



INFORME DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE PARTIDA Y DETENCIÓN PSFV TAIRA

Informe Técnico

Preparado para:

**PS Tocopilla
SpA**

Enero – 2025

A 1087 | R 1119-24

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 DE LAS INSTALACIONES.....	7
2.1. Descripción general de la planta.....	7
2.2. Datos de los paneles solares.....	13
2.3. Datos de los inversores.....	14
2.4. Datos de los transformadores de bloque.....	15
2.5. Datos del transformador de potencia.....	16
2.6. Datos de los cables del sistema colector.....	16
2.7. Reactor Zig zag.....	17
2.8. Línea de transmisión.....	17
3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.....	18
4. ENSAYOS REALIZADOS.....	18
4.1. Descripción de las pruebas.....	18
4.2. Toma de registros de parámetros de partida y detención.....	19
4.3. Resultados obtenidos.....	20
4.3.1 Determinación del consumo de servicios auxiliares.....	20
4.3.2 Parámetros de Partida y Detención a nivel parque.....	21
4.3.3 Parámetros de Partida y Detención a nivel inversor.....	24
5. CONCLUSIONES.....	28
ANEXOS.....	29
1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES.....	29
2. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA.....	30
3. SERVICIOS AUXILIARES DE LOS INVERSORES.....	31
4. DIAGRAMAS UNIFILARES.....	31

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque de tres arrollamientos.....	15
Tabla 2. Datos técnicos de los transformadores de bloque de dos arrollamientos.	16
Tabla 3. Datos técnicos del transformador de potencia.	16
Tabla 4. Datos técnicos de los cables del sistema colector.	17
Tabla 5. Datos técnicos del reactor Zig - Zag.	17
Tabla 6. Datos técnicos de la línea de transmisión.	17
Tabla 7. Proceso de Arranque en PSFV Meseta de los Andes.....	18
Tabla 8. Proceso de partida en el PSFV Meseta de los Andes.	18
Tabla 9. Parámetros de Potencia Máxima y Mínima del PFV Taira.	19
Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel inversor PSFV Taira.....	19
Tabla 11. Consumo de los SSAA de los inversores.	20
Tabla 12. Estampas de tiempo para el proceso de partida y detención a nivel planta....	23
Tabla 13. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Taira.	24
Tabla 14. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Taira.	24
Tabla 15. Estampas de tiempo para el proceso de partida y detención a nivel inversor. 26	
Tabla 16. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Tamarico.	26
Tabla 17. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Tamarico.	27
Tabla 16. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Taira.	28
Tabla 17. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Taira.	28
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico.	6
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Taira.	8
Gráfico 3. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 1- parte 1.	9
Gráfico 4. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 2.....	10
Gráfico 5. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 3.....	11
Gráfico 6. Diagrama unilineal del sistema colector del PSFV Taira	12
Gráfico 7. Características técnicas de los paneles solares.....	13
Gráfico 8. Características generales de los inversores.....	14
Gráfico 9. Curva de capacidad de los inversores.	15
Gráfico 10. Consumo de SSAA esenciales de la SE Taira.	20
Gráfico 11. Estimación de consumos de SSAA de inversores pausados [W].	21

Gráfico 12. Potencia activa durante el proceso de partida y detención del parque fotovoltaico.....	21
Gráfico 13. Detalle del proceso de detención para el parque completo.....	22
Gráfico 14. Detalle del proceso de partida para el parque completo.....	22
Gráfico 15. Potencia activa durante el proceso de partida y detención a nivel inversor..	25
Gráfico 16. Detalle del proceso de detención a nivel inversor.	25
Gráfico 17. Detalle del proceso de arranque a nivel inversor.	25
Gráfico 18. Skids de inversores centrales PSFV Taira.....	29

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	06/12/2024	MF	FM	FM	Emisión Original
2	08/01/2024	MF	FM	FM	Atención correcciones CEN

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Solar Fotovoltaico Taira, durante el día 28 de noviembre del año 2024, en relación con el proceso de determinación de los parámetros de partida y detención 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:

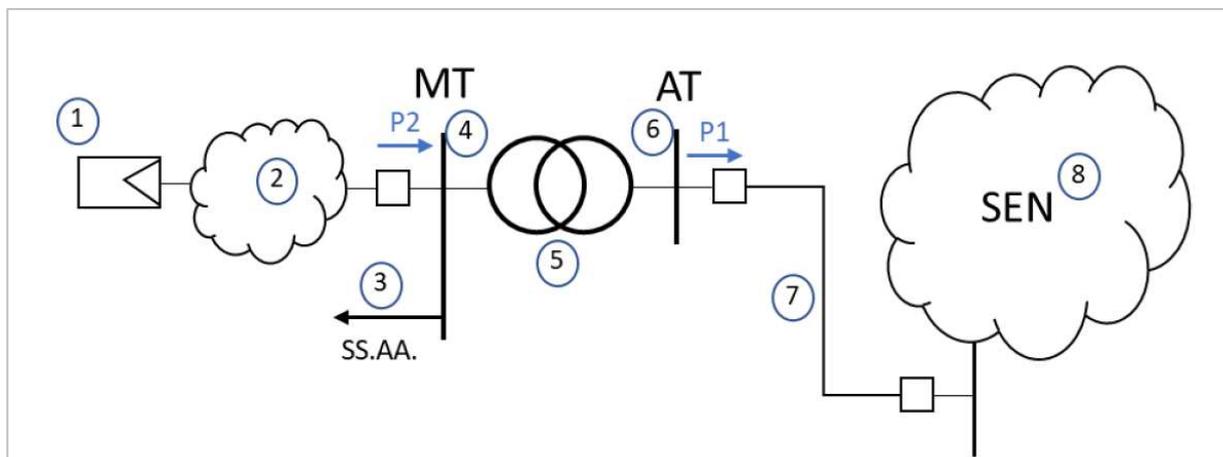


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico.

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 (Pneta).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- Pbruta: 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).
- Pperd: Potencia de pérdidas en la línea de transmisión (ver punto 7 del Gráfico 1).
- Ptrafo: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- Pssa: Potencia de servicios auxiliares del parque.
- Pcolector: 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 Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de 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"

Esta metodología empleada permite determinar los tiempos de partida y de detención y la provisión al CEN de la información requerida por el Artículo 10 del Anexo Técnico:

- Información técnica, recomendaciones del fabricante y antecedentes, etc.
- Antecedentes de la operación de la unidad, registros, etc.
- Antecedentes técnicos que respalden el comportamiento esperado o desempeño registrado.

Los datos más importantes relevados son:

- Los tiempos desde el ingreso del parque hasta llegar al mínimo técnico y desde ese punto a máxima potencia y la tasa de incremento de la generación (MW/min).
- El tiempo mínimo de operación para su detención y la tasa de reducción de la generación (MW/min).

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.1. Descripción general de la planta

El PSFV Taira está situado en Tocopilla, región de Atacama, Chile. Esta central basada en tecnología solar fotovoltaica cuenta con una potencia comprometida de 200,3 MW en el punto de conexión, y una potencia instalada de 218,4 MVA para temperaturas de hasta 40°C.

La planta cuenta con los siguientes elementos instalados: 402.360 unidades de módulos fotovoltaicos marca Jinko con potencias de 560 Wp, 565 Wp y 570 Wp con una capacidad acumulada de 227,75 MWdc (en STC); 52 inversores marca Power Electronics de 4.200 kVA; 24 centros de transformación de 8.400 kVA, en los cuales se conectan dos inversores y 4 centros de transformación de 4.200 kVA en los cuales se conecta un inversor. Estos centros de transformación elevan la tensión e inyectan la potencia hacia el

sistema colector, el cual está conformado por 12 cables acometen a una barra de 34,5 kV. Posteriormente, se eleva la tensión mediante dos transformadores de relación 34,5/220 kV y potencia 90/105/220 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2).

El punto de interconexión (POI) donde se comercializa la energía producida por el parque solar está situado eléctricamente en la barra de 220 kV de la SE Taira. Esta última, se conecta con la SE María Elena mediante una línea de 220 kV con una longitud de 9,27 km. Adicionalmente, el punto de control por medio del Power Plant Controller (PPC) corresponde con el punto de interconexión del parque.

En el Gráfico 2 se muestra una imagen de la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 3, Gráfico 4 y Gráfico 5 se observa el diagrama unilineal de la SE Taira. Luego, en el Gráfico 6 se muestra el sistema colector del parque.

