

Empresa
País
Proyecto
Descripción

ELECNOR CHILE S.A.
Chile
Parque Eólico Cardonal
Informe de Mínimo Técnico



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-184
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0317
REVISIÓN A

12 abr. 24



Este documento **EE-EN-2024-0317-RA** fue preparado para ELEC NOR 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 31 páginas y ha sido guardado por última vez el 12/04/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	12.04.2024	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 MÍNIMO TÉCNICO.....	16
	4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	17
	4.1.1 Potencia Bruta	18
	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 Mínimo Técnico con aerogenerador individual	22
	4.2.1 Potencia Bruta	23
	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 Registro de aerogeneradores	28



1 Introducción

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

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados los días 15 y el 18 de marzo de 2024.

El Parque Eólico Cardonal, cuenta con una potencia instalada de 35.4 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Litueche, Región de O'Higgins. El parque se vincula al SEN mediante un transformador elevador de. 23 kV / (110 kV \pm 10 x 1.25%) de relación y de 100/133 MVA (ONAN/ONAF) de capacidad, ubicado en la S/E Elevadora Cardonal.

El parque está constituido por 3 alimentadores, cada uno cuenta con dos aerogeneradores 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 x 2.5%).

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.

La instalación corresponde al NUP 995 y existen dos etapas posteriores. El Parque Eólico Manantiales (NUP 3252) considera la construcción de 2 nuevos alimentadores que agrupan 5 aerogeneradores de las mismas características y el Parque Eólico Los Cerrillos (NUP 994) que contempla la construcción de 2 nuevos alimentadores que agrupan 8 aerogeneradores de las mismas especificaciones. En esta primera etapa se espera declarar una potencia neta de 32.9 MW.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Iñaki Cubillos	15 y 18 de marzo 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:

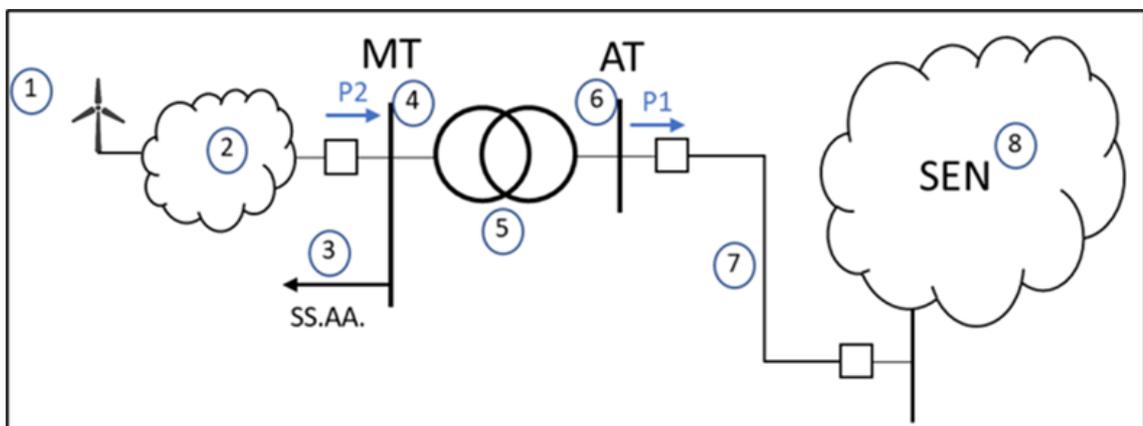


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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**: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Se determinan valores de Mínimo Técnico, considerando distintas condiciones operativas del Parque Eólico Cardonal, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo:** valor de potencia activa bruta mínima con la cual el parque puede operar considerando todos los aerogeneradores, elementos de la red colectora y el transformador principal en servicio y en condiciones de operación estables.
- **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio:** valor de potencia activa bruta mínima entregada por un único aerogenerador manteniendo el menor valor de inyección de potencia en el POI que permita la operación estable, pudiendo ser un valor mínimo de 0.0 MW de potencia neta. El resto de los aerogeneradores deben estar detenidos y todos los elementos de red colectora y el transformador principal deben estar en servicio.

Se aclara que el PPC no cuenta con la capacidad de ir apagando aerogeneradores de forma controlada hasta lograr la operación con una unidad individual y que esta condición se ha logrado mediante un comando de apagado a los aerogeneradores correspondientes.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Cardonal, cuenta con una potencia instalada de 35.4 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Litueche, Región de O'Higgins. El parque se vincula al SEN mediante un transformador elevador de. 23 kV / (110 kV \pm 10 x 1.25%) de relación y de 100/133 MVA (ONAN/ONAF) de capacidad, ubicado en la S/E Elevadora Cardonal.

El parque está constituido por 3 alimentadores, cada uno cuenta con dos aerogeneradores 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 x 2.5%).

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

- Circuito N°1: Aerogeneradores C01, C02.
- Circuito N°2: Aerogeneradores A01, A02.
- Circuito N°3: Aerogeneradores B01, B02.

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.

La instalación corresponde al NUP 995 y existen dos etapas posteriores. El Parque Eólico Manantiales (NUP 3252) considera la construcción de 2 nuevos alimentadores que agrupan 5 aerogeneradores de las mismas características y el Parque Eólico Los Cerrillos (NUP 994) que contempla la construcción de 2 nuevos alimentadores que agrupan 8 aerogeneradores de las mismas especificaciones.

