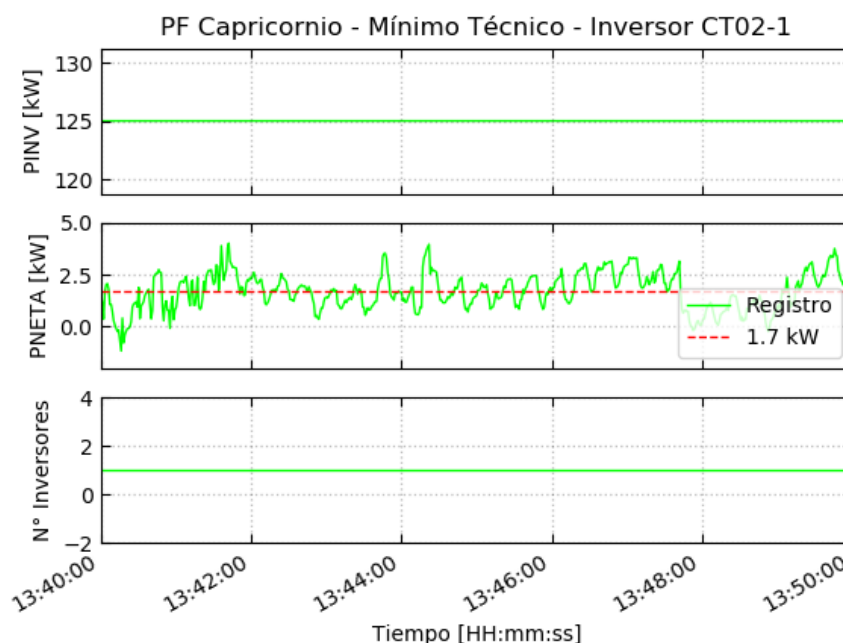


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Inversor CT02-1



Se informa que la mínima resolución en la consigna de potencia activa a nivel inversor es de 0.1% de la base interna de su sistema de control (3125 kVA), por lo tanto, los 125 kW del inversor presentados en la Figura 4.1 corresponden a una consigna del 4.0%. Cabe destacar que en caso de consignar un 3.9% a nivel de inversor, el valor de potencia neta medido sería menor a 0.0 kW.

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

4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de inversor (PINV) presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del inversor. Estos consumos se estiman en 4.105 kW, según se observa en la Figura 3.7. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 125 \text{ kW} + 1 \times 4.105 \text{ kW} = 129.105 \text{ kW}$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada inversor estimados en kW x Cantidad de inversores más el consumo de potencia a través del transformador de servicios auxiliares de la planta.

Según se observa en la Figura 3.7, el consumo interno de cada inversor en servicio se estima en 4.105 kW, en tanto, para los inversores en standby se considera un consumo de 415 W. Adicionalmente, en base a lo presentado en el apartado 3.7, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 10.55 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 25 \times 0.415 \text{ kW} + 1 \times 4.105 \text{ kW} + 10.55 \text{ kW} = 25.03 \text{ kW}$$



4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

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

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el inversor CT02-1 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 17.08 kW.

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

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

$$P_{perd,central} = 125 \text{ kW} - 10.55 \text{ kW} - 25 \times 0.415 - 1.7 \text{ kW} = 102.375 \text{ kW}$$

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

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

En la Tabla 3.3 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular de los ensayos. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

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

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.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0 \text{ kW} + 37.513 \text{ kW} = 37.513 \text{ kW}$$



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

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

$$P_{Perd,redMT} = 102.375 \text{ kW} - 37.513 \text{ kW} = 64.862 \text{ kW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 110 kV en paño HT1 de la S/E Elevadora Capricornio. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 1.7 kW, considerando la operación de un único inversor.

$$P_{neta} = 1.7 \text{ kW}$$

4.1.5 Resultados

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Capricornio	129.105	25.03	102.375	1.7

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Inversor CT02-1 – Parque Fotovoltaico Capricornio



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 26 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 02 de septiembre de 2022 considerando todos los inversores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de la potencia neta, inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del Parque Fotovoltaico Capricornio, la cual posee un valor promedio de **0.409 MW**. No fue posible consignar un valor menor de potencia neta debido los inversores comenzaban a conmutar a su estado de pausa o fuera de servicio. Lo cual es coherente con el despacho individual de cada uno de ellos.

