

**Empresa
País
Proyecto
Descripción**

AES Andes
Chile
Parque Eólico San Matías – Etapa 1
Informe de Mínimo Técnico

 **aes Andes**

CÓDIGO DE PROYECTO EE-2023-164
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2024-0564
REVISIÓN C

10 jun. 24



Este documento **EE-EN-2024-0564-RC** fue preparado para AES Andes 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 41 páginas y ha sido guardado por última vez el 10/06/2024 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	17.05.2024	Para presentar	RP	CiC	AC
B	17.05.2024	Correcciones según comentarios AES	CiC	AC	PR
C	10.06.2024	Correcciones según observaciones CEN	CiC	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autentificadas 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	5
1.2	Medidores utilizados	5
1.3	Nomenclatura utilizada	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS.....	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE.....	8
3.1	Diagrama unilineal	8
3.2	Datos de los aerogeneradores.....	12
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.....	20
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares.....	21
4.1.3	Potencia de Perdidas en la Central.....	21
4.1.4	Potencia Neta	23
4.1.5	Resultados	23
4.2	Mínimo Técnico con aerogenerador individual	24
4.2.1	Potencia de Servicios Auxiliares	25
4.2.2	Potencia de Perdidas en la Central.....	26
4.2.1	Potencia Neta	27
4.2.2	Potencia Bruta	28
4.2.3	Resultados	29
5	CONCLUSIONES.....	30
6	ANEXOS	31
6.1	Registro de aerogeneradores	31



1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico San Matías - Etapa 1 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 3 de mayo de 2024.

El Parque Eólico San Matías, se encuentra ubicado en la comuna de Los Ángeles, región del Biobío. Esta primera etapa está constituida por dieciocho (18) aerogeneradores marca Vestas modelo V150 de 4.3 MW de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal.

En lo que respecta a los transformadores de bloque, son un total de dieciocho (18) de 5.15 MVA de capacidad nominal y de relación 0.72 kV / 33 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$). Por otro lado, la red colectora del Parque Eólico San Matías se compone de cuatro (4) alimentadores de 33 kV que colectan la totalidad de potencia generada por los aerogeneradores del parque.

Los alimentadores se conectan a la barra de 33 kV de la S/E Campo Lindo y luego, se realiza la conexión a uno de los devanados del transformador de poder de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ($\pm 10 \times 1.25\%$) de 240/300 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal.

En lo que se refiere a la operación conjunta, el Parque Eólico San Matías cuenta con un sistema que permite el control de variables eléctricas en la barra principal de 33 kV del parque. Cabe mencionar que el transformador principal del parque cuenta con 2 devanadas de 33 kV y permite la interconexión del Parque Eólico San Matías (NUP3182) y el Parque Eólico Campo Lindo (NUP962).

Tal como se presenta en la descripción del proyecto (NUP3182) en la Plataforma de Gestión de Proyectos (PGP) la entrada en operación del parque se llevará a cabo en dos etapas. El presente informe aborda la primera y considera la instalación de 18 aerogeneradores. La segunda etapa, y definitiva, considera la instalación de un aerogenerador adicional para lograr la configuración final de 19 aerogeneradores.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Matías Parra	3 de mayo de 2024

Tabla 1.1 – Personal participante

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	Precisión
Analizador de energía	Janitza	UMG 510	±0.2%

Tabla 1.2. Equipos utilizados

Además del medidor mostrado en la tabla que se utilizó para las mediciones en el POI, se utilizaron datos complementarios entregados por el cliente, adquiridos desde el equipo de planta, los cuales fueron grabados con una tasa de muestreo de 10 minutos.

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:

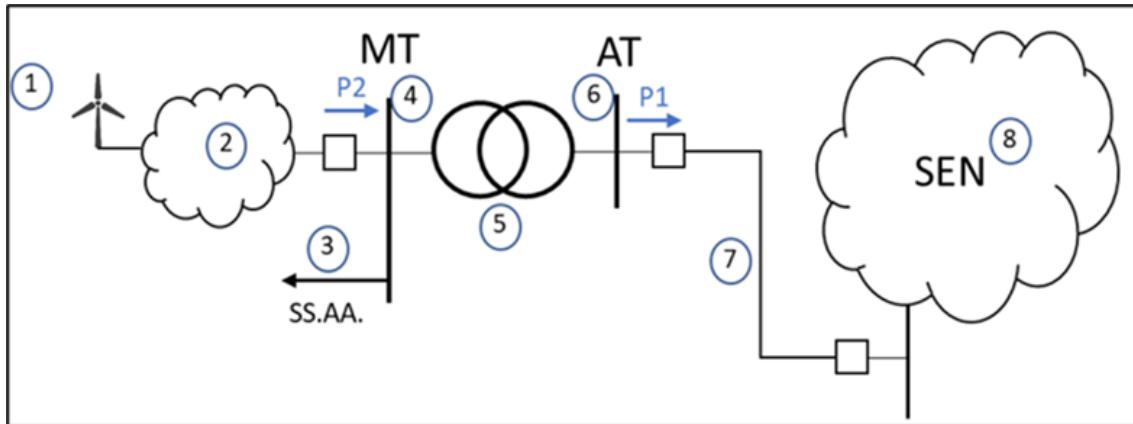


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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 San Matías, 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 apagar unidades de forma automática para disminuir la potencia y alcanzar la condición de una única unidad en servicio. Esta configuración se logra mediante comandos de detención individual a cada unidad.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico San Matías, se encuentra ubicado en la comuna de Los Ángeles, región del Biobío. Está constituido en su primera etapa por dieciocho (18) aerogeneradores marca Vestas modelo V150 de 4.3 MW de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal.

La distribución de los aerogeneradores dentro de la red de media tensión es la siguiente:

- **Círculo 1:** SMA-01 (Etapa 2), SMA-08, SMA-12, SMA-13 y SMA-07.
- **Círculo 2:** SMA-05, SMA-06, SMA-02, SMA-03 y SMA-04.
- **Círculo 3:** SMA-09, SMA-14, SMA-15, SMA-19 y SMA-18.
- **Círculo 4:** SMA-11, SMA-20, SMA-21 y SMA-16

Los alimentadores se conectan a la barra de 33 kV de la S/E Campo Lindo y luego, se realiza la conexión a uno de los devanados del transformador de poder de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV ($\pm 10 \times 1.25\%$) de 240/300 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal.

En lo que se refiere a la operación conjunta, el Parque Eólico San Matías cuenta con un sistema que permite el control de variables eléctricas en la barra principal de 33 kV del parque. Cabe mencionar que el transformador principal del parque cuenta con 2 devanadas de 33 kV y permite la interconexión del Parque Eólico San Matías (NUP3182) y el Parque Eólico Campo Lindo (NUP962).

Tal como se presenta en la descripción del proyecto (NUP3182) en la Plataforma de Gestión de Proyectos (PGP) la entrada en operación del parque se llevará a cabo en dos etapas. El presente informe aborda la primera y considera la instalación de 18 aerogeneradores. La segunda etapa, y definitiva, considera la instalación de un aerogenerador adicional para lograr la configuración final de 19 aerogeneradores.

3.1 Diagrama unilineal

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama unilineal de la S/E Campo Lindo. El recuadro azul muestra el paño FT1, donde se conecta el parque. Mientras que en el recuadro rojo se muestra el transformador elevador 220/23 kV, por el cual se conecta mediante el paño JT1 a la barra de 220 kV de la S/E Campo Lindo

En la Figura 3.2 y en la Figura 3.3 muestran la barra principal de 33 kV del Parque Eólico San Matías, se observa la acometida de los cuatro (4) alimentadores del parque y el detalle de cada uno de los circuitos colectores.

