



INFORME DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO PSFV DOÑA ANTONIA

Informe Técnico

Preparado para:



Julio – 2024

A1065 | R 1118-24

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| TABLA DE CONTENIDOS..... | 2 |
| ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS..... | 3 |
| ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS..... | 4 |
| REGISTRO DE COMUNICACIONES..... | 5 |
| SECCIÓN PRINCIPAL..... | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1.1. Definiciones y nomenclatura..... | 6 |
| 1.2. Marco normativo..... | 7 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE..... | 8 |
| 2.1. Datos de los paneles solares..... | 11 |
| 2.2. Datos de los inversores..... | 12 |
| 2.3. Datos de los transformadores de bloque..... | 13 |
| 2.4. Datos del transformador de potencia..... | 14 |
| 2.5. Datos del sistema colector..... | 14 |
| 3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS..... | 15 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS..... | 15 |
| 5. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA..... | 16 |
| 6. RESULTADOS OBTENIDOS..... | 16 |
| 6.1. Determinación del consumo de servicios auxiliares..... | 16 |
| 6.2. Mínimo técnico a nivel inversor..... | 18 |
| 6.2.1 Potencia Neta..... | 18 |
| 6.2.2 Potencia Bruta..... | 19 |
| 6.2.3 Potencia de los servicios auxiliares..... | 19 |
| 6.2.4 Potencia de pérdidas de la central..... | 19 |
| 6.2.5 Resumen de resultados..... | 20 |
| 6.3. Mínimo técnico a nivel planta..... | 20 |
| 6.3.1 Potencia Neta..... | 21 |
| 6.3.2 Potencia Bruta..... | 22 |
| 6.3.3 Potencia de los servicios auxiliares..... | 22 |
| 6.3.4 Potencia de pérdidas de la central..... | 22 |
| 6.3.5 Resumen de resultados..... | 23 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 24 |
| ANEXOS..... | 25 |
| 1. DETERMINACIÓN DE LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LOS INVERSORES..... | 25 |

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque. | 13 |
| Tabla 2. Datos técnicos del transformador de potencia. | 14 |
| Tabla 3. Tabla resumen de valores a presentar. | 15 |
| Tabla 4. Consumo de servicios auxiliares de los inversores. | 16 |
| Tabla 5. Mínimo técnico a nivel inversor – duración del ensayo..... | 18 |
| Tabla 6. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel inversor..... | 20 |
| Tabla 7. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo. | 20 |
| Tabla 8. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta. | 23 |
| Tabla 9. Parámetros de mínimo técnico a nivel inversor PSFV Doña Antonia..... | 24 |
| Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel planta PSFV Doña Antonia..... | 24 |
| | |
| Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico. | 6 |
| Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Doña Antonia. | 8 |
| Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE Doña Antonia..... | 9 |
| Gráfico 4. Esquema unilineal del sistema colector. | 10 |
| Gráfico 5. Características técnicas de los paneles solares..... | 11 |
| Gráfico 6. Características generales de los inversores..... | 12 |
| Gráfico 7. Curva de capacidad de los inversores. | 13 |
| Gráfico 8. Listado de circuitos colectores y su conformación..... | 14 |
| Gráfico 9. Consumo de SSAA esenciales de la SE Doña Antonia..... | 17 |
| Gráfico 10. Consumo de SSAA no esenciales de la SE Doña Antonia..... | 17 |
| Gráfico 11. Mínimo técnico a para un inversor en servicio. | 18 |
| Gráfico 12. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico. | 21 |
| Gráfico 13. Mínimo técnico a nivel planta - potencia neta en el POI..... | 21 |
| Gráfico 14. Mínimo técnico a nivel planta – potencia máxima generada por los inversores. | 21 |

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

| | |
|---------|---|
| CEN | Coordinador Eléctrico Nacional |
| CNE | Comisión Nacional de Energía |
| ERNC | Energía Renovables No Convencional |
| NTSyCS | Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio |
| NT SSMM | Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas Medianos |
| PE | Parque Eólico |
| PSFV | Parque Solar Fotovoltaico |
| SET | Subestación Eléctrica |
| AT | Alta tensión |
| MT | Media tensión |
| BT | Baja tensión |
| ONAN | Oil Natural Air Natural |
| ONAF | Oil Natural Air Forced |
| SEN | Sistema Eléctrico Nacional |
| RCB | Regulador Bajo Carga |
| PMU | Power Management Unit |

REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

| N° | Fecha dd/mm/año | Preparó | Revisó | Aprobó | Observaciones |
|-----------|---------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------------|
| 1 | 15/07/2024 | PB | FG | FM | Versión inicial |

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Solar Fotovoltaico Doña Antonia, durante el día Lunes 03 de Junio de 2024, en relación al proceso de determinación de la potencia mínima técnica de la planta.

1.1. Definiciones y nomenclatura

En el siguiente gráfico se muestra un sistema equivalente de conexión de un parque renovable, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

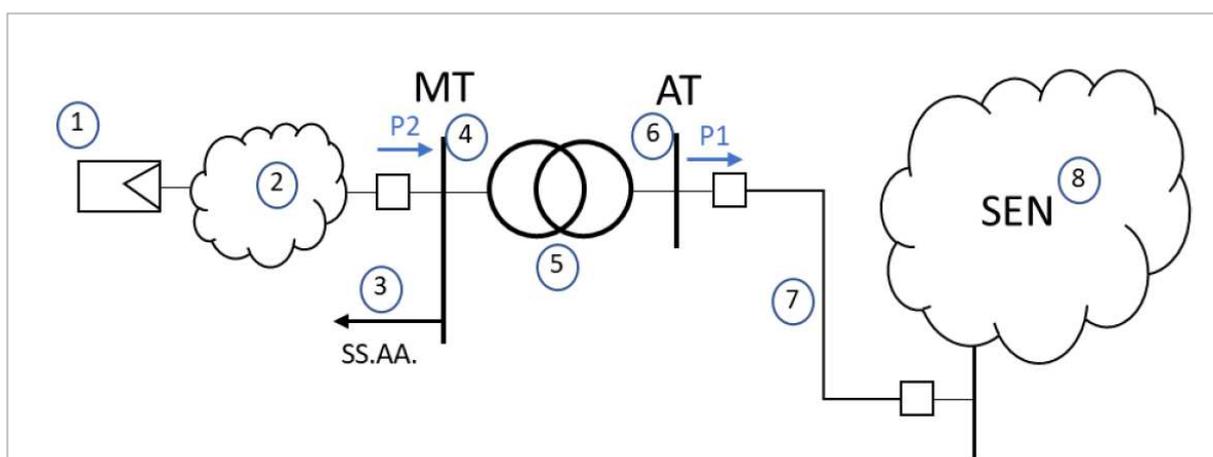


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico.

