



INFORME DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO PSFV WILLKA

Informe Técnico

Preparado para:



Enero – 2024

A 0950 | R 1040-23

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.....	7
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.....	19
6.2.2 Potencia Bruta.....	19
6.2.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	19
6.2.4 Potencia de pérdidas de la central.....	20
6.2.5 Resumen de resultados.....	20
6.3. Mínimo técnico a nivel planta.....	21
6.3.1 Potencia Neta.....	23
6.3.2 Potencia Bruta.....	23
6.3.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	23
6.3.4 Potencia de pérdidas de la central.....	23
6.3.5 Resumen de resultados.....	24
7. CONCLUSIONES.....	25
ANEXOS.....	26
1. MEMORIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO DE SSAA SE WILLKA.....	26

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque de dos arrollamientos.	13
Tabla 2. Datos técnicos de los transformadores de dos arrollamientos.	14
Tabla 3. Datos técnicos del transformador de potencia.	14
Tabla 4. Tabla resumen de valores a presentar.	15
Tabla 5. Mínimo técnico a nivel inversor – duración del ensayo.	18
Tabla 6. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel inversor.	21
Tabla 7. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.	21
Tabla 8. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.	24
Tabla 9. Parámetros de mínimo técnico a nivel inversor PSFV Willka.	25
Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel planta PSFV Willka.	25
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico.	6
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Willka.	8
Gráfico 3. Esquema unilineal de la SE Willka.	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 servicio auxiliares AC esenciales.	16
Gráfico 10. Mínimo técnico a para un inversor en servicio.	19
Gráfico 11. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico.	21
Gráfico 12. Mínimo técnico a nivel planta - potencia neta en el POI.	22
Gráfico 13. Mínimo técnico a nivel planta – potencia máxima generada por los inversores.	22

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	11/12/2023	FG	FM	FM	Emisión Original
2	31/01/2024	FG	FM	FM	Correcciones en función de los comentarios del CEN en el documento "cor-go-dco-mt-pfv_willka"

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Solar Fotovoltaico Willka, durante el día 09 de Noviembre de 2023, 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 eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

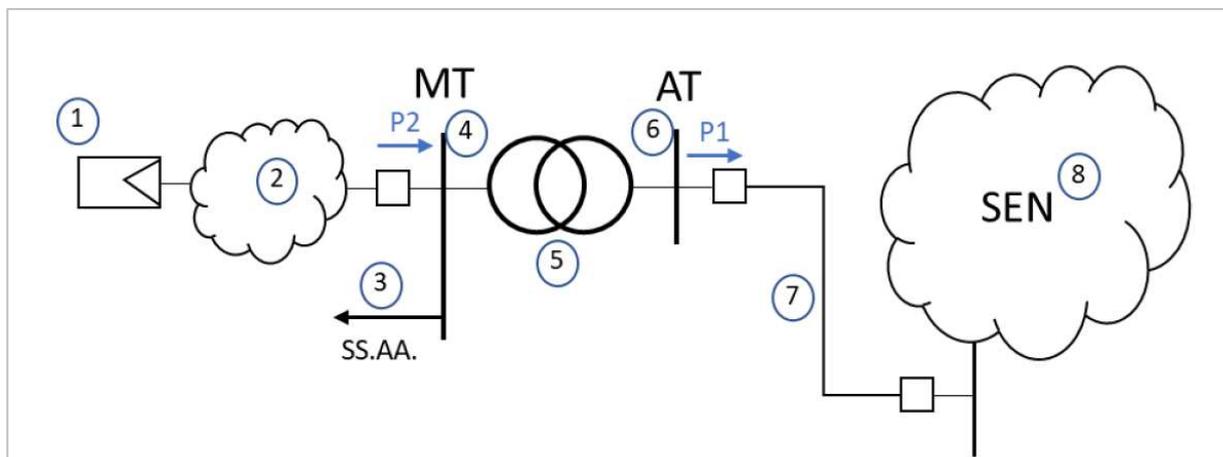


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque fotovoltaico.

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 Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras". 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 Willka, 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 Willka se encuentra emplazado en la región de Arica y Parinacota en la zona norte de Chile. Está formado por 26 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 109.2 MVA (26 * 4.2 MVA). La Potencia Neta comprometida en el punto de conexión es de 98 MW. En el Gráfico 7 se muestra la curva de capacidad PQ de los Inversores.

Los 26 inversores se distribuyen en 15 centros de transformación de los cuales 11 contienen 2 inversores cada uno y el resto está formado por un inversor. La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector desarrollado en 33 kV formado por 5 circuitos que colectan la potencia de los 15 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 centros de transformación formados por un inversor se conectan a la red de media tensión mediante transformadores de dos arrollamientos de 33/0.66 kV y una

potencia de 4.2 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 220/33 kV, 90/120 MVA (ONAN/ONAF), de la SE Willka.

El punto de conexión del PSFV es en la barra de 220 kV de la SE Willka. El PSFV se conecta al sistema eléctrico a través de una línea 220 kV de 18 km de longitud entre la SE Willka y la SE Parinacota.

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

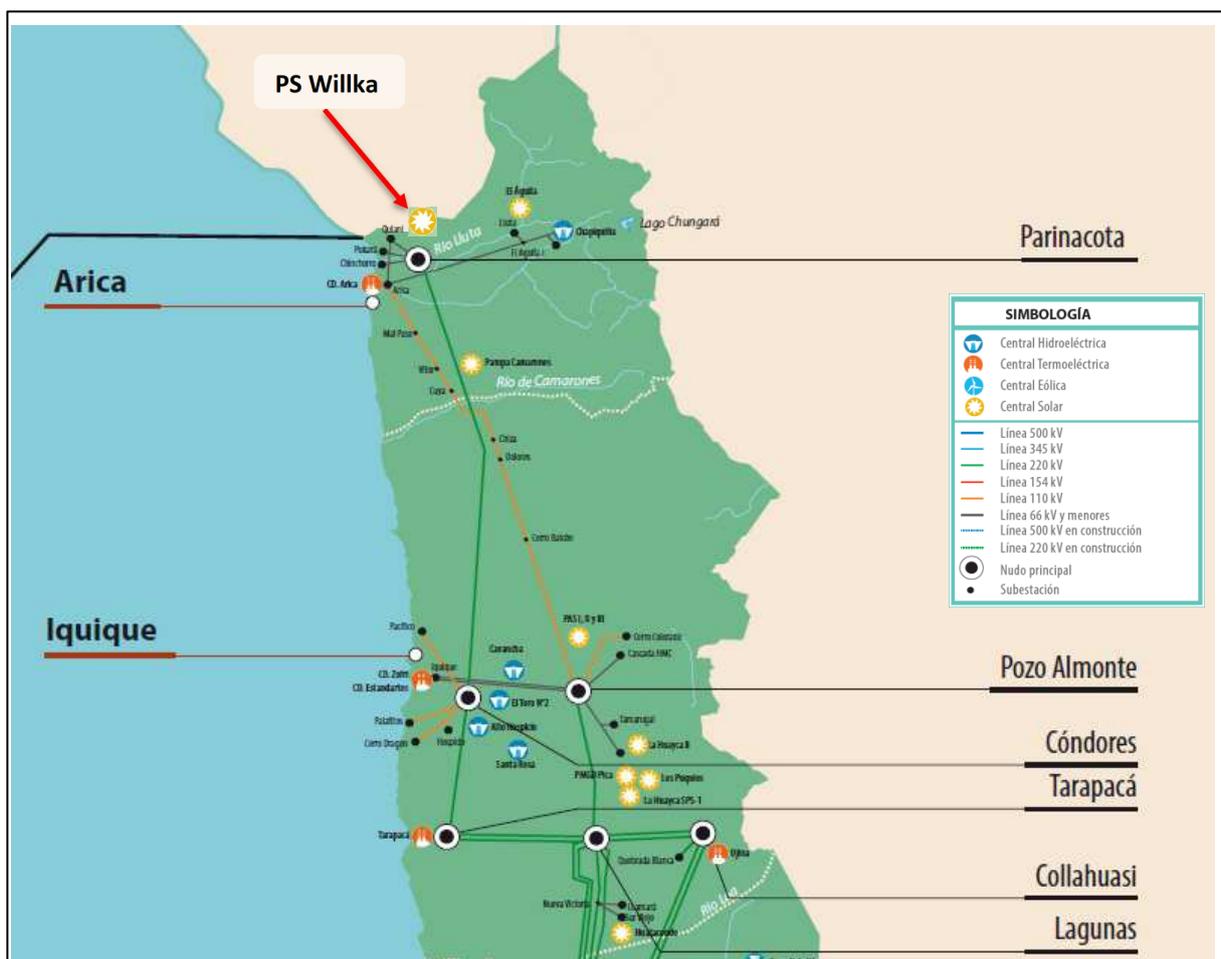


Gráfico 2. Ubicación geográfica del PSFV Willka.