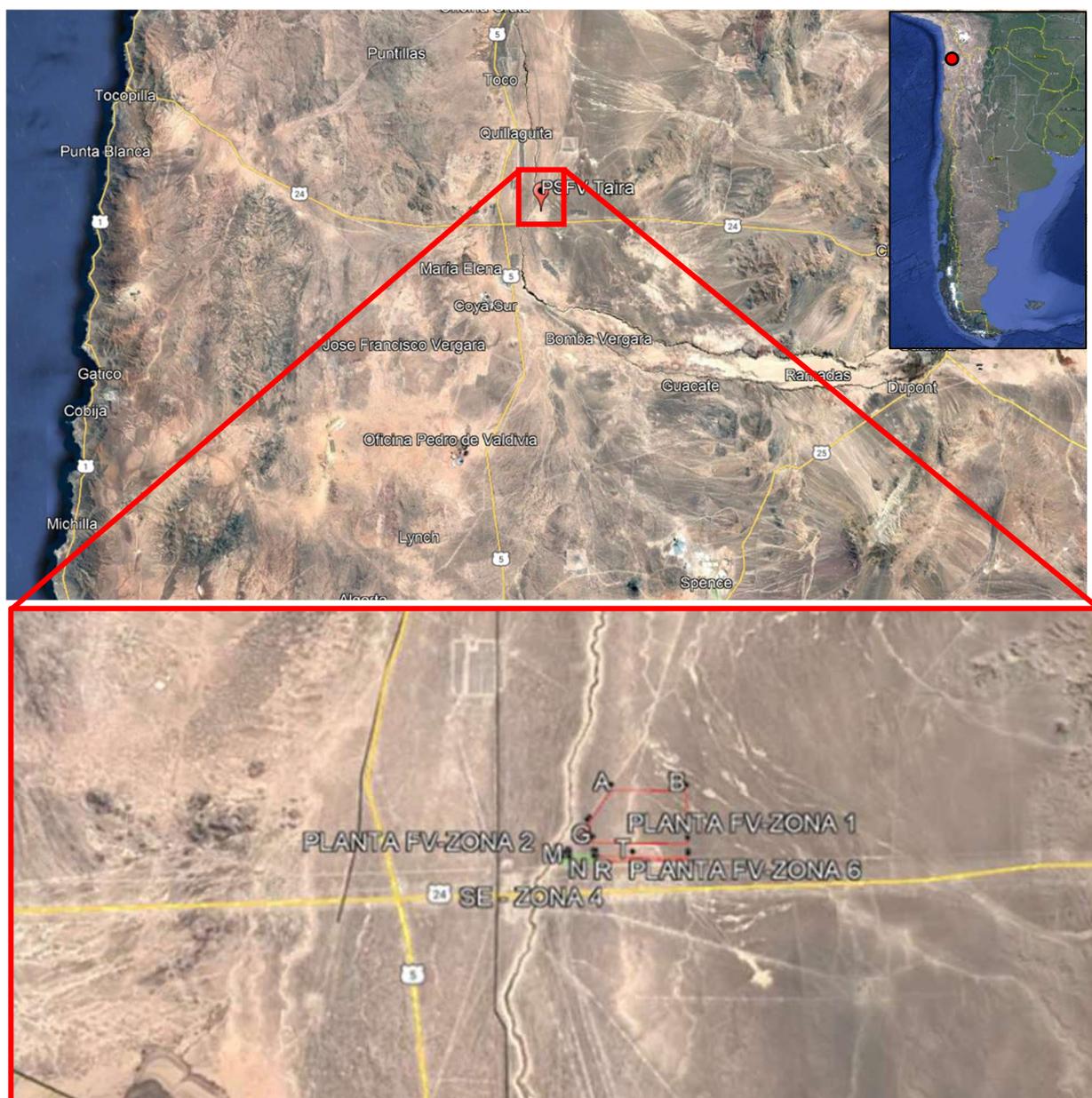


Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Taira.

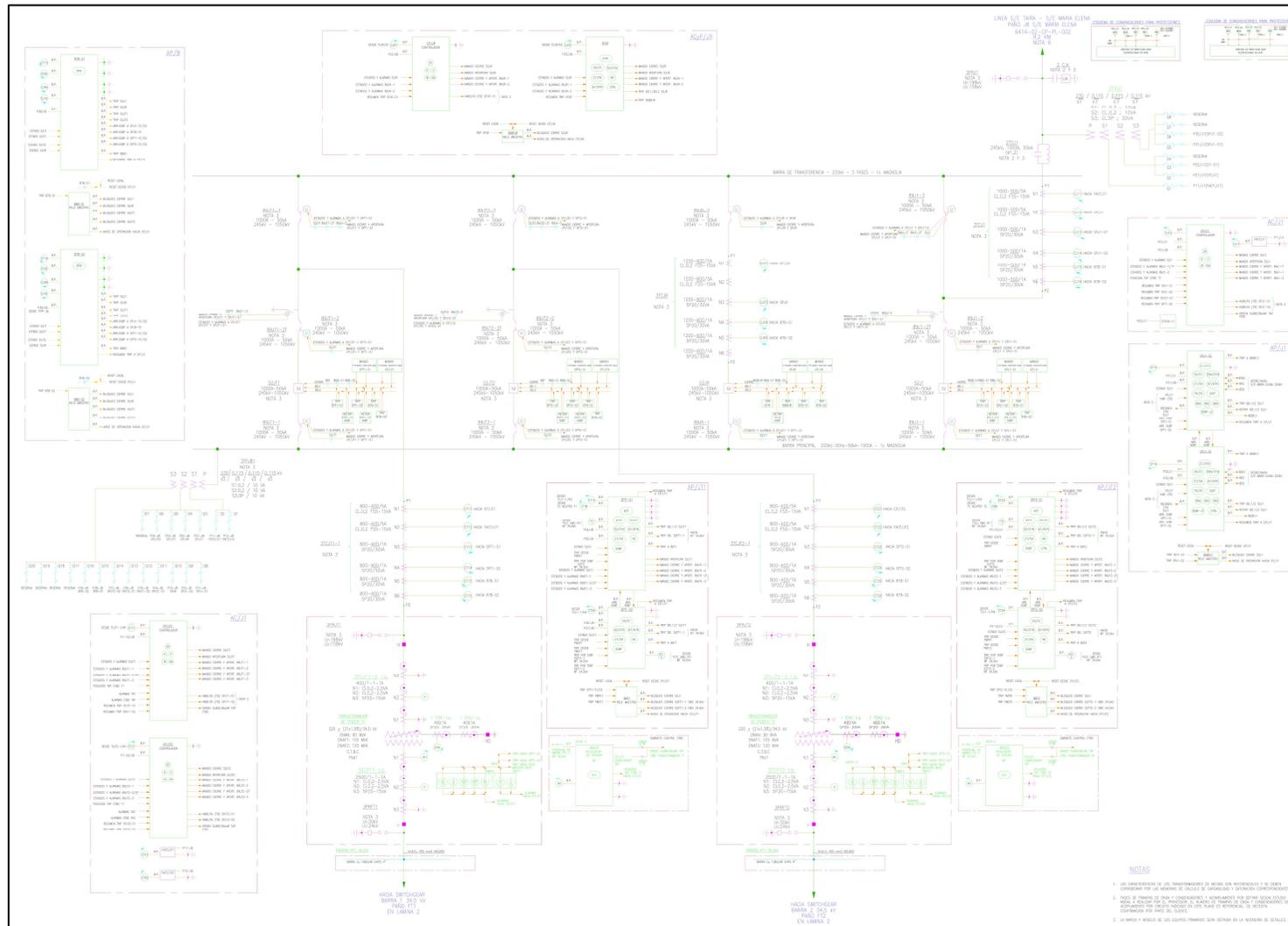


Gráfico 3. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 1- parte 1.

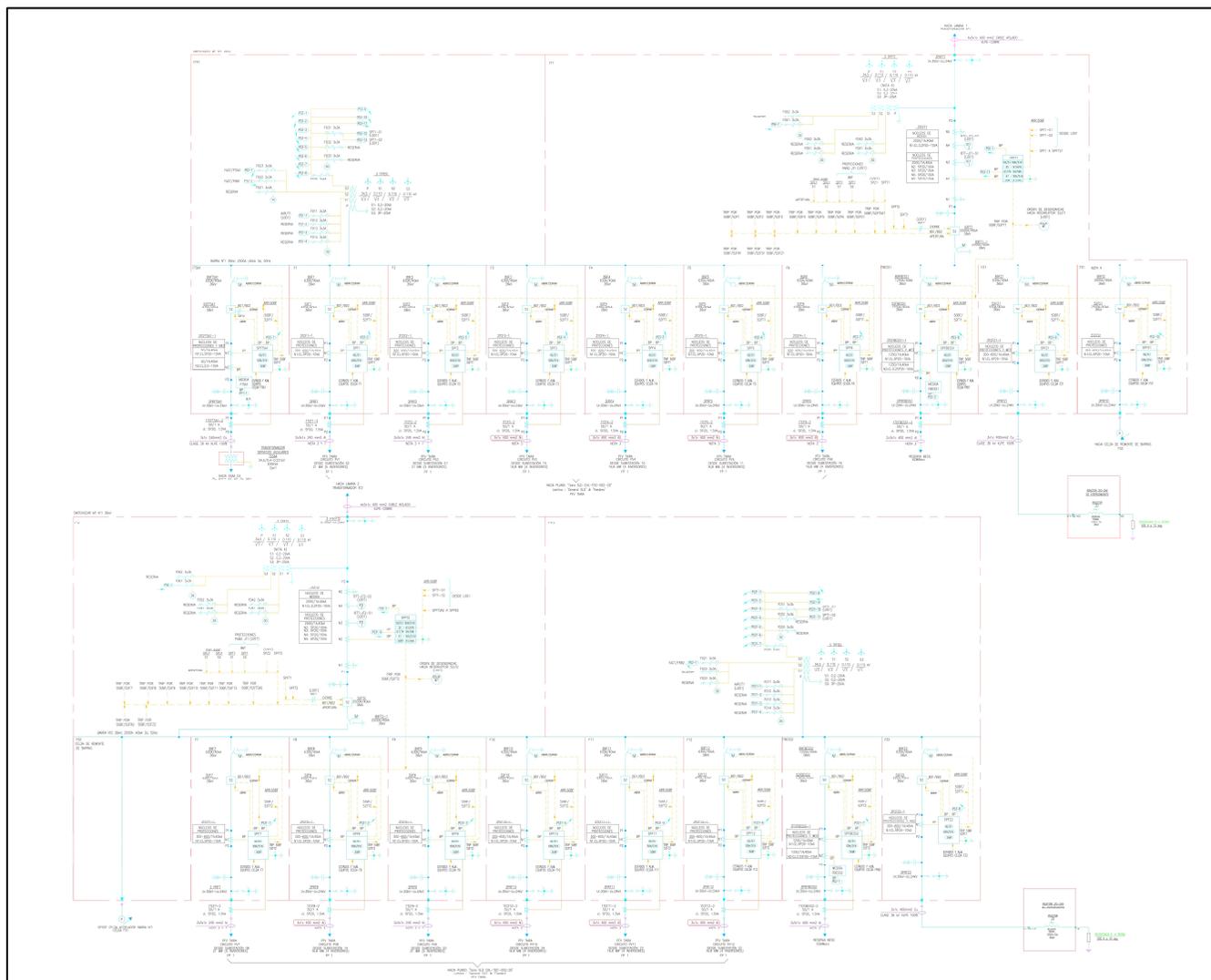


Gráfico 4. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 2.