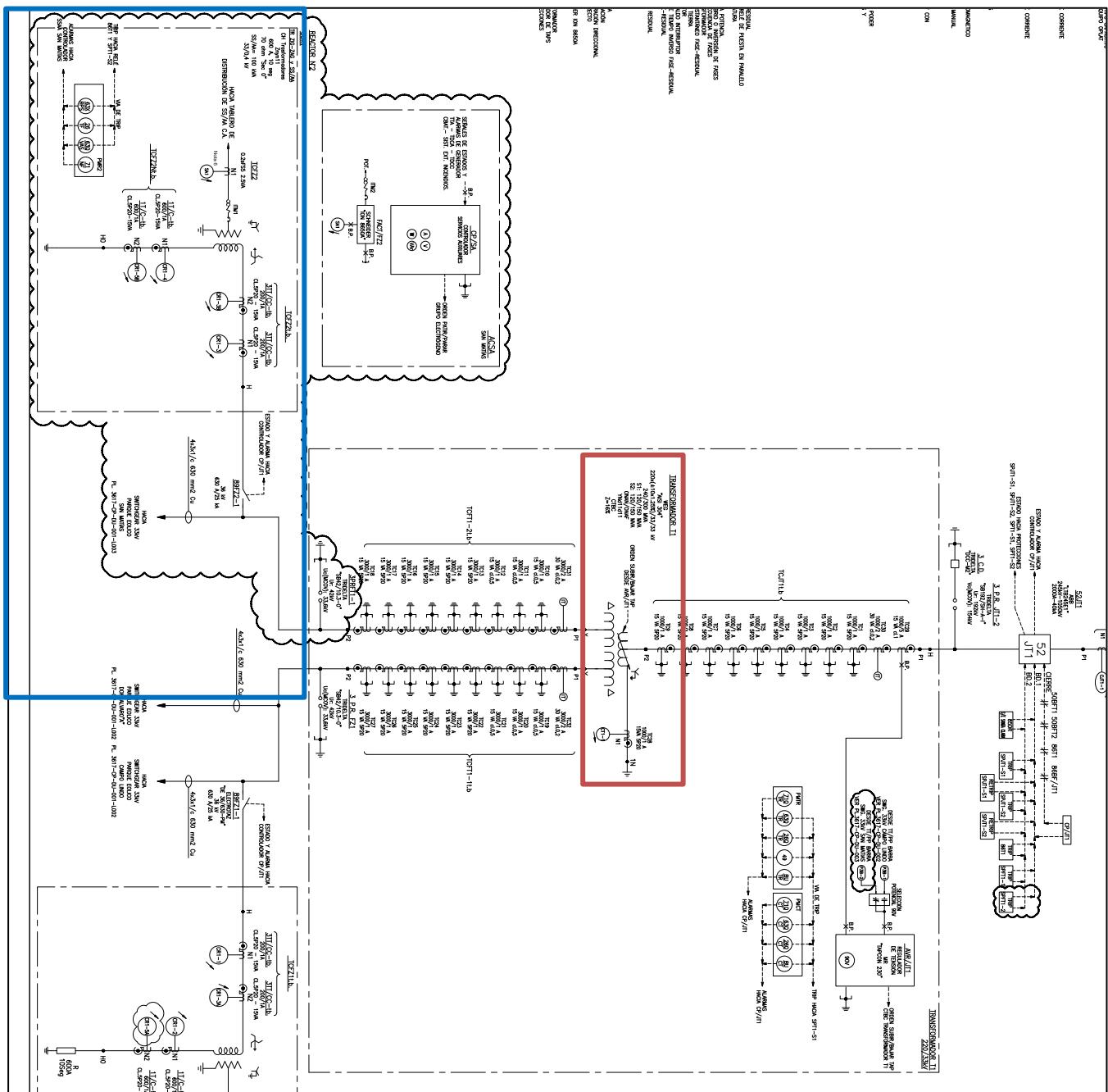


Figura 3.1 – Diagrama unilineal de S/E Campo Lindo

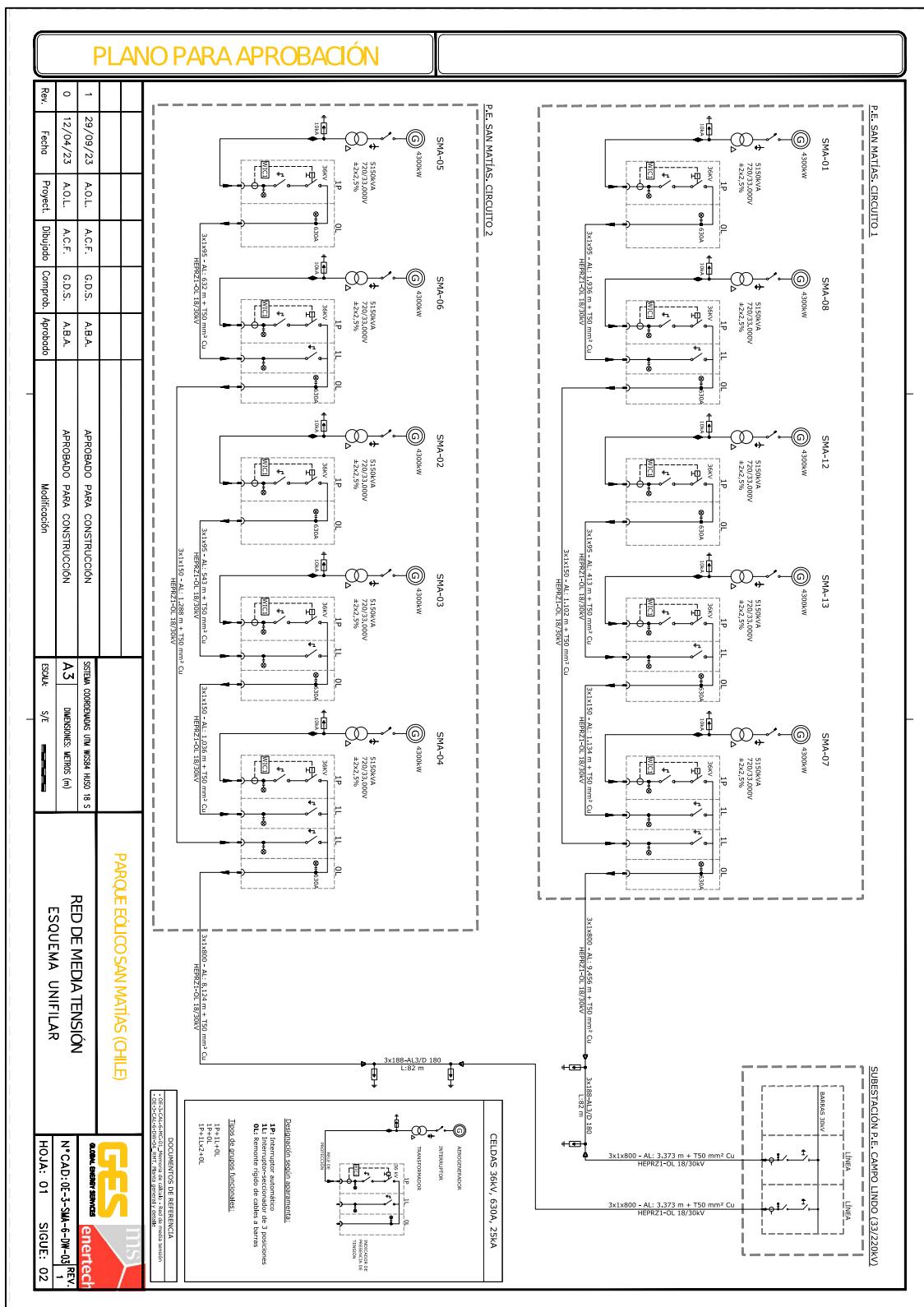


Figura 3.2 – Diagrama unilineal barra principal de 33 kV Parque Eólico San Matías (1 de 2)

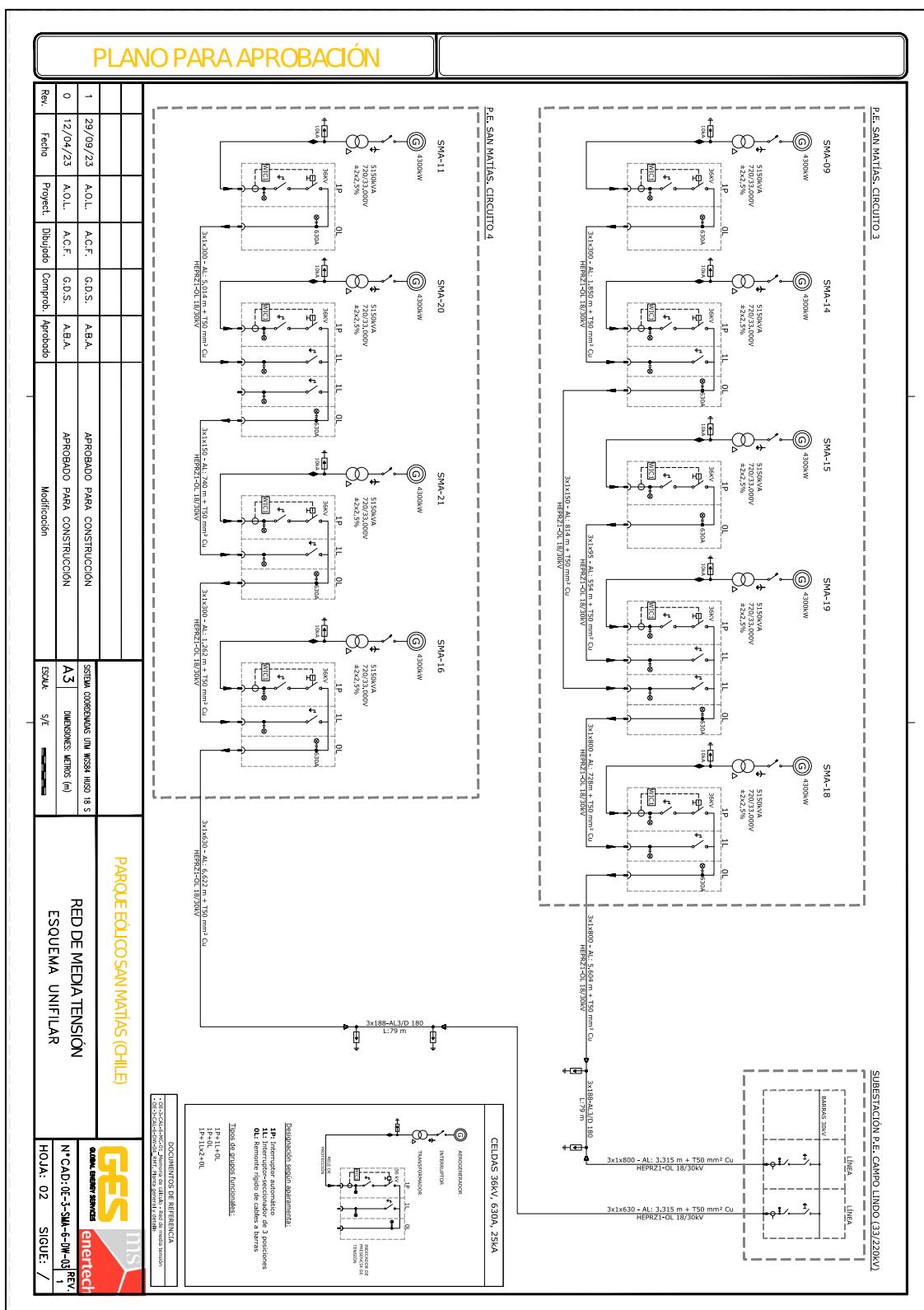


Figura 3.3 – Diagrama unilineal barra principal de 33 kV Parque Eólico San Matías (2 de 2)



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico San Matías está constituido en su primera etapa por dieciocho (18) aerogeneradores marca Vestas modelo V150 de 4.3 MVA de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal. Los parámetros nominales de los aerogeneradores se presentan en la Figura 3.4 y Figura 3.5.

Los aerogeneradores son del tipo 4, es decir, son generadores controlados por dos convertidores en configuración back-to-back de potencia 5.1 MVA cada uno. Este se conecta directamente al generador eléctrico de tipo inducción de jaula de ardilla.

