

Empresa
País
Proyecto
Descripción

AES Andes
Chile
Parque Eólico San Matías
Informe de Mínimo Técnico

aes Chile

CÓDIGO DE PROYECTO EE-2024-090
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2025-1902
REVISIÓN 0

11 sep. 25



Este documento **EE-EN-2025-1902-R0** 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 45 páginas y ha sido guardado por última vez el 11/09/2025 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	09.09.2025	Para presentar	MR	NS	AC
0	11.09.2025	Corrige observaciones de AES Andes - Para emisión	NS	CiC	AC

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	RESUMEN EJECUTIVO	5
2	INTRODUCCIÓN.....	6
	2.1 Descripción de los participantes.....	7
	2.2 Descripción de los equipos de medición y registros utilizados	7
	2.3 Nomenclatura.....	8
	2.4 Definiciones.....	9
3	ASPECTOS NORMATIVOS	10
	3.1 Centrales renovables no convencionales sin capacidad de regulación	10
4	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	12
	4.1 Diagrama unilineal.....	13
	4.1.1 Subestación elevadora.....	13
	4.1 Datos de los aerogeneradores.....	15
	4.2 Datos de los transformadores de bloque	18
	4.3 Datos del transformador principal.....	19
	4.4 Datos de los Consumos de SSAA	20
5	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO.....	22
	5.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	23
	5.1.1 Potencia Bruta.....	25
	5.1.2 Potencia de Servicio Auxiliares.....	26
	5.1.3 Potencia Neta	26
	5.1.4 Potencia de Pérdidas de la Central.....	27
	5.1.5 Resultados	28
	5.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual.....	29
	5.2.1 Potencia Bruta.....	31
	5.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares.....	32
	5.2.3 Potencia Neta	32
	5.2.4 Potencia de Perdidas en la Central.....	33
	5.2.1 Resultados	34



6 **CONCLUSIONES** 35

7 **ANEXOS** 37

7.1 Certificados de calibración de medidor de energía 37

7.2 Registros de aerogeneradores 38

 7.2.1 Parque Completo..... 38

 7.2.1 Aerogenerador Individual..... 41

7.3 Archivos adjuntos entregados 44



1 RESUMEN EJECUTIVO

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico San Matías de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Pruebas de Mínimo Técnico en Unidades Generadores” y a lo recomendado en la Guía Técnica DCO: “Recomendaciones para la elaboración de los Informes de Determinación de Parámetros Operacionales de Unidades Generadoras no Convencionales y Sistemas de Almacenamiento de Energía”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 3.

Este informe corresponde a la Etapa 2 del proyecto (NUP 3182), en la cual se incrementa el número de aerogeneradores a 19, en comparación con los 18 considerados en la Etapa 1.

Los resultados del presente informe se basan en ensayos realizados el día 12 de agosto del 2025.

Cabe destacar que, según lo establecido en la Guía Técnica DCO N°01-2024, se busca que el mínimo técnico permita alcanzar una potencia cercana a 0 MW en el POI con el menor número de unidades posibles. Por esta razón, se define que el mínimo técnico del proyecto corresponde a los resultados obtenidos para el aerogenerador individual, ya que es factible alcanzar dicho valor mediante maniobras disponibles para el operador de turno.



2 INTRODUCCIÓN

El Parque Eólico San Matías, ubicado en la comuna de Los Ángeles, región del Biobío, se compone de diecinueve (19) aerogeneradores, marca Vestas modelo N163 V150 de 4.3 MW de potencia nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 81.7 MW.

Cada uno de los aerogeneradores de 4.3 MW de capacidad nominal y de 720 V de tensión nominal, cuentan con su respectivo transformador de bloque de 5.15 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.72 kV / 33 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$), el cual permite la interconexión de los aerogeneradores con la barra de 33 kV de la subestación San Matías.

La red colectora de media tensión del parque se compone de cuatro (4) circuitos, los cuales se encuentran agrupados de cinco (5), cinco (5), cinco (5) y cuatro (4) aerogeneradores, y así cada grupo acomete a una barra de 33 kV en la S/E Campo Lindo. La potencia capturada por los circuitos alimentadores es evacuada mediante uno de los devanados secundarios del transformador elevador de doble devanado secundario de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV y 300/240 MVA (ONAF/ONAN) de potencia nominal, elevan la tensión a 220 kV para finalmente evacuar la potencia generada al SEN en su punto de interconexión.

El control conjunto de planta, marca Vestas, cuenta con modos de control de potencia reactiva, factor de potencia, tensión Q(V), potencia activa y regulación de frecuencia.



2.1 Descripción de los participantes

Empresa	Personal	Cargo
Estudios Eléctricos	Matías Parra	Equipo Experto Técnico
	Federico Deledda	
AES Andes	Boris Riquelme	O&M Parque eólico San Matías
	Óscar Inostroza	

Tabla 2.1 – Personal participante

2.2 Descripción de los equipos de medición y registros utilizados

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo analizador de calidad de energía. Sus principales características se presentan a continuación:

Denominación	Marca / Modelo	N° serie	Certificado de calibración
Analizador de calidad de energía	Janitza / UMG512	4201-5361	Ver Anexo 7.1

Tabla 2.2 Característica de los equipos de adquisición

Para el registro de **Potencia de Entrada al Transformador Principal**, se cuenta con un analizador de calidad de energía Janitza / UMG512 con una tasa de muestreo de 200 milisegundos.

Para el registro de **Potencia Bruta**, el cual considera la potencia registrada en los bornes de cada aerogenerador, los datos son adquiridos mediante el sistema SCADA de la central, el cual realiza mediciones con una tasa de muestreo de 10 minutos.

Respecto, del registro de la **Potencia de Servicios Auxiliares**, los datos son adquiridos por el sistema SCADA con una tasa de muestreo de 1 hora.

Por último, para el registro de la **Velocidad del Viento**, se cuenta con datos adquiridos mediante la estación meteorológica de la central, la cual cuenta con una tasa de muestreo de 10 minutos.

La totalidad de resultados presentados en este informe son obtenidos a partir de mediciones directas realizadas en sitio.



2.3 Nomenclatura

Tag	Descripción
ETERM	Tensión en bornes del aerogenerador
ITERM	Corriente en bornes del aerogenerador
PELEC	Potencia eléctrica activa en bornes del aerogenerador
QELEC	Potencia eléctrica reactiva en bornes del aerogenerador
UBUS	Tensión en el punto de interconexión
PBUS	Potencia eléctrica activa en el punto de interconexión
QBUS	Potencia eléctrica reactiva en el punto de interconexión
FREC	Frecuencia eléctrica
POI	Punto de interconexión (de sus siglas en inglés "Point Of Interconnection")
SS/AA	Servicios Auxiliares
PPC	Control conjunto de planta (de sus siglas en inglés "Power Plant Controller")
AT	Nivel de alta tensión 220kV
MT	Nivel de media tensión 33kV
BT	Nivel de baja tensión 0.72kV
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
EE	Estudios Eléctricos
CT	Control de tensión
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
Pmax	Potencia activa neta máxima en el POI
Pmin	Potencia activa neta correspondiente al mínimo técnico en el POI
NTSSCC	Norma Técnica de Servicios Complementarios

Tabla 2.3 – Nomenclatura empleada

2.4 Definiciones

La Figura 2.1 muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos y puntos de medición:

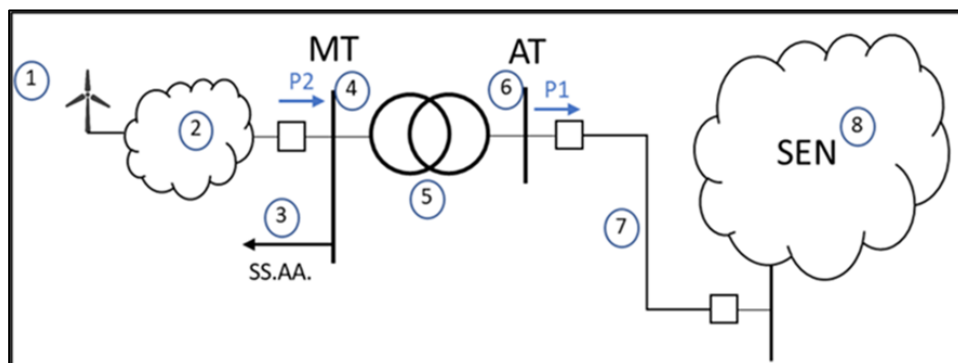


Figura 2.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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) **Línea dedicada de la central:** Línea de alta tensión que vincula el parque eólico con el sistema eléctrico.
- 8) **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**



3 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, tal que, en el POI se tenga el valor más cercano a 0 MW. El objetivo es determinar este valor con el mínimo número de aerogeneradores en servicio con los que se pueda operar.

Se aclara que el PPC cuenta con la capacidad de ir apagando aerogeneradores de forma controlada hasta lograr la operación de mínima generación con el mínimo número de aerogeneradores.

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.

3.1 Centrales renovables no convencionales sin capacidad de regulación

- a) El objetivo de la prueba de MT es determinar la condición de mínima inyección estable de la central, tal que, en el lado de alta tensión del transformador elevador, se tenga un valor lo más cercano a 0 MW. En este caso el objetivo es determinar el MT bajo una condición de operación con el mínimo número de inversores o aerogeneradores en servicio con los que puede operar.
- b) La Potencia Activa Bruta mínima, debe mantenerse en forma permanente, segura, continua y estable inyectando energía al SI. Para ello, la prueba de la central completa, debe durar al menos 1 hora. Sin perjuicio de lo anterior, el experto técnico podrá evaluar las características de las unidades para establecer el tiempo de duración de la prueba, pudiendo ser este distinta al mencionado, lo que deberá quedar consignado tanto en los protocolos como en el cuerpo del informe.
- c) En el caso de PE y PFV, el informe deberá contener los datos y registros gráficos de Potencia Activa Bruta, irradiancia (fotovoltaicas), temperatura (fotovoltaicas) y velocidad del viento (eólicas), según corresponda, de las 24 horas del día de la prueba de toda la planta.
- d) En el caso de PE y PFV, además de los resultados de la prueba de la central completa, deberá complementar los resultados de los ensayos con tabla con los datos de la Potencia Activa Bruta y/o Neta de los inversores del PFV y los aerogeneradores, de un periodo de 15 minutos en operación estable



a MT, que se encontraban operativos durante la prueba considerando lo indicado en el punto C del Anexo 1.

