

Empresa
País
Proyecto
Descripción

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



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-184
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0753
REVISIÓN A

26 jun. 24



Este documento **EE-EN-2024-0753-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 34 páginas y ha sido guardado por última vez el 26/06/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

| Revisión | Fecha | Comentarios | Realizó | Revisó | Aprobó |
|-----------------|--------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|
| A | 26.06.2024 | 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 MÍNIMO TÉCNICO..... | 16 |
| | 4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo..... | 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 Mínimo Técnico con aerogenerador individual | 22 |
| | 4.2.1 Potencia Bruta | 24 |
| | 4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares | 25 |
| | 4.2.3 Potencia de Perdidas en la Central..... | 25 |
| | 4.2.4 Potencia Neta | 27 |
| | 4.2.5 Resultados | 27 |
| 5 | CONCLUSIONES..... | 28 |
| 6 | ANEXOS | 29 |
| | 6.1 Registro de aerogeneradores | 29 |



1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico Los Cerrillos 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 el día 8 de junio de 2024.

El Parque Eólico Los Cerrillos, cuenta con una potencia instalada de 47.2 MVA y se encuentra ubicado en la comuna de Litueche, Región de O’Higgins. Está constituido por 2 alimentadores con 4 aerogeneradores cada uno.

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 | 8 de junio de 2024 |

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Las señales utilizadas para la determinación de los resultados han sido provistas por ELECENOR 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:

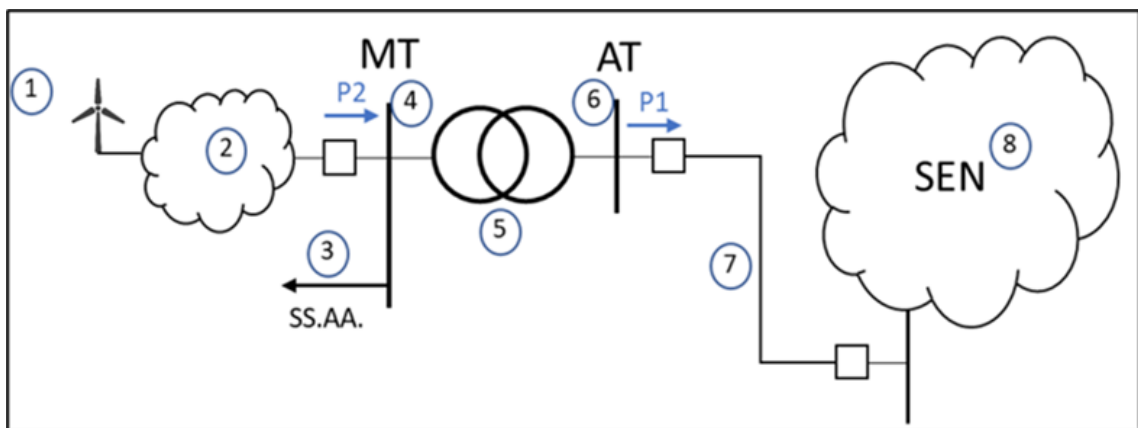


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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 Los Cerrillos, 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 Los Cerrillos, cuenta con una potencia instalada de 47.2 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).

Ambos alimentadores cuentan con cuatro 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 ($\pm 4 \times 2.5\%$).

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

- Circuito N°6: Aerogeneradores F01, F02, F03 y F04
- Circuito N°7: Aerogeneradores G01, G02, G03 y G04

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 azul) del Parque Eólico Los Cerrillos. Los recuadros rojos enmarcan los 2 paños asociados a las 8 unidades del Parque Eólico Los Cerrillos.

En la Figura 3.2 se muestra el detalle de la red colectora del parque, el recuadro rojo enmarca los colectores del Parque Eólico Los Cerrillos que agrupan las 8 unidades de 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 azul 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 rojo en Figura 3.2).