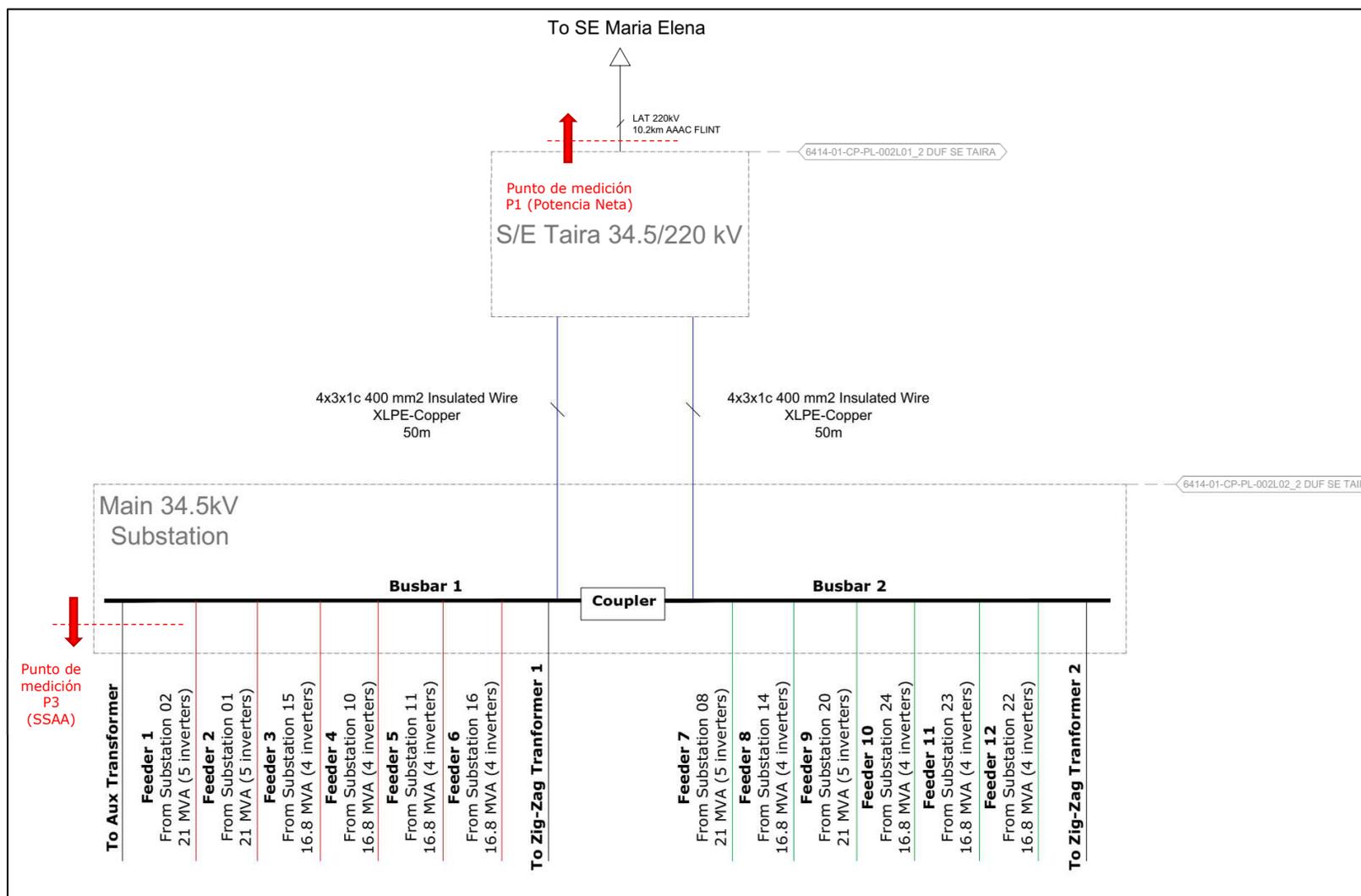


Gráfico 5. Diagrama Unilineal, SE Taira. Detalle 3.

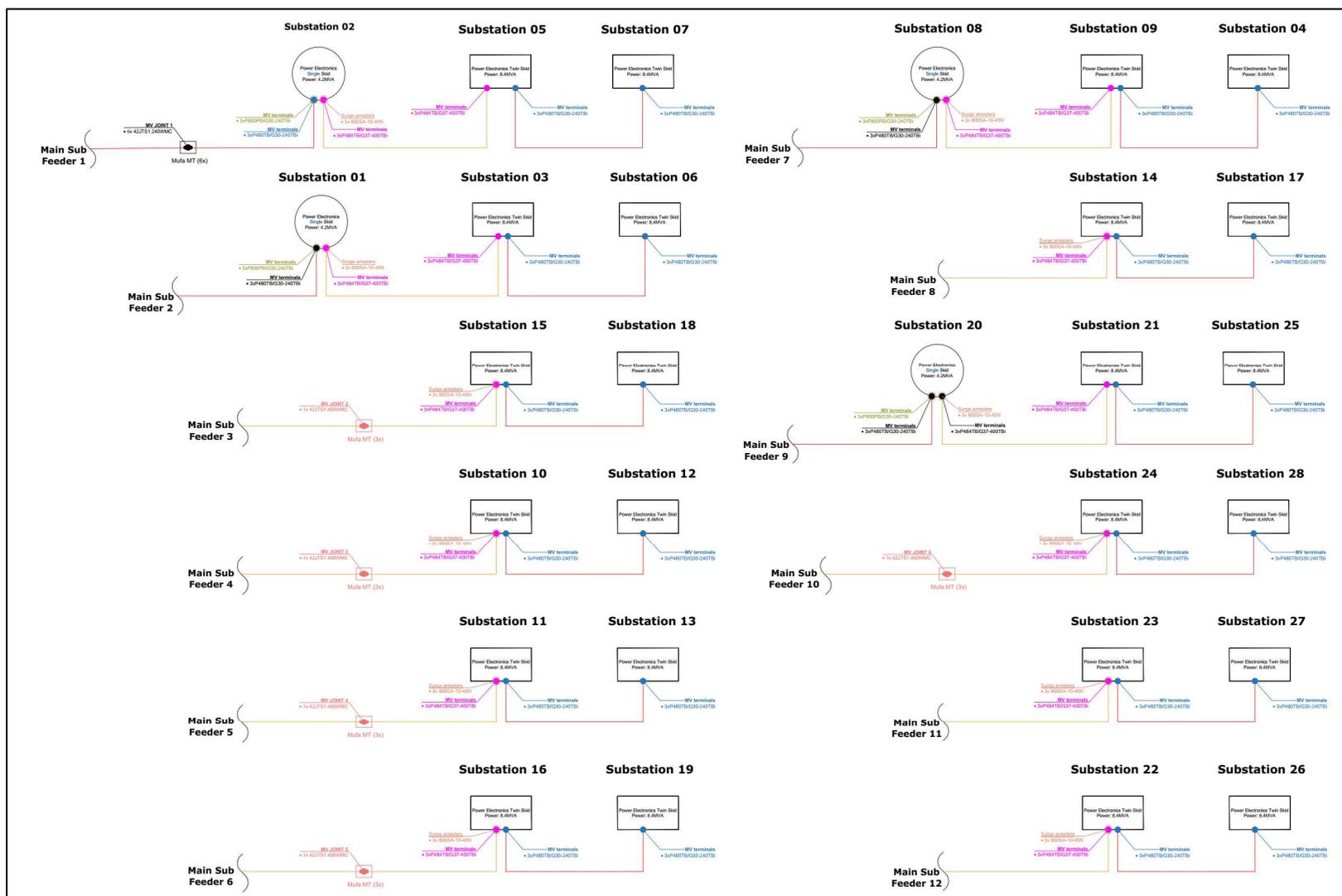


Gráfico 6. Diagrama unilineal del sistema colector del PSFV Taira

2.2. Datos de los paneles solares

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

Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (2×72)
Dimensions	2278×1134×30mm (89.69×44.65×1.18 inch)
Weight	32 kg (70.55 lbs)
Front Glass	2.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

36pcs/pallets, 72pcs/stack, 720pcs/ 40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM550N-72HL4-BDV		JKM555N-72HL4-BDV		JKM560N-72HL4-BDV		JKM565N-72HL4-BDV		JKM570N-72HL4-BDV	
	STC	NOCT								
Maximum Power (Pmax)	550Wp	414Wp	555Wp	417Wp	560Wp	421Wp	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.58V	39.13V	41.77V	39.26V	41.95V	39.39V	42.14V	39.52V	42.29V	39.65V
Maximum Power Current (Imp)	13.23A	10.57A	13.29A	10.63A	13.35A	10.69A	13.41A	10.75A	13.48A	10.81A
Open-circuit Voltage (Voc)	50.27V	47.75V	50.47V	47.94V	50.67V	48.13V	50.87V	48.32V	51.07V	48.51V
Short-circuit Current (Isc)	14.01A	11.31A	14.07A	11.36A	14.13A	11.41A	14.19A	11.46A	14.25A	11.50A
Module Efficiency STC (%)	21.29%		21.48%		21.68%		21.87%		22.07%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	80±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		5%		15%		25%	
		Maximum Power (Pmax)	Module Efficiency STC (%)	Maximum Power (Pmax)	Module Efficiency STC (%)	Maximum Power (Pmax)	Module Efficiency STC (%)
5%	Maximum Power (Pmax)	578Wp	583Wp	588Wp	593Wp	599Wp	
	Module Efficiency STC (%)	22.36%	22.56%	22.77%	22.97%	23.17%	
15%	Maximum Power (Pmax)	633Wp	638Wp	644Wp	650Wp	656Wp	
	Module Efficiency STC (%)	24.48%	24.71%	24.93%	25.15%	25.37%	
25%	Maximum Power (Pmax)	688Wp	694Wp	700Wp	706Wp	713Wp	
	Module Efficiency STC (%)	26.61%	26.86%	27.10%	27.34%	27.58%	

*STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

©2021 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. JKM550-570N-72HL4-BDV-F2-EN (IEC 2016)

Gráfico 7. Características técnicas de los paneles solares.

