

Empresa
País
Proyecto
Descripción

EDPR Chile
Chile
Parque Eólico Punta de Talca
Informe de Mínimo Técnico



CÓDIGO DE PROYECTO	EE-2024-017
CÓDIGO DE INFORME	EE-EN-2024-1316
REVISIÓN	A

29 ago. 24



Este documento **EE-EN-2024-1316-RA** fue preparado para EDPR Chile 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 42 páginas y ha sido guardado por última vez el 29/08/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	29.08.2024	Para presentar	NS	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>.



CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	4
	1.1 Fecha ensayo y personal auditor	5
	1.2 Medidores utilizados	5
	1.3 Nomenclatura Utilizada	6
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
	2.1 Condición de Central Completa.....	8
	2.2 Condición de un único aerogenerador	9
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	10
	3.1 Diagrama unilineal.....	10
	3.2 Datos de los aerogeneradores.....	13
	3.3 Datos de los transformadores de bloque	15
	3.4 Datos del transformador principal.....	16
	3.5 Datos de los Consumos de SSAA	17
4	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO.....	18
	4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	19
	4.1.1 Potencia Bruta	21
	4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares.....	22
	4.1.3 Potencia de Perdidas en la Central.....	22
	4.1.4 Potencia Neta.....	23
	4.1.5 Resultados	23
	4.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual	24
	4.2.1 Potencia Bruta	26
	4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares.....	26
	4.2.3 Potencia de Perdidas en la Central.....	27
	4.2.4 Potencia Neta.....	28
	4.2.5 Resultados	28
5	CONCLUSIONES	29
6	ANEXOS	31
	6.1 Certificados de calibración de medidor de energía	31
	6.2 Registro de aerogeneradores	34



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico Punta de Talca 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 0.

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados el día 19 de agosto de 2024.

El Parque Eólico Punta de Talca se encuentra ubicado en la comuna de Ovalle, Región de Coquimbo y consta de 14 aerogeneradores marca Nordex modelo N155 de 5.9 MW de potencia nominal.

Cada uno de los aerogeneradores cuenta con un transformador elevador de relación 0.75 kV / 33 kV (+4 x 2.5%) que permite la inyección de su producción en la red de media tensión. La red colectora de media tensión está constituida por cables subterráneos y dividida en 5 circuitos colectores. En cuatro de ellos se conectan 3 aerogeneradores, en el circuito restante se conectan 2 aerogeneradores.

El parque totaliza una potencia instalada de 82.6 MW y se vincula al SEN mediante un transformador de poder de relación 33 kV / 220 kV (+11/-13 x 1.25%) y de capacidad 67.5/90 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Punta de Talca.

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.



1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Nicolás Silva Ing. Matías Parra	19 de agosto de 2024

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	N° Serie
Adquisidor	Janitza	UMG512	5100/0731

Tabla 1.2 – Equipos utilizados

El equipo presentado en la Tabla 1.2 se utilizó para registrar la **Potencia Neta** inyectada en el punto de interconexión. Su certificado de calibración se encuentra disponible en el Anexo 6.1.

Para el registro de **Potencia Bruta y velocidad del viento**, se cuenta con datos adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 1 minutos para todas las mediciones.

En cuanto al registro de **Servicios Auxiliares**, no ha sido posible el registro de sus variables eléctricas. Sin embargo, el experto técnico ha tomado registros fotográficos durante el ensayo a fin de estimar su valor medio. Su valor es determinado en el capítulo 3.3.

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 y puntos de medición:

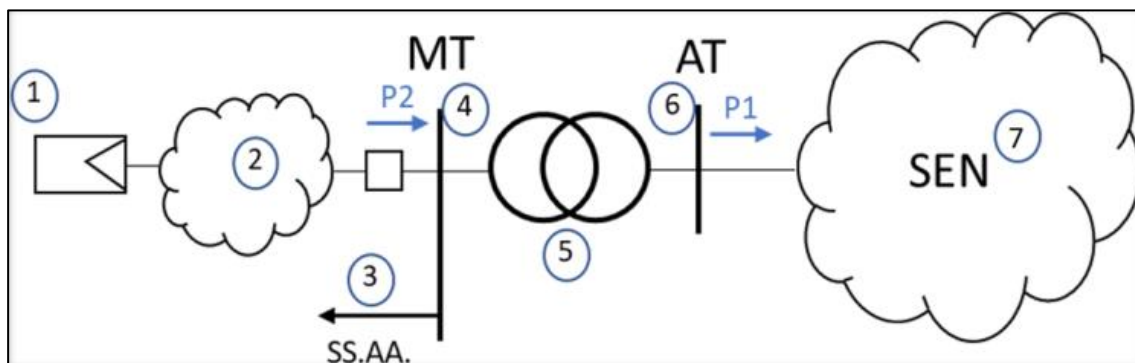


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

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. Se corresponde con el punto de Potencia Neta para efectos de la determinación de los parámetros operacionales.
7. **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**
 - **P1:** Potencia inyectada por el parque eólico en la barra de alta tensión de su subestación de salida.
 - **P2:** Potencia inyectada por el parque eólico en la barra de media tensión de su subestación de salida.



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 Punta de Talca, 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 y elementos de la red colectora 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.

Se aclara que el PPC no cuenta con la capacidad de ir apagando aerogeneradores de forma controlada hasta lograr la operación con un aerogenerador individual. Sin embargo, el operador de parque puede apagar aerogeneradores dando orden de ‘Stop’ cada vez.

La “Guía Técnica DCO N°01-2024: Recomendaciones para la elaboración de los informes de Determinación de los Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras Renovables no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía” indica directrices y sugerencias para dar completitud a los ensayos e informes de las pruebas de Mínimo Técnico. En el caso particular del parque eólico se destaca el capítulo 8.1.



2.1 Condición de Central Completa

- a) El objetivo de la prueba de MT es determinar la condición de mínima inyección estable de despacho de la central tal que, en el punto de Potencia Neta, se tenga el valor más cercano a 0 MW que la central puede inyectar, sin acciones manuales de forma estable en el tiempo y con la disponibilidad de recurso primario.
- b) La prueba de MT para plantas solares y eólicas debe ser desarrollada en un periodo mínimo de una hora. Para el cálculo de mínimo técnico de la unidad, se considerará como mínimo 15 minutos continuos bajo una operación estable.
- c) En el caso de centrales PE y PFV, el informe deberá contener los datos y registros gráficos de potencia activa, irradiancia (fotovoltaicas), temperatura (fotovoltaicas) y velocidad del viento (eólicas), según corresponda, de las 24 horas del día de la prueba para la totalidad de la planta. Adicionalmente deberán entregarse los datos y registros gráficos de potencia bruta para los inversores (plantas solares) y aerogeneradores operativos en la prueba que componen la central, durante el periodo considerado para la prueba, no pudiendo ser este de menos de 1 hora.
- d) Los informes de las centrales PFV y PE deberán indicar explícitamente la capacidad del controlador de potencia de la central (PPC) para controlar el proceso de reducción de potencia mediante el apagado y/o pausado automático de inversores y/o aerogeneradores hasta llevar la Potencia Activa Neta, medida en el punto de alta tensión del transformador elevador, a un valor de mínimo técnico sin acciones manuales, **no implicando esto necesariamente, la operación de un solo inversor o aerogenerador según corresponda.**
- e) En caso de que el controlador no permita la operación en una potencia de 0 MW de forma automática, el informe deberá incluir todos los antecedentes y una justificación adecuada ante esta limitación. Además, deberá incorporar al informe el valor de Mínimo Técnico que es capaz de ajustar el operador de la planta actuando a nivel de control en forma manual.
 - Lo anterior implica que el operador ejecute manualmente la acción de pausa o apagado de los inversores de modo de lograr una operación estable lo más cercana a los 0 MW en el lado de alta tensión del transformador elevador (Potencia Neta). En el informe, se deberá describir las acciones necesarias para que el parque llegue al punto antes indicado, entregando los antecedentes técnicos de respaldo de la configuración del PPC.
 - Dentro de los antecedentes técnicos se deberá incluir las prestaciones del controlador, su filosofía de control y diferentes modos de operación habilitadas para este, en función de respaldar toda eventual limitación que el controlador pudiese tener.



2.2 Condición de un único aerogenerador

Tal como se mencionó anteriormente, el objetivo de la prueba de MT es determinar la condición de mínima inyección estable de operación de la central.

Adicionalmente se busca determinar el MT bajo una condición de un único inversor o aerogenerador para un mejor entendimiento de las características técnicas de la instalación. En esta última condición, se debe considerar lo siguiente:

- a)** En los resultados de la prueba con un inversor o aerogenerador, se debe indicar si el equipo controlador (PPC) es capaz de operar con un único inversor o aerogenerador de forma manual o automática.
- b)** Bajo la operación con un único inversor o aerogenerador es posible un escenario donde la generación no sea suficiente para alimentar los SSAA propios de la central, y se produzca consumo de la red. En el caso de que lo anterior ocurra, se debe aumentar la generación, usando eventualmente más de un inversor o aerogenerador, hasta lograr una Potencia Neta cero de forma estable.
- c)** Adicionalmente, para el desarrollo de la prueba de MT con un único inversor o aerogenerador encendido y el resto en pausa o apagado se deberá considerar lo siguiente:
 - Dejar todos los inversores o aerogeneradores apagados o en pausa, menos uno.
 - El único inversor o aerogenerador en servicio debe estar despachado de forma tal que esta potencia debe ser igual o cercana a 0 [MW], condición de mínima inyección estable.
 - La medida de Potencia Activa Neta debe en el lado de alta tensión del transformador elevador.
 - El informe debe indicar el procedimiento con el que se operó con un único inversor/aerogenerador de forma estable, es decir, debe estipular si la acción se desarrolló de forma manual o automática vía PPC.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Punta de Talca, ubicado en la comuna de Ovalle, región de Coquimbo, se compone de catorce (14) aerogeneradores, marca Nordex modelo N155 de 5.9 MW de potencia nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 82.6 MW.

Cada uno de los aerogeneradores cuenta con un transformador elevador de relación 0.75 kV / 33 kV (+4 x 2.5%) que permite la inyección de su producción en la red de media tensión. La red colectora de media tensión está constituida por cables subterráneos y dividida en 5 circuitos colectores. En cuatro de ellos se conectan 3 aerogeneradores, en el circuito restante se conectan 2 aerogeneradores. El parque totaliza una potencia instalada de 82.6 MW y se vincula al SEN mediante un transformador de poder de relación 33 kV / 220 kV (+11/-13 x 1.25%) y de capacidad 67.5/90 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Punta de Talca.