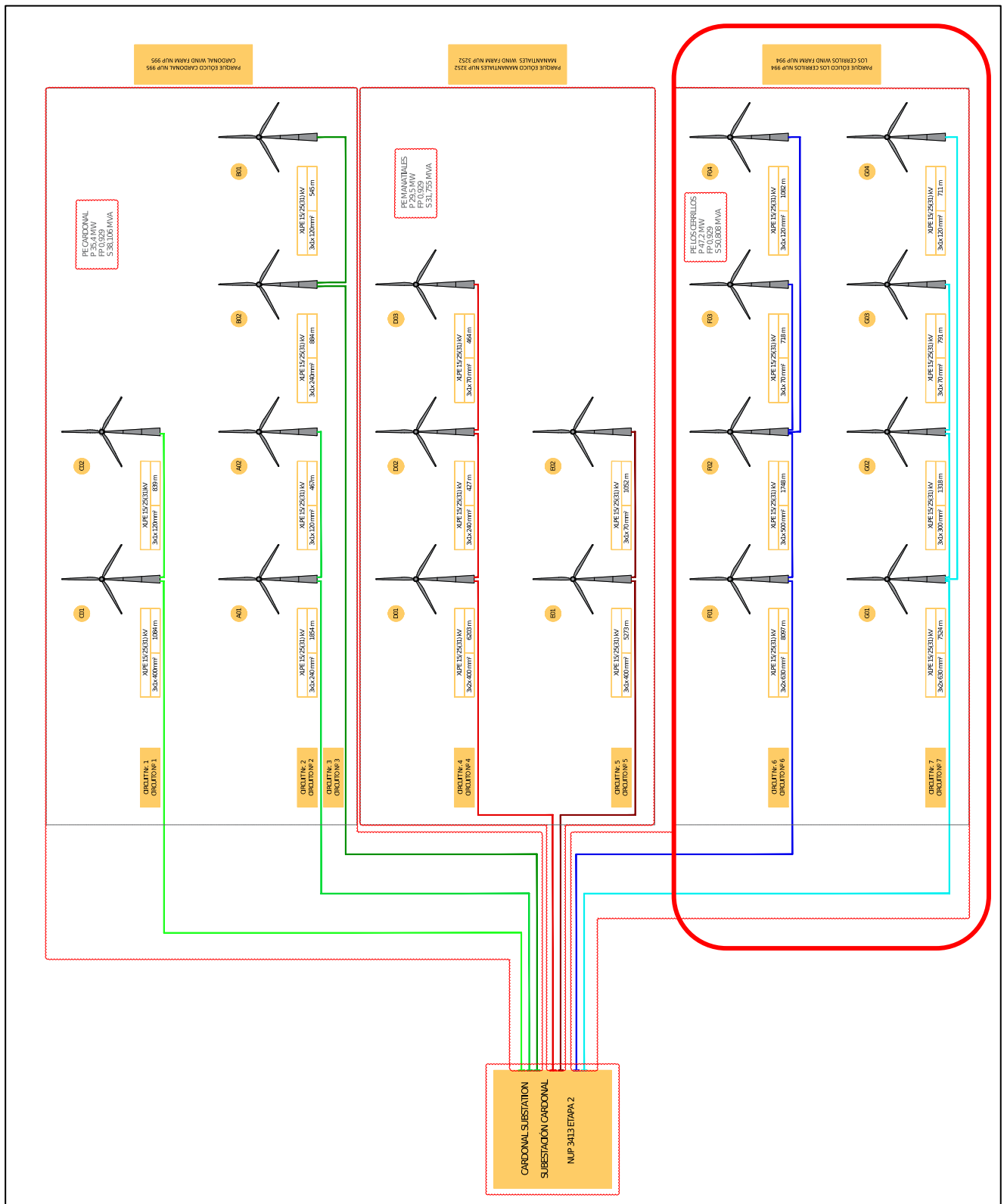


Figura 3.2 – Red colectora del Parque Eólico Los Cerrillos



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Los Cerrillos considera la instalación de 8 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.

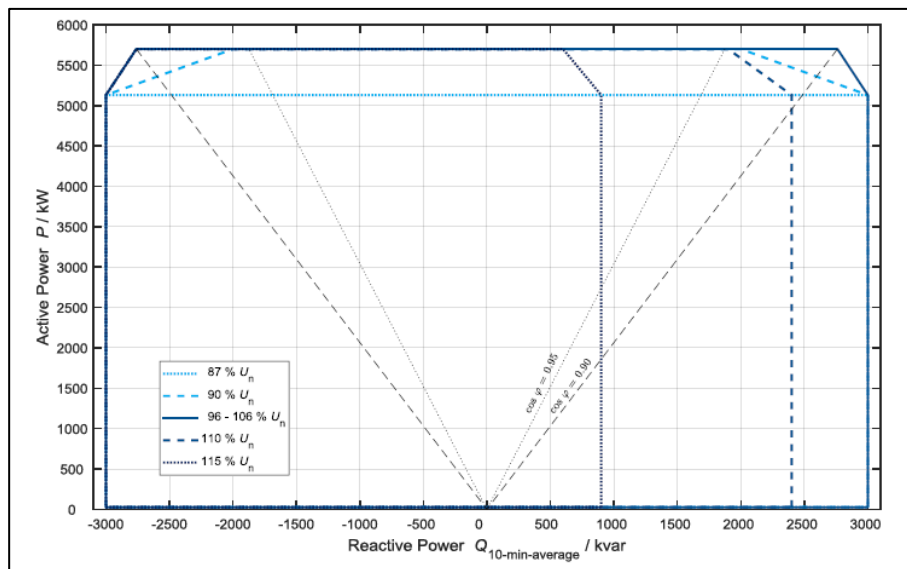


Figura 3.3 – Curva de capacidad de aerogeneradores

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

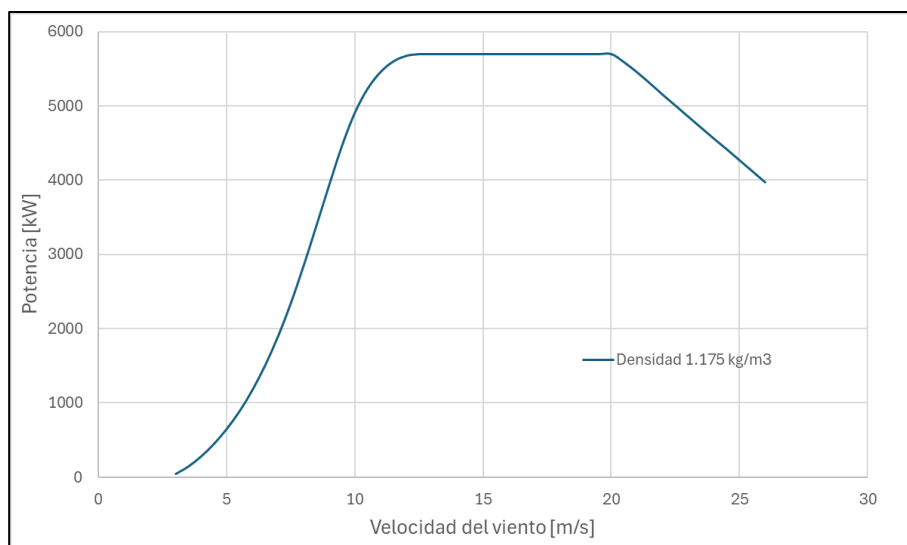


Figura 3.4 – Curva viento/potencia para los aerogeneradores



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 Los Cerrillos considera la instalación de 8 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 | ±2 x 2.5 % |

