

Empresa: Enel Green Power

País: Chile

Proyecto: Parque Fotovoltaico Azabache

Descripción: Informe de Mínimo Técnico

Código de Proyecto: EE-2020-041

Código de Informe: EE-EN-2022-0507

Revisión: A



6 de julio de 2022



Este documento EE-EN-2022-0507-RA fue preparado para Enel Green Power 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 31 páginas y ha sido guardado por última vez el 06/07/2022 por Nicolás Silva, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	6/Jul/2022	Para presentar.	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
1.1	Medidores utilizados	4
1.2	Definiciones y Nomenclatura	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS.....	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE.....	8
3.1	Unifilar de planta.....	8
3.2	Datos de los paneles solares	14
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 de consumos de SSAA de planta.....	19
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO	20
4.1	Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio	21
4.1.1	Potencia Bruta.....	22
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares	22
4.1.3	Potencia de Pérdidas en la central	22
4.1.4	Potencia Neta	24
4.1.5	Resultados	24
4.2	Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	25
4.2.1	Potencia Bruta.....	26
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	26
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	27
4.2.4	Potencia Neta	28
4.2.5	Resultados	28
5	CONCLUSIONES	29
6	ANEXOS	30
6.1	Certificado de calibración del medidor de energía	30



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Fotovoltaico Azabache 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 Azabache se ubica en la región de Antofagasta, emplazado en la comuna de Calama, y tiene una potencia bruta instalada de 59.358/65.858 MVA (@50°C/25°C). El parque se vincula al SEN por medio de un transformador de poder de relación 33 kV / (110 kV $\pm$ 10 $\times$ 1.5%) y de capacidad 60/72 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en el paño HT3 de la S/E Chiu Chiu 110 kV.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

<i>Personal</i>	<i>Fecha de ensayo</i>
Ing. Gonzalo Espinoza	09 y 10 de junio de 2022
Ing. Iñaki Cubillos	

1.1 Medidores utilizados

<i>Denominación</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Precisión</i>
Analizador de energía	Janitza	UMG512 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 el cual cuenta con una tasa de muestreo de 10 minutos y medidas de todos los inversores y estaciones meteorológicas adquiridas con una tasa de muestreo de 5 minutos.



1.2 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:

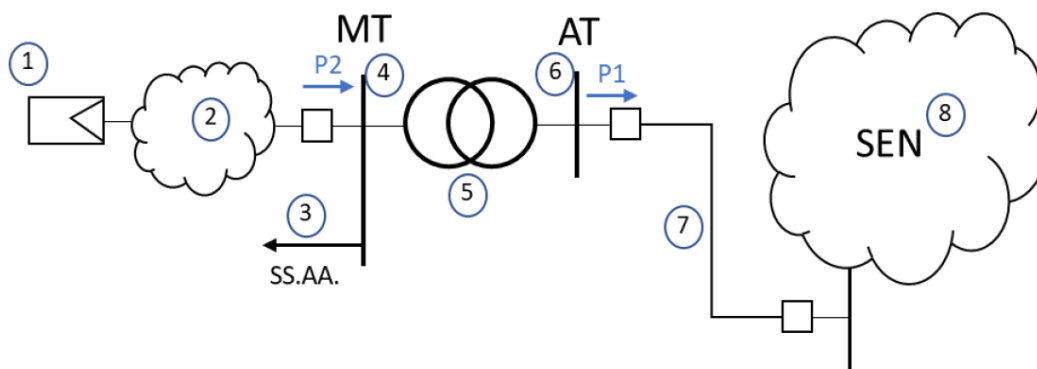


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque fotovoltaico

- 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 Azabache, 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 el menor valor de potencia activa neta posible.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Fotovoltaico Azabache está constituido por 9 centros de transformación, 8 de ellos compuestos por tres (3) inversores de 2.283/2.533 MVA (@50°C/25°C) de capacidad nominal y tres transformadores de bloque de dos devanados de relación 0.636/33 kV y capacidad 2.580 MVA. El centro de transformación restante está compuesto por dos (2) inversores y dos (2) transformadores de bloque con iguales características ya mencionadas.