- e) Cabe destacar que la potencia mínima, no implica necesariamente, la operación de un solo inversor, o aerogenerador al mínimo, pudiendo ser necesario la operación de más de uno para permanecer en la condición de inyectar en el lado del lado de alta del transformador elevador, y no absorber potencia desde la red. La medición se debe realizar en el punto de alta tensión del transformador elevador.
- f) Los informes de las centrales PFV y PE deberán indicar explícitamente el mecanismo con que el controlador (PPC) realiza la reducción de la Potencia Activa Neta, mediante el apagado y/o pausado de inversores y/o aerogeneradores, indicando si la acción es realizada de forma automática o requiere apagado o pausado en forma manual. En el caso que las maniobras sean manuales, deberá especificar si el operador de planta está capacitado y habilitado para realizar dichas maniobras en caso de ser requeridas por el CDC.
- g) Las acciones manuales mencionadas en el literal previo se refieren a aquellas que pueden ser realizadas por el operador desde la sala de control de la central durante la operación normal de la central. Lo anterior implica que el operador ejecute manualmente la acción de pausa o apagado de los inversores del PFV o aerogeneradores, de modo de lograr una operación estable, inyectando 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.
- h) 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.
- i) El informe debe contener en sus conclusiones una tabla de resultados tal como se indica en el punto 8.4. Además, estos valores deben ser consistentes con la notación del Anexo 1.
- j) En el informe y en las Conclusiones, se debe indicar la cantidad mínima de inversores o aerogeneradores en servicio para lograr la condición de MT.



4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El Parque Eólico San Matías, ubicado en la comuna de Los Ángeles, región del Biobío, se compone de diecinueve (19) aerogeneradores, marca Vestas modelo N163 V150 de 4.3 MW de potencia nominal cada uno, totalizando una potencia instalada de 81.7 MW.

Cada uno de los aerogeneradores de 4.3 MW de capacidad nominal y de 720 V de tensión nominal, cuentan con su respectivo transformador de bloque de 5.15 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.72 kV / 33 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$), el cual permite la interconexión de los aerogeneradores con la barra de 33 kV de la subestación San Matías.

La red colectora de media tensión del parque se compone de cuatro (4) circuitos, los cuales se encuentran agrupados de cinco (5), cinco (5), cinco (5) y cuatro (4) aerogeneradores, y así cada grupo acomete a una barra de 33 kV en la S/E Campo Lindo. La potencia capturada por los circuitos alimentadores es evacuada mediante uno de los devanados secundarios del transformador elevador de doble devanado secundario de relación 33 kV / 33 kV / 220 kV y 300/240 MVA (ONAF/ONAN) de potencia nominal, elevan la tensión a 220 kV para finalmente evacuar la potencia generada al SEN en su punto de interconexión.

El control conjunto de planta, marca Vestas, cuenta con modos de control de potencia reactiva, factor de potencia, tensión Q(V), potencia activa y regulación de frecuencia.

4.1 Diagrama unilineal

4.1.1 Subestación elevadora

A continuación, en la Figura 4.1 se presenta el diagrama unilineal de la S/E Campo Lindo, por la cual el Parque Eólico San Matías inyecta potencia hacia el Sistema Interconectado. El recuadro **verde** muestra el transformador elevador de la Subestación elevadora.

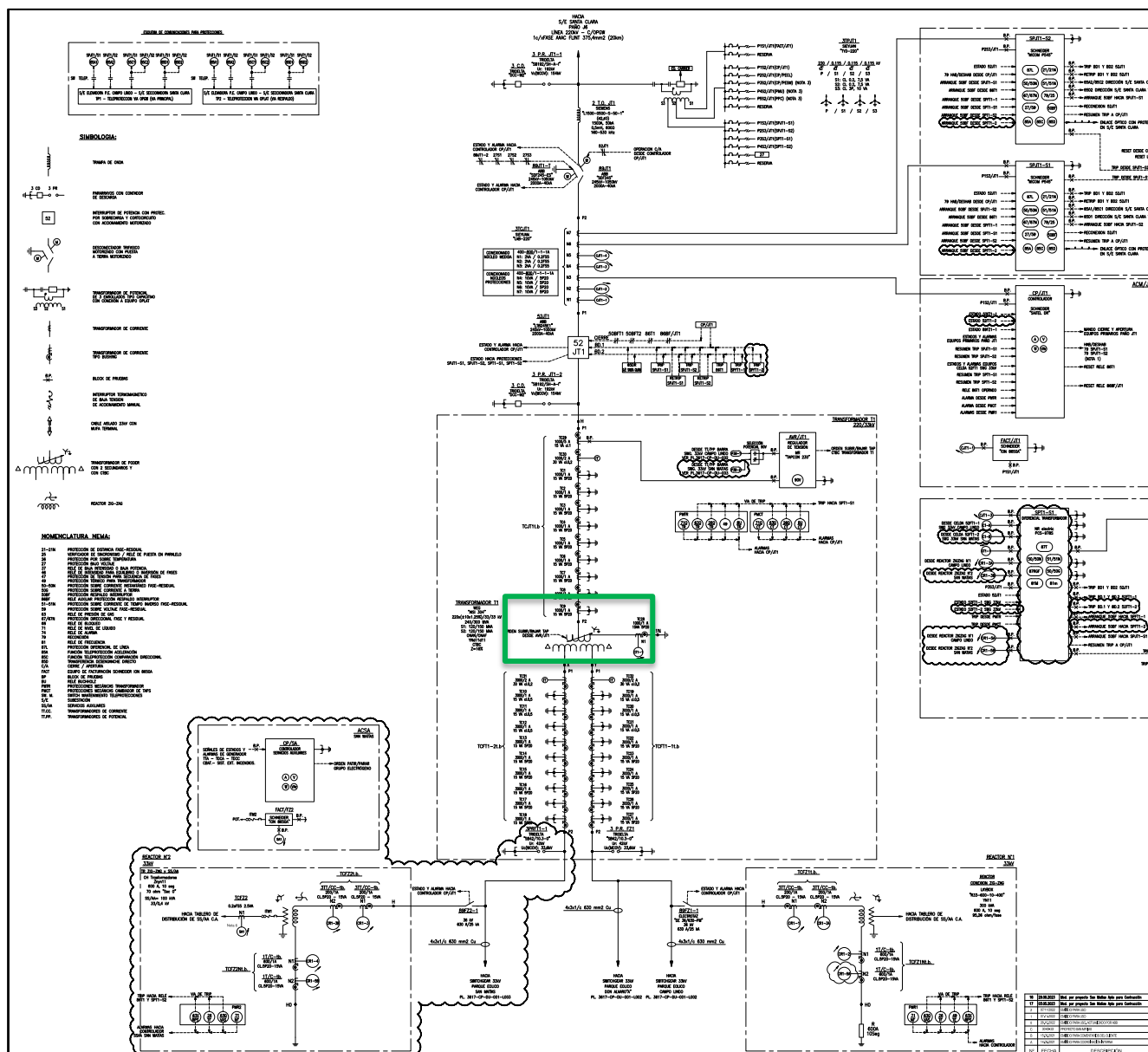


Figura 4.1 – Diagrama unilineal S/E Campo Lindo



En la Figura 4.2 se presenta el diagrama unilineal de las S/E San Matías, los recuadros en rojo muestran los transformadores de potencia y corriente utilizados para la medición.

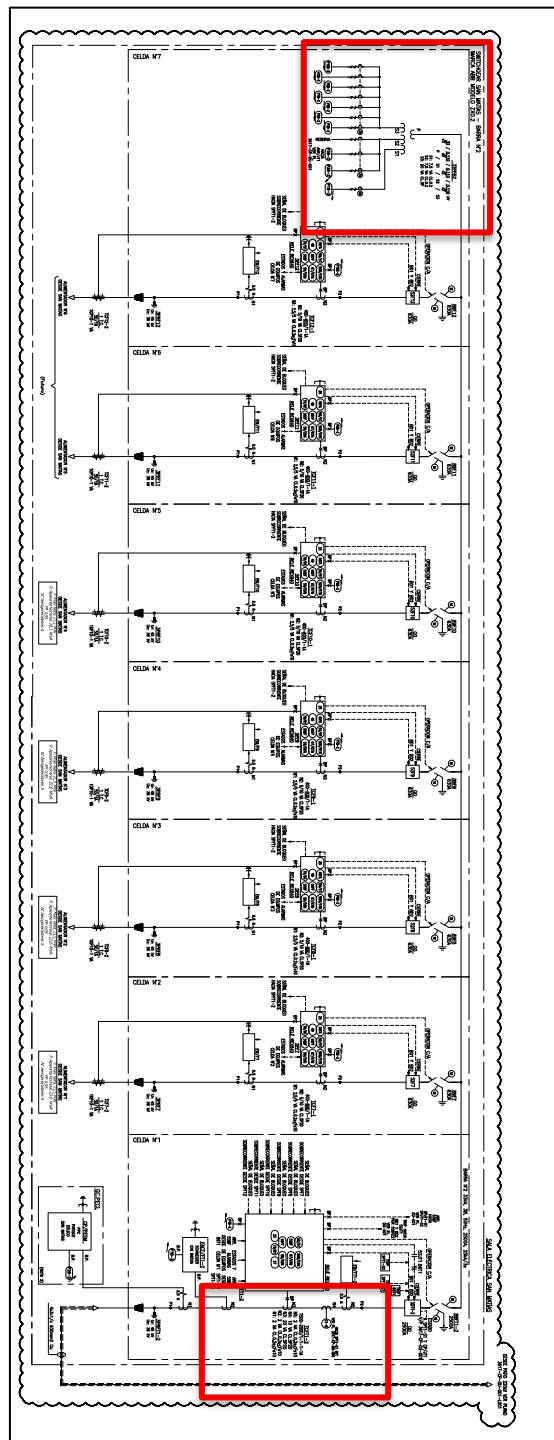


Figura 4.2 – Diagrama unilineal S/E San Matías



4.1 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico San Matías está constituido por diecinueve (19) aerogeneradores marca Vestas modelo V150 de 4.3 MW de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal. Los parámetros nominales de los aerogeneradores se presentan en la Figura 4.3 y Figura 4.4.

