INFORME DE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA PE KALLPA (LOMAS DE TALTAL)

Informe Técnico

Preparado para:

Enero – 2025

A 1106 | R 1279-24

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS **2**

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS **3**

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS **5**

REGISTRO DE COMUNICACIONES **6**

SECCIÓN PRINCIPAL **7**

1. INTRODUCCIÓN **7**

1.1. Definiciones y nomenclatura 7

1.2. Marco normativo 8

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES **8**

2.1. Descripción general de la planta 8

2.2. Datos de los aerogeneradores 15

2.3. Datos de los transformadores de unidad 17

2.4. Datos del transformador de potencia 18

2.5. Características del sistema colector 19

2.6. Banco de capacitores 20

2.7. Reactor zigzag 20

3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS **20**

4. ENSAYOS REALIZADOS **21**

4.1. Descripción de las pruebas 21

4.2. Toma de registros de potencia máxima 21

4.3. Resultados obtenidos 21

4.3.1 Determinación del consumo de servicios auxiliares 23

4.3.1 Potencia de pérdidas de la central 24

4.3.2 Correcciones a la potencia máxima medida 25

5. CONCLUSIONES **30**

ANEXOS **31**

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES **31**

1.1. Aerogeneradores 31

1.2. Recurso eólico del sitio 34

1.3. Potencia registrada en unidades durante las pruebas 35

2. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA **40**

3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS **40**

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque. 18
Tabla 2. Datos técnicos del transformador de potencia. 18
Tabla 3. Datos técnicos de los cables del sistema colector. 19
Tabla 4. Datos técnicos del reactor zigzag. 20
Tabla 5. Tabla resumen de valores a presentar. 21
Tabla 6. Ensayos de potencia máxima – período evaluado. 22
Tabla 7. Resumen de resultados Potencia Máxima Medida.....25
Tabla 8. Potencia promedio corregida en WTGs 28
Tabla 9. Parámetros de Potencia Máxima (corregida) PE Kallpa. 30

Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico. 7
Gráfico 2. Ubicación PE Kallpa (Lomas de Tal Tal). 9
Gráfico 3. Diagrama Unilineal de interconexión con el sistema.....10
Gráfico 4. Esquema unifilar del circuito colector 1. 11
Gráfico 5. Esquema unifilar del circuito colector 2. 12
Gráfico 6. Esquema unifilar del circuito colector 3. 13
Gráfico 7. Esquema unifilar del circuito colector 4 14
Gráfico 8. Características generales de los aerogeneradores.....17
Gráfico 9. Curva de capabilidad de los aerogeneradores vs la curva normativa. 17
Gráfico 10. Conexión del banco de capacitores shunt 2x17 MVAr. 20
Gráfico 11. Velocidad del viento promedio durante la prueba 22
Gráfico 12. Potencia total generada por las turbinas (Pbruta) 22
Gráfico 13. Potencia total generada por las turbinas (Pbruta). Detalle. 23
Gráfico 14. Potencia de Servicios Auxiliares 23
Gráfico 15. Determinación de la potencia de pérdida en el transformador de potencia. .24
Gráfico 16. Velocidad del viento a nivel turbina. 25
Gráfico 17. Potencia erogada por los aerogeneradores durante las pruebas.....26
Gráfico 18. Potencia en función del viento para todas las unidades. 26
Gráfico 19. Simultaneidad de potencia por turbina. 27
Gráfico 20. Potencias promedio para viento entre 13,5 y 18 m/s. 27
Gráfico 21. Determinación de la potencia neta corregida y pérdidas en transformadores. 28

Gráfico 22. Información general de los aerogeneradores del PE Kallpa. 31
Gráfico 23. Generador de los aerogeneradores Goldwind. 32
Gráfico 24. Curva PQ@LV aerogeneradores Goldwind. 32
Gráfico 25. Curva característica de viento-potencia. 33
Gráfico 26. Estadísticas del recurso eólico del sitio. 34
Gráfico 27. Esquema general de control del PPC. 40
Gráfico 28. Lazo de control de tensión/potencia reactiva del PPC. 40
Gráfico 29. Lazo de control de frecuencia/potencia activa del PPC. 40

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
0	14/01/2025	MF	CR	FM	Preliminar

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Kallpa (Lomas de Tal Tal), durante el día 08 de enero de 2025, en relación al proceso de determinación de la potencia máxima 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:

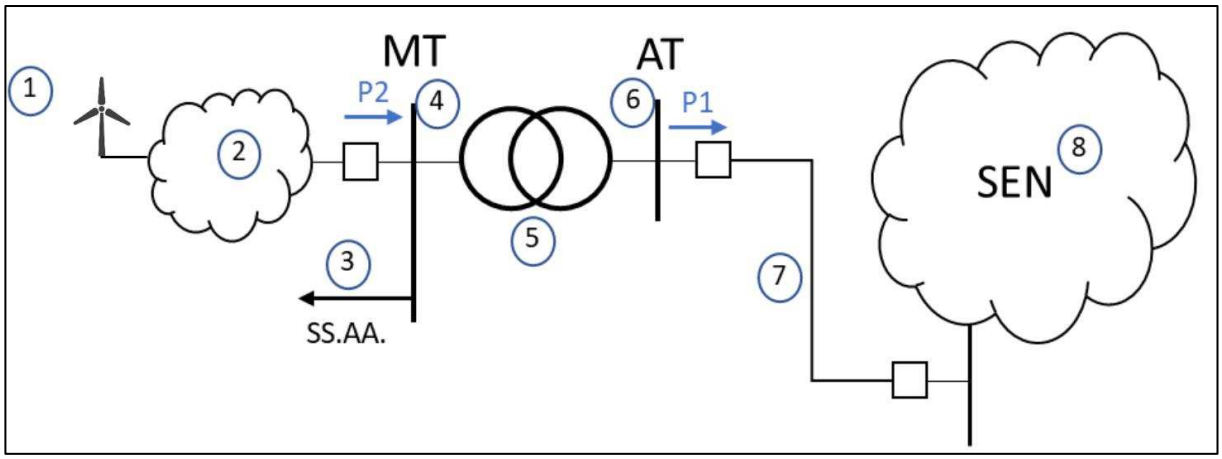


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico.

1) Generador equivalente: Representa la suma de los aportes de potencia activa de los aerogeneradores individuales.

2) Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector): Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico, principalmente en el circuito colector de media tensión, y en los transformadores de bloque de cada aerogenerador.

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 aerogeneradores.

4) Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque eólico.

5) Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque eólico.

6) Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque eólico.

7) Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque eólico 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 aerogeneradores 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 "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras" y los lineamientos de la Guía Técnica DCO N°01-2024 "Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía".

En particular es de aplicación el Artículo 39 del ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS "Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación" del TÍTULO VIII – CENTRALES CUYA FUENTE ES RENOVABLE NO CONVENCIONAL" al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. En tal sentido, el valor de Potencia Máxima 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.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.1. Descripción general de la planta

El Parque Eólico Kallpa (parte del proyecto Lomas de Taltal) se ubica en la comuna de Taltal, en la Región de Antofagasta, aproximadamente a 140 km de la ciudad de Taltal y a 250 km de Antofagasta, en una superficie aproximada de 3,114 hectáreas.

Está constituido por cincuenta y siete (57) aerogeneradores marca Goldwind, modelo 5S, de 6 MW de capacidad nominal y 900 V de tensión de operación nominal, totalizando una potencia instalada de 342 MW.

La red colectora del Parque Eólico Kallpa está compuesta por diecinueve circuitos colectores en media tensión (MT), alimentadores en 33 kV que colectan la potencia generada por los aerogeneradores del parque. En cada uno de los 19 circuitos colectores se conectan 3 aerogeneradores. Adicionalmente, el parque cuenta con 2 alimentadores dedicados a bancos de condensadores de 2x17 MVAr de capacidad cada uno. Los alimentadores se conectan a la barra de 33 kV de la S/E Elevadora Kallpa, se realiza la conexión dos transformadores de potencia de relación 33/220 kV de 200 MVA de potencia aparente nominal y conexión YNd1. El lado de 220 kV del transformador de potencia corresponde al punto de interconexión (POI) del parque con el sistema.

En el Gráfico 2 se muestra una imagen de la ubicación geográfica del parque. Luego, en el Gráfico 3 se observa el diagrama unilineal de la interconexión con el sistema y en el Gráfico 4, Gráfico 5, Gráfico 6 y Gráfico 7 se muestra el sistema colector del parque.

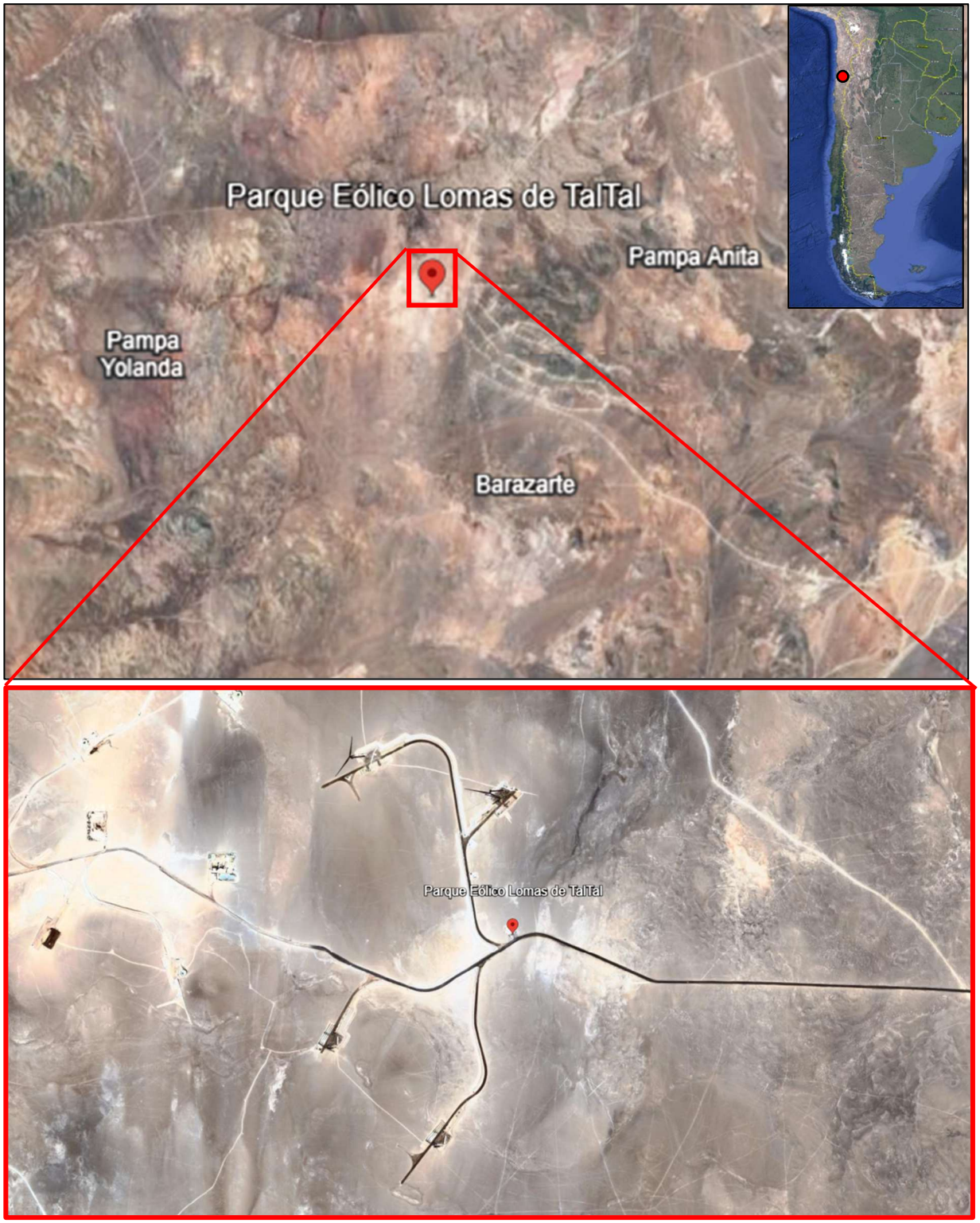


Gráfico 2. Ubicación PE Kallpa (Lomas de Tal Tal).

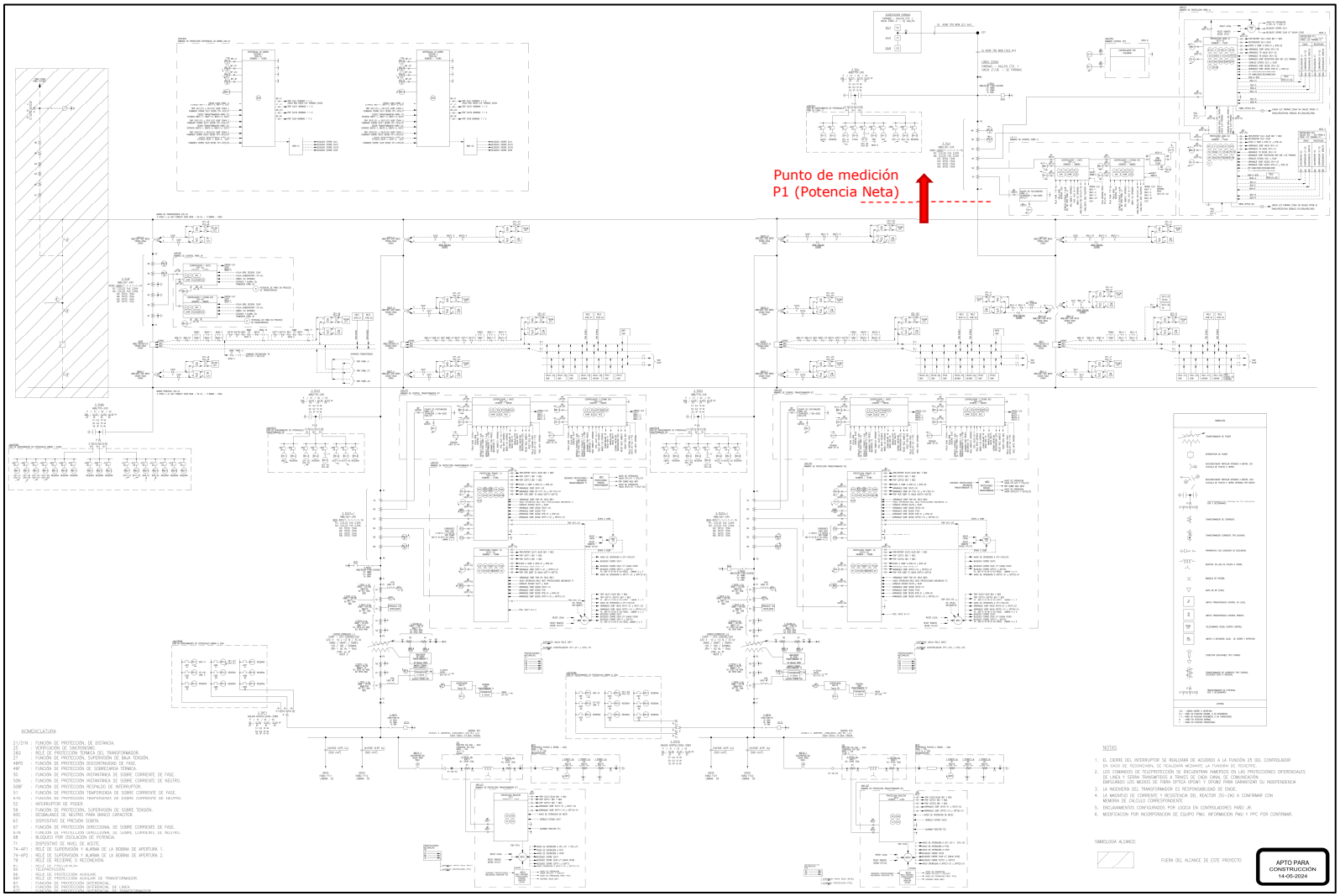


Gráfico 3. Diagrama Unilineal de interconexión con el sistema.