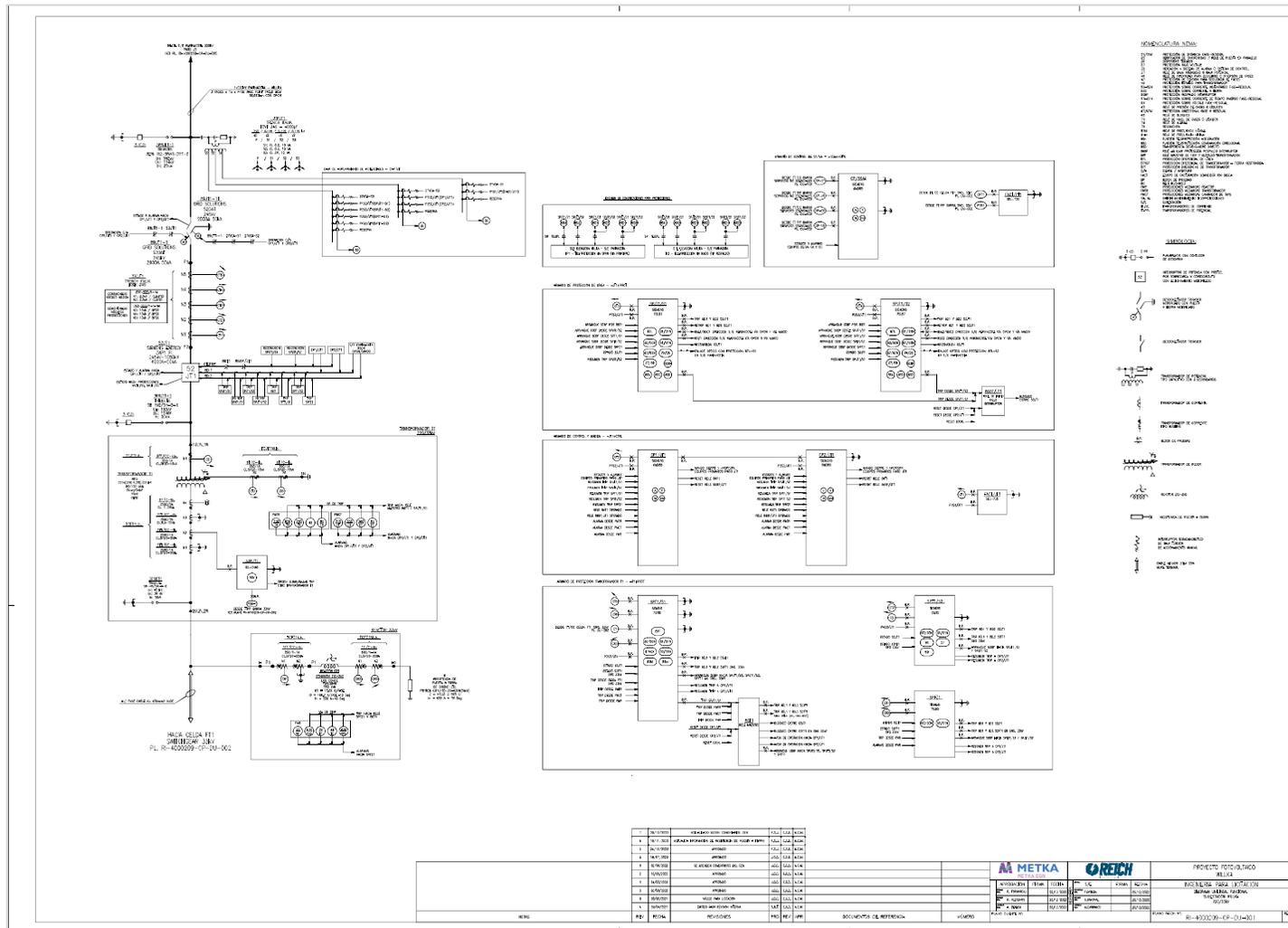


Gráfico 3. Esquema unilíneal de la SE Wilka.

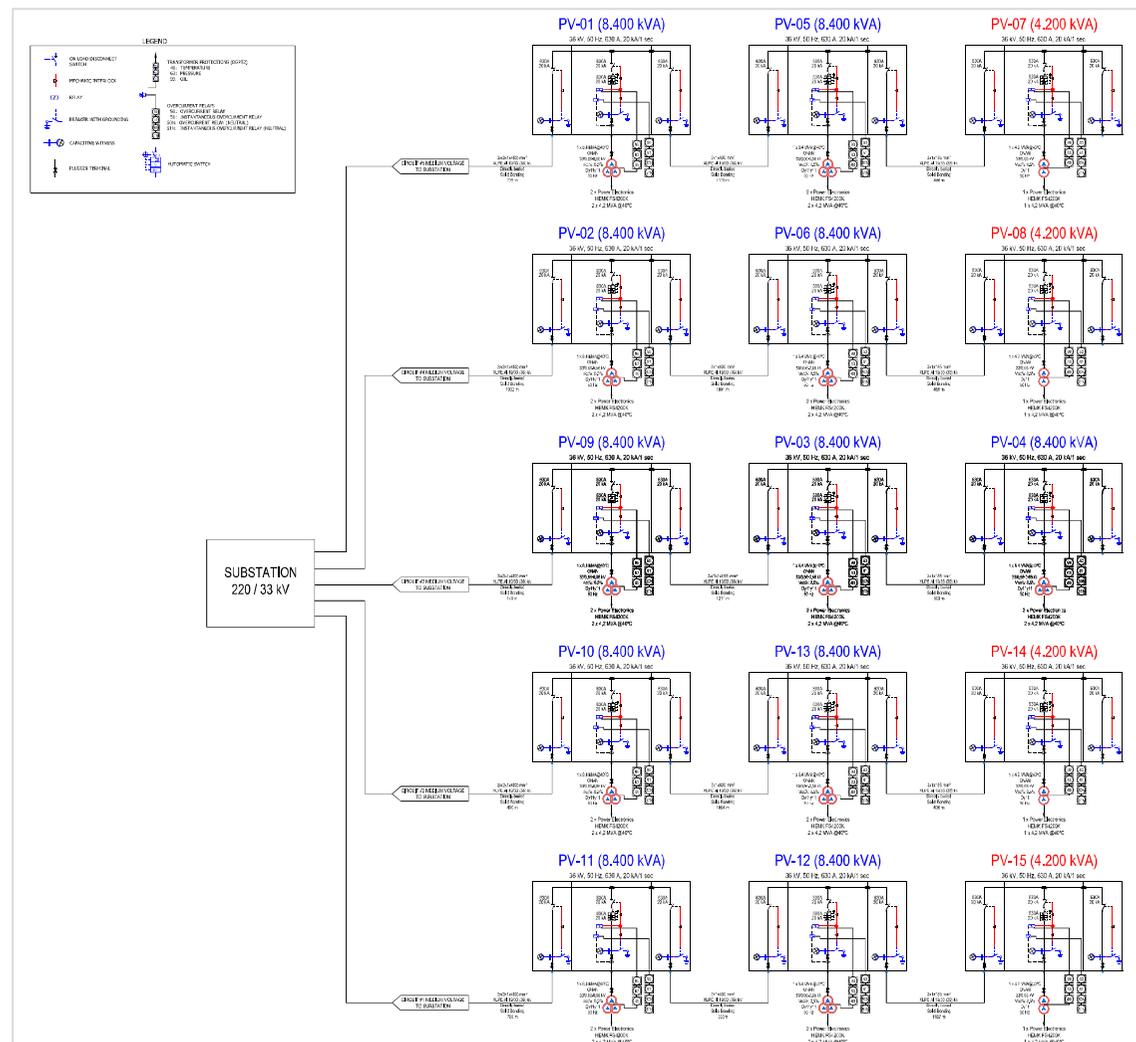


Gráfico 4. Esquema unilineal del sistema colector.

2.1. Datos de los paneles solares

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

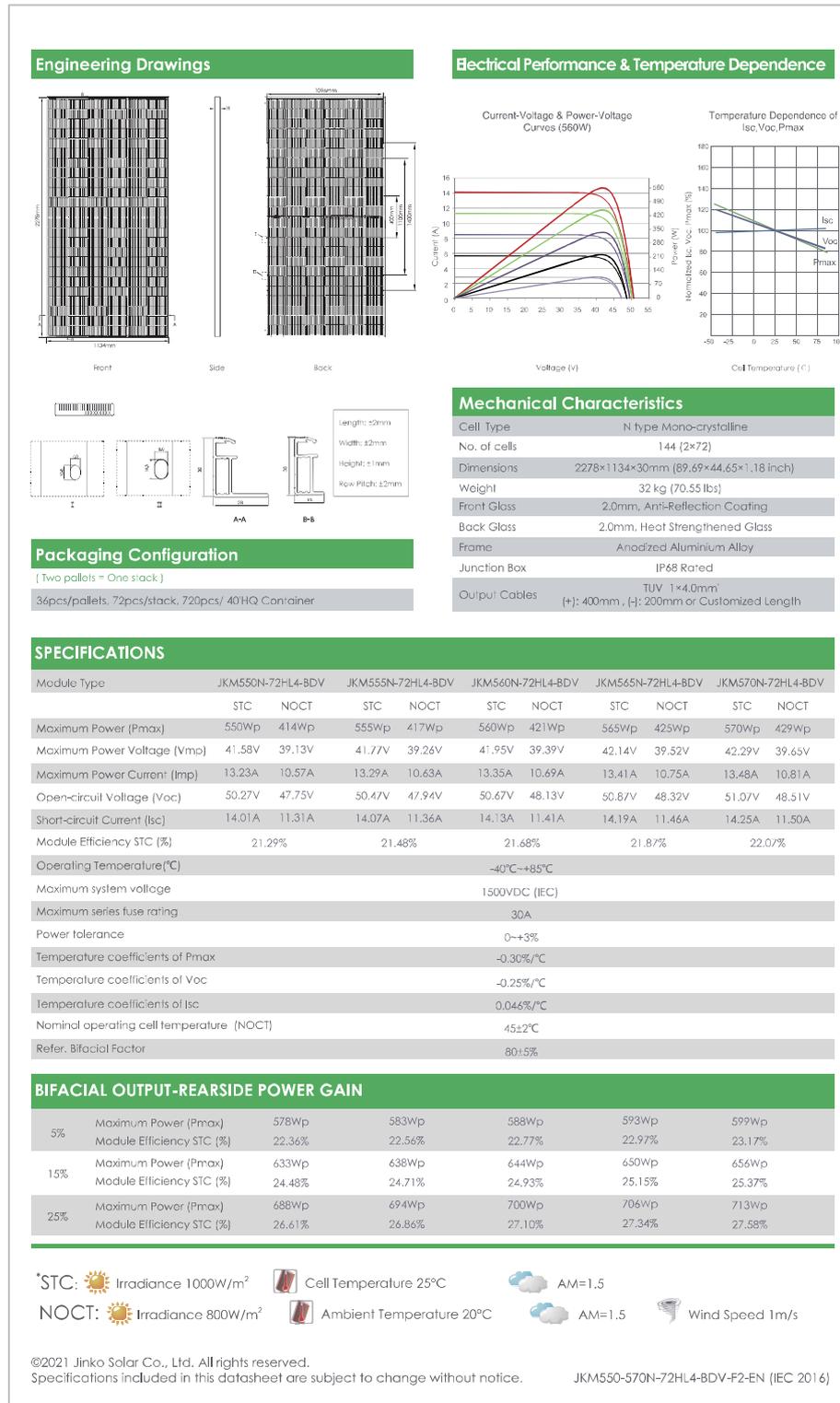


Gráfico 5. Características técnicas de los paneles solares.