El parque cuenta con un control conjunto de planta marca Nordex. Este módulo permite al parque operar con los modos de control de potencia reactiva, factor de potencia, control de tensión y potencia activa.

3.1 Diagrama unilineal

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama unilineal de la barra de 220 kV del Parque Eólico Punta de Talca. En el recuadro **rojo** se remarca los TP y TC utilizados para la medición de las señales en el punto de interconexión (Potencia Neta).

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama unilineal de la barra de 33 kV del Parque Eólico Punta de Talca. El recuadro **rojo** enmarca el paño de conexión del transformador principal, los recuadros **verdes** enmarcan los paños asociados a las unidades generadoras, en bornes de las cuales se toma la medición de potencia bruta. Finalmente, el recuadro **azul** muestra el transformador de servicios auxiliares, desde donde se toman mediciones manuales de los consumos de la instalación.

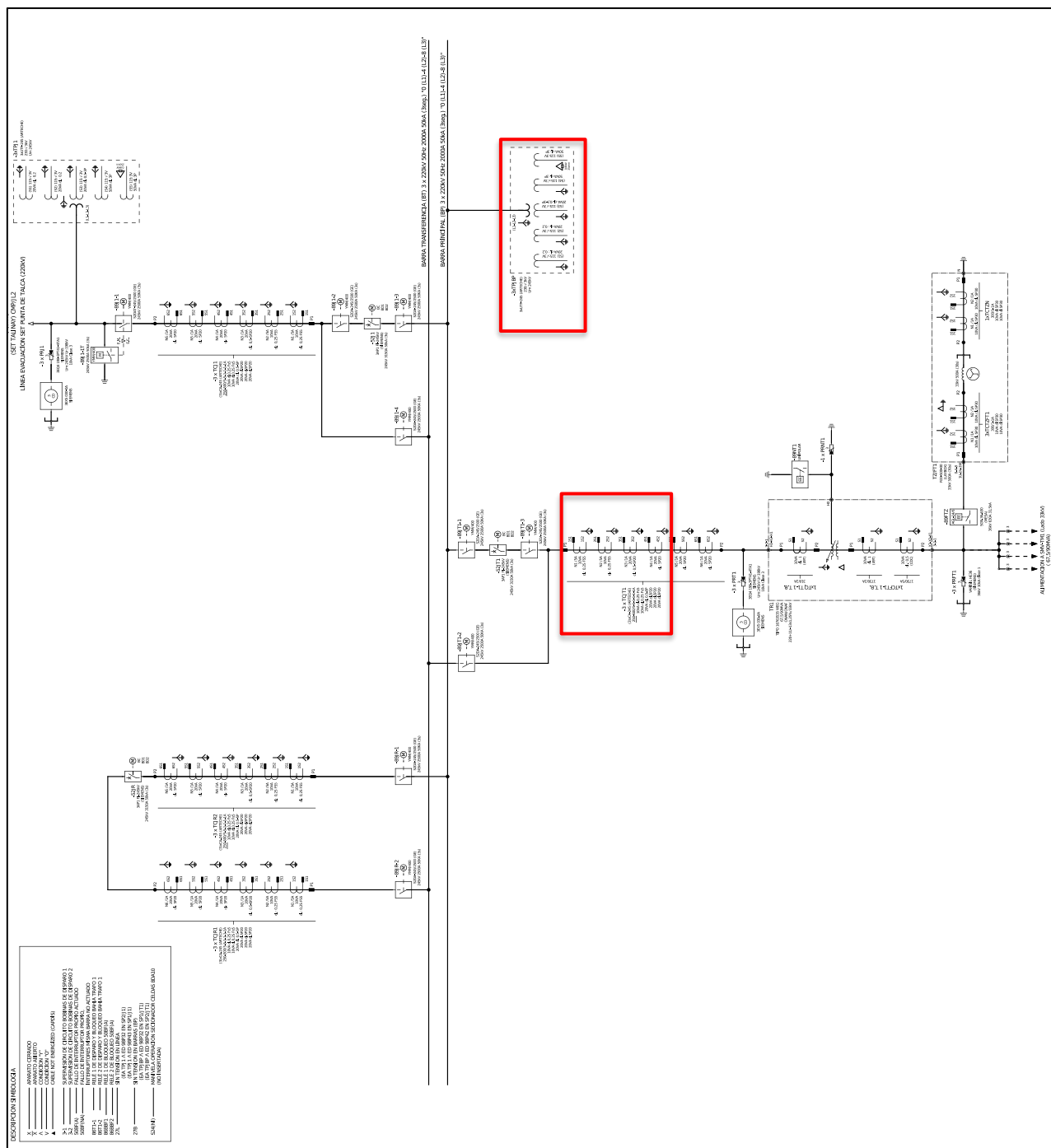


Figura 3.1 – Diagrama unilineal Parque Eólico Punta de Talca – Barra 220 kV

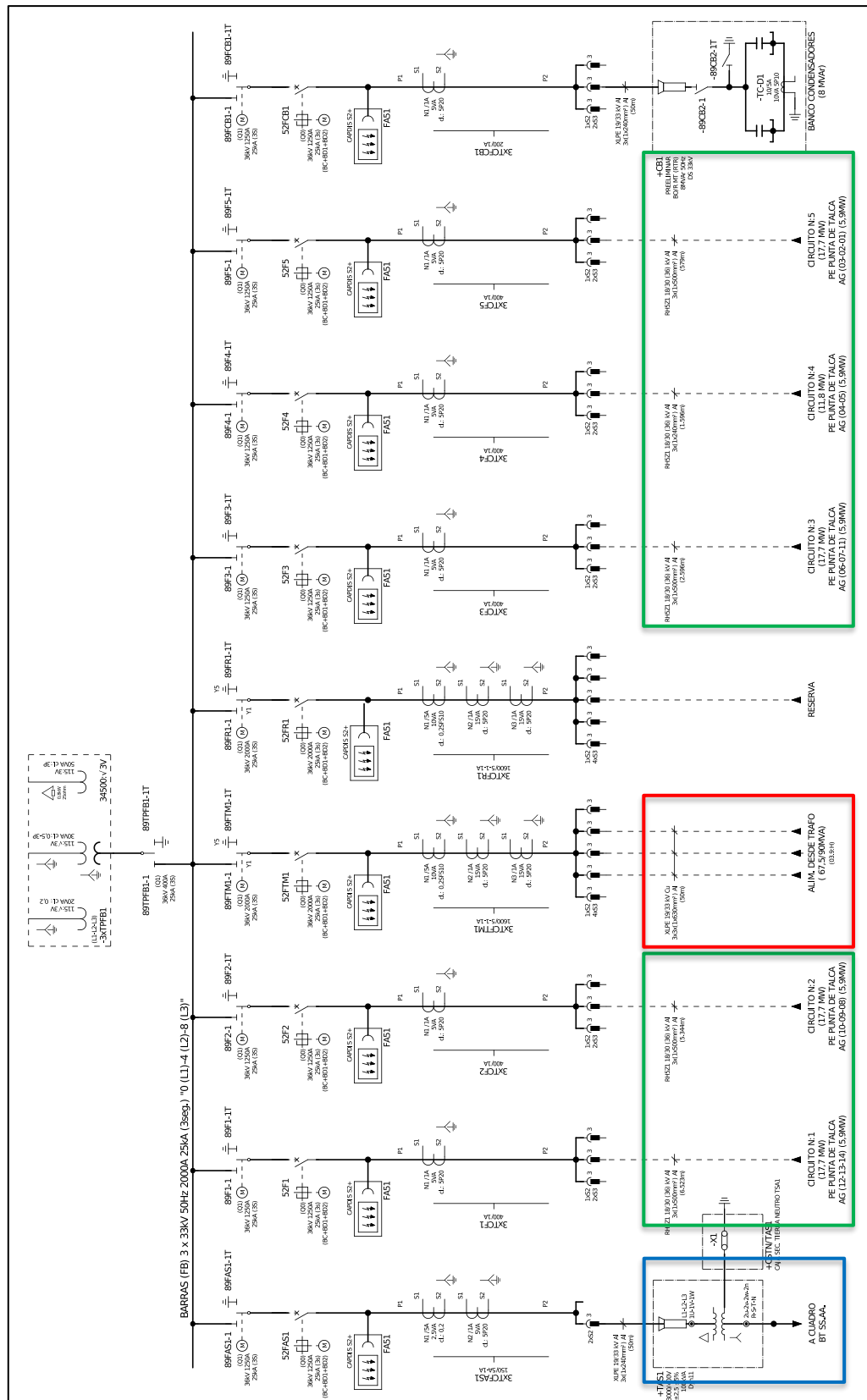


Figura 3.2 – Diagrama unilineal de Parque Eólico Punta de Talca – Barra 33 kV



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Punta de Talca cuenta con 14 aerogeneradores marca NORDEX modelo N155 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 Figura 3.3.