2.3. Datos de los inversores

El parque solar fotovoltaico Taira cuenta con 52 inversores marca Power Electronics modelo HEMK GEN 3 660 V – 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: $Q(kVA) = \sqrt{(S(kVA))^2 - P(kW)^2}$

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

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

Gráfico 8. Características generales de los inversores.

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

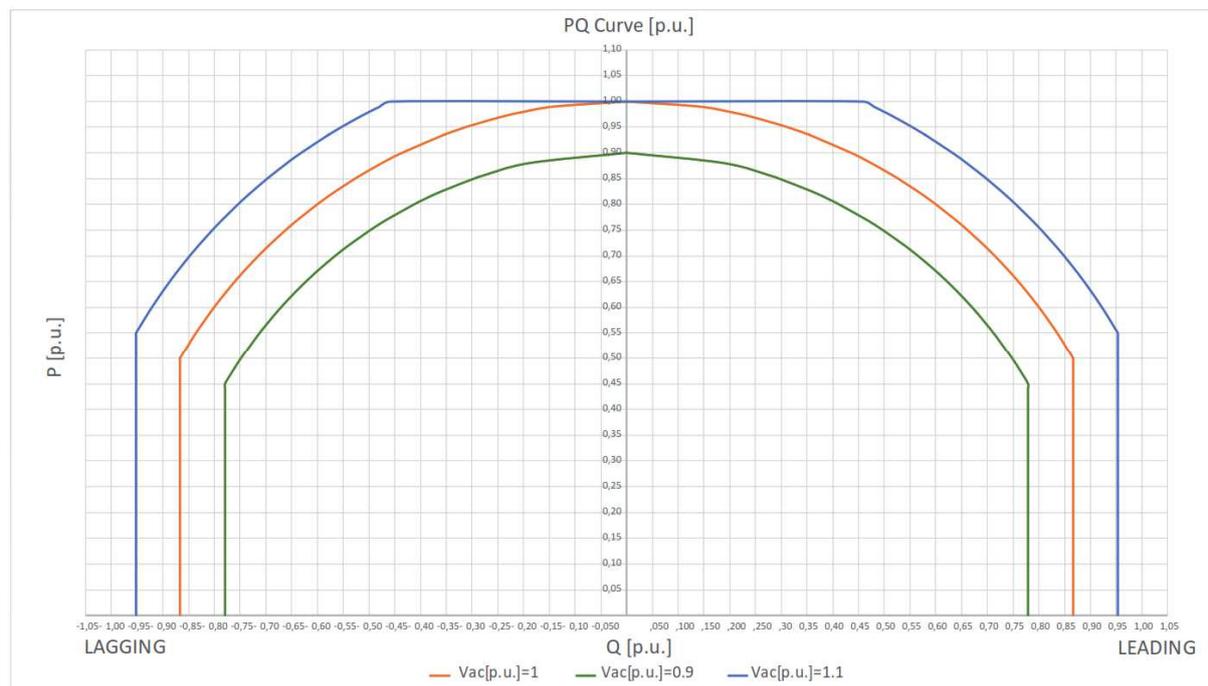


Gráfico 9. Curva de capacidad de los inversores.

2.4. Datos de los transformadores de bloque

La instalación cuenta con 24 transformadores elevadores de tres arrollamientos, con una potencia de 8,4 MVA, en los cuales se conectan 2 inversores (un inversor en cada arrollamiento secundario del transformador) y 4 transformadores de dos arrollamientos con una potencia de 4,2 MVA. Estos transformadores elevan la tensión e 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 de tres arrollamientos.

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	Dy11y11
Impedancia de corto circuito (HV-MV)	8%
Impedancia de corto circuito (MV-LV)	8%
Impedancia de corto circuito (LV-HV)	8%

Parámetro	Valor
Perdidas en carga (HV-MV)	27,0 kW
Perdidas en carga (MV-LV)	0 kW
Perdidas en carga (LV-HV)	27,0 kW
Pérdidas de vacío	7,2 kW
Posiciones de Tap	±2x2,5%

Tabla 2. Datos técnicos de los transformadores de bloque de dos arrollamientos.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal lado HV	4,2 MVA
Potencia Nominal lado MV	4,2
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	34.5 kV
Tensión nominal lado MV	0,66 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	8.5%
Perdidas en carga (HV-MV)	33,5 kW
Pérdidas de vacío	3,55 kW
Posiciones de Tap (sin carga)	±2x2,5%

2.5. Datos del transformador de potencia

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

Tabla 3. Datos técnicos del transformador de potencia.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	90/105/120 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1/ONAF2
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	34,5 kV
Tipo de conexión	Ynd1
Impedancia de corto circuito	12,41% (base 120 MVA)
Perdidas en carga (HV-MV)	333,04 kW
Pérdidas de vacío	65,0 kW
Corriente de vacío	0,056 %
Posiciones de Tap (bajo carga)	±10 x 1,5%

2.6. Datos de los cables del sistema colector

La red colectora cuenta con conductores de 240 mm² y 400mm², todos conformados por

ternas unipolares. En la siguiente tabla se resumen los parámetros característicos de cada sección de cable.

Tabla 4. Datos técnicos de los cables del sistema colector.

Sección [mm ²]	X1 [Ω/km]	R1 [Ω/km]	B [μs/km]	X0 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	Corriente nominal [kA]
400	0,1136	0,1109	73,490	0,1997	0,6099	0,470
240	0,1173	0,1259	70,070	0,2096	0,6377	0,367

2.7. Reactor Zig zag

El PSFV Taira, cuenta con dos reactores Zig-Zag con la finalidad de limitar el valor de la corriente ante un cortocircuito a tierra. Las características principales de cada uno se muestran a continuación:

Tabla 5. Datos técnicos del reactor Zig - Zag.

Parámetro	Valor
Tensión nominal	34,5 kV
Impedancia de secuencia cero	104,8 Ω
Corriente nominal (3*I0)	0.5 kA
Resistencia de puesta a tierra	39,8 Ω

2.8. Línea de transmisión

El punto de conexión del PSFV Taira corresponde con la SE Taira en 220 kV. Luego, esta última se conecta a la SE María Elena mediante una línea de AT. Las características de esta línea se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Datos técnicos de la línea de transmisión.

Parámetro	Valor
Circuitos	1
Tensión nominal	220 kV
Frecuencia nominal	50 Hz
Longitud	10,41 km
Corriente nominal (a 25°C)	0,905 kA
Resistencia de secuencia positiva (20°C)	0,072777 Ω/km
Reactancia de secuencia positiva	0,404496 Ω/km
Susceptancia de secuencia positiva	2,848495 μs/km
Resistencia de secuencia cero (a 20°C)	0,431914 Ω/km
Reactancia de secuencia cero	1,291593 Ω/km
Susceptancia de secuencia cero	1,673161 μs/km

3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El PSFV Taira presentó parámetros de desempeño equivalentes al PSFV Meseta de los Andes cuyos parámetros más relevantes se muestran a continuación¹:

Tabla 7. Proceso de Arranque en PSFV Meseta de los Andes.

Parámetro técnico	I) Desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización	II) Desde la sincronización hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	III) Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a potencia nominal
Combustible utilizado durante el proceso	N/A	N/A	N/A
Energía eléctrica consumida durante el proceso [kWh]	N/A	2.53	39.93
Duración del proceso [min]	N/A	0'19"	5'00"

Tabla 8. Proceso de partida en el PSFV Meseta de los Andes.

Parámetro técnico	IV) Desde la operación a potencia nominal a Mínimo Técnico	V) Desde la operación a mínimo Técnico hasta la desconexión	VI) Desde la desconexión de la unidad hasta el término del proceso de detención	VII) Operación mínima antes de poder detenerse, una vez concluido un proceso de partida
Combustible utilizado durante el proceso	N/A	N/A	N/A	N/A
Energía eléctrica consumida durante el proceso [kWh]	39.4	0.27	N/A	N/A
Duración del proceso [min]	4'56"	0'02"	N/A	N/A

4. ENSAYOS REALIZADOS

4.1. Descripción de las pruebas

De acuerdo con el Anexo Técnico "Determinación de Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de Unidades Generadoras", el Proceso de Partida es aquel que permite llevar la unidad desde el estado de apagado hasta su estado de mínimo técnico, inyectando energía al SI de manera segura y estable. Por otro lado, el proceso de Detención se

¹ <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

establece entre el estado de mínimo técnico de la unidad hasta que la misma se encuentra en estado de apagado, sin entregar energía al SI.

Para la realización de los ensayos se consideró el proceso de partida y detención de la planta completa y luego se repitió el proceso considerando un inversor operativo (que en el caso del PSFV Taira fue el INV12).

Para el caso del proceso de partida, partiendo del estado de apagado (potencia nula), se le dio la consigna de mínimo técnico y una vez alcanzado este punto se envió la consigna de potencia máxima. En el caso del proceso de detención, partiendo del estado de potencia máxima disponible se envió la consigna de potencia mínima y luego de alcanzado este punto se envió la consigna de pausa registrando la evolución de las variables de interés en todo el proceso.

El valor de potencia máxima se obtuvo desde el informe respectivo, bajo los supuestos allí indicados, permitiendo así determinar un valor representativo para el PFV Taira, el cual no estuviese afecto a las limitaciones de inyección de potencia producto de la capacidad de transmisión disponible experimentada durante el desarrollo de las pruebas en campo.