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 back-up
Temperature Sensors, Bearings	1 per bearing
Insulation Class	H
Enclosure	IP54

Figura 4.3 – 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 (≤30°C ambient) / 4150 (≤20°C ambient)
Rated Generator Current	3600 A (≤30°C ambient) / 3650 (≤20°C ambient)
Enclosure	IP54

Figura 4.4 – Datos nominales del convertidor de potencia



La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 4.5.

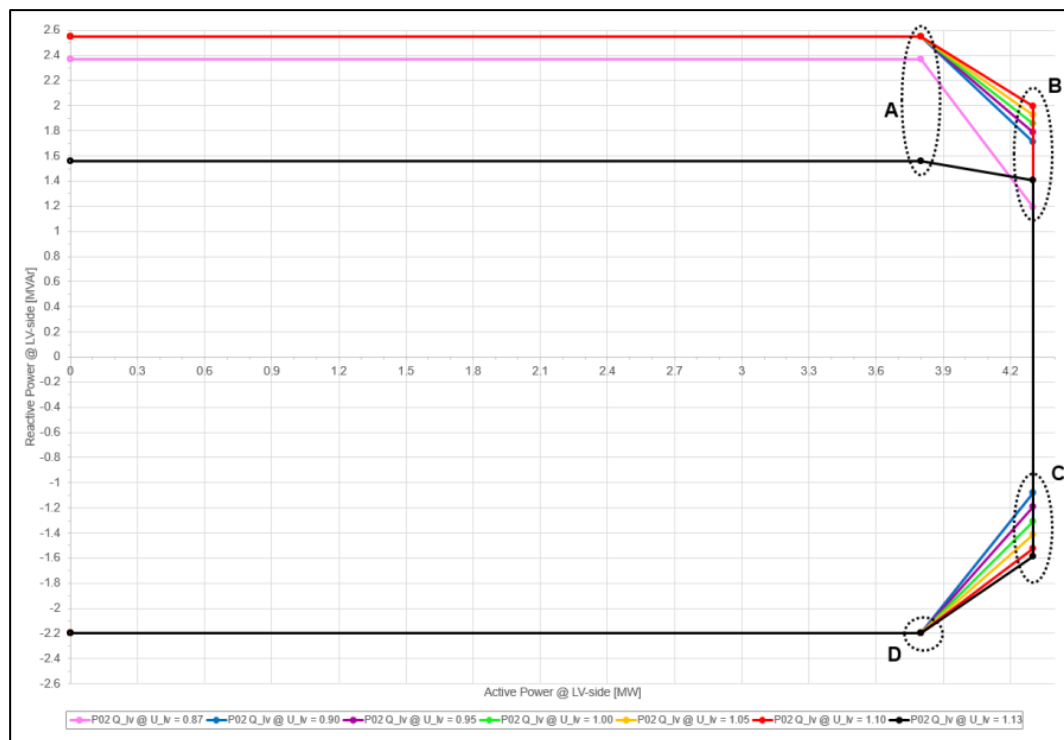


Figura 4.5 – Curva de capacidad del aerogenerador

Se presenta en la Figura 4.6 la curva de potencia según velocidad del viento del aerogenerador.

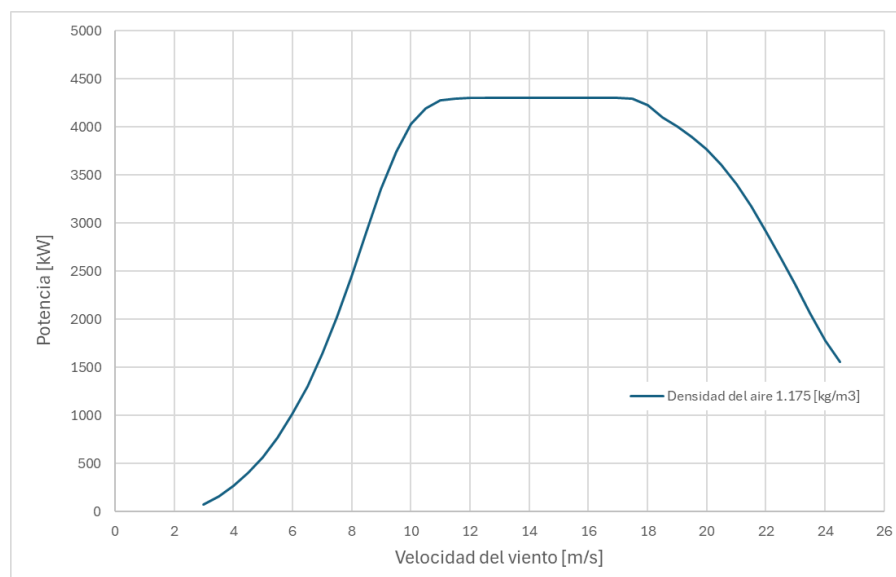


Figura 4.6 – Curva Viento/potencia para los aerogeneradores



En la Figura 4.7 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 4.7 – Consumos propios de aerogeneradores



4.2 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico San Matías cuenta con diecinueve (19) transformadores de bloque correspondientes a uno por cada aerogenerador. Su relación de transformación es de $(0.72 \pm 2 \times 2.5\%) / 33 \text{ kV}$ y de 5.15 MVA de capacidad nominal.

Los datos característicos de los mismos se muestran en la Tabla 4.1.

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 4.1 – Datos de los transformadores de bloque de los aerogeneradores



4.3 Datos del transformador principal

El Parque Eólico San Matías cuenta con un (1) transformador elevador ubicado en la S/E San Matías. Este posee una potencia nominal de 300 MVA y cuenta con dos devanados de media tensión de 33 kV y un arrollamiento de alta tensión de 220 kV. El transformador posee cambiador de tomas bajo carga automático.

A continuación, se presenta la Tabla 4.2, la cual muestra los parámetros más relevantes para el modelado del transformador principal.

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	$\pm 10 \times 1.25\%$

Tabla 4.2 – Datos del transformador principal



4.4 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 Figura 4.8 se visualizan los consumos auxiliares promedio durante la realización de la prueba de mínimo técnico para el parque completo y corresponde a un valor de 0.0179 MW.

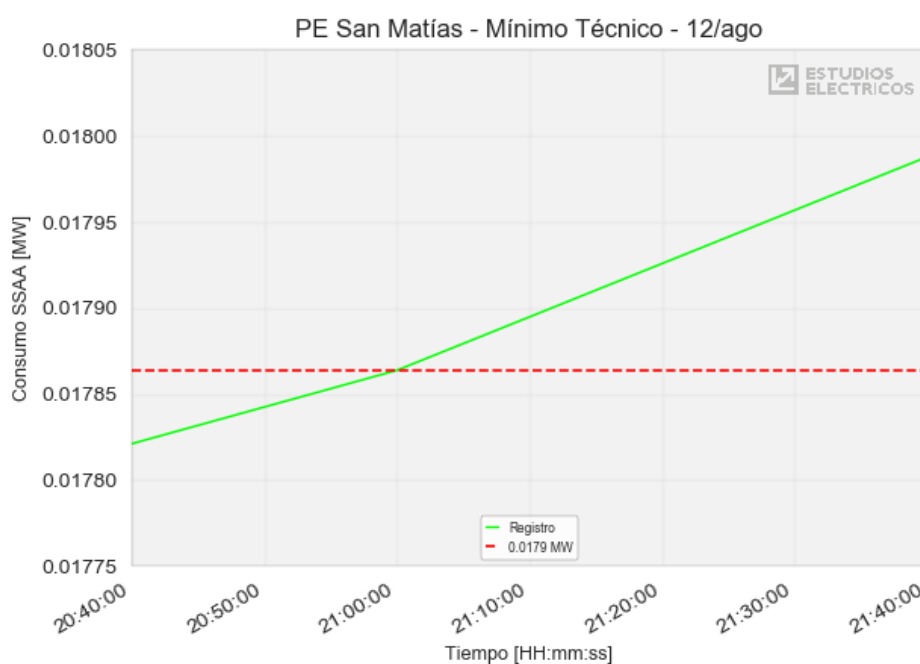


Figura 4.8 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia SSAA – Parque Completo



Por otro lado, en la Figura 4.9 se visualizan los consumos auxiliares promedio durante la realización de la prueba de mínimo técnico para el aerogenerador individual y corresponde a un valor de 0.0177 MW.

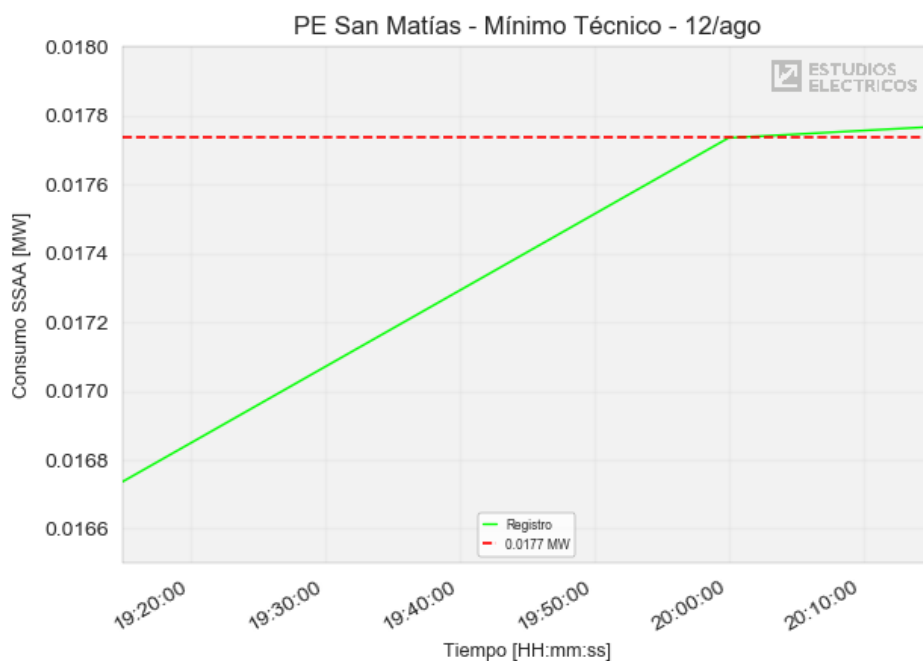


Figura 4.9 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia SSAA – Aerogenerador Individual



5 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 la sección 3 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y considerando la operación de un **único aerogenerador**.

