

Empresa
País
Proyecto
Descripción

ELECNOR CHILE S.A.
Chile
Parque Eólico Manantiales
Informe de Potencia Máxima



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-184
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0756
REVISIÓN A

27 jun. 24



Este documento **EE-EN-2024-0756-RA** fue preparado para ELECNOR CHILE S.A. por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

Informe realizado en colaboración con todas las empresas del grupo: **Estudios Eléctricos S.A., Estudios Eléctricos Chile, Estudios Eléctricos Colombia y Electrical Studies Corp.**

Este documento contiene 36 páginas y ha sido guardado por última vez el 27/06/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	27.06.2024	Para presentar	CiC	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



ÍNDICE

1	Introducción.....	4
	1.1 Fecha ensayo y personal auditor	4
	1.2 Medidores utilizados	5
	1.3 Nomenclatura utilizada	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS.....	6
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE.....	7
	3.1 Diagrama unilineal	7
	3.2 Datos de los aerogeneradores	10
	3.3 Datos de los transformadores de bloque.....	12
	3.4 Datos del transformador principal	13
	3.5 Datos de los Consumos de SSAA.....	14
4	DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	16
	4.1 Ensayo de Potencia Máxima – Valor medio horario	17
	4.1.1 Potencia Bruta	19
	4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares	19
	4.1.3 Potencia de Perdidas en la Central.....	19
	4.1.4 Potencia Neta.....	21
	4.1.5 Resultados	21
	4.2 Ensayo de Potencia Máxima – Valor máximo	22
	4.2.1 Potencia Bruta	24
	4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares	24
	4.2.3 Potencia de Perdidas en la Central.....	24
	4.2.4 Potencia Neta.....	26
	4.2.5 Resultados	26
5	CONCLUSIONES.....	27
6	ANEXOS	28
	6.1 Registros complementarios.....	28
	6.2 Velocidad viento históricos.....	32



1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Manantiales de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadores”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados el día 9 de junio de 2024.

El Parque Eólico Manantiales, cuenta con una potencia instalada de 29.5 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Litueche, Región de O'Higgins. Está constituido por 2 alimentadores, uno de ellos cuenta con 3 aerogeneradores y el otro cuenta con 2 unidades.

Los equipos utilizados son marca NORDEX modelo N163 TS148 de 5.9 MVA de capacidad nominal y de 750 V de tensión nominal. El transformador de bloque es de 6.35 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.75 kV / 23 kV ($\pm 4 \times 2.5\%$).

El parque se vincula al SEN mediante un transformador elevador de. 23 kV / (110 kV $\pm 10 \times 1.25\%$) de relación y de 100/133 MVA (ONAN/ONAF) de capacidad, ubicado en la S/E Elevadora Cardonal.

Los aerogeneradores se encuentran comandados por un control conjunto de planta (PPC) el cual permite el control de las variables eléctricas en su punto de interconexión en el lado de alta tensión del transformador elevador.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Fernando Montecinos	9 de junio de 20224

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Las señales utilizadas para la determinación de los resultados han sido provistas por ELEC NOR CHILE S.A. y se encuentran registradas considerando una muestra cada 40 milisegundos para las variables medidas en el punto de interconexión y una muestra por segundo para los valores asociados a cada aerogenerador.

1.3 Nomenclatura utilizada

La Figura 1.1 muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

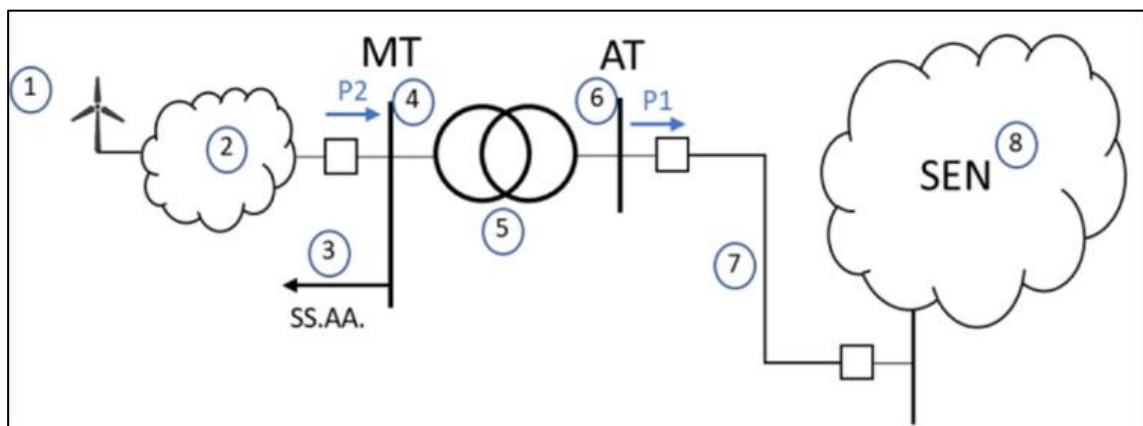


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 1) **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del parque eólico.
- 2) **Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector):** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
- 3) **Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.).**
- 4) **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque 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).**



2 ASPECTOS NORMATIVOS

El “**Anexo Técnico:** Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras” establece las metodologías y procesos para efectuar los ensayos de verificación del máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación.

El **Artículo 39** es el que corresponde considerar para el caso en cuestión debido a que se trata de una central cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación (no hay almacenamiento de energía). Éste establece que el valor de Potencia Máxima deberá ser obtenido 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.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Manantiales, cuenta con una potencia instalada de 29.5 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Litueche, Región de O'Higgins. Está constituido por 2 nuevos alimentadores que se interconectan a la barra principal de media tensión del Parque Eólico Cardonal (NUP 995).

Uno de los alimentadores cuenta con dos aerogeneradores y el otro cuenta con 3 unidades con sus respectivos transformadores de bloque. Los equipos utilizados son marca NORDEX modelo N163 TS148 de 5.9 MVA de capacidad nominal y de 750 V de tensión nominal. El transformador de bloque es de 6.35 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.75 kV / 23 kV ($\pm 4 \times 2.5\%$).

La disposición de los aerogeneradores dentro de los circuitos colectores es la siguiente:

- Circuito N°4: Aerogeneradores D01, D02, D03.
- Circuito N°5: Aerogeneradores E01, E02.

El parque se vincula al SEN mediante un transformador elevador de. 23 kV / (110 kV $\pm 10 \times 1.25\%$) de relación y de 100/133 MVA (ONAN/ONAF) de capacidad, ubicado en la S/E Elevadora Cardonal.

Los aerogeneradores se encuentran comandados por un control conjunto de planta (PPC) el cual permite el control de las variables eléctricas en su punto de interconexión en el lado de alta tensión del transformador elevador.

3.1 Diagrama unilineal

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama unilineal de la barra principal de 23 kV y el transformador principal (enmarcado en recuadro verde) del Parque Eólico Manantiales. Los recuadros azules enmarcan los 3 paños asociados a las 5 unidades del Parque Eólico Manantiales.

En la Figura 3.2 se muestra el detalle de la red colectora del parque, el recuadro verde enmarca los circuitos colectores correspondientes al Parque Eólico Manantiales, que agrupan las 5 unidades del parque.

La medición de potencia neta se realiza directamente en el punto de interconexión de la instalación, es decir, el devanado de 110 kV del transformador principal (recuadro verde en Figura 3.1). En tanto, la medición de potencia bruta se realiza considerando el registro de potencia medido en bornes de cada aerogenerador del parque (recuadro azul en Figura 3.2).