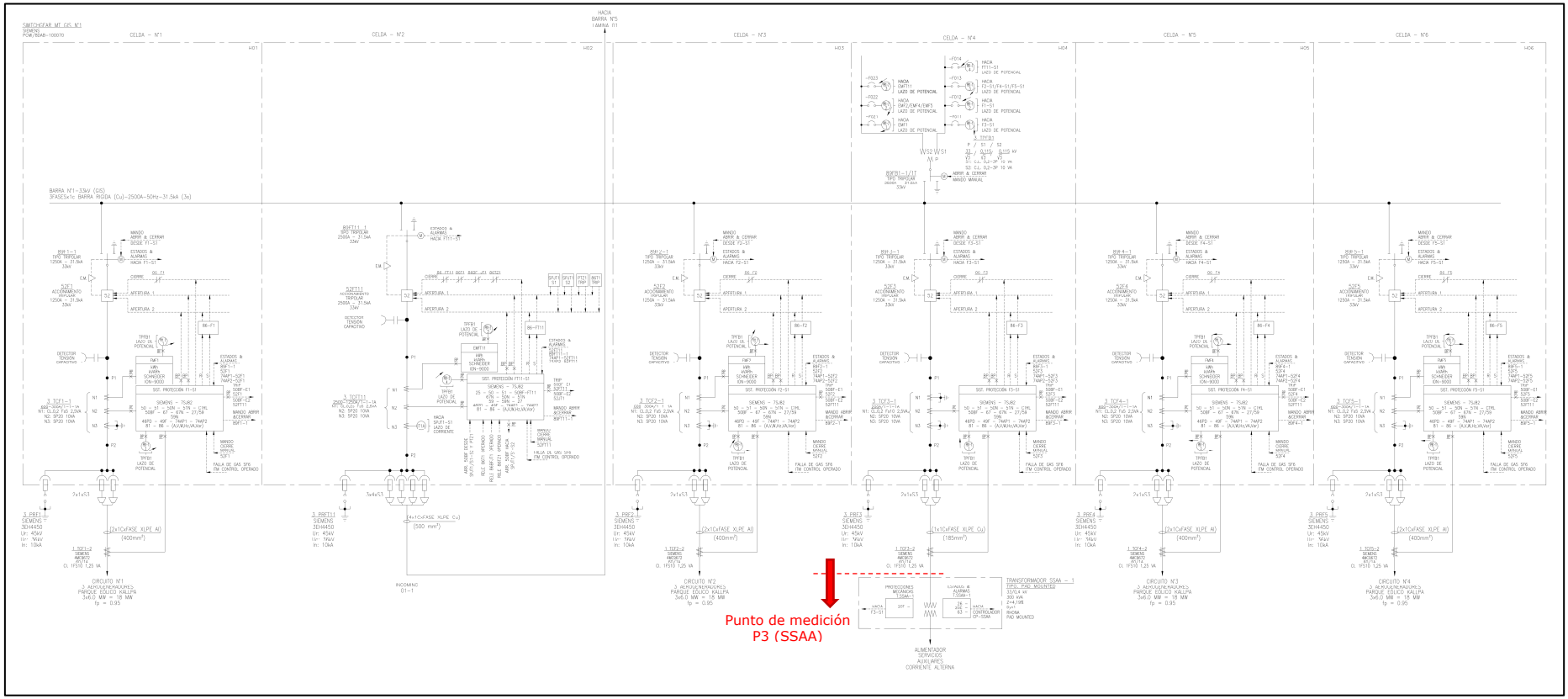


Gráfico 4. Esquema unifilar del circuito colector 1.

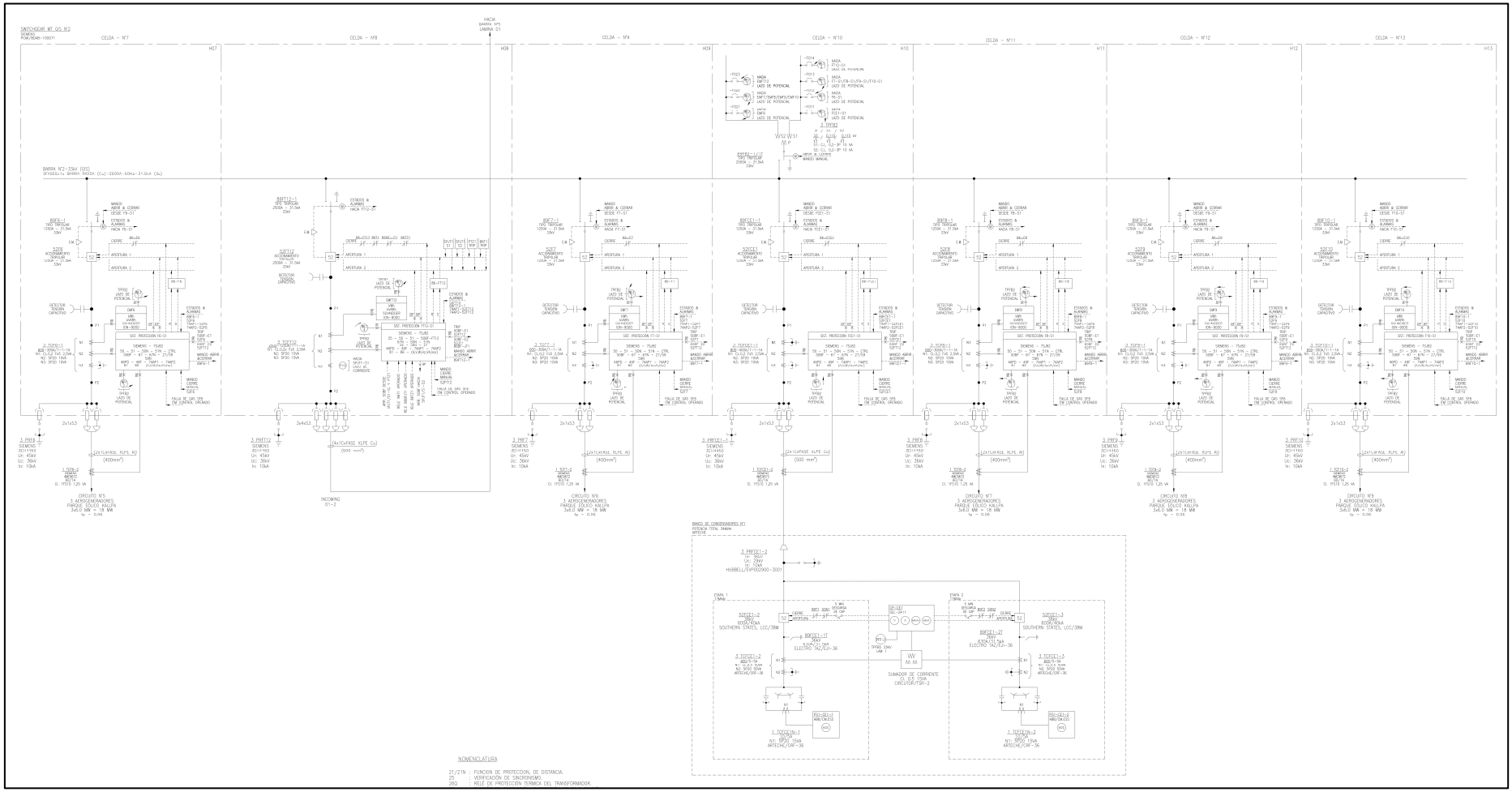


Gráfico 5. Esquema unifilar del circuito colector 2.

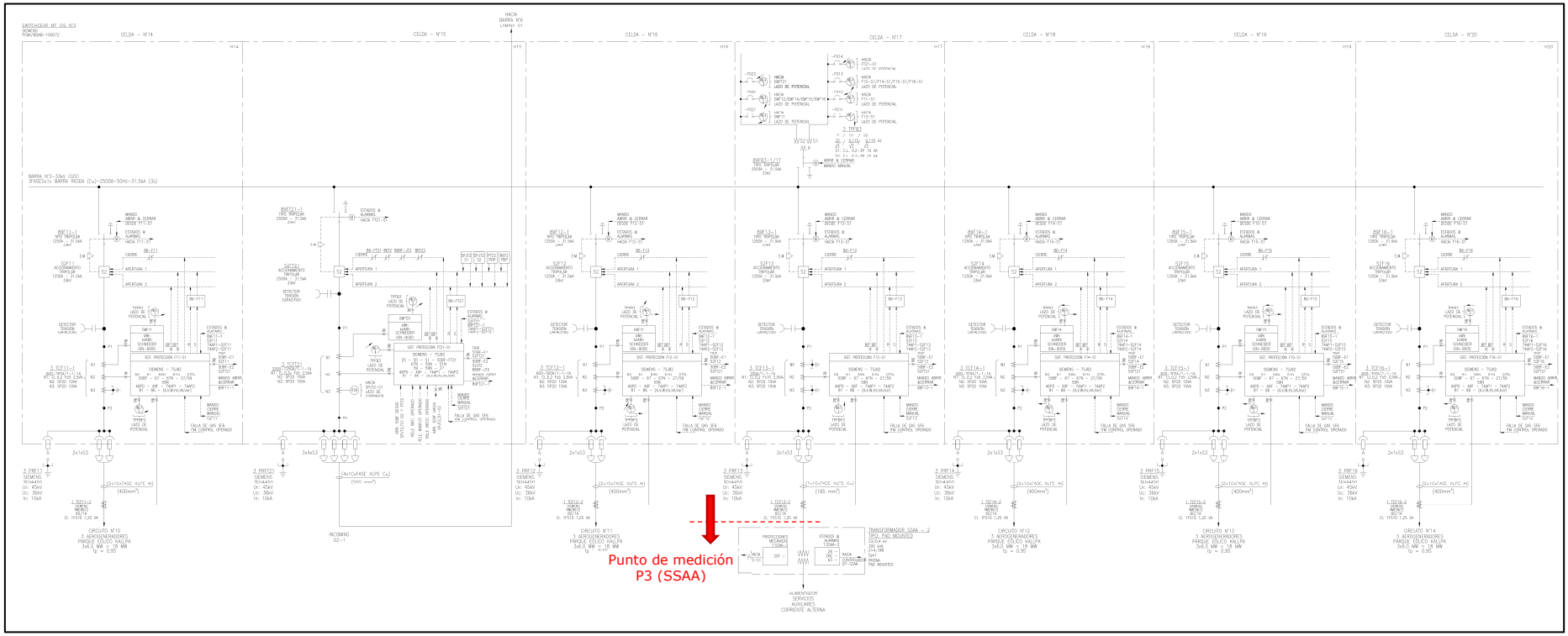


Gráfico 6. Esquema unifilar del circuito colector 3.

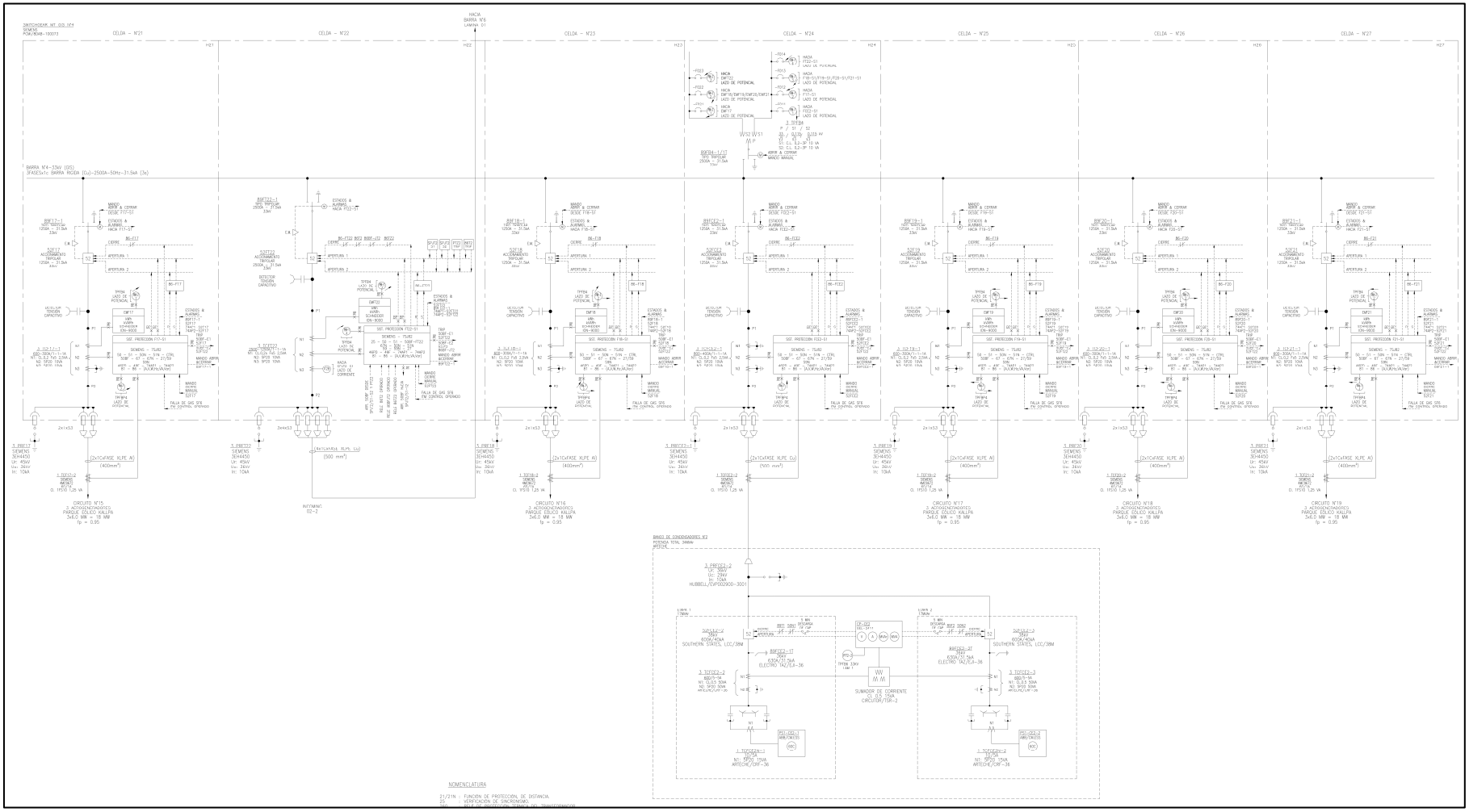


Gráfico 7. Esquema unifilar del circuito colector 4

2.2. Datos de los aerogeneradores

El parque eólico Kallpa cuenta con 57 aerogeneradores marca Goldwind, modelo 5S, de 6 MW de capacidad nominal y 900 V de tensión de operación nominal, cuyas características técnicas se muestran en la siguiente figura:

No.	Item	Unit	The Goldwind V42R01C100 platform		
1	**Basic data of wind turbine**				
1.1	Manufacturer/model		GW165-5.2	GW165-5.6	GW165-6.0
1.2	Rated power	kW	5200	5600	6000
1.3	Wind class		IEC IIIB	S	S
1.4	Power regulation method		Variable-pitch variable-speed		
1.5	Rotor diameter	m	165		
1.6	Hub height	m	With 100m，130m tower height scheme (or Customized according to the project)	With 100m, tower height scheme (or Customized according to the project)	
1.7	Cut-in wind speed(10 minutes)	m/s	3		
1.8	Rated wind speed(steady)	m/s	10.7(standard air density)	11(standard air density)	11.4 (standard air density)
1.9	Cut-out wind speed (10 minutes)	m/s	24		
1.10	Maximum wind speed (average over 3 seconds)	m/s	52.5		
1.11	Availability		≥ 95%		
1.12	Operating temperature range	°C	1、Operating temperature (No de-rating) normal atmospheric temperature wind turbine： -20°C to +40°C at 0m altitude (opened-type); normal atmospheric temperature wind turbine： -20°C to +35°C at 1000m altitude (opened-type); 2、Operating temperature (high temperature extension cut out): de-rating from rating power temperature up to +40°C		
1.13	Survival temperature range	°C	-30°C to +50°C (normal atmospheric temperature wind turbine as a standard development)		
1.14	Design service life	Year	20		
2	**Blade**				
2.1	Manufacturer/model		GW81		
2.2	Blade material		Glass fiber reinforced resin		
2.3	Linear speed of blade tip	m/s	82	89	92
2.4	Swept area of rotor	m^2	21382		
3	**Generator**				
3.1	Manufacturer		Goldwind		
3.2	Type		Permanent magnet		

No.	Item	Unit	The Goldwind V42R01C100 platform		
3.3	Rated power	kW	5500 (opened type)	5900 (opened type)	6300 (opened type)
3.4	Rated voltage	V	950		
3.5	Rated current	A	2020	1996	2150
3.6	Degree of protection		IP54		
3.7	Lubrication method		Grease filling/automatic lubrication system		
3.8	Model of grease		Mobil 460WT		
3.9	Rated speed and speed range during power production	r/min	9.5:5.5~9.5	10.3: 5.5~10.3	10.7:5.5~10.7
3.10	Insulation class		F		
3.11	Number of poles		112		
3.12	Frequency range of generator	Hz	5.133~8.866	5.133~9.613	5.133~9.987
4	**Converter (full power conversion)**				
4.1	Number of phases		3		
4.2	Apparent power	kVA	5866	5978	6401
4.3	Rated output voltage	V	900 (inverter output voltage)		
4.4	Rated output current	A	3763 (Dual winding)	3835 (Dual winding)	4106
4.5	Output frequency range	Hz	50 (±5%)/60 (±5%)		
4.6	Degree of protection		IP54		
4.7	Rated power factor		0.9	0.95	0.95
4.8	Regulation mode of power elements		NPC/ANPC		
4.9	Control type of converter		Digital vector control		
5	**Main shaft**				
5.1	Manufacturer		Guochuang/Rixing		
6	**Main bearing**				
6.1	Manufacturer/model		SKF/ FAG / Timken / NTN		
7	**Brake system**				
7.1	Primary brake system		Air brake achieved by feathering of three blades		
7.2	Secondary brake system		Rotor brake (maintenance type)		
8	**Yaw system**				
8.1	Type/design		Motor drive/four-stage planetary gears for speed reduction		
8.2	Control		Active alignment with wind/computer control		
8.3	Yaw speed	°/s	0.21		
8.4	Type of yaw bearing		Sliding yaw bearing		
8.5	Lubrication method		Automatic grease filling (FUCHS STABYL ECO E2)		
9	**Hydraulic unit**				
9.1	Manufacturer/model		Hawe		
10	**Electrical control system**				

No.	Item	Unit	The Goldwind V42R01C100 platform
10.1	Type of control unit		PLC
10.2	Type of control		Distributed control
10.3	Master switch cabinet		Beijing Etechwin Electric Co., Ltd.
10.4	Rated frequency	Hz	50/60
10.5	Control type of bus		EtherCAT
11	**Lightning protection**		
11.1	Design standard		In accordance with IEC 61400-24 and IEC 62305 standards and in compliance with GL standards
11.2	Lightning protection measures		Electrical lightning protection, blade tip lightning protection, etc.
11.3	Wind turbine earth resistance	Ω	If the average earth resistivity ρ ≤ 3000 Ω·m , the power frequency earth resistance R for each wind turbine is less than 4 Ω.
12	**Tower section**		
12.1	Type		Tapered steel tower (equipped with ladders and fall protection inside)
12.2	Corrosivity category		Internal: C3; external: C4

Gráfico 8. Características generales de los aerogeneradores.

La curva de capabilidad de los aerogeneradores se muestra a continuación:

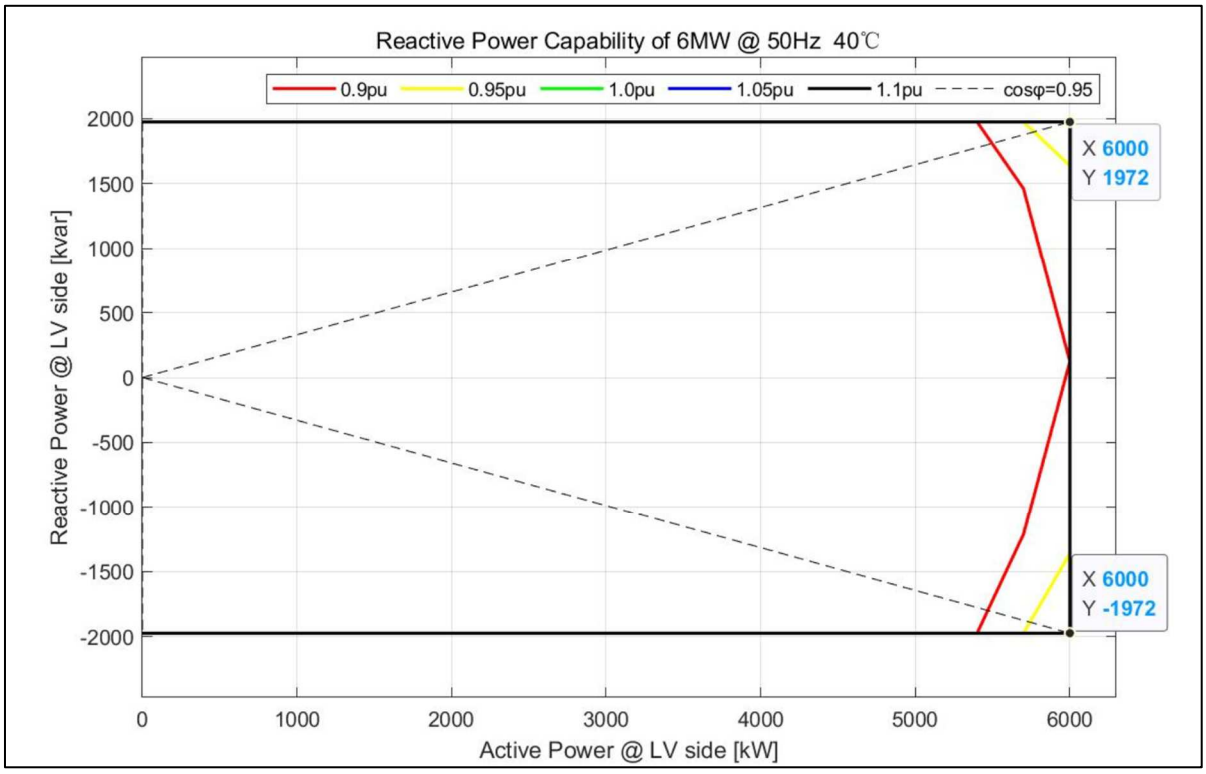


Gráfico 9. Curva de capabilidad de los aerogeneradores vs la curva normativa.

2.3. Datos de los transformadores de unidad

La instalación cuenta con 57 transformadores de bloque con una potencia de 6,2 MVA. Estos transformadores elevan la tensión e inyectan la potencia generada de los aerogeneradores hacia la red colectora de media tensión. Los datos técnicos se detallan a

continuación:

Tabla 1. Datos técnicos de los transformadores de bloque.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Potencia nominal	kVA	6.350
Voltaje nominal	V	33.000/900
Cambiadores de tap (lado HV)	--	±2x2,5%
Tipo de cambiadores de tap	--	En vacío
Corriente nominal HV	A	111,09
Corriente nominal LV	A	4.073
Grupo de conexión	--	Dyn11
Impedancia de secuencia positiva	%	9
Impedancia de secuencia cero	%	9
Pérdidas bajo carga	kW	46,4
Pérdidas en vacío	kW	4,72

2.4. Datos del transformador de potencia

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

Tabla 2. Datos técnicos del transformador de potencia.

PARÁMETRO	UNIDAD	TR1	TR2
		VALOR	VALOR
Potencia nominal	MVA	200	200
Tensión nominal HV	kV	220	220
Tensión nominal MV	kV	33	33
Cambiadores de tap (lado HV)	--	±10x1,0%	±10x1,0%
Grupo de conexión	--	YNd1	YNd1
Impedancia de secuencia positiva Tap central	%	14,66	14,61
Impedancia de secuencia positiva Tap mínima tensión (Tap 21)	%	14,56	14,48
Impedancia de secuencia positiva Tap máxima tensión (Tap 1)	%	15,30	15,23
Impedancia de secuencia cero Tap central	%	14,56	14,49
Impedancia de secuencia cero Tap mínima tensión (Tap 21)	%	14,45	14,36
Impedancia de secuencia cero Tap máxima tensión (Tap 1)	%	15,18	15,09
Pérdidas bajo carga	kW	473,82	472,85
Pérdidas en vacío	kW	78,73	78,83

2.5. Características del sistema colector

Tabla 3. Datos técnicos de los cables del sistema colector.

Circuito	Tramo	Desde	Hasta	Long [km]	Sección	Circuito	Tramo	Desde	Hasta	Long [km]	Sección
1	01.1	WTG07	B22	0,933	185mm²	10	10.1	WTG54	WTG28	1,266	185mm²
	01.2	B22	B01	0,692	500mm²		10.2	WTG29	WTG28	0,883	185mm²
	01.3	B01	V1.1	3,271	2x400mm²		10.3	WTG28	V5.7	0,607	500mm²
	01.4	V1.1	V1.10	3,323	ELGUIN		10.4	V5.7	V5.11	1,073	ELGUIN
	01.5	V1.10	SET	0,275	2x400mm²		10.5	V5.11	SET	0,358	2x400mm²
2	02.1	B02	WTG15	1,015	185mm²	11	11.1	B18	B19	0,921	185mm²
	02.2	WTG15	WTG03	1,240	500mm²		11.2	B19	WTG42	1,574	500mm²
	02.3	WTG03	V1.1	1,044	2x400mm²		11.3	WTG42	V6.1	1,903	2x400mm²
	02.4	V1.1	V1.10	3,323	ELGUIN		11.4	V6.1	V6.8	4,127	ELGUIN
	02.5	V1.10	SET	0,275	2x400mm²		11.5	V6.8	SET	0,119	2x400mm²
3	03.1	B21	WTG13	1,108	185mm²	12	12.1	B09	B17	1,077	185mm²
	03.2	WTG13	WTG02	1,037	500mm²		12.2	B17	WTG18	0,809	500mm²
	03.3	WTG02	V2.1	0,605	2x400mm²		12.3	WTG18	V7.1	0,764	2x400mm²
	03.4	V2.1	V2.14	4,068	ELGUIN		12.4	V7.1	V7.8	4,052	ELGUIN
	03.5	V2.14	SET	0,311	2x400mm²		12.5	V7.8	SET	0,134	2x400mm²
4	04.1	B04	WTG06	0,708	185mm²	13	13.1	WTG41	WTG43	2,882	185mm²
	04.2	WTG06	B03	1,658	500mm²		13.2	WTG43	WTG44	0,841	500mm²
	04.3	B03	V2.5	2,611	2x400mm²		13.3	WTG44	V6.1	0,698	2x400mm²
	04.4	V2.5	V2.14	3,257	ELGUIN		13.4	V6.1	V6.8	4,127	ELGUIN
	04.5	V2.14	SET	0,311	2x400mm²		13.5	V6.8	SET	0,119	2x400mm²
5	05.1	WTG14	WTG56	0,893	185mm²	14	14.1	WTG25	B16	1,932	185mm²
	05.2	WTG56	B20	0,976	500mm²		14.2	WTG24	B16	1,822	185mm²
	05.3	B20	V3.1	0,547	2x400mm²		14.3	B16	V7.1	0,961	2x400mm²
	05.4	V3.1	V3.7	2,298	ELGUIN		14.4	V7.1	V7.8	4,052	ELGUIN
	05.5	V3.7	SET	0,245	2x400mm²		14.5	V7.8	SET	0,134	2x400mm²
6	06.1	WTG58	V4.1	0,415	185mm²	15	15.1	WTG45	WTG47	1,679	185mm²
	06.2	V4.1	V4.2	1,039	ELGUIN		15.2	WTG47	WTG39	1,217	500mm²
	06.3	V4.2	B05	0,713	185mm²		15.3	WTG39	V8.1	0,411	2x400mm²
	06.4	WTG31	B05	0,844	185mm²		15.4	V8.1	V8.4	1,729	ELGUIN
	06.5	B05	SET	0,686	2x400mm²		15.5	V8.4	SET	0,131	2x400mm²
7	07.1	WTG21	WTG51	1,115	185mm²	16	16.1	B10	B08	1,197	185mm²
	07.2	WTG51	B12	1,322	500mm²		16.2	B08	WTG38	1,388	500mm²
	07.3	B12	V3.6	0,512	2x400mm²		16.3	WTG38	V8.1	0,411	2x400mm²
	07.4	V3.6	V3.7	0,227	ELGUIN		16.4	V8.1	V8.4	1,729	ELGUIN
	07.5	V3.7	SET	0,245	2x400mm²		16.5	V8.4	SET	0,131	2x400mm²
8	08.1	B11	V5.1	0,386	185mm²	17	17.1	WTG37	B13	1,209	185mm²
	08.2	V5.1	V5.4	1,082	ELGUIN		17.2	B07	B13	1,281	185mm²
	08.3	V5.4	WTG34	0,426	185mm²		17.3	B13	V9.1	0,544	2x400mm²
	08.4	WTG34	WTG27	0,893	500mm²		17.4	V9.1	V9.6	1,338	ELGUIN
							17.5	V9.6	SET	0,134	2x400mm²
	08.5	WTG27	V5.5	0,374	2x400mm²	18	18.1	WTG35	B14	1,632	185mm²
	08.6	V5.5	V5.11	0,937	ELGUIN		18.2	B15	B14	1,137	185mm²
	08.7	V5.11	SET	0,358	2x400mm²		18.3	B14	V9.3	0,421	2x400mm²
9	09.1	WTG48	B06	1,298	185mm²		18.4	V9.3	V9.6	1,448	ELGUIN
							18.5	V9.6	SET	0,134	2x400mm²
	09.2	WTG40	B06	1,007	185mm²	19	19.1	WTG23	WTG53	0,806	185mm²
	09.3	B06	SET	1,014	2x400mm²		19.2	WTG53	WTG49	1,048	500mm²
							19.3	WTG49	SET	1,914	2x400mm²

2.6. Banco de capacitores

El parque cuenta con dos bancos de capacitores shunt de 2x17 MVAr, uno en cada barra de 33 kV. El Gráfico 10 detalla el conexionado interno de cada banco.