De acuerdo con lo anterior, para obtener los valores de los parámetros de partida y detención desde potencia máxima (determinada en el informe correspondiente) se corrigieron los valores obtenidos en la prueba considerando la rampa actual configurada en la central (20 %/min tanto para subida como bajada). Esta rampa es única y es válida para todo el rango operativo de la central como se señala en el diagrama en bloques mostrado del Anexo, donde se muestra que la limitación de rampa (RUset, RDset) es aplicable al setpoint de potencia independiente del despacho y es única, validando así la corrección de los tiempos de partida y detención.

4.2. Toma de registros de parámetros de partida y detención

Para la determinación de los tiempos y energía consumida durante los procesos de partida y detención, se consideraron los valores de Potencia Máxima y Mínimo Técnico de la planta, según el siguiente detalle:

Tabla 9. Parámetros de Potencia Máxima y Mínima del PFV Taira.

Planta	Configuración	Potencia Máxima Neta [MW]	SS.AA. Pmax [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]	SS.AA. Pmin [MW]
PFV Taira	Solo PV	200,3316	0,5122	6,2116	0,5122

Para el caso de la operación en mínimo técnico con un inversor, se tiene:

Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel inversor PSFV Taira.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PSFV Taira (un inversor)	0,3669	0,0725	0,2944	0,0000

4.3. Resultados obtenidos

4.3.1 Determinación del consumo de servicios auxiliares

En el documento del fabricante denominado “**Tocopilla_Consumption Losses Rev.0_2023.04.24**” (adjunto en la sección Anexo), se muestra la determinación de los servicios auxiliares de los inversores por centro de transformación. En la siguiente tabla se resume el consumo de SSAA de los inversores:

Tabla 11. Consumo de los SSAA de los inversores.

CT	Consumo SSAA [kW]
SUBS 04, 05, 09, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 23, 24, 25y 26	0,29013
SUB 01	0,009929
SUBS 02, 08, 20	0,029313
SUBS 03, 06, 16, 27 y 21	0,096960
SUB 07	0,019454
SUB 14	0,019842
SUB 22	0,019490
Total	0,485118

De lo anterior para las pruebas con el parque completo el consumo de SSAA será de:

$$P_{SSAA\ INV} = 0,485118\ MW$$

Para el caso de los servicios auxiliares de la subestación, se registró un consumo promedio durante las horas del día de 27,1 kW:

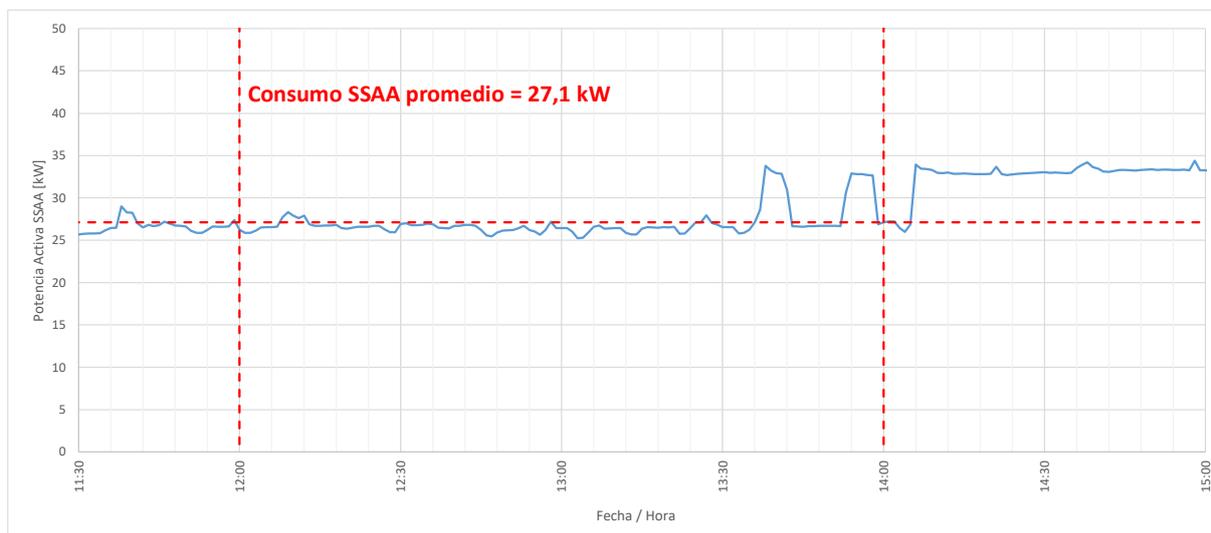


Gráfico 10. Consumo de SSAA esenciales de la SE Taira.

$$P_{SSAA\ SE} = 0,0271\ MW$$

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

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

Para el caso de los ensayos de partida y detención considerando el parque completo se tiene:

$$P_{SSAA} = 0,0271 \text{ MW} + 0,4851 \text{ MW} = 0,5122 \text{ MW}$$

En el caso de los ensayos de partida y detención considerando un inversor en funcionamiento (INV 12) el consumo de servicios auxiliares queda determinado sumando las pérdidas del inversor operativo y los consumos en standby del resto de los inversores (estimados según el detalle del Gráfico 11 extraído de SERVICIOS AUXILIARES DE LOS INVERSORES), a partir de la siguiente fórmula:

PE skid loads		
Loads	Single skid	Twin skid
Inverter	9000	18000
MV Switchgear	138	276
DGPT2	55	110
Power supply	48	96
Lightning	16	32
Active heating	149	298
Fan	115	230
Total	9521	19042

Gráfico 11. Estimación de consumos de SSAA de inversores pausados [W].

$$P_{SSAA \text{ INV}} = P_{SSAA \text{ INV}20.36} + 24 \times P_{SSAA \text{ TWIN INV STBY}} + 3 \times P_{SSAA \text{ SINGLE INV STBY}} + P_{SSAA \text{ NCU/SCADA/CCTV}}$$

$$P_{SSAA \text{ INV}} = 9,7710 \text{ kW} + 24 \times 1,0420 \text{ kW} + 3 \times 0,5150 \text{ kW} + 9,068 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA \text{ INV}} = 0,0454 \text{ MW}$$

4.3.2 Parámetros de Partida y Detención a nivel parque

Se obtuvieron registros de potencia activa en el punto de conexión del PSFV Taira. El proceso de partida y detención sobre el parque completo se efectuó durante el jueves 28/11/2024, cambiando las consignas de producción por medio del control de planta del parque, con una tasa configurada en el PPC de 20%/min ($\pm 40,06 \text{ MW/min}$). La evolución de la potencia activa durante el proceso se muestra a continuación:

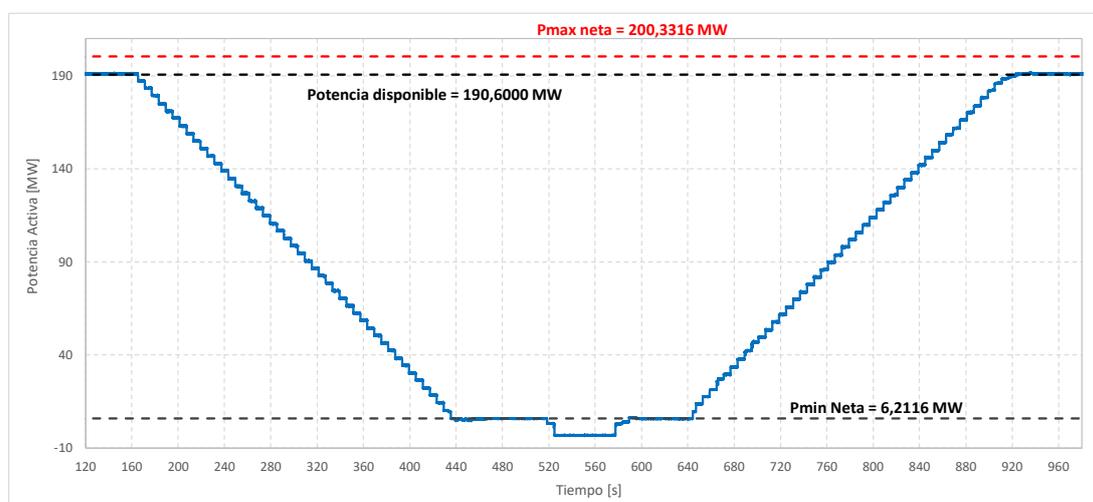


Gráfico 12. Potencia activa durante el proceso de partida y detención del parque fotovoltaico.

El detalle del proceso de partida y detención se muestra en los gráficos siguientes:

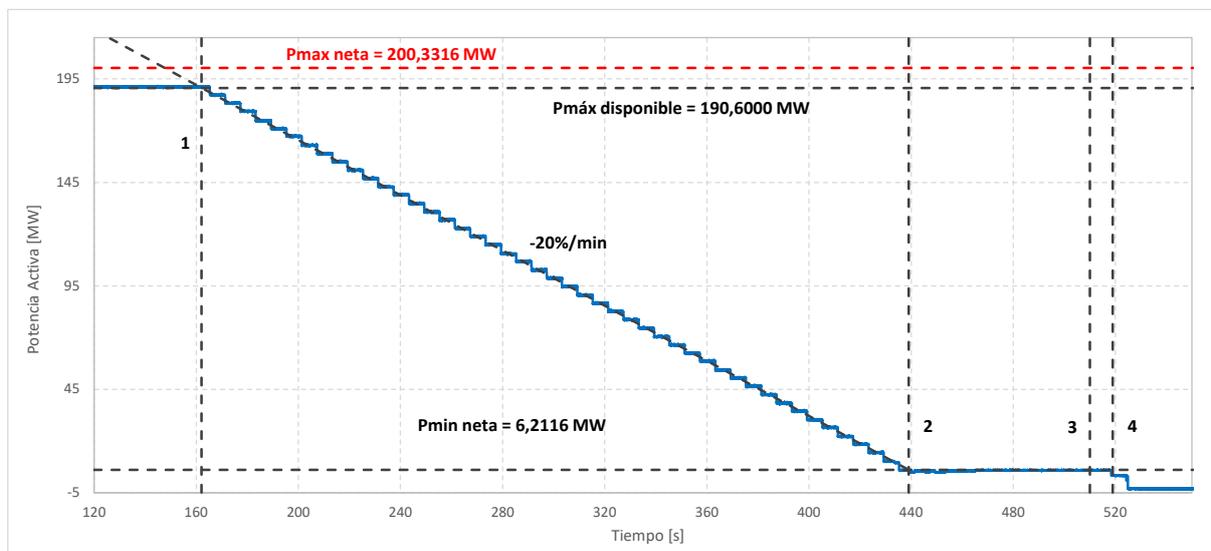


Gráfico 13. Detalle del proceso de detención para el parque completo.