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 del Parque Eólico Cardonal. El recuadro verde enmarca los paños asociados a los 3 colectores de esta etapa.

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 Cardonal.

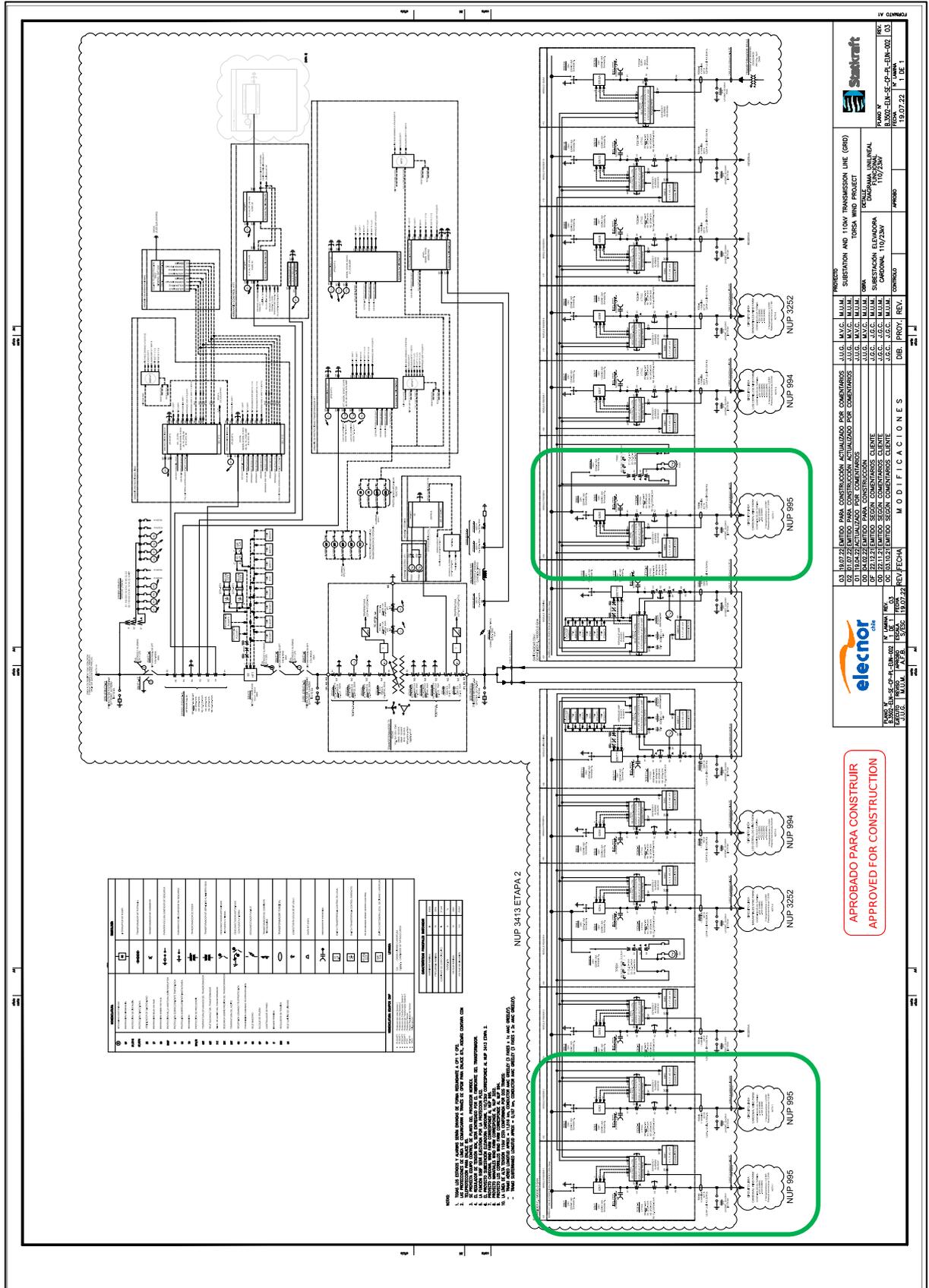