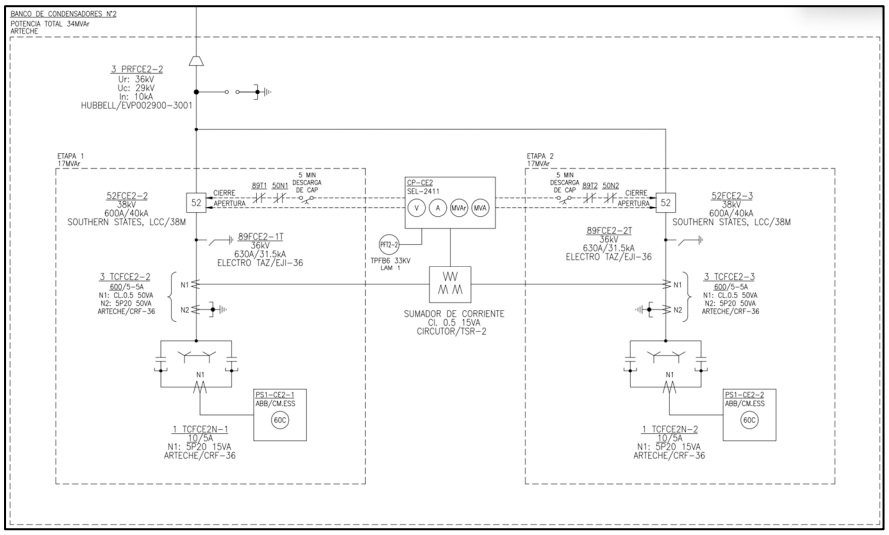


Gráfico 10. Conexión del banco de capacitores shunt 2x17 MVAr.

Cada paso es independiente, por lo que el parque puede maniobrar los 4 pasos de 17 MVAr en total.

2.7. Reactor zigzag

Tabla 4. Datos técnicos del reactor zigzag.

Parámetro	Valor	Unidad
Tensión máxima del equipamiento	36	kV
Corriente nominal	900	A
Conexión de bobinado principal	Zig-Zag	-
Reactancia TR ZZ	60	Ω
Resistencia de puesta a tierra	-	Ω

3. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El PE Kallpa presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques fotovoltaicos de similares características, como los mencionados a continuación[1]:

- Parque Eólico Punta de Talca (Potencia máxima bruta = 80,4664 MW).
- Parque Eólico Puelche Sur (Potencia máxima bruta = 160,0000 MW).
- Parque Eólico Llanos del Viento (Potencia máxima bruta = 160,0000 MW).

[1] https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras

4. ENSAYOS REALIZADOS

4.1. Descripción de las pruebas

El ensayo se realizó en un lapso en el cual el recurso primario se mantuvo aproximadamente invariable, en las condiciones más cercanas a las nominales posibles, en cumplimiento con el Artículo 39 "Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación" al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. La potencia máxima se obtuvo a partir de registros de operación y mediciones del recurso natural que incide en esta tecnología durante el día 08/01/2025, incluyendo los antecedentes técnicos y los cálculos usados para obtener el valor. Para la prueba de Potencia Máxima realizada, se reportan los valores de potencia según el formato[2] de la siguiente tabla de resultados:

Tabla 5. Tabla resumen de valores a presentar.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Kallpa	(1)	(2)	(3)	(4)

(1) **Potencia Bruta**: Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los aerogeneradores del PE Kallpa en el lado de BT.

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

(3) **Perdidas en la central**: Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Kallpa 220 kV y las pérdidas en el sistema colector de la central (transformadores de bloque de los aerogeneradores + circuito colector de MT).

(4) **Potencia Neta**: Es la potencia neta inyectada en el punto de conexión la planta, que para el caso del PE Kallpa es la barra de AT de la SE Kallpa 220 kV.

4.2. Toma de registros de potencia máxima

Para la realización de este ensayo de potencia máxima se emplearon los registros propios de la central. Los registros temporales empleados tienen una resolución de 1 segundo a nivel AT y 6 segundos a nivel turbina.

4.3. Resultados obtenidos

El día 08/01/2025 se realizó el ensayo de Potencia Máxima en condiciones de máximo recurso disponible y con la totalidad de las unidades en servicio. En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

[2] 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"

Tabla 6. Ensayos de potencia máxima – período evaluado.

Fecha	08/01/2025
Inicio de la prueba [hh:mm:ss]	16:00:00
Finalización de la prueba [hh:mm:ss]	21:00:00

Durante este período, se seleccionó el mejor intervalo de 15 minutos para la evaluación de la potencia máxima registrada en el parque. Se presentan los resultados obtenidos para el periodo de duración del ensayo:

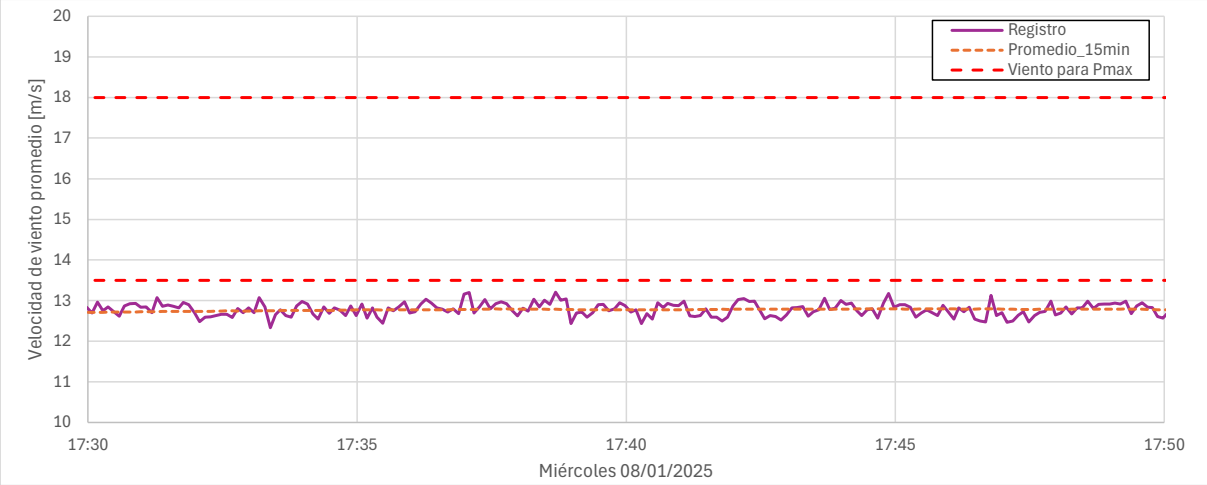


Gráfico 11. Velocidad del viento promedio durante la prueba

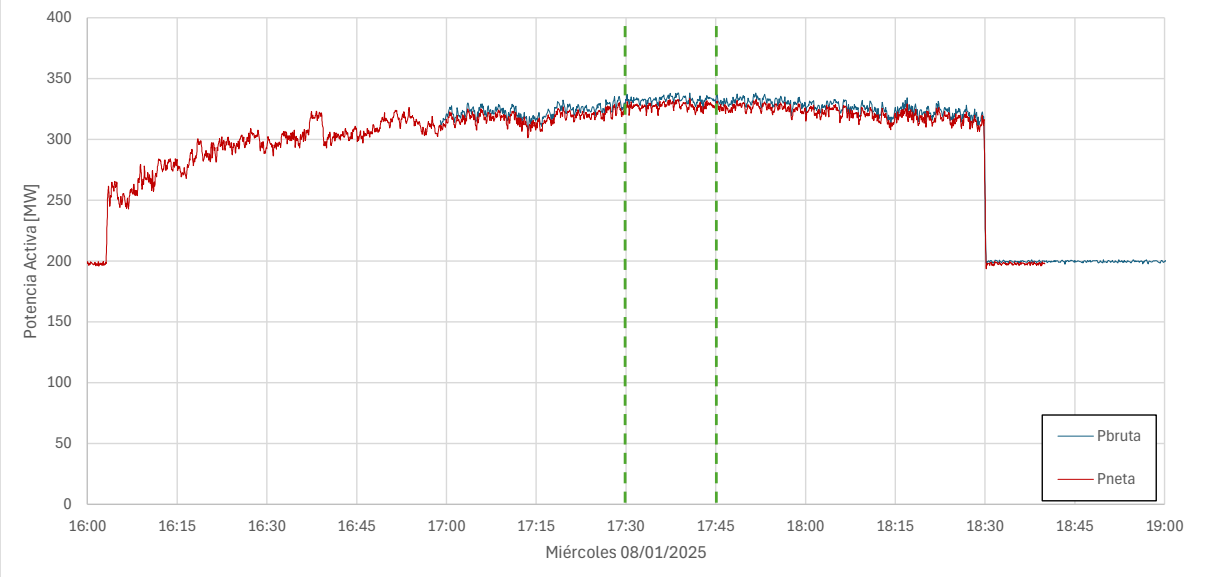


Gráfico 12. Potencia total generada por las turbinas (Pbruta)

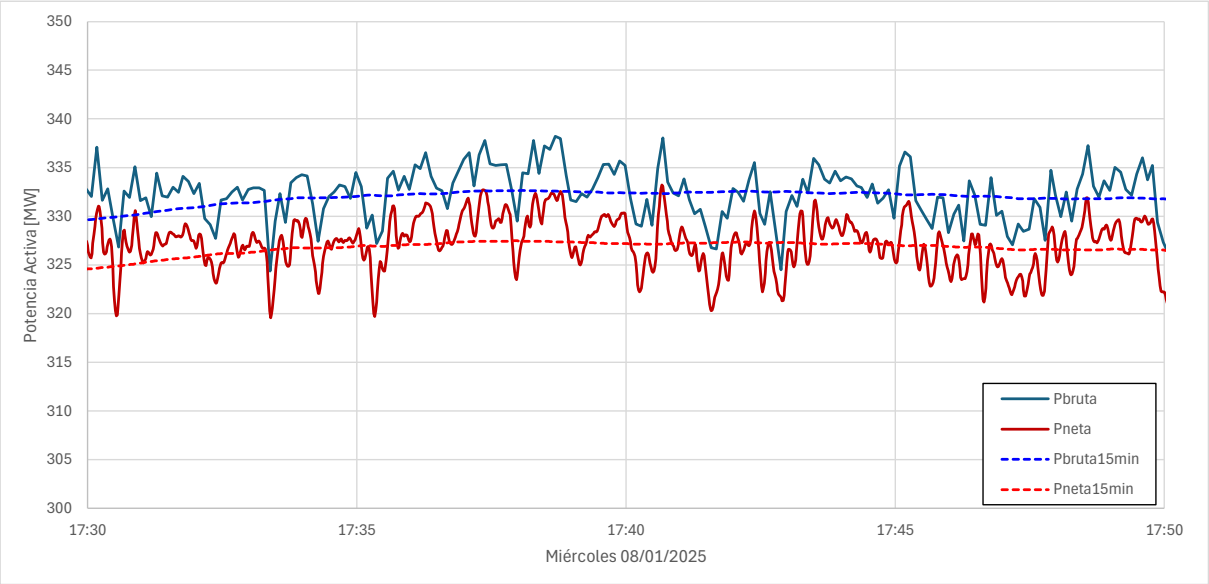


Gráfico 13. Potencia total generada por las turbinas (Pbruta). Detalle.

Del Gráfico 13 se obtiene una potencia suma en las turbinas de 332,6625 MW:

$$Pbruta = 332{,}6625 \text{ MW}$$

Por otro lado, se registró una potencia neta en el punto de conexión de 327,4821 MW:

$$Pneta = 327{,}4821 \text{ MW}$$

4.3.1 Determinación del consumo de servicios auxiliares

Se registró la potencia de los Servicios Auxiliares de la planta, durante varios días de operación, evidenciándose que se mantienen relativamente constantes a lo largo de los días (Gráfico 14).

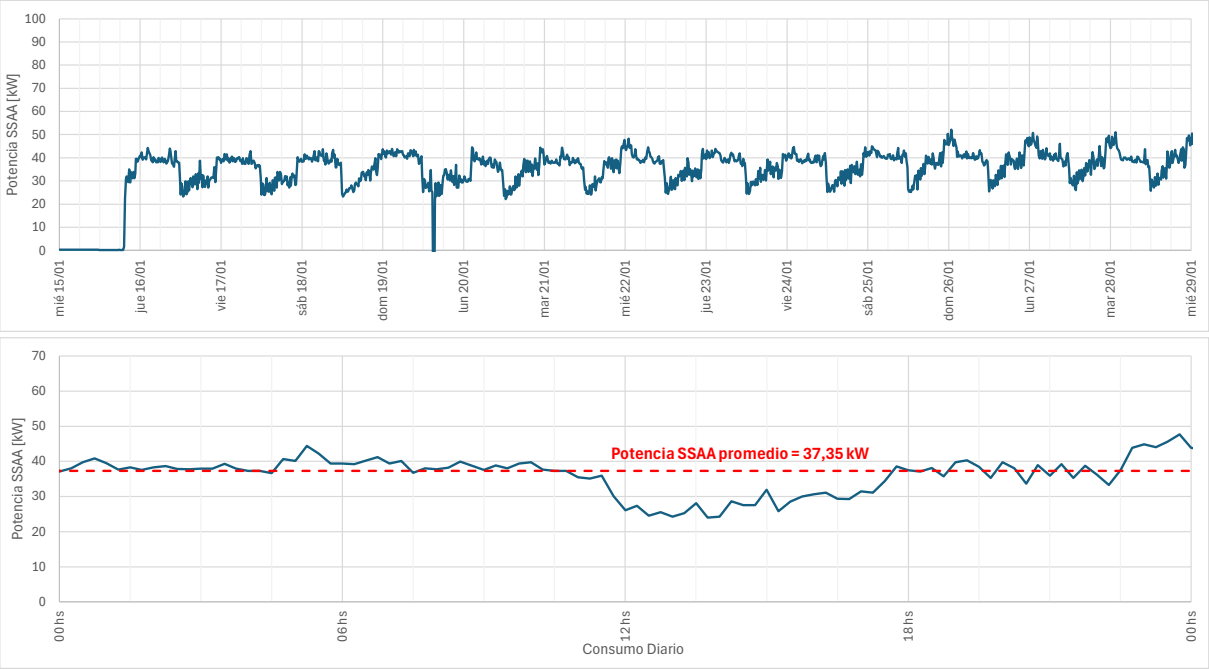


Gráfico 14. Potencia de Servicios Auxiliares

Se determinó una potencia de servicios auxiliares promedio de 0,0374 MW:

$$P_{SSAA\ SE} = 0{,}0374\ \text{MW}$$

4.3.1 Potencia de pérdidas de la central

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

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:

$$Pperd\ central = Pbruta - Pneta - P_{SSAA}$$

$$Pperd\ central = 332{,}6625\ \text{MW} - 327{,}4821\ \text{MW} - 0{,}0374\ \text{MW}$$

$$Pperd\ central = 5{,}1429\ \text{MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

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

La expresión de pérdidas del transformador de potencia es el siguiente:

$$Ptrafo = Pp_{carga} + Pp_{vacío}$$

Para la determinación de la pérdida en los transformadores de potencia se despachó el modelo desarrollado en PowerFactory de la central con el valor de potencia neta obtenido en el punto de conexión como se muestra en el gráfico siguiente:

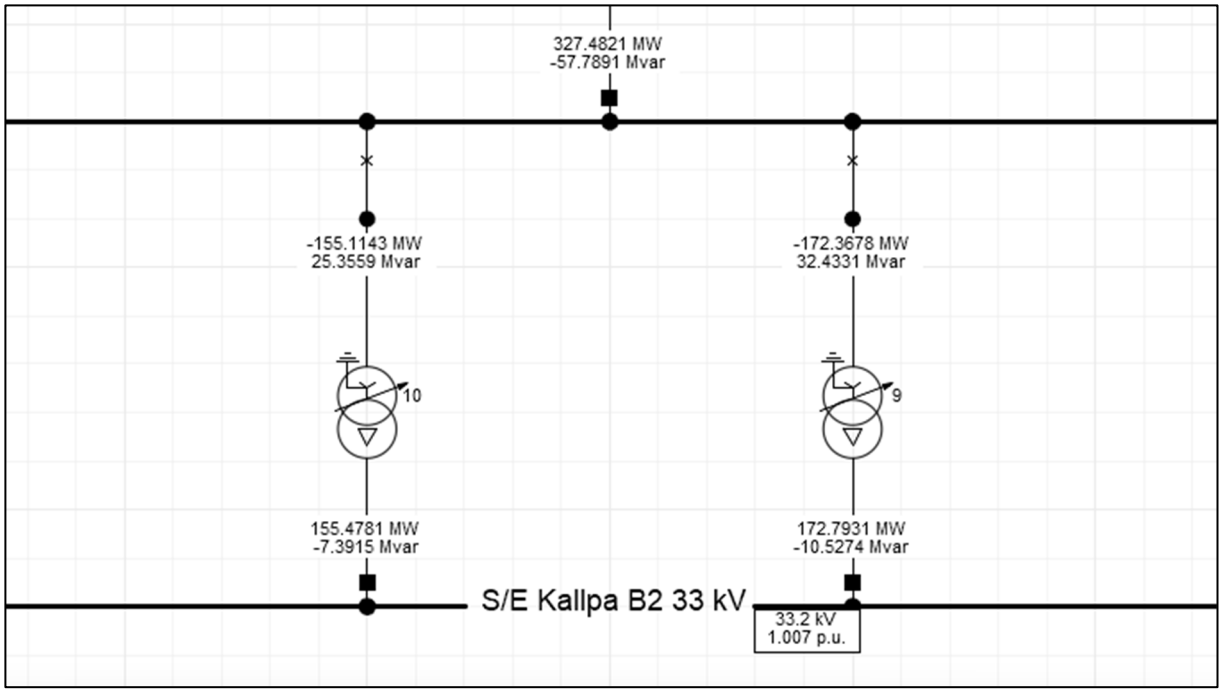


Gráfico 15. Determinación de la potencia de pérdida en el transformador de potencia.