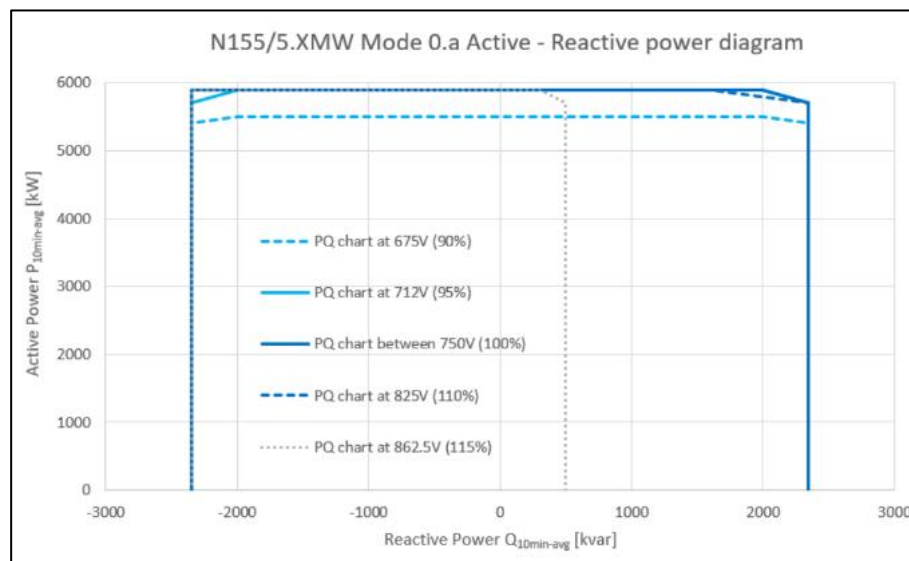


Figura 3.3 – Curva de capacidad de aerogeneradores

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

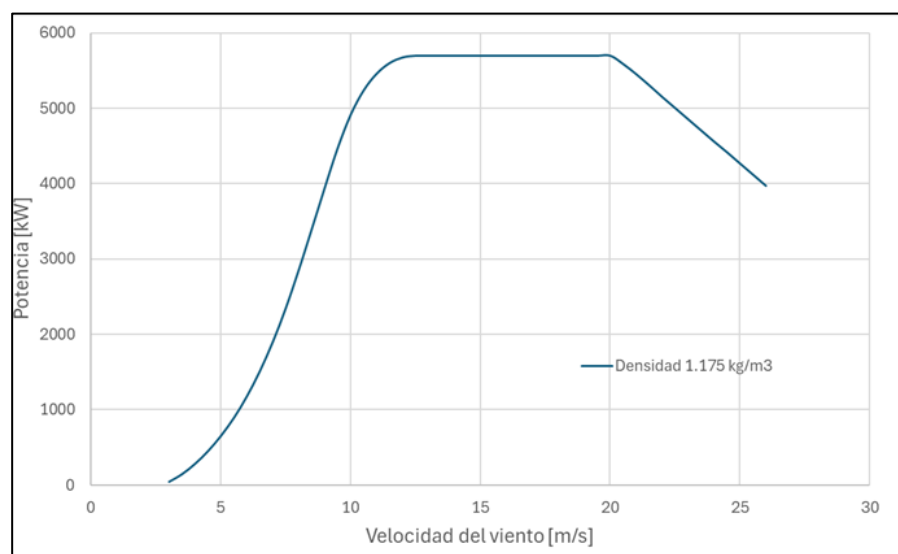


Figura 3.4 – Curva Viento/Potencia para los aerogeneradores



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.

3.4 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 base load (average active power) of the auxiliary low voltage system during WT feed-in operation mode is approx. 15 kW, based on one year. These values are already included in the power curves.

Figura 3.5 – Consumos propios de aerogeneradores

De forma adicional, se muestran en el anexo 6.2 antecedentes compartidos por el fabricante respecto a la operación en Mínimo Técnico de la instalación. Se informa que el valor de potencia mínima de cada aerogenerador está en torno al 10% de su potencia nominal (es decir, 590 kW aproximadamente).

Además, se aclara que para la operación en condición de planta completa no se recomienda establecer consignas menores al 10% del valor de potencia nominal de la instalación ya que puede provocar ciclos iterativos de encendido y apagado de turbinas en función de la propia disponibilidad de viento de cada equipo.

Finalmente, se aclara que la condición de mínimo técnico con unidad individual se alcanza mediante comandos manuales de detención a 13 de las 14 unidades.



3.3 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico Punta de Talca cuenta con catorce transformadores de bloque de dos devanados que permiten la interconexión del aerogenerador en media tensión. Su relación de transformación es de 0.75 / 33 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	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.75 kV
Grupo de conexión	Dy5
Impedancia	9.0 %
Pérdidas en carga	71 kW
Pérdidas en vacío	4 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 Punta de Talca cuenta con 1 transformador principal de dos devanados que permiten la interconexión del parque con el SI. Su relación de transformación es de 33 / 220 kV y de 90MVA de capacidad nominal.

Los datos característicos de los mismos se muestran en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	67.5/90 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia	12.32%
Pérdidas en carga	260 kW
Pérdidas en vacío	35.77 kW
Posiciones de TAP	$\pm 13 \times 1.25 \%$

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.5 Datos de los Consumos de SSAA

Los consumos de servicios auxiliares (SSAA) del Parque Eólico Punta de Talca se monitorearon durante la ejecución de las pruebas. Para ello se realizó un registro fotográfico, al comenzar el ensayo, al medidor de SSAA esenciales del parque. A partir de la imagen mostrada a continuación, se demuestra un consumo de SSAA de 12.27 kW, valor que será utilizado en el presente informe.

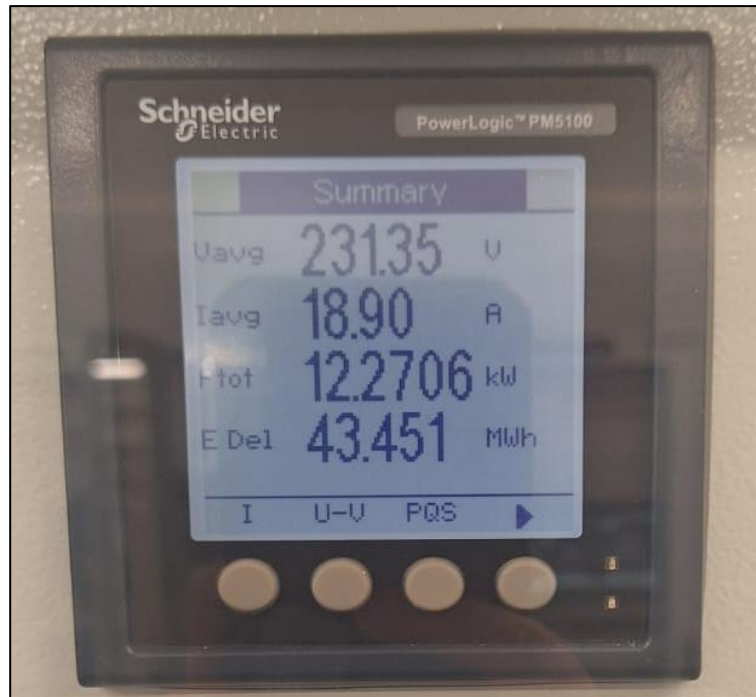


Figura 3.6 – Consumo SSAA Parque Eólico Punta de Talca



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 las unidades.

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.

Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínimo Neta [MW]
PE Punta de Talca	(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 las unidades 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 MW x Cantidad de aerogeneradores (considerando todos 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 (MW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en la S/E Punta de Talca 220 kV (POI).



4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 19 de agosto de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico de planta completa, es decir, con los 14 aerogeneradores del parque en servicio.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 4.1 se muestra la potencia neta medida (P_{NETA}) durante 1 hora de prueba. Se destaca con la línea segmentada roja la media de potencia activa registrada.

En tanto, en la Figura 4.2 se muestra la potencia sumada medida de todos los aerogeneradores (P_{WTG}) y Se destaca con la línea segmentada roja la media de potencia activa registrada. El valor medio implica un despacho aproximado de 630 kW por unidad, en la sección 6.3 se muestra el registro de cada aerogenerador durante la prueba.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de velocidad de viento promedio registrados durante el período de prueba completa. En la línea roja segmentada se aprecia la media para el período considerado. Finalmente, en la Figura 4.4 se muestra el registro de velocidad de viento del día completo del ensayo de Mínimo Técnico, enmarcando el período de prueba efectiva.