Para el Parque Eólico San Matías se dispone de mediciones de la potencia generada por los aerogeneradores, obtenidas a través del sistema de adquisición de datos del PPC, así como de la potencia de entrada al transformador principal. No se cuenta con la medición de la Potencia Neta, ya que el transformador principal es de 3 devanados, donde cada enrollado de media tensión interconecta una instalación de generación independiente. Uno de los devanados interconecta al PE San Matías mientras que el segundo a PE Campo Lindo.

Frente a esto, se extrapola la medición obtenida en la inyección del parque a la barra de 33 kV hacia el lado de alta tensión del transformador principal haciendo uso de la información técnica de este equipo.

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 Mínima Neta [MW]
PE San Matías	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 5.1 – 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 Campo Lindo 220 kV (POI).



5.1 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 12 de agosto del 2025 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico de planta completa, es decir, con los 19 aerogeneradores del parque en servicio.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 5.1 se muestra la potencia de entrada al transformador principal (P_{33kV}) durante la hora de duración de la prueba. Se destaca con la línea segmentada roja el promedio de potencia durante la duración de la prueba.

En la Figura 5.2 se muestra la potencia sumada medida de todos los aerogeneradores (P_{WTG}) y en la línea segmentada roja el promedio de potencia durante la hora de prueba.

En la Figura 5.3 se muestra el registro de velocidad de viento promedio registrados durante el período de prueba completa. En la línea roja segmentada se aprecia la potencia media para el período considerado.

Finalmente, en la Figura 5.4 se muestra el registro de velocidad de viento del día completo del ensayo de Mínimo Técnico, enmarcando el período de prueba efectiva.

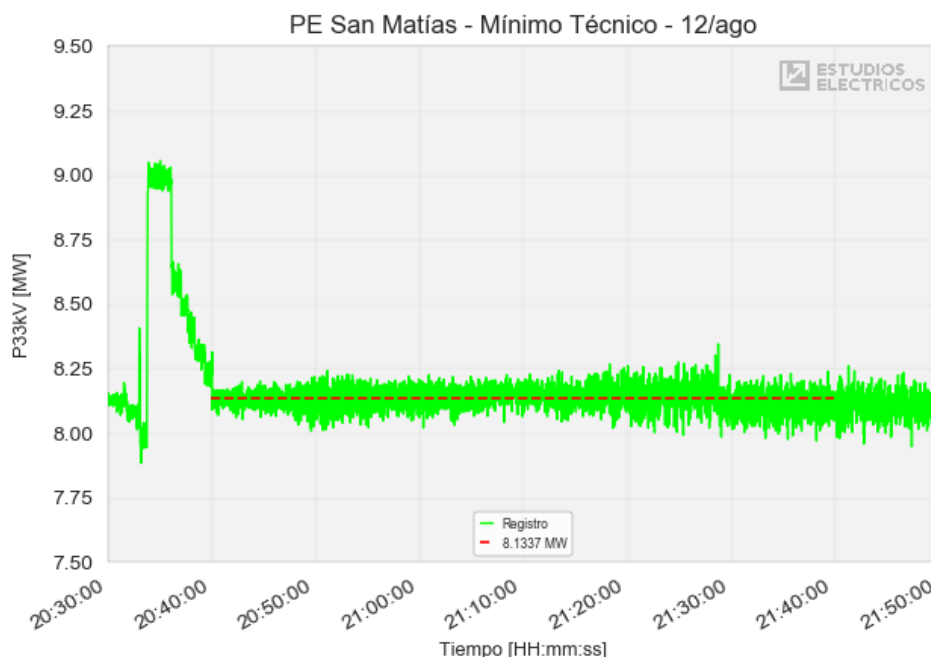


Figura 5.1 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia de entrada al Transformador Principal (P_{33kV}) – Parque Completo

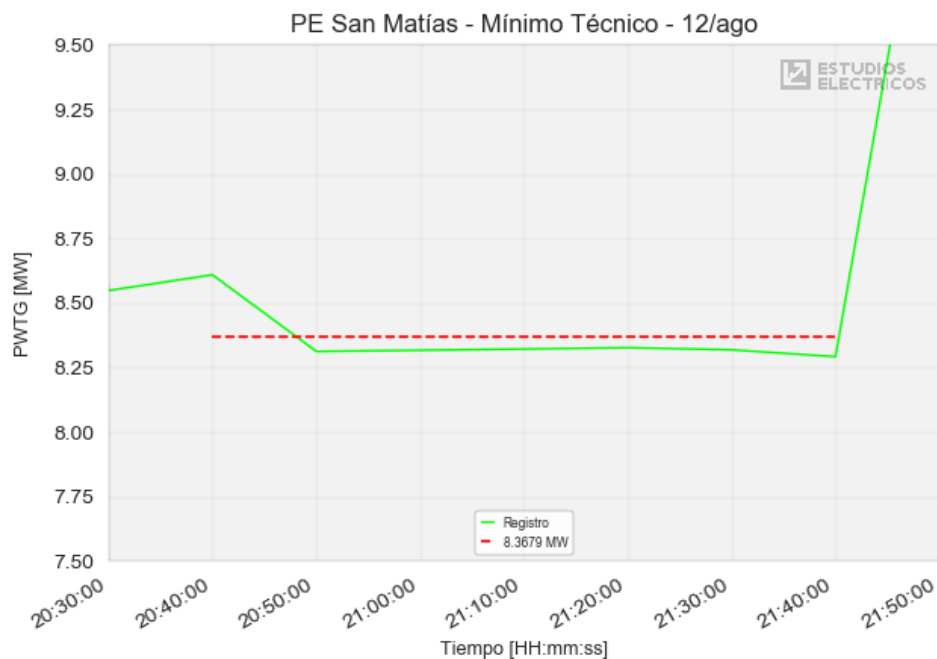


Figura 5.2 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia de Aerogeneradores – Parque Completo

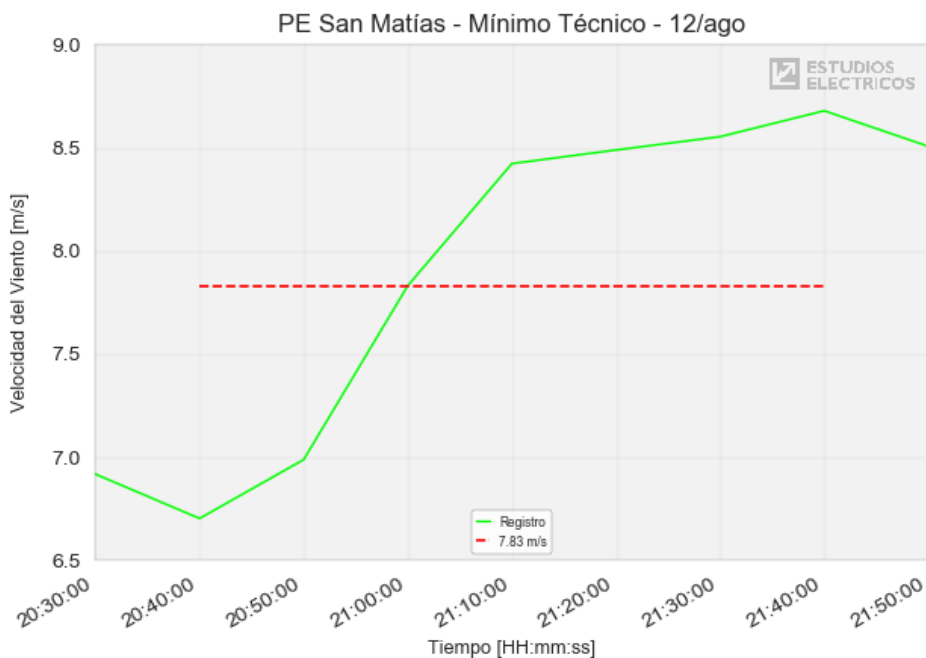


Figura 5.3 – Ensayo de Mínimo Técnico – Velocidad del Viento – Parque Completo

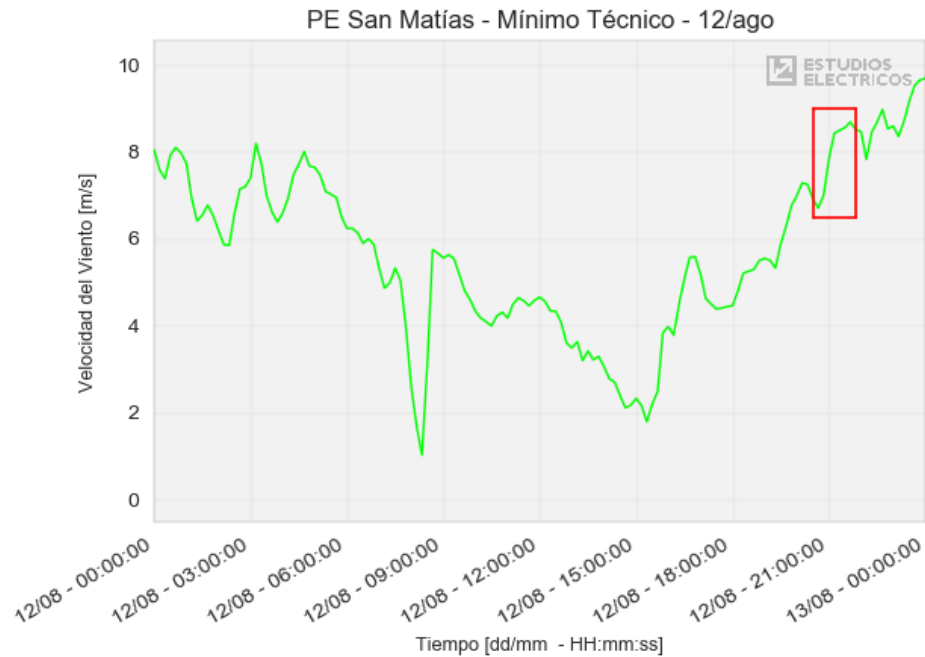


Figura 5.4 – Ensayo de Mínimo Técnico – Velocidad de Viento Día Completo – Parque Completo

5.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 5.2, 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 4.7. El valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}) se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{Bruta} = 8.3679 \text{ MW} + 19 \times 80.6 \text{ kW} = 9.8993 \text{ MW}$$



5.1.2 Potencia de Servicio Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando la totalidad de unidades en servicio) más los consumos del transformador de SSAA ($P_{TR,SSAA}$) estimados en la sección 4.4 (ver Figura 4.8).