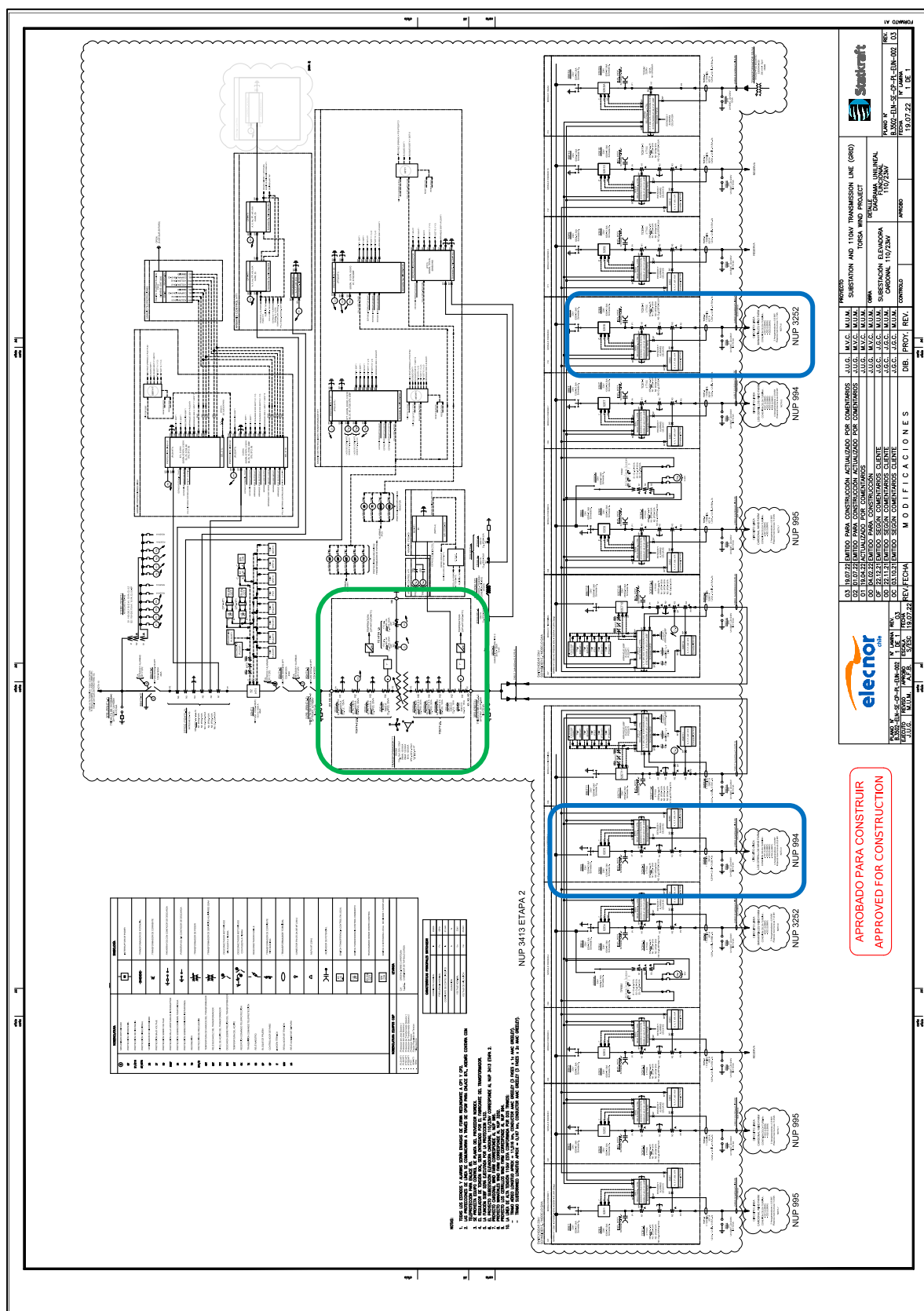


Figura 3.1 – Diagrama unilineal del Parque Eólico Manantiales

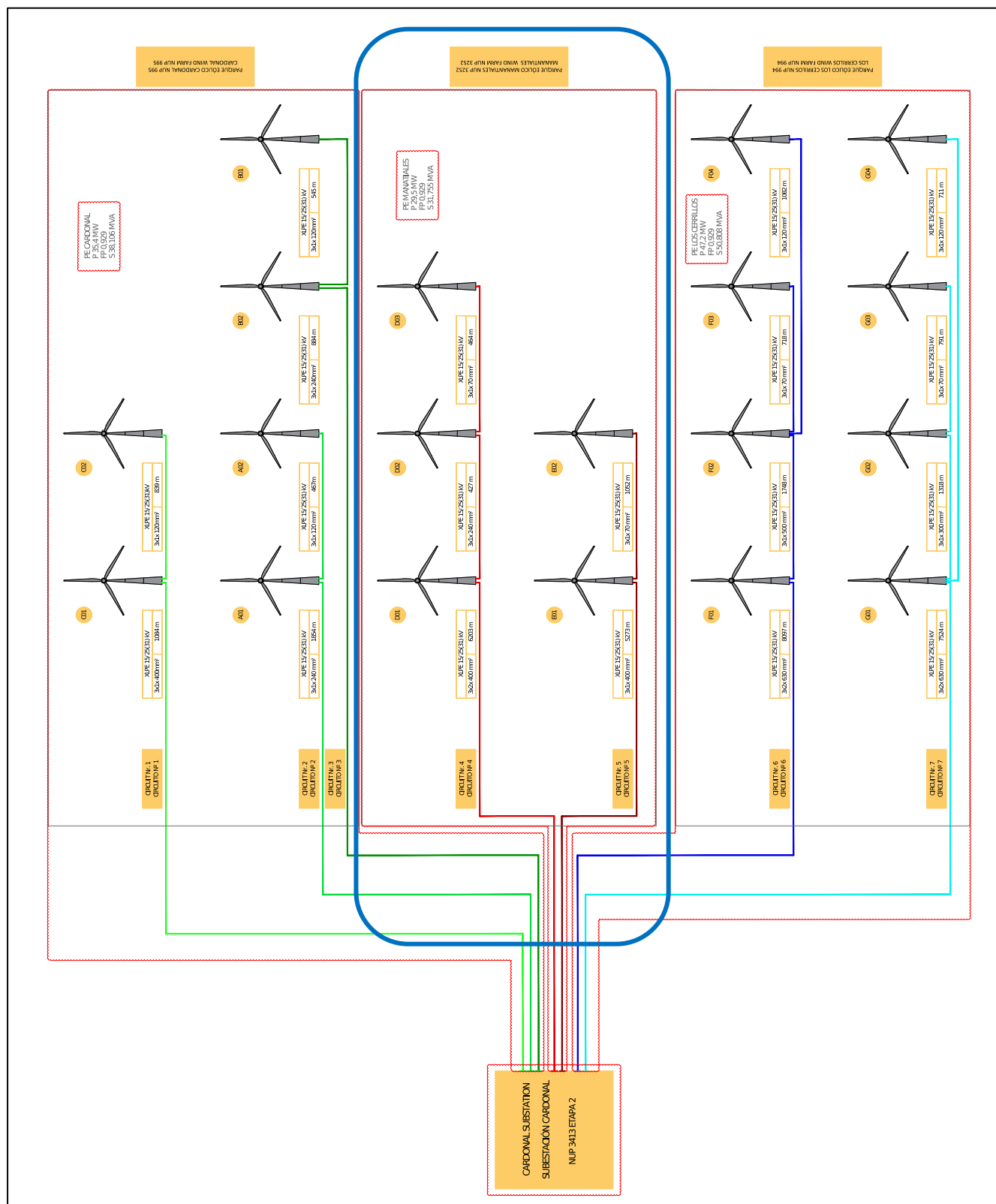


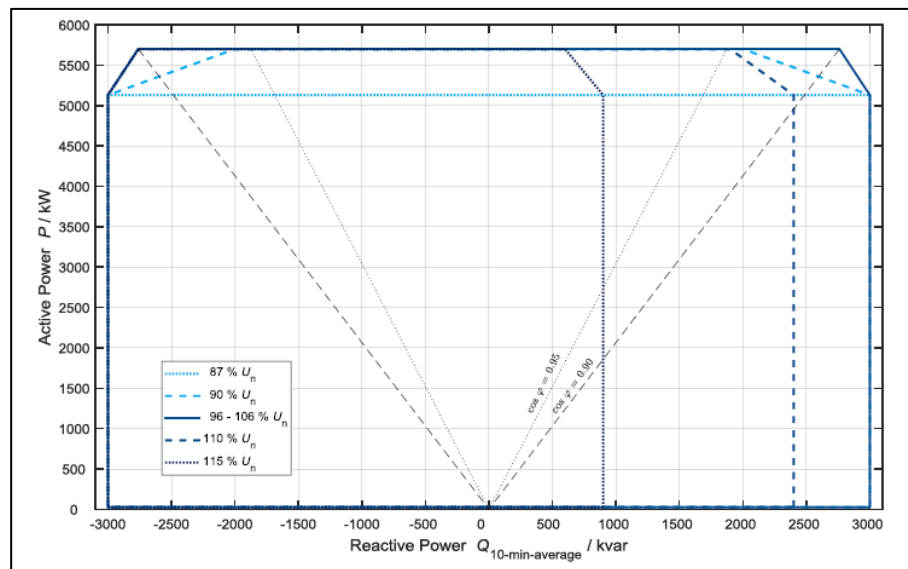
Figura 3.2 – Red colectora del Parque Eólico Manantiales



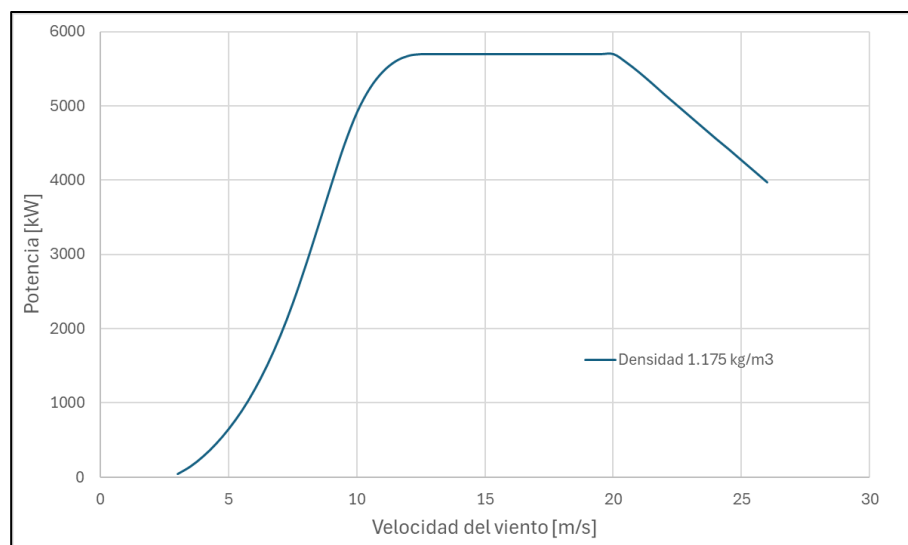
3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Manantiales considera la instalación de 5 aerogeneradores marca NORDEX modelo N163 TS148 de 5.9 MVA de capacidad nominal y de 750 V de tensión nominal. Los aerogeneradores son del tipo 3, es decir, generadores de inducción doblemente alimentados y cuentan con un convertidor de potencia en el enrollado del rotor.