Generator	
Type	Asynchronous with cage rotor
Rated Power [P_N]	4250 / 4450 kW
Frequency [f_N]	0-100 Hz
Voltage, Stator [U_{NS}]	3 x 800 V (at rated speed)
Number of Poles	6
Winding Type	Form with VPI (Vacuum Pressurized Impregnation)
Winding Connection	Delta
Rated rpm	1450-1550 rpm
Overspeed Limit Acc. to IEC (2 minutes)	2400 rpm
Generator Bearing	Hybrid/ceramic
Temperature Sensors, Stator	3 PT100 sensors placed at hot spots and 3 as backup
Temperature Sensors, Bearings	1 per bearing
Insulation Class	H
Enclosure	IP54

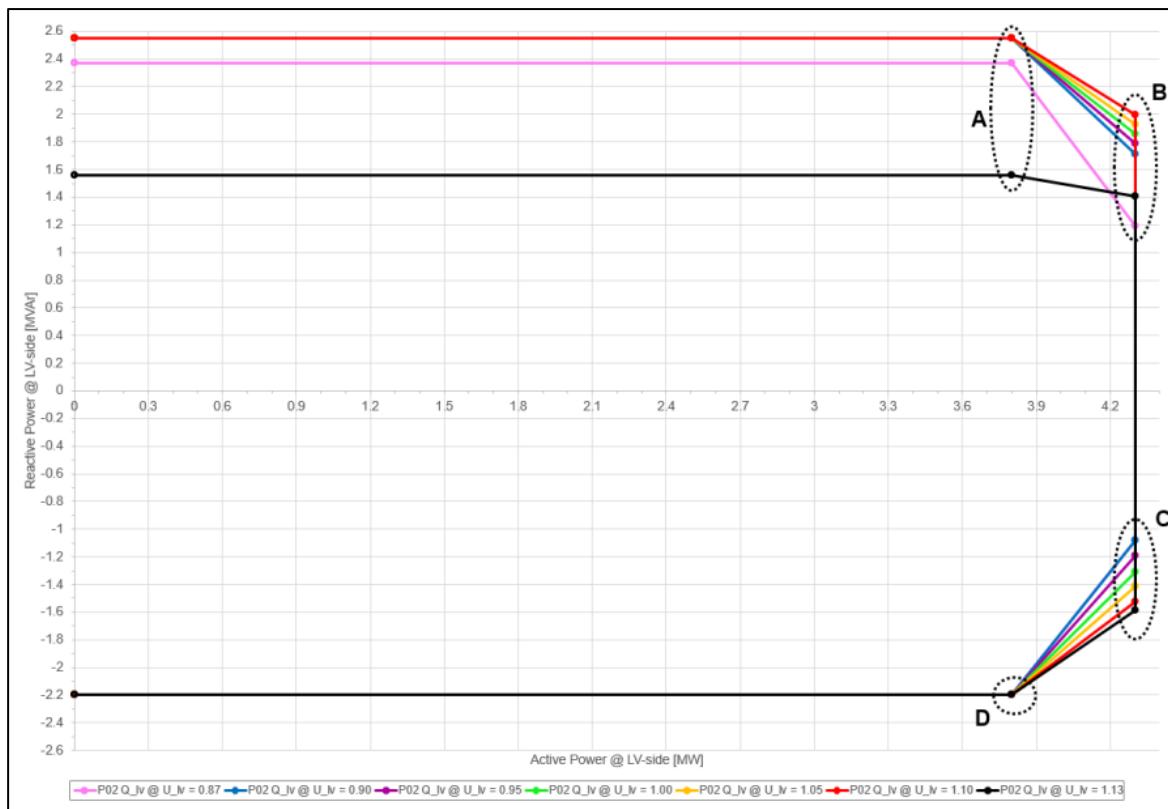
Figura 3.4 – Datos nominales del aerogenerador

Converter	
Rated Apparent Power [S_N]	5100 kVA
Rated Grid Voltage	3 x 720 V
Rated Generator Voltage	3 x 800 V
Rated Grid Current	4100 A ($\leq 30^\circ\text{C}$ ambient) / 4150 ($\leq 20^\circ\text{C}$ ambient)
Rated Generator Current	3600 A ($\leq 30^\circ\text{C}$ ambient) / 3650 ($\leq 20^\circ\text{C}$ ambient)
Enclosure	IP54

Figura 3.5 – Datos nominales del convertidor de potencia



La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 3.6.



Se presenta en la Figura 3.7 la curva de potencia según velocidad del viento del aerogenerador.

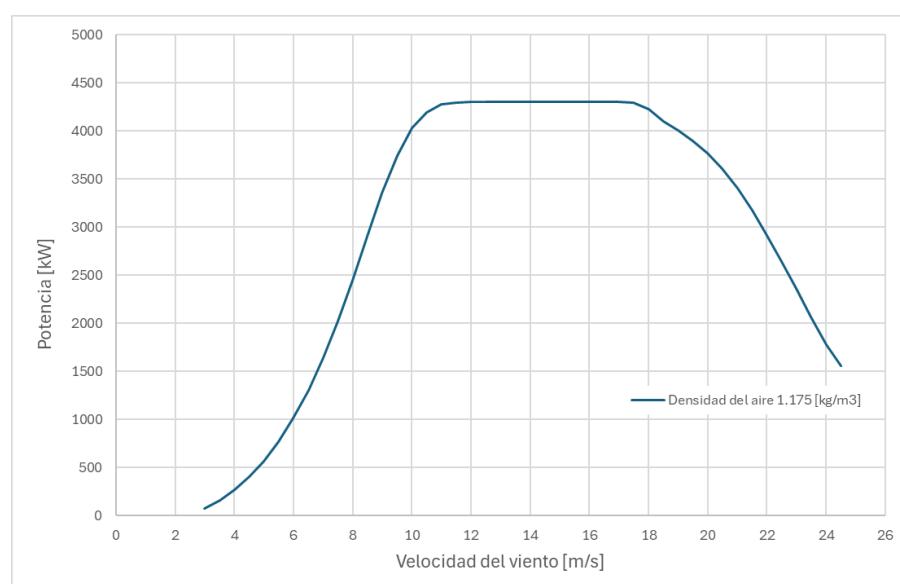


Figura 3.7 – Curva Viento/potencia para los aerogeneradores



En la Figura 3.8 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 80.6 kW.

Main contributors to Own Consumption	
Hydraulic Motor	2 x 15 (V117) / 18.5 kW (V136 + V150) (master-slave)
Yaw Motors	Maximum 21 kW in total
Water Heating	10 kW
Water Pumps	2.2 + 5.5 kW
Oil Heating	7.9 kW
Oil Pump for Gearbox Lubrication	12.5 kW
Controller Including Heating Elements for the Hydraulics and all Controllers	Approximately 3 kW

Figura 3.8 – Consumos propios de aerogeneradores



3.3 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico San Matías en su primera etapa cuenta con dieciocho (18) transformadores de bloque de 5.15 MVA de potencia aparente nominal cada uno. El devanado de baja tensión permite la interconexión de los aerogeneradores en 720 V y los devanados de media tensión permiten la inyección de potencia en la red de 33 kV. Los transformadores cuentan con cambiador de tomas que no puede ser operado bajo carga.

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

Parámetro	Valor
Potencia nominal	5.15 MVA
Refrigeración	AF
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.72 kV
Grupo de conexión	Dyn5
Impedancia	10.01 %
Pérdidas en carga	33.6 kW
Pérdidas en vacío	7.3 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 San Matías cuenta con un transformador principal de potencia nominal 240/300 MVA (ONAN/ONAF). Cuenta con dos devanados de media tensión de 33 kV y un devanado de alta tensión de 220 kV y posee un cambiador de tomas bajo carga.

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

Parámetro	Valor
Potencia nominal	240/300 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Grupo de conexión	YNd11d11
Impedancia	17.6% @300 MVA
Pérdidas en carga	742.9 kW
Pérdidas en vacío	138.0 kW
Posiciones de TAP	± 10 x 1.25%

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.5 Datos de los Consumos de SSAA

El Parque Eólico San Matías cuenta con un transformador de servicios auxiliares / reactor de puesta a tierra con conexión Zig-Zag de 100 kVA de potencia aparente nominal para alimentar sus servicios auxiliares. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.4/0.231 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

En la siguiente fotografía se presentan los consumos de los servicios auxiliares tomados directamente de los medidores de planta.



De lo presentado se aprecia que el total de consumos esenciales es de 25.89 kW.



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]
San Matías	(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 220 KV del transformador principal.



4.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 3 de mayo de 2024 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico de planta completa, en su primera etapa, es decir, con 18 turbinas 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 menor inyección de potencia posible.

En la Figura 4.1 se muestra el registro de potencia inyectado en 33 kV ($P_{33 \text{ kV}}$), se aprecia un valor medio de 8.0865 MW inyectado en el lado de 33 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 8.2763 MW totalizando la inyección en bornes de todas las unidades. El valor medido implica un despacho aproximado de 460 kW por unidad (aproximadamente 10.7% de la potencia nominal), en la sección 6.1 se muestra el registro de cada aerogenerador durante la prueba.