2.2. Datos de los inversores

El parque solar fotovoltaico Willka cuenta con 26 inversores marca Power Electronics modelo HEMK GEN 3 660V – FS4200K, cuyas características técnicas se muestran en la siguiente figura:

	FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES	FS2101K	FS3151K	FS4200K	
OUTPUT	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2100	3150	4200
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1950	2925	3900
	Max. AC Output Current (A) @40°C	1837	2756	3674
	Operating Grid Voltage (VAC)	660V ±10%		
	Operating Grid Frequency (Hz)	50/60Hz		
	Current Harmonic Distortion (THDi)	< 3% per IEEE519		
Power Factor (cosine phi) ^[2]	0.5 leading ... 0.5 lagging adjustable / Reactive power injection at night			
INPUT	DC Voltage Range ^[3]	934V - 1500V		
	Maximum DC Voltage	1500V		
	Number of Inputs	Up to 20	Up to 30	Up to 40
	Max. DC Continuous Current (A) ^[4]	2295	3443	4590
	Max. DC Short Circuit Current (A) ^[4]	3470	5205	6940
	Number of MPPT (floating systems)	1	1	1, optionally 2 or 4
EFFICIENCY	Number of Freemaq DC/DC ^[4]	Up to 2 (Bus Plus Basic) or 4 (Bus Plus Advanced)		
	Efficiency (Max) (η)	98.81%	98.84%	98.90%
CABINET	Euroeta (η)	98.45%	98.48%	98.65%
	Dimensions [WxDxH] (ft)	9.8 x 6.6 x 7.2		
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.0 x 2.0 x 2.2		
	Weight (lbs)	11465	11795	12125
ENVIROMENT	Weight (kg)	5200	5350	5500
	Type of Ventilation	Forced air cooling		
	Degree of Protection	NEMA 3R / IP55		
	Permissible Ambient Temperature ^[5]	-25°C to +60°C, >50°C / Active Power derating		
	Relative Humidity	4% to 100% non-condensing		
CONTROL INTERFACE	Max. Altitude (above sea level)	2000m / >2000m power derating (Max. 4000m)		
	Communication Protocol	Modbus TCP		
PROTECTIONS	Power Plant Controller	Optional		
	Keyed ON/OFF Switch	Standard		
	Ground Fault Protection	GFDI and isolation monitoring device		
	Humidity Control	Active heating		
	General AC Protection & Disconn.	Circuit breaker		
	General DC Protection & Disconn.	Fuses, DC switch-disconnectors		
CERTIFICATIONS & STANDARDS	Overvoltage Protection	Type 2 protection for AC and DC (optionally, Type 1+2)		
	Safety	UL 1741 / CSA 22.2 No.107.1-16 / IEC 62109-1 / IEC 62109-2		
	Installation	NEC 2020 / IEC		
	Utility Interconnect	IEEE 1547:2018 / UL 1741 SB / IEC 62116:2014		

Gráfico 6. Características generales de los inversores.

El consumo máximo de potencia en operación es de $P_{SSAA\ INV} = 10\ kW$ según lo manifestado por el fabricante y se utilizará este valor en el cálculo de los servicios auxiliares del parque.

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

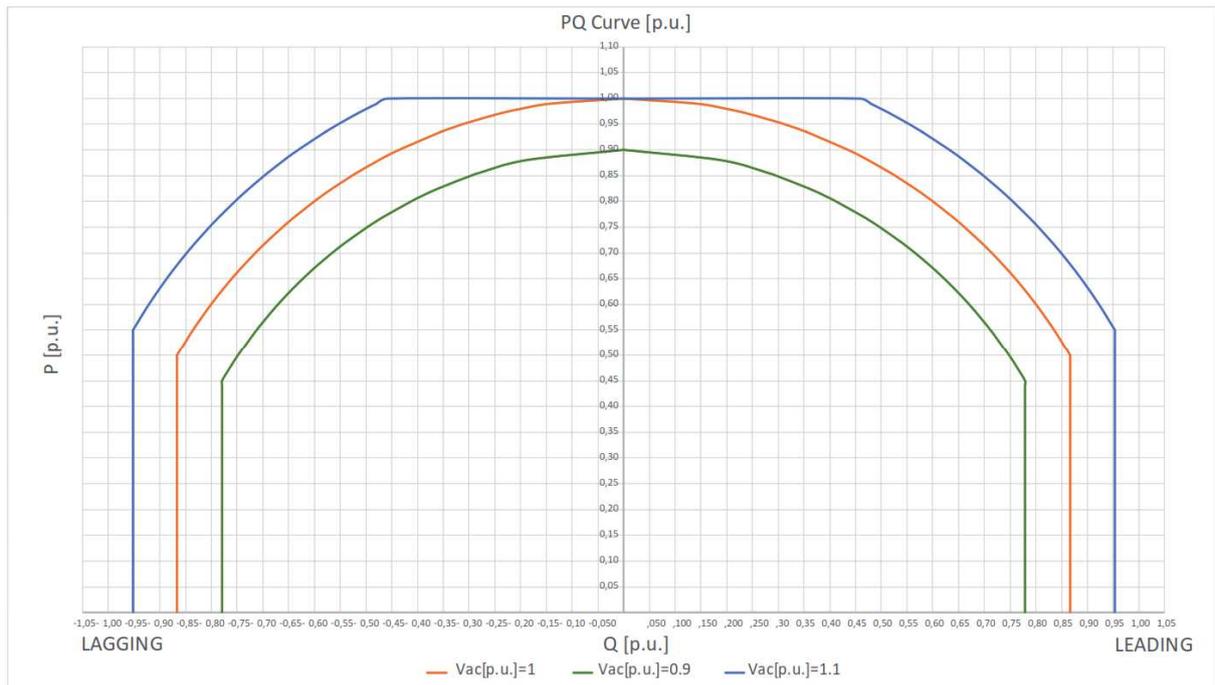


Gráfico 7. Curva de capacidad de los inversores.

2.3. Datos de los transformadores de bloque

La instalación cuenta con 11 transformadores elevadores de tres arrollamientos y 4 de dos 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 de dos 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	D0y11y11
Impedancia de corto circuito (HV-MV)	3.89%
Impedancia de corto circuito (MV-LV)	7.25%
Impedancia de corto circuito (LV-HV)	3.89 %
Perdidas en carga (HV-MV)	27 kW
Perdidas en carga (MV-LV)	34.5 kW
Perdidas en carga (LV-HV)	27 kW
Pérdidas de vacío	7.2 kW
Posiciones de Tap	±2x2.5%

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

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	4.2 MVA
Refrigeración	ONAN
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.66 kV
Tipo de conexión	Dy11
Impedancia de corto circuito	8.5 %
Perdidas en carga	33.5 kW
Pérdidas de vacío	3.55 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 3. Datos técnicos del transformador de potencia.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	120 MVA
Refrigeración	ONAFF
Frecuencia Nominal	50 Hz
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Tipo de conexión	Ynd1
Impedancia de corto circuito	12.51%
Perdidas en carga	287.82 kW
Pérdidas de vacío	54.75 kW
Posiciones de Tap	±11x1.5%

2.5. Datos del sistema colector

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

Círculo	Tramo	Long [km]	Cantidad y Secc [mm ²]	Círculo	Tramo	Long [km]	Cantidad y Secc [mm ²]
1	SE-PV11	0.78	2x400	4	SE-PV02	1.032	2x400
	PV11-PV12	0.335	1x400		PV02-PV06	1.091	1x400
	PV12-PV15	1.187	1x185		PV06-PV08	0.469	1x185
2	SE-PV10	0.49	2x400	5	SE-PV01	0.735	2x400
	PV10-PV13	1.084	1x400		PV01-PV05	1.170	1x400
	PV13-PV14	0.436	1x185		PV05-PV07	0.486	1x185
3	SE-PV09	0.149	2x400				
	PV09-PV03	1.211	2x185				
	PV03-PV04	0.303	1x185				

Gráfico 8. Listado de circuitos colectores y su conformación.

3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El PSFV Willka 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.

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

Tabla 4. Tabla resumen de valores a presentar.

Parque	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PSFV Willka	(1)	(2)	(3)	(4)

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

(2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (Inversores + SE Willka 220 kV).

(3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Willka 220 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 Willka es la barra de AT de la SE Willka 220 kV.

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

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 segundo.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

6.1. Determinación del consumo de servicios auxiliares

En el documento "RI-4000209-CP-MC-001_R0 - MC Dimensionamiento SSAA SE Willka 220-33kV" se detalla el dimensionamiento de las cargas de corriente alterna (AC) y corriente continua (DC) de los servicios auxiliares de la planta. Un resumen de esto puede verse en los gráficos siguientes:

SS/AA Esenciales (380/220VCA)												
ITEM	Cant	Fases	Pot. Unit. [W]	Pot. Total [W]	Factor de Demanda	Pot. Fase R [kW]	Pot. Fase S [kW]	Pot. Fase T [kW]	Factor de Potencia	Pot. Fase R [kVA]	Pot. Fase S [kVA]	Pot. Fase T [kVA]
Sala Servicios Generales												
Cargador de batería N°1 110Vcc	1	3	6250	6250	0,5	1,04	1,04	1,04	0,9	1,16	1,16	1,16
Cargador de batería N°2 110Vcc	1	3	6250	6250	0,5	1,04	1,04	1,04	0,9	1,16	1,16	1,16
Motor CTBC Transformador	1	3	2200	2200	1	0,73	0,73	0,73	0,9	0,81	0,81	0,81
Motor Desconector	1	3	370	370	1	0,12	0,12	0,12	0,9	0,14	0,14	0,14
Tablero de sist. Detección y alarma de incendios	1	1	500	500	1	0,50			0,9	0,56		
Armario Scada PV	1	1	3000	3000	1		3,00		0,9		3,33	
Armario CCTV PV	1	1	6000	6000	1			6,00	0,9			6,67
Armario Telecomunicaciones	1	1	3000	3000	1	3,00			0,9	3,33		
UPS for MV Switchgear panel (CB Motors)	1	3	10000	10000	0,8	2,67	2,67	2,67	0,9	2,96	2,96	2,96
Sistema de videovigilancia	1	1	2000	2000	1		2,00		0,9		2,22	
Alimentación TDA y F Patio Barra Esencial	1	3	1950	1950	0,85	0,55	0,55	0,55	0,9	0,61	0,61	0,61
Alimentación TDAyF Sala Barra Esencial	1	3	285	285	0,85	0,08	0,08	0,08	0,9	0,09	0,09	0,09
Subtotal Casa de SSGG - 220kV	12		41805	41805		9,74	11,24	12,24		10,82	12,49	13,60
Subtotal [kW - kVA]						9,74	11,24	12,24		10,82	12,49	13,60
Factor crecimiento (15%)						1,46	1,69	1,84		1,62	1,87	2,04
Total Servicios Esenciales [kW - kVA]						11,20	12,93	14,08		12,45	14,36	15,64

Gráfico 9. Consumo de servicio auxiliares AC esenciales.

De lo anterior se tiene una carga trifásica total para los servicios SSAA de AC esenciales de **38,21 kW**.