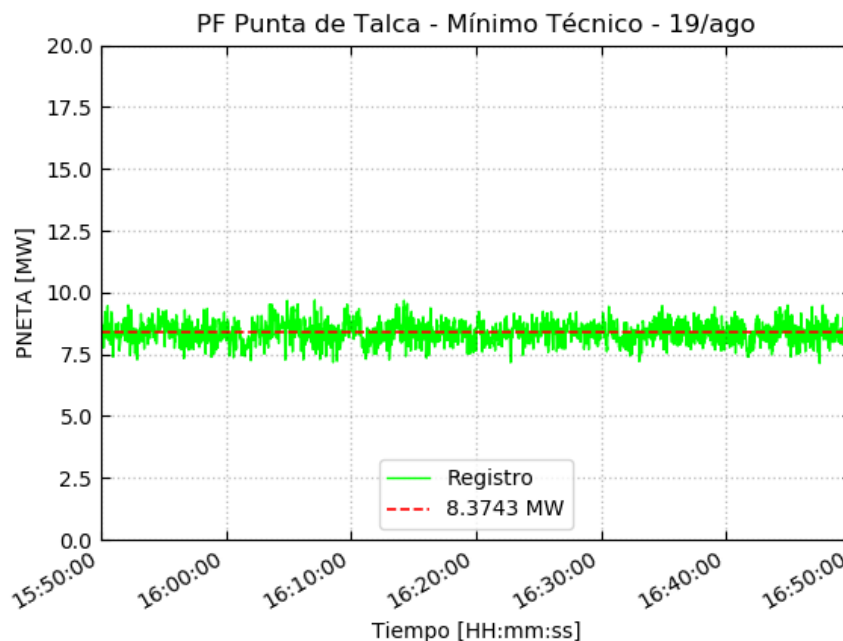


Figura 4.1 – Potencia neta – Planta completa

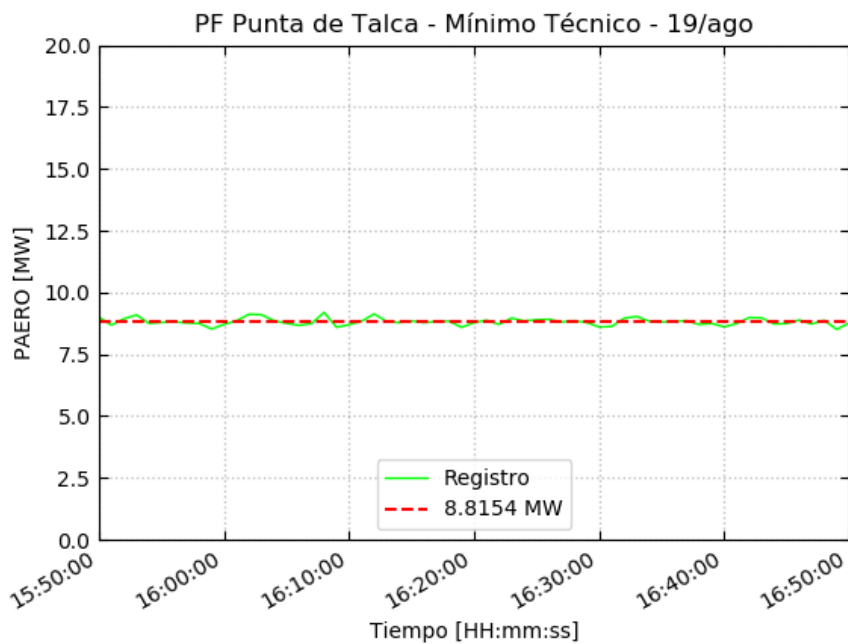


Figura 4.2 - Potencia de aerogeneradores – Planta completa

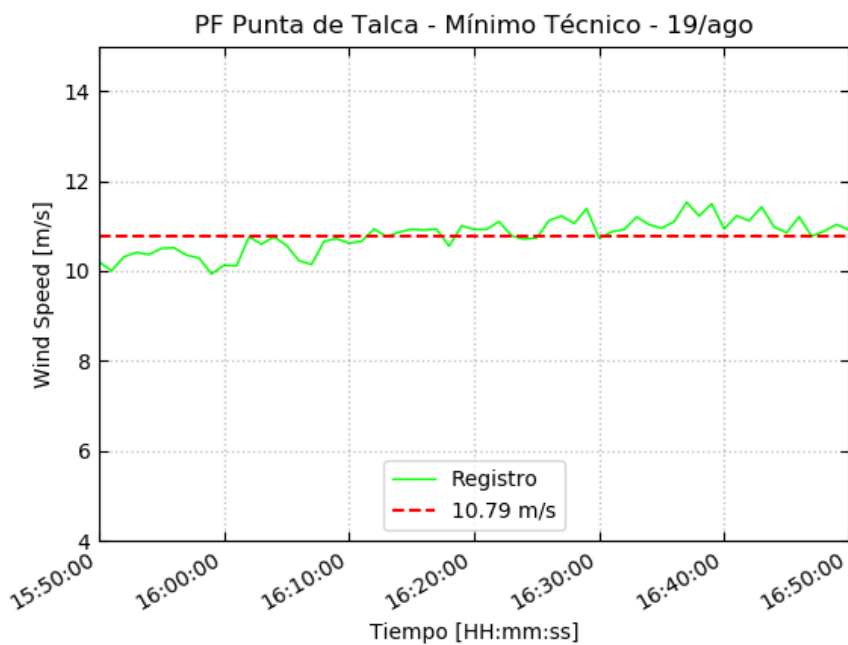


Figura 4.3 – Velocidad de viento durante pruebas de mínimo técnico

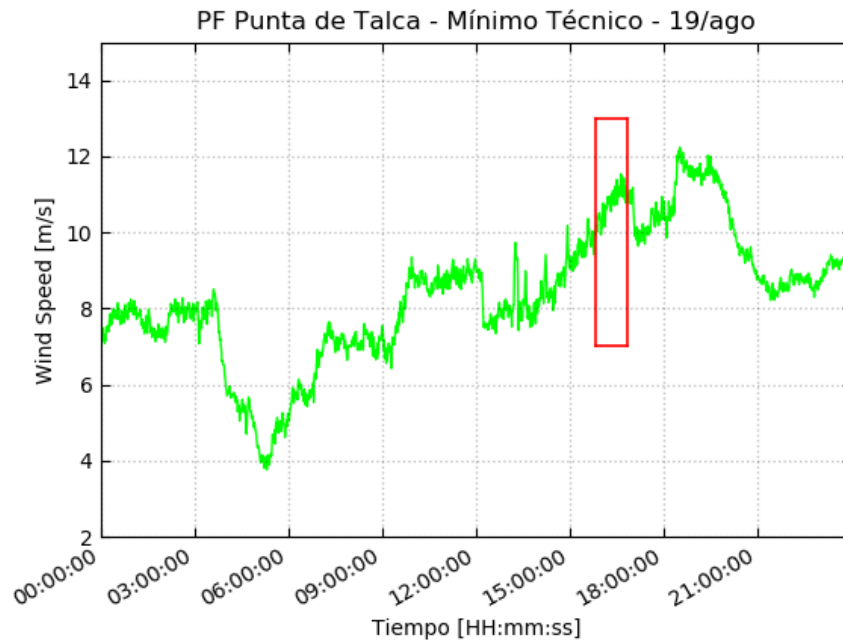


Figura 4.4 – Velocidad de viento día completo

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 del aerogenerador. Estos consumos se estiman en 15 kW según se observa en la Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 8.8154 \text{ MW} + 14 \times 15 \text{ kW} = 9.0254 \text{ MW}$$



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 MW x Cantidad de aerogeneradores (considerando todos los aerogeneradores en servicio) más los Consumos de SSAA registrados en la Sección 3.3.

Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 15 kW. En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

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

$$P_{SSAA} = 14 \times 15 \text{ kW} + 12.27 \text{ kW} = 0.2223 \text{ MW}$$

4.1.3 Potencia de Pérdidas en la Central

En base a las mediciones realizadas, el valor de pérdidas de la central queda determinado en base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, considerando la diferencia entre la potencia bruta medida, los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) y la potencia neta.

$$P_{\text{perd,central}} = P_{WTG} - P_{tr,SSAA} - P_{NETA}$$

$$P_{\text{perd,central}} = 8.8154 \text{ MW} - 12.27 \text{ kW} - 8.3743 \text{ MW} = 0.4288 \text{ MW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{\text{Perd,tr}_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{\text{Perd,redMT}}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{\text{Perd,tr}_{ppal}} = \text{Pérdidas}_{\text{carga}} + \text{Pérdidas}_{\text{vacío}}$$



Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es cercana al 10% y, por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión (las pérdidas en carga son aproximadamente el 1% y no son consideradas).

$$P_{Perd, tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 35.77 \text{ kW} = 35.77 \text{ kW}$$

$$P_{Perd, tr_{ppal}} = 0.0358 \text{ MW}$$

En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{Perd, redMT} = P_{Perd, central} - P_{Perd, tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd, redMT} = 0.4288 \text{ MW} - 0.0358 \text{ MW}$$

$$P_{Perd, redMT} = 0.3930 \text{ MW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Punta de Talca corresponde a la potencia inyectada en la barra de 220 kV de la S/E Punta de Talca (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 8.3743 MW.

$$P_{Neta} = 8.3743 \text{ MW}$$

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 Punta de Talca considerando el parque completamente operativo.

Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínimo Neta [MW]
PE Punta de Talca	9.0254	0.2223	0.4288	8.3743

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Punta de Talca – Planta completa



4.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual

El día 19 de agosto de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando la operación de un único aerogenerador y todos los elementos de red (transformadores y circuitos colectores) del Parque Eólico Punta de Talca en servicio. Para lograr esta condición el operador de turno del parque debe dar una orden de detención a los 13 aerogeneradores restantes. **La orden de detención se realiza de forma manual**, enviando un comando individualizado a cada equipo desde la consola de operación centralizada. Se aclara que El PPC no cuenta con la capacidad de ir apagando aerogeneradores de forma automática y controlada hasta lograr la operación con un aerogenerador individual.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 4.5 se muestra la potencia neta medida (P_{NETA}) durante 1 hora de prueba. Se destaca con la línea segmentada roja la media de potencia activa registrada.

En tanto, en la Figura 4.6 se muestra la potencia sumada medida de todos los aerogeneradores (P_{WTG}) y Se destaca con la línea segmentada roja la media de potencia activa registrada.

En la Figura 4.7 se muestra el registro de velocidad de viento promedio registrados durante el período de prueba completa. En la línea roja segmentada se aprecia la media para el período considerado. Finalmente, en la Figura 4.8 se muestra el registro de velocidad de viento del día completo del ensayo de Mínimo Técnico, enmarcando el período de prueba efectiva.