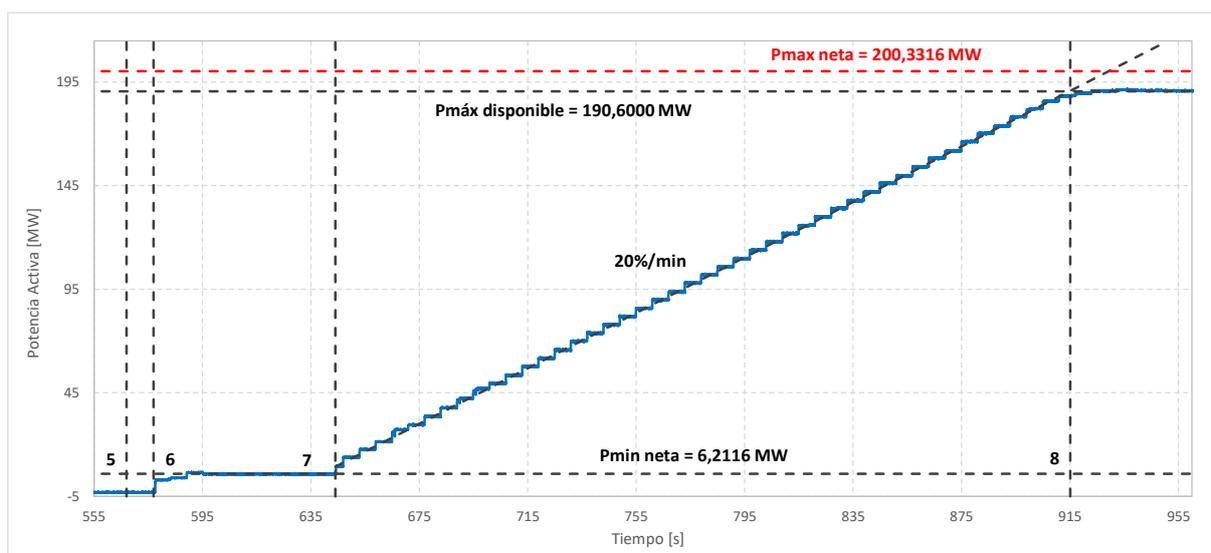


Gráfico 14. Detalle del proceso de partida para el parque completo.

De los registros se observa una tasa efectiva de subida y bajada de 20%/min, consistente con el ajuste del PPC. A partir de los gráficos anteriores pueden verificarse los hitos que se muestran en la Tabla 12.

Para el proceso de detención, desde una potencia de 190,6 MW se envía el comando de mínimo técnico a los 162 s, registrando un tiempo hasta llegar a mínimo técnico de $TM = 262,24$ s (4,3707 min). Luego estando en mínimo técnico se envía una consigna de parada de unidades a los 50 s, registrando un tiempo de detención de **TD = 14 s (0,2333 min)**. Durante el proceso de detención hasta mínimo técnico se observó que la planta reduce su potencia con una tasa de -20 %/min, cumpliendo así con la tasa configurada en el control de potencia activa del control de planta.

Tabla 12. Estampas de tiempo para el proceso de partida y detención a nivel planta.

ítem	Evento	Tiempo [hh:mm:ss]
1	Orden de mínimo técnico	16:20:06
2	Llegada a mínimo técnico (detención)	16:24:20
3	Orden de detención	16:25:30
4	Detención de unidades	16:25:44
5	Orden de partida	16:27:48
6	Llegada a mínimo técnico (partida)	16:27:54
7	Orden de Potencia máxima	16:29:16
8	llegada a potencia máxima	16:33:30

Como la **potencia máxima de la central en el POI es de 200,3316 MW**, se recalcula el parámetro TM agregando el tiempo adicional de reducción, considerando la tasa -20 %/min resultando:

$$TM_{\text{corregido}} = TM + \frac{P_{\text{max}_{\text{neta}}} - P_{\text{max}_{\text{disponible}}}}{\text{rampa}}$$

$$TM_{\text{corregido}} = 4,3707 \text{ min} + \frac{200,3316 \text{ MW} - 190,6000 \text{ MW}}{20 \frac{\text{MW}}{\text{min}}} = 4,8573 \text{ min}$$

Para el proceso de detención, se establece el tiempo mínimo de operación (TMO) en cero. Es decir, no existen restricciones de tiempo de operación antes de dar inicio al proceso de detención. Adicional a lo anterior, no existen restricciones operativas para dar el comando de detención una vez alcanzado el mínimo técnico.

Para el proceso de partida, se envía el comando de partida de las unidades a los 124 s, registrando un tiempo hasta alcanzar el mínimo técnico de **TB = 6 s (0,1000 min)**. Luego se envía el comando de potencia máxima a los 82 s y se registra un tiempo hasta llegar a la potencia máxima disponible (190,6 MW) de TA = 264 s (4,4000 min). El mismo valor de pendiente (+20 %/min) se verifica durante el proceso de partida desde mínimo técnico hasta potencia máxima. De igual forma que para el proceso de detención, se recalcula el parámetro TA considerando la potencia máxima en el POI, resultando un valor de:

$$TA_{\text{corregido}} = TA + \frac{P_{\text{max}_{\text{neta}}} - P_{\text{max}_{\text{disponible}}}}{\text{rampa}}$$

$$TA_{\text{corregido}} = 4,4000 \text{ min} + \frac{200,3316 \text{ MW} - 190,6000 \text{ MW}}{20 \frac{\text{MW}}{\text{min}}} = 4,8866 \text{ min}$$

Para el proceso de partida, se establece el Tiempo Mínimo de Detención (TMD) en cero. Es decir, no hay restricciones de tiempo para realizar el proceso de partida de la planta tras

el proceso de detención. Adicional a lo anterior, no existen restricciones operativas para dar el comando de partida una vez alcanzado el mínimo técnico.

En la Tabla 13 se resumen los resultados de los parámetros de partida, y en la Tabla 14 los parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Tairaco a nivel planta.

Tabla 13. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Taira.

Etapa	Parámetro	Central
Partida - Sincronización	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000
Sincronización - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0009
	Tiempo [minutos]	0,1000
Mínimo técnico - Potencia Nominal	Consumo SSAA [MWh]	0,0417
	Tiempo [minutos]	4,8866

Tabla 14. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Taira.

Etapa	Parámetro	Central
Potencia Nominal - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0415
	Tiempo [minutos]	4,8573
Mínimo técnico - Desconexión	Consumo SSAA [MWh]	0,0020
	Tiempo [minutos]	0,2333
Desconexión - Detención	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000

4.3.3 Parámetros de Partida y Detención a nivel inversor

Se obtuvieron registros de potencia activa en el POI, estando únicamente conectado el INV12. El proceso de partida y detención a nivel inversor se efectuó durante el día 30/10/2024, cambiando la orden de detención y luego de partida del inversor a través del modo local. La evolución de la potencia activa durante el proceso se muestra a continuación:

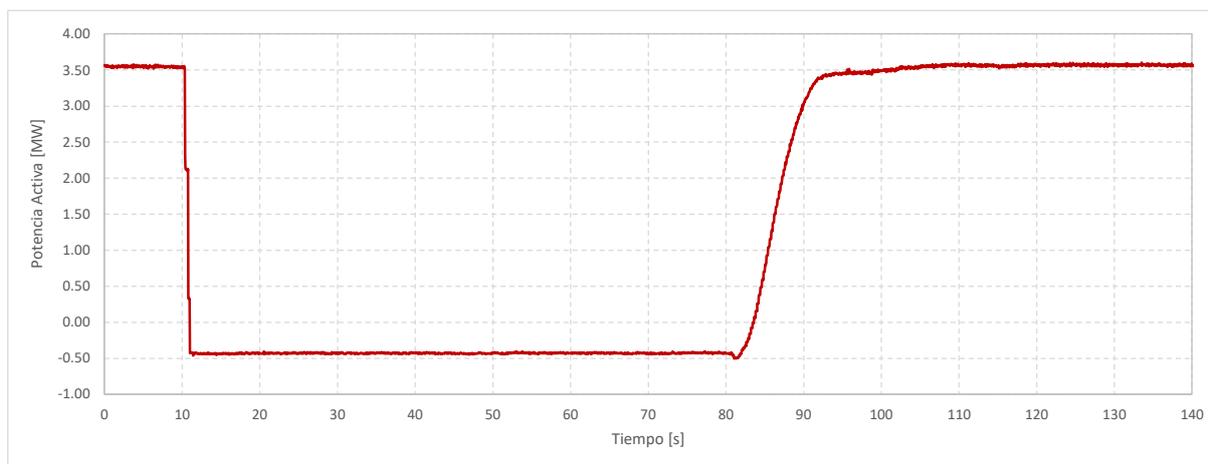


Gráfico 15. Potencia activa durante el proceso de partida y detención a nivel inversor.