Cargas permanentes (125Vcc)			
Descripción de las Cargas	Cantidad	Consumo (W)	Total W
Armario Protección Transformador (=T1+PROT)			
Protección de Transformador 87T 7UT8	1	25	25
Protección sobreintensidad 50/50N 7SJ8	2	25	50
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	8	6	48
Relés Auxiliares (BJ-8R Biestable)	2	35,5	71
Subtotal			194
Armario Protección Línea (=JT1+PROT)			
Protección de Línea 87L 7SL8	2	25	50
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	15	6	90
Relés Auxiliares (BJ-8R Biestable)	3	35,5	106,5
Relés Auxiliares (VDJ-30 Supervisión Bobina)	2	3,63	7,26
Subtotal			253,76
Armario Control y Medida (=JT1+CTRL)			
Controlador de paño 6MD8	2	25	50
Facturador Línea SEL-735A	1	25	25
Switch de comunicaciones IS5-IRBX6GF	1	35	35
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	5	6	30
Subtotal			140
Armario Control de Servicios Auxiliares (=SSAA+CTRL)			
Controlador de SSAA 6MD8	1	30	30
Medidor de SSAA SEL-735A	2	10	20
Subtotal			50
Armario Comunicaciones y Scada (=RTU+HMI)			
RTU SICAM Gateway A8050	1	45	45
Router IS5-IMX950	1	35	35
GPS HEPTA 8030	1	40	40
HMI SICAM SCC	1	150	150
Switch de comunicaciones IS5-IES28GF	2	35	70
Servidor SLRP	1	35	35
Subtotal			375
Switchgear 33kV			
Protección de celda 7SJ8	7	25	175
Switch de comunicaciones IS5-IRBX6GF	1	35	35
Subtotal			210
Transformador de poder			
Regulador de tensión SEL-2440	1	30	30
Control Ventiladores	1	250	250
Control CTBC	1	200	200
Subtotal			480

Armario Teleprotecciones OPGW-OPLAT Hacia SE Parinacota			
Convertor 125/48Vcc	1	500	500
Subtotal			500

De lo anterior se tiene un consumo de SSAA de DC permanente de:

$$\begin{aligned}
 \text{TOTAL CONSUMOS PERMANENTES DC} \\
 &= 194 \text{ W} + 253,76 \text{ W} + 140 \text{ W} + 50 \text{ W} + 375 \text{ W} + 210 \text{ W} + 480 \text{ W} + 500 \text{ W} \\
 &= 2.202,76 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Para las pruebas de parámetros de partida y detención a nivel planta se ha considerado los servicios esenciales de corriente alterna y las cargas permanentes de corriente continua por lo que el consumo de servicios auxiliares de la subestación queda determinado como:

$$P_{SSAA SE} = 38,21 \text{ kW} + 2,20276 \text{ kW} = 40,41276 \text{ kW}$$

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	09/11/2023
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	14:23:00
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	14:39:00

Para una consigna de 0 MW en el punto de conexión el inversor INV 02 quedó alimentando las pérdidas de la central. En el siguiente grafico se muestra el resultado de la prueba:

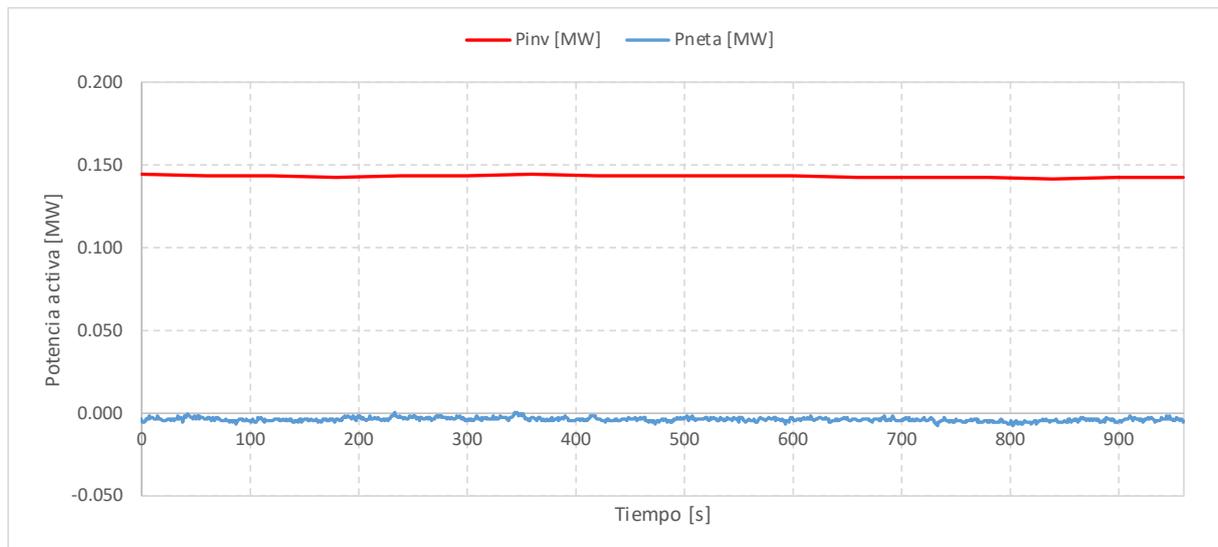


Gráfico 10. Mínimo técnico a para un inversor en servicio.

6.2.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 10 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 0 \text{ kW}$$

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 143 kW (mostrado en el Gráfico 10). Este valor está medido en bornes de BT del INV 02, por lo que ya está descontado el consumo de SSAA del inversor. De lo anterior la potencia bruta estará dada por la siguiente expresión:

$$P_{bruta} = P_{inv} + N^{\circ} \text{ INV } op \times P_{SSAA \text{ INV}}$$

$$P_{bruta} = 143 \text{ kW} + 1 \times 10 \text{ kW} = 153 \text{ kW}$$

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:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA \text{ SE}} + N^{\circ} \text{ INV } op \times P_{SSAA \text{ INV}}$$

$$P_{SSAA} = 40,41276 \text{ kW} + 1 \times 10 \text{ kW} = 50,41276 \text{ kW}$$

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:

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

$$P_{perd\ central} = 153\ kW - 0\ kW - 50,41276\ kW$$

$$P_{perd\ central} = 102,58724\ kW$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (P_{trafo}).
- Pérdidas en la red colectora de MT ($P_{colector}$).

En la Tabla 3 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:

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

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%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{trafo} = 0\ kW + 54.75\ kW = 54.75\ kW$$

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

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

$$P_{colector} = 102,58724 - 54.75\ kW$$

$$P_{colector} = 47,83724\ kW$$

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) [kW]	SS.AA. [kW]	Pcolector [kW]	Ptrafo [kW]	Potencia Neta (P1) [kW]
PSFV Willka	153,000	50,41276	47,83724	54.7500	0.0000

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	09/11/2023
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	12:59:59
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	13:48:19

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

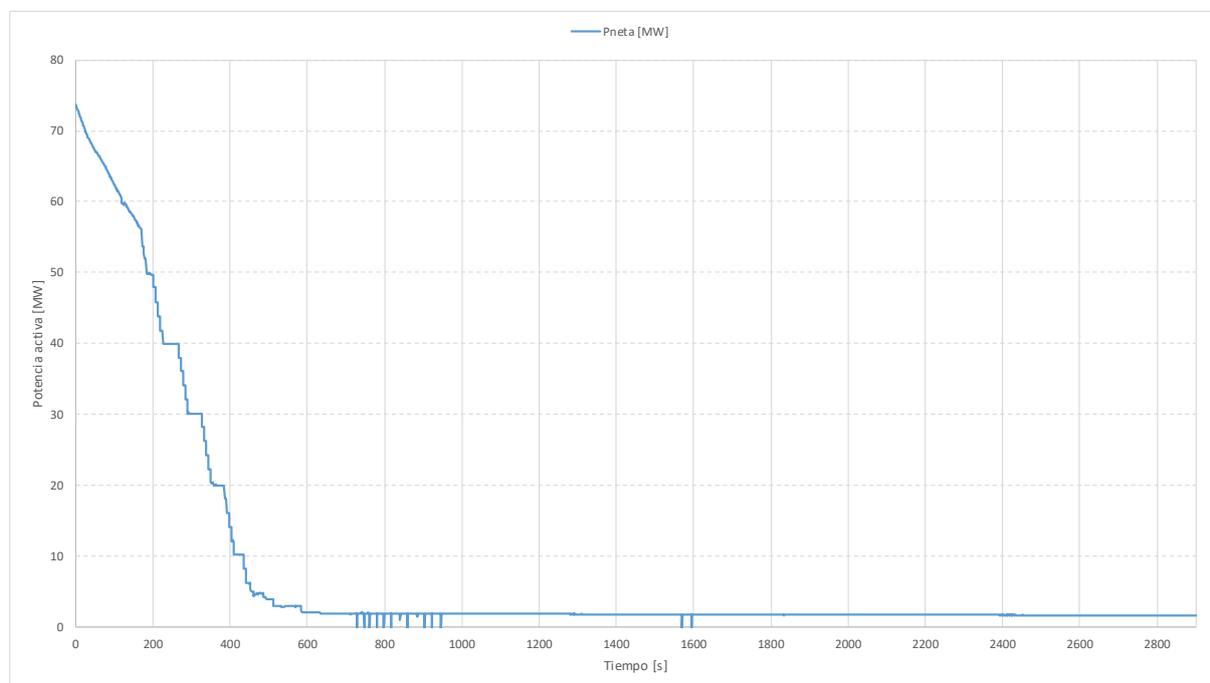


Gráfico 11. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico.