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.): Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la subestación eléctrica de la planta sumados a los servicios auxiliares de los inversores.

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).

De acuerdo con las definiciones anteriores se considera la siguiente nomenclatura:

- P1: Potencia activa inyectada en la barra de AT del Parque. Este valor corresponde a la Potencia Neta del Parque (P_{net}).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- P_{bruta}: Suma de los aportes de potencia activa de los inversores en el lado baja tensión (BT) del parque (en correspondencia con el punto 1 del Gráfico 1).
- P_{perd}: Potencia de pérdidas en la línea de transmisión (ver punto 7 del Gráfico 1).
- P_{trafo}: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- P_{ssa}: Potencia de servicios auxiliares del parque.
- P_{colector}: Pérdidas en el sistema colector del parque (ver punto 2 del Gráfico 1).

1.2. Marco normativo

Las pruebas realizadas se programaron en base al ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS "Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras" y los lineamientos de la Guía Técnica DCO N°01-2024 "Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía".

En tal sentido, el valor de Mínimo Técnico se obtiene a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías, especificándose las metodologías, cálculos y todos los antecedentes y aspectos técnicos usados para la obtención de dicho valor.

Los valores de mínimo técnico se realizaron considerando distintas condiciones operativas del PSFV Doña Antonia, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo técnico con el parque totalmente operativo:** Valor de potencia activa mínima bruta con la cual el parque puede operar considerando todos los inversores y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estable.
- **Mínimo técnico considerando para una potencia neta de 0 MW en el punto de conexión:** Valor de potencia activa bruta entregada por un único inversor o un grupo de inversores (con el resto en pausa) que permite entregar una potencia activa neta en el punto de conexión de 0 MW.

2. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El PSFV Doña Antonia se encuentra emplazado en la región de Coquimbo en la zona norte de Chile. Está formado por 20 Inversores marca Power Electronics, modelo HEMK GEN 3 660 V – FS4200K de una capacidad nominal de 4,2 MVA cada uno, siendo la potencia instalada de 84 MVA (20 x 4,2 MVA). La Potencia Neta comprometida en el punto de conexión es de 75 MW. En el Gráfico 4 se muestra la curva de capacidad PQ de los Inversores.

Los 20 inversores se distribuyen en 10 centros de transformación que contienen 2 inversores cada uno. La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector desarrollado en 33 kV formado por 4 circuitos que colectan la potencia de los 10 centros de transformación. Los centros de transformación formados por dos inversores se conectan a la red mediante transformadores de 3 arrollamientos de 33/0,66/0,66 kV de una potencia de 8,4/4,2/4,2 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 110/33 kV, 53/71,5/90 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), de la SE Doña Antonia.

El punto de conexión del PSFV es en la barra de 110 kV de la SE Doña Antonia. El PSFV se conecta al sistema eléctrico a través de una línea 110 kV de 60m de longitud entre la SE Doña Antonia y la SE La Ruca.

En el Gráfico 2 se muestra la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 3 el esquema unilineal de la SE Doña Antonia y en el Gráfico 4 muestra un esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.



Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Doña Antonia.

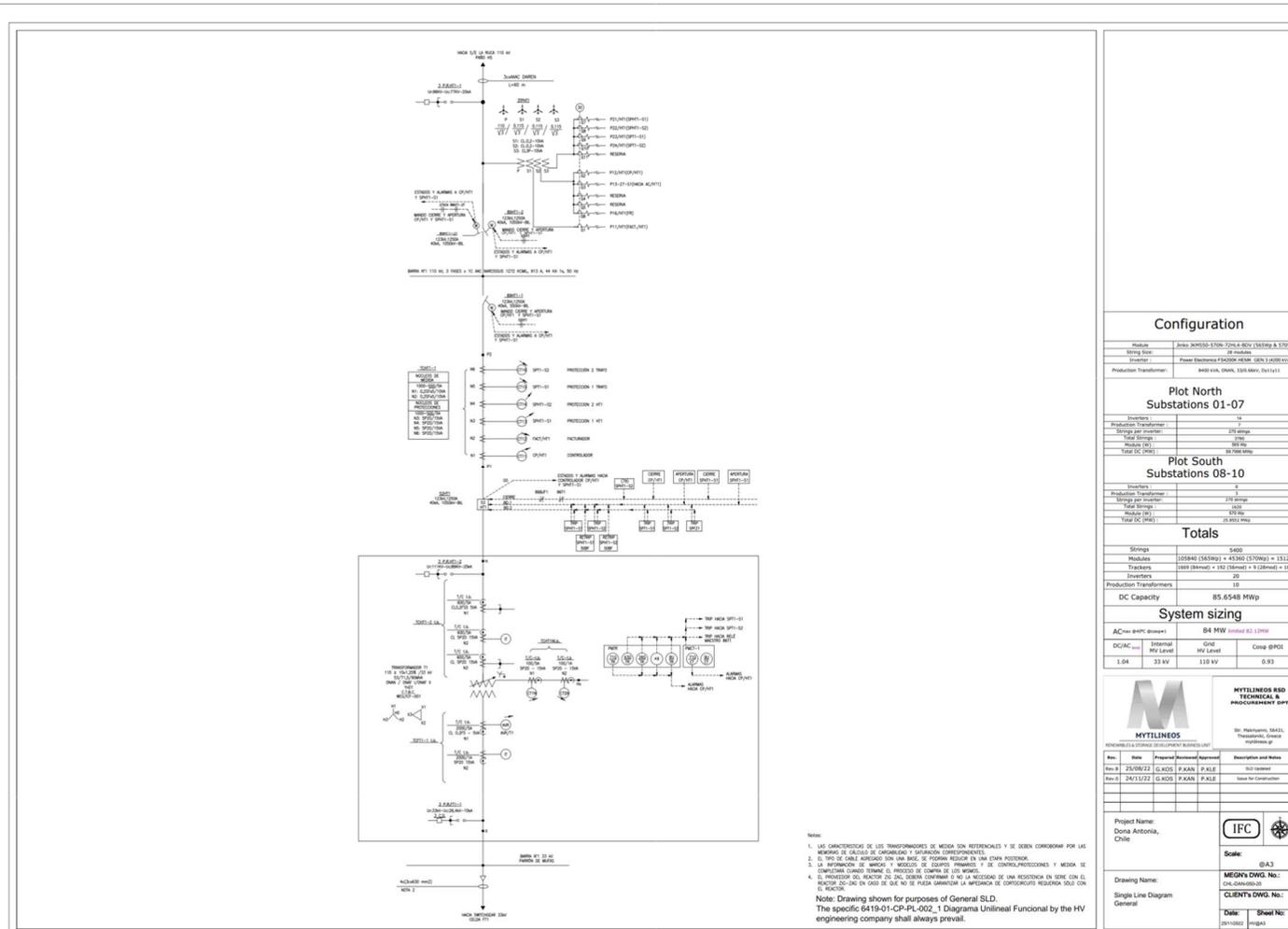


Gráfico 3. Esquema unilínea de la SE Doña Antonia.