La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 3.3.



Se presenta en la Figura 3.4 la curva de potencia según velocidad del viento del aerogenerador.





En la Figura 3.5 se muestra la información asociada a los consumos propios de los aerogeneradores provista por el fabricante. Se aclara que la media de consumo es de aproximadamente 15 kW.

2.5 Auxiliary power of the wind turbine

The auxiliary low voltage required by the wind turbine in stand-by mode and feed-in mode is requested by the following consumers:

- System control including main converter control
- 400 V/230 V auxiliary power of the main converter
- 230 V AC UPS supply including 24 V DC supply
- Yaw system
- Pitch system
- Auxiliary drives such as pumps, fans and lubrication units
- Heating and lighting
- Auxiliary systems such as service lift, obstacle lights

Long-term measurements show that the average annual base load of the low-voltage auxiliary power plant in WT feed-in operation is approx. 15 kW in the average 10 min mean value and the maximum 10-min average value can reach up to 25 kW/32kVA. These values are already included in the power curves.

For locations with an average annual wind speed of 6.5 m/s approx. 10 MWh auxiliary consumption arise, however, this value is greatly dependent on location.

Auxiliary consumption is defined as the energy consumption of the WT from the grid for a period during which the WT does not supply current to the grid.

Figura 3.5 – Consumos propios de aerogeneradores



3.3 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico Manantiales considera la instalación de 5 transformadores de bloque de dos devanados que permiten la interconexión del aerogenerador en media tensión. Su relación de transformación es de 0.75 / 23 kV y de 6.35 MVA de capacidad nominal.

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

Parámetro	Valor
Potencia nominal	6.35 MVA
Refrigeración	KFWF
Tensión nominal lado HV	23 kV
Tensión nominal lado LV	0.75 kV
Grupo de conexión	Dy5
Impedancia	9.0 %
Pérdidas en carga	68 kW
Pérdidas en vacío	2.72 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque de los aerogeneradores



3.4 Datos del transformador principal

El Parque Eólico Manantiales se interconecta al SEN por medio del devanado de 23 kV del transformador de poder de dos devanados de relación 23 / 110 kV ($\pm 10 \times 1.25\%$) y de capacidad 100/130 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

Los datos característicos para el modelo del transformador se muestran en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	100/133 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	110 kV
Tensión nominal lado LV	23 kV
Grupo de conexión	YNd1
Impedancia	16.51 %
Pérdidas en carga	229.34 kW
Pérdidas en vacío	51.07 kW
Posiciones de TAP	$\pm 10 \times 1.25 \%$

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.5 Datos de los Consumos de SSAA

El Parque Eólico Manantiales cuenta con un transformador de poder de 200 kVA de potencia aparente nominal para alimentar sus servicios auxiliares. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.4 kV y un arrollamiento de alta tensión de 23 kV.

En los documentos “B.3502-ELN-SE-CP-MC-001_01” y “B.3502-ELN-SE-CP-MC-002_01” (adjuntos) se presentan las memorias de cálculo asociadas a los consumos auxiliares en corriente alterna y en corriente continua respectivamente.

En las Figura 3.6 y Figura 3.7 se presentan los resúmenes de cargas asociadas a los servicios auxiliares de corriente alterna y corriente continua respectivamente. De lo presentado se aprecia que el total de consumos esenciales es de 57.4 kW

ESTIMACIÓN DE CONSUMOS ESENCIALES DE 380/220 VCA												
Cto N°	Tag tablero/alimentador	Equipo	Carga calefacción [W]	Carga iluminación [W]	Otras cargas [W]	Potencia por equipo [W]	Factor de Demanda	Potencia Total [W]	Intensidad [A]			Protección
									Fase A	Fase B	Fase C	
1	CCB1	Cargador de baterías N°1	0	0	9375	9375	0,8	7500	15,85	15,85	15,85	3x25A
2	CCB2	Cargador de baterías N°2	0	0	9375	9375	0,8	7500	15,85	15,85	15,85	3x25A
3	TDCA-E-003	Alumbrado patio	0	1914	0	1914	1,0	1914	3,23	3,23	3,23	3x10A
4	CTRL	Control alumbrado patio	0	0	100	100	1,0	100	0,0	0,0	0,5	1x10A
5	GEN1	Alimentación grupo de emergencia	200	100	1000	1300	1,0	1300	2,20	2,20	2,20	3x10A
6	TDCA_O&M	Alimentación sala O&M	0	0	29368	29368	1,0	29368	42,21	43,35	47,93	3x63A
7	TCCTV	Alimentación sistema de Televigilancia	0	0	800	800	1,0	800	3,64	0,0	0,0	1x10A
8	89HT1;89HT2;89HT3	Motor desconectores	0	0	750	750	1,0	750	1,27	1,27	1,27	3x10A
9	52HT1	Motor interruptor	0	0	800	800	1,0	800	0,0	0,0	3,64	1x10A
10	HT1_ETOS	Alimentación mando motor CDBC	300	100	0	400	1,0	400	0,68	0,68	0,68	3x10A
11	ACC_PE	Armario Nordex P.E. N°1 (2kVA)	0	0	1800	1800	1,0	1800	8,18	0,0	0,0	1x16A
12	ACC_PE	Armario Nordex P.E. N°2 (2kVA)	0	0	1800	1800	1,0	1800	0,0	8,18	0,0	1x16A
13	TDCA-E-013	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1x10A
14	TDCA-E-014	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1x10A
15	TDCA-E-015	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	1x16A
16	TDCA-E-016	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	3x10A
17	TDCA-E-017	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	3x25A
18	TDCA-E-018	Reserva equipada	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	3x63A
Total [W]						57.782		54.032	93,1	90,6	91,1	

Figura 3.6 – Estimación de consumos esenciales de CA



A.- CONSUMO C1, CARGAS PERMANENTES								
UBICACIÓN	ITEM	DESCRIPCIÓN	TAG	CANT.	POTENCIA UNITARIA [W]	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	POTENCIA TOTAL [W]	CORRIENTE [A]
SALA ELÉCTRICA Y PATIO	1	Armario de Control y Medida HT1	CTRL_HT1	1	227	1,00	227,22	1,82
	2	Armario Protección de Línea	PROT_H1	1	177	1,00	177,21	1,42
	3	Armario Protección de Transformador HT1	PROT_HT1	1	264	1,00	264	2,11
	4	Armario SCADA	ACC1	1	915	1,00	915	7,32
	5	Armario Teleprotecciones F.O.	TELEPRO_01	1	50	1,00	50	0,40
	6	Armario F.O. PE (por definir)	FO_PE	1	45	1,00	45	0,36
	7	Armarios Celdas 23kV Barra 1	H01...H06	1	736	1,00	736	5,89
	8	Armarios Celdas 23kV Barra 2	H07...H13	1	786	1,00	786	6,29
	11	CAR-TDCA medidor SSAA	CAR-TDCA	1	20	1,00	20	0,16
	12	Gabinete de control Transformador	TR1	1	152	1,00	152	1,22
	SUBTOTAL CONSUMO C1						3372,43	26,98

Figura 3.7 – Estimación de consumos esenciales de CC



4 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

El “**Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras**” establece las metodologías y procesos para efectuar los ensayos de verificación del máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación.

Para el Parque Eólico Manantiales corresponde al máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener el sistema de generación y deberá ser obtenido a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.

En la sección 4.1 se presenta el ensayo de potencia máxima considerando la operación simultánea y estable de todas las unidades, se presenta el registro de una hora de operación continua de la instalación en la mejor condición de viento.

En tanto, en la sección 4.2 se presenta el mayor valor de potencia registrado que permite verificar el desempeño de las unidades a potencia nominal.

Para la prueba de Potencia Máxima realizada, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Manantiales	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la sumatoria de potencia bruta medida directamente en bornes de la unidad de generación con sus consumos propios.
- (2) **Potencia de SS. AA:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando los aerogeneradores en servicio), más los SS.AA. de la central.
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal.



4.1 Ensayo de Potencia Máxima – Valor medio horario

El día 9 de junio de 2024 se realizó el ensayo de Potencia Máxima de planta completa, es decir, con los 5 aerogeneradores del parque en servicio. Cabe mencionar que durante el desarrollo de las pruebas los circuitos colectores asociados a otras instalaciones (circuitos 1, 2, 3, 6 y 7 en Figura 3.2) se encuentran desconectados.

Se realiza una prueba de operación completa del parque sin restricción en la generación con una duración de 1 hora en la mejor condición de viento disponible. En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}) de la prueba completa, en la línea roja segmentada se aprecia un valor medio de 26.3280 MW inyectado en el lado de 110 kV del transformador principal del parque.

En tanto, en la Figura 4.2 se muestra el registro de potencia de los aerogeneradores (P_{WTG}) de la prueba completa, en la línea roja segmentada se aprecia un valor medio de 26.9253 MW considerando la inyección en bornes de todas las unidades.

Finalmente, se presenta en la Figura 4.3 el registro de velocidad de viento media del parque para la prueba completa. En la línea roja segmentada se aprecia una media de 12.2 m/s para el período considerado, de forma referencial se traza en la línea negra segmentada el valor de velocidad de viento nominal de 12.5 m/s.