Se presenta en la Figura 4.2 un registro de operación estable a mínimo técnico obtenido entre las 14:53 y 15:13 hrs.

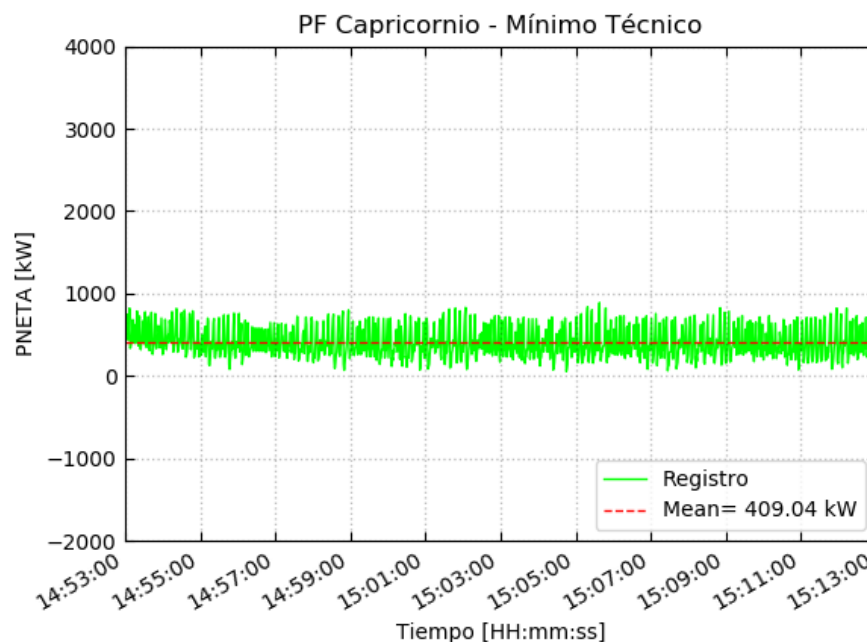


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio

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



4.2.1 Consideraciones para la estimación de la Potencia Bruta

Para poder determinar la potencia bruta es necesario calcular el valor de potencia de pérdidas totales del parque. La potencia de pérdidas totales considera las pérdidas en carga en el transformador principal de la central, las pérdidas en red colectora de media tensión en la condición de ensayo y la potencia asociadas a consumos de servicios auxiliares.

$$P_{bruta} = P_{neta,med} + L_{Totales}$$

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

- P_{SSAA} : Potencia de Servicios Auxiliares
- $P_{Perd,tr_{ppal}}$: Pérdidas en el transformador principal
- $P_{Perd,redMT}$: Pérdidas en red colectora de media tensión

$$L_{Totales} = P_{SSAA} + P_{Perd,tr_{ppal}} + P_{Perd,redMT}$$

Para determinar el valor pérdidas asociada a cada elemento (P_{SSAA} , $P_{Perd,tr_{ppal}}$ y $P_{Perd,redMT}$), y de esta manera obtener el valor de potencia bruta del parque, se realizan simulaciones de flujos de potencias sobre el modelo completo del Parque Fotovoltaico Capricornio desarrollado en DigSilent. El modelo fue desarrollado y validado por Estudios Eléctricos y se presenta en la Figura 4.3. El mismo contempla las pérdidas en la red, se le agrega las pérdidas en los transformadores de cada inversor y el consumo registrado de los servicios auxiliares de planta.