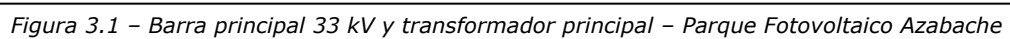
Cuenta con 26 inversores FRIEM modelo REcon 75HV-2340 de 2.283/2.533 MVA (@50°C/25°C) de potencia aparente nominal y 630 V de tensión de operación nominal. Estos equipos totalizan una potencia bruta instalada de 59.358/65.858 MVA (@50°C/25°C). La red colectora del Parque Fotovoltaico Azabache cuenta con 4 alimentadores en 33 kV. El parque se vincula al SEN por medio de un transformador de poder de relación 33 kV / (110 kV $\pm$ 10 $\times$ 1.5%) y de capacidad 60/72 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en el paño HT3 de la S/E Chiu Chiu 110 kV.

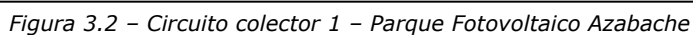
La fuente primaria de energía corresponde a paneles solares marca Jinko Solar modelo JKM395M-72H-TV.

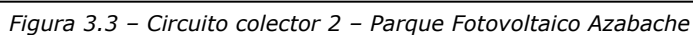
3.1 Unifilar de planta

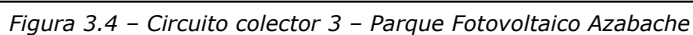
La red colectora del Parque Fotovoltaico Azabache está compuesta por cuatro alimentadores en 33 kV que colectan la potencia generada por los paneles del parque. Dos de estos alimentadores tienen seis centros de transformación, por otro lado, uno de los alimentadores restantes posee cinco centros de transformación y el último alimentador conecta a la red nueve centros de transformación.

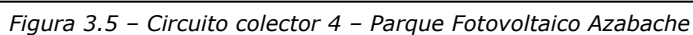
La barra principal de 33 kV del Parque Fotovoltaico Azabache y su transformador principal se aprecian en la Figura 3.1. En tanto, en las Figura 3.2 a Figura 3.5 se muestra el detalle de los circuitos alimentadores.













3.2 Datos de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos del Parque Fotovoltaico Azabache son de marca Jinko Solar modelo JKM395M-72H-TV. Sus principales características se presentan en la Figura 3.6.