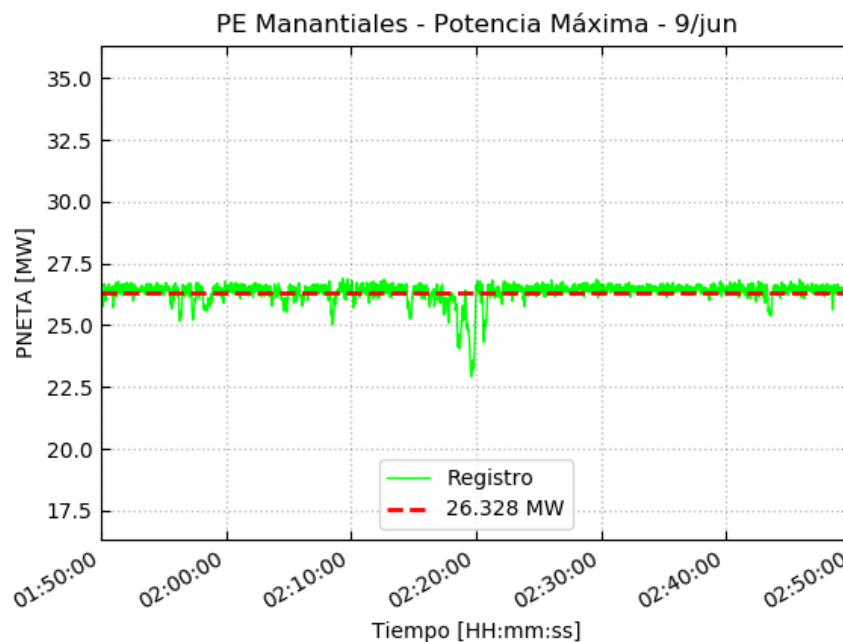


Figura 4.1 – Potencia neta – Valor medio horario

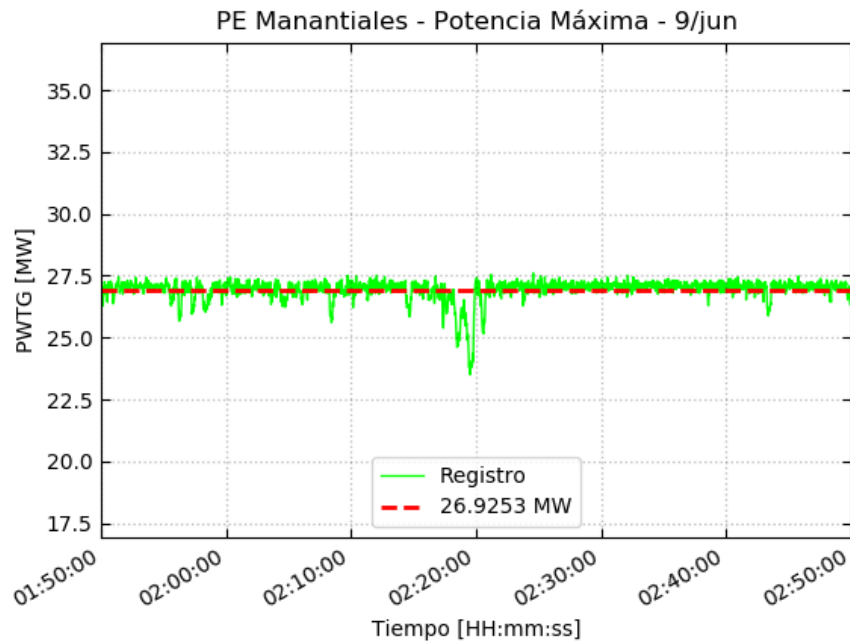


Figura 4.2 – Potencia de aerogeneradores – Valor medio horario

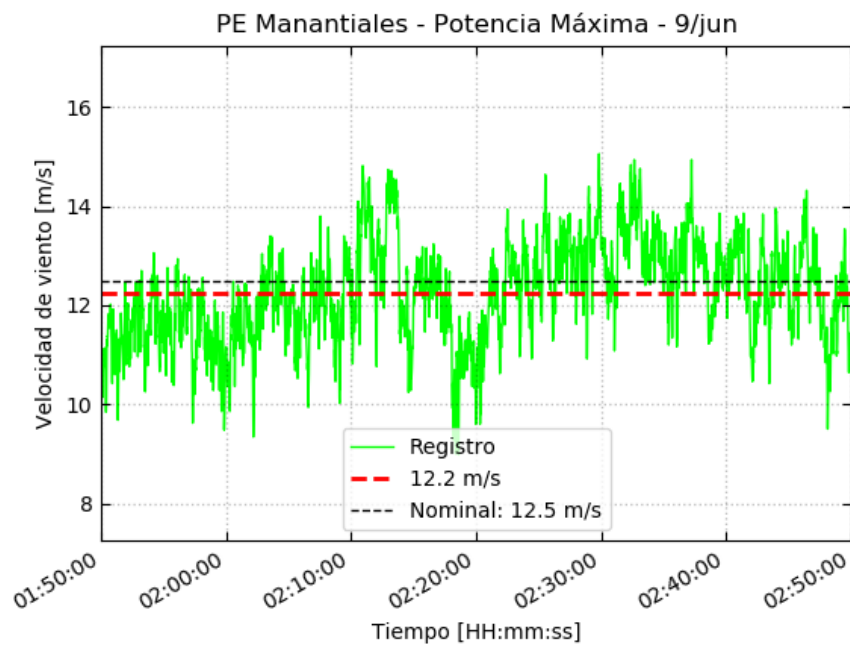


Figura 4.3 – Velocidad de viento – Valor medio horario



4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.2, se realiza en bornes de los equipos y ya se encuentran descontados los consumos propios de los aerogeneradores. Estos consumos se estiman en 15.0 kW según se observa en la Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}) se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{Bruta} = P_{WTG} + N^{\circ} WTG \times \text{Consumos propios}$$

$$P_{Bruta} = 26.9253 \text{ MW} + 5 \times 15.0 \text{ kW} = 27.0003 \text{ MW}$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando la totalidad de unidades en servicio) más los consumos del transformador de SSAA ($P_{TR,SSAA}$) estimados en la sección 3.5.

Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 15.0 kW.

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

$$P_{SSAA} = N^{\circ} WTG \times \text{Consumos Propios} + P_{TR,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 5 \times 15.0 \text{ kW} + 57.4 \text{ kW} = 132.4 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.1324 \text{ MW}$$

4.1.3 Potencia de Pérdidas en la Central

La **Potencia de Pérdidas en la Central** ($P_{perd,central}$) corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central y en la red de media tensión que considera los transformadores de bloque y circuitos colectores de la planta.

La potencia de pérdidas de la central se obtiene considerando la diferencia entre la potencia neta (ver Figura 4.1) y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 4.2). Además, se deben considerar los consumos de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 57.4 kW según se presenta en la sección 3.5.



La expresión para el cálculo de potencia de pérdidas de la central se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{WTG} - P_{TR,SSAA} - P_{Neta}$$

$$P_{perd,central} = 26.9253 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 26.3280 \text{ MW} = 0.5399 \text{ MW}$$

El valor de potencia de pérdidas de la central debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{perd,redMT}$)

La potencia de pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal}}$) considera las pérdidas en vacío ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) y en carga ($P_{perd,TR_{ppal},carga}$) del equipo. Las pérdidas en carga se determinan a partir del valor de potencia inyectada en el lado de 110 kV del equipo.

Las pérdidas en carga del transformador principal se calculan según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = P_{perd,TR_{ppal},carga,nominal} \times \left(\frac{P_{WTG}}{S_{nom,tr_{ppal}}} \right)^2$$

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 229.34 \text{ kW} \times \left(\frac{26.9253 \text{ MW}}{133.0 \text{ MVA}} \right)^2 = 9.40 \text{ kW}$$

Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 3.2.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = 51.07 \text{ kW}$$

Por tanto, las pérdidas del transformador principal quedan determinadas según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TR_{ppal}} = P_{perd,TR_{ppal},vacío} + P_{perd,TR_{ppal},carga}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 51.07 \text{ kW} + 9.40 \text{ kW} = 60.47 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0605 \text{ MW}$$



En tanto, el valor de potencia de pérdidas en la red colectora de media tensión se determinan considerando la diferencia de la potencia de pérdidas en la central y la determinada para el transformador principal. Se presenta el cálculo según la siguiente expresión.

$$P_{perd,MT} = P_{perd,central} - P_{perd,TR_{ppal}}$$

$$P_{perd,MT} = 0.5399 \text{ MW} - 0.0605 \text{ MW} = 0.4794 \text{ MW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Manantiales corresponde a la potencia inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del parque (POI). Se obtiene un valor máximo de operación estable de 26.3280 MW.

$$P_{Neta} = 26.3280 \text{ MW}$$

4.1.5 Resultados

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

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Manantiales	27.0003	0.1324	0.5399	26.3280

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Manantiales – Valor medio horario



4.2 Ensayo de Potencia Máxima – Valor máximo

A partir del ensayo presentado en la sección anterior, se determina el valor medio máximo que el parque sostiene de forma estable. Tal como se menciona en la sección anterior, se considera la operación de las 5 unidades del parque en servicio.

En la Figura 4.4 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}) para el período de máxima generación, en la línea roja segmentada se aprecia un valor medio de 26.4720 MW inyectado en el lado de 110 kV del transformador principal del parque.

En tanto, en la Figura 4.5 se muestra el registro de potencia de los aerogeneradores (P_{WTG}) para el período de máxima generación, en la línea roja segmentada se aprecia un valor medio de 27.0741 MW considerando la inyección en bornes de todas las unidades. El valor medido implica un despacho aproximado de 5.41 MW por cada unidad, en la sección 6.1 se muestra el registro de cada aerogenerador durante la prueba.