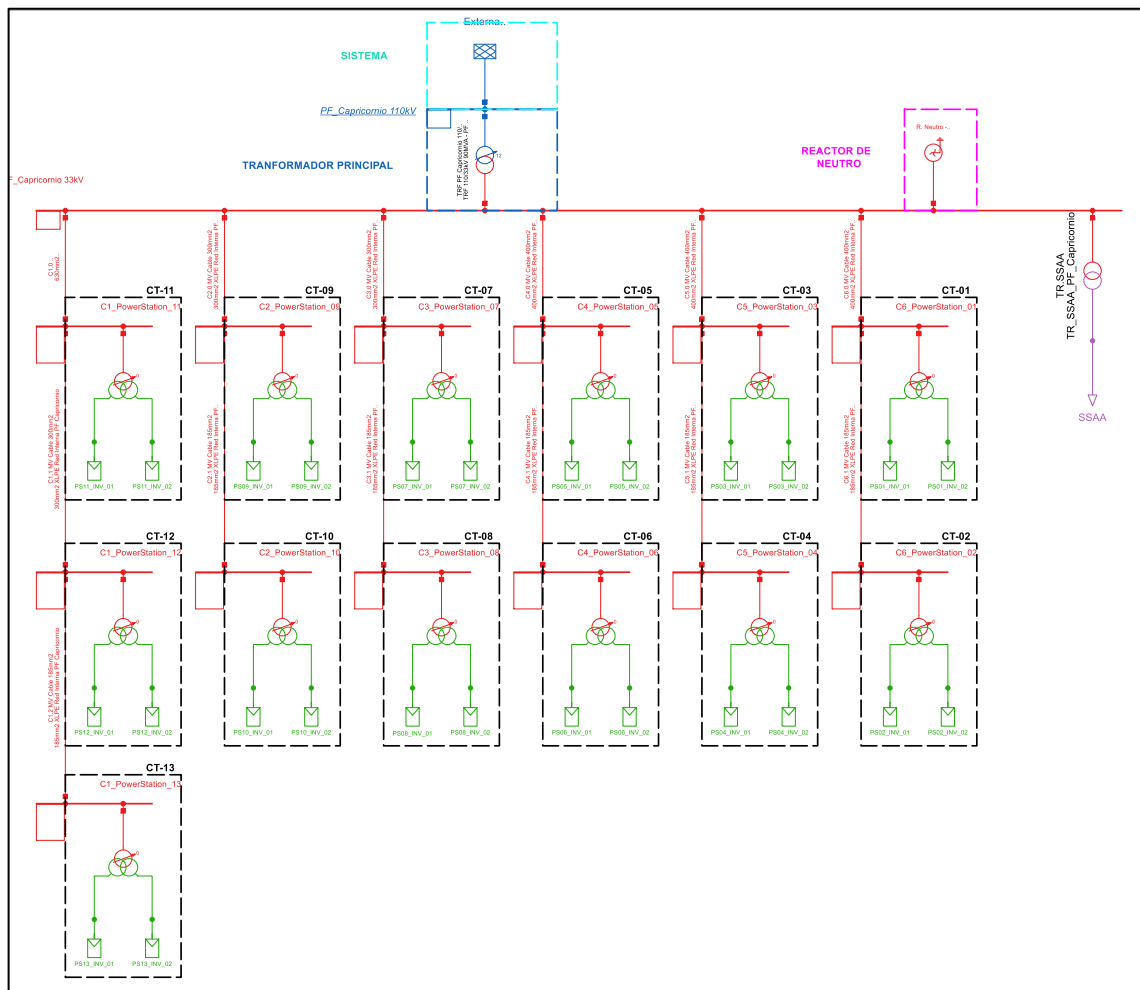


Figura 4.3 – Modelo desarrollado en DigSilent

En base a lo presentado en el apartado 3.7, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 10.55 kW. Para realizar esta simulación se debe hallar la potencia generada por cada inversor, y para esto se procede a despacharlos a todos por igual de modo de conseguir la potencia neta registrada en el punto de interconexión.