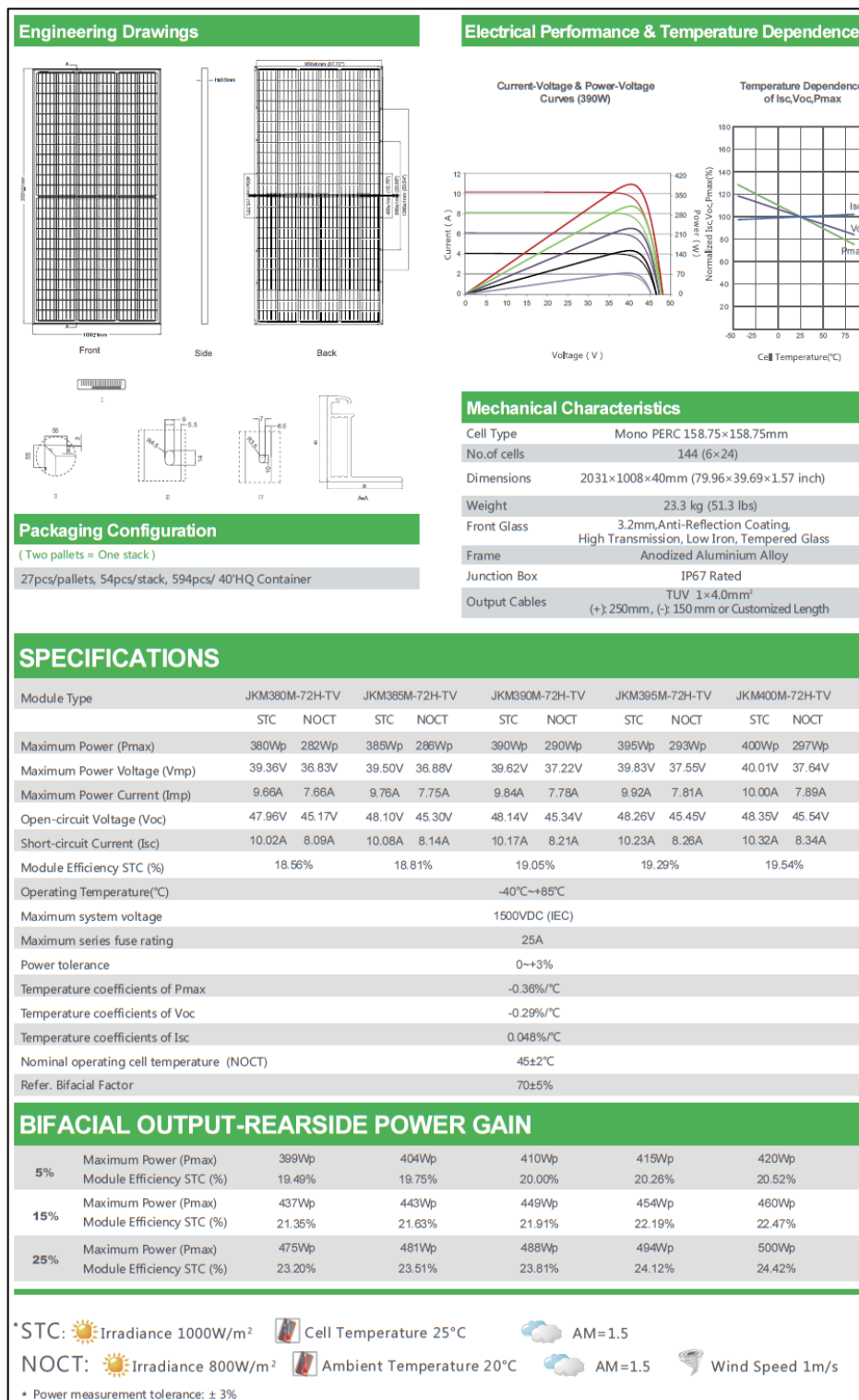


Figura 3.6 – Datos de paneles Jinko Solar modelo JKM395M-72H-TV



3.3 Datos de los inversores

El Parque Fotovoltaico Azabache cuenta con 26 inversores marca FRIEM, modelo RECon 75HV-2340. Los inversores son de 2.283/2.533 MVA (@50°C/25°C) de potencia aparente nominal y sus principales características se presentan en la Figura 3.7.

RECon 75HV-		780	1560	2340
Input (DC)				
Suggested DC power	kWp	930	1850	2800
Max. input current	A	900	1800	2700
Max Short circuit current	A	1200	2400	3600
Max. input voltage in open circuit	V	1500		
MPPT range	V	900 ÷ 1300		
Max number of DC inputs with fuses	-	8	16	24
Number of MPPT trackers	-	1		
Output (AC)				
Rated output voltage	V	570 / 600 / 630		
Frequency	Hz	50 / 60		
Rated power @ 25°C	kW	770 / 811 / 851	1540 / 1622 / 1702	2310 / 2433 / 2533
Rated power @ 45°C	kW	740 / 780 / 818	1480 / 1560 / 1636	2220 / 2340 / 2454
Rated power @ 50°C	kW	688 / 725 / 761	1376 / 1450 / 1522	2064 / 2175 / 2283
Rated current @ 45°C	A	750	1500	2250
Power factor - rated	-	> 0,99 at rated power		
Total Harmonic Distortion	%	< 3		
Auxiliary power				
Auxiliary UPS power supply	V	230		
Power consumption in operation from UPS	W	500		
Auxiliary Main power supply	V	400		
Power consumption in operation	W	2700		
Efficiency				
Maximum efficiency	%	98,7		
Euro Efficiency	%	98,21		
CEC Efficiency	%	98,53		

Figura 3.7 – Datos de inversor RECon 75HV-2340

Se aprecia que el consumo de potencia en operación es de 2.7 kW y se considerará dicho valor en el cálculo de consumos de Servicios Auxiliares del parque.