Según se observa en la Figura 4.7, 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**.

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

$$P_{SSAA} = 19 \times 80.6 \text{ kW} + 17.9 \text{ kW} = 1549.3 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 1.5493 \text{ MW}$$

5.1.3 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). No se cuenta con un registro exclusivo debido a la operación del parque contiguo (PE Campo Lindo) que inyecta en el otro devanado del transformador principal, por lo tanto, se extrapolan las mediciones de la condición de ensayos (ver Figura 5.1), considerando los valores de pérdidas del equipo (ver Tabla 4.2) al lado correspondiente.

$$P_{Neta} = P_{33kV} - P_{perd,TR_{ppal}}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 742.9 \text{ kW} \times \left(\frac{8.1337 \text{ MW}}{300 \text{ MVA}} \right)^2 = 0.5461 \text{ kW}$$



Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 4.2.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = 138.0 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.5461 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 138.5461 \text{ kW}$$

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

De esta manera, la potencia neta corresponde a:

$$P_{Neta} = 8.1337 \text{ MW} - 0.1385 \text{ MW} = 7.9952 \text{ MW}$$

$$P_{Neta} = 7.9952 \text{ MW}$$

5.1.4 Potencia de Pérdidas de 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 y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 5.2). Además, se deben considerar los consumos de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 17.9 kW según se presenta en la sección 4.4.

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

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

$$P_{perd,central} = 8.3679 \text{ MW} - 0.0179 \text{ MW} - 7.9952 \text{ MW} = 0.3548 \text{ MW}$$



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 ($P_{perd,redMT}$)

El valor de las pérdidas del transformador principal se calculó anteriormente y corresponde a 0.1385 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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.3548 \text{ MW} - 0.1385 \text{ MW} = 0.2163 \text{ MW}$$

5.1.5 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.

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Matías	9.8993	1.5493	0.3548	7.9952

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías -Planta Completa

Según se observa en la Tabla 5.2 la **Potencia Bruta Mínima Ensayada** calculada está dentro de lo esperado en base a los registros de potencia disponibles de los aerogeneradores.



5.2 Mínimo Técnico con aerogenerador individual

El día 12 de agosto del 2025 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 San Matías en servicio. Para lograr esta condición el operador disminuye la consigna en el PPC y el controlador va apagando automáticamente cada aerogenerador hasta quedar con solamente uno encendido.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 5.5 se muestra la potencia de entrada al transformador principal (P_{33kV}) durante la hora de duración de la prueba. Se destaca con la línea segmentada roja el promedio de potencia durante la duración de la prueba.

En la Figura 5.6 se muestra la potencia correspondiente al aerogenerador individual (P_{WTG}). En la línea roja segmentada se aprecia la potencia media para el período considerado.

En la Figura 5.7 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 5.8 se muestra el registro de velocidad de viento del día completo del ensayo de Mínimo Técnico, enmarcando el período de prueba efectiva.

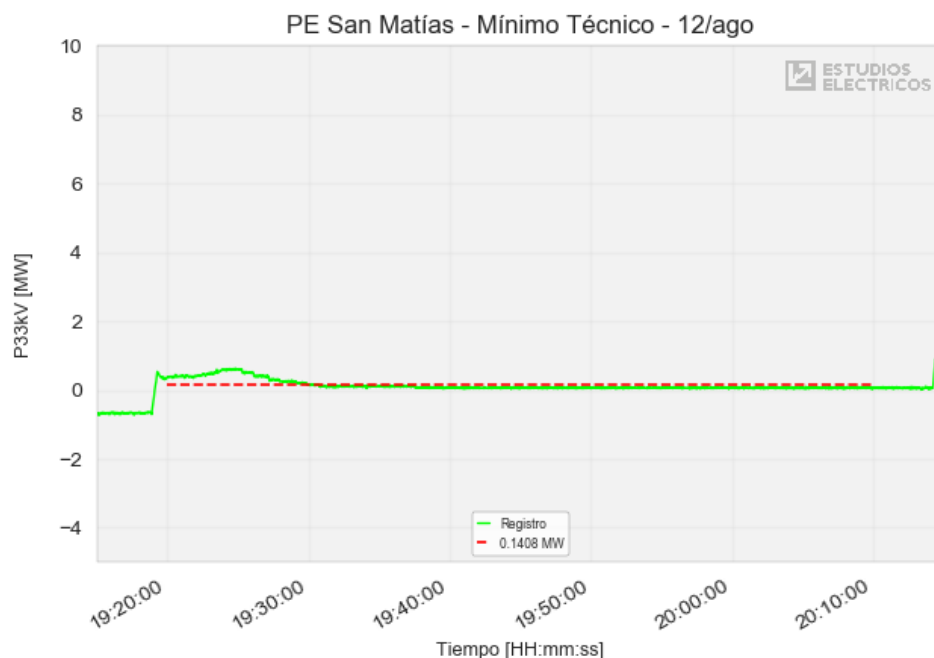


Figura 5.5 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia de entrada al Transformador Principal (P_{33kV}) – Aerogenerador Individual

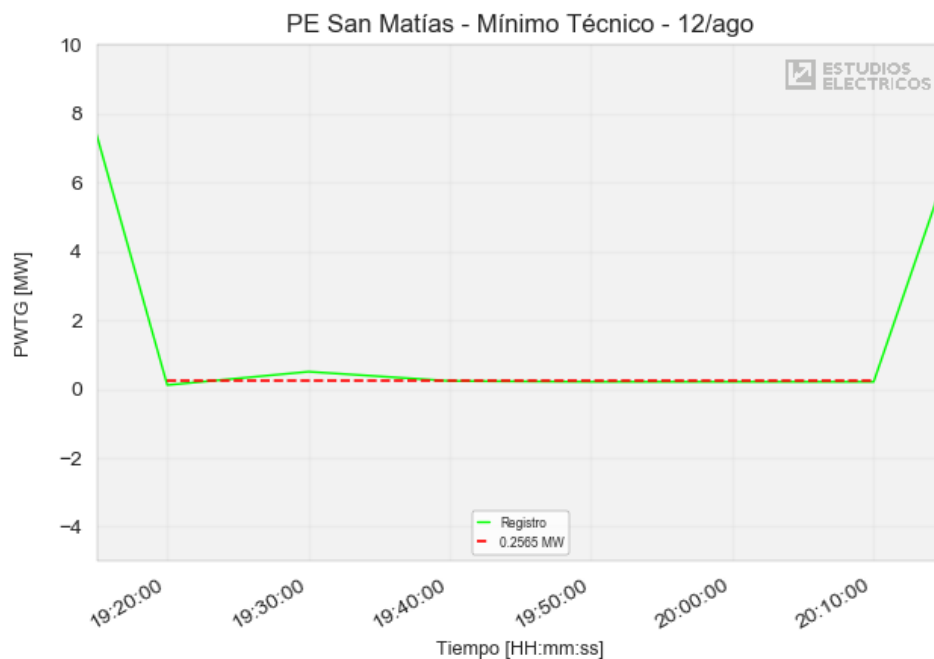


Figura 5.6 – Ensayo de Mínimo Técnico – Potencia de Aerogenerador - Aerogenerador Individual

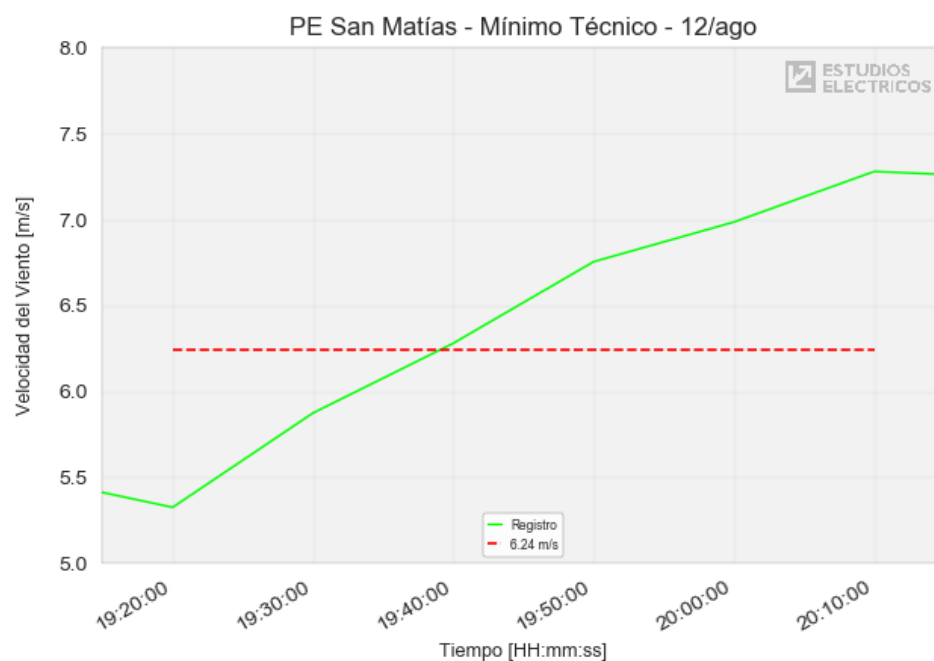


Figura 5.7 – Ensayo de Mínimo Técnico – Velocidad del Viento - Aerogenerador Individual