Figura 3.1 – Diagrama unilíneal del Parque Eólico Cardonal

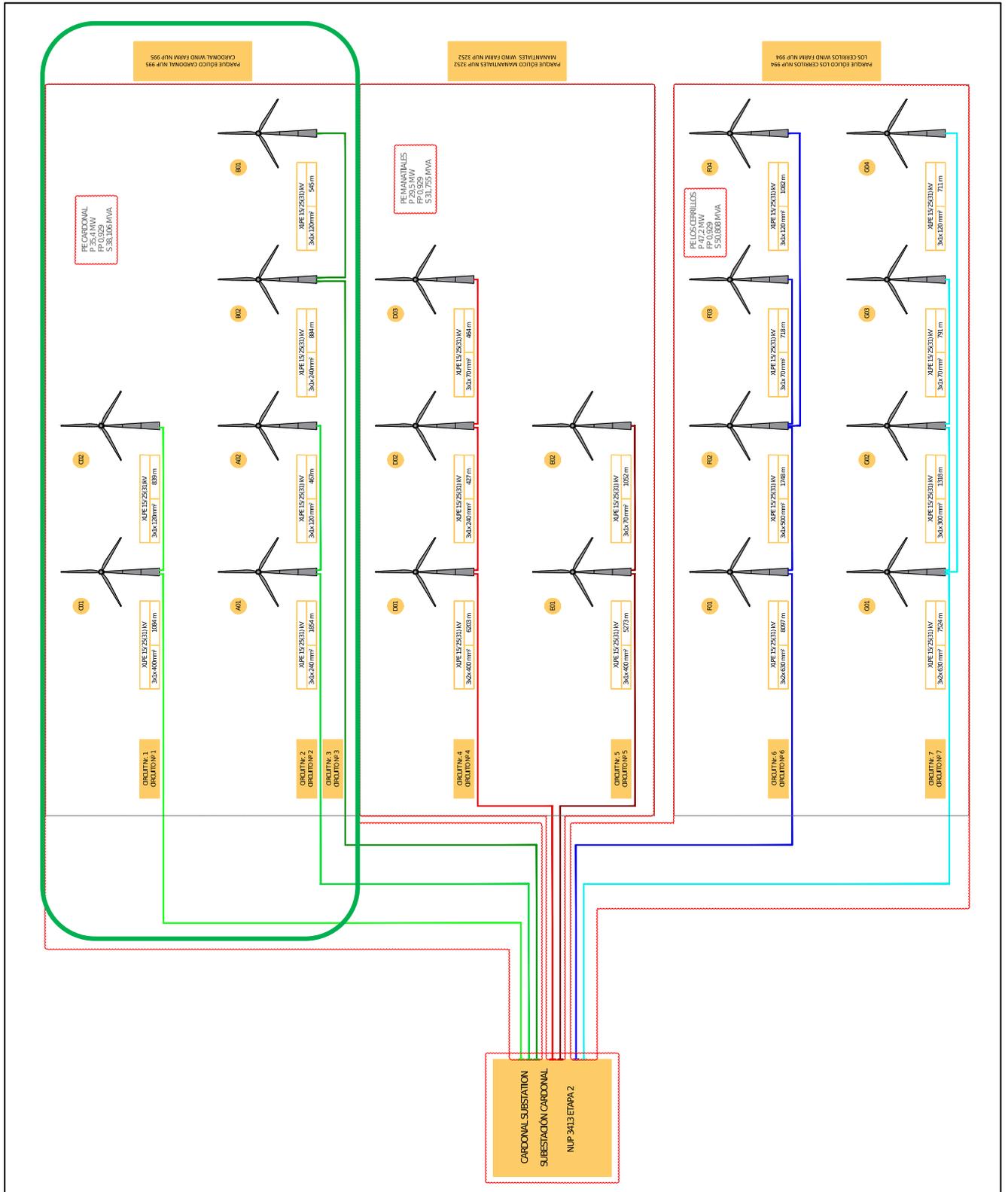


Figura 3.2 – Red colectora del Parque Eólico Cardonal



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Cardonal cuenta con 6 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.