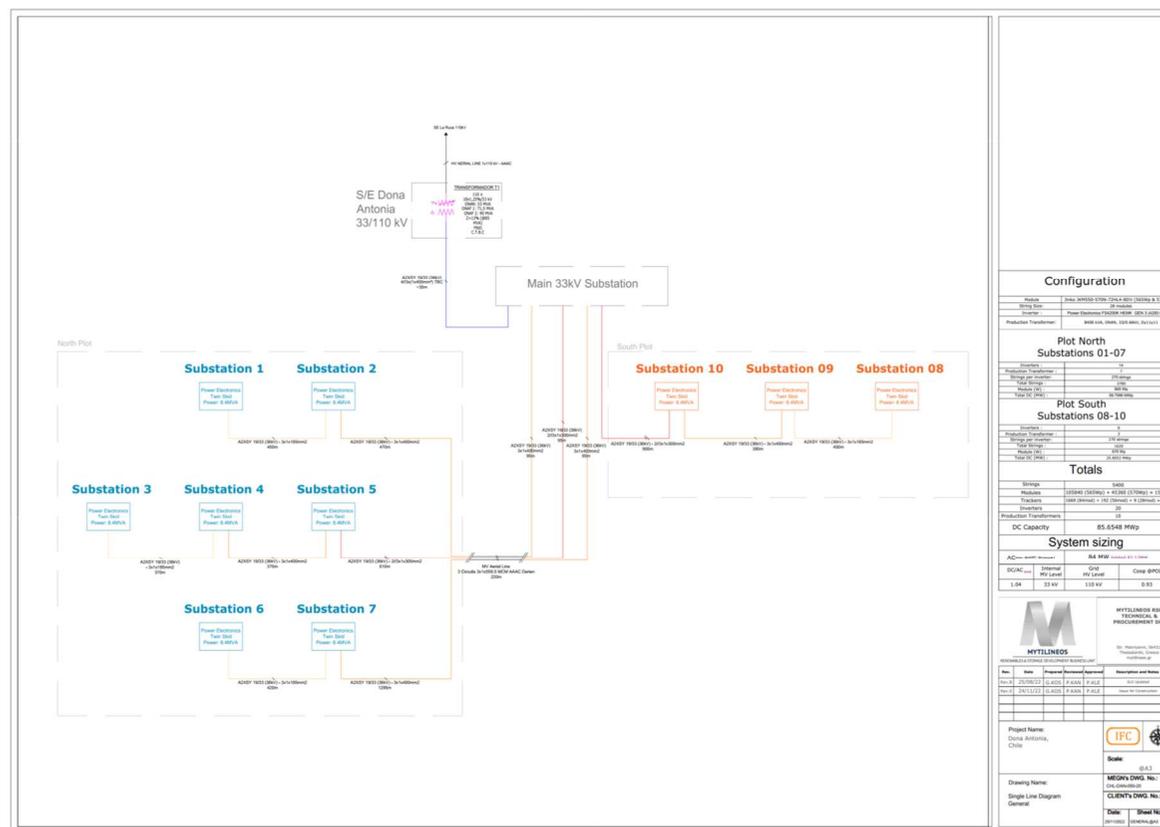


Gráfico 4. Esquema unilineal del sistema colector.

2.1. Datos de los paneles solares

Los paneles solares del PSFV Doña Antonia son de marca Jinko Solar y sus principales características se muestran a continuación:

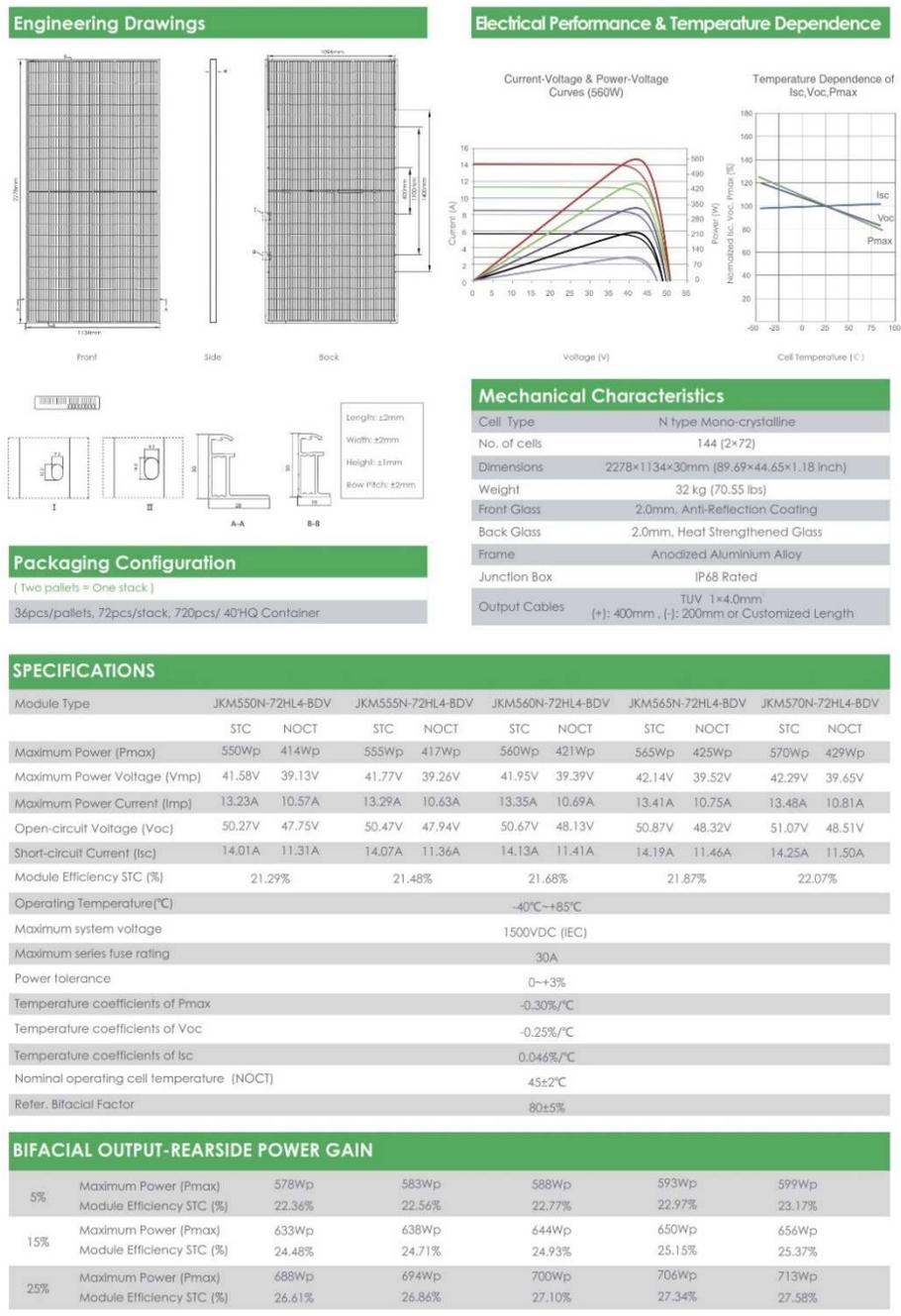


Gráfico 5. Características técnicas de los paneles solares.

2.2. Datos de los inversores

El parque solar fotovoltaico Doña Antonia cuenta con 20 inversores marca Power Electronics modelo HEMK GEN 3 660V – FS4200K, cuyas características técnicas se muestran en la siguiente figura:

|  | | |
|---|--|--|
| TECHNICAL CHARACTERISTICS | | HEMK GEN 3 660V |
| REFERENCE | | FS4200K |
| OUTPUT | AC Output Power(kVA/kW) @40°C ^[1] | 4200 |
| | AC Output Power(kVA/kW) @50°C ^[1] | 3900 |
| | Max. AC Output Current (A) @40°C | 3674 |
| | Operating Grid Voltage(VAC) ^[2] | 660V ±10% |
| | Operating Grid Frequency(Hz) | 50Hz/60Hz |
| | Current Harmonic Distortion (THDi) | < 3% per IEEE519 |
| | Power Factor (cosine phi) ^[3] | 0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive power injection at night |
| INPUT | MPPT @full power (VDC) | 934V-1500V |
| | Maximum DC voltage | 1500V |
| | Number of PV inputs ^[2] | Up to 40 |
| | Max. DC continuous current (A) ^[4] | 4590 |
| | Max. DC short circuit current (A) ^[4] | 6940 |
| EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY | Efficiency (Max) (η) | 98.90% (preliminary) |
| | Euroeta (η) | 98.65% (preliminary) |
| | Max. Power Consumption (kVA) | 10 |
| CABINET | Dimensions [WxDxH] (ft) | 11.8 x 6.5 x 7.2 |
| | Dimensions [WxDxH] (m) | 3.6 x 2.0 x 2.2 |
| | Weight (lb) | 12677 |
| | Weight (kg) | 5750 |
| | Type of ventilation | Forced air cooling |
| ENVIRONMENT | 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 ^[5] | < 79 dBA |
| CONTROL INTERFACE | Communication protocol | Modbus TCP |
| | Plant Controller Communication | Optional |
| | Keyed ON/OFF switch | Standard |
| PROTECTIONS | 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 |
| | | |
| CERTIFICATIONS | Safety | UL1741, CSA 22.2 No.107.1-16, UL62109-1, IEC62109-1, IEC62109-2 |
| | Compliance | NEC 2017 / IEC |
| | Utility interconnect | IEEE 1547.1-2005 / UL1741SA-Feb. 2018 / IEC62116:2014 |

[1] Values at 1.00-Vac nom and cos φ= 1.
Consult Power Electronics for derating curves.

[2] Consult Power Electronics for other configurations.

[3] Consult P-Q charts available: $Q(kVAR)=\sqrt{(S(kVA))^2-P(kW)^2}$.

[4] Consult Power Electronics for Freemaq DC/DC connection configurations.

[5] Readings taken 1 meter from the back of the unit.

Gráfico 6. Características generales de los inversores.

La curva de capacidad de los inversores se muestra a continuación:

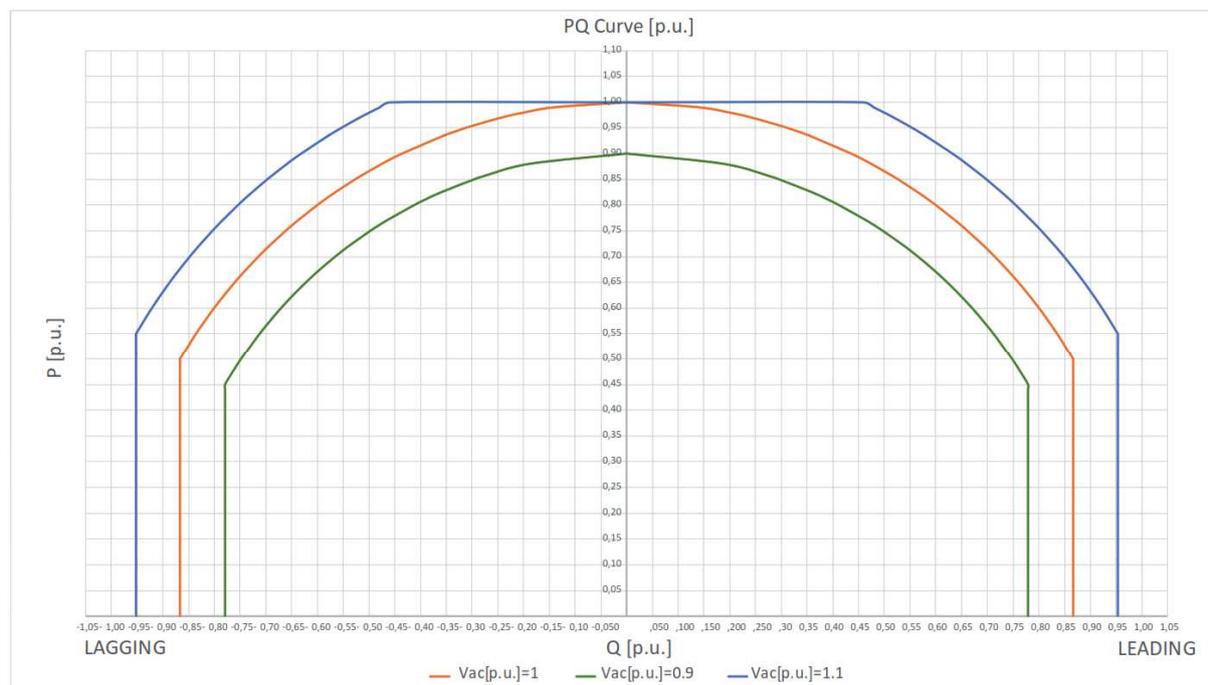


Gráfico 7. Curva de capacidad de los inversores.