De lo anterior la potencia de pérdida del transformador queda determinada como:

$$Ptrafo = Pp_{carga} + Pp_{vacío} = 155{,}4781\ \text{MW} + 172{,}7931\ \text{MW} - 155{,}1143\ \text{MW} - 172{,}3678\ \text{MW}$$

$$Ptrafo = 0{,}7891\ \text{MW}$$

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

$$Pcolector = Pperd\ central - Ptrafo$$

$$Pcolector = 5{,}1429\ \text{MW} - 0{,}7891\ \text{MW}$$

$$Pcolector = 4{,}3538\ \text{MW}$$

Tabla 7. Resumen de resultados Potencia Máxima Medida

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Kallpa	332,6625	0,0374	5,1429	327,4821

4.3.2 Correcciones a la potencia máxima medida

Los aerogeneradores del parque alcanzan su potencia máxima para velocidades de viento entre 13,5 y 18 m/s, de acuerdo con el detalle de su curva de viento-potencia (CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES). Durante los 15 minutos de evaluación de la potencia máxima medida, se registraron velocidades de viento dispares entre las distintas unidades, entre 10 y 18 m/s aproximadamente (Gráfico 16). Esto se debe a la progresión del viento en la extensión del parque, lo cual genera zonas con distintas velocidades y dirección de viento.

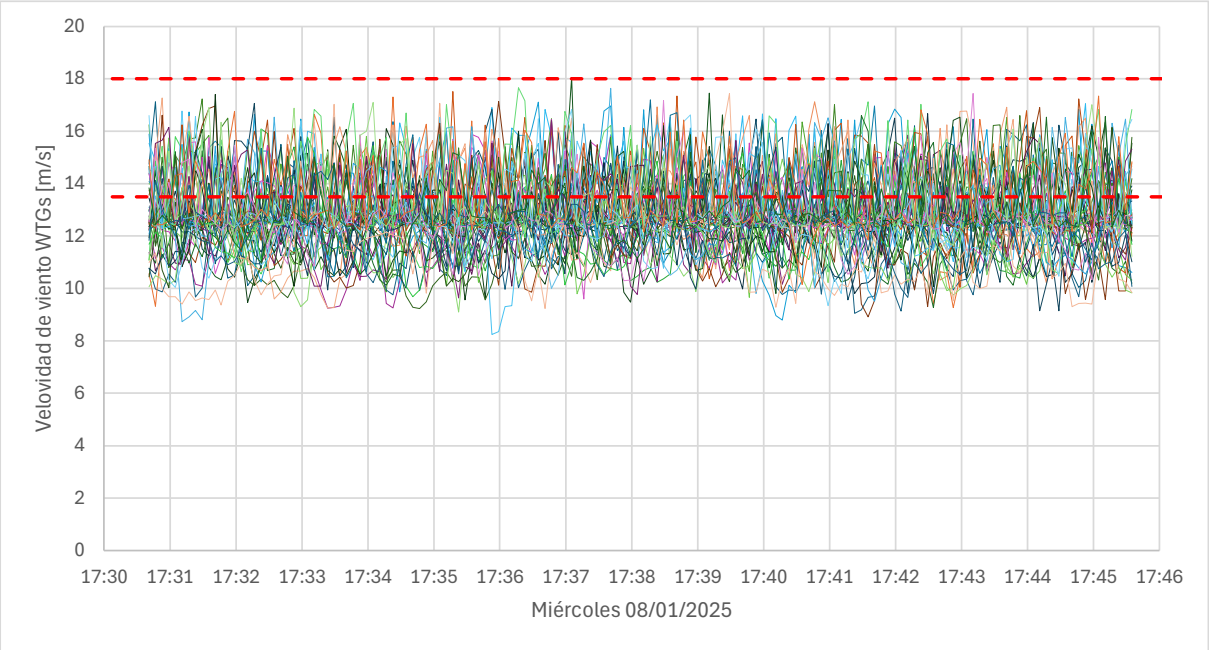


Gráfico 16. Velocidad del viento a nivel turbina.

Por otro lado, se observa en el Gráfico 17 y Gráfico 18 que todas las turbinas alcanzaron, durante la ventana de 15 minutos, su potencia máxima (6 MW), aunque no necesariamente en forma simultánea.

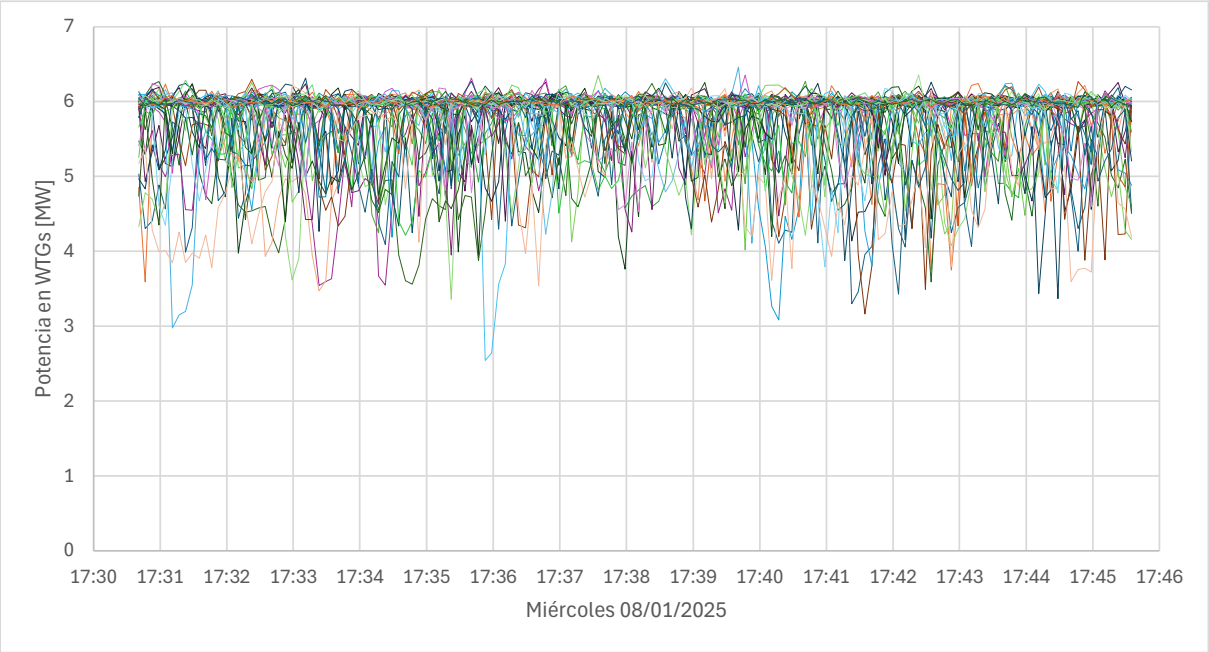


Gráfico 17. Potencia erogada por los aerogeneradores durante las pruebas.

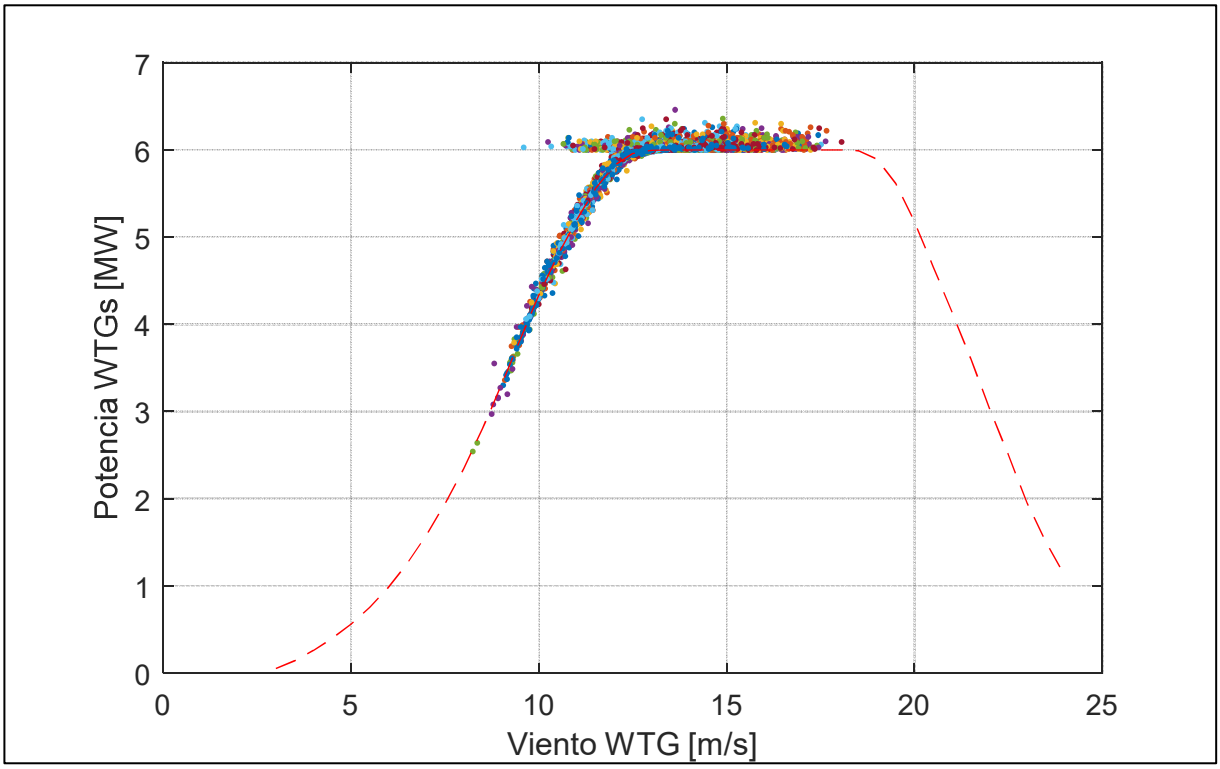


Gráfico 18. Potencia en función del viento para todas las unidades.

Esto se representa mejor en el Gráfico 19, en donde se muestra en el eje horizontal el tiempo de registro y en el eje vertical cada aerogenerador individualmente identificado por su nombre. En la escala de colores, se representa la potencia activa para cada instante de tiempo y para cada aerogenerador; colores claros indican potencia cercana a la nominal y oscuros, por debajo de la nominal. De esta manera, se aprecia la dispersión de potencia

máxima entre unidades y en el tiempo, producto de la extensión geográfica del parque y la velocidad del viento a lo largo del mismo.

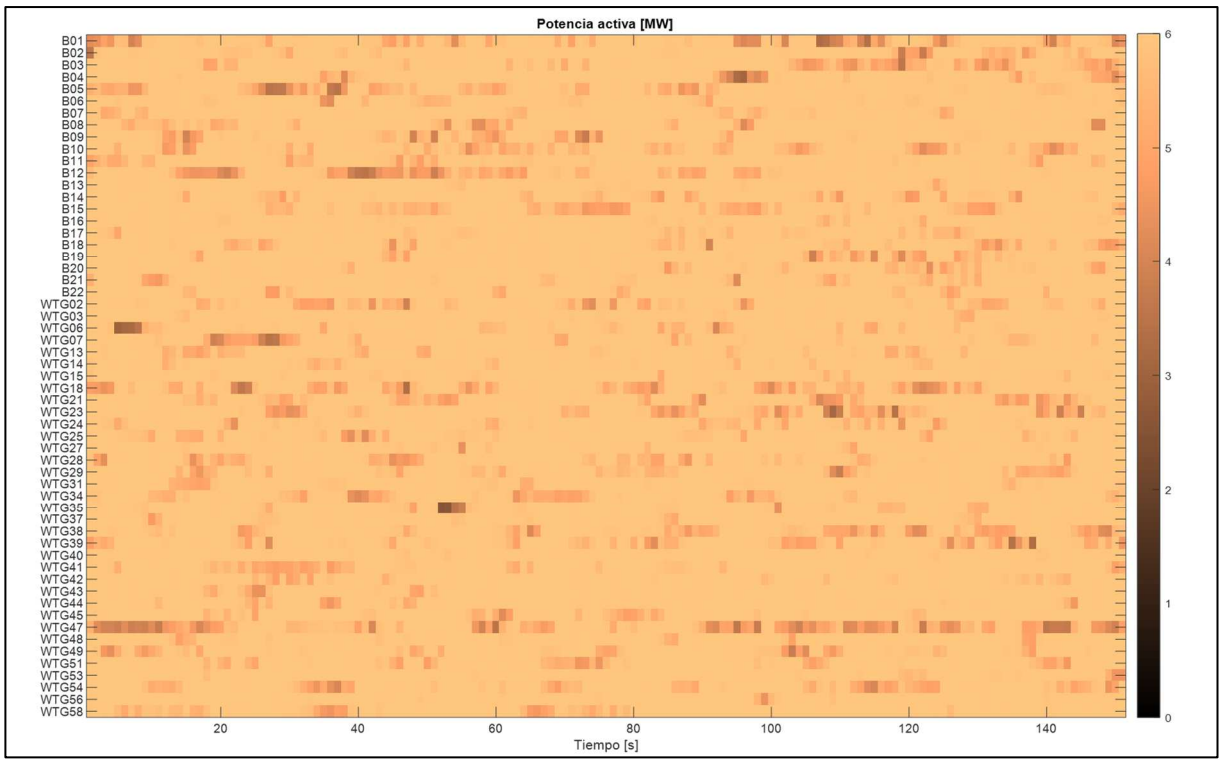


Gráfico 19. Simultaneidad de potencia por turbina.