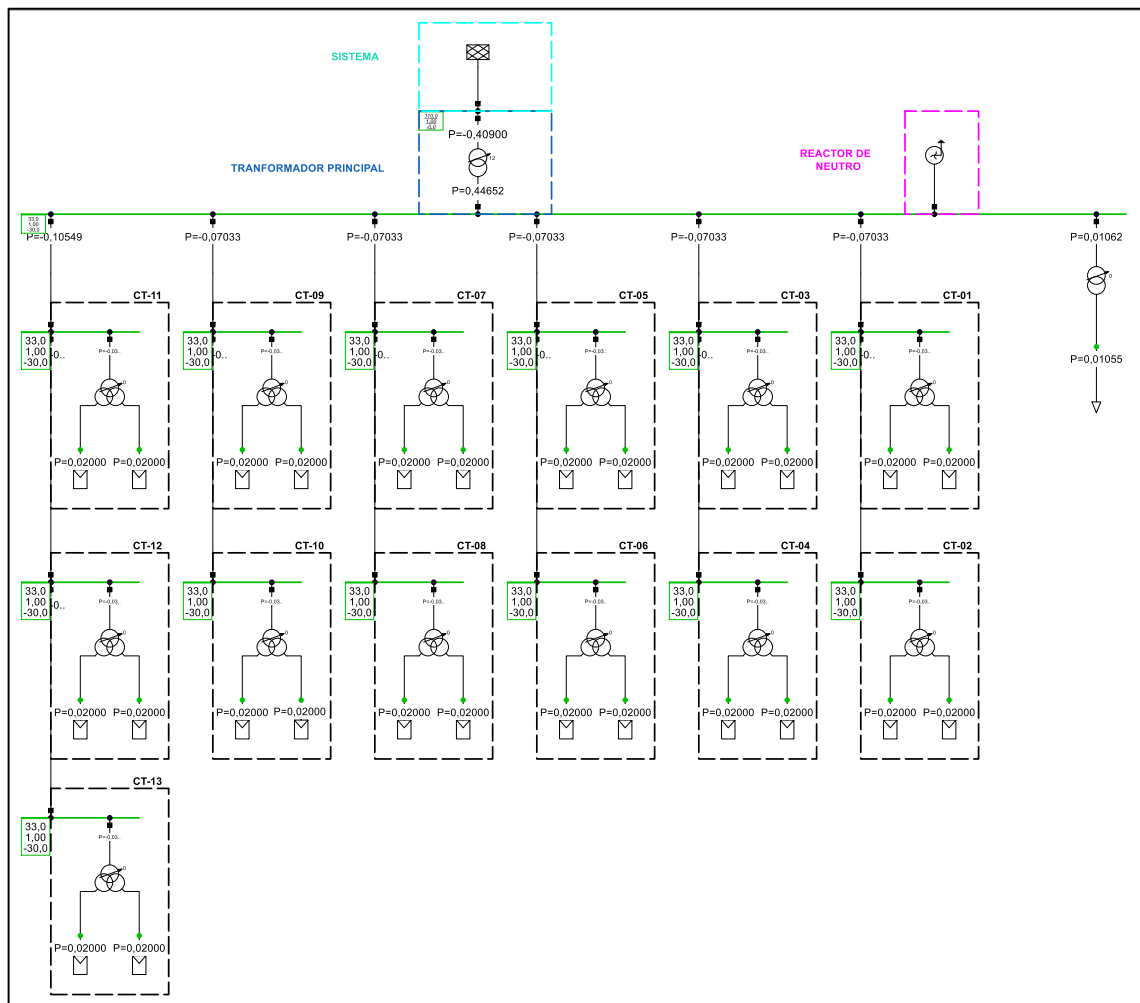


Figura 4.4 – Modelo desarrollado en DigSilent (Flujo de potencia)

De acuerdo con los resultados de la simulación, se obtiene que la potencia de despacho para cada inversor es de 0.0200 MW. Considerando que el parque tiene los 26 inversores en servicio, se puede determinar la potencia total de despacho de los inversores:

$$P_{Total,INV} = 26 \times 0.0200 \text{ MW} = 0.52 \text{ MW}$$



4.2.2 Pérdidas en el transformador principal

A partir de los resultados del flujo de potencia presentados en la Figura 4.5 se pueden determinar las pérdidas asociadas al transformador principal de 110/33 kV. La potencia de pérdidas se calcula como la diferencia entre la potencia inyectada por la barra colectora en el lado de baja tensión (33 kV) del transformador principal y la potencia a la salida del lado de alta tensión (110 kV) del transformador principal.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = P_{iny,tr_{33kV}} - P_{sal,tr_{110kV}}$$