2.3. Datos de los transformadores de bloque

La instalación cuenta con 10 transformadores elevadores de tres arrollamientos que inyectan la potencia generada de los inversores hacia la red colectora de media tensión. Los datos técnicos se detallan a continuación:

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque.

| Parámetro | Valor |
|--------------------------------------|----------|
| Potencia Nominal lado HV | 8.4 MVA |
| Potencia Nominal lado MV | 4,2 |
| Potencia Nominal lado LV | 4,2 |
| Refrigeración | ONAN |
| Frecuencia Nominal | 50 Hz |
| Tensión nominal lado HV | 33 kV |
| Tensión nominal lado MV | 0,66 kV |
| Tensión nominal lado LV | 0,66 kV |
| Tipo de conexión | D0y11y11 |
| Impedancia de corto circuito (HV-MV) | 8% |
| Impedancia de corto circuito (MV-LV) | 8% |
| Impedancia de corto circuito (LV-HV) | 8 % |
| Perdidas en carga (HV-MV) | 22,5 kW |

| | |
|---------------------------|---------|
| Perdidas en carga (MV-LV) | 0 kW |
| Perdidas en carga (LV-HV) | 22,5 kW |
| Pérdidas de vacío | 5,23 kW |
| Posiciones de Tap | ±2x2,5% |

2.4. Datos del transformador de potencia

Las características más importantes del transformador de potencia se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Datos técnicos del transformador de potencia.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------|-------------|
| Potencia Nominal | 90 MVA |
| Refrigeración | ONAFF2 |
| Frecuencia Nominal | 50 Hz |
| Tensión nominal lado HV | 110 kV |
| Tensión nominal lado LV | 33 kV |
| Tipo de conexión | Ynd1 |
| Impedancia de corto circuito | 12,99% |
| Perdidas en carga | 330,599 kW |
| Pérdidas de vacío | 38,934 kW |
| Posiciones de Tap | ±10 x 1,25% |

2.5. Datos del sistema colector

La red colectora cuenta con conductores de 185 mm², 300 mm² y 400mm², todos conformados por ternas unipolares. Las características de distancias y distribución en circuitos colectores se muestran a continuación:

| | Denominación | Terminal i | Terminal j | L [km] | R1 [ohm] | X1 [ohm] | B1 [μS] | R0 [ohm] | X0 [ohm] | B0 [μS] |
|-----|------------------------------------|-------------------|-------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CC1 | 3x185mm ² - 421m(1) | MV Terminal 1 | MV Terminal 2 | 0.45 | 0.0764 | 0.0549 | 28.0692 | 0.3518 | 0.1307 | 28.0692 |
| | 3x400mm ² - 411m - 1 | MV Terminal 2 | Terminal(9) | 0.47 | 0.0521 | 0.0534 | 34.5414 | 0.2861 | 0.0945 | 34.5414 |
| | T587-T587A-T587B a ML | Terminal(9) | Terminal(11) | 0.22 | 0.0262 | 0.0897 | 0.6214 | 0.0574 | 0.2948 | 0.3355 |
| | 3x300mm ² - 411m - 1(1) | Terminal(11) | barra 33 kV | 0.095 | 0.0105 | 0.0108 | 6.9818 | 0.0578 | 0.0191 | 6.9818 |
| CC2 | 3x185mm ² - 421m(2) | MV Terminal 1(3) | MV Terminal 1(4) | 0.37 | 0.0628 | 0.0451 | 23.0792 | 0.2893 | 0.1074 | 23.0792 |
| | 3x400mm ² - 411m - 1(1) | MV Terminal 1(4) | MV Terminal 1(5) | 0.37 | 0.041 | 0.042 | 27.1922 | 0.2252 | 0.0744 | 27.1922 |
| | 3x300mm ² - 411m - 1(2) | Terminal(14) | MV Terminal 1(5) | 0.81 | 0.0686 | 0.0855 | 66.0977 | 0.4491 | 0.146 | 66.0977 |
| | T587-T587A-T587B a ML(1) | Terminal(14) | Terminal(12) | 0.22 | 0.0262 | 0.0897 | 0.6214 | 0.0574 | 0.2948 | 0.3355 |
| CC3 | 3x300mm ² - 411m - 1(3) | Terminal(12) | barra 33 kV | 0.411 | 0.0174 | 0.0217 | 67.0769 | 0.0909 | 0.0448 | 67.0769 |
| | 3x185mm ² - 421m(3) | MV Terminal 1(6) | MV Terminal 1(7) | 0.42 | 0.0713 | 0.0512 | 26.198 | 0.3284 | 0.122 | 26.198 |
| | 3x400mm ² - 411m - 1(2) | MV Terminal 1(7) | Terminal(16) | 1.295 | 0.1436 | 0.1471 | 95.1726 | 0.7882 | 0.2605 | 95.1726 |
| | T587-T587A-T587B a ML(2) | Terminal(16) | Terminal(15) | 0.22 | 0.0262 | 0.0897 | 0.6214 | 0.0574 | 0.2948 | 0.3355 |
| CC4 | 3x300mm ² - 411m - 1(4) | Terminal(15) | barra 33 kV | 0.095 | 0.0105 | 0.0108 | 6.9818 | 0.0578 | 0.0191 | 6.9818 |
| | 3x185mm ² - 421m(4) | MV Terminal 1(8) | MV Terminal 1(9) | 0.4 | 0.0679 | 0.0488 | 24.9504 | 0.3127 | 0.1161 | 24.9504 |
| | 3x300mm ² - 411m - 1(5) | MV Terminal 1(8) | MV Terminal 1(10) | 0.38 | 0.0421 | 0.0432 | 27.9271 | 0.2313 | 0.0764 | 27.9271 |
| | 3x300mm ² - 411m - 1(6) | MV Terminal 1(10) | barra 33 kV | 0.9 | 0.0381 | 0.0475 | 146.8838 | 0.199 | 0.0981 | 146.8838 |

Gráfico 8. Listado de circuitos colectores y su conformación.

3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El PSFV Doña Antonia presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques fotovoltaicos de similares características, como los mencionados a continuación¹:

- Parque Fotovoltaico Meseta de los Andes (mínimo técnico inversor = 0.243 MW).
- Parque Fotovoltaico Almeyda (mínimo técnico inversor = 0.759 MW).

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

De acuerdo con el Artículo 4 “Definiciones” del Anexo Técnico, se determinó “la potencia activa bruta mínima, con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua”.