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



3.4 Datos del transformador principal

El Parque Eólico Los Cerrillos 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 100/133 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 Los Cerrillos 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] | | 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 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] |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Los Cerrillos | (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 8 de junio de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico de planta completa, es decir, con los 8 aerogeneradores del parque en servicio. Cabe mencionar que durante el desarrollo de las pruebas los circuitos colectores asociados a otras instalaciones (circuitos 1 a 5 en Figura 3.2) se encuentran desconectados.

En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 3.7032 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 3.8675 MW totalizando la inyección en bornes de todas las unidades. El valor medido implica un despacho aproximado de 483.4 kW por unidad, en la sección 6.1 se muestra el registro de cada aerogenerador durante la prueba.

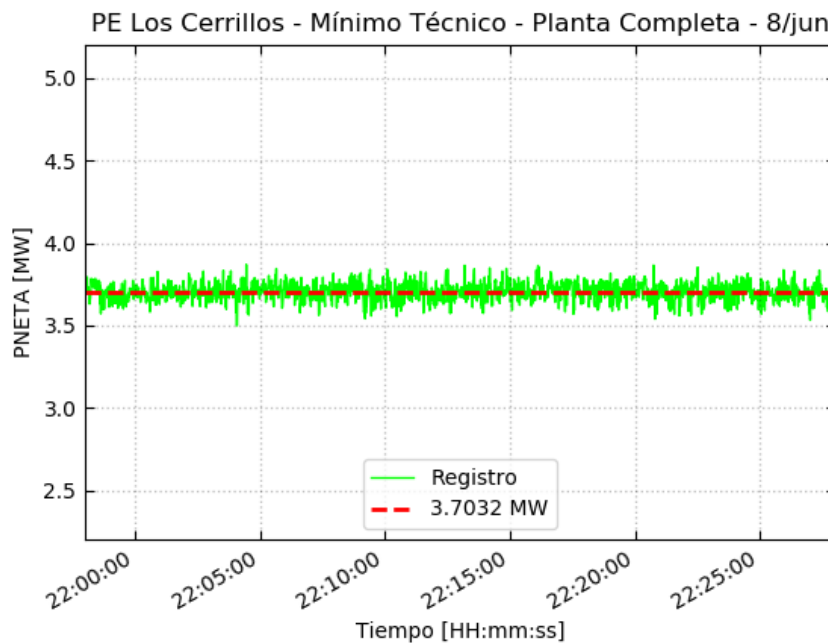


Figura 4.1 – Potencia neta – Planta completa

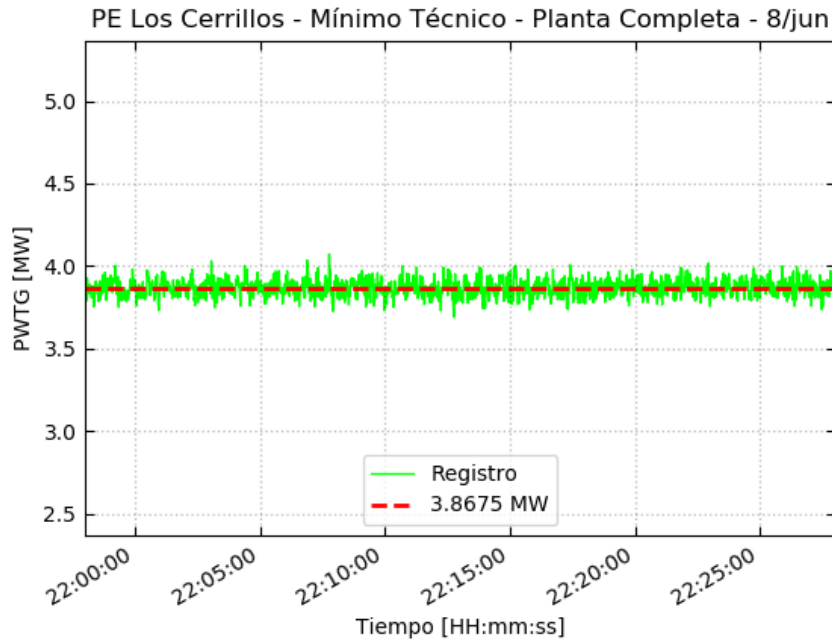


Figura 4.2 – Potencia de aerogeneradores – Planta completa

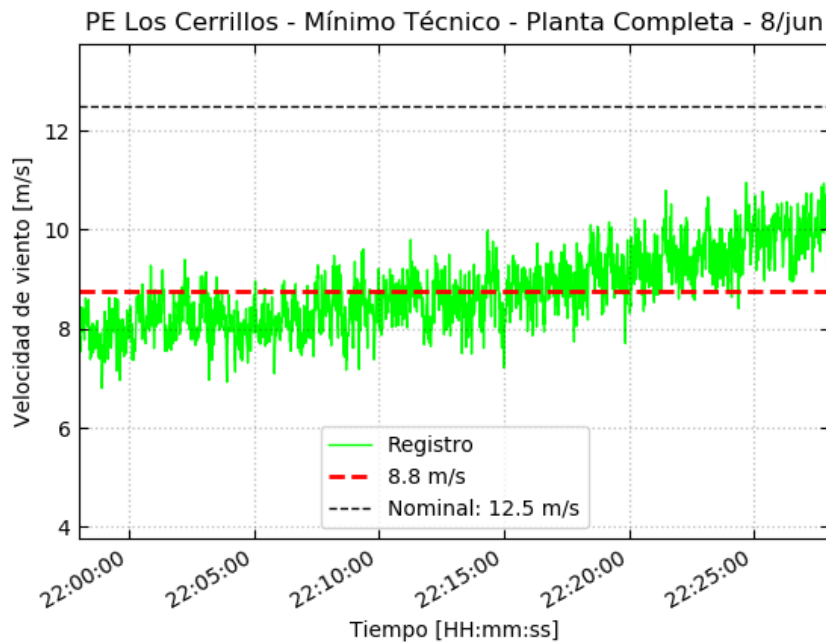


Figura 4.3 – Velocidad de viento – Planta completa



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.

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

$$P_{Bruta} = 3.8675 MW + 8 \times 15.0 kW = 3.9875 MW$$

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**.

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

$$P_{SSAA} = 8 \times 15.0 kW + 57.4 kW = 177.4 kW$$

$$P_{SSAA} = 0.1774 MW$$

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.

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

$$P_{perd,central} = 3.8675 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 3.7032 \text{ MW} = 0.1069 \text{ MW}$$

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.

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

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 229.34 \text{ kW} \times \left(\frac{3.8675 \text{ MW}}{133.0 \text{ MVA}} \right)^2 = 0.19 \text{ kW}$$

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.

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 51.07 \text{ kW} + 0.19 \text{ kW} = 51.26 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0513 \text{ MW}$$



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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.1069 \text{ MW} - 0.0513 \text{ MW} = 0.0556 \text{ MW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Los Cerrillos 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 3.7032 MW.

$$P_{Neta} = 3.7032 \text{ MW}$$

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 Los Cerrillos considerando el parque completamente operativo.

| Parque Eólico | Potencia Bruta [MW] | Potencia de SSAA [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Los Cerrillos | 3.9875 | 0.1774 | 0.1069 | 3.7032 |

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Los Cerrillos – Planta completa



4.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual

El día 8 de junio 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 Los Cerrillos 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 WTG12.

Cabe mencionar que durante el desarrollo de las pruebas los circuitos colectores asociados a otras instalaciones (circuitos 1 a 5 en Figura 3.2) se encuentran desconectados.

En la Figura 4.4 se muestra el registro de potencia neta (P_{NETA}), se aprecia un valor medio de 0.4994 MW inyectado en el lado de 110 kV del transformador principal del parque. En la Figura 4.6 se muestra de forma complementaria un registro de operación previo, considerando una consigna de 400 kW en el POI, en el recuadro rojo se observa que al establecerse el parque en dicha condición se produce la salida de servicio de la unidad.

En tanto, en la Figura 4.5 se muestra el registro de potencia del aerogenerador (P_{WTG}) en servicio, se aprecia un valor medio de 0.6382 MW considerando la inyección en bornes de la unidad.

