

Empresa
País
Proyecto
Descripción

Enel Green Power
Chile
Parque Eólico Renaico II
Informe de Potencia Máxima



CÓDIGO DE PROYECTO EE-2020-129
CÓDIGO DE INFORME EE-EN-2023-0660
REVISIÓN B
VERSIÓN 1



5 jun. 23



Este documento **EE-EN-2023-0660-RB** fue preparado para Enel Green Power por el Grupo Estudios Eléctricos.

Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman
Sub-Gerente Dpto. Ensayos
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo
Sub-Gerente Dpto. Estudios
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Estudios
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 47 páginas y ha sido guardado por última vez el 07/07/2023 por César Colignon; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Revisión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	05.06.2023	Para presentar. <i>Nota:</i> La Revisión A corresponde a la Versión 0 según codificación de Enel Green Power	MV	AC	PR
B	07.07.2023	Correcciones a observaciones del CEN: "COR-GO-DCO-Pmax-PE_Renaico_II" <i>Nota:</i> La Revisión B corresponde a la Versión 1 según codificación de Enel Green Power	CiC	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
	1.1 Medidores Utilizados.....	4
	1.2 Nomenclatura utilizada	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS.....	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE.....	8
	3.1 Datos de los aerogeneradores.....	9
	3.2 Datos de los transformadores de bloque.....	10
	3.3 Datos del transformador principal	11
	3.4 Banco de condensadores	12
	3.5 Determinación de consumos de SSAA de planta.....	13
	3.6 Diagramas unilineales.....	14
4	DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA.....	17
	4.1 Ensayo de Potencia Máxima.....	18
	4.2 Cálculos y Resultados en condiciones de ensayo.....	20
	4.2.1 Potencia Bruta	20
	4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares	20
	4.2.3 Potencia de Pérdidas en la Central.....	21
	4.2.4 Potencia Neta	23
	4.2.5 Resultados.....	23
	4.3 Cálculos y Resultados en condiciones nominales.....	24
	4.3.1 Potencia Bruta	24
	4.3.2 Potencia de Servicios Auxiliares	24
	4.3.3 Potencia de Pérdidas en la Central.....	25
	4.3.4 Potencia Neta	26
	4.3.5 Resultados.....	27
5	CONCLUSIONES.....	28
6	ANEXOS	29
	6.1 Potencia individual de los aerogeneradores.....	29
	6.2 Registro de viento durante las pruebas.....	46



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Renaico II de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadores”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El Parque Eólico Renaico II cuenta con una potencia instalada de 144.0 MW y se encuentra ubicado en la región de La Araucanía, situado al sur de la localidad de Renaico, perteneciente a la provincia de Malleco. El parque se vincula al SEN mediante un transformador de poder de relación 33 kV/220 kV ($\pm 10 \times 1.5\%$) de 130/160 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. El lado de 220 kV del transformador de poder corresponde al punto de interconexión (POI) del parque.

El parque se vincula al SEN mediante el paño JT2 de la S/E Elevadora Renaico 220 kV.

El parque está constituido por treinta y dos (32) aerogeneradores marca Goldwind modelo GW155-4.5 V40R02C100 de 4.5 MW y 690 V de tensión nominal. Cuenta con 32 transformadores de bloque de 5.0 MVA de capacidad nominal y de relación de transformación 0.69 kV / 33 kV ($\pm 2 \times 2.5\%$). La red colectora está constituida por 7 circuitos colectores, en cuatro de ellos se conectan 5 aerogeneradores, en los tres restantes se conectan 4 aerogeneradores.

1.1 Medidores Utilizados

Todas las mediciones han sido realizadas mediante el PPC de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 6 segundos.