En los ANEXOS, Potencia registrada en unidades durante las pruebas se detalla el gráfico de potencia en función de la velocidad del viento para todas las unidades en forma separada. Dado que se evidenció que todas las unidades son capaces de alcanzar su potencia máxima en concordancia con su curva de potencia en función del viento, y que las características del parque, en particular su gran extensión geográfica, genera condiciones de variabilidad del viento en el tiempo, se realizó la corrección de la potencia máxima bruta registrada considerando las potencias promedio de cada unidad para una velocidad de viento entre 13,5 y 18 m/s en forma simultánea:

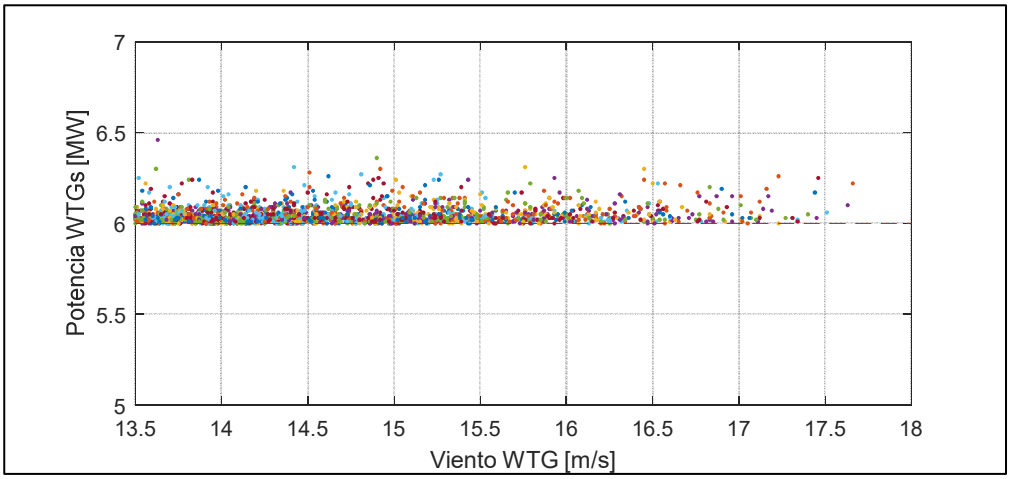


Gráfico 20. Potencias promedio para viento entre 13,5 y 18 m/s.

Tabla 8. Potencia promedio corregida en WTGs

WTG	Potencia Promedio [MW]
B01	6,0932
B02	6,0688
B03	6,0433
B04	6,0376
B05	6,0489
B06	6,0726
B07	6,0450
B08	6,0379
B09	6,0477
B10	6,0298
B11	6,0575
B12	6,0346
B13	6,0563
B14	6,0436
B15	6,0327
B16	6,0553
B17	6,0481
B18	6,0426
B19	6,0462
B20	6,0304
B21	6,0631

WTG	Potencia Promedio [MW]
B22	6,0321
WTG02	6,0370
WTG03	6,0387
WTG06	6,0650
WTG07	6,0266
WTG13	6,0293
WTG14	6,0398
WTG15	6,0584
WTG18	6,0391
WTG21	6,0298
WTG23	6,0478
WTG24	6,0634
WTG25	6,0867
WTG27	6,0578
WTG28	6,0276
WTG29	6,0287
WTG31	6,0599
WTG34	6,0299
WTG35	6,0599
WTG37	6,0605
WTG38	6,0990

WTG	Potencia Promedio [MW]
WTG39	6,0636
WTG40	6,0670
WTG41	6,0338
WTG42	6,0329
WTG43	6,0246
WTG44	6,0460
WTG45	6,0361
WTG47	6,0823
WTG48	6,0616
WTG49	6,0500
WTG51	6,0370
WTG53	6,0491
WTG54	6,0259
WTG56	6,0378
WTG58	6,0376

Resultado una potencia bruta corregida de 344,7376 MW. Para la determinación de la potencia neta corregida y las pérdidas en los transformadores de potencia se despachó el modelo desarrollado en PowerFactory de la central con el valor de potencia bruta corregida como se muestra en el gráfico siguiente:

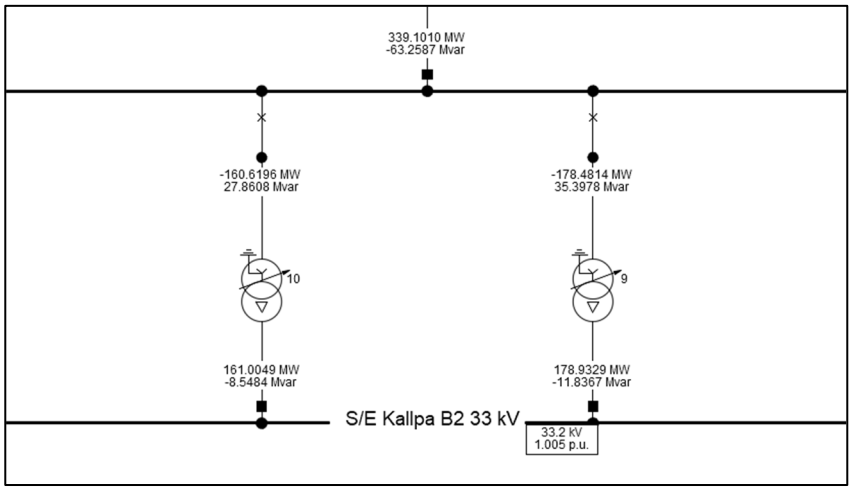


Gráfico 21. Determinación de la potencia neta corregida y pérdidas en transformadores.

Con lo cual resulta una potencia neta corregida de:

$$Pneta = 339{,}1010 \text{ MW}$$

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

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:

$$Pperd\ central = Pbruta - Pneta - P_{SSAA}$$

$$Pperd\ central = 344{,}7376 \text{ MW} - 339{,}1010 \text{ MW} - 0{,}0374 \text{ MW}$$

$$Pperd\ central = 5{,}5992 \text{ MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

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

La expresión de pérdidas del transformador de potencia es el siguiente:

$$Ptrafo = Pp_{carga} + Pp_{vacío}$$

De lo anterior la potencia de pérdida del transformador queda determinada como:

$$Ptrafo = Pp_{carga} + Pp_{vacío} = 161{,}0049 \text{ MW} + 178{,}9329 \text{ MW} - 160{,}6196 \text{ MW} - 178{,}4814 \text{ MW}$$

$$Ptrafo = 0{,}8368 \text{ MW}$$

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

$$Pcolector = Pperd\ central - Ptrafo$$

$$Pcolector = 5{,}5992 \text{ MW} - 0{,}8368 \text{ MW}$$

$$Pcolector = 4{,}7624 \text{ MW}$$

5. CONCLUSIONES

Se determinó en base a los registros operacionales y cálculos que el PE Kallpa puede generar una potencia bruta máxima de **344,7376 MW**, entregando en el punto de conexión una potencia neta de **339,1010 MW**.

Tabla 9. Parámetros de Potencia Máxima (corregida) PE Kallpa.

Parque	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Kallpa	344,7376	0,0374	5,5992[3]	339,1010

[3] Del total de pérdidas, 4,7624 MW corresponden al sistema colector y 0,8368 MW a los transformadores de potencia.

ANEXOS

1. CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

1.1. Aerogeneradores

General	
Wind Turbine class	IEC IIIB (GW165-5.2MW) IEC S (GW165-5.6MW)
Power regulation	Pitch-controlled
Rotor orientation	Upwind
Rotor tilt	8°
Cone angle	-4°
Rated power	5200 kW (GW165-5.2MW) 5600k W (GW165-5.6MW)
Rated wind speed v_r	10.7 m/s (GW165-5.2MW) 11 m/s (GW165-5.6MW)
Rotor diameter	165.846 m
Hub height(s)	100 m
Hub height operating wind speed range v_{in} - v_{out}	3-24 m/s
Design lifetime	20 years
Software version	3X00-5X00_E_V201010
Wind conditions	
Turbulence intensity I_{ref} at v_{hub} = 15 m/s	0.14 (GW165-5.2MW) 0.12 (GW165-5.6MW)
Annual average wind speed at hub height v_{ave}	7.5 m/s (GW165-5.2MW) 8 m/s (GW165-5.6MW)
Reference wind speed v_{ref}	37.5 m/s
Mean flow inclination	8°
Hub height extreme wind speed v_{e50}	52.5 m/s
Electrical network conditions	
Normal supply voltage and range	900 V ±10%
Normal supply frequency and range	50 Hz ±5%
Voltage imbalance	<2%
Maximum duration of electrical power network outages	Up to 6 hours in Normal conditions Up to 1 week in Extreme conditions
Number of electrical network outages	20 times per year
Other environmental conditions	
Design conditions	C4 acc. ISO 12944-2
Normal and extreme temperature ranges	-10 to +40 °C (Normal) -20 to +50 °C (Extreme)
Relative humidity of the air	up to 100%
Air density	1.225 kg/m^3
Solar radiation	1000 W/m^2
Description of lightning protection system	Designed acc. to IEC 61400-24, Protection Level I
Earthquake model and parameters	n.a.

Gráfico 22. Información general de los aerogeneradores del PE Kallpa.

No.	Item	Unit	The Goldwind V42R01C100 platform		
3.3	Rated power	kW	5500 (opened type)	5900 (opened type)	6300 (opened type)
3.4	Rated voltage	V	950		
3.5	Rated current	A	2020	1996	2150
3.6	Degree of protection		IP54		
3.7	Lubrication method		Grease filling/automatic lubrication system		
3.8	Model of grease		Mobil 460WT		
3.9	Rated speed and speed range during power production	r/min	9.5:5.5~9.5	10.3: 5.5~10.3	10.7:5.5~10.7
3.10	Insulation class		F		
3.11	Number of poles		112		
3.12	Frequency range of generator	Hz	5.133~8.866	5.133~9.613	5.133~9.987
4	**Converter (full power conversion)**				
4.1	Number of phases		3		
4.2	Apparent power	kVA	5866	5978	6401
4.3	Rated output voltage	V	900 (inverter output voltage)		
4.4	Rated output current	A	3763 (Dual winding)	3835 (Dual winding)	4106
4.5	Output frequency range	Hz	50 (±5%)/60 (±5%)		
4.6	Degree of protection		IP54		
4.7	Rated power factor		0.9	0.95	0.95

Gráfico 23. Generador de los aerogeneradores Goldwind.

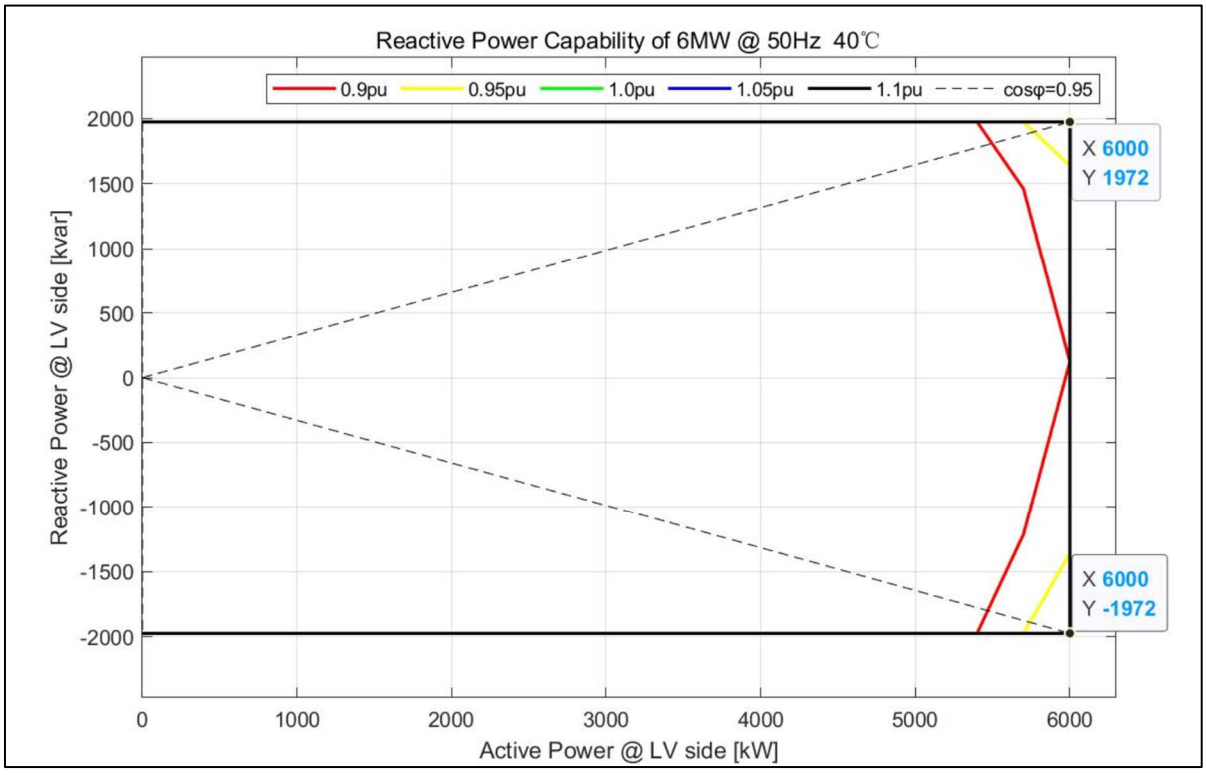
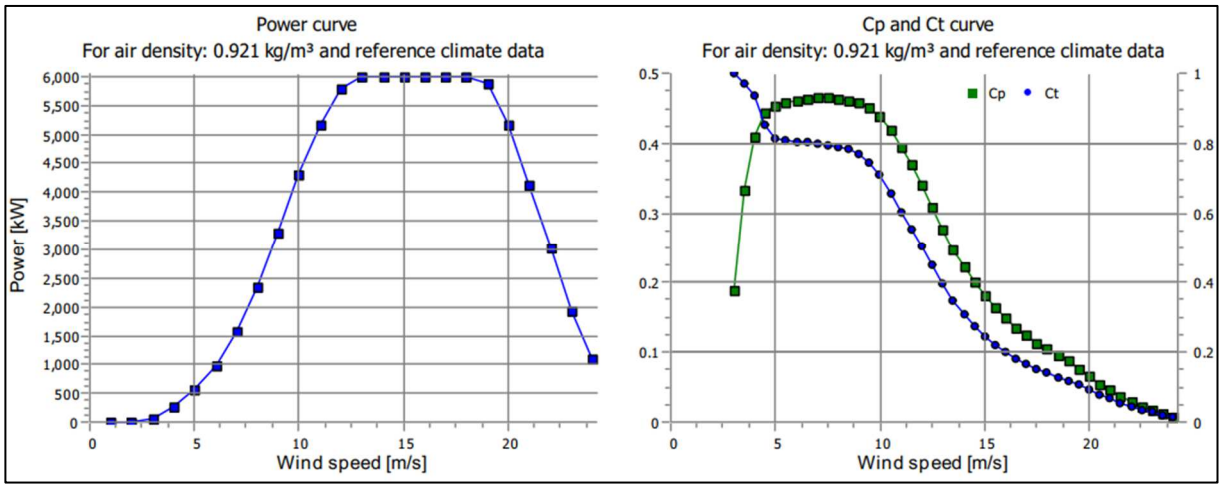


Gráfico 24. Curva PQ@LV aerogeneradores Goldwind.



Wind speed (m/s)	Power (kW)	Wind speed (m/s)	Power (kW)
3	51	14	6000
3.5	142	14.5	6000
4	260	15	6000
4.5	400	15.5	6000
5	561	16	6000
5.5	756	16.5	6000
6	986	17	6000
6.5	1261	17.5	6000
7	1580	18	6000
7.5	1942	18.5	5991
8	2346	19	5894
8.5	2803	19.5	5617
9	3301	20	5177
9.5	3824	20.5	4660
10	4331	21	4140
10.5	4788	21.5	3603
11	5194	22	3033
11.5	5552	22.5	2503
12	5821	23	1945
12.5	5959	23.5	1505
13	5995	24	1113
13.5	6000		

Gráfico 25. Curva característica de viento-potencia.