Finalmente, se presenta en la Figura 4.6 el registro de velocidad de viento media del parque para el período de máxima generación. En la línea roja segmentada se aprecia una media de 13.1 m/s para el período considerado, de forma referencial se traza en la línea negra segmentada el valor de velocidad de viento nominal de 12.5 m/s.

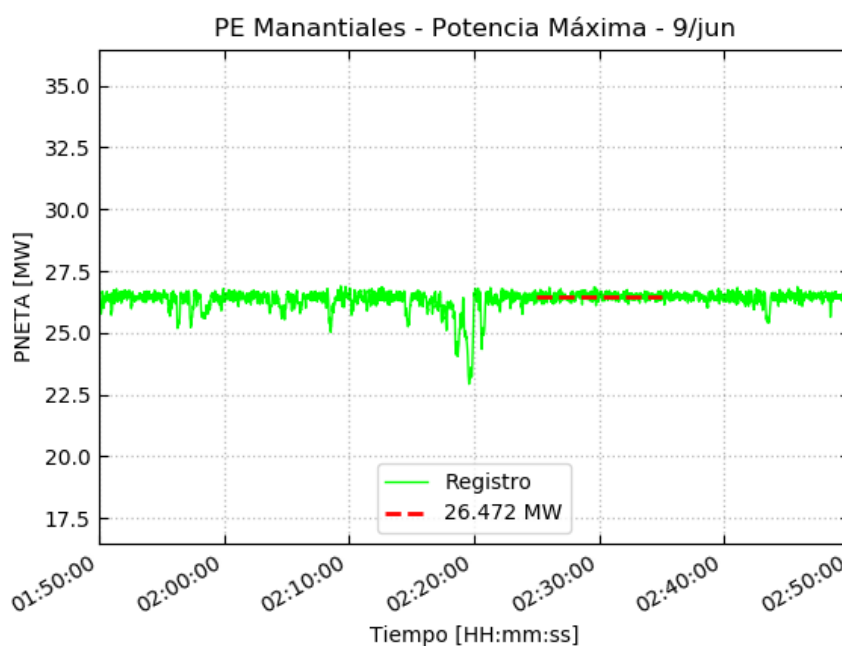


Figura 4.4 – Potencia neta – Valor máximo

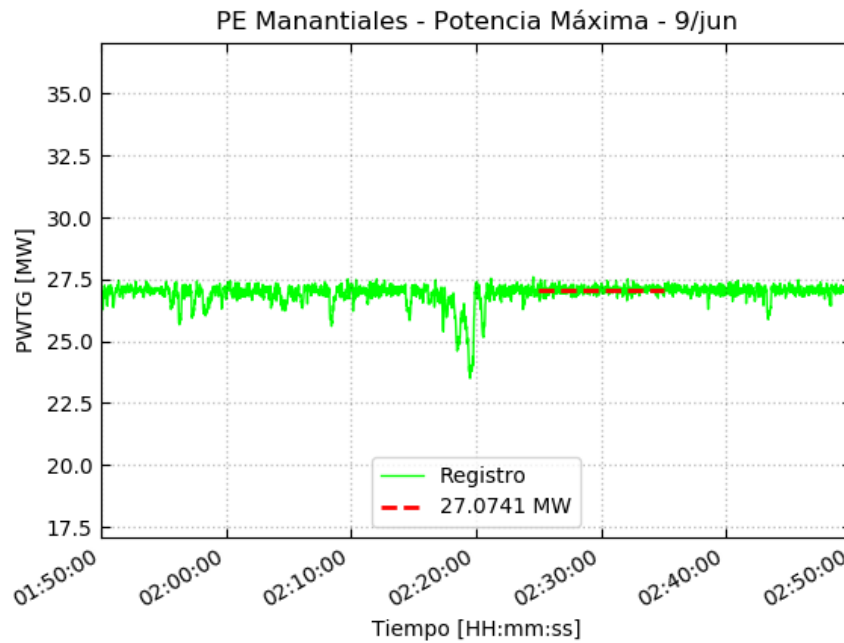


Figura 4.5 – Potencia de aerogeneradores – Valor máximo

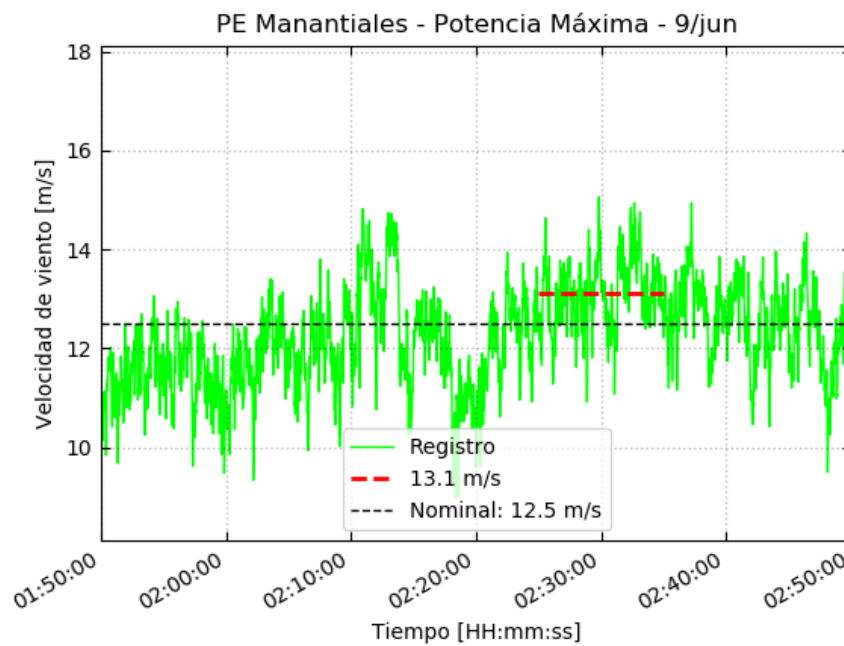


Figura 4.6 – Velocidad de viento – Valor máximo



4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.2, se realiza en bornes de los equipos y ya se encuentran descontados los consumos propios de los aerogeneradores. Estos consumos se estiman en 15.0 kW según se observa en la Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}) se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{Bruta} = P_{WTG} + N^{\circ} WTG \times \text{Consumos propios}$$

$$P_{Bruta} = 27.0741 \text{ MW} + 5 \times 15.0 \text{ kW} = 27.1491 \text{ MW}$$

4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando la totalidad de unidades en servicio) más los consumos del transformador de SSAA ($P_{TR,SSAA}$) estimados en la sección 3.5.

Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 15.0 kW.

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

$$P_{SSAA} = N^{\circ} WTG \times \text{Consumos Propios} + P_{TR,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 5 \times 15.0 \text{ kW} + 57.4 \text{ kW} = 132.4 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.1324 \text{ MW}$$

4.2.3 Potencia de Pérdidas en la Central

La **Potencia de Pérdidas en la Central** ($P_{perd,central}$) corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central y en la red de media tensión que considera los transformadores de bloque y circuitos colectores de la planta.

La potencia de pérdidas de la central se obtiene considerando la diferencia entre la potencia neta (ver Figura 4.1) y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 4.2). Además, se deben considerar los consumos de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 57.4 kW según se presenta en la sección 3.5.



La expresión para el cálculo de potencia de pérdidas de la central se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{WTG} - P_{TR,SSAA} - P_{Neta}$$

$$P_{perd,central} = 27.0741 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 26.4720 \text{ MW} = 0.5447 \text{ MW}$$

El valor de potencia de pérdidas de la central debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{perd,redMT}$)

La potencia de pérdidas del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal}}$) considera las pérdidas en vacío ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) y en carga ($P_{perd,TR_{ppal},carga}$) del equipo. Las pérdidas en carga se determinan a partir del valor de potencia inyectada en el lado de 110 kV del equipo.

Las pérdidas en carga del transformador principal se calculan según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = P_{perd,TR_{ppal},carga,nominal} \times \left(\frac{P_{WTG}}{S_{nom,tr_{ppal}}} \right)^2$$

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 229.34 \text{ kW} \times \left(\frac{27.0741 \text{ MW}}{133.0 \text{ MVA}} \right)^2 = 9.50 \text{ kW}$$

Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 3.2.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = 51.07 \text{ kW}$$

Por tanto, las pérdidas del transformador principal quedan determinadas según la siguiente expresión.

$$P_{perd,TR_{ppal}} = P_{perd,TR_{ppal},vacío} + P_{perd,TR_{ppal},carga}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 51.07 \text{ kW} + 9.50 \text{ kW} = 60.57 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0606 \text{ MW}$$



En tanto, el valor de potencia de pérdidas en la red colectora de media tensión se determinan considerando la diferencia de la potencia de pérdidas en la central y la determinada para el transformador principal. Se presenta el cálculo según la siguiente expresión.

$$P_{perd,MT} = P_{perd,central} - P_{perd,TR_{ppal}}$$

$$P_{perd,MT} = 0.5447 \text{ MW} - 0.0606 \text{ MW} = 0.4841 \text{ MW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Manantiales corresponde a la potencia inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del parque (POI). Se obtiene un valor máximo de operación estable de 26.4720 MW.

$$P_{Neta} = 26.4720 \text{ MW}$$

4.2.5 Resultados

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

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Manantiales	27.1491	0.1324	0.5447	26.4720

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Manantiales – Valor máximo



5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado el valor de **Potencia Máxima** del Parque Eólico Manantiales. Se ha demostrado la capacidad del parque de operar de forma estable con la totalidad de unidades en servicio y se obtiene el valor de potencia máxima considerando la mejor condición de velocidad de viento.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Manantiales	27.0003	0.1324	0.5399	26.3280

Tabla 5.1 – Potencia Máxima – Parque Eólico Manantiales – Valor medio horario

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Manantiales	27.1491	0.1324	0.5447	26.4720

Tabla 5.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Manantiales – Valor máximo

De forma complementaria se presenta el desglose de pérdidas entre el transformador principal del parque y los elementos de la red colectora (transformadores de bloque y circuitos colectores) en la condición de potencia máxima.