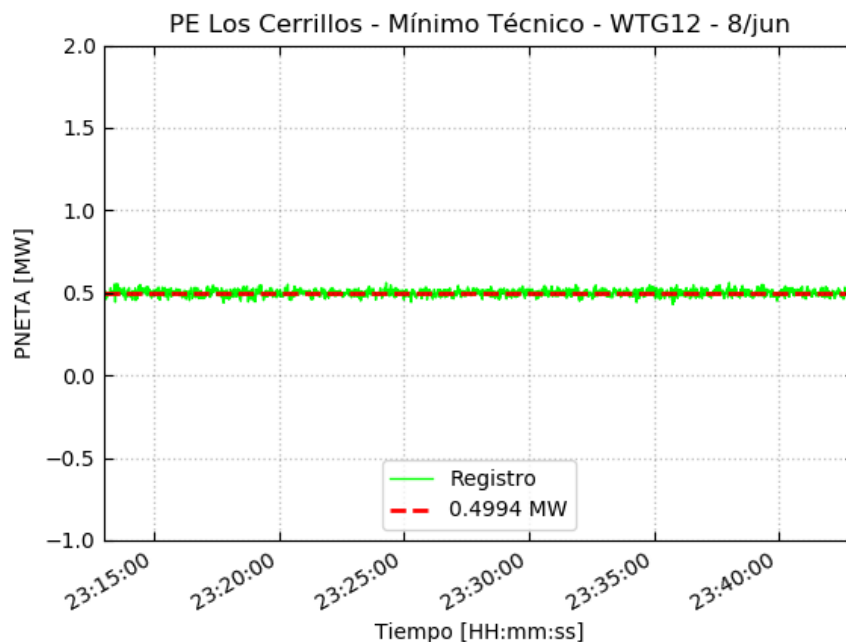


Figura 4.4 – Potencia neta – Aerogenerador individual

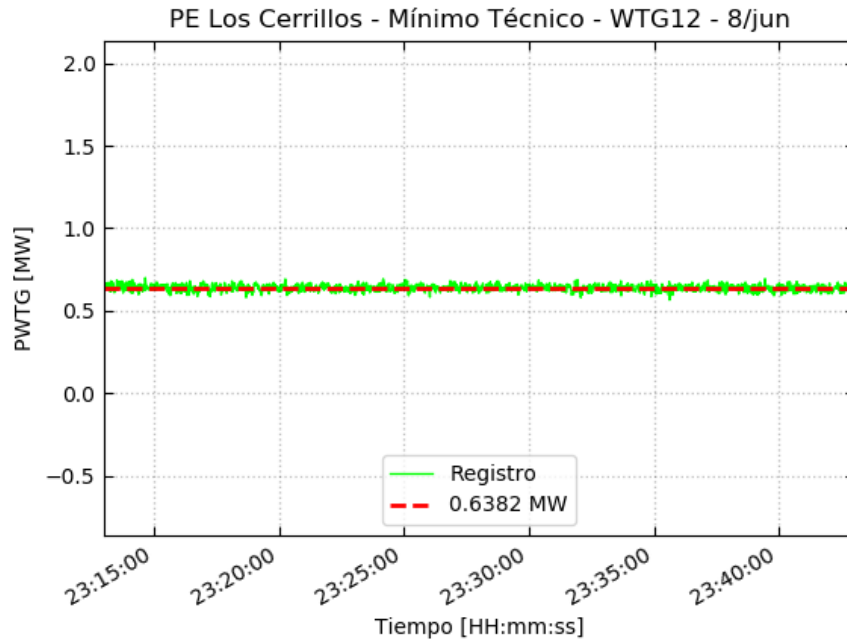


Figura 4.5 – Potencia de aerogeneradores – Aerogenerador individual

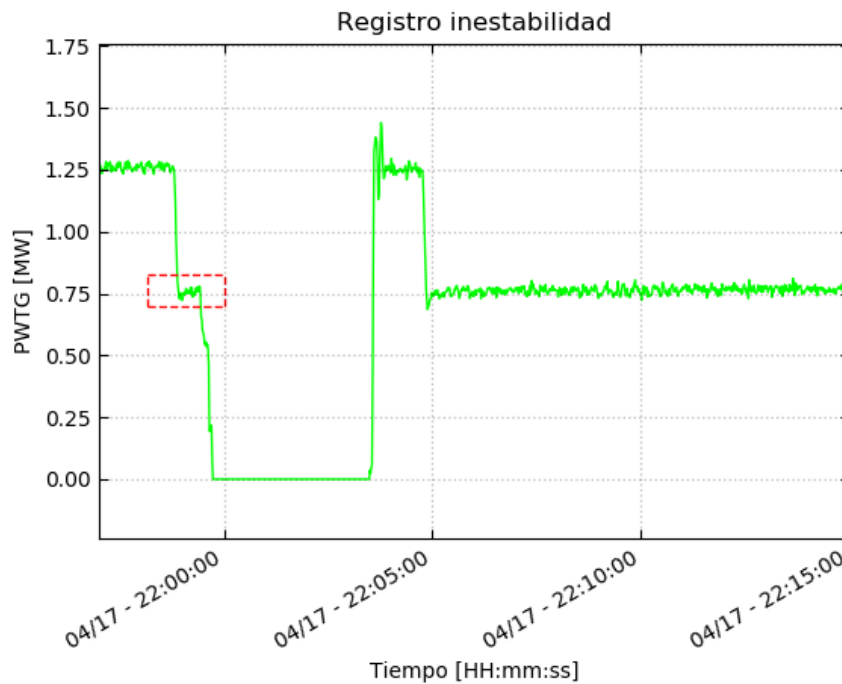


Figura 4.6 – Salida de servicio – Consigna PPC = 400 kV

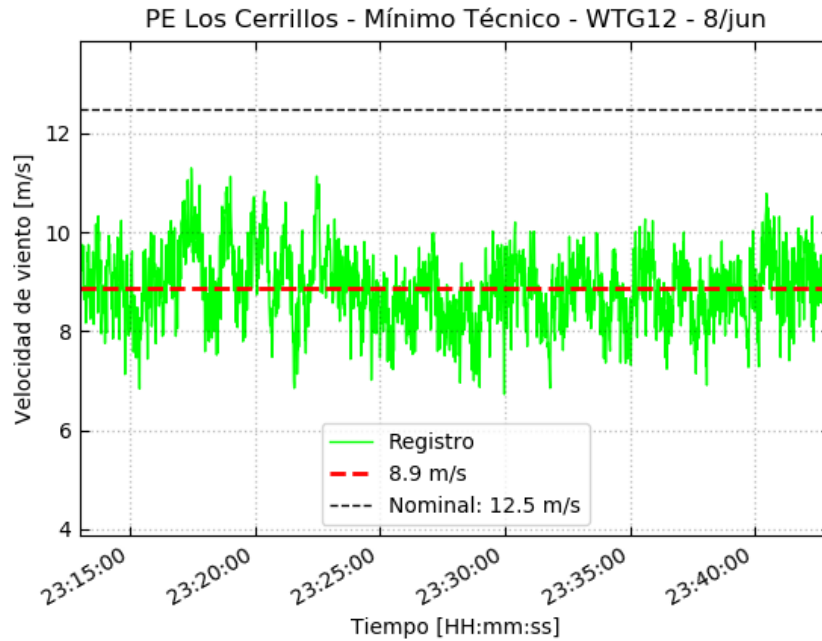


Figura 4.7 – Velocidad de viento – Aerogenerador individual

4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.5, 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.

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

$$P_{Bruta} = 0.6382\ MW + 1 \times 15.0\ kW = 0.6532\ MW$$



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**.

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

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

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

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 4.4) y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 4.5). 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.