1.2 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:

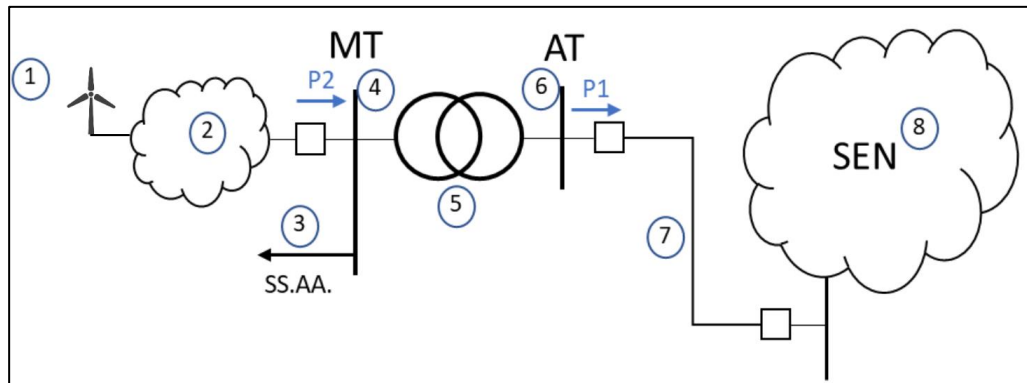


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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).**



A partir de las definiciones anteriores, el presente informe considera la siguiente nomenclatura:

- ✓ **P1:** Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) del parque [MW]. Este valor corresponde a la **Potencia Neta (Pneta)** del parque.
- ✓ **P2:** Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) del parque [MW].
- ✓ **Pbruta:** Suma de los aportes distribuidos de potencia activa inyectada por los aerogeneradores a nivel de baja tensión (BT) del parque [MW] (ver número "1" en Figura 1.1).
- ✓ **Pperd:** Pérdidas de potencia activa en línea de transmisión [kW] (ver número "7" en Figura 1.1).
- ✓ **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [kW].
- ✓ **Pssaa:** Potencia de Servicios Auxiliares del parque [kW].
- ✓ **Pcolector:** Pérdidas en el sistema colector del parque [kW] (ver número "2" en Figura 1.1).



2 ASPECTOS NORMATIVOS

El “Anexo Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras” establece las metodologías y procesos para efectuar los ensayos de verificación del máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación.

El Artículo 39 es el que corresponde considerar para el caso en cuestión debido a que se trata de una central cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación (no hay almacenamiento de energía). Éste establece que el valor de Potencia Máxima deberá ser obtenido a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías, especificándose las metodologías, cálculos y todos los antecedentes y aspectos técnicos usados para la obtención de dicho valor.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Renaico II se ubica en la región de La Araucanía, situado al sur de la localidad de Renaico, perteneciente a la provincia de Malleco.

Está constituido por treinta y dos (32) aerogeneradores marca Goldwind, modelo GW155-4.5 V40R02C100 de 4.5 MW de capacidad nominal y 690 V de tensión de operación nominal. La red colectora está compuesta por siete (7) circuitos colectores en MT, donde la disposición de los aerogeneradores dentro de dichos circuitos es la siguiente:

- Circuito N°1: Aerogeneradores WTG50, WTG51, WTG52, WTG53 y WTG54.
- Circuito N°2: Aerogeneradores WTG45, WTG46, WTG47, WTG48 y WTG49.
- Circuito N°3: Aerogeneradores WTG55, WTG56, WTG57, WTG58 y WTG59.
- Circuito N°4: Aerogeneradores WTG60, WTG61, WTG62, WTG63 y WTG64.
- Circuito N°5: Aerogeneradores WTG65, WTG66, WTG67 y WTG68.
- Circuito N°6: Aerogeneradores WTG69, WTG70, WTG71 y WTG72.
- Circuito N°7: Aerogeneradores WTG73, WTG74, WTG75 y WTG76.

Los diagramas unilineales del parque se presentan en la sección 3.6.



3.1 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Renaico II está constituido por treinta y dos (32) aerogeneradores Goldwind modelo GW155-4.5 V40R02C100 de 4.5 MW de potencia nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales del aerogenerador se presentan en la Figura 3.1.