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, se redujo la potencia activa hasta alcanzar el mínimo valor de potencia controlable, tal que debajo de ese valor se produce la pausa de alguno o algunos inversores. Una vez alcanzado este valor, se mantuvo la consigna por 15 minutos para verificar la estabilidad de las variables de interés.

Para el ensayo de mínimo técnico a nivel inversor se envió el comando de pausa de todos los inversores de la planta salvo un inversor, al cual se lo despacho de manera tal de alcanzar una inyección en el punto de interconexión (POI) de 0 MW. Se registraron 15 minutos en esta condición para verificar la estabilidad de las variables de interés. **Cabe aclarar que el PPC de la central no tiene la capacidad de enviar un comando de 0 MW en el POI y lograr el pausado controlado de inversores. Dado a esta razón el ensayo se realizó sobre un inversor mediante su control local, con el resto de los inversores en pausa.**

Para cada una de las pruebas, se desglosan los valores de potencia obtenidos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tabla resumen de valores a presentar.

| Parque | Potencia Bruta [MW] | SS.AA. [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|-------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| PSFV Doña Antonia | (1) | (2) | (3) | (4) |

(1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los inversores del PSFV Doña Antonia en el lado de BT.

(2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (Inversores + SE Doña Antonia 110 kV).

- (3) **Perdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Doña Antonia 110 kV y las pérdidas en el sistema colector de la central (transformadores de bloque de los inversores + circuito colector de MT).
- (4) **Potencia Neta:** Es la potencia neta inyectada en el punto de conexión la planta, que para el caso del PSFV Doña Antonia es la barra de AT de la SE Doña Antonia 110 kV.

5. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA

Para la realización de este ensayo de potencia mínima se emplearon los registros propios de la central extraídos desde el control de planta (PPC). Los registros temporales empleados tienen una resolución de 1 minuto y mediciones en el POI mediante equipamiento registrador con una resolución de 40 ms.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. Determinación del consumo de servicios auxiliares

En el documento del fabricante denominado “**Dona Antonia_Consumption Calculations_Rev.02023.05.17**” (adjunto en la sección Anexo), se muestra la determinación de los servicios auxiliares de los inversores por centro de transformación (cada centro está formado por dos inversores). En la siguiente tabla se resume el consumo de SSAA de los inversores:

Tabla 4. Consumo de servicios auxiliares de los inversores.

| CT | Consumo SSAA |
|-------------------|-----------------|
| SUB 01 [W] | 19342 |
| SUB 02 [W] | 19936 |
| SUB 03 [W] | 19842 |
| SUB 04 [W] | 19342 |
| SUB 05 [W] | 19378 |
| SUB 06 [W] | 19600 |
| SUB 07 [W] | 19490 |
| SUB 08 [W] | 19804 |
| SUB 09 [W] | 19342 |
| SUB 10 [W] | 19582 |
| Total [kW] | 195,6580 |

De lo anterior el consumo de SSAA cuando todos los inversores están operativos y a potencia máxima se considera en $P_{SSAA\ INV} = 195,6580$ kW.

En el caso de los servicios auxiliares en el inversor INV1.01 en el cual se realizaron los ensayos de mínimo técnico a nivel inversor el consumo de servicios auxiliares se calcula

dividiendo el valor de SUB01 entre dos:

$$P_{SSAA\ INV\ 1.01} = \frac{0,019342\ MW}{2} = 0,009671\ MW$$

Para el caso de los servicios auxiliares de la subestación se cuenta con capturas de pantalla de los medidores de SSAA esenciales y no esenciales cuya medición es mostrada en los siguientes gráficos:



Gráfico 9. Consumo de SSAA esenciales de la SE Doña Antonia.



Gráfico 10. Consumo de SSAA no esenciales de la SE Doña Antonia.

Para los ensayos de mínimo técnico se han considerado las cargas esenciales y no esenciales por lo que el consumo de servicios auxiliares de la subestación queda determinado como:

$$P_{SSAA SE} = 2,6032 kW + 4,0012 kW = 6,6044 kW$$

6.2. Mínimo técnico a nivel inversor

Con un único inversor en funcionamiento (el resto en pausa) se despacha el mismo tal que la potencia en el punto de conexión sea de 0 MW. En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 5. Mínimo técnico a nivel inversor – duración del ensayo.

| | |
|---|----------|
| Fecha | 03-06-24 |
| Inicio de la prueba [hh:mm:ss] | 13:43:20 |
| Finalización de la prueba [hh:mm:ss] | 13:53:56 |

Para una consigna de 0 MW en el punto de conexión el inversor INV 1.01 quedó alimentando las pérdidas de la central. En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

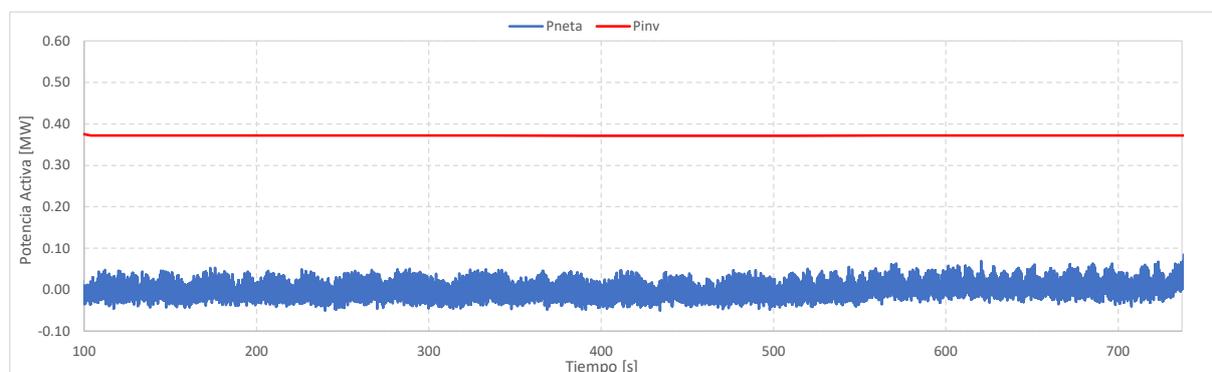


Gráfico 11. Mínimo técnico a para un inversor en servicio.