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

$$P_{perd,central} = 0.6382 \text{ MW} - 0.0574 \text{ MW} - 0.4994 \text{ MW} = 0.0814 \text{ MW}$$

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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.0814 \text{ MW} - 0.0511 \text{ MW} = 0.0303 \text{ MW}$$



4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Los Cerrillos 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 0.4994 MW.

$$P_{Neta} = 0.4994 \text{ MW}$$

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 Los Cerrillos considerando operación del aerogenerador WTG01.

| Parque Eólico | Potencia Bruta [MW] | Potencia de SSAA [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Los Cerrillos | 0.6532 | 0.0724 | 0.0814 | 0.4994 |

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Los Cerrillos – Aerogenerador individual



5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado el valor de **Mínimo Técnico** del Parque Eólico Los Cerrillos. 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] |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Los Cerrillos | 3.9875 | 0.1774 | 0.1069 | 3.7032 |

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Los Cerrillos – Planta completa

| Parque Eólico | Potencia Bruta [MW] | Potencia de SSAA [MW] | Pérdidas en la central [MW] | Potencia Neta [MW] |
|---------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| Los Cerrillos | 0.6532 | 0.0724 | 0.0814 | 0.4994 |

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Los Cerrillos – 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 | 0.0513 | 0.0556 |
| Aerogenerador individual | 0.0511 | 0.0303 |

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.