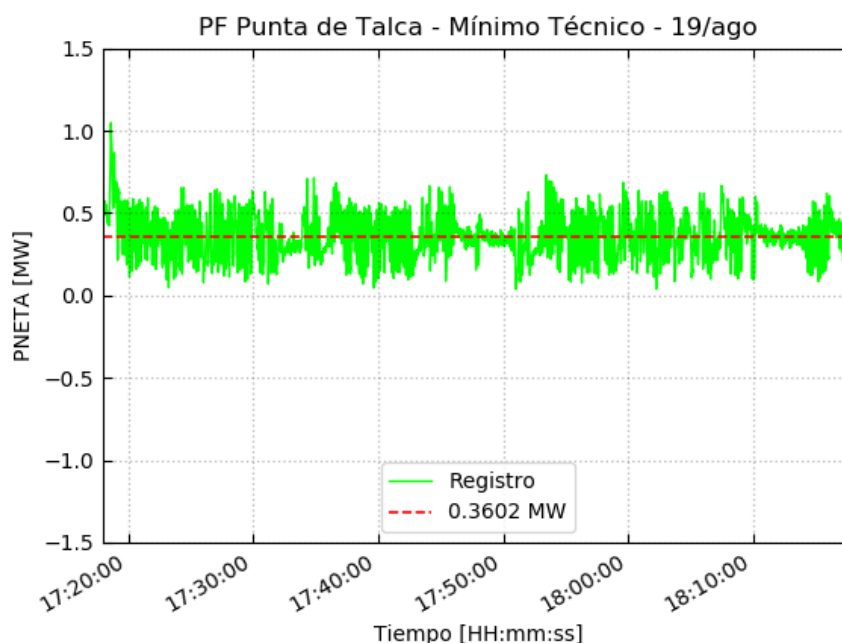


Figura 4.5 – Potencia neta – Aerogenerador individual

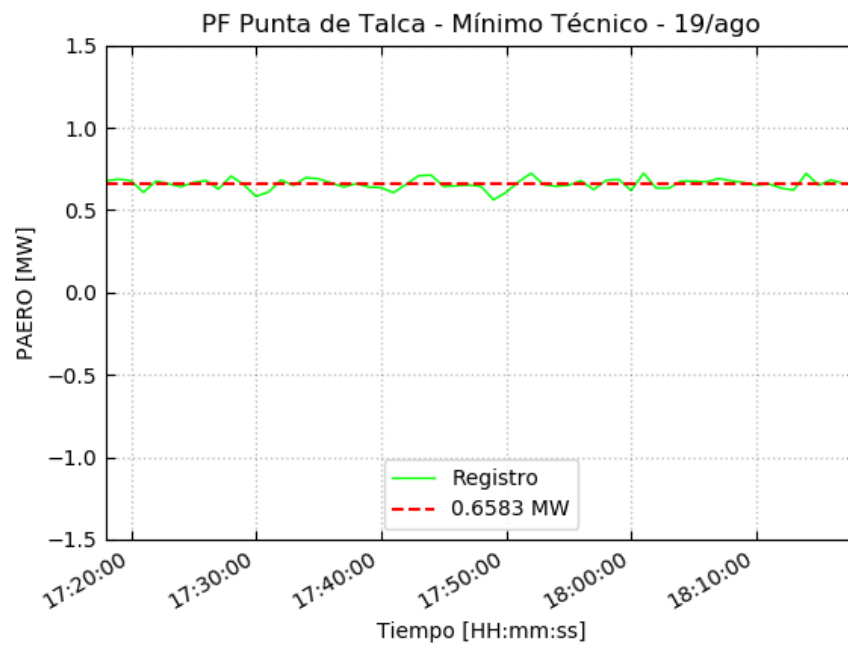


Figura 4.6 – Potencia de aerogeneradores – Aerogenerador individual

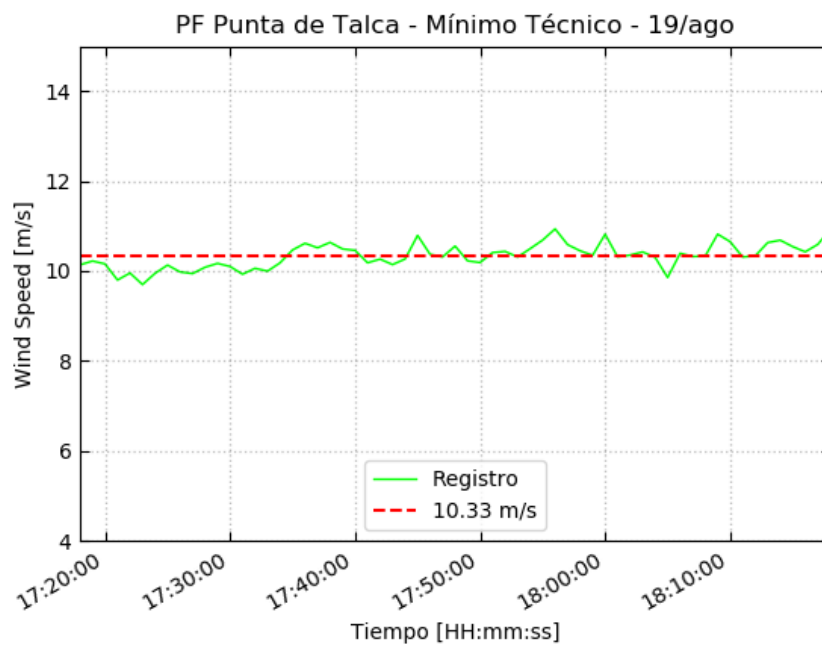


Figura 4.7 – Velocidad de viento durante pruebas de mínimo técnico con un aerogenerador operativo

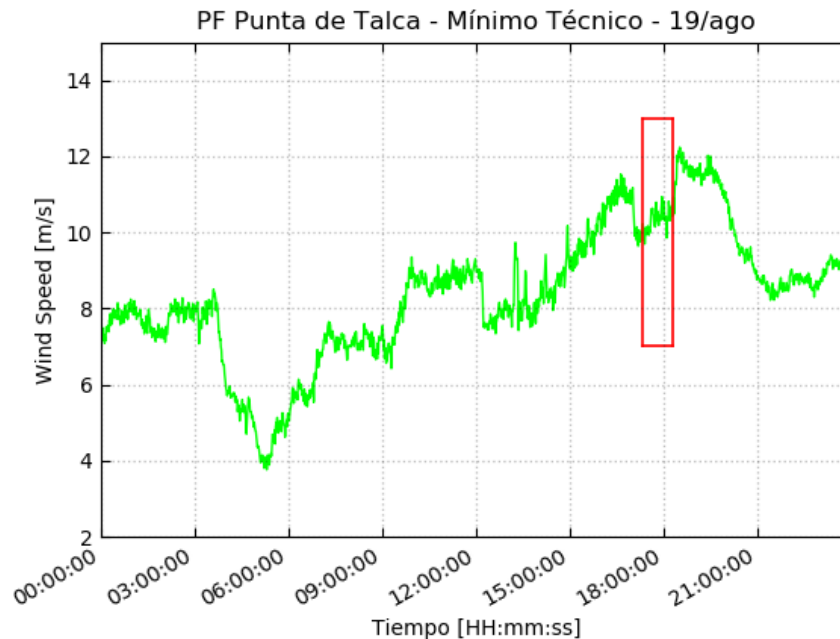


Figura 4.8 – Velocidad de viento día completo

4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 4.6, se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del aerogenerador. Estos consumos se estiman en 15 kW según se observa en Figura 3.5. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta} = 0.6583 \text{ MW} + 1 \times 15 \text{ kW} = 0.6733 \text{ MW}$$

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 MW x Cantidad de aerogenerador (considerando la única unidad en servicio) más los Consumos de SSAA registrados en la Sección 3.3.



Según se observa en la Figura 3.5, el consumo interno del aerogenerador se estima en 15 kW. En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

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

$$P_{SSAA} = 1 \times 15 \text{ kW} + 12.27 \text{ kW} = 0.0273 \text{ MW}$$

4.2.3 Potencia de Pérdidas en la Central

En base a las mediciones realizadas, el valor de pérdidas de la central queda determinado en base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, considerando la diferencia entre la potencia bruta medida, los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) y la potencia neta.

$$P_{\text{perd,central}} = P_{WTG} - P_{tr,SSAA} - P_{NETA}$$

$$P_{\text{perd,central}} = 0.6583 \text{ MW} - 12.27 \text{ kW} - 0.3602 \text{ MW} = 0.2858 \text{ MW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{\text{perd,tr}_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{\text{perd,redMT}}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{\text{perd,tr}_{ppal}} = \text{Pérdidas}_{\text{carga}} + \text{Pérdidas}_{\text{vacío}}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor a 1%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{\text{perd,tr}_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 35.77 \text{ kW} = 35.77 \text{ kW}$$

$$P_{\text{perd,tr}_{ppal}} = 0.0358 \text{ MW}$$



En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{Perd,redMT} = P_{Perd,central} - P_{Perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,redMT} = 0.2858 \text{ MW} - 0.0358 \text{ MW}$$

$$P_{Perd,redMT} = 0.2500 \text{ MW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico Punta de Talca corresponde a la potencia inyectada en la barra de 220 kV de la S/E Punta de Talca (POI). Se obtiene un mínimo de operación estable de 0.3602 MW.

$$P_{Neta} = 0.3602 \text{ MW}$$

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 Punta de Talca considerando un único aerogenerador en servicio.

Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínimo Neta [MW]
PE Punta de Talca	0.6733	0.0273	0.2858	0.3602

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Parque Eólico Punta de Talca – Aerogenerador individual



5 CONCLUSIONES

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

Se destaca que para que el parque llegue al punto de operación de mínimo técnico con un aerogenerador, el operador deberá acceder al SCADA y dar una orden de **forma manual** para la eventual detención de los equipos ya que el controlador conjunto de planta no cuenta con la capacidad de apagar de forma automática y controlada los aerogeneradores hasta lograr la operación con un aerogenerador individual.

Además, se destaca la imposibilidad de alcanzar un valor de 0 MW en el POI debido a que involucraría un mínimo técnico del aerogenerador menor al indicado por el fabricante produciendo el apagado del mismo.

Las Tabla 5.1 y Tabla 5.2 resumen los resultados obtenidos.

Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínimo Neta [MW]
PE Punta de Talca	9.0254	0.2223	0.4288	8.3743

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico del Parque Eólico Punta de Talca – Parque Completo

Para la Tabla 5.2 se tiene el siguiente desglose:

- (1) Considera la operación del parque eólico con 14 aerogeneradores entregando una potencia activa de 9.0254 MW.
- (2) Corresponde a la suma de los SS.AA. comunes a la central y los consumos propios de las unidades.
- (3) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector en media tensión (0.3930 MW) y del transformador de poder (0.0358 MW).
- (4) Potencia inyectada en el punto de interconexión ubicado en la barra de 220 kV de S/E Punta de Talca.



Central/Unidad	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínimo Neta [MW]
PE Punta de Talca	0.6733	0.0273	0.2858	0.3602

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico del Parque Eólico Punta de Talca – Aerogenerador individual

Para la Tabla 5.2 se tiene el siguiente desglose:

- (1) Considera la operación del parque eólico con 13 aerogeneradores en modo detención y 1 entregando una potencia activa de 0.6733 MW.
- (2) Corresponde a la suma de los SS.AA. Incluye el consumo propio del aerogenerador y centro de conversión en operación.
- (3) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector en media tensión (0.2500 MW) y del transformador de poder (0.0358 MW).
- (4) Potencia inyectada en el punto de interconexión ubicado en la barra de 220 kV de S/E Punta de Talca.



6 ANEXOS

6.1 Certificados de calibración de medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
			
ESTUDIOS ELÉCTRICOS			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento: Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso.			
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración	
JANITZA UMG512 Pro	4201-5361	11/4/2024	
Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Última calibración	Proxima calibración
VALIJA OKICRON 256-6	HH594R	4/3/2024	4/3/2025
Fecha de evaluación: 11/4/2024 Certificado número: EE-CI-2024-0410		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 	
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning			



6.2 Antecedentes de MT de fabricante

Nivel Mínimo Técnico de Potencia Activa

Nordex N155/5.X TS105-04

Respecto al nivel de mínimo técnico de potencia activa del parque, Nordex señala que éste corresponde al 10% de la capacidad nominal del mismo. Esto guarda relación con dos aspectos:

Mínimo técnico del aerogenerador

Este valor corresponde al 10% de su capacidad nominal, lo que se define en base a las especificaciones de diseño de ingeniería del aerogenerador, incluyendo componentes mayores y estructuras.

Típicamente, son dos los componentes que se ven afectados de manera crítica a este nivel de operación, en el que la producción de potencia activa es baja y la velocidad de viento puede ser alta, ya sea en promedio o en ráfagas:

- Los rodamientos de la multiplicadora podrían destruirse al operar en bajo torque y alta velocidad rotacional.
- Las palas podrían exponerse a eventos de stalling sucesivos al tratar de controlar un bajo torque y alta velocidad rotacional ante condiciones de alta velocidad de viento; esto podría generar daños inmediatos o fatiga excesiva en las palas.