6.2.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 11 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 0 MW$$

6.2.2 Potencia Bruta

Como se comentó anteriormente, para la condición operativa de la prueba, solo un inversor quedó en funcionamiento y generando una potencia promedio de 372,1080 kW (mostrado en el Gráfico 11). Este valor está medido en bornes de BT del INV 01, por lo que ya está descontado el consumo de SSAA del inversor. De lo anterior la potencia bruta estará dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta} = P_{inv} + P_{SSAA\ INV\ 1.01}$$

$$P_{bruta} = 0,372108\ MW + 0,009671\ MW = 0,3818\ MW$$

6.2.3 Potencia de los servicios auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde a la suma de los consumos propios del inversor en operación en más los servicios auxiliares del parque:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA\ SE} + P_{SSAA\ INV\ 1.01}$$

$$P_{SSAA} = 0,0066044\ MW + 0,009671\ MW = 0,0163\ MW$$

6.2.4 Potencia de pérdidas de la central

La potencia de pérdidas de la central se obtiene como la suma de las pérdidas del transformador de potencia de la central y las pérdidas en el sistema colector de media tensión (cables MT + transformadores de bloque de inversores).

Además, debe descontarse el consumo de los SSAA. La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 0,3818\ MW - 0\ MW - 0,0163\ MW$$

$$P_{perd\ central} = 0,3655\ MW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

En la Tabla 2 se presentan los valores de pérdidas en vacío y en carga del transformador de potencia, donde el valor de potencia de pérdidas en carga está referido a la potencia nominal del transformador, por lo que debe determinarse el valor de pérdida para el estado de carga del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador de potencia es el siguiente:

$$P_{trafo} = P_{p\ carga} + P_{p\ vacío}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0 MW, 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.

$$P_{trafo} = 0 \text{ MW} + 0,038934 \text{ MW} = 0,038934 \text{ MW}$$

Por lo tanto, las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por la siguiente expresión:

$$P_{colector} = P_{perd \text{ central}} - P_{trafo}$$

$$P_{colector} = 0,3655 \text{ MW} - 0,038934 \text{ MW}$$

$$P_{colector} = 0,3266 \text{ MW}$$

6.2.5 Resumen de resultados

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

Tabla 6. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel inversor.

| Parque | Potencia Bruta (P2) [MW] | SS.AA. [MW] | Pcolector [MW] | Ptrafo [MW] | Potencia Neta (P1) [MW] |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| PSFV Doña Antonia | 0,3818 | 0,0163 | 0,3266 | 0,0389 | 0 |

6.3. Mínimo técnico a nivel planta

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, se procedió a reducir la potencia en el punto de conexión hasta alcanzar el mínimo valor estable por debajo del cual se pausa algún inversor y se registraron 15 min en esta condición.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

Tabla 7. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.

| | |
|--|------------|
| Fecha | 03/06/2024 |
| Inicio de la prueba [hh:mm] | 12:53 |
| Finalización de la prueba [hh:mm] | 13:13 |

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:

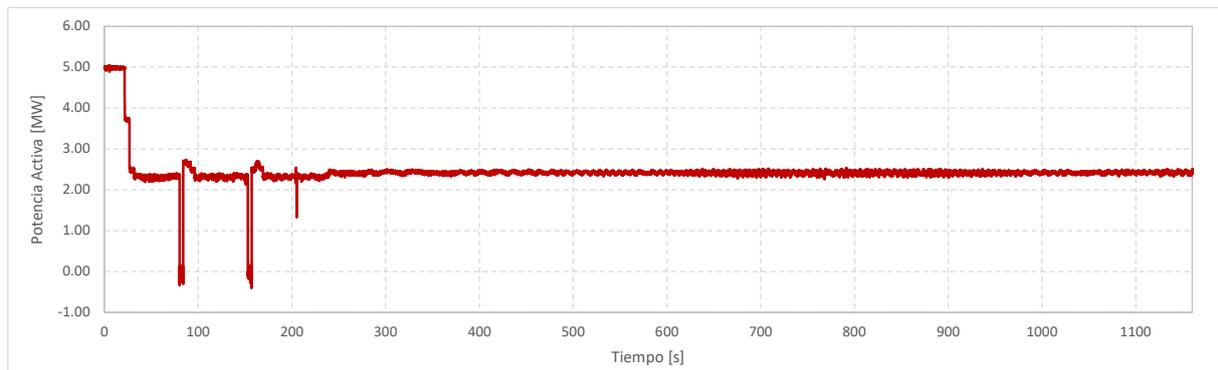


Gráfico 12. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico.

De lo anterior el mínimo valor de consigna para el cual todos los inversores se mantienen inyectando potencia es de 2,42 MW. Se registró la potencia neta y la potencia bruta en esta condición:

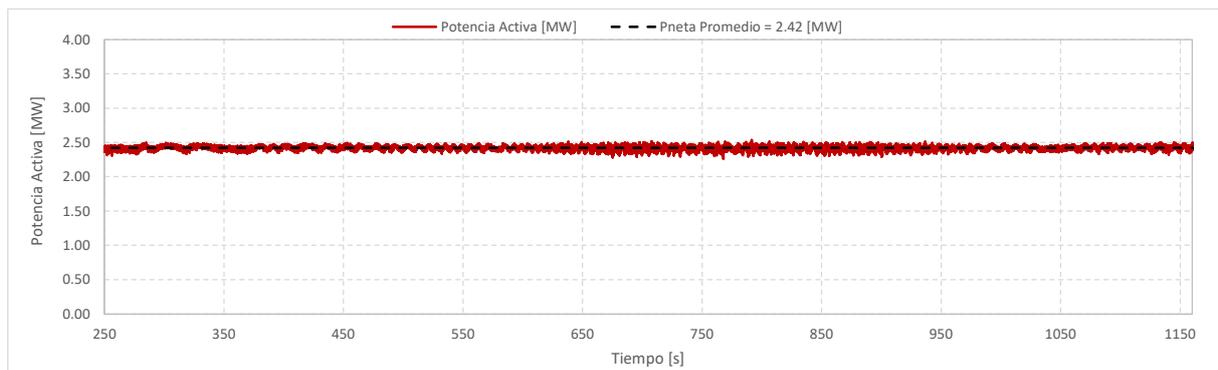


Gráfico 13. Mínimo técnico a nivel planta - potencia neta en el POI.