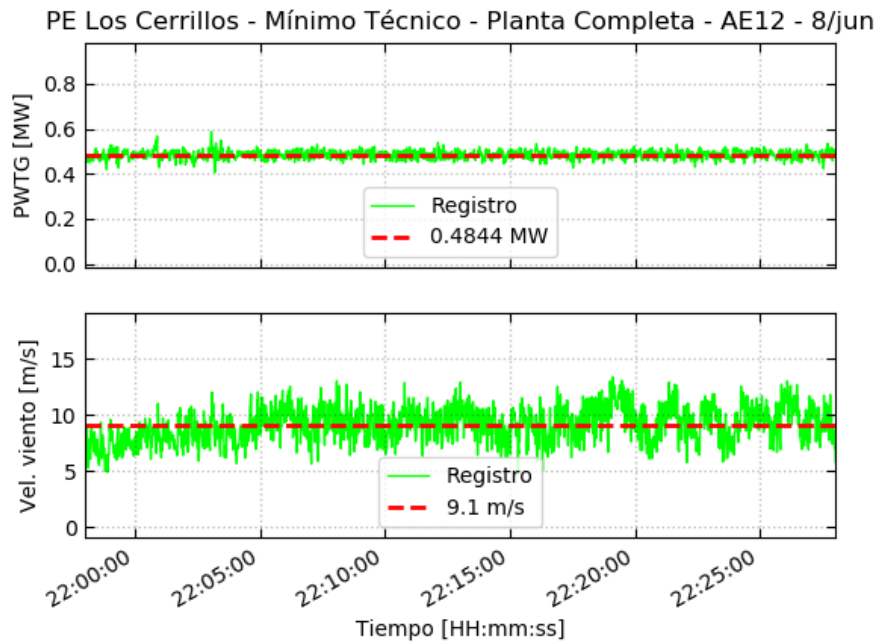


Figura 6.1 – Registro AE12 – Planta completa

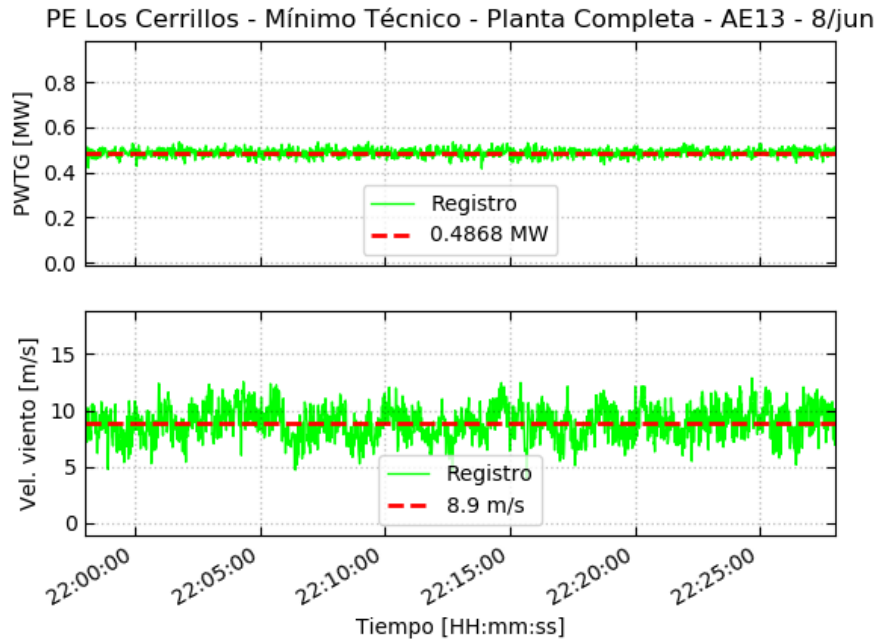


Figura 6.2 – Registro AE13 – Planta completa

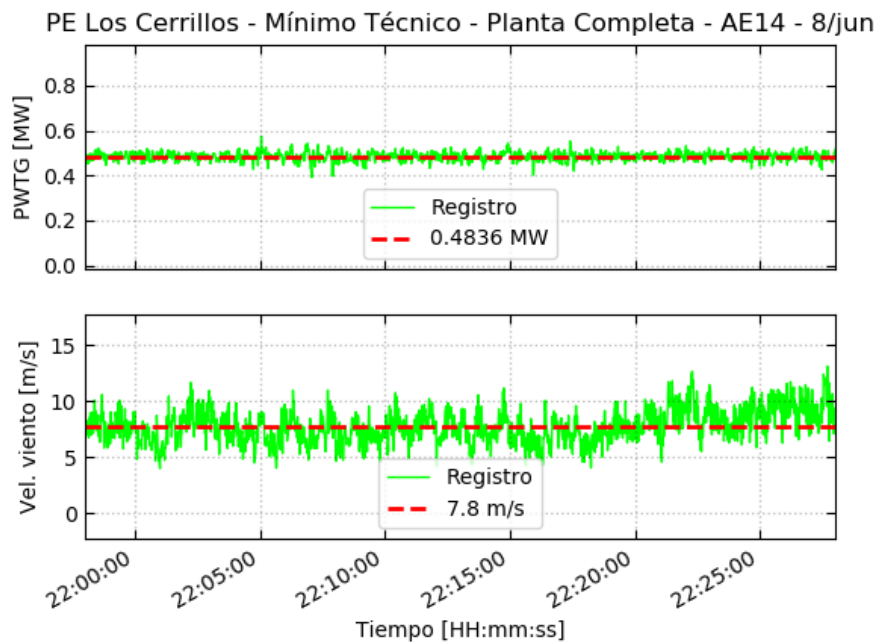


Figura 6.3 – Registro AE14 – Planta completa