Ambas situaciones ponen en riesgo la seguridad de las instalaciones, ya que exceden los parámetros de diseño.

Mínimo técnico del parque eólico

Si bien el controlador del parque puede admitir una consigna inferior al 10% de su capacidad nominal, para lograr dicho nivel se requerirá detener unidades, en función de la consigna indicada, la disponibilidad de aerogeneradores, etc.

Por su parte, el controlador del parque está diseñado para siempre operar los aerogeneradores de manera óptima, considerando entre otros, la potencia disponible para generar en función del viento. En la práctica, esto define una lista de prioridades, en función de la cual se despacha cada aerogenerador. En vista de la variabilidad del viento y de eventuales detenciones de algunos aerogeneradores de manera aleatoria, tal lista no es fija, sino que se define en base a la operación en tiempo real.

Lo anterior implica que, ante consignas inferiores al 10% de la potencia nominal (con todos los aerogeneradores operando), los aerogeneradores entrarán en un ciclo iterativo de arranque y detención, ya que el controlador priorizará la operación de las unidades disponibles y con mejor recurso. Cabe señalar que el proceso de arranque de los aerogeneradores contempla una rampa de toma de carga bastante más pronunciada que la de operación en régimen, lo que implica que los otros aerogeneradores en operación deben

Tabla 6.1 – Antecedentes MT de fabricante (1 de 2)



compensar dicha rampa, lo que en su conjunto somete a todas las unidades a una condición de operación de alto estrés, el cual es iterativo y acumulativo en el periodo de operación, para la que los aerogeneradores instalados no están diseñados; el diseño de los aerogeneradores prioriza su integridad estructural, a fin de asegurar el cumplimiento de su vida útil y la integridad de sus componentes.

De lo anterior, se desprenden dos puntos a considerar en la operación:

1. El parque no puede operar con un aerogenerador en servicio, pues el ciclo iterativo pone en riesgo al resto de los aerogeneradores.
2. Para mantener una operación segura e íntegra de las instalaciones de generación, el parque no debe ser operado bajo el 10% de la potencia nominal del parque.

Tabla 6.2 – Antecedentes MT de fabricante (2 de 2)