Pérdidas en transformador principal [MW]	Pérdidas en sistema colector [MW]
0.0606	0.4841

Tabla 5.3 – Desglose de pérdidas de planta



6 ANEXOS

6.1 Registros complementarios

En la presente sección se muestra el registro de potencia y velocidad de viento de cada aerogenerador para la prueba de Potencia Máxima. Además, se presenta un registro de velocidad de viento de mayor duración.

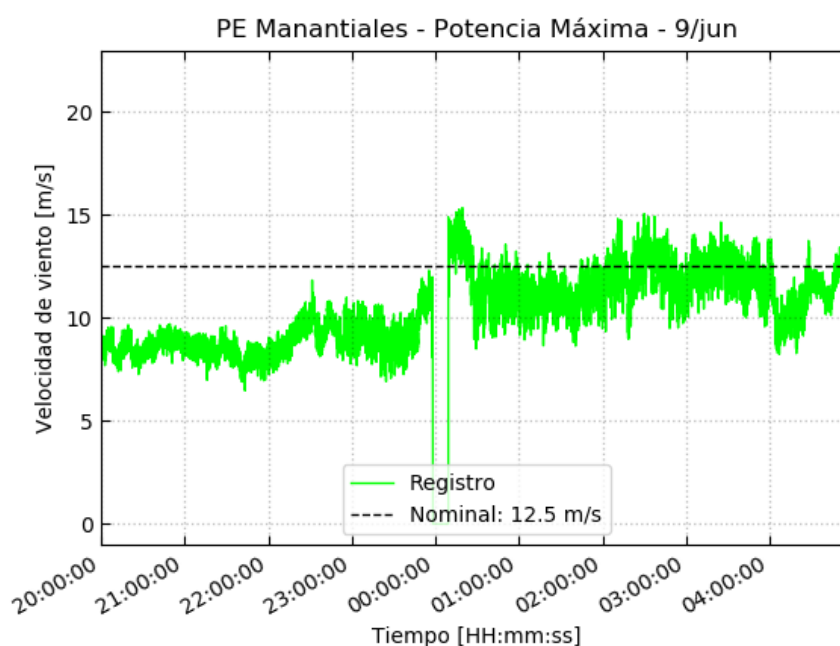


Figura 6.1 – Velocidad de viento del parque – Registro de 9 horas

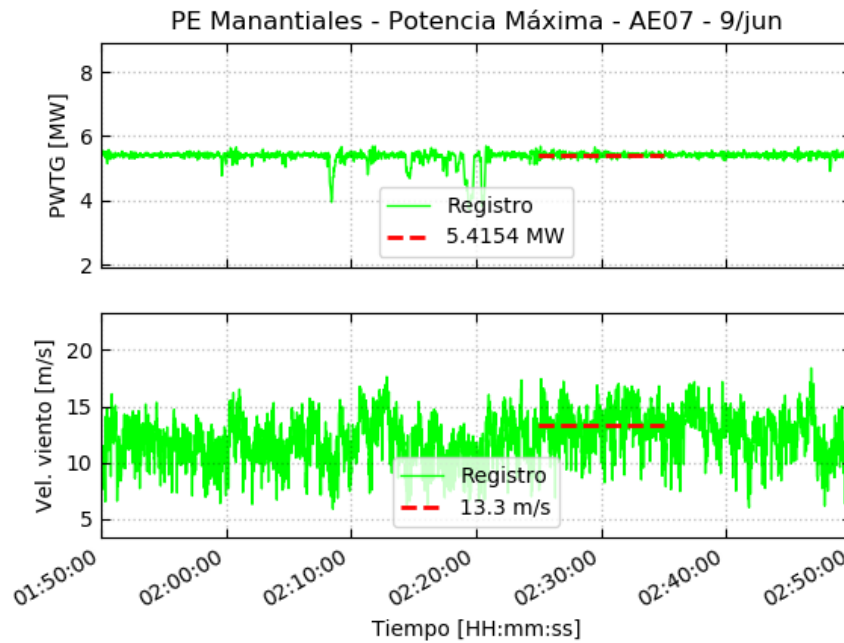


Figura 6.2 – Registro AE07 – Planta completa

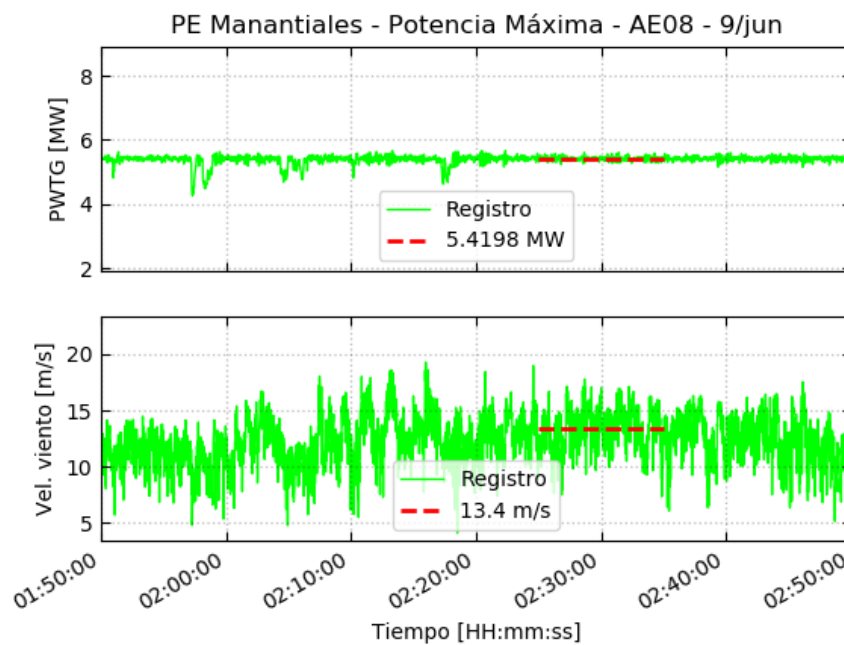


Figura 6.3 – Registro AE08 – Planta completa

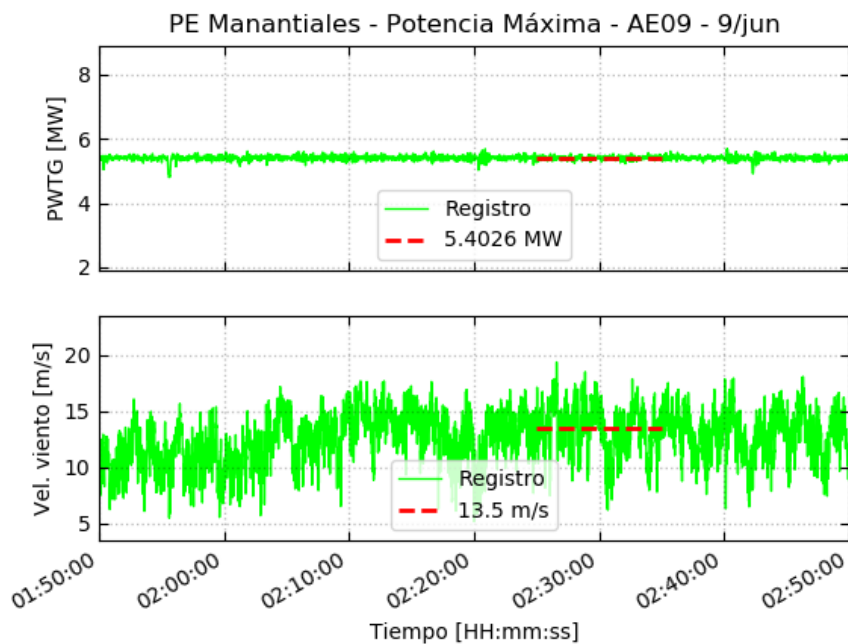


Figura 6.4 – Registro AE09 – Planta completa

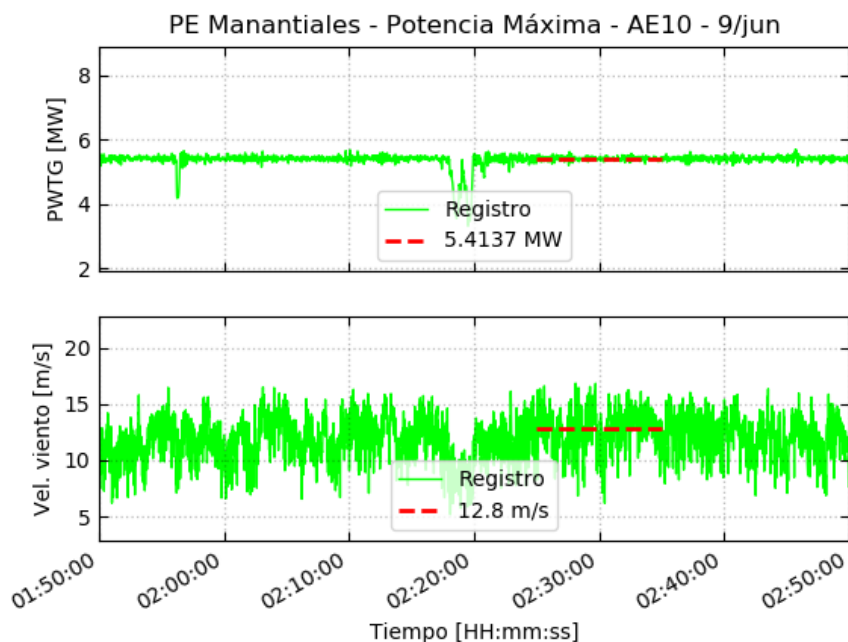


Figura 6.5 – Registro AE10 – Planta completa

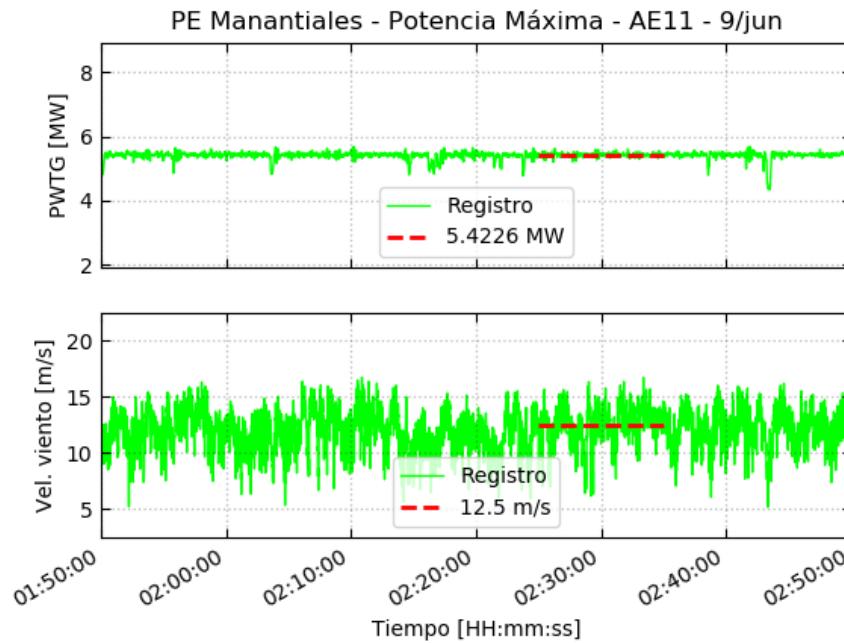


Figura 6.6 – Registro AE11 – Planta completa



6.2 Velocidad viento históricos

Site Assessment Report			2013440EN Revision 05 2021-03-25													
Torsa (CL)			19 x N163/5.X (Mode 0) TS148 IEC S													
A1.2 WTG locations and specific conditions																
- Turbulence results include effects of wind sector / wind velocity management (see chapter 6.4).																
Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 19S																
Turbine Name	Turbine Type	Hub height [m]	East [m]	South [m]	Altitude to closest WTG [D]	Dis- tance to closest WTG [D]	v [m/s]	A [m/s]	k [-]	Wind Shear [-]	Air Den- sity [kg/m³]	max Flow Angle [°]	TI IEC sub- class	Vref [m/s]	ESCO applied	WSM / WVM ap- plied
CA-01	N163/5.X (Mode 0)	148.0	253649	6224715	355	2.28	6.88	7.77	2.041	0.23	1.169	0.9	A	29.0	yes	-
CA-02	N163/5.X (Mode 0)	148.0	253289	6224623	370	2.16	7.00	7.90	2.057	0.21	1.167	0.7	A	28.9	yes	Yes