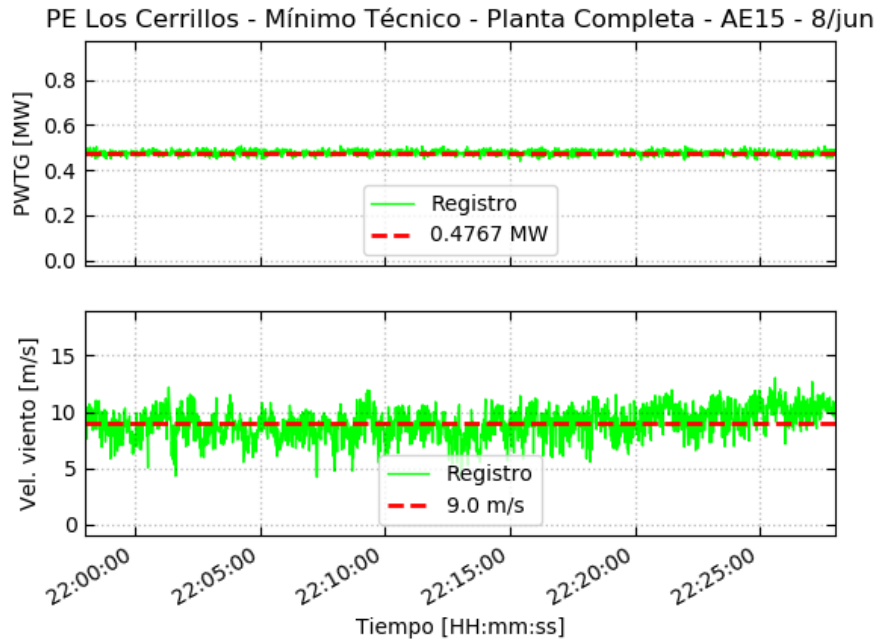


Figura 6.4 – Registro AE15 – Planta completa

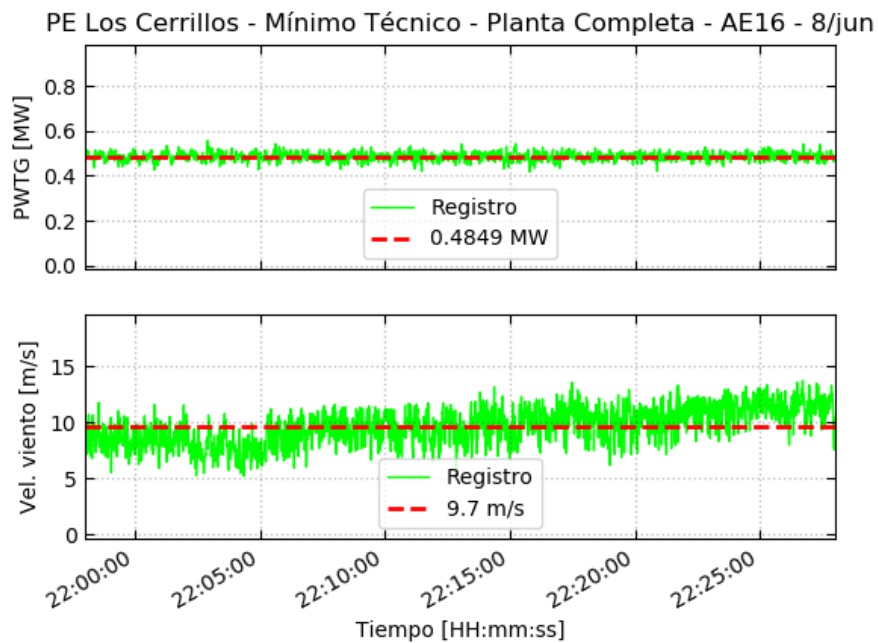


Figura 6.5 – Registro AE16 – Planta completa

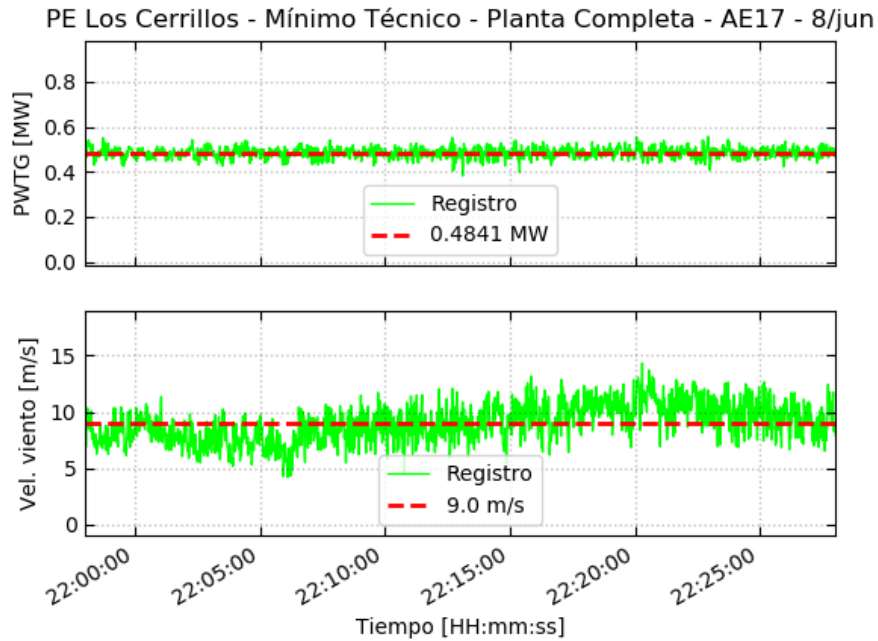


Figura 6.6 – Registro AE17 – Planta completa