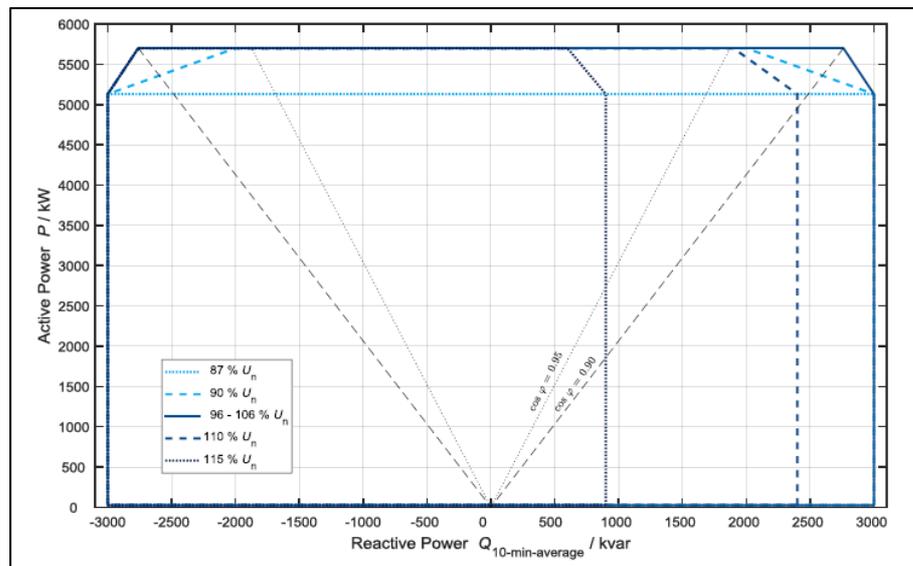


Figura 3.3 – Curva de capacidad de aerogeneradores

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

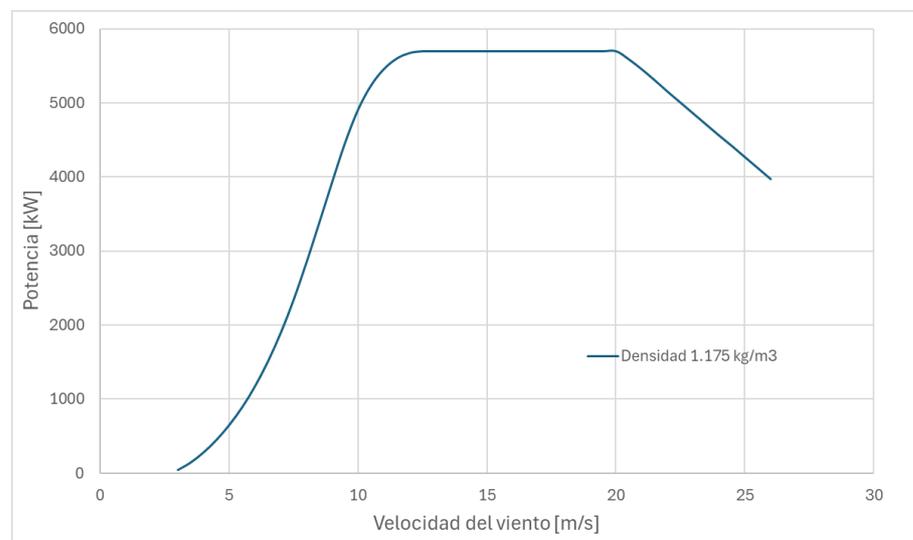


Figura 3.4 – Curva Viento/potencia para los aerogeneradores



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 Cardonal cuenta con seis 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 Cardonal 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	16.92%
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 Cardonal 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 Televisión	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	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

Cabe mencionar que los antecedentes presentados en esta sección son válidos para las 3 etapas de desarrollo del parque eólico (NUP 995, NUP 3252 y NUP 994).



4 DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

El “**Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Tal como se ha mencionado en el capítulo 2 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y considerando la operación de un **único aerogenerador**.

Para ambas pruebas de Mínimo Técnico realizadas, 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]
Cardonal	(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 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 15 de marzo de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico con la totalidad de los aerogeneradores y elementos de red del Parque Eólico Cardonal en servicio. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de unidades en servicio.

En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 2.9003 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}), se aprecia un valor medio de 3.0281 MW totalizando la inyección en bornes de todas las unidades. El valor medido implica un despacho aproximado de 504.7 kW por unidad, en la sección 6.1 se muestra el registro de cada aerogenerador durante la prueba.