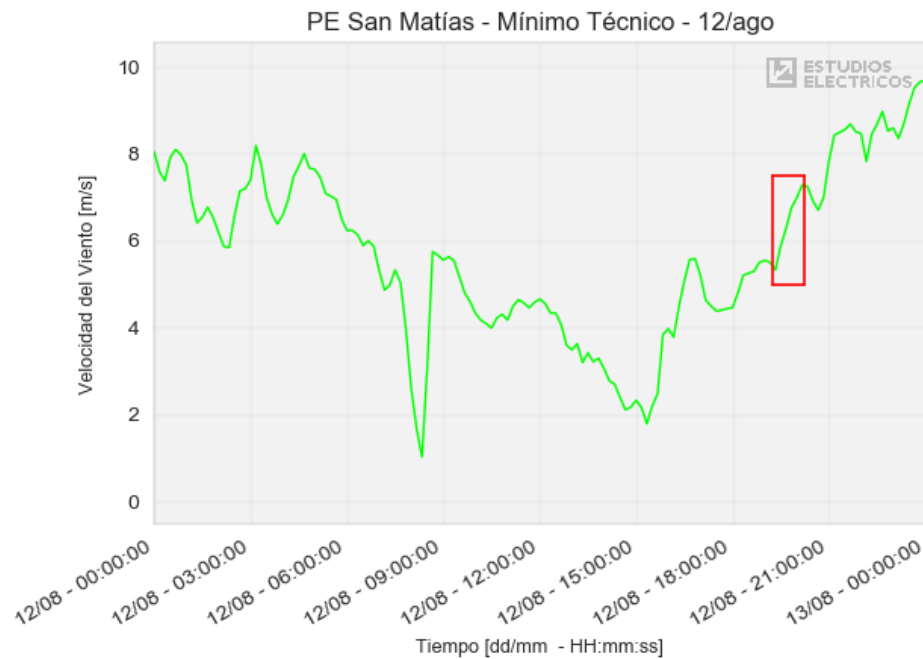


Figura 5.8 – Ensayo de Mínimo Técnico – Velocidad de Viento Día Completo - Aerogenerador Individual

5.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia presentada en la Figura 5.6, 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 4.7. El valor de **Potencia Bruta** (P_{Bruta}) se obtiene según la siguiente expresión.

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

$$P_{Bruta} = 0.2565 \text{ MW} + 1 \times 80.6 \text{ kW} = 0.3371 \text{ MW}$$



5.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La **Potencia de Servicios Auxiliares** (P_{SSAA}) corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando la totalidad de unidades en servicio) más los consumos del transformador de SSAA ($P_{TR,SSAA}$) estimados en la sección 4.4 (ver Figura 4.9).

Según se observa en la Figura 4.7, 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**.

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

$$P_{SSAA} = 1 \times 80.6 \text{ kW} + 17.7 \text{ kW} = 98.3 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.0983 \text{ MW}$$

5.2.3 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). No se cuenta con un registro exclusivo debido a la operación del parque contiguo (PE Campo Lindo) que inyecta en el otro devanado del transformador principal durante las pruebas, sin embargo, se puede calcular como la diferencia entre la potencia de entrada al transformador principal en 33 kV (ver Figura 5.5) y las pérdidas de este:

$$P_{Neta} = P_{33kV} - P_{perd,TR_{ppal}}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal},carga} = 742.9 \text{ kW} \times \left(\frac{0.1408 \text{ MW}}{300 \text{ MVA}} \right)^2 = 0.0002 \text{ kW}$$



Las pérdidas en vacío del transformador principal ($P_{perd,TR_{ppal},vacío}$) se presentan directamente en la Tabla 4.2.

$$P_{perd,TR_{ppal},vacío} = 138.0 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.0002 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 138.0002 \text{ kW}$$

$$P_{perd,TR_{ppal}} = 0.1380 \text{ MW}$$

De esta manera, la potencia neta corresponde a:

$$P_{Neta} = 0.1408 \text{ MW} - 0.1380 \text{ MW} = 0.0028 \text{ MW}$$

$$P_{Neta} = 0.0028 \text{ MW}$$

5.2.4 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 y la potencia generada por el aerogenerador (ver Figura 5.6). Además, se deben considerar los consumos de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 17.7 kW según se presenta en la sección 4.4.

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

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

$$P_{perd,central} = 0.2565 \text{ MW} - 0.0177 \text{ MW} - 0.0028 \text{ MW} = 0.2360 \text{ MW}$$

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 ($P_{perd,redMT}$)

El valor de las pérdidas del transformador principal se calculó anteriormente y corresponde a 0.138 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.

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

$$P_{perd,MT} = 0.236MW - 0.1380 MW = 0.0980 MW$$

5.2.1 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 un único aerogenerador en servicio.

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Matías	0.3371	0.0983	0.2360	0.0028

Tabla 5.3 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías -Aerogenerador Individual



6 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 6.1 y Tabla 6.2 resumen los resultados obtenidos.

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Matías	9.8993	1.5493	0.3548	7.9952

Tabla 6.1 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías -Planta Completa

- (1) Considera la operación del parque eólico con 19 aerogeneradores entregando una potencia activa de 9.8993 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 (0.2163 MW) y del transformador de poder (0.1385 MW).
- (4) Potencia inyectada en el punto de interconexión ubicado en la barra de 220 kV de S/E Campo Lindo.

Central	Mínimo Técnico [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
PE San Matías	0.3371	0.0983	0.2360	0.0028

Tabla 6.2 – Mínimo Técnico – Parque Eólico San Matías -Aerogenerador Individual

- (1) Considera la operación del parque eólico con 1 aerogenerador entregando una potencia activa de 0.3371 MW.
- (2) Corresponde a la suma de los SS.AA. comunes a la central y los consumos propios de la unidad.
- (3) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector en media tensión (0.0980 MW) y del transformador de poder (0.138 MW).
- (4) Potencia inyectada en el punto de interconexión ubicado en la barra de 220 kV de S/E Campo Lindo.



Cabe destacar que, según lo establecido en la Guía Técnica DCO N°01-2024, se busca que el mínimo técnico permita alcanzar una potencia cercana a 0 MW en el POI con el menor número de unidades posibles. Por esta razón, se define que el mínimo técnico del proyecto corresponde a los resultados obtenidos para el aerogenerador individual, ya que es factible alcanzar dicho valor mediante maniobras disponibles para el operador de turno.



7 ANEXOS

7.1 Certificados de calibración de medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN


ESTUDIOS ELECTRICOS

Estudios Eléctricos declara que el instrumento:

Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
ROGOWSKI ELSPEC LFR 30/300/3000	00-60-35-2D-E8-4F	10/4/2025

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.

Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:

Instrumento Patrón	Número de Serie:	Ultima calibración	Proxima calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 356	LN038X	14/10/2024	14/4/2027

Fecha de evaluación: 10/4/2025
Certificado número: EE-CI-2025-0678

Nombre Inspector: Leiss, Jorge
Firma: 