6.3 Registro de aerogeneradores

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

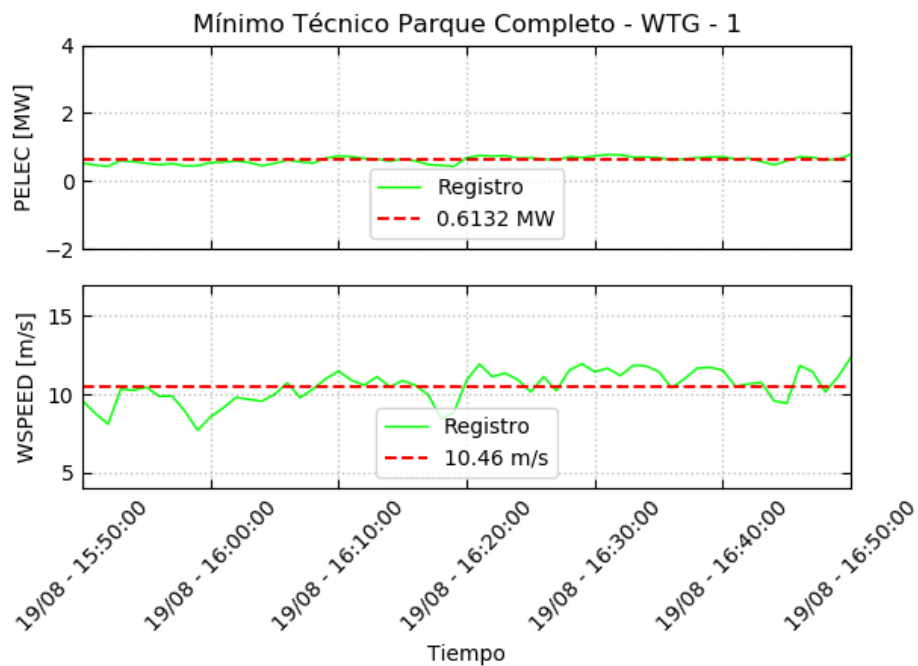


Figura 6.1 – Registro aerogenerador 1 – Mínimo Técnico Planta completa

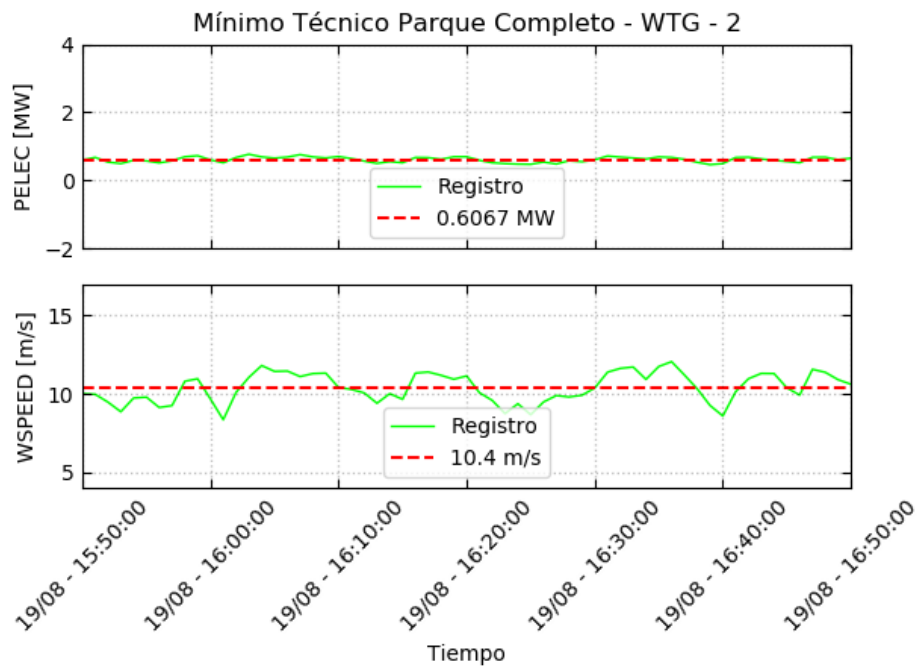


Figura 6.2 – Registro aerogenerador 2 – Mínimo Técnico Planta completa

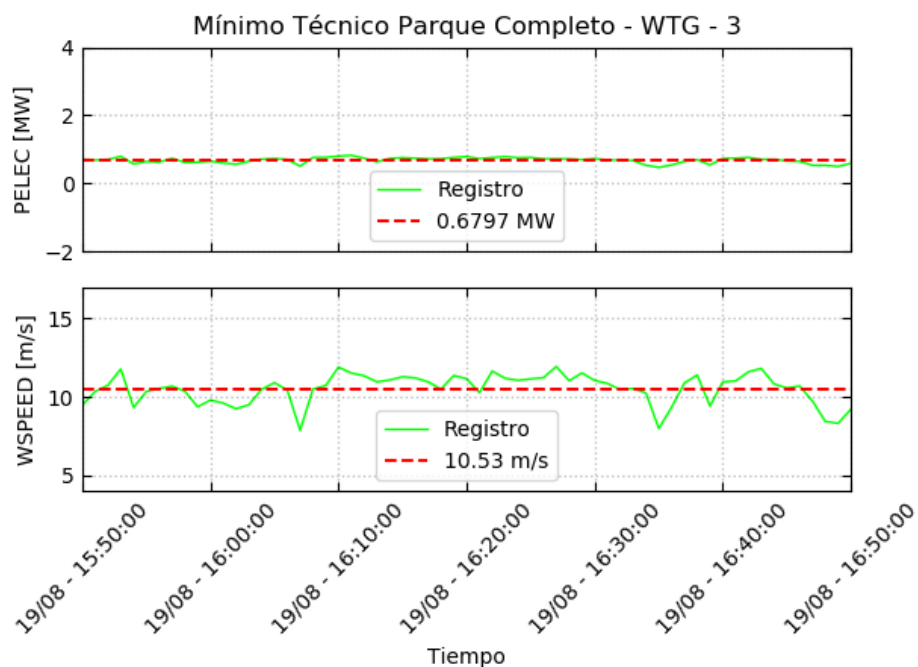


Figura 6.3 – Registro aerogenerador 3 – Mínimo Técnico Planta completa

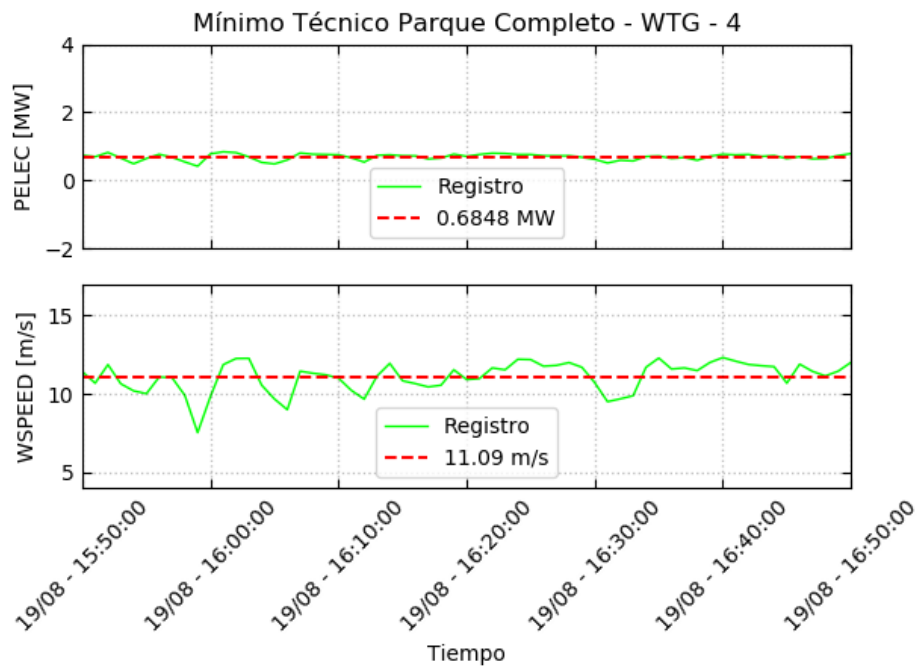


Figura 6.4 – Registro aerogenerador 4 – Mínimo Técnico Planta completa

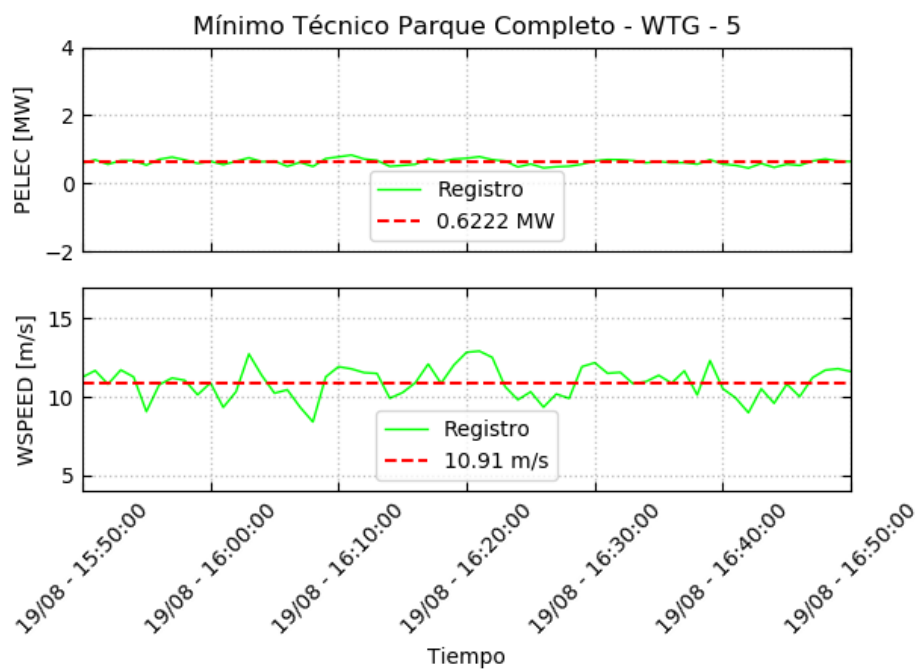


Figura 6.5 – Registro aerogenerador 5 – Mínimo Técnico Planta completa

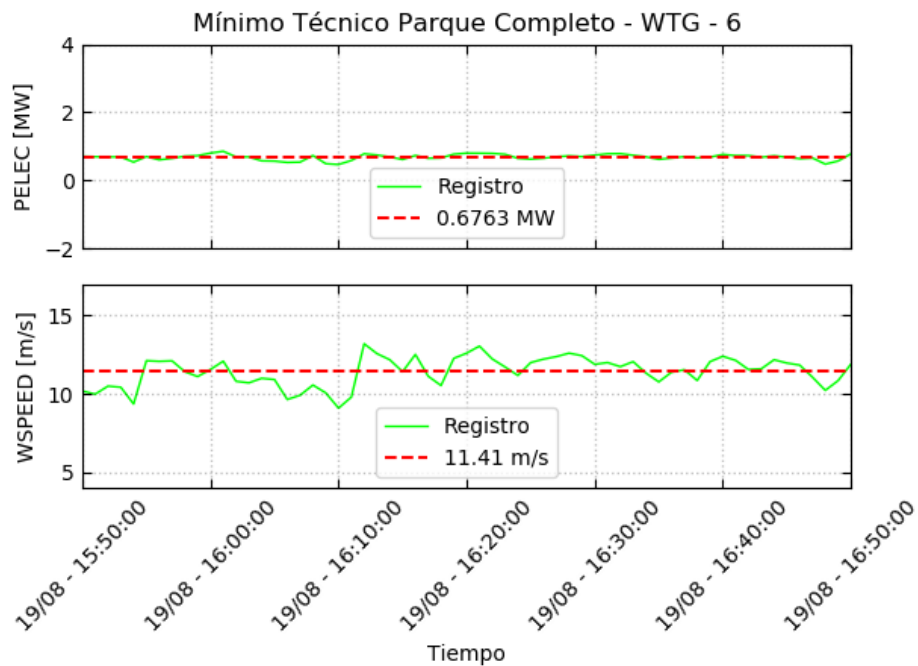


Figura 6.6 – Registro aerogenerador 6 – Mínimo Técnico Planta completa

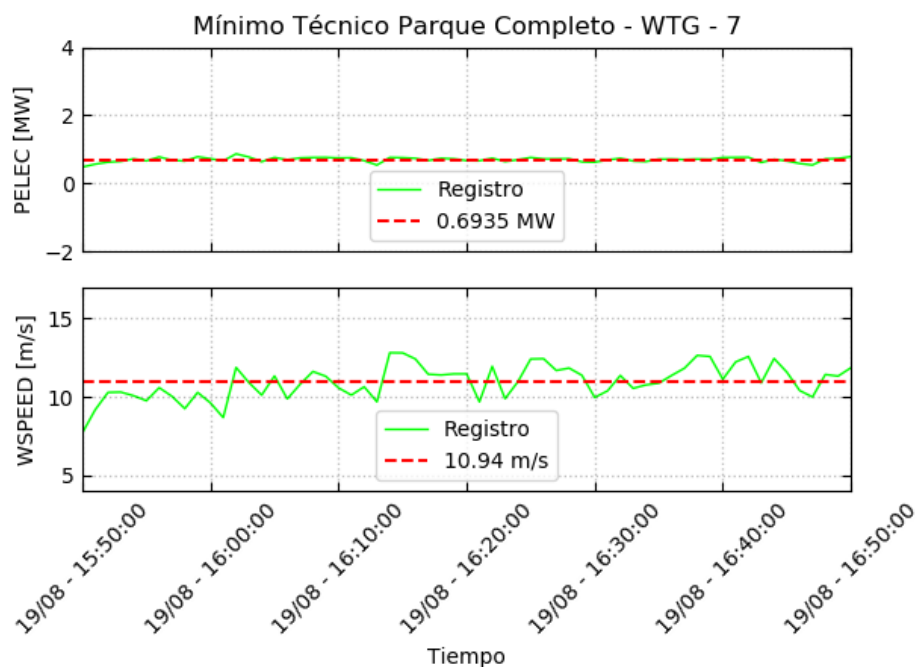


Figura 6.7 – Registro aerogenerador 7 – Mínimo Técnico Planta completa