De lo anterior el mínimo valor de consigna para el cual todos los inversores se mantienen

inyectando potencia es de 1,701 MW. Se registró la potencia neta y la potencia bruta en esta condición:

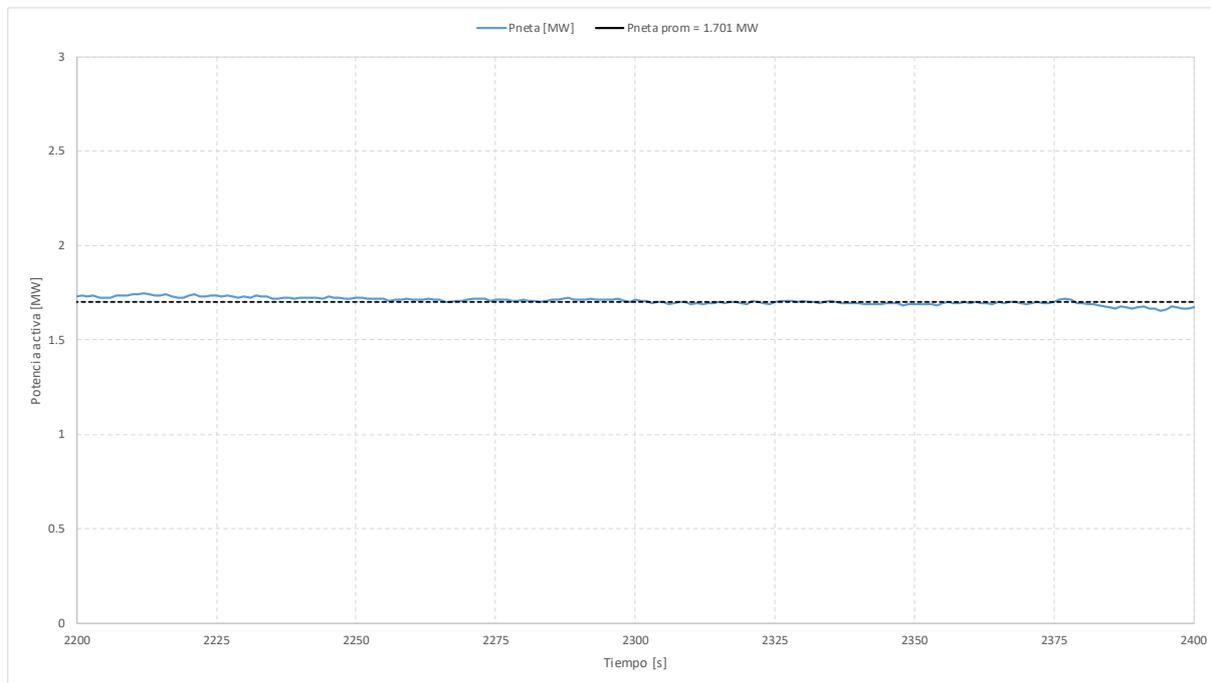


Gráfico 12. Mínimo técnico a nivel planta - potencia neta en el POI.

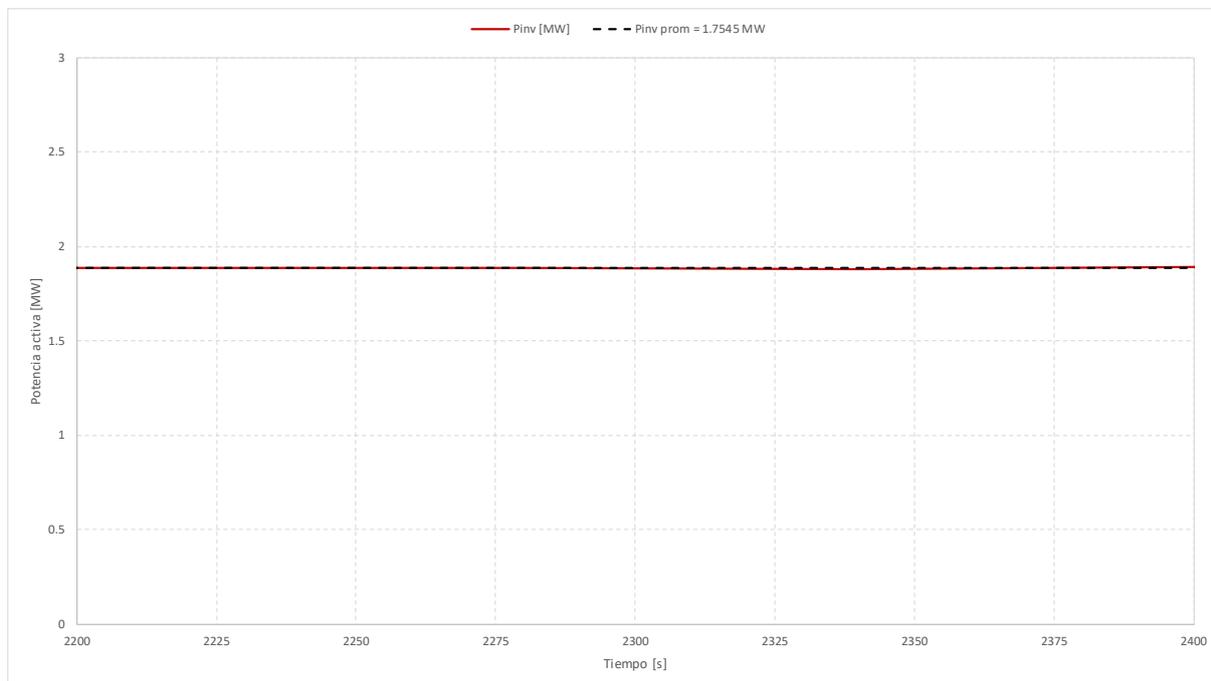


Gráfico 13. Mínimo técnico a nivel planta – potencia máxima generada por los inversores.

6.3.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 12 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 1,701 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 1,701 \text{ MW}$$

6.3.2 Potencia Bruta

La potencia bruta se determina a partir de la potencia promedio del Gráfico 13 sumando las pérdidas de los inversores operativos a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{bruta} = P_{inv} + N^{\circ} \text{ INV } op \times P_{SSAA \text{ INV}}$$

$$P_{bruta} = 1,8871 \text{ MW} + 26 \times 0,01 \text{ MW} = 2,1471 \text{ MW}$$

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:

$$P_{SSAA} = P_{SSAA \text{ SE}} + N^{\circ} \text{ INV } op \times P_{SSAA \text{ INV}}$$

$$P_{SSAA} = 40,41276 \text{ kW} + 26 \times 10 \text{ kW} = 0,3004 \text{ MW}$$

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:

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

$$P_{perd \text{ central}} = 2,1471 \text{ kW} - 1,701 \text{ MW} - 0.3004 \text{ MW}$$

$$P_{perd \text{ central}} = 0,1457 \text{ MW}$$

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 3 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.

$$P_{trafo} = 0 \text{ kW} + 54,7 \text{ kW} = 54,7 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{colector} = 0,1459 \text{ MW} - 0,0547 \text{ MW}$$

$$P_{colector} = 0,0912 \text{ MW}$$

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 Willka	2,1471	0,3004	0,0912	0,0547	1,7010

7. CONCLUSIONES

- Dada una potencia mínima neta de **0 MW** en el punto de conexión del PSFV Willka (barra de 220 kV de la SE Willka) se determinó que mediante una generación bruta de **153 kW** (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 **1,701 MW** (Pneta), se determinó una generación bruta de **2,1471 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 Willka.

Parque	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PSFV Willka INV 02	153,0000	50,41276	102,58724	0,0000

Tabla 10. Parámetros de mínimo técnico a nivel planta PSFV Willka.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PSFV Willka	2,1471	0,3004	0,1459	1,7010

ANEXOS

1. MEMORIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO DE SSAA SE WILLKA

 <p>INVERSIONES FOTOVOLTAICAS SPA</p> <p>S/E WILLKA 220/33 KV</p> <p>MEMORIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIOS AUXILIARES</p>			
 <small>FIDEL OTEIZA 1953 Of 102, PROVIDENCIA, FONO 22235322</small>	NÚMERO DEL DOCUMENTO	REV.	Págs.
	RI-4000209-CP-MC-001	0	21

CONTROL DE EMISIONES

MEMORIA DE CÁLCULO DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIOS AUXILIARES

RI-4000209-CP-MC-001

REV	POR	FECHA	APROB RIL.	APROB CLTE.	OBSERVACIONES
0	J.G.G.	05/07/2022	M.C.M.		APROBADO
D	J.G.G.	08/06/2022	M.C.M.		PARA REVISIÓN DEL CLIENTE
C	J.G.G.	11/08/2021	M.C.M.		PARA REVISIÓN DEL CLIENTE
B	J.G.G.	28/05/2021	M.C.M.		VÁLIDO PARA LICITACIÓN
A	S.B.T.	29/04/2021	C.G.D.		PARA REVISIÓN INTERNA

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO	5
3. NORMAS Y REGLAMENTOS	5
3.1. Normativa Nacionales	5
3.2. Estándares Internacionales	6
3.3. Recomendaciones de fabricante	6
4. ANTECEDENTES	7
5. CONDICIONES DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN	7
5.1. Condiciones ambientales	7
5.2. Condiciones del sistema eléctrico	7
5.3. Servicios Auxiliares	8
6. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO	8
7. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE CONTINUA	9
7.1. Clasificación de los Consumos	9
7.1.1. <i>Consumos de tiempo permanente</i>	9
7.1.2. <i>Consumos de tiempo limitado</i>	10
7.1.3. <i>Consumos de tiempo momentáneo</i>	10
7.2. Estimación de Carga de los Bancos de Baterías	10
7.3. Estimación de Carga de los Cargadores de Baterías	10
8. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE ALTERNA	11
9. RESUMEN Y CONCLUSIONES	12
10. ANEXOS	13
10.1. Anexo 1	13
10.2. Anexo 2	17
10.3. Anexo 3	18
10.4. Anexo 4	20

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Condiciones ambientales.....	7
Tabla 2 - Parámetros Eléctricos 220 kV	7
Tabla 3 - Parámetros Eléctricos 33 kV	8
Tabla 4 - Parámetros Eléctricos SS/AA.....	8
Tabla 5 – Factor de corrección por temperatura	11
Tabla 6 – Factor de corrección por altitud	11
Tabla 7 – Valores variables para 125Vcc.....	11
Tabla 8 – Resumen cálculos de cargas requeridas en 125 Vcc.....	12
Tabla 9 – Resumen cálculos de cargas requeridas en CA.....	12
Tabla 10 – Resumen cálculos de carga total requerida en CA	12

1. INTRODUCCIÓN

La Sociedad Inversiones Fotovoltaicas SpA, ha encargado a Reich Ingeniería SpA, desarrollar la Ingeniería Básica y de Detalles para la subestación elevadora Willka 33/220 kV, además del paño de interconexión 220 kV en la subestación existente Parinacota 220 kV, y el paño de 220 kV de la S/E Elevadora Willka.

El parque Solar Fotovoltaico Willka se proyecta como una planta de generación de energía eléctrica, con tecnología solar fotovoltaica sobre estructuras con seguimiento horizontal y una potencia de 98 MW nominales y 109 MWp de potencia peak, en un terreno con una superficie aproximada de 160 hectáreas concesionado por el Ministerio de Bienes Nacionales, y de una Línea de Transmisión 1x220 kV en simple circuito con una longitud de 18 km aproximadamente entre la futura S/E elevadora Willka y la S/E Parinacota.

El proyecto se ubica en el sector denominado Pampa Dos Cruces, en la comuna de Arica, en la Región de Arica y Parinacota.