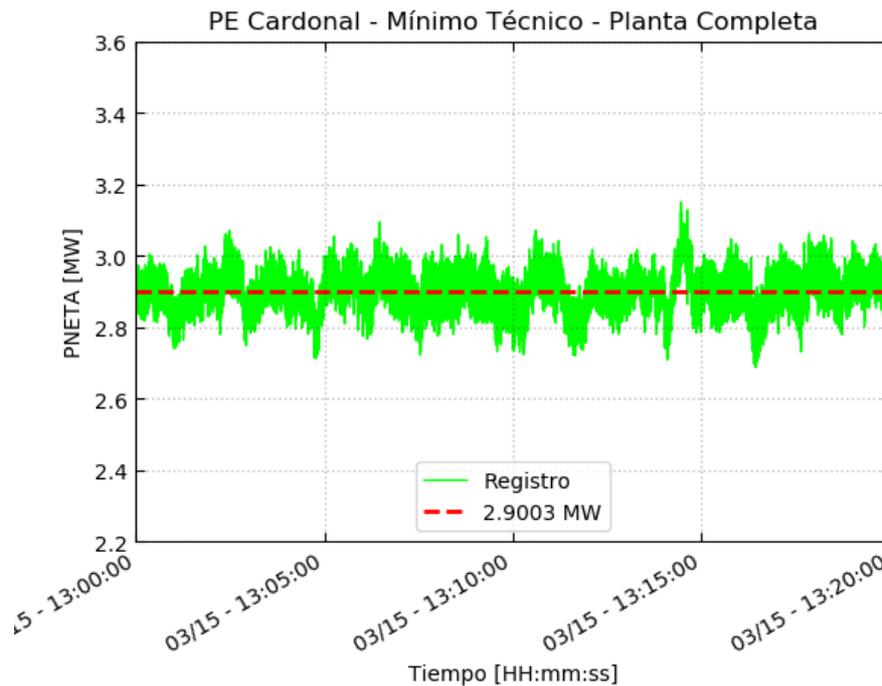


Figura 4.1 – Potencia neta – Planta completa

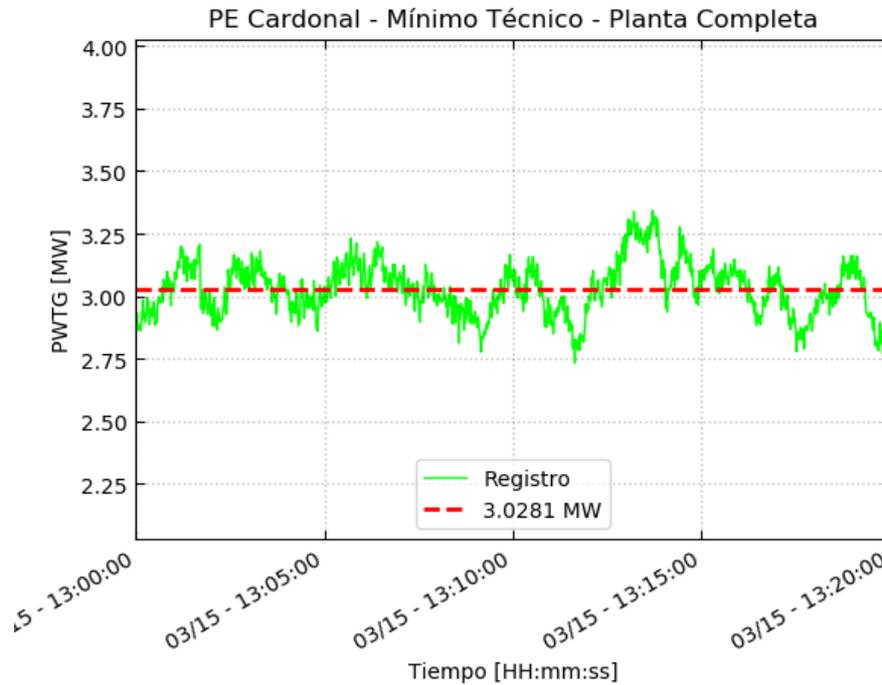


Figura 4.2 – Potencia de aerogeneradores – Planta completa

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.

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

$$P_{Bruta} = 3.0281\ MW + 6 \times 15.0\ kW = 3.1181\ MW$$



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 todos los aerogeneradores 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**.

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

$$P_{SSAA} = 6 \times 15.0 \text{ kW} + 57.4 \text{ kW} = 147.4 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.1474 \text{ MW}$$

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 los aerogeneradores (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.

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

$$P_{perd,central} = 3.0281 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 2.9003 \text{ MW} = 0.0704 \text{ MW}$$



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. Considerando que la inyección de potencia es cercana al 2% de la potencia nominal del transformador, las pérdidas en carga se consideran nulas.

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 0.0 \text{ kW}$$

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.

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 51.07 \text{ kW} + 0.0 \text{ kW} = 51.07 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0511 \text{ MW}$$

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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.0704 \text{ MW} - 0.0511 \text{ MW} = 0.0193 \text{ MW}$$



4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Cardonal corresponde a la potencia inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del parque (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 2.9003 MW.

$$P_{Neta} = 2.9003 \text{ MW}$$

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. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayo del Parque Eólico Cardonal considerando el parque completamente operativo.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Cardonal	3.1181	0.1474	0.0704	2.9003

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Cardonal – Planta completa



4.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual

El día 18 de marzo de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando la operación de un único aerogenerador y todos los elementos de red del Parque Eólico Cardonal en servicio. Para lograr esta condición se debe dar una orden de detención a todos las unidades de la planta a excepción de una unidad, es este caso el aerogenerador WTG02.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 0.1802 MW inyectado en el lado de 110 kV del transformador principal del parque.

En tanto, en la Figura 4.4 se muestra el registro de potencia del aerogenerador (P_{WTG}) en servicio, se aprecia un valor medio de 0.3123 MW considerando la inyección en bornes de la unidad. El fabricante ha declarado que el valor mínimo de potencia activa de cada unidad en operación centralizada por el PPC es cercana al 10% de la potencia nominal, sin embargo, en las condiciones de prueba de aerogenerador individual se pudo reducir de forma extraordinaria la consigna de potencia.