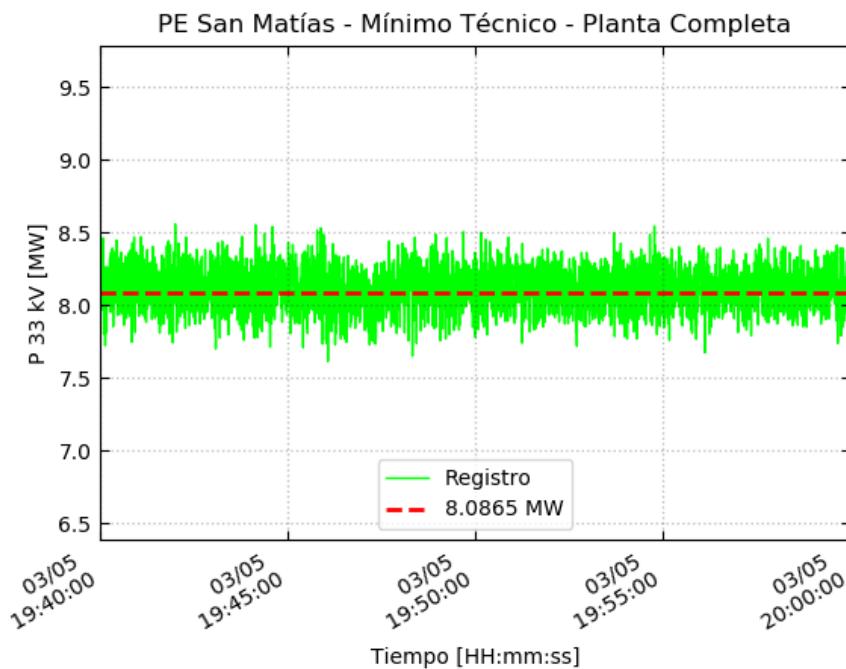


Figura 4.1 – Potencia en 33 kV – Planta completa

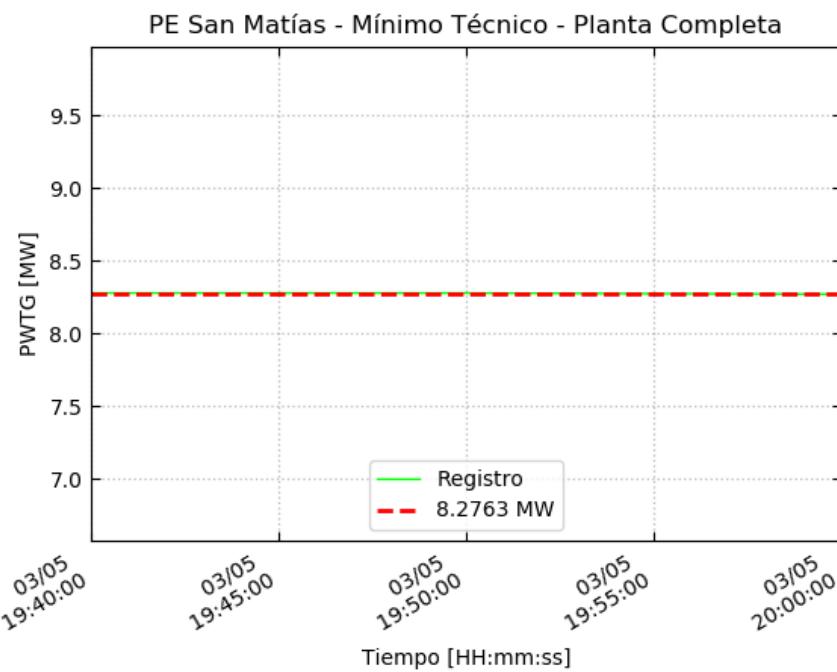


Figura 4.2 – Potencia de aerogeneradores – Planta completa

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 80.6 kW según se observa en la Figura 3.8. El valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}) se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{Bruta} = 8.2763\ MW + 18 \times 80.6\ kW = 9.7271\ MW$$



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 3.8, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 80.6 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 18 \times 80.6 \text{ kW} + 25.89 \text{ kW} = 1476.69 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 1.4767 \text{ MW}$$

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.

En este caso, se cuenta con el registro de potencia inyectado en el devanado de 33 kV del transformador principal. Entonces, la potencia de pérdidas de la central puede ser obtenida a partir de la diferencia entre la potencia en 33 kV (ver Figura 4.1) y la potencia generada por los aerogeneradores (ver Figura 4.2) y sumarle las pérdidas del transformador principal.

Además, se deben considerar los consumos de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 25.89 kW según se presenta en la sección 3.5.

La expresión para el cálculo de potencia de pérdidas de la central, sin tener en cuenta las pérdidas del transformador principal (que serán calculadas posteriormente) se presenta a continuación:

$$P_{perd,central_33kV} = P_{WTG} - P_{TR,SSAA} - P 33 \text{ kV}$$

$$P_{perd,central_33kV} = 8.2763 \text{ MW} - 0.0259 \text{ MW} - 8.0865 \text{ MW} = 0.1639 \text{ MW}$$



Cabe destacar que como no se tiene en cuenta las pérdidas del transformador principal, este valor corresponde a las pérdidas de la red de media tensión $P_{perd,MT}$.

$$P_{perd,MT} = 0.1639 \text{ MW}$$

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 ($P_{perd,TR_{ppal,vacio}}$) 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 33 kV del equipo.

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

$$P_{perd,TR_{ppal,carga}} = P_{perd,TR_{ppal,carga,nominal}} \times \left(\frac{P \text{ 33 kV}}{S_{nom,tr_{ppal}}} \right)^2$$

$$P_{perd,TR_{ppal,carga}} = 742.9 \text{ kW} \times \left(\frac{8.0865 \text{ MW}}{300.0 \text{ MVA}} \right)^2 = 0.5398 \text{ kW}$$

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

$$P_{perd,TR_{ppal,vacio}} = 138 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 138 \text{ kW} + 0.5398 \text{ kW} = 138.5398 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.1385 \text{ MW}$$



Por lo tanto, el valor de potencia de pérdidas de la central queda determinada como la sumatoria de las pérdidas del transformador principal más las pérdidas en la red de media tensión:

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

$$P_{perd,central} = 0.1639 + 0.1385 \text{ MW} = 0.3024 \text{ MW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico San Matías corresponde a la potencia inyectada en el lado de 220 kV del transformador principal del parque (POI) y queda determinada como la potencia neta inyectada en 33 kV menos las pérdidas del transformador principal.

$$P_{neta} = P_{33 \text{ kV}} - P_{perd,TR_{ppal}} = 8.0865 \text{ MW} - 0.13854 \text{ MW} = 7.94796 \text{ MW}$$

$$P_{Neta} = 7.9480 \text{ MW}$$

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 San Matías considerando el parque completamente operativo con 18 aerogeneradores. Se recuerda que estos valores son referidos al lado de 220 kV, es decir, en el POI.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
San Matías	9.7271	1.4767	0.3024	7.9480

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías – Planta completa



4.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual

El día 3 de mayo 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 San Matías en servicio.

Notas de las maniobras: Tal como se menciona en la sección 2, el PPC no puede realizar la disminución controlada de potencia apagando unidades de forma automática. Para lograr esta condición se debe dar una orden de detención, mediante comandos manuales, a todos los aerogeneradores de la planta a excepción de una unidad, en este caso el aerogenerador WTG16.

Una vez alcanzada la condición de operación de un único aerogenerador en servicio, se procede a disminuir la consigna de potencia del PPC hasta conseguir un valor de potencia neta cercano a 0.0 MW.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de potencia neta inyectada en 33 kV (P_{33kV}), se aprecia un valor medio de 0.0525 MW.

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 0.6355 MW considerando la inyección en bornes de la unidad.

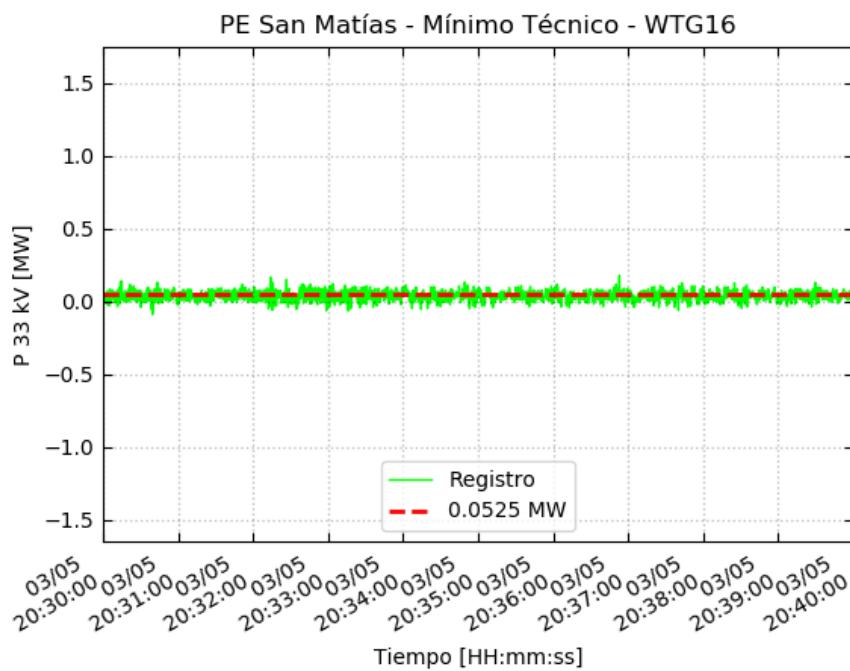


Figura 4.3 – Potencia neta – Aerogenerador individual

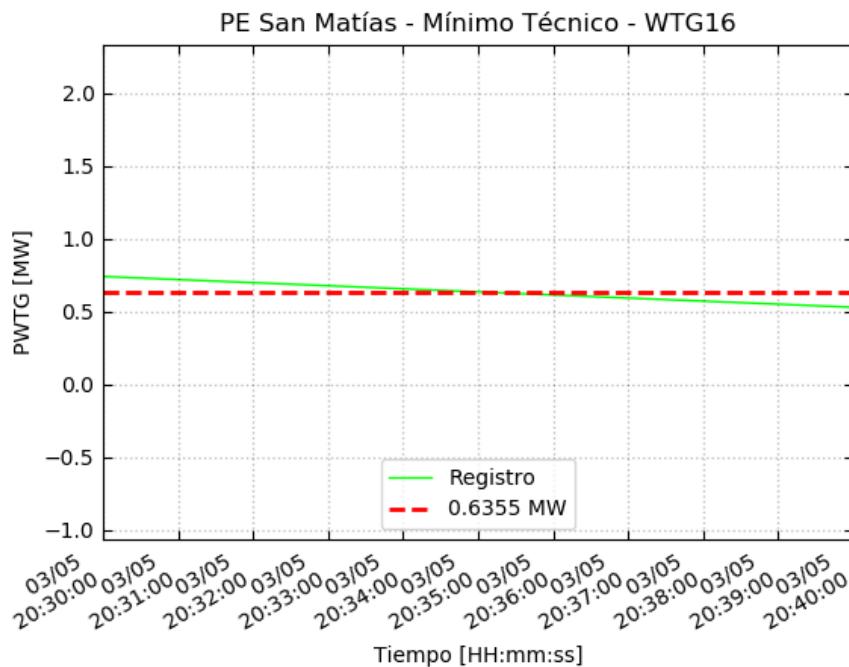


Figura 4.4 – Potencia de aerogeneradores – Aerogenerador individual

A partir de los resultados presentados se procede a realizar el cálculo de los valores de potencia desglosados según se muestra en la Tabla 4.1.

4.2.1 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 3.8, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 80.6 kW.

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

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

$$P_{SSAA} = 1 \times 80.6 \text{ kW} + 25.89 \text{ kW} = 106.49 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.1065 \text{ MW}$$



4.2.2 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.

En este caso, se cuenta con el registro de potencia inyectado en el devanado de 33 kV del transformador principal. Entonces, la potencia de pérdidas de la central puede ser obtenida a partir de la diferencia entre la potencia en 33 kV (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 25.89 kW según se presenta en la sección 3.5.