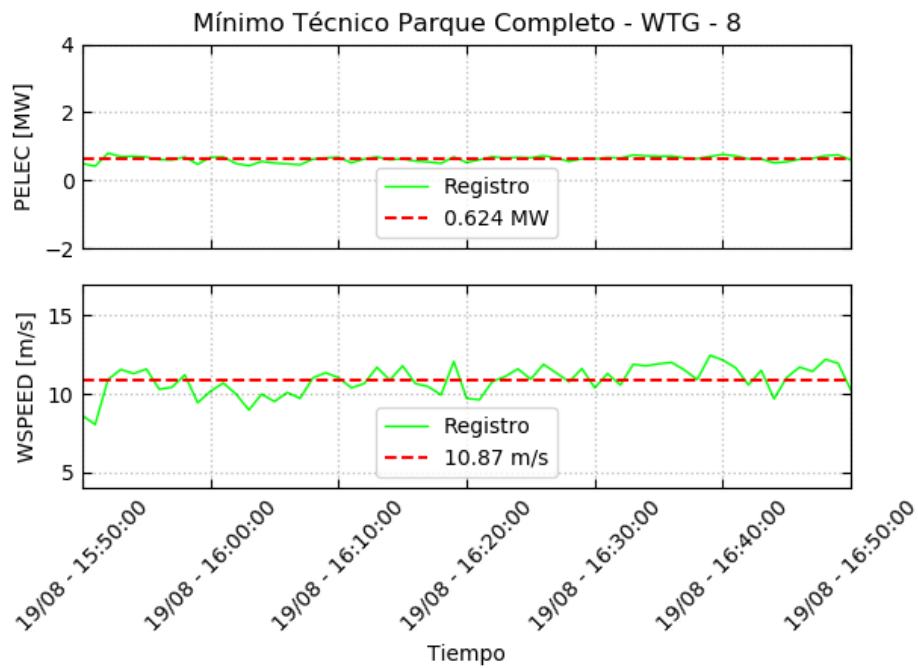


Figura 6.8 – Registro aerogenerador 8 – Mínimo Técnico Planta completa

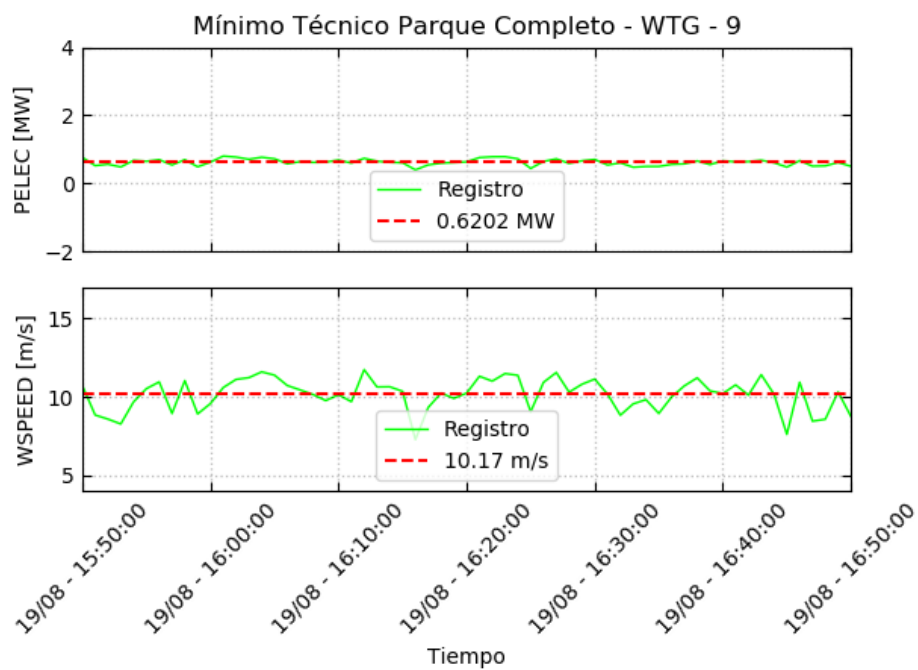


Figura 6.9 – Registro aerogenerador 9 – Mínimo Técnico Planta completa

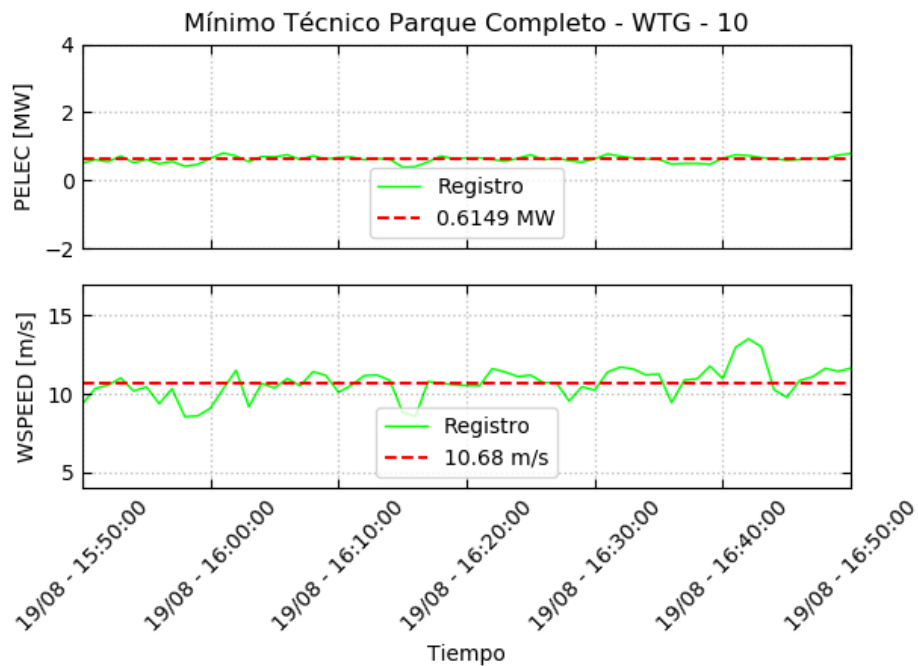


Figura 6.10 – Registro aerogenerador 10 – Mínimo Técnico Planta completa

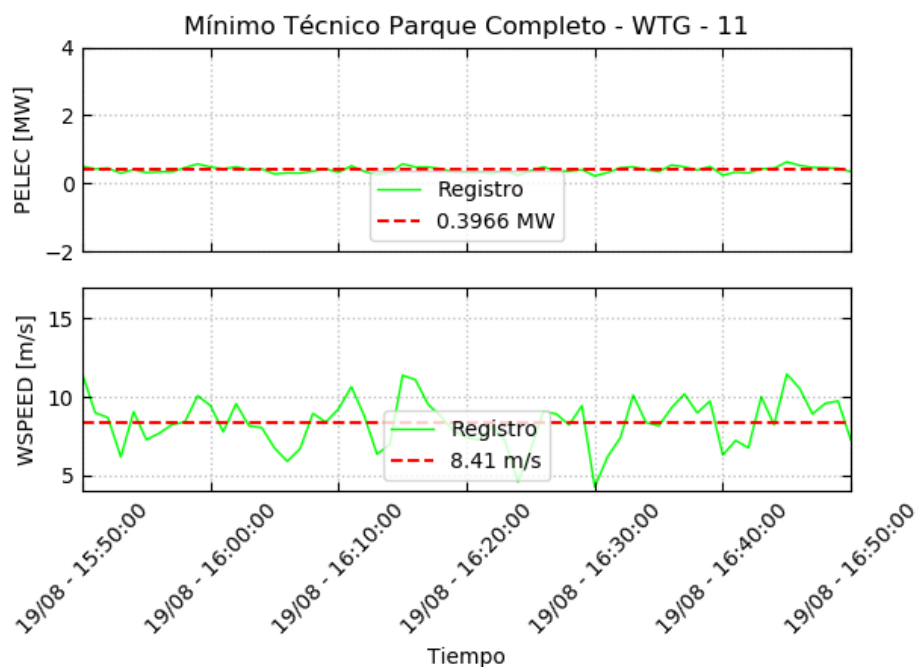


Figura 6.11 – Registro aerogenerador 11 – Mínimo Técnico Planta completa

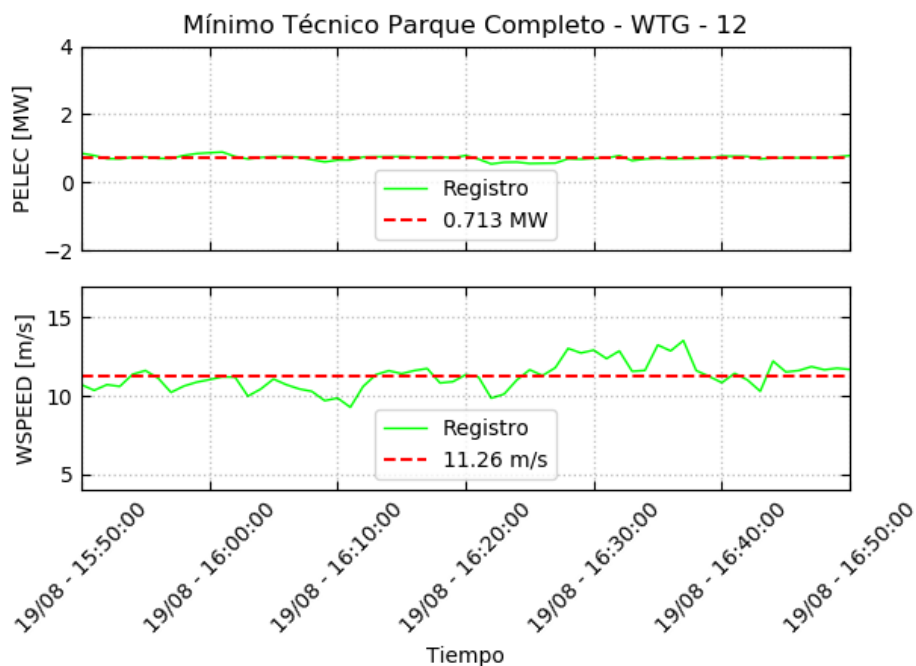


Figura 6.12 – Registro aerogenerador 12 – Mínimo Técnico Planta completa

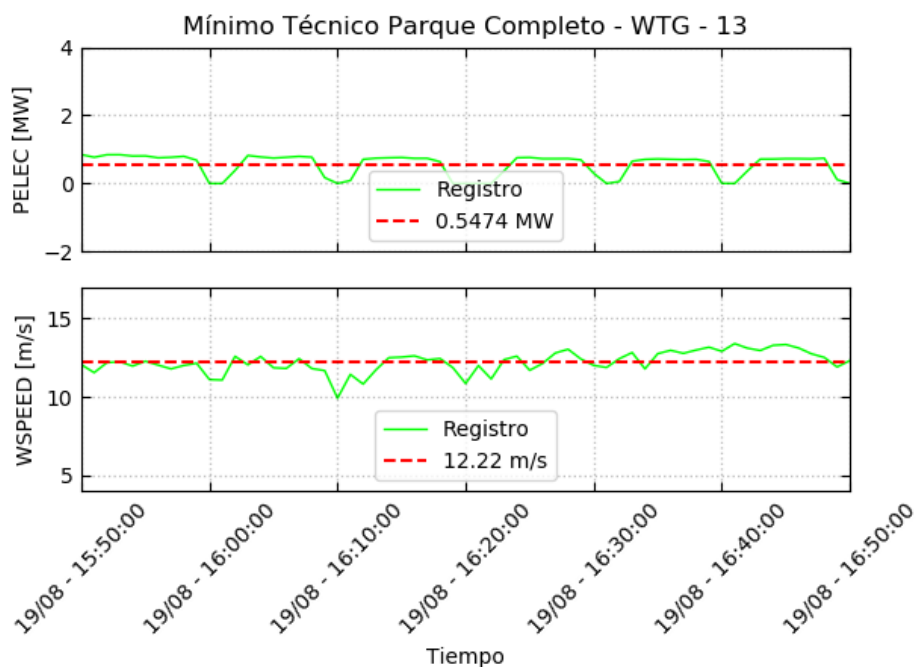


Figura 6.13 – Registro aerogenerador 13 – Mínimo Técnico Planta completa

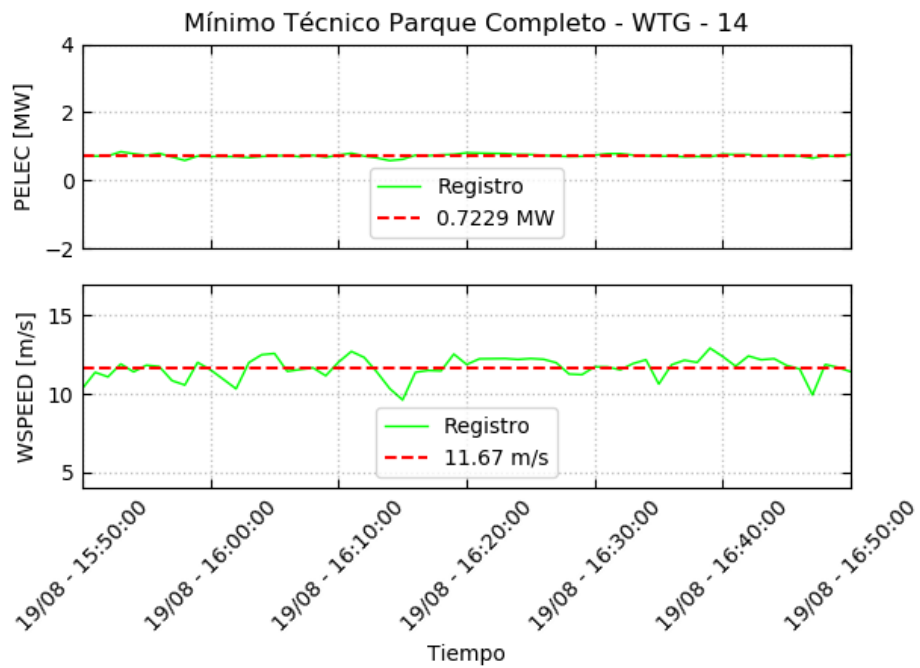


Figura 6.14 – Registro aerogenerador 14 – Mínimo Técnico Planta completa



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.