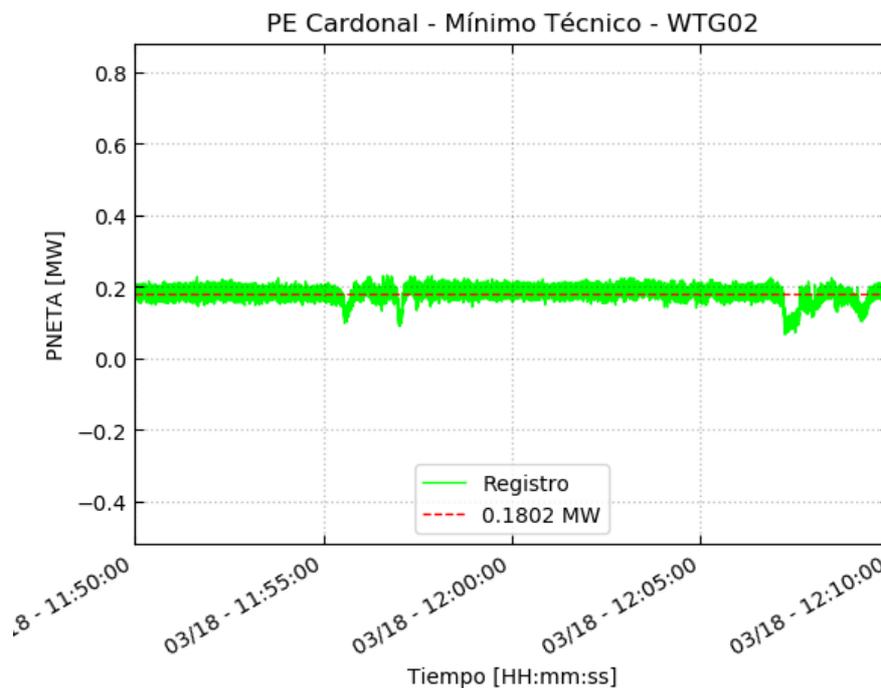


Figura 4.3 – Potencia neta – Aerogenerador individual

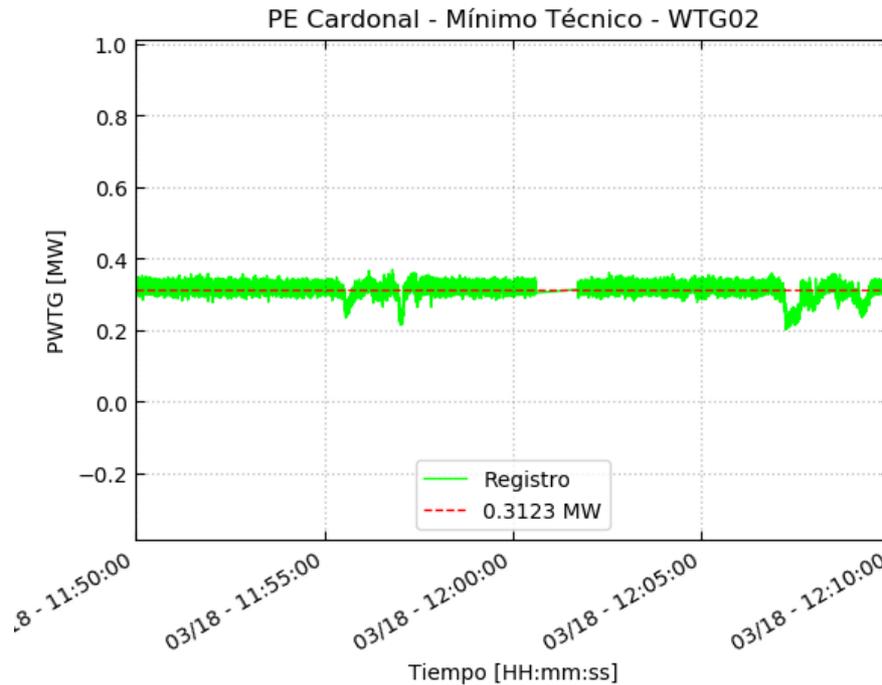


Figura 4.4 – Potencia de aerogeneradores – Aerogenerador individual

4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.4, se realiza en bornes del equipo 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.

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

$$P_{Bruta} = 0.3123\ MW + 1 \times 15.0\ kW = 0.3273\ MW$$



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 única unidad 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**.

$$P_{SSAA} = 1^{\circ} \text{ WTG } \times \text{Consumos Propios} + P_{TR,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 1 \times 15.0 \text{ kW} + 57.4 \text{ kW} = 72.4 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.0724 \text{ MW}$$

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 4.3) y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 4.4). 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.

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

$$P_{perd,central} = 0.3123 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 0.1802 \text{ MW} = 0.0747 \text{ MW}$$



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. Considerando que la inyección de potencia es menor al 1% de la potencia nominal del transformador, las pérdidas en carga se consideran nulas.

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 0.0 \text{ kW}$$

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.

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 51.07 \text{ kW} + 0.0 \text{ kW} = 51.07 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0511 \text{ MW}$$

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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.0747 \text{ MW} - 0.0511 \text{ MW} = 0.0236 \text{ MW}$$



4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Cardonal corresponde a la potencia inyectada en el lado de 110 kV del transformador principal del parque (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 0.1802 MW.

$$P_{Neta} = 0.1802 \text{ MW}$$

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. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayo del Parque Eólico Cardonal considerando operación del aerogenerador WTG02.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Cardonal	0.3273	0.0724	0.0747	0.1802

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Cardonal – Aerogenerador individual



5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado el valor de **Mínimo Técnico** del Parque Eólico Cardonal. Se ha determinado este valor considerando los escenarios de operación de planta completa y también de aerogenerador individual.

Las Tabla 5.1 y Tabla 5.2 resumen los resultados obtenidos.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Cardonal	3.1181	0.1474	0.0704	2.9003

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Cardonal – Planta completa

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Cardonal	0.3273	0.0724	0.0747	0.1802

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Cardonal – Aerogenerador individual

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).

Prueba	Pérdidas en transformador principal [MW]	Pérdidas en sistema colector [MW]
Planta completa	0.0511	0.0193
Aerogenerador individual	0.0511	0.0236

Tabla 5.3 – Desglose de pérdidas de planta



6 ANEXOS

6.1 Registro de aerogeneradores

En la presente sección se muestra el registro de cada aerogenerador para la prueba de Mínimo Técnico con planta completa.