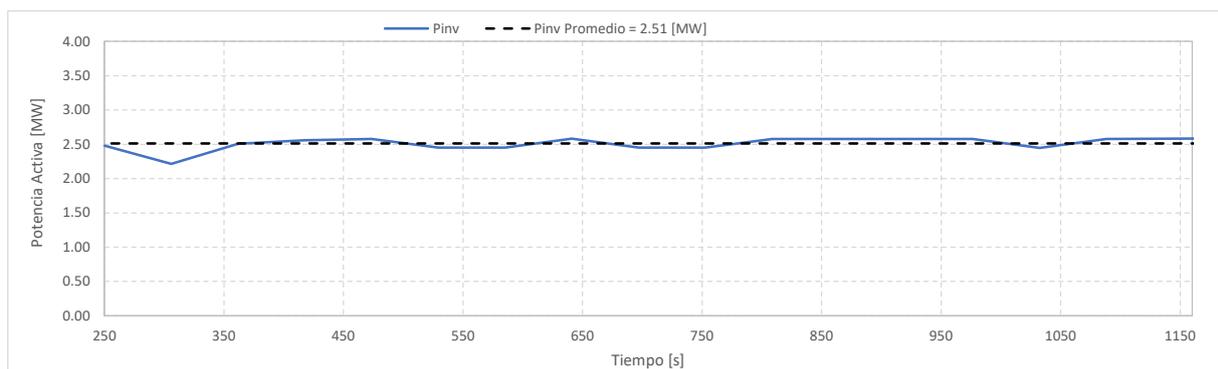


Gráfico 14. Mínimo técnico a nivel planta – potencia máxima generada por los inversores.

6.3.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 13 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 2,42 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 2,4200 \text{ MW}$$

6.3.2 Potencia Bruta

La potencia bruta se determina a partir de la potencia promedio del Gráfico 14 sumando las pérdidas de los inversores operativos a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{bruta} = P_{inv} + P_{SSAA\ INV}$$

$$P_{bruta} = 2,5134 \text{ MW} + 0,1957 \text{ MW} = 2,7091 \text{ MW}$$

6.3.3 Potencia de los servicios auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares para esta condición operativa corresponde a la suma de los consumos propios del inversor en operación en más los Servicios Auxiliares del parque:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA\ SE} + P_{SSAA\ INV}$$

$$P_{SSAA} = 0,0066044 \text{ MW} + 0,1957 \text{ MW} = 0,2023 \text{ MW}$$

6.3.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 2,7091 \text{ MW} - 2,4200 \text{ MW} - 0,2023 \text{ MW}$$

$$P_{perd\ central} = 0,0868 \text{ MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

En la Tabla 2 se presentan los valores de pérdidas en vacío y en carga del transformador de potencia, donde el valor de potencia de pérdidas en carga está referido a la potencia nominal del transformador, por lo que debe determinarse el valor de pérdida para el estado de carga del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador de potencia es el siguiente:

$$P_{trafo} = P_{p\ carga} + P_{p\ vacío}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor a 1,4 %. Por lo tanto, las pérdidas en el

transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{trafo} = 0 \text{ MW} + 0,038934 \text{ MW} = 0,038934 \text{ MW}$$

Finalmente, las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por la siguiente expresión:

$$P_{colector} = P_{perd \text{ central}} - P_{trafo}$$

$$P_{colector} = 0,0868 \text{ MW} - 0,0389 \text{ MW}$$

$$P_{colector} = 0,0479 \text{ MW}$$

6.3.5 Resumen de resultados

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

Tabla 8. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.

| Parque | Potencia Bruta (P2) [MW] | SS.AA. [MW] | Pcolector [MW] | Ptrafo [MW] | Potencia Neta (P1) [MW] |
|--------------------------|---|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--|
| PSFV Doña Antonia | 2,7091 | 0,2023 | 0,0479 | 0,0389 | 2.4200 |

7. CONCLUSIONES

- Dada una potencia mínima neta de **0 MW** en el punto de conexión del PSFV Doña Antonia (barra de 110 kV de la SE Doña Antonia) se determinó que mediante una generación bruta de **0,3818 MW** (con un inversor en funcionamiento y el resto en pausa) es posible alimentar las pérdidas de la central y los servicios auxiliares.
- Dada la mínima consigna en el punto conexión (tal que todos los inversores permanecieran en funcionamiento) de **2,4200 MW** (Pneta), se determinó una generación bruta de **2,7091 MW** para dicha condición operativa, tal que se pueda abastecer las pérdidas en la central y los servicios auxiliares.

Tabla 9. Parámetros de mínimo técnico a nivel inversor PSFV Doña Antonia.

| Parque | Potencia Bruta [MW] | SS.AA. [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|------------------------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| PSFV Doña Antonia INV 01.01 | 0,3818 | 0,0163 | 0,3655 | 0 |

Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel planta PSFV Doña Antonia.

| Parque | Potencia Bruta [MW] | SS.AA. [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|--------------------------|---------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| PSFV Doña Antonia | 2,7091 | 0,2023 | 0,0868 | 2,4200 |

ANEXOS

1. DETERMINACIÓN DE LOS SERVICIOS AUXILIARES DE LOS INVERSORES

Annex 1
Dona Antonia - Consumption losses
Rev 0 17/05/2023

| Sub 01 | | Sub 02 | | Sub 03 | |
|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | |
| Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) |
| PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 |
| 2x NCU's | 150 | 2x NCU's | 100 | 2x NCU's | 150 |
| SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 |
| Weather Station | 50 | Weather Station | 50 | Motor Gate | 100 |
| Total consumption | 19342 | Total consumption | 19372 | Total consumption | 19342 |
| Total consumption of all subs | 19342 | Total consumption of all subs | 19372 | Total consumption of all subs | 19342 |

| Sub 04,09 | | Sub 05 | | Sub 06 | |
|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | |
| Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) |
| PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 |
| 2x NCU's | 150 | 2x NCU's | 100 | 2x NCU's | 100 |
| SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 |
| Weather Station | 50 | CCTV Branch | 36 | Weather Station | 50 |
| Total consumption | 19342 | Total consumption | 19378 | Total consumption | 19600 |
| Total consumption of all subs | 38684 | Total consumption of all subs | 19378 | Total consumption of all subs | 19600 |

| Sub 07 | | Sub 08 | | Sub 10 | |
|--|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
| Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | | Power Electronics MV73750L substation LV Panel | |
| Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) | Loads | Operating consumption (W) |
| PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 | PE Twin skid consumptions | 19042 |
| 2x NCU's | 100 | 2x NCU's | 100 | 2x NCU's | 100 |
| SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 | SCADA Panel | 200 |
| CCTV Branch | 148 | CCTV Branch | 232 | CCTV Branch | 148 |
| Total consumption | 19490 | Total consumption | 19504 | Total consumption | 19542 |
| Total consumption of all subs | 19490 | Total consumption of all subs | 19504 | Total consumption of all subs | 19542 |

| | |
|---|----------------|
| Total consumption losses for all substations (W) | 195.655 |
|---|----------------|

| PE skid loads | Single skid | Twin skid |
|----------------|-------------|--------------|
| Inverter | 9000 | 18000 |
| My Switchgear | 138 | 276 |
| DGPT2 | 55 | 110 |
| Power supply | 45 | 90 |
| Lighting | 16 | 32 |
| Active heating | 149 | 298 |
| Fan | 115 | 230 |
| Total | 9521 | 19042 |