CA-03	N163/5.X (Mode 0)	148.0	252948	6224534	350	2.16	6.88	7.76	2.045	0.23	1.169	1.6	B	28.3	yes	-
CA-04	N163/5.X (Mode 0)	148.0	252889	6225404	361	5.35	7.10	8.01	2.045	0.18	1.168	-3.6	B	29.8	yes	-
CA-05	N163/5.X (Mode 0)	148.0	254111	6226239	367	2.03	6.96	7.85	2.057	0.22	1.167	1.8	A+	29.6	yes	-
CA-06	N163/5.X (Mode 0)	148.0	254346	6226471	370	2.03	6.96	7.86	2.061	0.22	1.167	-1.8	A+	29.5	yes	Yes
M-01	N163/5.X (Mode 0)	148.0	256526	6223443	330	2.02	6.31	7.13	2.025	0.21	1.171	0.8	A	31.0	yes	Yes
M-02	N163/5.X (Mode 0)	148.0	256855	6223434	315	2.02	6.28	7.09	2.021	0.21	1.173	2.1	A	31.0	yes	Yes
M-03	N163/5.X (Mode 0)	148.0	257672	6223057	310	1.55	6.41	7.23	2.010	0.19	1.174	0.5	A	31.8	yes	Yes
M-04	N163/5.X (Mode 0)	148.0	257920	6223010	310	1.55	6.50	7.34	2.010	0.18	1.174	1.6	A	32.1	yes	Yes
M-05	N163/5.X (Mode 0)	148.0	258253	6223050	300	2.06	6.57	7.41	1.998	0.16	1.175	2.8	A	33.1	yes	Yes
CE-02	N163/5.X (Mode 0)	148.0	255669	6219960	330	3.75	6.34	7.16	2.127	0.22	1.171	-0.3	B	31.5	yes	-
CE-04	N163/5.X (Mode 0)	148.0	256182	6220847	340	2.65	6.42	7.25	2.131	0.20	1.170	0.6	A	31.5	yes	-
CE-05	N163/5.X (Mode 0)	148.0	256679	6220420	330	4.02	6.43	7.26	2.119	0.21	1.171	0.3	B	31.7	yes	-
CE-06	N163/5.X (Mode 0)	148.0	257443	6220134	320	2.74	6.45	7.28	2.119	0.22	1.173	0.8	B	31.8	yes	-
CE-07	N163/5.X (Mode 0)	148.0	257693	6219682	316	3.11	6.44	7.27	2.127	0.20	1.173	2.0	A	31.8	yes	-
CE-08	N163/5.X (Mode 0)	148.0	257889	6220150	314	2.74	6.49	7.33	2.111	0.21	1.173	1.2	A	32.2	yes	-
CE-01	N163/5.X (Mode 0)	148.0	255390	6219381	330	3.94	6.34	7.16	2.123	0.23	1.171	-0.5	B	31.5	yes	-
CE-03	N163/5.X (Mode 0)	148.0	255886	6220532	330	2.65	6.32	7.14	2.131	0.22	1.171	0.2	B	31.2	yes	-

ESCO = ExtendedSoftCutOut for field and load optimized operation

* ESCO = ExtendedSoftCutOut for yield and load optimized operation

Figura 6.7 – Distribución del viento – Parque Eólico Manantiales (1 de 4)