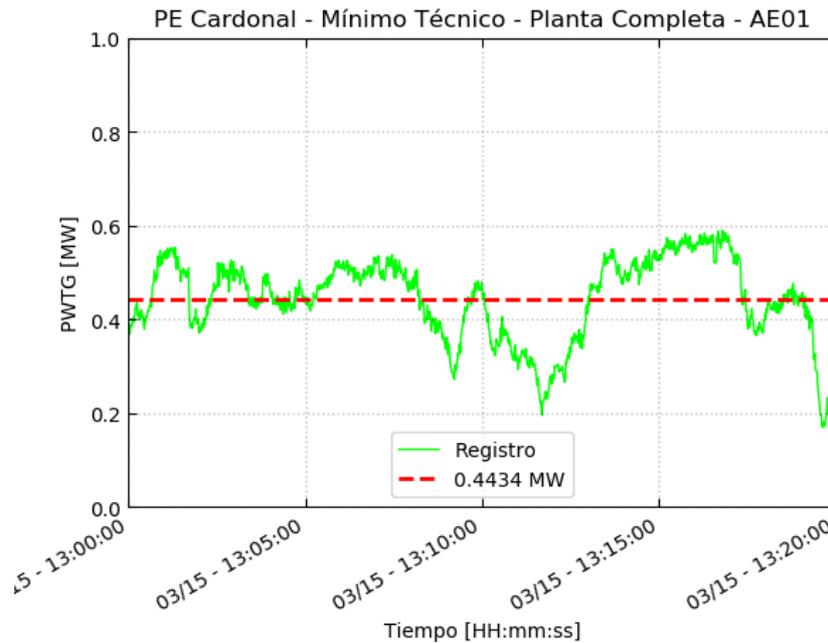


Figura 6.1 – Registro AE01 – Planta completa

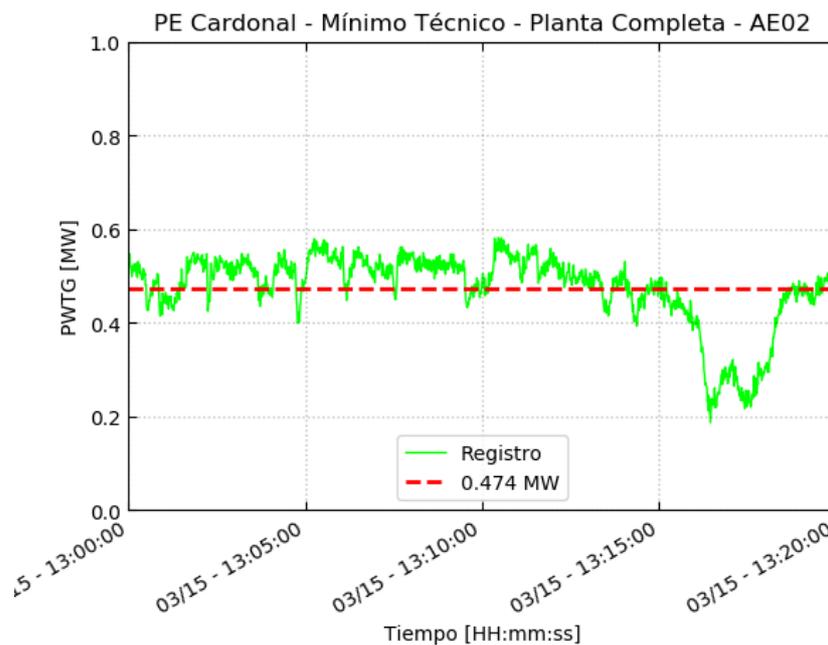


Figura 6.2 – Registro AE02 – Planta completa

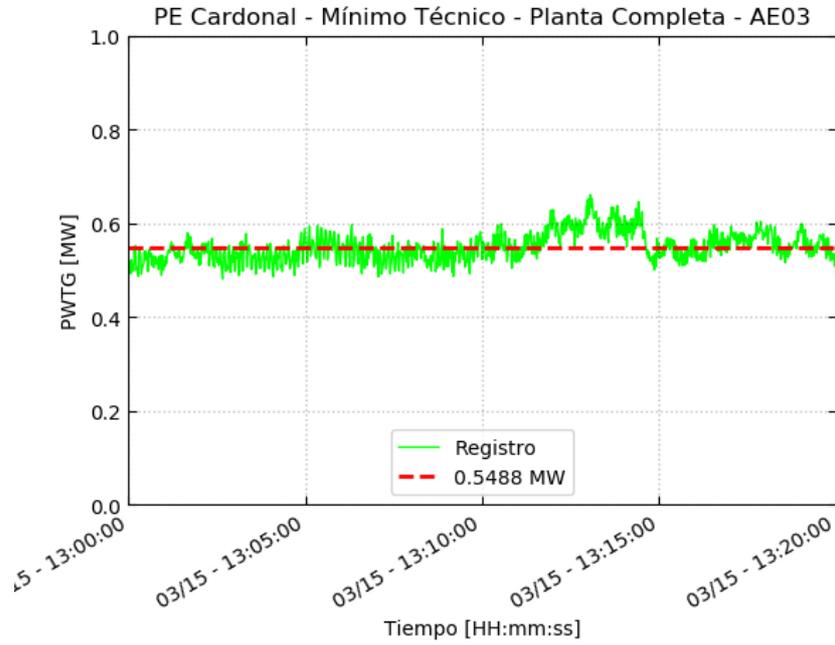


Figura 6.3 – Registro AE03 – Planta completa

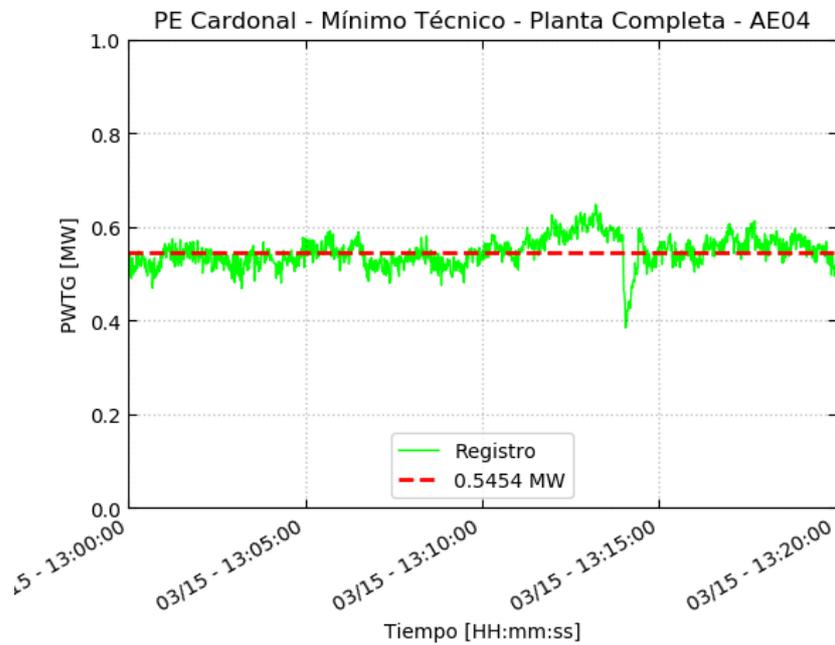