La línea de transmisión de energía eléctrica permitirá la inyección al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) la energía generada por el Parque Fotovoltaico Willka, con el fin de satisfacer la creciente demanda de energía en los principales centros de consumo de la región y del país, a la vez de preservar la seguridad y confiabilidad del suministro eléctrico en la región de Arica y Parinacota, junto al aporte a la matriz energética de nuestro país con Energía Renovable no Convencional.

2. OBJETIVO

El presente documento tiene por objetivo estimar la potencia necesaria para abastecer los servicios auxiliares en baja tensión de CA y CC de la Subestación Elevadora Willka 33/220 kV y del Edificio de Control Parque – OyM.

3. NORMAS Y REGLAMENTOS

Los cálculos fueron realizados según la edición más reciente de los códigos y/o normas aplicables siguientes:

3.1. Normativa Nacionales

Pliego Técnico Normativo

RPTD N°01	:	Tensiones y frecuencias nominales.
RPTD N°02	:	Clasificación de instalaciones.
RPTD N°03	:	Proyectos y estudios.
RPTD N°04	:	Conductores.
RPTD N°013	:	Líneas eléctricas de media y baja tensión.

Normas

- NSEC : Normas de Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).
NCH : Normas del Instituto Nacional de Normalización (INN).
CNE : Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio

3.2. Estándares Internacionales

- ISO : International Organization for Standardization.
IEC : Institute of Electrical and Electronical Engineers.
IEC 60529 : Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
IEEE : Institute of Electrical and Electronical Engineers.
IEEE 485:2010 : Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stationary Applications.
ANSI : American National Standards Institute.
NEMA : National Electrical Manufacturers Association.
ASTM : American Society for Testing and Materials.
AISC : American Institute for Steel Construction.
AWS : American Welding Society.
NFPA : National Fire Protection Association.
OSHA : Occupational Safety and Health Administration.

3.3. Recomendaciones de fabricante

- Guía EuroBat : Especificaciones de elementos y baterías estacionarias de plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA)

Cualquier conflicto entre las normas y/o recomendaciones de las instituciones antes mencionadas y documentos de la oferta será comunicado al cliente para su aclaración antes de proceder a la fabricación de los componentes afectados.

4. ANTECEDENTES

Los antecedentes utilizados para la preparación del presente documento corresponden a los siguientes planos:

- RI-4000209-CP-DU-001, Diagrama Unilineal Funcional S/E Willka 220/33kV.
- RI-4000209-CP-DU-002, Diagrama Unilineal Funcional S/E Willka 33kV.
- RI-4000209-CP-DU-003, Diagrama Unilineal Servicios auxiliares C.A.
- RI-4000209-CP-DU-004, Diagrama Unilineal Servicios auxiliares C.C.
- RI-4000209-EL-PD-008, Alumbrado patio, diagrama unilineal y cuadro de cargas.
- RI-4000209-EL-PD-010, Alumbrado sala eléctrica, diagrama unilineal y cuadro de cargas.

5. CONDICIONES DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

5.1. Condiciones ambientales

Para efectos de diseño, la instalación operará bajo las siguientes condiciones de sitio:

Tabla 1 – Condiciones ambientales

Condición	Valor	Unidad
Altura sobre el nivel del mar	960	m.s.n.m.
Temperatura mínima	10	°C
Temperatura media	15	°C
Temperatura máxima	30	°C
Nivel de contaminación por IEC 60815	Nivel "e", 53,7	mm/kV
Presión del viento	40	Kg/m2

5.2. Condiciones del sistema eléctrico

Las condiciones del sistema eléctrico son las siguientes:

Tabla 2 - Parámetros Eléctricos 220 kV

Parámetros	Valor	Unidad
Tensión nominal de servicio	220	kV
Tensión máxima de servicio	245	kV
Frecuencia	50	Hz
Numero de Fases	3	-
Nivel Básico de impulso de la aislación (BIL)	1050	kVcr

Tabla 3 - Parámetros Eléctricos 33 kV

Parámetros	Valor	Unidad
Tensión nominal de servicio	33	kV
Tensión máxima de servicio	36	kV
Frecuencia	50	Hz
Numero de Fases	3	-
Nivel Básico de impulso de la aislación (BIL)	170	kVcr

5.3. Servicios Auxiliares

Los Voltajes de Servicios Auxiliares y de control para las instalaciones de S/E Willka serán:

Tabla 4 - Parámetros Eléctricos SS/AA

Parámetros	Valor		Unidad
	Trifásicos	Monofásicos	
Servicios Auxiliares de CA			
Tensión nominal	400	230	Vca
Fluctuación máxima de la tensión	± 5	± 5	+/-%
Frecuencia	50	50	Hz
Fases y conductores	3/4	1/3	n/n
Sistema de puesta a tierra	Sólido / efectivo	Sólido / efectivo	
Servicios Auxiliares de CC			
Tensión nominal		125	Vcc
Fluctuación máxima de la tensión		+10 -15	+/-%
Sistema de puesta a tierra		aislado	

6. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Para la elaboración de este documento se han tomado como base los siguientes criterios:

- En la Subestación Elevadora Willka 33/220 kV se proyectarán servicios auxiliares CA, mediante un (1) transformadores de SSAA, alimentado desde celdas de MT. La potencia de cada transformador será estimada en este documento. Además, como modo de respaldo, se instalará un (1) grupo electrógeno trifásico, de potencia a ser estimada en este documento.
- Para los servicios auxiliares CC en 220 kV, se instalarán dos (2) bancos de baterías de 125 Vcc de autonomía de 8 horas, de plomo-ácido con electrolito inmovilizado reguladas por válvula (VRLA) de larga duración según Guía EuroBat, con sus respectivos

cargadores de baterías de 125 Vcc, los que se ubicarán en la sala de control proyectada. La capacidad de los cargadores de baterías, así como la capacidad de los bancos de baterías serán estimadas en el presente documento.

- Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, para el patio de 220 kV se instalará en la casa de SSGG un (1) tablero general de distribución de corriente alterna (TGDCA), el cual alimentará las cargas de alumbrado, calefacción y otros consumos propios de la casa de SSGG. También alimentará las cargas de alumbrado, calefacción y otros consumos requeridos para las alimentaciones de los circuitos del Switchgear de 33kV. Además, el TGDCA alimentará las cargas de corriente alterna asociadas al Edificio de Control Parque – OyM.
- Se instalará en la casa de SSGG un (1) tablero general de distribución de corriente continua (TGDCC) 125 Vcc, el cual alimentará los armarios de control, protección, teleprotección y SCADA instalados en la casa de SSGG, además alimentará los motores de interruptores y desconectores de la S/E Elevadora Willka 33/220kV y del Switchgear de 33kV. Además, el TGDCC alimentará las cargas de corriente alterna asociadas al Edificio de Control Parque – OyM.

7. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE CONTINUA.

7.1. Clasificación de los Consumos

La clasificación de los consumos para la determinación de la carga requerida para 125 Vcc se realizará de acuerdo con los puntos siguientes:

7.1.1. Consumos de tiempo permanente

Son aquellos consumos que requieren corrientes del banco de baterías durante todo su ciclo obligado de descarga. La determinación de estos consumos, por lo general, lo determinan los siguientes equipos:

- Relés de protección.
- Controladores de paño.
- Relés auxiliares.
- RTU.
- Computadores.
- Monitores.
- Comunicación.
- Alarmas.
- Equipos de telecomunicaciones, etc.

7.1.2. Consumos de tiempo limitado

Son aquellos consumos que requieren corrientes del banco por tiempo mayores que un minuto, pero menores que el ciclo obligado de descarga del banco de baterías. Para el presente proyecto, se contempla la operación de los motores de los interruptores y desconectores de 220 kV.

7.1.3. Consumos de tiempo momentáneo

Son los consumos impuestos al banco de batería de 125 Vcc por tiempos menores que un minuto, pero para efectos de cálculo se evalúan como si duraran un minuto. La determinación de estos consumos, por lo general, lo determinan los siguientes equipos:

- Cierre de un interruptor, por operación local.
- Apertura de un interruptor, por operación local.
- Apertura de dos interruptores de switchgear MT e interruptor paño JT1 por operación de protecciones.

7.2. Estimación de Carga de los Bancos de Baterías

Luego de clasificados y distribuidos los consumos, la estimación de las cargas de los bancos de baterías se determina según lo indicado en la recomendación IEEE 485:2010. En el Anexo 1 se encuentra el desarrollo del cálculo realizado para estimar la carga requerida al banco de baterías de 125 Vcc.

7.3. Estimación de Carga de los Cargadores de Baterías

La estimación de la carga requerida a cargadores de baterías de 125 Vcc se determinan según la siguiente ecuación:

$$A = \left(\frac{Ah * 1,2}{T} + 1.15 * L \right) * \frac{1}{k_1} * \frac{1}{k_2}$$

Dónde:

- A** : Capacidad del cargador en Amperes de salida. No puede ser en ningún caso menor al 20% de la "corriente normal de descarga" del banco.
- 1,2** : Factor de conversión de carga para acumuladores ácidos.
- Ah** : Capacidad nominal del banco para un régimen de descarga de 8 horas.
- T** : Tiempo de duración máxima de la recarga expresado en horas, se recomienda 10 horas.
- 1.15** : Factor que prevé futuros incrementos de la carga continúa.
- L** : Carga continua en amperes impuesta sobre el cargador y el banco durante la recarga.
- k1** : Factor de disminución por temperatura.
- k2** : Factor de disminución por altitud.

Tabla 5 – Factor de corrección por temperatura

TEMPERATURA	FACTOR k1
40°C	1.00
50°C	0.83
60°C	0.64

Tabla 6 – Factor de corrección por altitud

ALTITUD	FACTOR k2
1000 m	1.00
1500 m	0.94
3000 m	0.83

Tabla 7 – Valores variables para 125Vcc

VARIABLE	VALOR
Ah	250
T	10
L	16,50
k1	1
K2	1

Los resultados de los cálculos realizados se reflejan en el Anexo 2.

8. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CORRIENTE ALTERNA.

Los consumos de corriente alterna están divididos en dos grupos: Servicios Esenciales y Servicios No Esenciales, donde los consumos de Servicios Esenciales están respaldados por un grupo electrógeno proyectado para la subestación.

La determinación de los consumos se encuentra reflejada en el Anexo 3 del presente documento.

9. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

De acuerdo con lo desarrollado en este documento, las cargas requeridas por los equipos de servicios auxiliares proyectados para SSAA CA y CC, se encuentran reflejadas en las siguientes tablas:

Tabla 8 – Resumen cálculos de cargas requeridas en 125 Vcc

BANCO DE BATERÍAS 125VCC A-h/8 HORAS	CARGADOR DE BATERÍAS 125VCC (A)
232,86	49,00
Valor comercial propuesto	Valor comercial propuesto
250	50

Tabla 9 – Resumen cálculos de cargas requeridas en CA

SERVICIOS ESENCIALES [kVA]			SERVICIOS NO ESENCIALES [kVA]		
Pot. Fase R	Pot. Fase S	Pot. Fase T	Pot. Fase R	Pot. Fase S	Pot. Fase T
12,45	14,36	15,64	53,96	53,18	54,19

Tabla 10 – Resumen cálculos de carga total requerida en CA

TOTAL SSAA [kVA]		
Pot. Fase R	Pot. Fase S	Pot. Fase T
66,41	67,54	69,83

Como conclusión y según las estimaciones de las cargas y cálculos de la presente memoria se tiene para la alimentación de los SS/AA. de CC para la Subestación Elevadora Willka 220/33kV, la carga requerida para los bancos de 125 Vcc es de 232,86 A-h/8h, por lo que se sugiere la implementación de los bancos de batería de **250 A-h/8h** de valor nominal. La carga requerida para los cargadores proyectados de 125 Vcc es de 49,00 A, por lo que se sugiere la implementación de los cargadores de baterías de **50 A** de valor nominal.

Para los SS/AA de CA de Subestación Elevadora Willka 220/33kV y según las estimaciones de las cargas y cálculos de la presente memoria, se tiene una carga total estimada de 203,77kVA trifásicos, la que deberá ser alimentada por un transformador de SSAA cuya potencia mínima recomendada es de **250 kVA**. Para los servicios esenciales se tiene una carga total estimada de 42,45 kVA trifásicos, que se deberá alimentar por un Grupo Electrónico de **50 kVA** de potencia de emergencia.

10. Anexos.

10.1. Anexo 1

Determinación de carga requerida en bancos de baterías consumo 125 Vcc

A continuación, se presenta el procedimiento de determinación de cargas momentáneas y permanentes de 125 Vcc.

Cargas permanentes (125Vcc)			
Descripción de las Cargas	Cantidad	Consumo (W)	Total W
Armario Protección Transformador (=T1+PROT)			
Protección de Transformador 87T 7UT8	1	25	25
Protección sobretensión 50/50N 7SJ8	2	25	50
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	8	6	48
Relés Auxiliares (BJ-8R Biestable)	2	35,5	71
Subtotal			194
Armario Protección Línea (=JT1+PROT)			
Protección de Línea 87L 7SL8	2	25	50
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	15	6	90
Relés Auxiliares (BJ-8R Biestable)	3	35,5	106,5
Relés Auxiliares (VDJ-30 Supervisión Bobina)	2	3,63	7,26
Subtotal			253,76
Armario Control y Medida (=JT1+CTRL)			
Controlador de paño 6MD8	2	25	50
Facturador Línea SEL-735A	1	25	25
Switch de comunicaciones IS5-iRBX6GF	1	35	35
Relés Auxiliares (RF-4 Monostable)	5	6	30
Subtotal			140
Armario Control de Servicios Auxiliares (=SSAA+CTRL)			
Controlador de SSAA 6MD8	1	30	30
Medidor de SSAA SEL-735A	2	10	20
Subtotal			50
Armario Comunicaciones y Scada (=RTU+HMI)			
RTU SICAM Gateway A8050	1	45	45
Router IS5-iMX950	1	35	35
GPS HEPTA 8030	1	40	40
HMI SICAM SCC	1	150	150
Switch de comunicaciones IS5-IES28GF	2	35	70
Servidor SLRP	1	35	35

Subtotal			375
Switchgear 33kV			
Protección de celda 7SJ8	7	25	175
Switch de comunicaciones IS5-iRBX6GF	1	35	35
Subtotal			210
Transformador de poder			
Regulador de tensión SEL-2440	1	30	30
Control Ventiladores	1	250	250
Control CTBC	1	200	200
Subtotal			480
Armario Teleprotecciones OPGW-OPLAT Hacia SE Parinacota			
Convertidor 125/48Vcc	1	500	500
Subtotal			500
TOTAL CONSUMOS PERMANENTES (W)			2202,76
CORRIENTE CONSUMIDA (A)			17,62

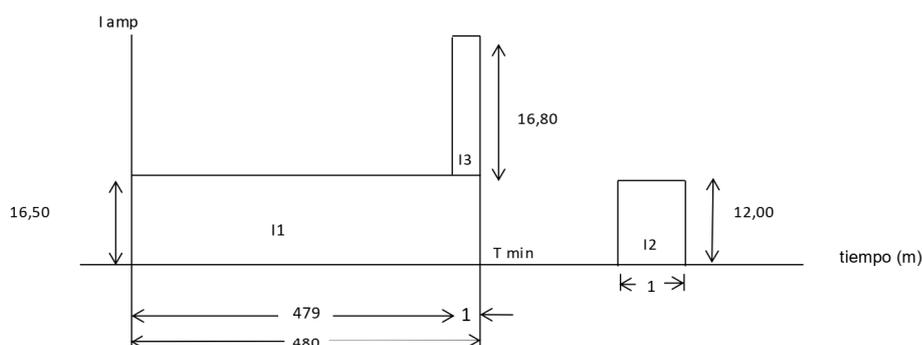
Cargas de tiempo limitado (125Vcc)			
Descripción de las Cargas	Cantidad	Consumo (W)	Total W
Motor Interruptor 220kV	1	1500	1500
Motor Interruptor 33kV	1	500	500
Subtotal			1500
CONSUMO MÁXIMO DE TIEMPO LIMITADO (W)			1500
CORRIENTE CONSUMIDA (A)			12,00

Cargas momentáneas (125Vcc)			
Descripción de las Cargas	Cantidad	Consumo (W)	Total W
Cierre 1 Interruptor			
Interruptor (1 bob. por polo)	3	350	1050
SUBTOTAL			1050
Apertura 1 Interruptor 220kV			
Interruptor (2 bob. por polo)	6	250	1500
SUBTOTAL			1500
Apertura 2 Interruptores (1 de 220kV y 1 de 33kV) por operación 87T			
Interruptor 52JT1 (2 bob. por polo)	6	250	1500
Interruptor 52FT1 (2 bob. por polo)	2	300	600
SUBTOTAL			2100
Peor Caso: Apertura 2 interruptores debido a operación protección 87T			
CONSUMO MÁXIMO MOMENTANEO (W)			2100
CORRIENTE CONSUMIDA (A)			16,80

Dado a que la operación de los equipos que constituyen las cargas momentáneas es secuencial, el máximo consumo será determinado considerando la peor condición. En este caso, se considerará la apertura de 2 interruptores debido a operación de protección 87T.

Una vez obtenidas las corrientes demandadas por cada tipo de consumo, se dimensionan los bancos de baterías.

Dimensionamiento del banco de baterías 125 Vcc			
I1 =	16,50	A	Carga permanente
I2 =	12,00	A	Cargas de tiempo limitado
I3 =	16,80	A	Cargas momentáneas



Periodo	Corriente [A]	Corriente [A]	Duración [hr]	Duración [min]	Ciclo de Trabajo
A1	16,50	I1	7,9833	479	Tiempo permanente
A2	33,30	I1 + I3	0,0167	1	Tiempo permanente y momentáneo

Nota: Se toma como base 8hr según Artículo 52 de Anexo Técnico "Exigencias Mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión" de NTSyCS.

Dimensionamiento del banco de baterías 125Vcc

Periodo N°	Carga (A)	$A_p - A_{(p-1)}$	Duración periodo (min)	tiempo para termino S (min)	K_T (A-h/A)	Capacidad (A-h)
Sección 1 - Si $A_2 > A_1$, pasar a sección 2						
1	16,50	16,50	479	480	7,76	128,06
F1: Total capacidad (A-h)						128,06
Sección 2 - Si $A_3 > A_2$, pasar a sección 3						
1	16,50	16,50	479	480	7,76	128,06
2	33,30	16,80	1	1	0,88	14,78
F2: Total capacidad (A-h)						142,84
Carga aleatoria						
	12,00	12,00	1	1	0,88	10,56
Máxima capacidad (A-h)						142,84
Capacidad para carga aleatoria						10,56
Capacidad total no corregida (A-h)						153,40
Factores de corrección:						
Temperatura (punto 6.2.1 IEEE std 485-2010 – 20°C)						1,06
Envejecimiento (punto 6.2.3 IEEE std 485-2010)						1,25
Factor de crecimiento (15%)						1,15
Capacidad total corregida (A-h)						232,86

Capacidad Bancos de batería 125Vcc (A-h) / 8 hr	232,86
--	---------------

Se estima una capacidad nominal del banco **250 [(A-h) / 8 hr]** Nominales

Para valor de K_t , ver Anexo 4.

10.2. Anexo 2

Determinación de carga requerida a cargadores de baterías consumo 125 Vcc

Dimensionamiento del cargador de baterías 125Vcc

$$A = \left(\frac{Ah * 1,2}{T} + 1,15 * L \right) * \frac{1}{k_1} * \frac{1}{k_2} \quad (1)$$

- A = Capacidad del Cargador (A).
- 1,2 = Factor de conversión de carga.
- Ah = Capacidad nominal del Banco de Baterías para un régimen de descarga de 8 hrs
- T = Tiempo de duración máximo de la recarga, para efectos de cálculo este valor se ha expresado en 10 hrs (hrs).
- 1,15 = Factor que prevé futuros incrementos de la carga continua.
- L = Carga continua (consumo permanente) (A).
- k1 = Factor de disminución por temperatura (°C) (40°-1; 50°-0.83; 60°-0.64).
- k2 = Factor de disminución por altitud (m) (1000m-1; 1500m-0.94; 3000m-0.83).

VARIABLE PARA CÁLCULO	
Ah	250,00
T	10,00
L	16,50
k1	1,00
K2	1,00
A	49,00

Capacidad de los cargadores de baterías 125Vcc (A)	49,00
--	-------

Se estima un cargador de baterías de **50 (A)** Nominales.

10.3. Anexo 3

Determinación de carga requerida para los SS/AA C.A. y Grupo Electrónico proyectado.