La expresión para el cálculo de potencia de pérdidas de la central, sin tener en cuenta las pérdidas del transformador principal (que serán calculadas posteriormente) se presenta a continuación:

$$P_{perd,central_33kV} = P_{WTG} - P_{TR,SSAA} - P_{33\text{ kV}}$$

$$P_{perd,central_33kV} = 0.6355 \text{ MW} - 0.0259 \text{ MW} - 0.0525 \text{ MW} = 0.5571 \text{ MW}$$

Cabe destacar que como no se tiene en cuenta las pérdidas del transformador principal, este valor corresponde a las pérdidas de la red de media tensión $P_{perd,MT}$.

$$P_{perd,MT} = 0.5571 \text{ MW}$$

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 ($P_{perd,TR_{ppal,vacio}}$) 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 220 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.

$$P_{perd,TR_{ppal,vacío}} = 138 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 138 \text{ kW} + 0.0 \text{ kW} = 138 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.138 \text{ MW}$$

Por lo tanto, el valor de potencia de pérdidas de la central queda determinada como la sumatoria de las pérdidas del transformador principal más las pérdidas en la red de media tensión:

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

$$P_{perd,central} = 0.5571 \text{ MW} + 0.138 \text{ MW} = 0.6951 \text{ MW}$$

4.2.3 Potencia Neta

La **Potencia Neta** del Parque Eólico San Matías corresponde a la potencia inyectada en el lado de 220 kV del transformador principal del parque (POI) y queda determinada como la potencia neta inyectada en 33 kV menos las pérdidas del transformador principal. Se obtiene un mínimo de operación estable de -0.0855 MW.

$$P_{Neta} = P_{33 \text{ kV}} - P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0525 \text{ MW} - 0.138 \text{ MW} = -0.0855 \text{ MW}$$

Al obtener un valor menor a 0.0 MW en la barra de 220 kV se realiza el ajuste del valor obtenido. En particular se considera un escenario de operación donde la potencia de la barra principal de 33 kV ajustada ($P_{33kV_{mod}}$) considera el monto de potencia faltante, así se obtiene la potencia neta corregida ($P_{Neta_{corr}}$) según la siguiente expresión.



$$P_{33kV_{mod}} = P_{33kV} + 0.0855 \text{ MW} = 0.0525 \text{ MW} + 0.0855 \text{ MW}$$

$$P_{33kV_{mod}} = 0.138 \text{ MW}$$

Este valor es equivalente a las pérdidas del transformador principal y, por lo tanto, permite alcanzar un valor de potencia neta de 0.0 MW.

$$P_{Neta_{corr}} = P_{33kV_{mod}} - P_{perd,TR_{ppal}} = 0.138 \text{ MW} - 0.138 \text{ MW}$$

$$P_{Neta_{corr}} = 0.0 \text{ MW}$$

4.2.4 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 80.6 kW según se observa en la Figura 3.8.

Al haber obtenido en primera instancia un valor de potencia neta negativo, se ha hecho el ajuste descrito en la sección 4.2.3. Considerando este valor de potencia neta, además de los valores obtenidos para la potencia de servicios auxiliares (sección 4.2.1) y potencia de pérdidas de la central (4.2.2), se determina un valor de potencia en bornes de aerogenerador a la cual se le deben sumar sus consumos propios y así obtener un valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}). A continuación, se presenta la expresión correspondiente.

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

$$P_{WTG} = P_{Neta_{corr}} + P_{SSAA} + P_{perd,central}$$

$$P_{Bruta} = 0.0 \text{ MW} + 0.1065 \text{ MW} + 0.6951 \text{ MW} = 0.8016$$

$$P_{Bruta} = 0.8016 \text{ MW}$$



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 San Matías considerando operación del aerogenerador WTG16. Se recuerda que estos valores son referidos al lado de 220 kV, es decir, en el POI.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
San Matías	0.8016	0.1065	0.6951	0.0

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías – Aerogenerador individual

Nota: el sistema de control permite consignar la potencia inyectada en la barra principal de 33 kV, ya que el devanado de 220 kV del transformador principal es compartido con el Parque Eólico Campo Lindo.

Los valores de Potencia Bruta y Potencia Neta son ajustados para que se represente una potencia neta mínima de 0.0 MW.



5 CONCLUSIONES

En el presente informe, se ha determinado el valor de **Mínimo Técnico** del Parque Eólico San Matías. 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]
San Matías	9.7271	1.4767	0.3024	7.9480

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías – Planta completa

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	Potencia de SSAA [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
San Matías	0.8016	0.1065	0.6951	0.0

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías – 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	0.1385	0.1639
Aerogenerador individual	0.1380	0.5571

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.