Figura 6.4 – Registro AE04 – Planta completa

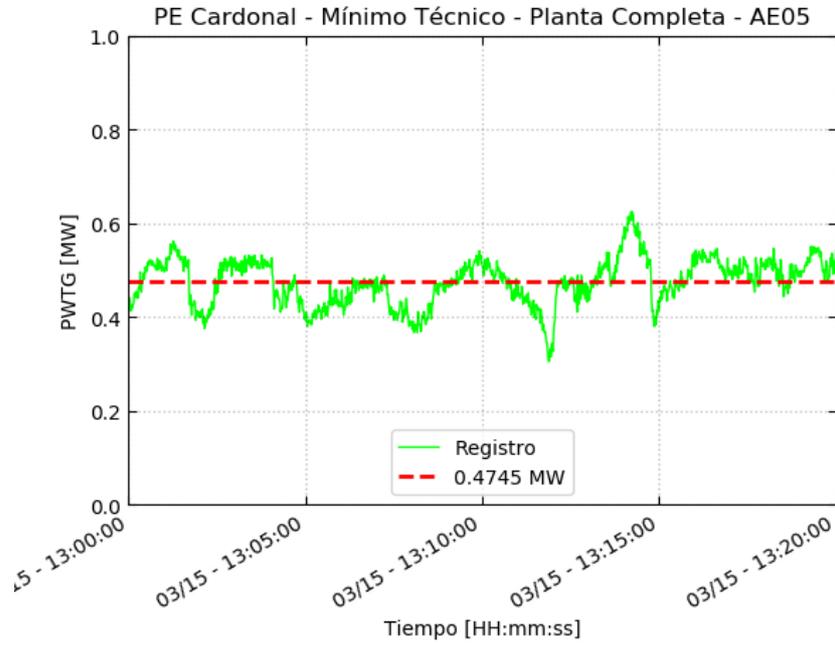


Figura 6.5 – Registro AE05 – Planta completa

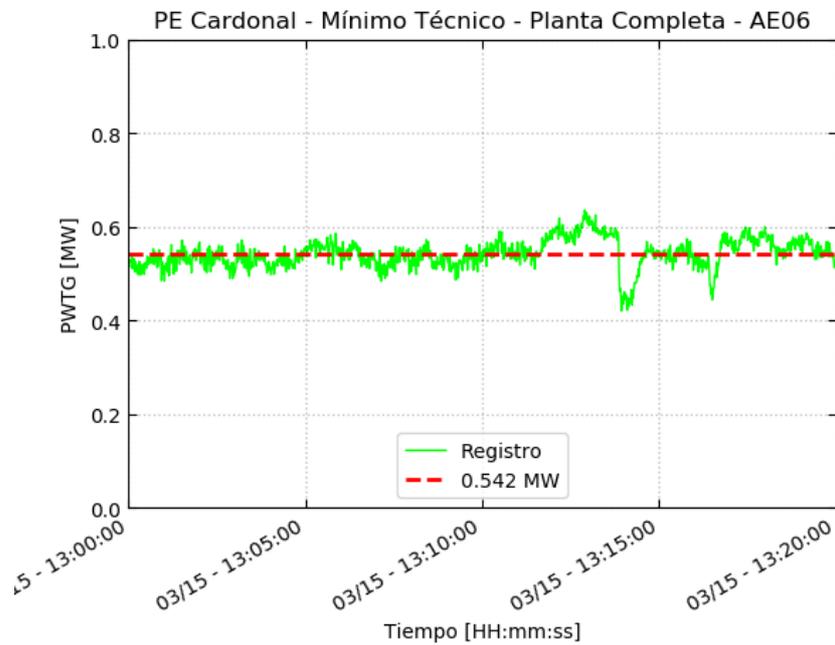


Figura 6.6 – Registro AE06 – Planta completa



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.