Considerando que el lado de alta tensión (110 kV) del transformador principal se corresponde con el punto de medición de la potencia neta, la expresión anterior también se puede expresar de la siguiente forma:

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = P_{iny,tr_{33kV}} - P_{neta,med}$$

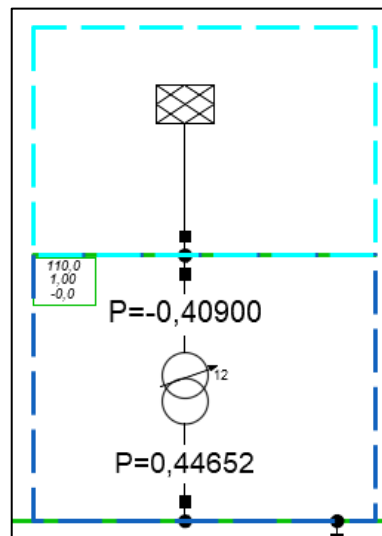


Figura 4.5 – Cálculo de flujos de potencia en transformador principal 220/33 kV

Considerando los datos presentados en la figura anterior, se calculan las pérdidas en el transformador principal:

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.44652 \text{ MW} - 0.40900 \text{ MW} = 37.52 \text{ kW}$$



4.2.3 Pérdidas en red colectora de media tensión

A partir de los resultados del flujo de potencia presentados en la Figura 4.6, se pueden determinar las pérdidas asociadas a la red colectora de media tensión. Este valor se determina como la diferencia entre la potencia total de despacho de los inversores ($P_{Total,INV}$) y la potencia inyectada en la barra colectora del parque de 33 kV.

$$P_{Perd,redMT} = P_{Total,INV} - P_{iny,barra_33kV} \quad (1)$$

El valor de potencia total de despacho de los inversores ($P_{Total,INV}$) es igual a 0.52 MW (ver capítulo 4.2.1).

Como puede observarse en el unifilar de la Figura 4.6, la potencia inyectada en la barra colectora de 33 kV se puede calcular a partir de la potencia aportada por los 6 alimentadores, es decir:

$$P_{iny,barra_33kV} = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3} + P_{A4} + P_{A5} + P_{A6}$$