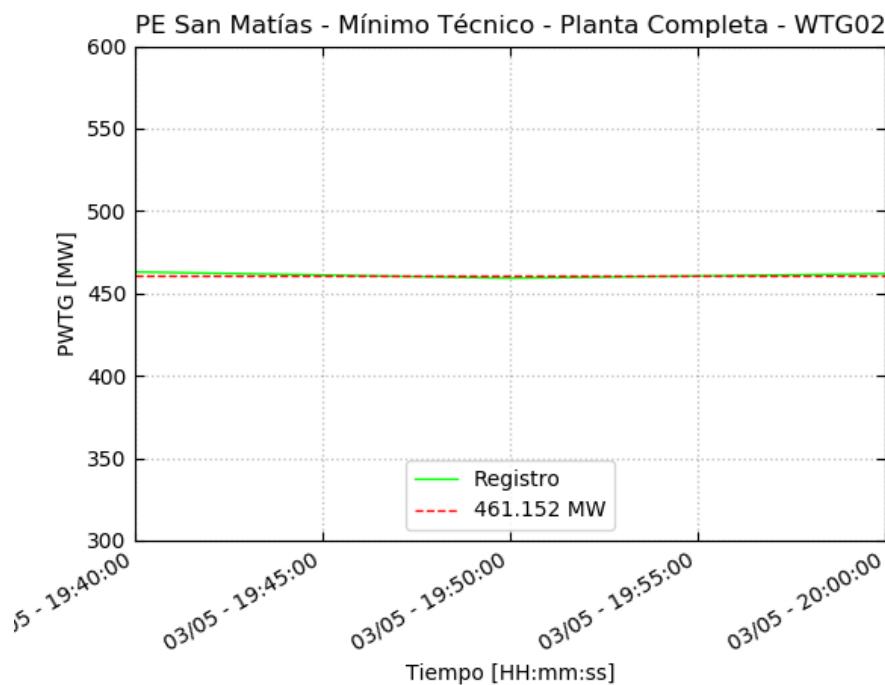


Figura 6.1 – Registro WTG02 – Planta completa

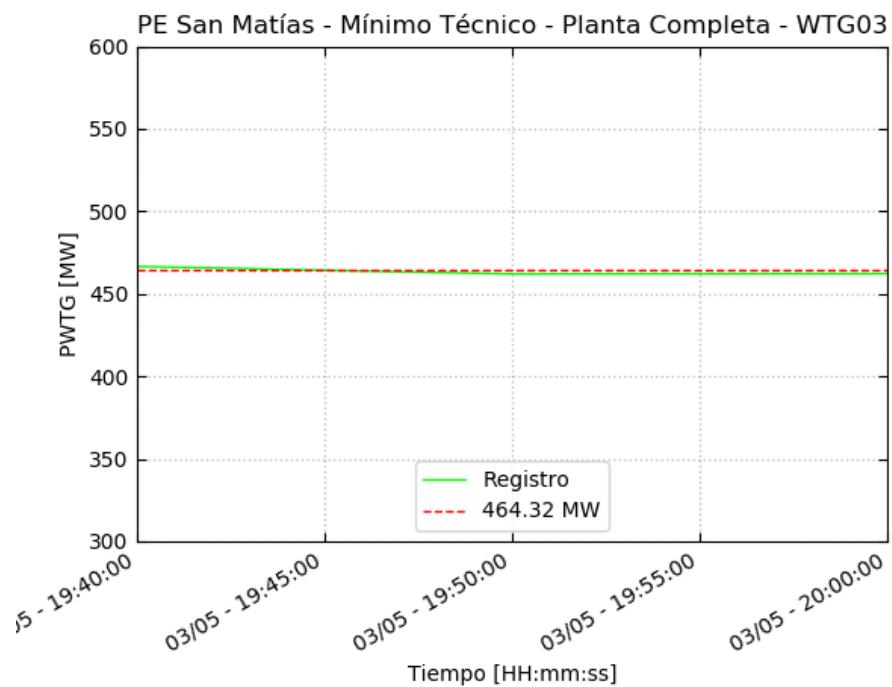


Figura 6.2 – Registro WTG03 – Planta completa

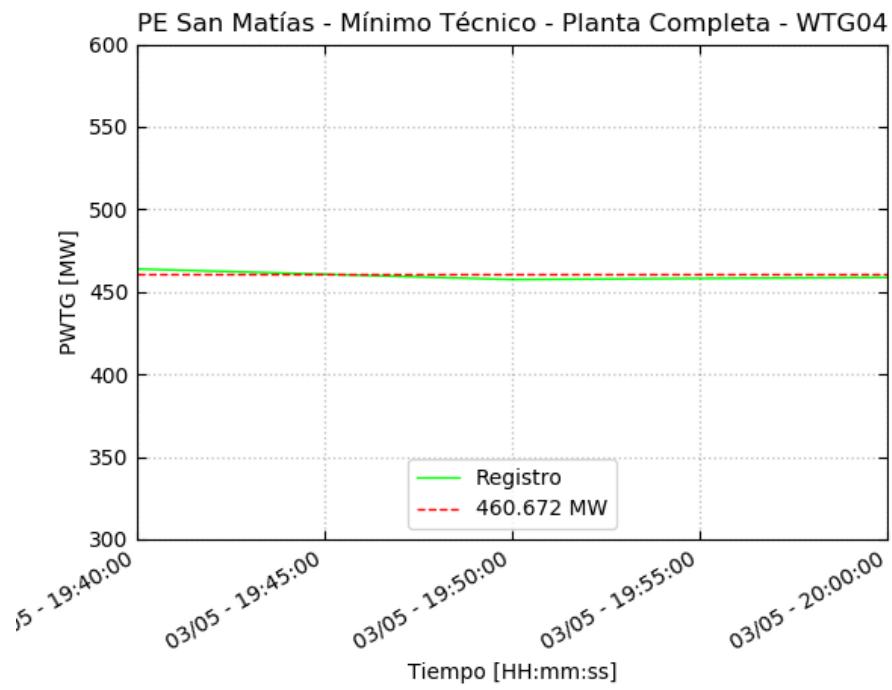


Figura 6.3 – Registro WTG04 – Planta completa

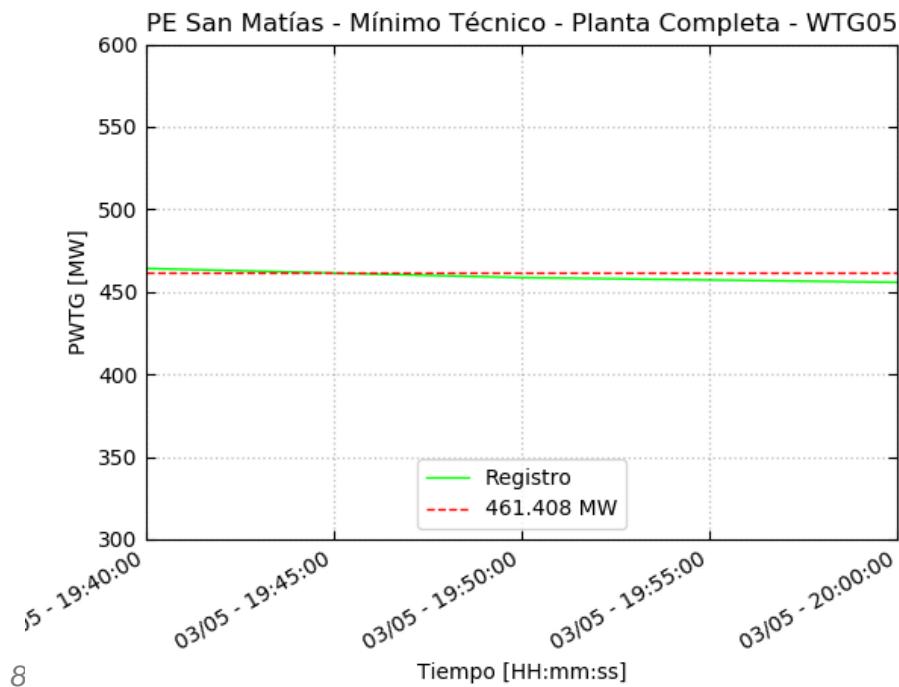


Figura 6.4 – Registro WTG05 – Planta completa

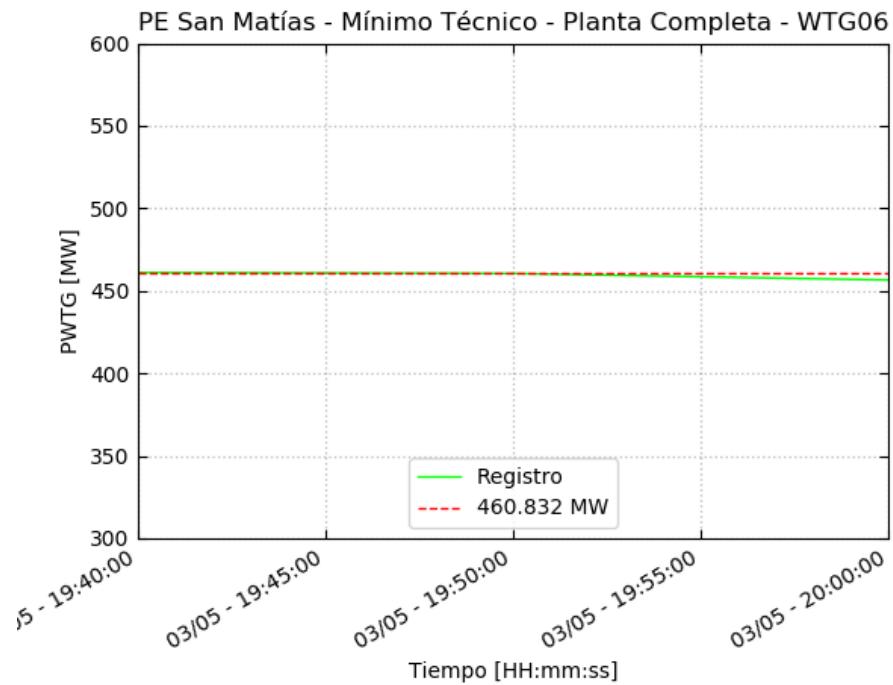


Figura 6.5 – Registro WTG06 – Planta completa

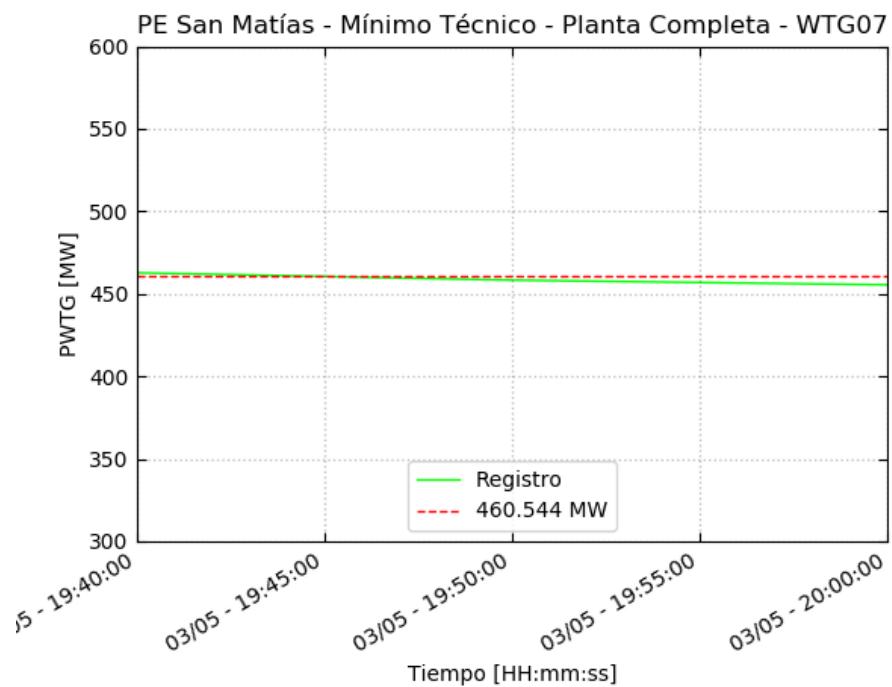


Figura 6.6 – Registro WTG07 – Planta completa

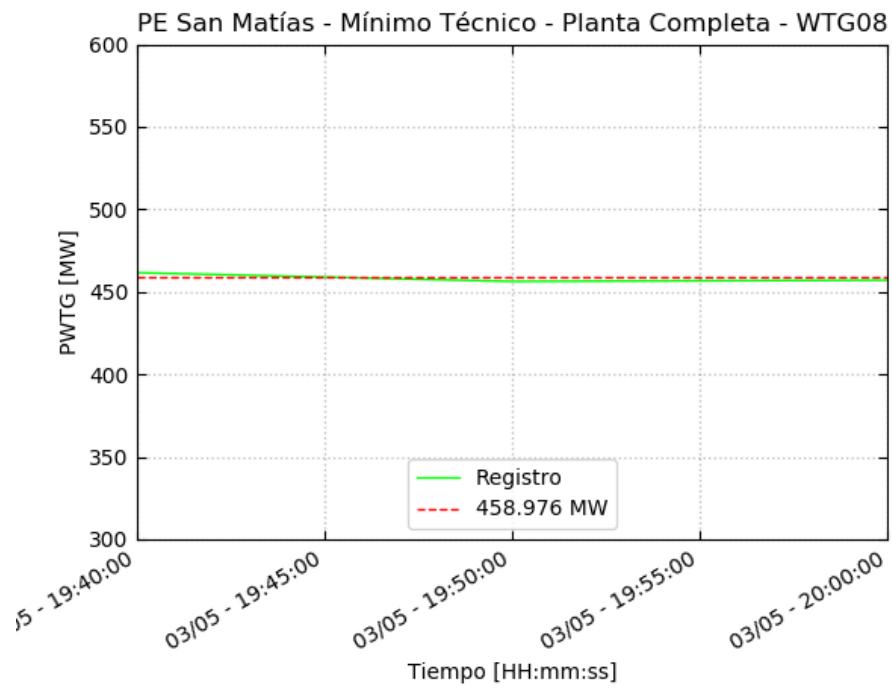