El detalle del proceso de partida y detención se muestra en los gráficos siguientes:

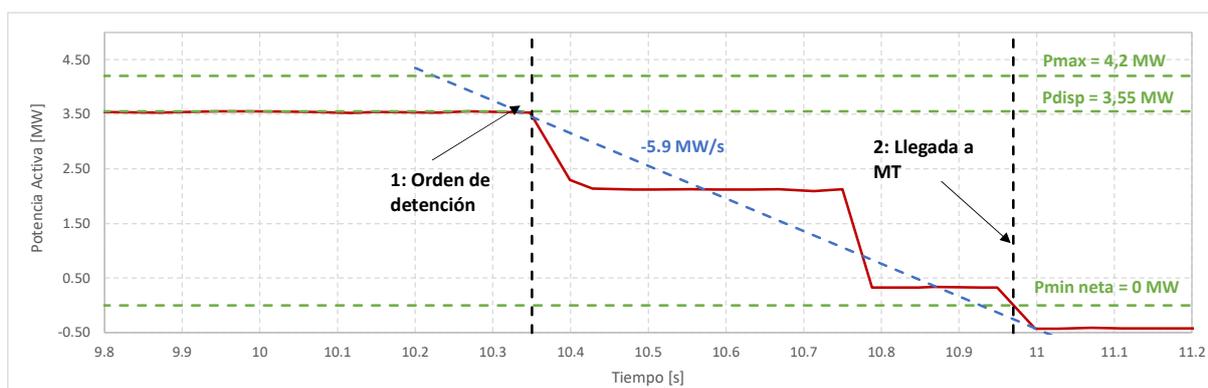


Gráfico 16. Detalle del proceso de detención a nivel inversor.

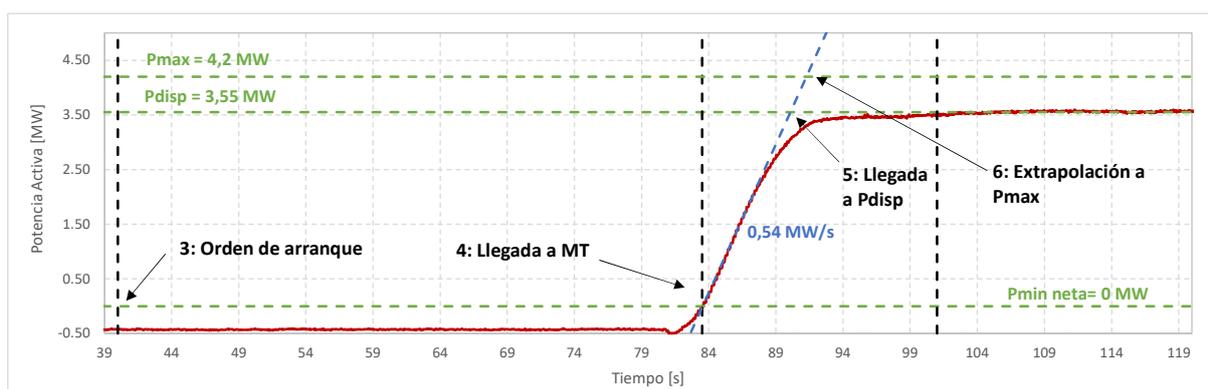


Gráfico 17. Detalle del proceso de arranque a nivel inversor.

A partir de los gráficos anteriores pueden verificarse los hitos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15. Estampas de tiempo para el proceso de partida y detención a nivel inversor.

ítem	Evento	Tiempo [hh:mm:ss]
1	Orden de detención	16:49:35
2	Llegada a mínimo técnico (detención)	16:49:35
3	Orden de arranque	16:50:05
4	Llegada a mínimo técnico (arranque)	16:50:48
5	Llegada a potencia máxima	16:51:04

Durante el proceso de detención hasta mínimo técnico se observó que el inversor reduce su potencia con una tasa de -5,9 MW/s. En el caso del proceso de partida la pendiente calculada es de 0,54 MW/s.

Para el proceso de detención, se establece el tiempo mínimo de operación (TMO) en cero. Es decir, no existen restricciones de tiempo de operación antes de dar inicio al proceso de detención.

Para el proceso de partida, se establece el Tiempo Mínimo de Detención (TMD) en cero. Es decir, no hay restricciones de tiempo para realizar el proceso de partida de la planta tras el proceso de detención.

Se tomó como Mínimo Técnico a nivel inversor el valor de 0,3669 MW, que es el valor de potencia mínima para un inversor en funcionamiento que genera una potencia mínima neta de 0 MW en el POI.

Al momento de realizar la prueba la potencia máxima disponible a nivel inversor era de 3,55 MW (en función del recurso existente en ese momento), luego los parámetros de partida y detención se corrigen a la potencia nominal del inversor, es decir, a 4,2 MW.

$$TM_{\text{corregido}} = TM + \frac{P_{\text{max}_{\text{neta}}} - P_{\text{max}_{\text{disponible}}}}{\text{rampa}}$$

$$TM_{\text{corregido}} = 0,0103 \text{ min} + \frac{4,2000 \text{ MW} - 3,5500 \text{ MW}}{5,9 \frac{\text{MW}}{\text{s}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 0,0121 \text{ min}$$

$$TA_{\text{corregido}} = TA + \frac{P_{\text{max}_{\text{neta}}} - P_{\text{max}_{\text{disponible}}}}{\text{rampa}}$$

$$TA_{\text{corregido}} = 0,2917 \text{ min} + \frac{4,2000 \text{ MW} - 3,5500 \text{ MW}}{0,54 \frac{\text{MW}}{\text{s}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 0,3118 \text{ min}$$

Tabla 16. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Tamarico.

Etapas	Parámetro	Inversor INV12
Partida - Sincronización	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000
Sincronización - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0009

Mínimo técnico - Potencia Nominal	Tiempo [minutos]	0,7167
	Consumo SSAA [MWh]	0,0004
	Tiempo [minutos]	0,3118

Tabla 17. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Tamarico.

Etapas	Parámetro	Inversor INV12
Potencia Nominal - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0121
Mínimo técnico - Desconexión	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0005
Desconexión - Detención	Consumo SSAA [MWh]	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000

5. CONCLUSIONES

Se presentan a continuación los parámetros operativos de la PFV Taira:

- TMO = 0,0000 min.
- TMD = 0,0000 min.

En base a los registros obtenidos en el ensayo de partida y detención del PSFV Taira se determinaron los parámetros asociados a la partida y detención del parque completo, considerando una Potencia Máxima Neta de 200,3316 MW y un Mínimo Técnico de 7,0478 MW (6,2116 MW en el POI), de acuerdo con lo calculado en los informes respectivos.

Por otra parte, en base a los resultados obtenidos a sobre el inversor INV 12 se determinaron los parámetros de partida y detención que caracterizan el comportamiento de un inversor. En este caso, se consideró una Potencia Máxima a nivel inversor de 4,2000 MW (potencia nominal de un inversor) y un Mínimo Técnico de 0,3669 MW (0,0000 MW en el POI), de acuerdo con lo calculado en los informes respectivos.

Tabla 18. Parámetros de partida del Parque Solar Fotovoltaico Taira.

Etapa	Parámetro	Inversor	Central
Partida - Sincronización	Consumo SSAA [MWh]	0,0000	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000	0,0000
Sincronización - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0009	0,0009
	Tiempo [minutos]	0,7167	0,1000
Mínimo técnico - Potencia Nominal	Consumo SSAA [MWh]	0,0004	0,0417
	Tiempo [minutos]	0,3118	4,8866

Tabla 19. Parámetros de detención del Parque Solar Fotovoltaico Taira.

Etapa	Parámetro	Inversor	Central
Potencia Nominal - Mínimo técnico	Consumo SSAA [MWh]	0,0000	0,0415
	Tiempo [minutos]	0,0121	4,8573
Mínimo técnico - Desconexión	Consumo SSAA [MWh]	0,0000	0,0020
	Tiempo [minutos]	0,0005	0,2333
Desconexión - Detención	Consumo SSAA [MWh]	0,0000	0,0000
	Tiempo [minutos]	0,0000	0,0000