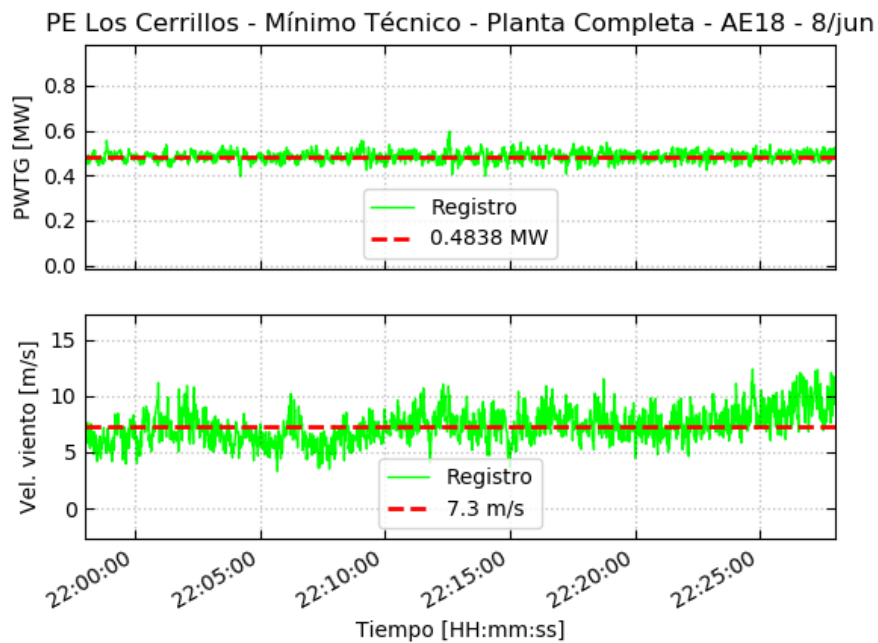


Figura 6.7 – Registro AE18 – Planta completa

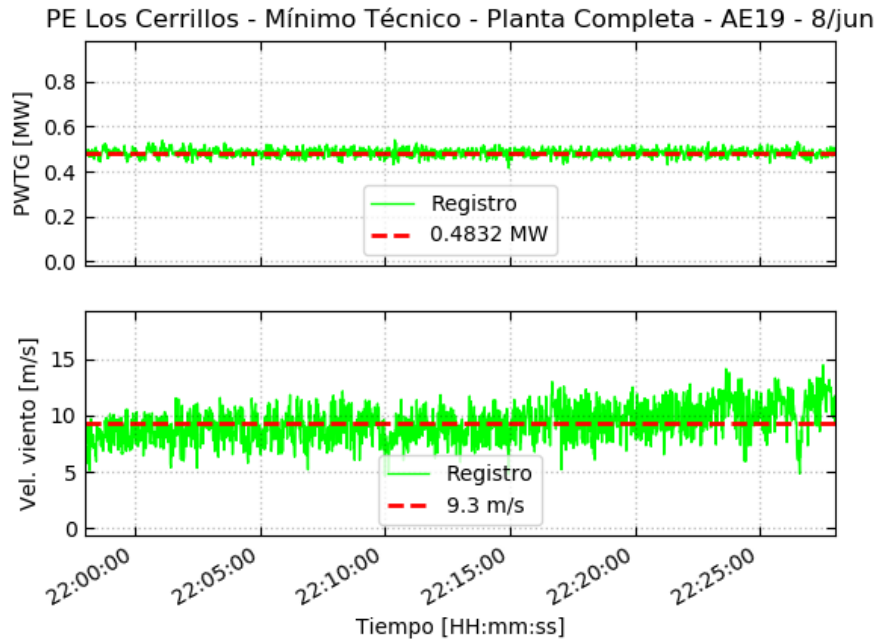


Figura 6.8 – Registro AE19 – Planta completa



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.