Figura 7.1 – Certificado de calibración analizador de calidad de energía



7.2 Registros de aerogeneradores

7.2.1 Parque Completo

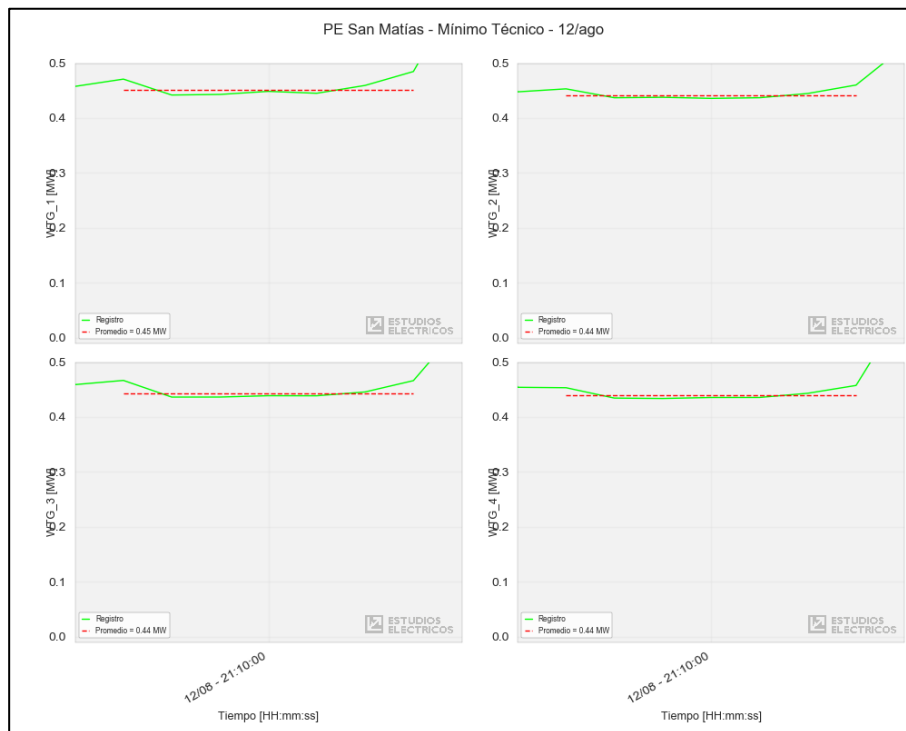


Figura 7.2 – Potencia WTG 1 al 4 – Mínimo Técnico – Parque Completo

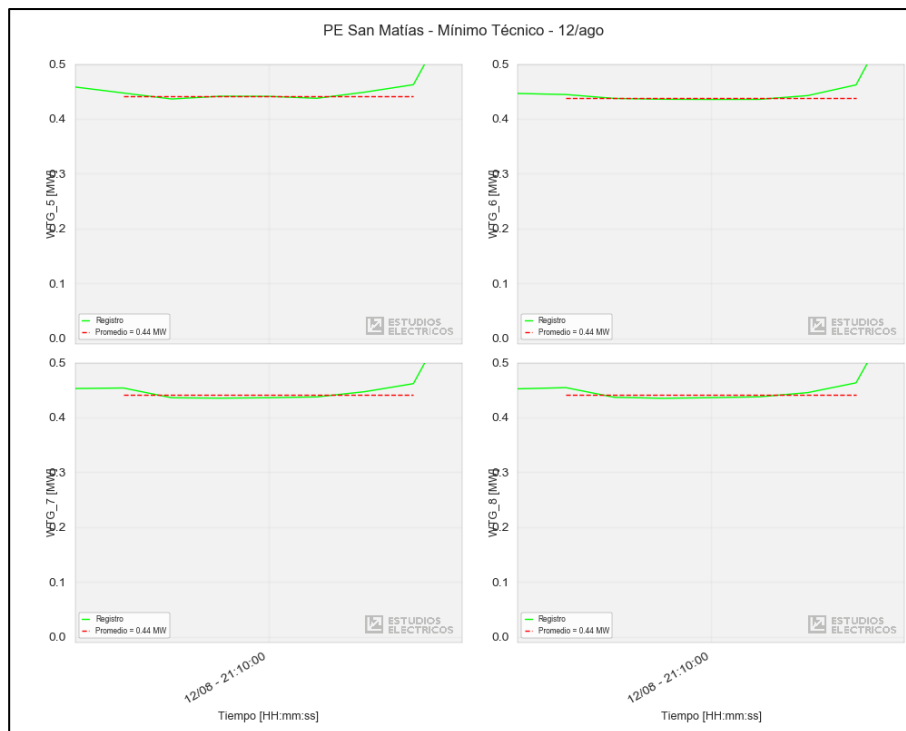


Figura 7.3 – Potencia WTG 5 al 8 – Mínimo Técnico – Parque Completo

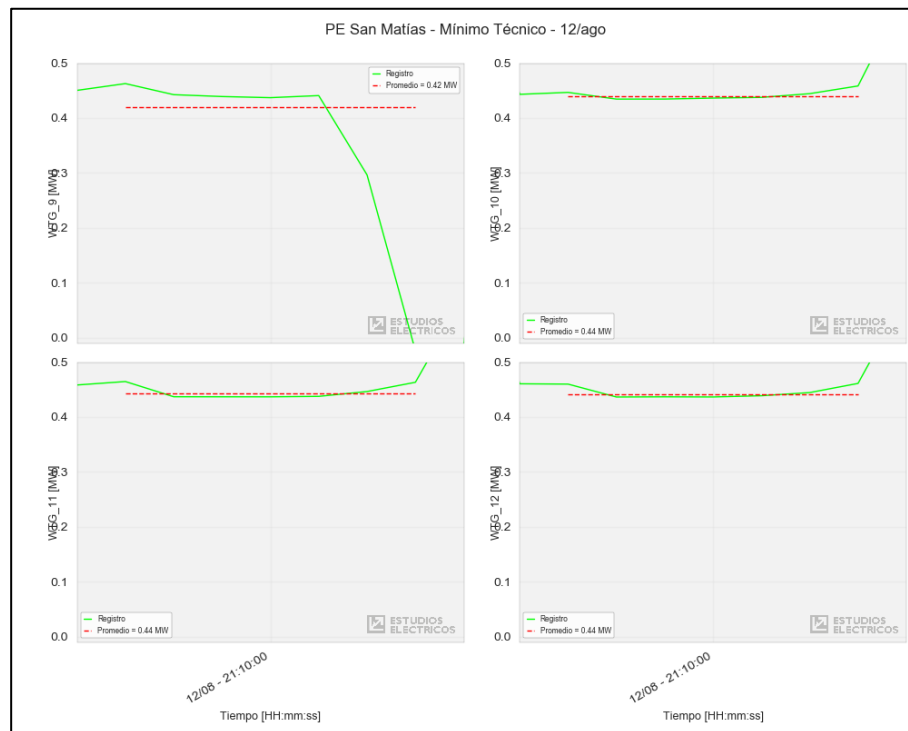


Figura 7.4 – Potencia WTG 9 al 12 – Mínimo Técnico – Parque Completo

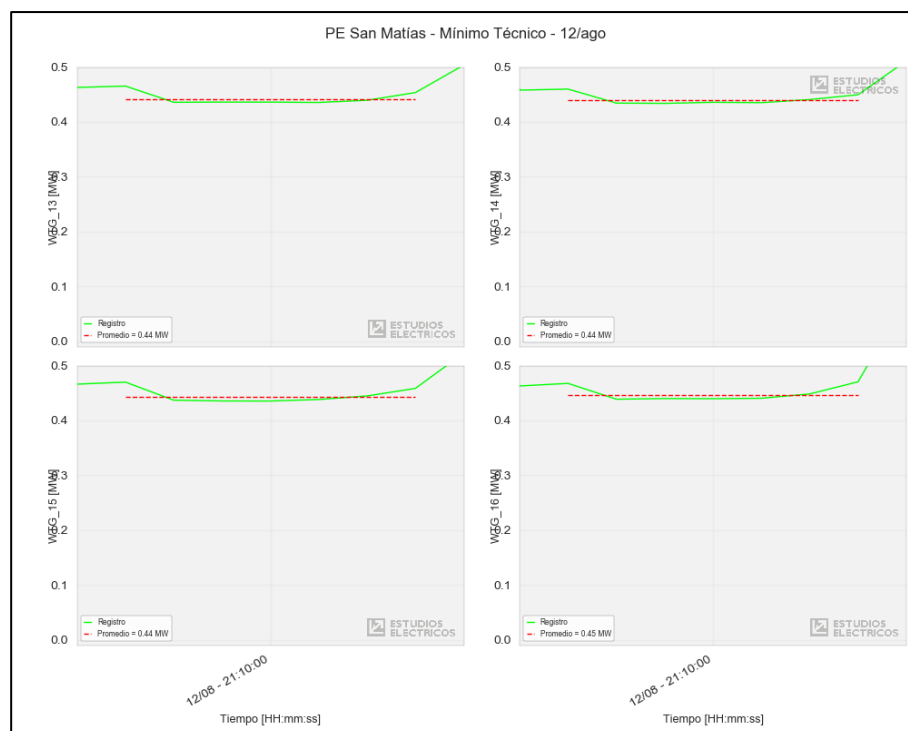


Figura 7.5 – Potencia WTG 13 al 16 – Mínimo Técnico – Parque Completo

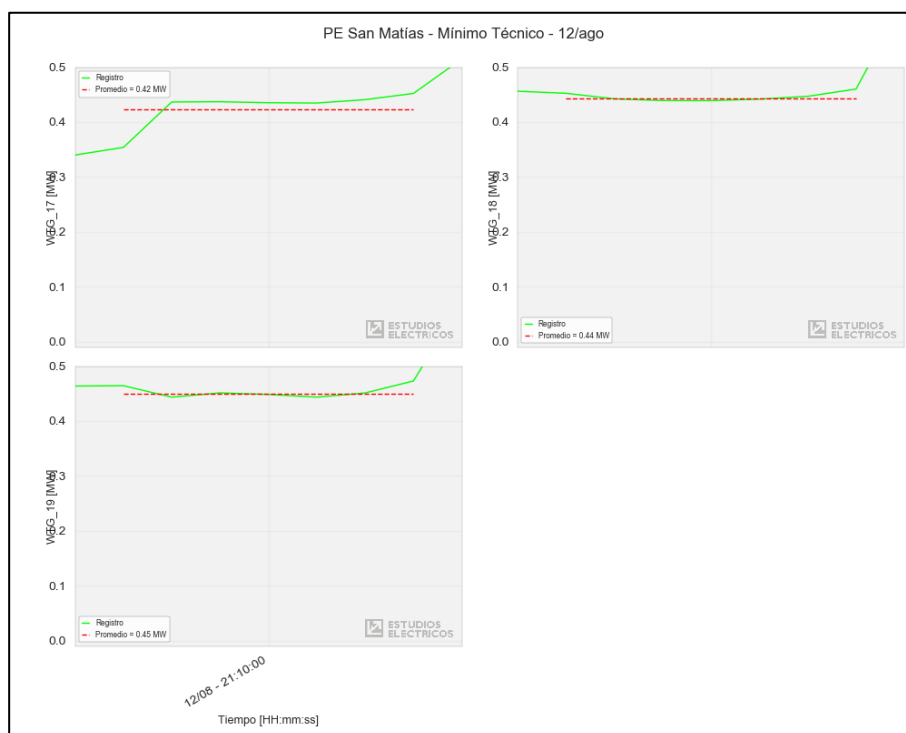


Figura 7.6 – Potencia WTG 17 al 19 – Mínimo Técnico – Parque Completo



7.2.1 Aerogenerador Individual

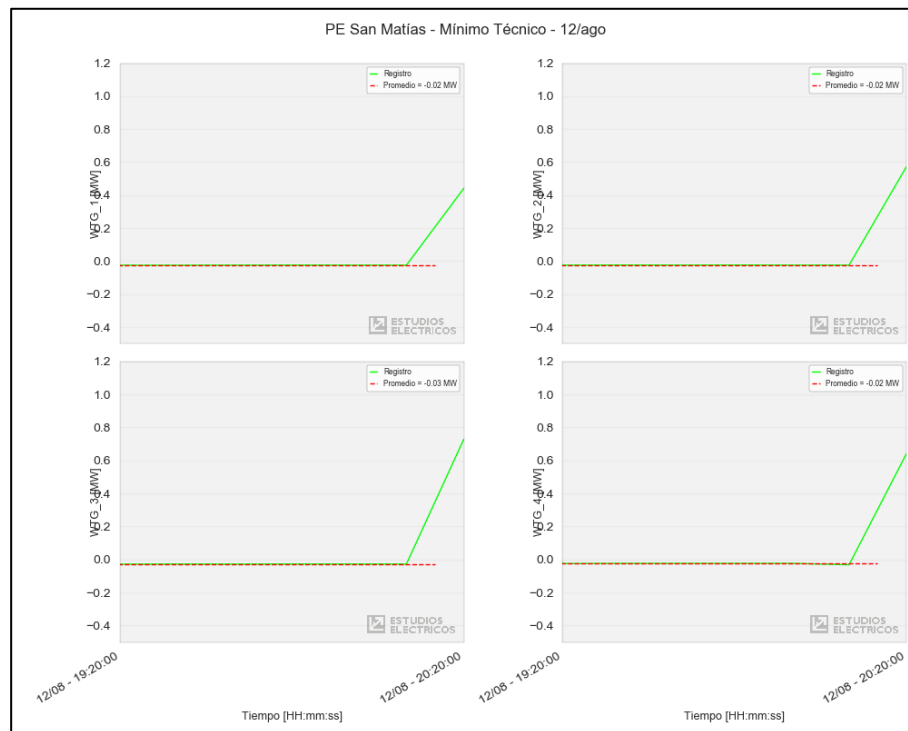


Figura 7.7 – Potencia WTG 1 al 4 – Mínimo Técnico – Aerogenerador Individual

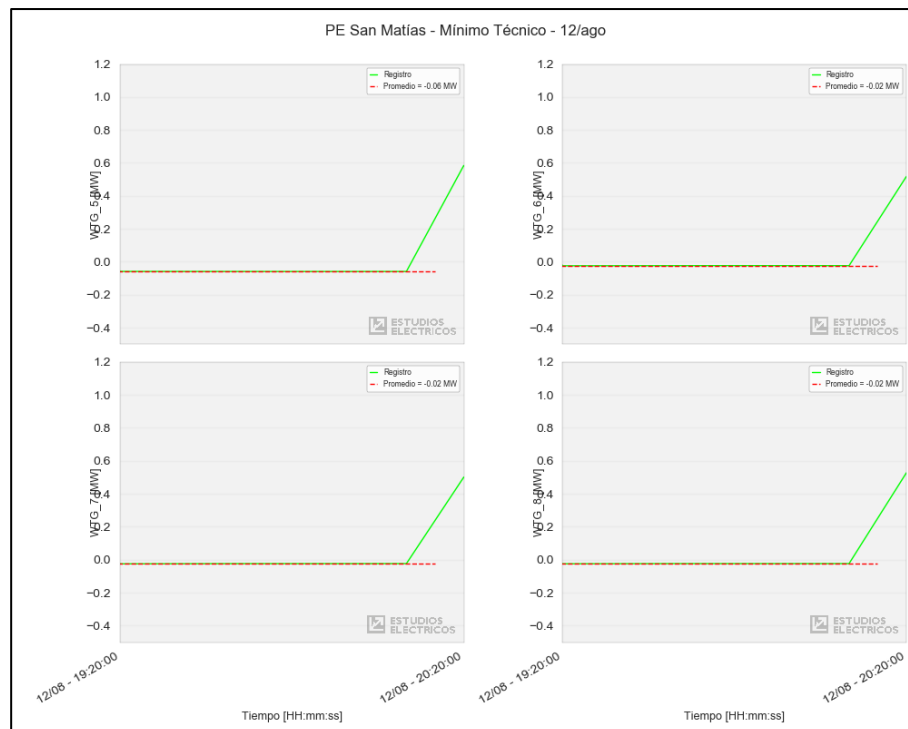


Figura 7.8 – Potencia WTG 5 al 8 – Mínimo Técnico – Aerogenerador Individual

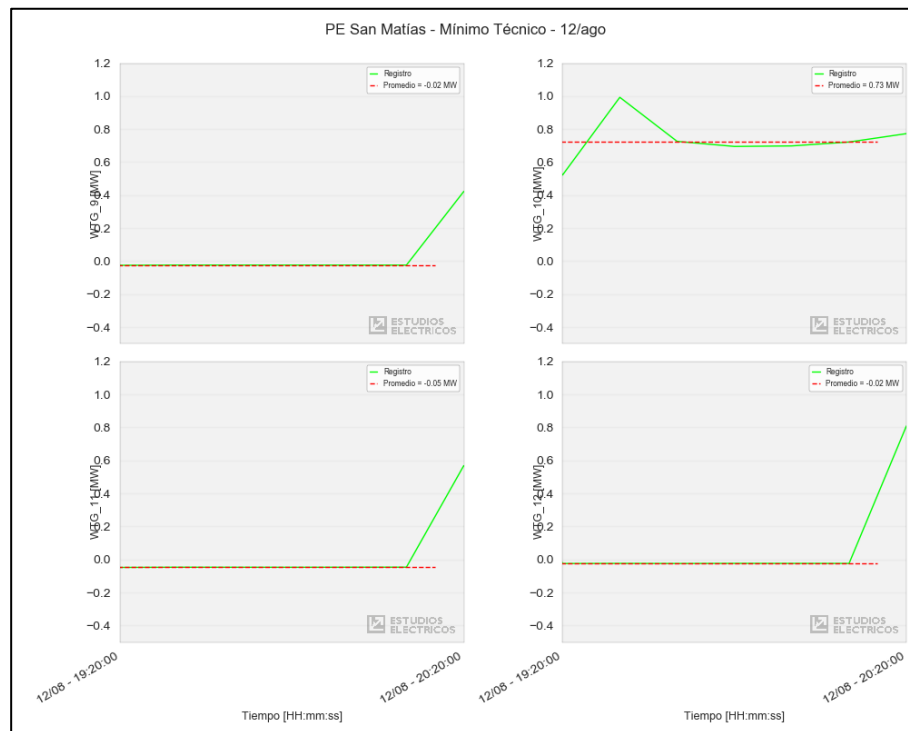