1.2. Recurso eólico del sitio

Calculation: GW165-6.0HH100m layout 20221208 57WTG **Wind data:** A - Resource file(s); Hub height: 100.0

Site coordinates
UTM (south)-WGS84 Zone: 19
East: 396,598 North: 7,245,615
B01 - Goldwind GW165/6000 6000 165.0 !O! hub: 100.0 m (TOT: 182.5 m) (746)

Resource file
E:\Projects\Chile-Lomas de Taltal\1.Wind Data\Model\WT\Output\20220308\Chile-Lomas de Taltal_map_M13_H100_potential.wrg

Weibull Data

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]
0 N	7.59	6.77	1.729	6.9
1 NNE	8.17	7.24	2.093	38.8
2 NE	7.28	6.45	2.250	16.4
3 ENE	4.58	4.05	2.142	2.5
4 E	3.69	3.27	2.444	1.4
5 ESE	3.78	3.35	2.417	1.1
6 SE	4.51	4.00	2.668	1.8
7 SSE	6.09	5.45	3.157	4.8
8 S	8.09	7.31	3.723	15.0
9 SSW	8.49	7.81	5.236	6.2
10 SW	6.08	5.39	2.029	0.9
11 WSW	5.99	5.30	2.265	0.6
12 W	5.78	5.15	1.763	0.5
13 WNW	6.89	6.11	2.391	0.7
14 NW	8.39	7.44	2.273	0.9
15 NNW	7.59	6.82	1.567	1.6
All	7.62	6.75	2.185	100.0

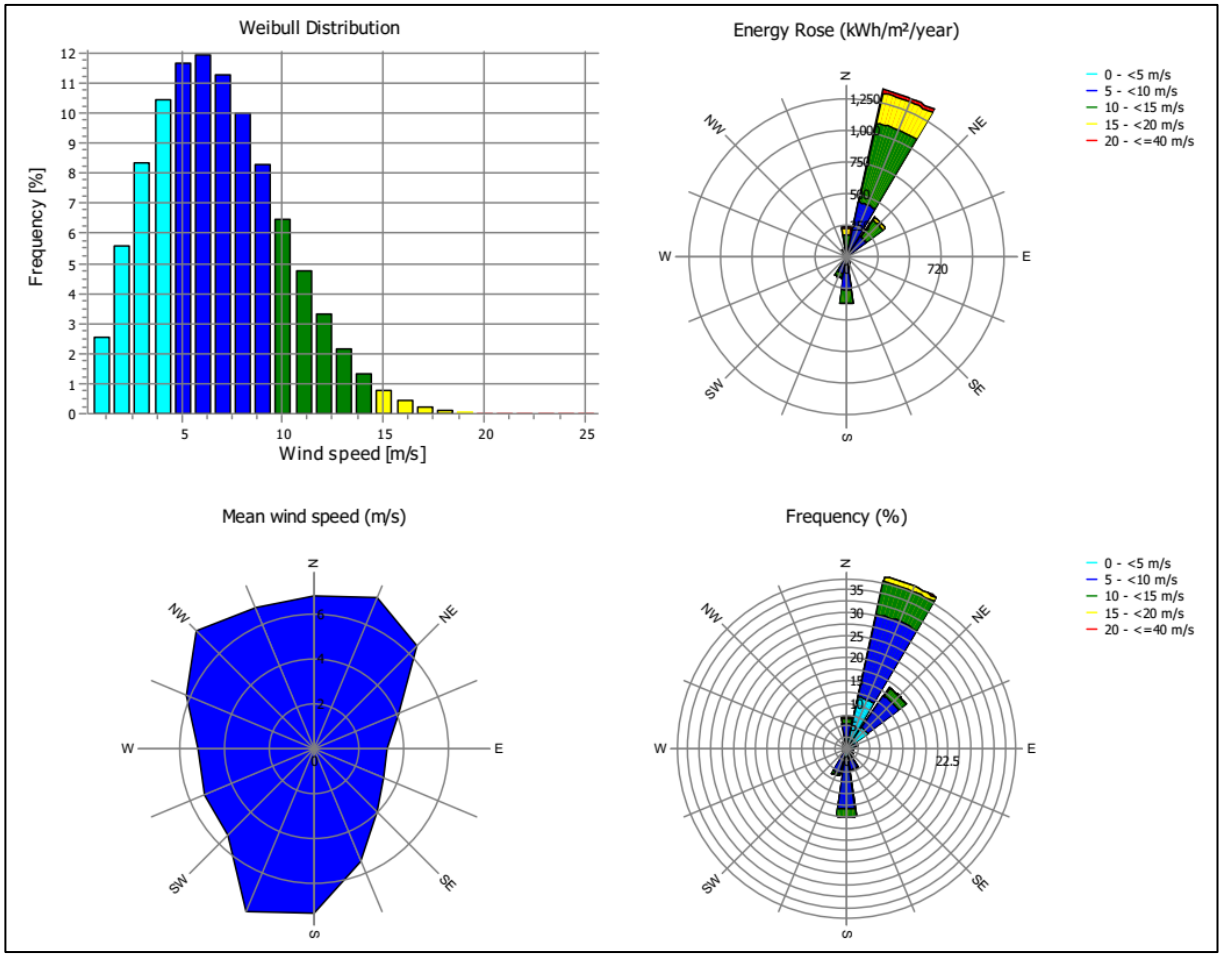
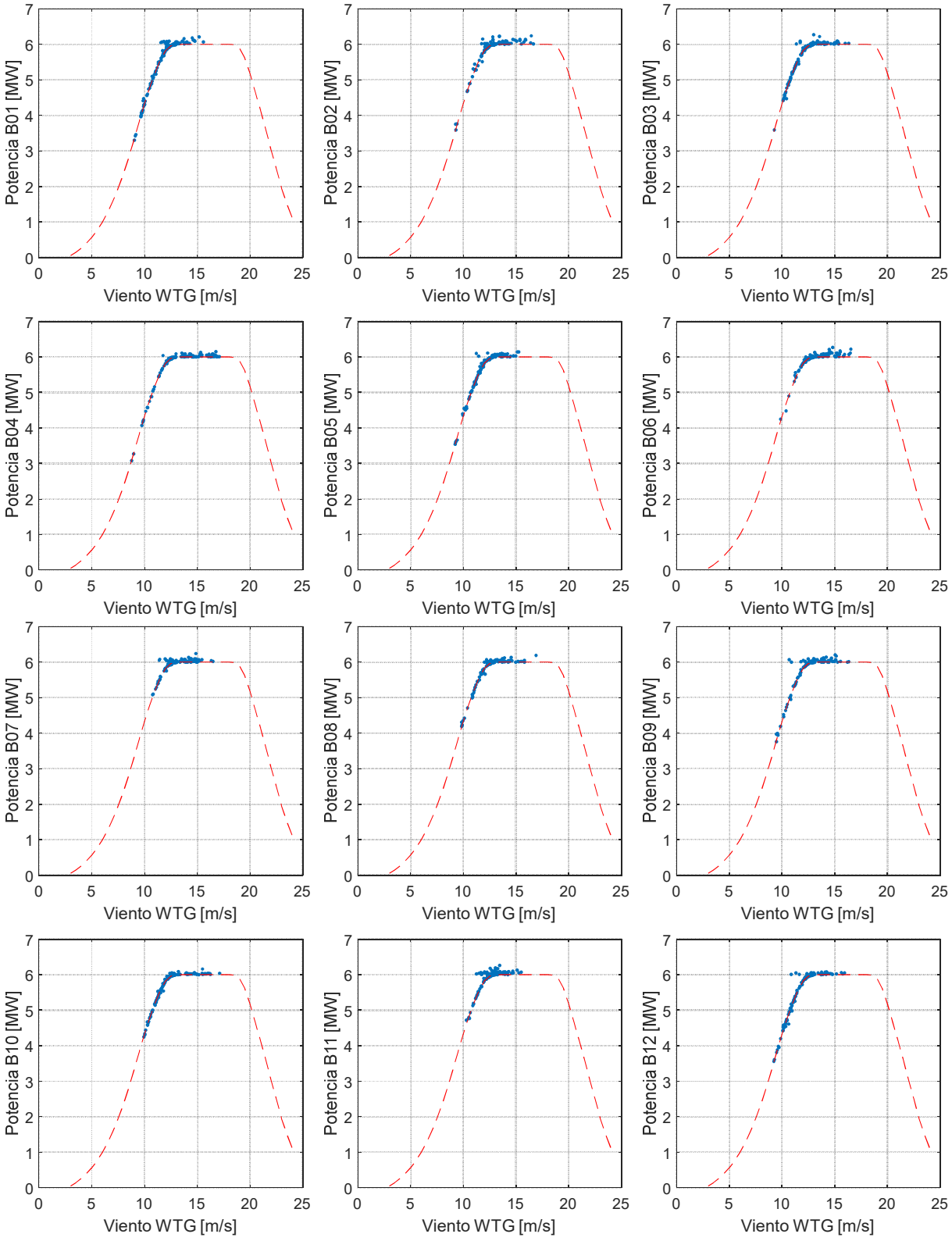
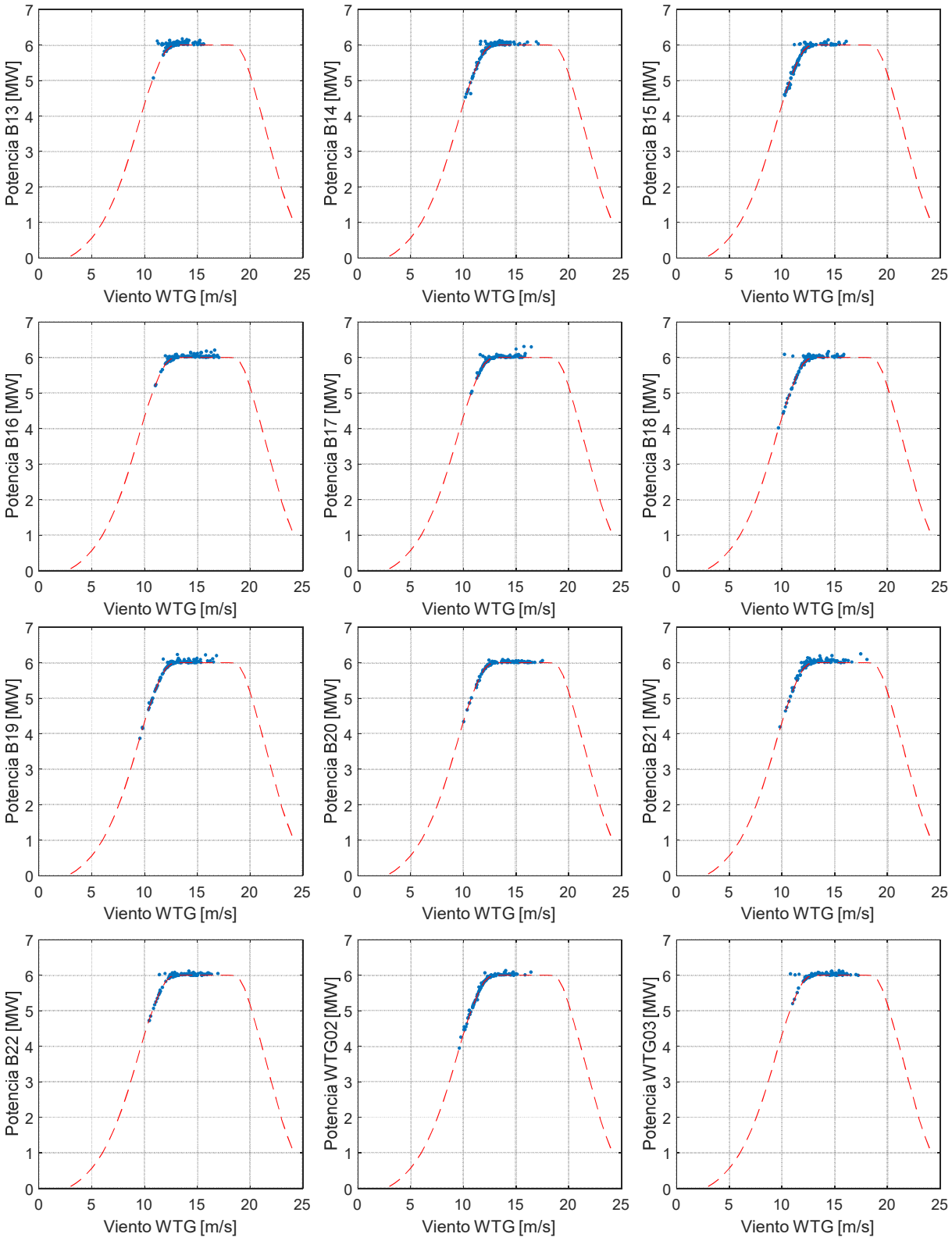
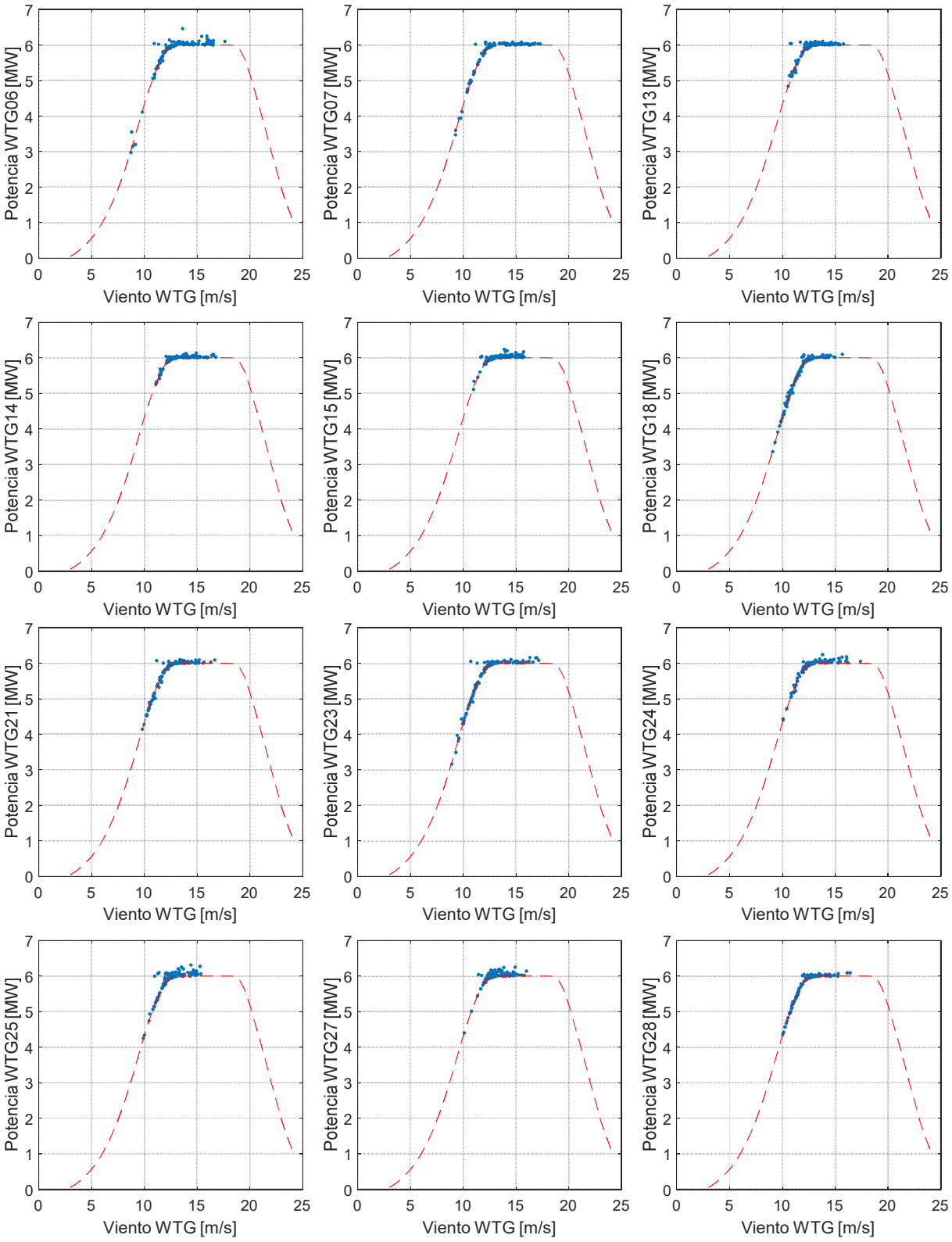