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

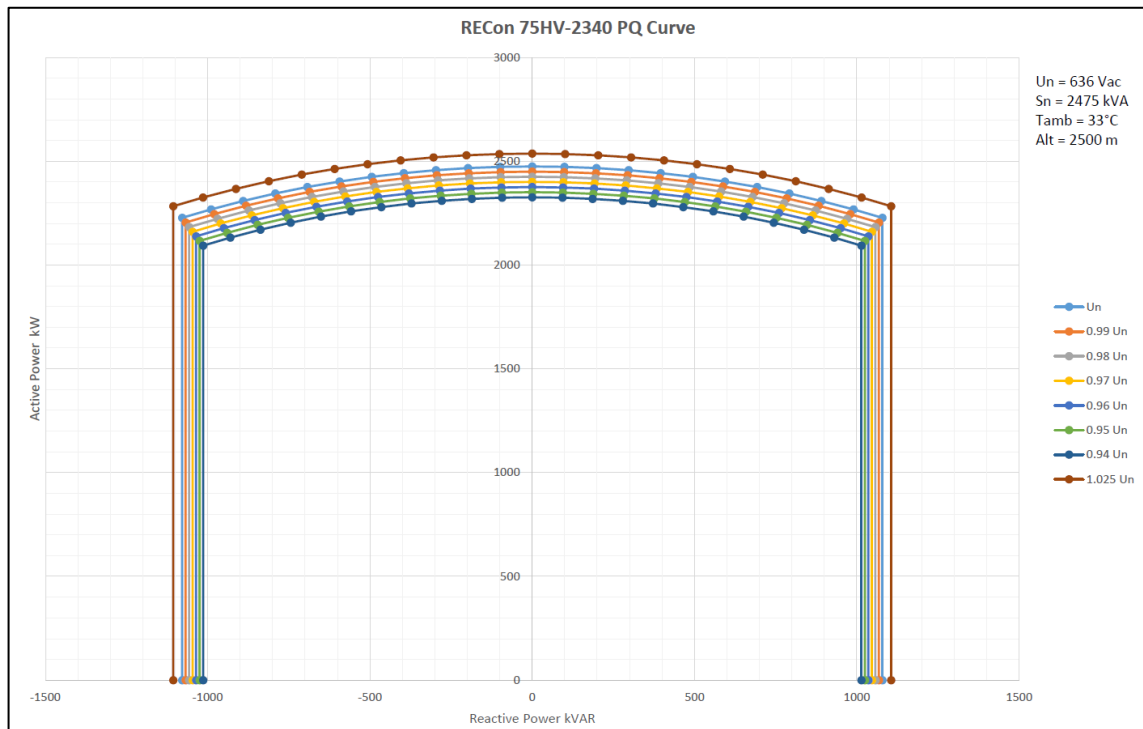


Figura 3.8 – Curva de capacidad del inversor



3.4 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Fotovoltaico Azabache cuenta con 26 transformadores de bloque de dos devanados que permiten la interconexión de un inversor. Su relación de transformación es de 0.636/33 kV y de 2.580 MVA de capacidad nominal.

Los datos característicos de los mismos se muestran en la Tabla 3.1.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	2.580 MVA
Refrigeración	ONAN
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.636 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia	6.0 %
Pérdidas en carga	26.078 kW
Pérdidas en vacío	2.166 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$
Potencia Nominal	2.580 MVA

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



3.5 Datos del transformador de poder

El Parque Fotovoltaico Azabache cuenta con un transformador de poder, de potencia nominal 60/72 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 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	60/72 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	110.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia	10.92 %
Pérdidas en carga	249.31 kW
Pérdidas en vacío	35.25 kW
Posiciones de TAP	$\pm 10 \times 1.5 \%$

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.6 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Fotovoltaico Azabache cuenta con un transformador de SSAA de potencia nominal 150 kVA. Este transformador cuenta devanado de baja tensión de 0.4 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV. La Figura 3.9 expone las corrientes y tensión medidas en el transformador de SSAA al momento del ensayo, a partir de ellas se calcula que la Potencia de Servicios Auxiliares como:

$$P_{tr,SSAA} = \sqrt{3} \times U_{ff} \times (I_a + I_b + I_c) = \sqrt{3} \times 391 \text{ V} \times 41,2 \text{ A} = 27.9 \text{ kVA}$$



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.9 - Mediciones de SSAA (a) Corriente Fase 1 (b) Corriente Fase 2 (c) Corriente Fase 3 (d) Tensión fase-fase



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]
Azabache	(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 Azabache.
- (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 HT3 de la S/E Chiu Chiu 110 kV.