Figura 6.7 – Registro WTG08 – Planta completa

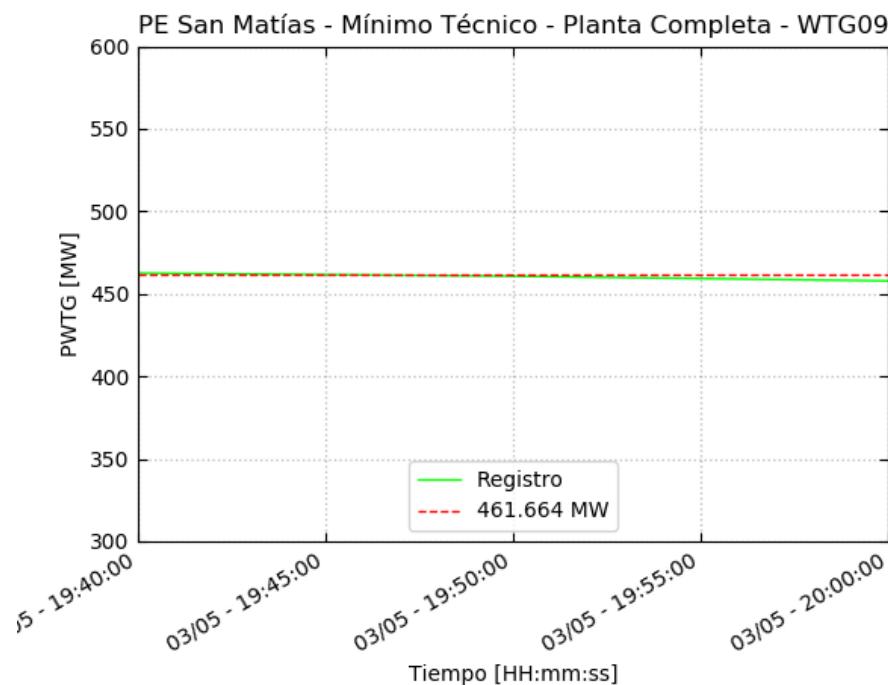


Figura 6.8 – Registro WTG09 – Planta completa

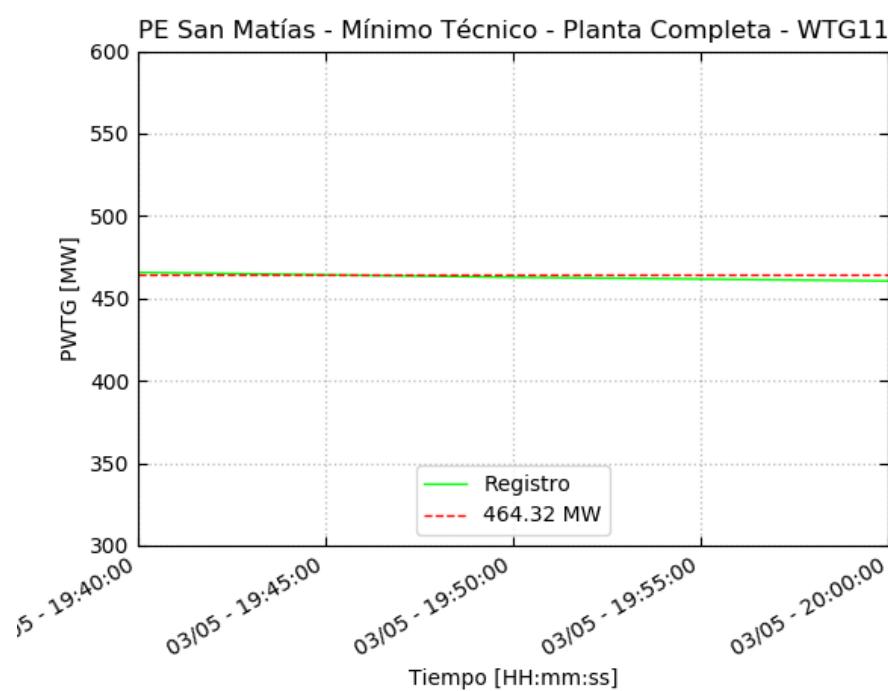


Figura 6.9 – Registro WTG11 – Planta completa

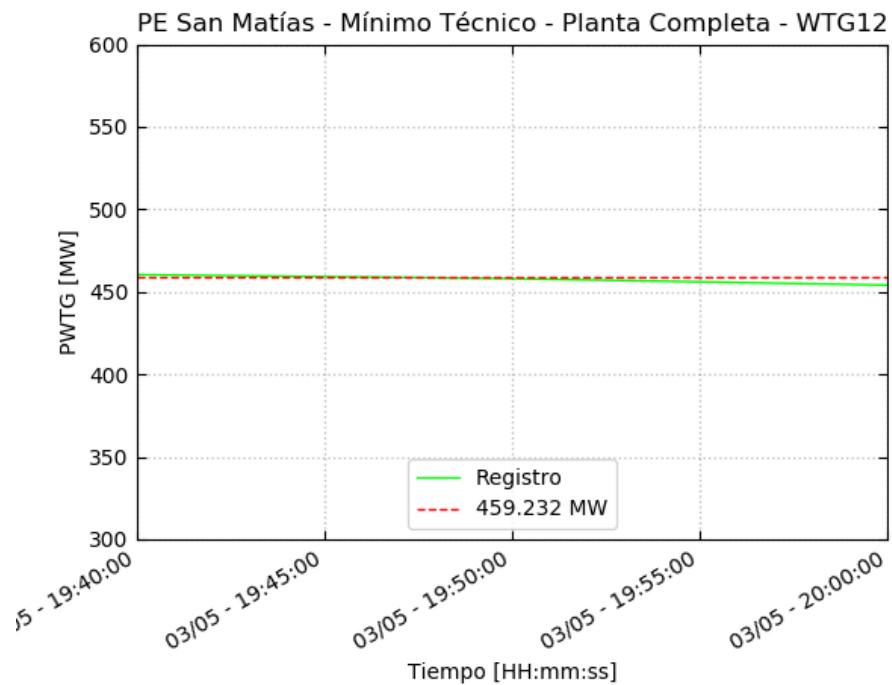


Figura 6.10 – Registro WTG12 – Planta completa

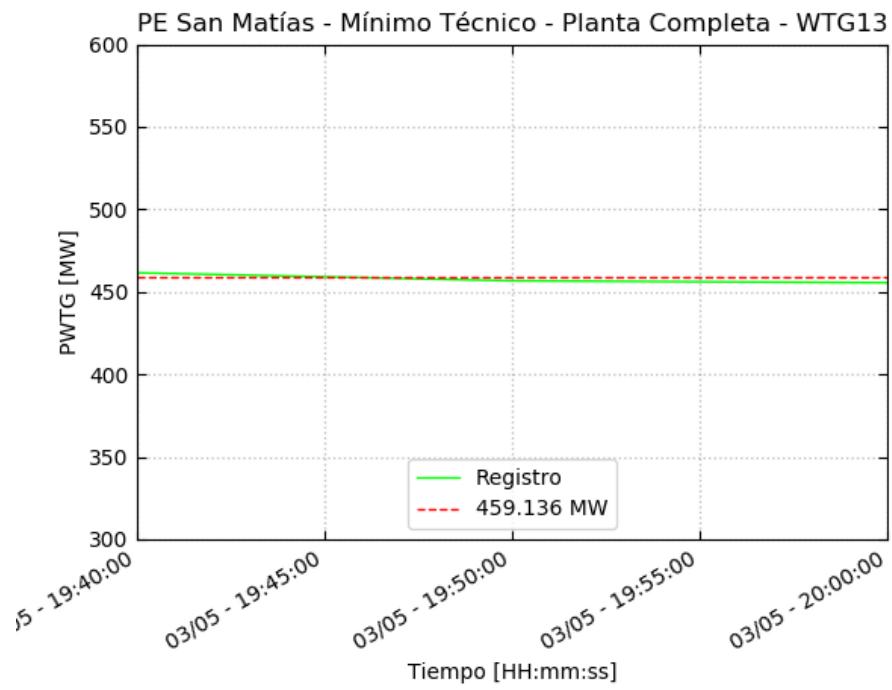


Figura 6.11 – Registro WTG13 – Planta completa

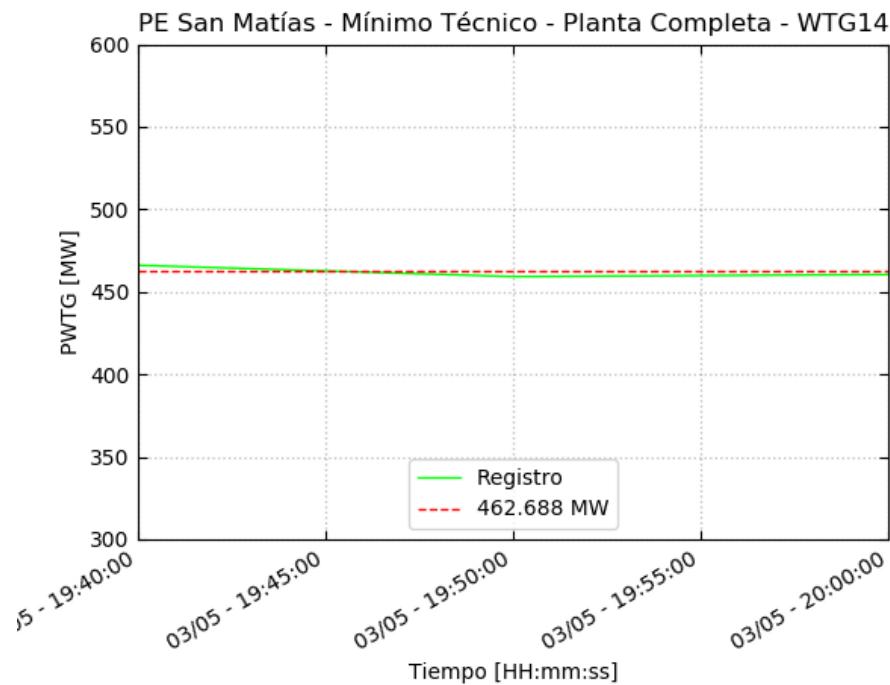


Figura 6.12 – Registro WTG14 – Planta completa

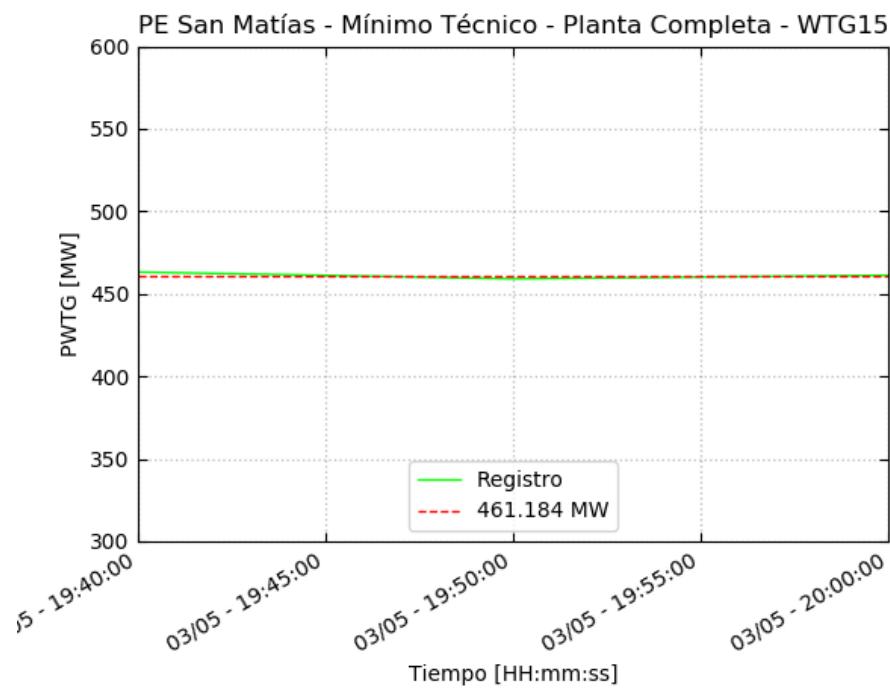