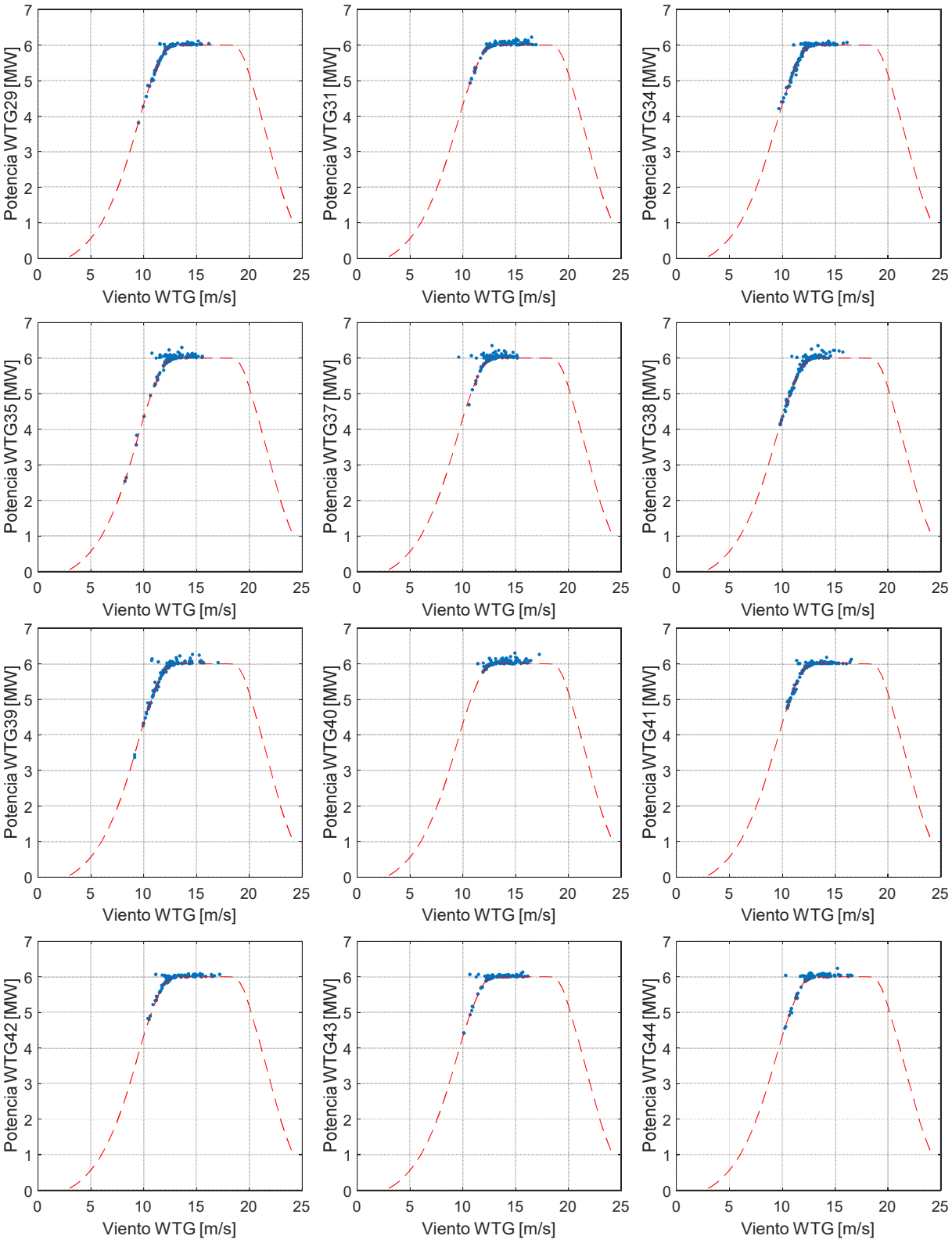
Gráfico 26. Estadísticas del recurso eólico del sitio.

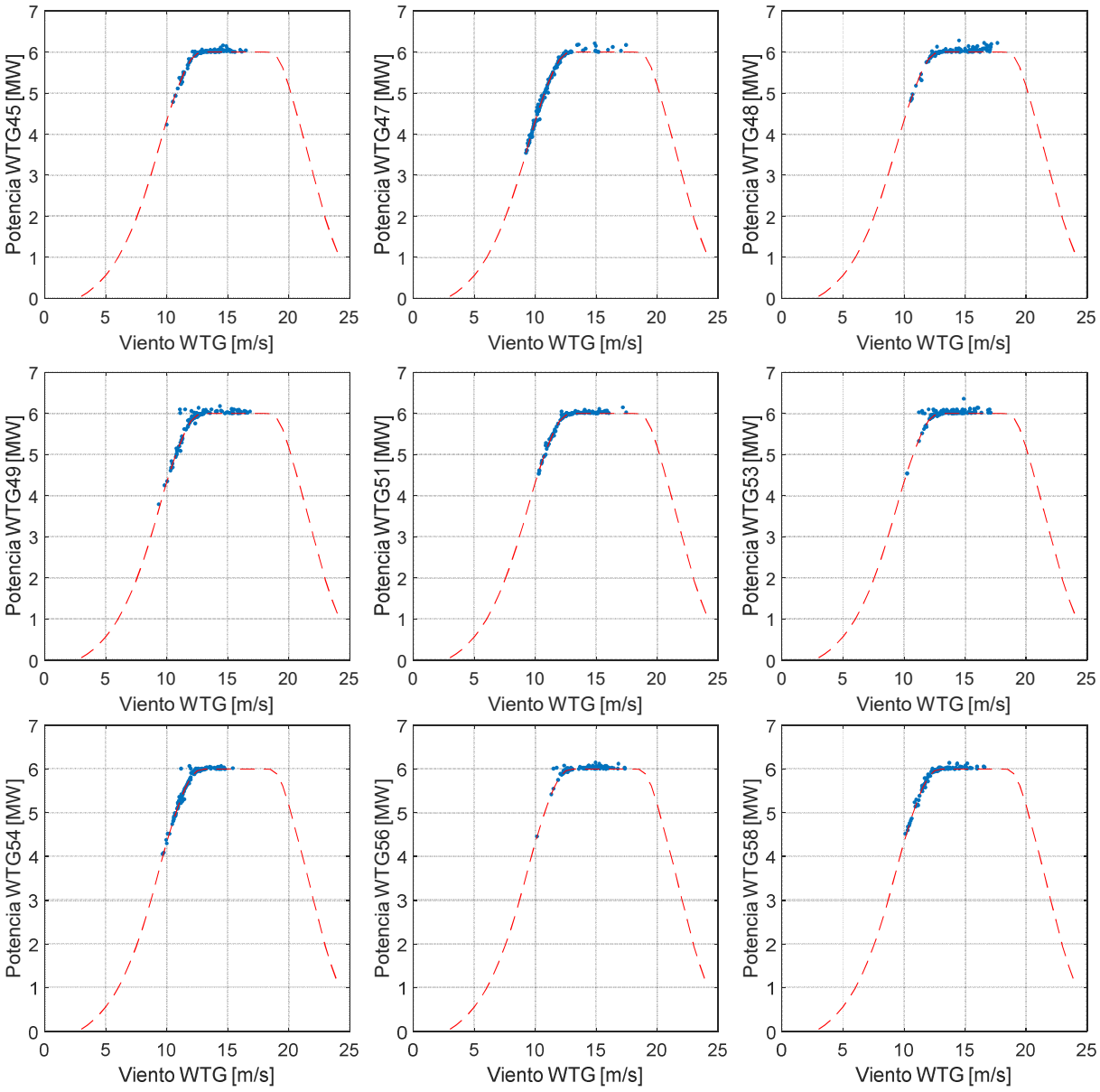
1.3. Potencia registrada en unidades durante las pruebas




Potencia B13 [MW]
Potencia B14 [MW]
Potencia B15 [MW]
Potencia B16 [MW]
Potencia B17 [MW]
Potencia B18 [MW]
Potencia B19 [MW]
Potencia B20 [MW]
Potencia B21 [MW]
Potencia B22 [MW]
Potencia WTG02 [MW]
Potencia WTG03 [MW]
Viento WTG [m/s]
0
1
2
3
4
5
6
7
0
5
10
15
20
25


Potencia WTG06 [MW]
Potencia WTG07 [MW]
Potencia WTG13 [MW]
Potencia WTG14 [MW]
Potencia WTG15 [MW]
Potencia WTG18 [MW]
Potencia WTG21 [MW]
Potencia WTG23 [MW]
Potencia WTG24 [MW]
Potencia WTG25 [MW]
Potencia WTG27 [MW]
Potencia WTG28 [MW]
Viento WTG [m/s]
0 1 2 3 4 5 6 7
0 5 10 15 20 25


Potencia WTG29 [MW]
Potencia WTG31 [MW]
Potencia WTG34 [MW]
Potencia WTG35 [MW]
Potencia WTG37 [MW]
Potencia WTG38 [MW]
Potencia WTG39 [MW]
Potencia WTG40 [MW]
Potencia WTG41 [MW]
Potencia WTG42 [MW]
Potencia WTG43 [MW]
Potencia WTG44 [MW]
Viento WTG [m/s]
0 1 2 3 4 5 6 7
0 5 10 15 20 25


Potencia WTG45 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG47 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG48 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG49 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG51 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG53 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG54 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG56 [MW]
Viento WTG [m/s]
Potencia WTG58 [MW]
Viento WTG [m/s]

2. DIAGRAMAS DEL CONTROL DE PLANTA

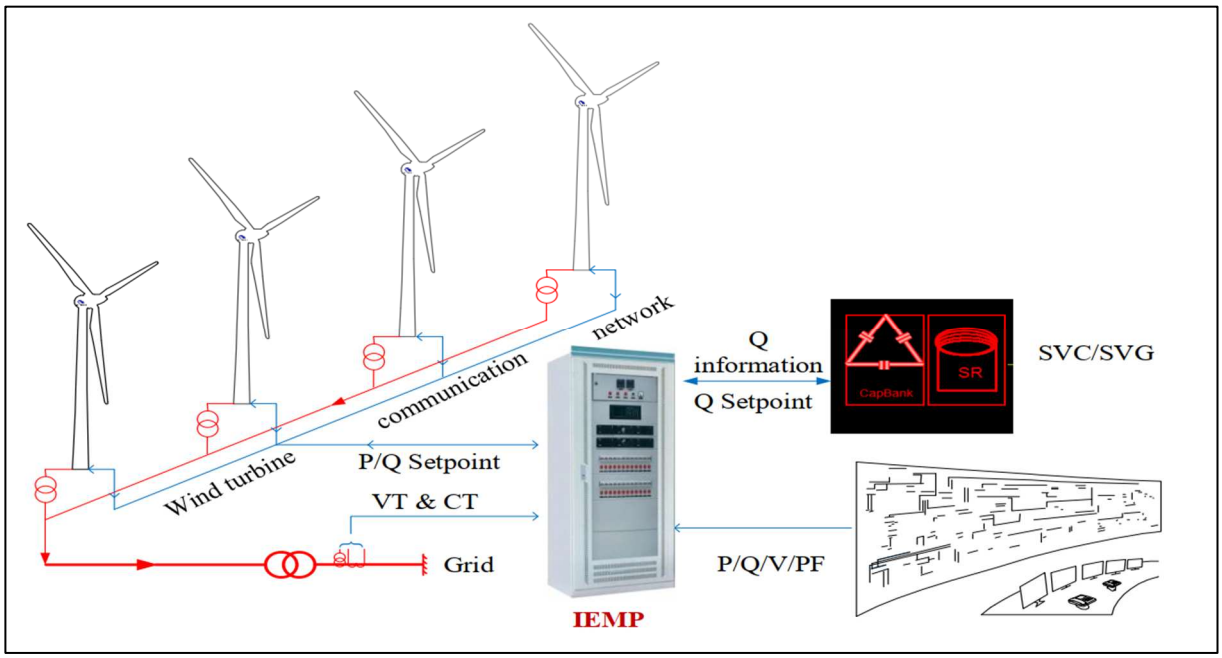


Gráfico 27. Esquema general de control del PPC.

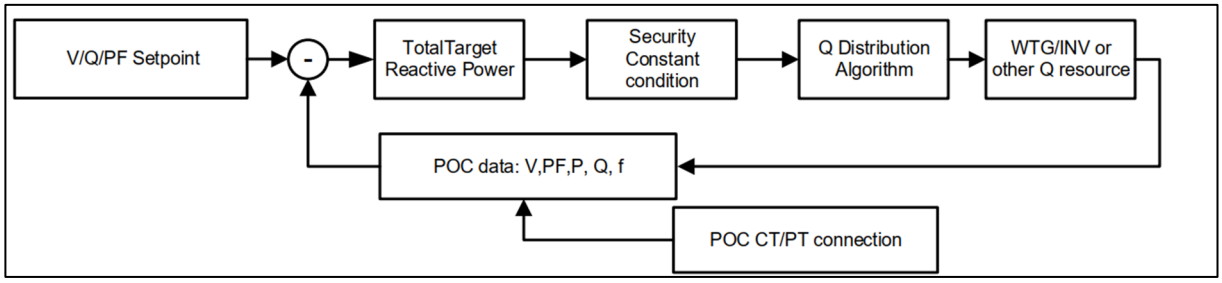


Gráfico 28. Lazo de control de tensión/potencia reactiva del PPC.

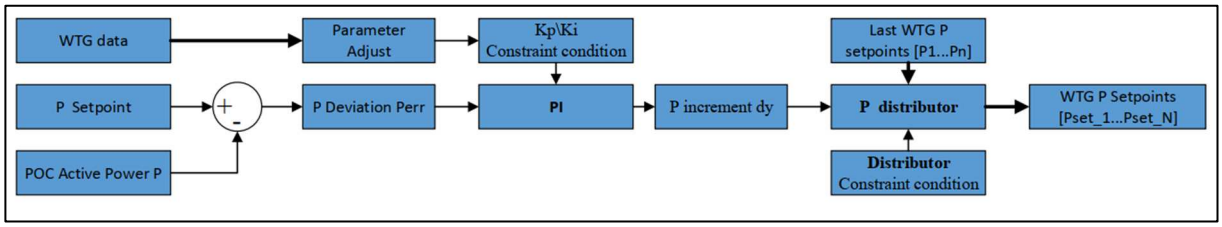


Gráfico 29. Lazo de control de frecuencia/potencia activa del PPC.

3. ARCHIVOS ADJUNTOS ENTREGADOS

Forman parte integral del presente informe los siguientes archivos que se entregan en forma adjunta:

- Registro de ensayos: Registros_PE_KALLPA_Pmax.rar

Todos los registros de ensayos del presente informe son entregados adjuntos en formato ".csv" y/o ".xlsx".