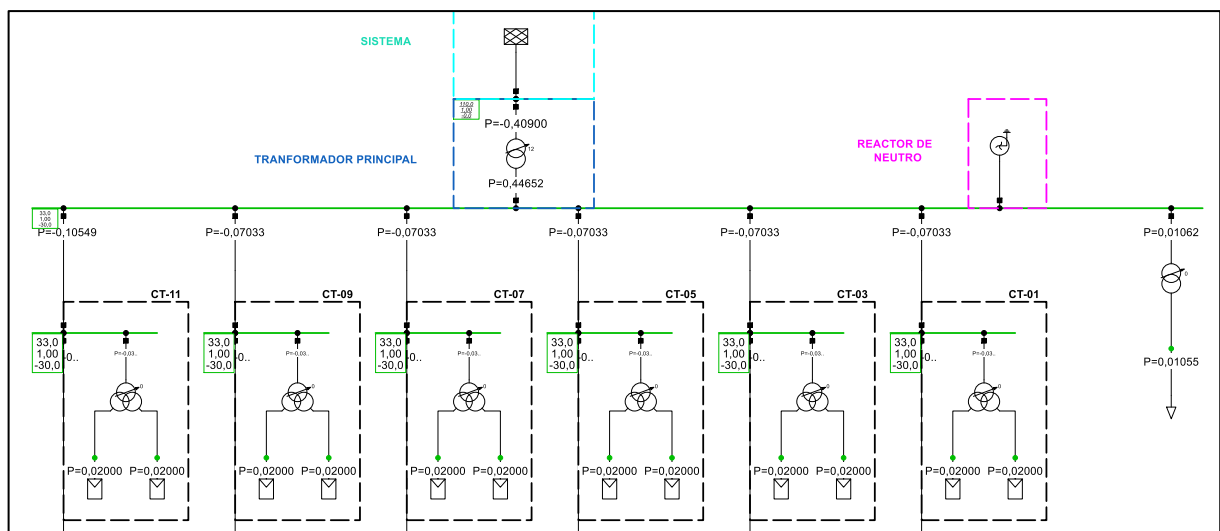


Figura 4.6 – Cálculo de flujos de potencia en barra de 33 kV



A partir de los resultados del flujo de potencia, se calcula el valor de potencia inyectada en la barra colectora de 33 kV:

$$P_{iny,barra_{33kV}} = 105.49 \text{ kW} + 70.33 \text{ kW} + 70.33 \text{ kW} + 70.33 \text{ kW} + 70.33 \text{ kW} + 70.33 \text{ kW}$$

$$P_{iny,barra_{33kV}} = 457.14 \text{ kW}$$

Utilizando la ecuación (1), con los valores de potencia total de despacho de los inversores ($P_{Total,INV}$) y la potencia inyectada en la barra colectora del parque de 33 kV se determina el valor de potencia de pérdidas asociadas a la red colectora de media tensión:

$$P_{Perd,redMT} = 520.0 \text{ kW} - 457.14 \text{ kW} = 62.86 \text{ kW}$$

4.2.4 Potencia de Servicios Auxiliares

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

Según se observa en la Figura 3.7, el consumo interno de cada inversor en servicio se estima en 4.105 kW, en tanto, para los inversores en standby se considera un consumo de 415 W. Adicionalmente, en base a lo presentado en el apartado 3.7, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 10.55 kW.

Como puede observarse en la Figura 4.6, los servicios auxiliares de la central ($P_{tr.SSAA}$) consumen una potencia de 10.62 kW (carga de 10.55 kW + pérdidas en el transformador de SSAA)

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

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

$$P_{SSAA} = 26 \times 4.105 \text{ kW} + 10.62 \text{ kW} = 117.35 \text{ kW}$$



4.2.5 Determinación de la Potencia Bruta

A partir de los valores de pérdidas determinados en los capítulos anteriores se puede determinar la potencia de pérdidas totales con la siguiente ecuación:

$$L_{Totales} = P_{SSAA} + P_{Perd, tr_{ppal}} + P_{Perd, redMT}$$

$$L_{Totales} = 117.35 \text{ kW} + 37.52 \text{ kW} + 62.86 \text{ kW} = 217.73 \text{ kW}$$

Con este valor de pérdidas totales y la **Potencia Neta Medida** ($P_{neta,med}$, ver Figura 4.2), se puede determinar la potencia bruta el parque:

$$P_{bruta} = P_{neta,med} + L_{Totales}$$

$$P_{bruta} = 409.0 \text{ kW} + 217.73 \text{ kW} = 626.73 \text{ kW}$$

Cabe mencionar que el valor de 520.0 kW de potencia de inversores implica un despacho aproximado 20.0 kW por cada inversor (ver Figura 4.4), 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 Capricornio.

4.2.6 Resultados

En base al ensayo de Mínimo Técnico realizado en terreno y a los cálculos presentados en las secciones precedentes, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Capricornio	626.73	117.35	100.38	409.0

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Capricornio



5 CONCLUSIONES

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

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Capricornio	129.105	25.03	102.375 ¹	1.7

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Inversor CT02-1 – Parque Fotovoltaico Capricornio

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Capricornio	626.73	117.35	100.38 ²	409.0

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio – Parque Fotovoltaico Capricornio

¹ Desglosado en 37.513 kW de pérdidas en el transformador principal y 64.862 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

² Desglosado en 37.52 kW de pérdidas en el transformador principal y 62.86 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 ESTUDIOS ELECTRICOS		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 604	5216/002	22/07/2022
<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
<p>Fecha de evaluación: 22/07/22 Certificado número: EE-CI-2022-1129</p>		<p>Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma:</p> 
<p>Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning</p>		



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.