Figura 6.13 – Registro WTG15 – Planta completa

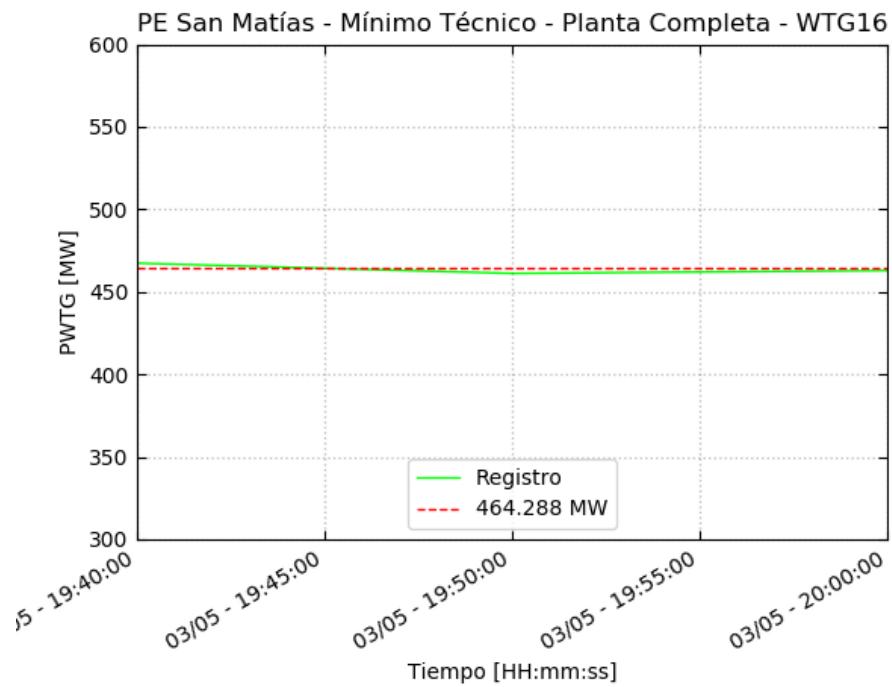


Figura 6.14 – Registro WTG16 – Planta completa

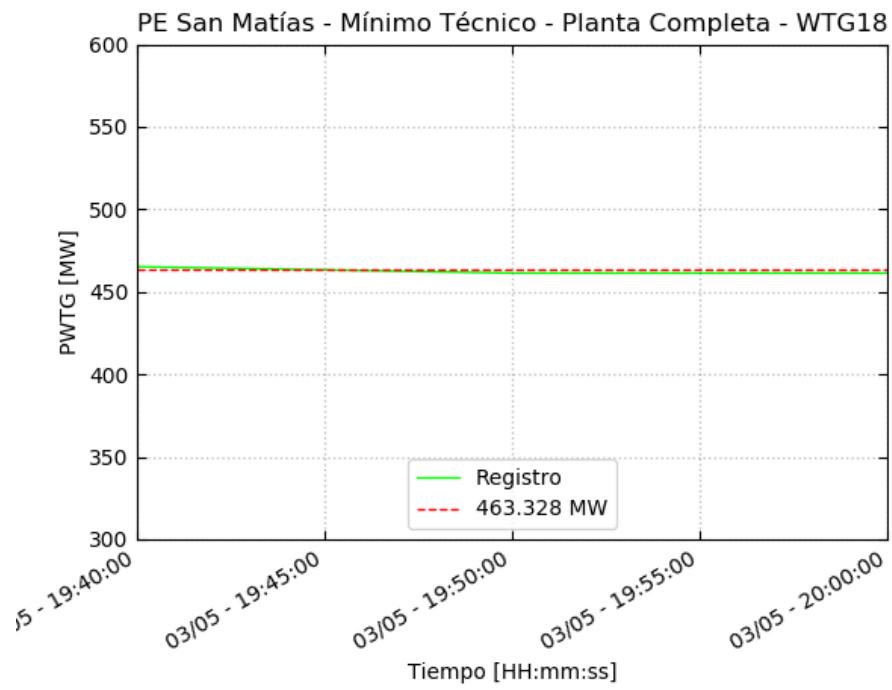


Figura 6.15 – Registro WTG18 – Planta completa

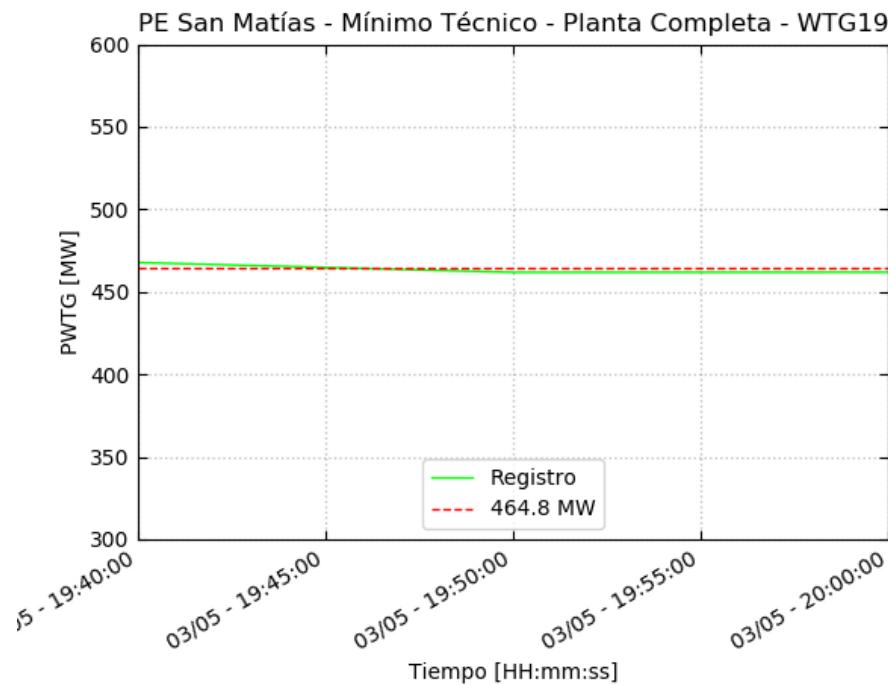


Figura 6.16 – Registro WTG19 – Planta completa

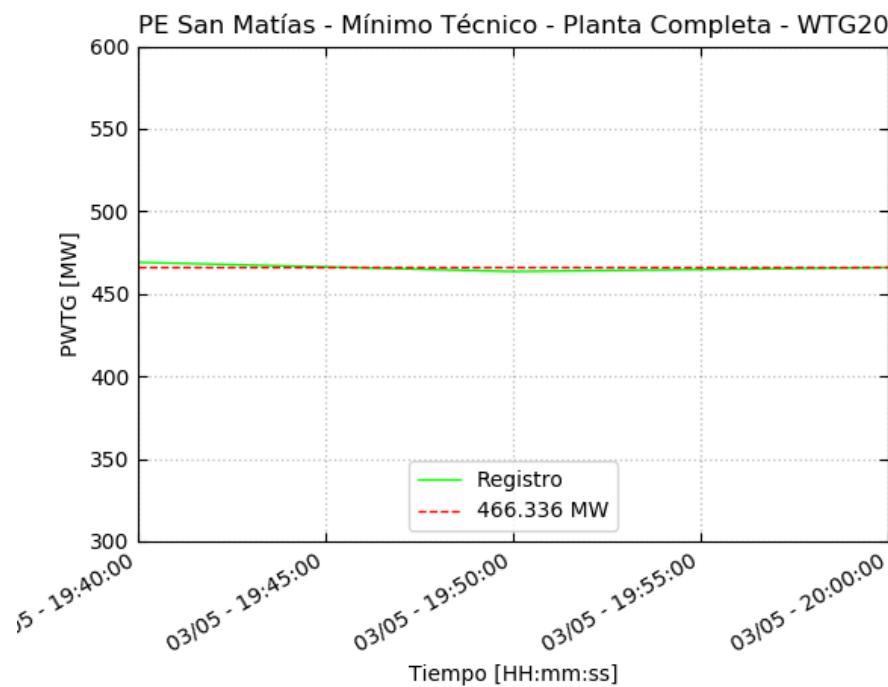


Figura 6.17 – Registro WTG20 – Planta completa

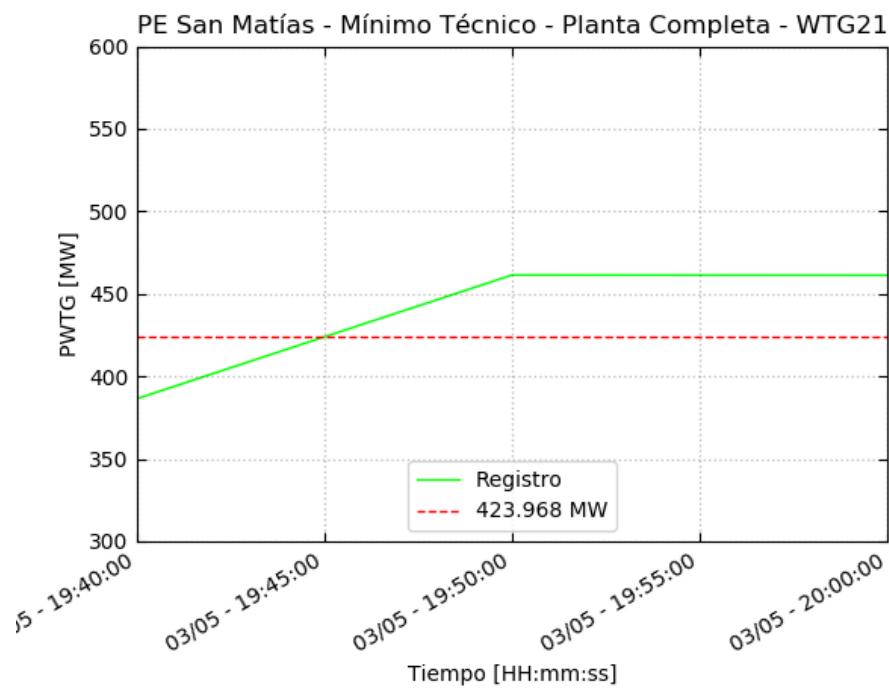


Figura 6.18 – Registro WTG21 – Planta completa



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.