ANEXOS

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

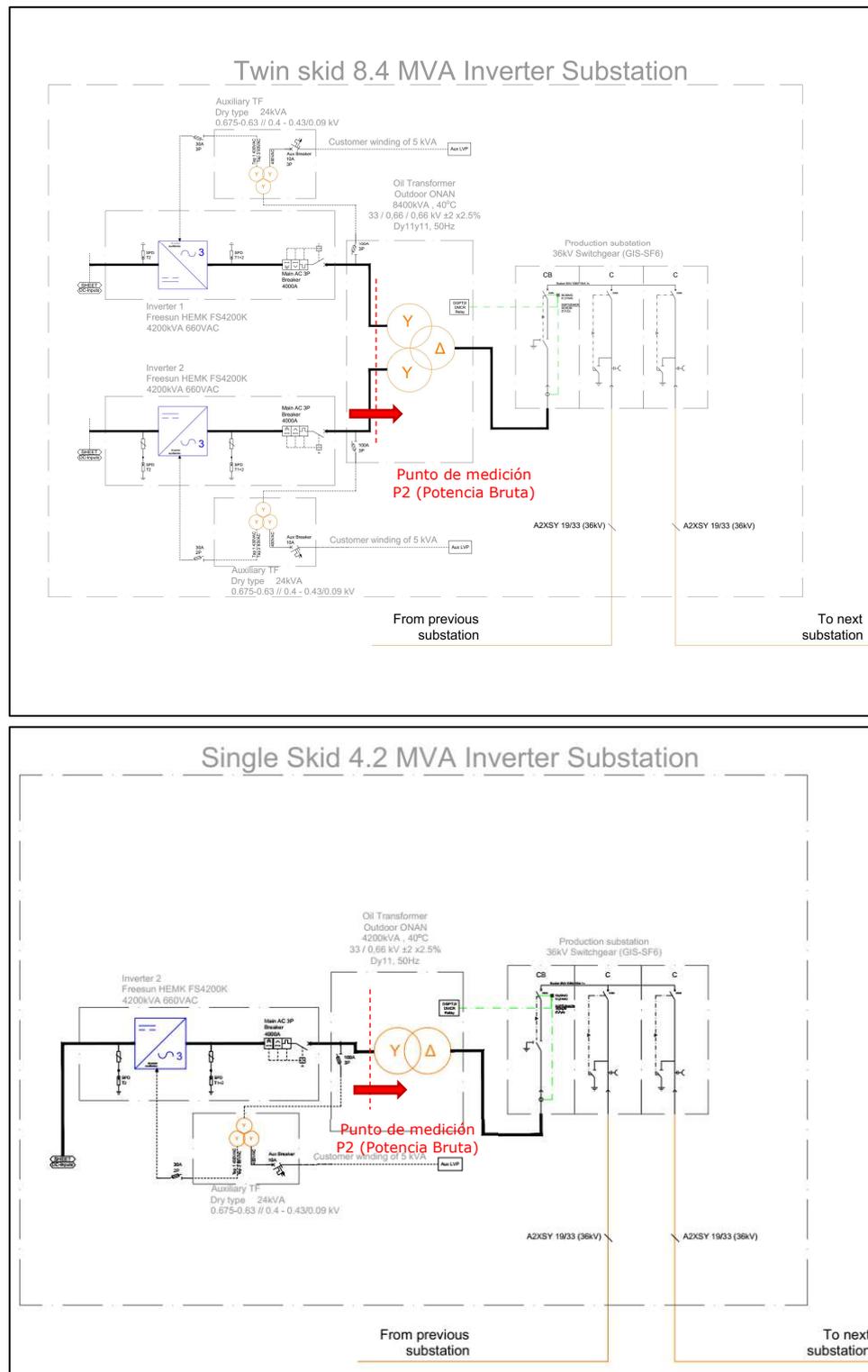
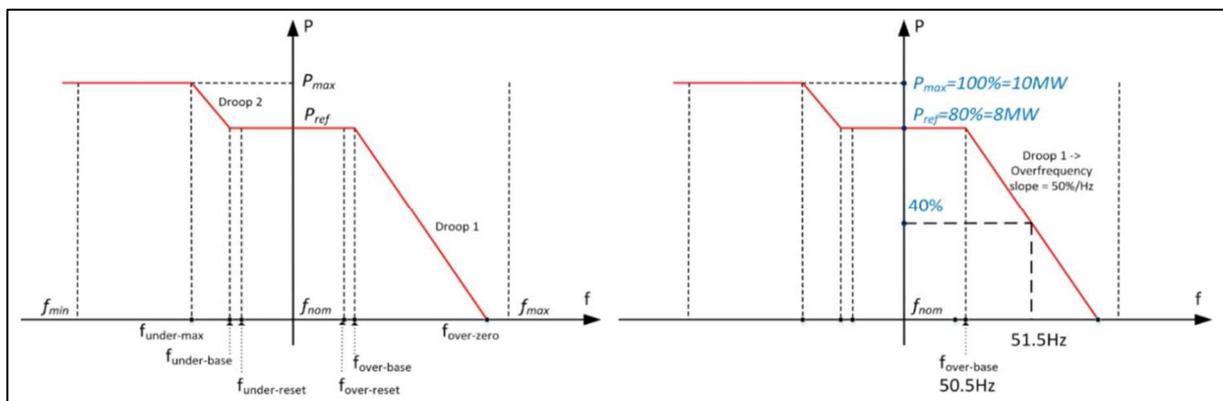
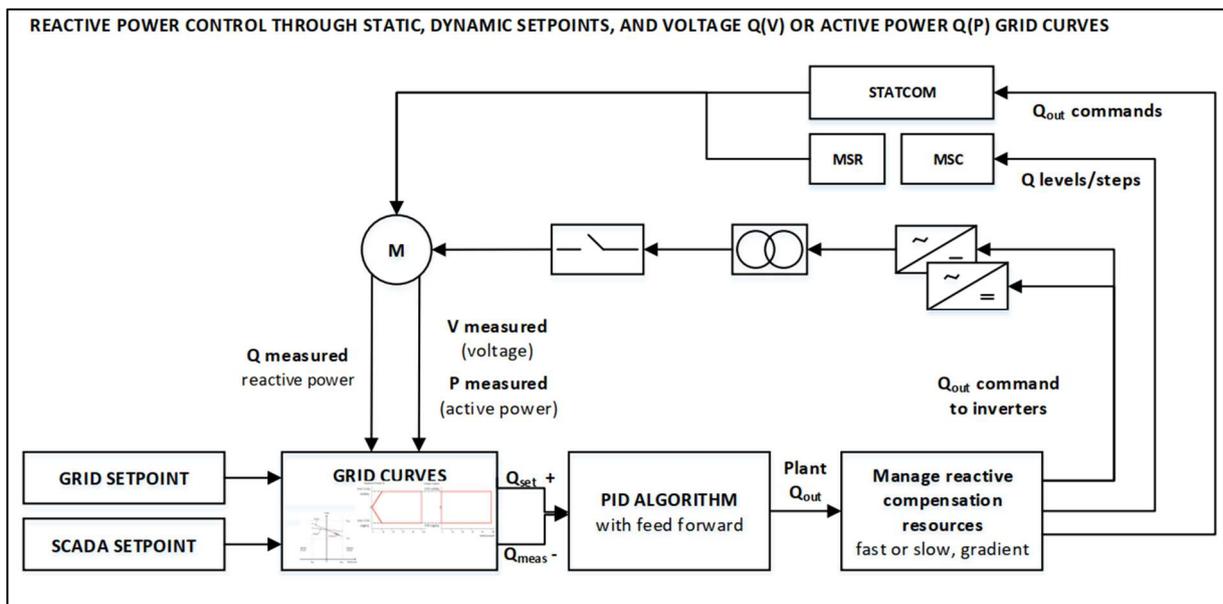
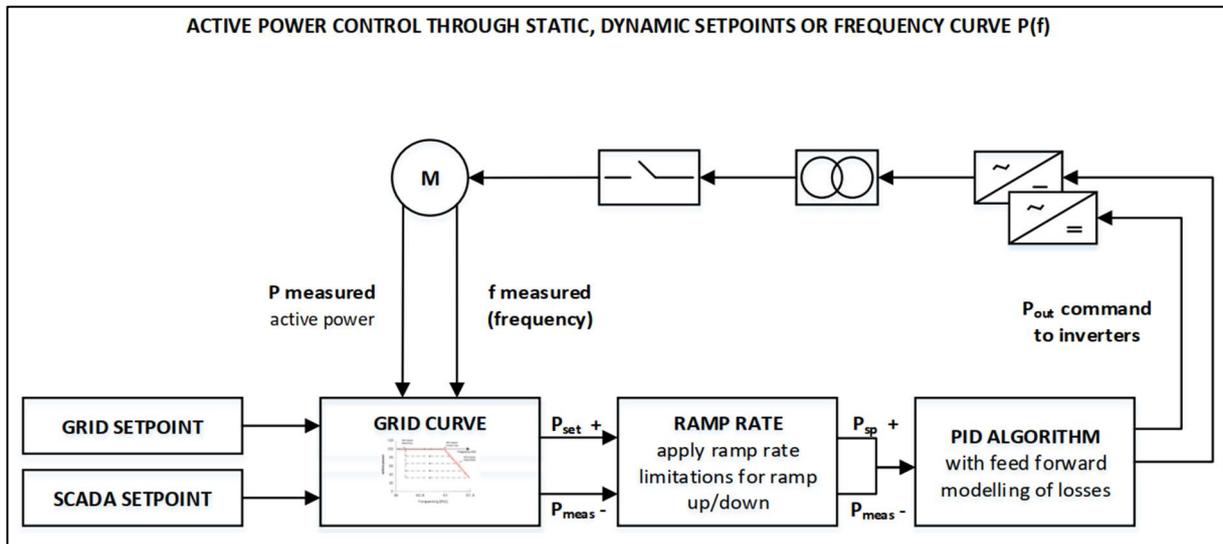


Gráfico 18. Skids de inversores centrales PSFV Taira.

2. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA



3. SERVICIOS AUXILIARES DE LOS INVERSORES

Subs 04,05,09,10,11,12,13,15,17,18,19,23,24,25,26		Subs 01		Subs 02,08,20		Sub 03,06,16,27,21		Sub 07		Sub 14		Sub 22	
Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)	Loads	Operating consumption (W)
PE Twin skid consumptions	19042	PE Single skid consumptions	9521	PE Single skid consumptions	9521	PE Twin skid consumptions	19042						
2x NCU's	100	1x NCU's	50	1x NCU's	50	2x NCU's	100						
SCADA Panel	200	SCADA Panel	200	SCADA Panel	200	SCADA Panel	200	SCADA Panel	200	SCADA Panel	200	SCADA Panel	200
Total consumption	19342	CCTV Branch	122	CCTV Branch	122	Weather Station	50	CCTV Branch	112	Motor Gate	500	CCTV Branch	94
Total consumption of all subs	290130	CCTV Branch	36	Total consumption	9771	Total consumption	19392	Total consumption	19454	Total consumption	19842	CCTV Branch	54
		Total consumption	9929	Total consumption of all subs	29313	Total consumption of all subs	96960	Total consumption of all subs	19454	Total consumption of all subs	19842	Total consumption	19490
		Total consumption of all subs	9929			Total consumption of all subs	96960					Total consumption of all subs	19490

Total consumption losses for all substations (W)	485.118
--	---------

PE skid loads		
Loads	Single skid	Twin skid
Inverter	9000	18000
MV Switchgear	138	276
DGPT2	55	110
Power supply	48	96
Lightning	16	32
Active heating	149	298
Fan	115	230
Total	9521	19042

4. DIAGRAMAS UNIFILARES

Ver archivos pdf y dwg adjuntos al informe:

- Taira SLD CHL-TOC-052-20 Rev.4_2024.09.16-As Built.pdf
- Taira SLD CHL-TOC-052-20 AS-BUILT_2024.09.16.dwg