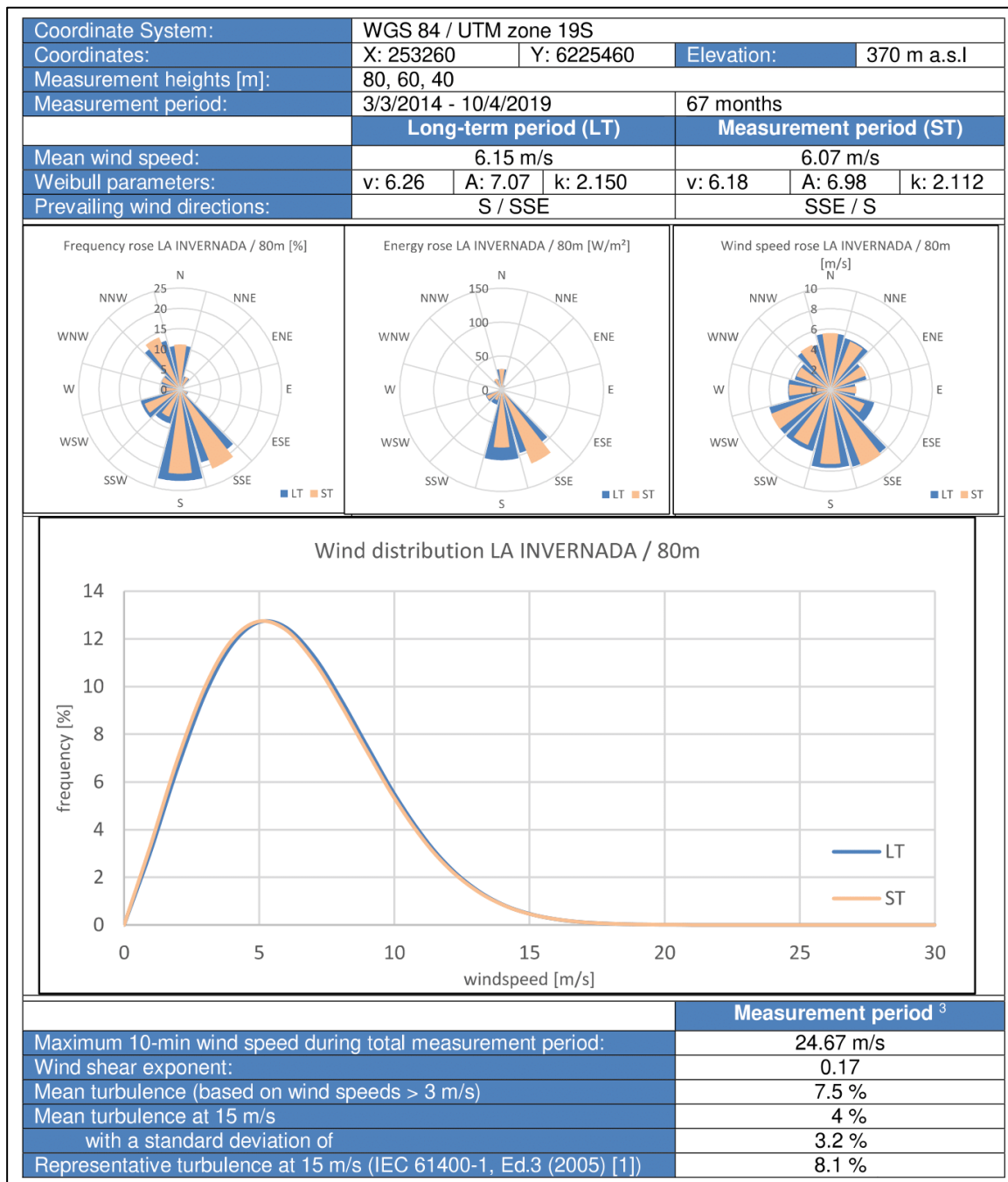


Figura 6.8 – Distribución del viento – Parque Eólico Manantiales (2 de 4)

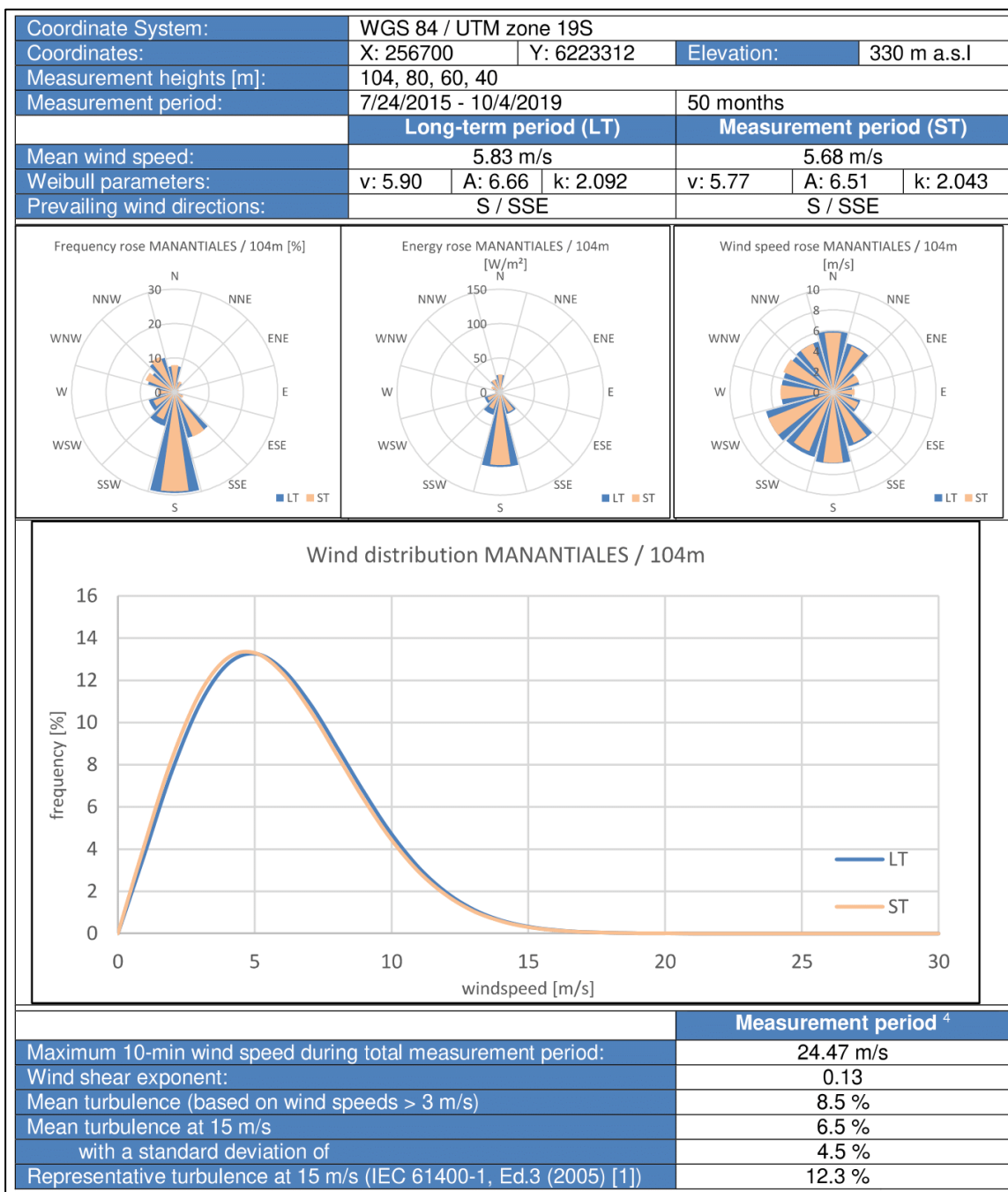


Figura 6.9 – Distribución del viento – Parque Eólico Manantiales (3 de 4)

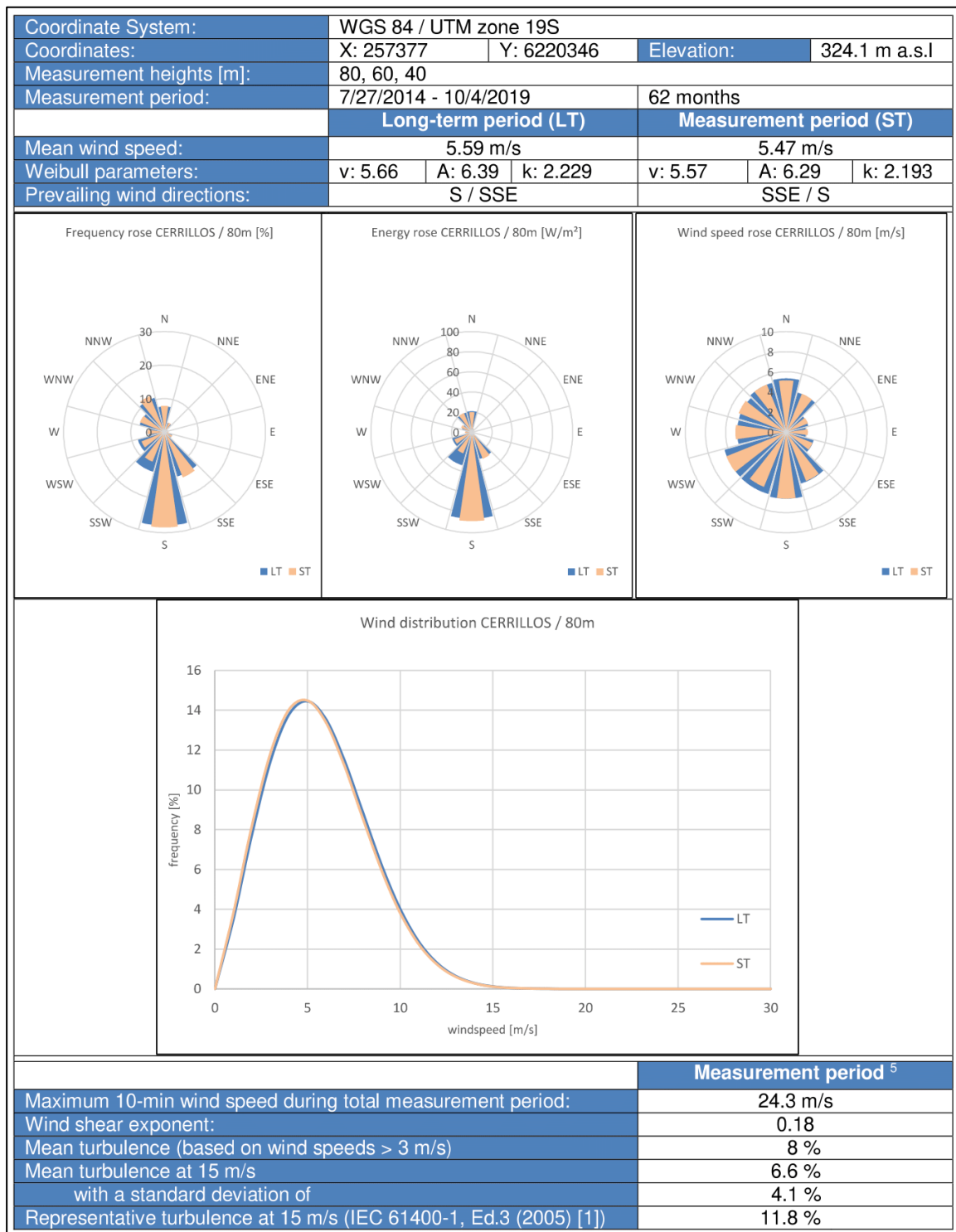


Figura 6.10 – Distribución del viento – Parque Eólico Manantiales (4 de 4)



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.