4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un inversor en servicio

El día 10 de junio de 2022 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un centro de transformación en servicio. Para lograr esta condición se da orden de detención a todos los inversores del parque a excepción del centro de transformación donde se encuentra el inversor CT-A3, escogido como inversor testigo. Cabe destacar que durante la prueba no fue posible consignar a mínimo técnico un único inversor, por lo que fue necesario la consigna de un centro de transformación completo. 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 CT-A3 como testigo, sin embargo, son tres inversores los operativos por motivos técnicos del parque.

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 de un centro de transformación de 3 inversores donde se ha escogido al equipo CT-A3 como inversor testigo. A continuación, se procede a consignarle un valor de potencia activa de 0.05 MW a cada inversor, ya que se ha verificado previamente durante los ensayos que, para valores menores de potencia activa, los inversores entran y salen de servicio de forma recurrente. En esta condición se registra un valor de potencia neta de 20 kW en el paño HT3 de la S/E Chiu Chiu.

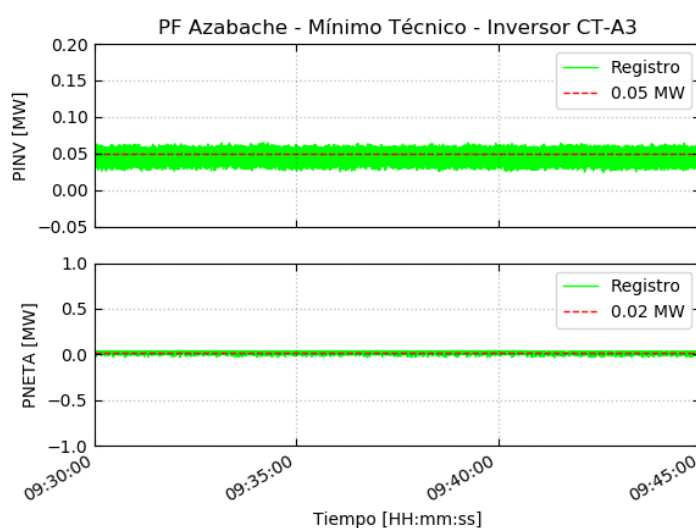


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Inversor testigo CT-A3

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 2.7 kW, según se observa en la Figura 3.7. Además, se debe considerar que fueron consignados tres (3) inversores debido a que el control de planta considera cada centro de transformación como la unidad mínima de control y, debido a esto, no permite consignar individualmente a los inversores que lo componen. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 3 \times 0.05 MW + 3 \times 2.7 kW = 158.1 kW$$

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 2.7 kW, en tanto, según la sección 3.6 se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 27.9 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 3 \times 2.7 kW + 27.9 kW = 36 kW$$

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 CT-A3 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 27.9 kW.

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

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

$$P_{perd,central} = 3 \times 0.05 \text{ MW} - 27.9 \text{ kW} - 0.02 \text{ MW} = 102.1 \text{ kW}$$

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 3.2 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.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 35.25 \text{ kW} = 35.25 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT} = 102.1 \text{ kW} - 35.25 \text{ kW} = 66.85 \text{ kW}$$



4.1.4 Potencia Neta

- (5) La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 110 kV en el paño HT3 de la S/E Chiu Chiu. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 0.02 MW, considerando la operación de un único centro de transformación.

$$P_{neta} = 20 \text{ kW}$$

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]
Azabache	158.1	36	102.1	20

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Inversor testigo CT-A3 – Parque Fotovoltaico Azabache



4.2 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

A continuación, se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo. 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 considerando todos los inversores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de la potencia inyectada por la totalidad de los inversores en servicio y de la potencia neta, inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del Parque Fotovoltaico Azabache. La diferencia registrada entre ambos valores es de 0.13 MW.