SS/AA No Esenciales (380/220VCA)												
ITEM	Cant.	Fases	Pot. Unit. [W]	Pot. Total [W]	Factor de Demanda	Pot. Fase R [kW]	Pot. Fase S [kW]	Pot. Fase T [kW]	Factor de Potencia	Pot. Fase R [kVA]	Pot. Fase S [kVA]	Pot. Fase T [kVA]
Patio 220kV												
Calefacción y alumbrado paño JT1	7	1	100	1400	0,5	0,7			0,9	0,78		
Subtotal Patio 220kV	7		100	1400		0,70	0,00	0,00		0,78	0,00	0,00
Sala Celdas 33kV												
Calefacción y alumbrado Switchgear	1	1	900	900	0,5			0,45	0,9			0,50
MV Switchgear panel	1	3	10000	10000	0,8	2,67	2,67	2,67	0,9	2,96	2,96	2,96
Aire acondicionado sala Switchgear	2	3	9000	18000	0,5	3,00	3,00	3,00	0,9	3,33	3,33	3,33
Subtotal Sala Celdas 33kV	4		19900	28900		5,67	5,67	6,12		6,30	6,30	6,80
Sala Servicios Generales												
Calefacción y alumbrado armarios Telecomunicaciones	1	1	100	100	0,85		0,09		0,9		0,09	
Calefacción y alumbrado armarios Control y Protecciones Paño JT1	5	1	100	500	0,85			0,43	0,9			0,47
Aire acondicionado Sala de control	2	3	9000	18000	0,5	3,00	3,00	3,00	0,9	3,33	3,33	3,33
Alimentación Equipo presurización sala de control	1	3	8000	8000	0,85	2,27	2,27	2,27	0,9	2,52	2,52	2,52
Edificio O&M	1	3	70000	70000	1	23,33	23,33	23,33	0,9	25,93	25,93	25,93
Alimentación TDA y F Patio Barra No Esencial	1	3	12660	12660	0,85	3,59	3,59	3,59	0,9	3,99	3,99	3,99
Alimentación TDAyF Sala Barra No Esencial	1	3	12978	12978	0,85	3,68	3,68	3,68	0,9	4,09	4,09	4,09
Subtotal Sala SSGG	12		112838	122238		35,86	35,95	36,29		39,85	39,94	40,32
Subtotal [kW - kVA]						42,23	41,62	42,41		46,92	46,24	47,12
Factor crecimiento (15%)						6,33	6,24	6,36		7,04	6,94	7,07
Total Servicios No Esenciales [kW - kVA]						48,57	47,86	48,77		53,96	53,18	54,19

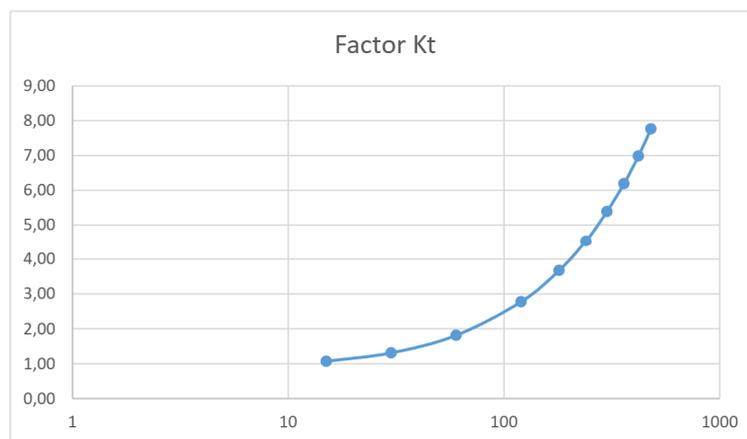
SS/AA Esenciales (380/220VCA)												
ITEM	Cant	Fases	Pot. Unit. [W]	Pot. Total [W]	Factor de Demanda	Pot. Fase R [kW]	Pot. Fase S [kW]	Pot. Fase T [kW]	Factor de Potencia	Pot. Fase R [kVA]	Pot. Fase S [kVA]	Pot. Fase T [kVA]
Sala Servicios Generales												
Cargador de batería N°1 110Vcc	1	3	6250	6250	0,5	1,04	1,04	1,04	0,9	1,16	1,16	1,16
Cargador de batería N°2 110Vcc	1	3	6250	6250	0,5	1,04	1,04	1,04	0,9	1,16	1,16	1,16
Motor CTBC Transformador	1	3	2200	2200	1	0,73	0,73	0,73	0,9	0,81	0,81	0,81
Motor Desconector	1	3	370	370	1	0,12	0,12	0,12	0,9	0,14	0,14	0,14
Tablero de sist. Detección y alarma de incendios	1	1	500	500	1	0,50			0,9	0,56		
Armario Scada PV	1	1	3000	3000	1		3,00		0,9		3,33	
Armario CCTV PV	1	1	6000	6000	1			6,00	0,9			6,67
Armario Telecomunicaciones	1	1	3000	3000	1	3,00			0,9	3,33		
UPS for MV Switchgear panel (CB Motors)	1	3	10000	10000	0,8	2,67	2,67	2,67	0,9	2,96	2,96	2,96
Sistema de videovigilancia	1	1	2000	2000	1		2,00		0,9		2,22	
Alimentación TDA y F Patio Barra Esencial	1	3	1950	1950	0,85	0,55	0,55	0,55	0,9	0,61	0,61	0,61
Alimentación TDAyF Sala Barra Esencial	1	3	285	285	0,85	0,08	0,08	0,08	0,9	0,09	0,09	0,09
Subtotal Casa de SSGG - 220kV	12		41805	41805		9,74	11,24	12,24		10,82	12,49	13,60
Subtotal [kW - kVA]						9,74	11,24	12,24		10,82	12,49	13,60
Factor crecimiento (15%)						1,46	1,69	1,84		1,62	1,87	2,04
Total Servicios Esenciales [kW - kVA]						11,20	12,93	14,08		12,45	14,36	15,64

10.4. Anexo 4

Factor Kt

Cálculo factor Kt	
Marca Batería	Enersys ¹
Modelo Batería	OPzV
Tipo Celda	5 OPzV 250
V/celda	1,80
Ah nominal	250

tiempo (min)	1	15	30	60	120	180	240	300	360	420	480
Amperes	284,4	234	191	138	90,2	68,1	55,2	46,4	40,4	35,8	32,2
Factor Kt	0,88	1,07	1,31	1,81	2,77	3,67	4,53	5,39	6,19	6,98	7,76



¹ Datos de marca y modelo de baterías de referencia para efectos de cálculo.

Información de catálogo de baterías utilizadas de referencia para el cálculo de factor Kt:

4 - The PowerSafe® OPzV Battery range

Cell type	No of terminal per pole	Capacity Ah acc. to DIN 40742	Capacity Ah					Internal resistance (m ohm /cell)	Short circuit current	Dimensions (mm)			Weight (kg) cell	Type
			at final voltage							Length	Width	Height		
			C ₁₀	C ₅	C ₃	C ₂	C ₁							
4 OPzV 200	1	200	215	210	190	170	130	0.95	2195	103	206	403	19.5	4 OPzV 200
5 OPzV 250	1	250	265	260	235	210	160	0.76	2737	124	206	403	23.5	5 OPzV 250
6 OPzV 300	1	300	320	315	285	255	195	0.66	3175	145	206	403	28.0	6 OPzV 300
5 OPzV 350	1	350	385	375	340	305	230	0.61	3410	124	206	520	31.0	5 OPzV 350
6 OPzV 420	1	420	460	450	410	365	275	0.51	4043	145	206	520	36.5	6 OPzV 420
7 OPzV 490	1	490	540	525	475	430	320	0.45	4607	166	206	520	42.0	7 OPzV 490
6 OPzV 600	1	600	705	680	615	545	395	0.55	3796	145	206	695	50.0	6 OPzV 600
8 OPzV 800	2	800	940	910	820	730	525	0.40	5200	210	191	695	68.2	8 OPzV 800
10 OPzV 1000	2	1000	1170	1135	1020	915	655	0.32	6460	210	233	695	82.0	10 OPzV 1000
12 OPzV 1200	2	1200	1410	1370	1225	1095	790	0.27	7675	210	275	695	97.0	12 OPzV 1200
12 OPzV 1500	2	1500	1600	1530	1395	1260	890	0.28	7510	210	275	845	120.0	12 OPzV 1500
16 OPzV 2000	3	2000	2110	2040	1855	1680	1190	0.21	10048	212	397	820	165.0	16 OPzV 2000
20 OPzV 2500	4	2500	2640	2550	2320	2100	1485	0.17	12606	212	487	820	200.0	20 OPzV 2500
24 OPzV 3000	4	3000	3170	3065	2785	2515	1785	0.14	14964	212	576	820	240.0	24 OPzV 3000

Constant current discharge in amperes

Voltage end of discharge : 1.80 V/cell

Type	15'	30'	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	12h	20h	Type
4 OPzV 200	189	153	111	72,2	54,5	44,2	37,1	32,4	28,7	25,7	23,4	21,5	18,7	12,2	4 OPzV 200
5 OPzV 250	234	191	138	90,2	68,1	55,2	46,4	40,4	35,8	32,2	29,3	26,9	23,3	15,3	5 OPzV 250
6 OPzV 300	279	228	165	108	81,6	66,3	55,7	48,5	43,0	38,6	35,1	32,3	28,0	18,4	6 OPzV 300
5 OPzV 350	286	246	188	127	97,0	79,1	66,9	58,5	51,9	46,5	42,5	39,1	33,8	21,9	5 OPzV 350
6 OPzV 420	340	293	224	152	116	94,8	80,2	70,1	62,2	55,8	51,0	46,9	40,6	26,3	6 OPzV 420
7 OPzV 490	392	340	260	177	135	111	93,5	81,7	72,6	65,1	59,5	54,8	47,4	30,7	7 OPzV 490
6 OPzV 600	422	375	302	218	171	141	120	105	92,9	83,5	76,4	70,5	61,3	40,0	6 OPzV 600
8 OPzV 800	584	515	412	294	230	189	160	140	124	112	102	94,1	81,8	53,4	8 OPzV 800
10 OPzV 1000	722	638	511	366	286	236	200	175	155	139	128	118	102	66,7	10 OPzV 1000
12 OPzV 1200	858	759	610	438	343	282	240	210	186	167	153	141	123	80,1	12 OPzV 1200
12 OPzV 1500	837	769	644	481	383	317	271	237	211	190	173	160	137	88,9	12 OPzV 1500
16 OPzV 2000	1146	1044	871	648	514	424	362	317	282	254	231	211	183	118	16 OPzV 2000
20 OPzV 2500	1412	1293	1081	806	641	529	452	396	352	317	289	264	228	148	20 OPzV 2500
24 OPzV 3000	1675	1538	1289	963	767	634	541	474	422	380	347	317	274	178	24 OPzV 3000