Figura 7.9 – Potencia WTG 9 al 12 – Mínimo Técnico – Aerogenerador Individual

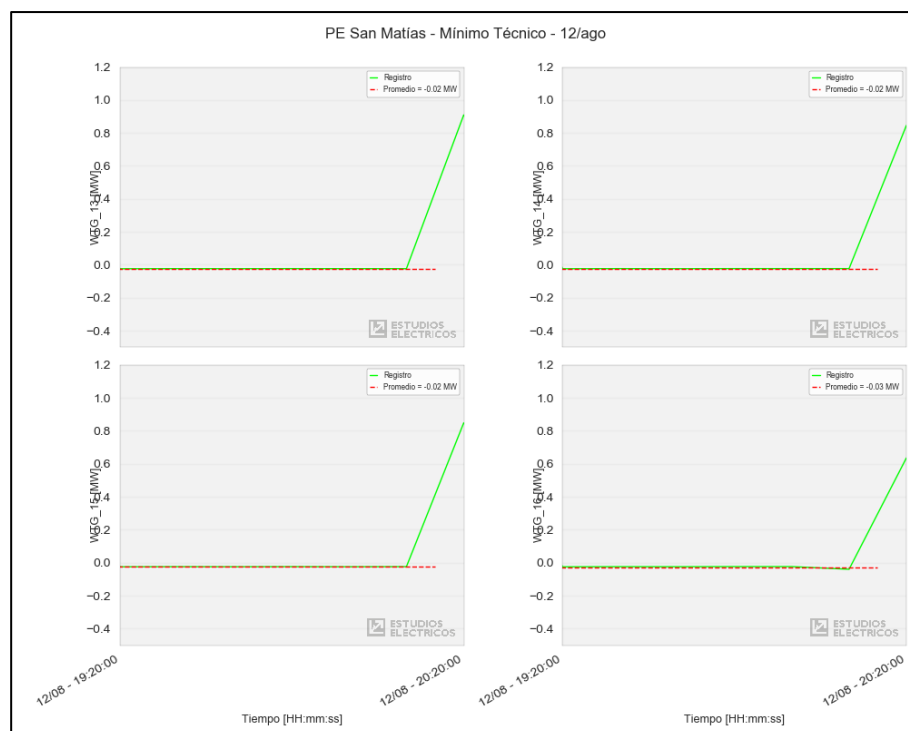


Figura 7.10 – Potencia WTG 13 al 16 – Mínimo Técnico – Aerogenerador Individual

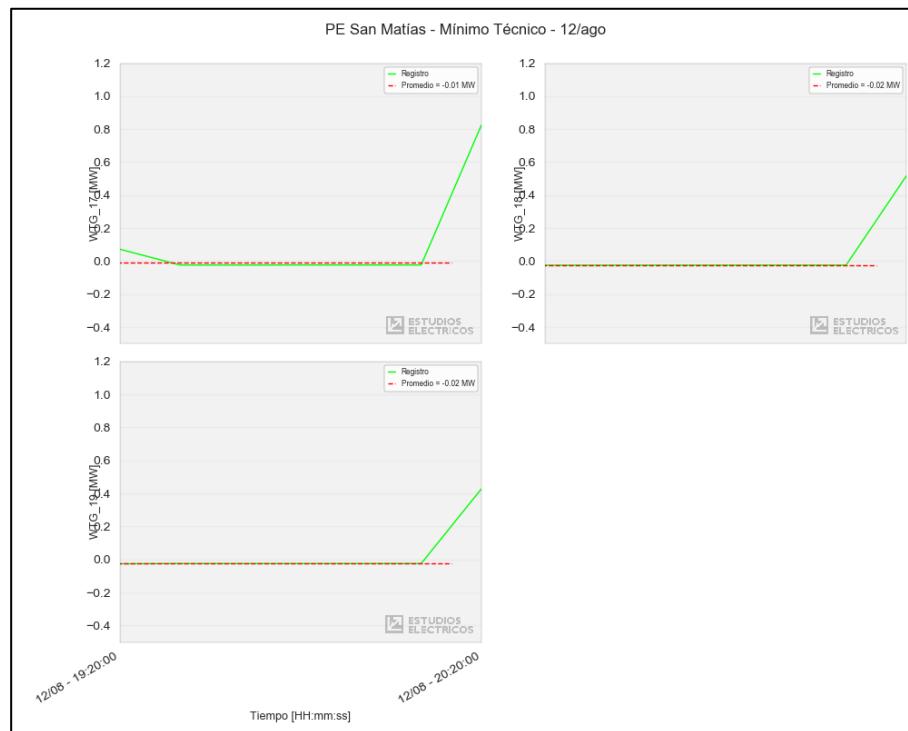


Figura 7.11 – Potencia WTG 17 al 19 – Mínimo Técnico – Aerogenerador Individual



7.3 Archivos adjuntos entregados

Forman parte integral del presente informe los siguientes archivos que se entregan en forma adjunta:

- Registro: "EE-EN-2025-1902-R0_MT_Adjuntos.zip".

Descripción del registro	Nombre del archivo
Variables eléctricas en la entrada del transformador principal (33 kV) el 12 de agosto del 2025.	PE_San_Matias_20250812_33_kV.csv
Potencia eléctrica por aerogenerador el 12 de agosto del 2025.	PE_San_Matias_20250812_WTG.csv
Consumos auxiliares el 12 de agosto de 2025	PE_San_Matias_20250812_SSAA.csv
Velocidad del viento el 12 de agosto del 2025	PE_San_Matias_20250812_VELV.csv

Tabla 7.1 – Registros entregados



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.