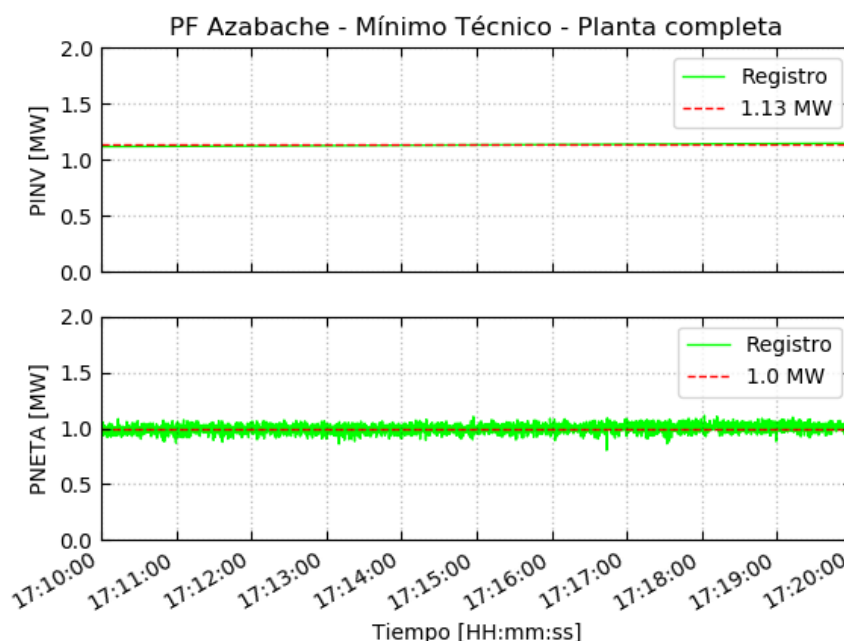


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Todos los inversores en servicio

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 inversores (PINV) presentada en la Figura 4.2 se realiza en bornes de los equipos y ya se encuentran descontados los consumos propios de cada inversor. Estos consumos se estiman en 2.7 kW, según se observa en la Figura 3.7. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 1.13 MW + 26 \times 2.7 kW = 1.2 MW$$

Cabe mencionar que el valor de 1.2 MW de potencia bruta implica un despacho aproximado de 46 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 Azabache.

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.

Según se observa en la Figura 3.7, el consumo interno de cada inversor se estima en 2.7 kW y debe considerarse la totalidad de equipos en servicio. Adicionalmente, en base a lo presentado en la sección 3.6, se ha estimado el consumo de potencia de servicios auxiliares en 27.9 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 26 \times 2.7 kW + 27.9 kW = 98.1 kW$$



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 27.9 kW.

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

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

$$P_{perd,central} = 1.13 \text{ MW} - 27.9 \text{ kW} - 1 \text{ MW} = 102.1 \text{ kW}$$

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 3.2 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.

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

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.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 35.25 \text{ kW} = 35.25 \text{ kW}$$



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

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

$$P_{Perd,redMT} = 102.1 \text{ kW} - 35.25 \text{ kW} = 66.85 \text{ kW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 110 kV en el paño HT3 de la S/E Chiu Chiu. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 1.0 MW, considerando la operación estable de todos los inversores.

$$P_{neta} = 1.0 \text{ MW}$$

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. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Azabache	1.2	98.1	102.1	1.0

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



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]
Azabache	158.1	36	102.1 ¹	20

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Inversor CT-A3– Parque Fotovoltaico Azabache

Parque Fotovoltaico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Azabache	1.2	98.1	102.1 ²	1.0

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

¹ Desglosado en 35.25 kW de pérdidas en el transformador principal y 66.85 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

² Desglosado en 35.25 kW de pérdidas en el transformador principal y 66.85 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración del medidor de energía

Smart Energy &
Power Quality Solutions



Calibration Report

Device	
Manufacturer	Janitza electronics GmbH
Object	UMG512
Article no.	5217011
Serial no.	4201/1694
Firmware	5.022
Active Energy Accuracy	Class 0.2S IEC 62053-22:2003 (50/60Hz, ..J5A)

Calibration	
Date	October 6, 2020
Engineer	Jörg Gath

Conditions	
Temperature	23,4°C (+/- 1°C)
Relative humidity	44,3% (+/- 10%)

Equipment	
Manufacturer	Fluke
Model	6100B
Serial no.	273568170
Date of calibration	May 13, 2020
Date of recalibration	May 13, 2021

Result:	PASSED
---------	--------

This document was issued electronically
and is therefore valid without signature.

Janitza®



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.