Los aerogeneradores son del tipo 4, es decir, son generadores de imanes permanentes y son controlados por dos convertidores back-to-back de potencia 5155 kVA cada uno.

Parameters		Value	Unit
Number of Phases		3	-
Rated Active Power(Pn)		4500	kW
Rated Voltage (phase to phase)		690	V
Nominal Frequency		50 / 60	Hz
Power Factor Range @ V,0.9~1.1pu	Default	-0.95(ind) ~ +0.95(cap)	-
	Optional	-0.9(ind) ~ +0.9(cap)	
Short-circuit Current (Maximum)		4649	A

Wind speed	Estimated measured result of own consumption power kW
0~cut-in speed	10.5
rated speed~cut-out speed	41

Figura 3.1 – Datos nominales de aerogenerador y conversor



3.2 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico Renaico II cuenta con treinta y dos (32) transformadores de bloque de 5 MVA de potencia aparente nominal cada uno. El devanado de baja tensión permite la interconexión de los aerogeneradores en 690 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 el cual no puede ser operado bajo carga.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.1 los parámetros más relevantes para el modelado de los transformadores.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	5000 kVA
Tensión nominal lado HV	33000 V
Tensión nominal lado LV	690 V
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia	7.5 %
Pérdidas en carga	35.1 kW
Pérdidas en vacío	7 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5\%$

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



3.3 Datos del transformador principal

El Parque Eólico Renaico II se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de relación 33 kV / (220 kV \pm 10 \times 1.5%) y de capacidad 130/160 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.2 los parámetros más relevantes para el modelado del transformador.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	130/160 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	220 kV
Tensión nominal lado LV	33 kV
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia	16.37 %
Pérdidas en carga	379.56 kW
Pérdidas en vacío	55.4 kW
Posiciones de TAP	\pm 10 \times 1.5%

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.4 Banco de condensadores

El Parque Eólico Renaico II dispone de dos bancos de condensadores que contribuyen a la inyección de potencia reactiva en el circuito de media tensión en 33kV de la planta. La capacidad nominal de cada uno de estos equipos es de 13.5 MVar.

A continuación, se presentan en la Tabla 3.3 los parámetros más relevantes para el modelado de cada banco de condensadores.

Parámetro	Valor
Potencia nominal	13.5 MVar
Tensión nominal	33 kV
Frecuencia nominal	50 Hz

Tabla 3.3 – Datos del banco de condensadores



3.5 Determinación de consumos de SSAA de planta

En el documento "GRE.EEC.C.99.CL.W.07542.16.033.00" se detalla el dimensionamiento de las cargas de corriente alterna y corriente continua de los servicios auxiliares del parque. Un resumen de estos puede verse en las Tabla 3.4 y Tabla 3.5.

Para las pruebas realizadas, se ha considerado los servicios esenciales de corriente alterna (ver Tabla 3.4) y cargas permanentes de corriente continua (ver Tabla 3.5). Estos consumos corresponden a

Consumo de cargas esenciales de corriente alterna:

$$P_{SSAA,CA} = 25.035 \text{ kVA} * 0.85 = 21.2798 \text{ kW}$$

Consumo de cargas esenciales de corriente continua:

$$P_{SSAA,CC} = 2.605 \text{ kW}$$

Consumo total SSAA:

$$P_{tr,SSAA} = 21.2798 \text{ kW} + 2.605 \text{ kW} = 23.88 \text{ kW}$$

Cuadro Resumen de cargas CA	Total [kVA]
Cargas esenciales	25.035

Tabla 3.4 - Consumo de cargas esenciales de corriente alterna del Parque Eólico Renaico II

Cuadro Resumen de cargas CC	Total [kW]
Cargas permanentes	2.605

Tabla 3.5 - Consumo de cargas permanentes de corriente continua del Parque Eólico Renaico II



3.6 Diagramas unilineales

A continuación, se presenta en la Figura 3.2 el diagrama unilineal de la S/E Renaico. El recuadro azul muestra el transformador principal del parque.

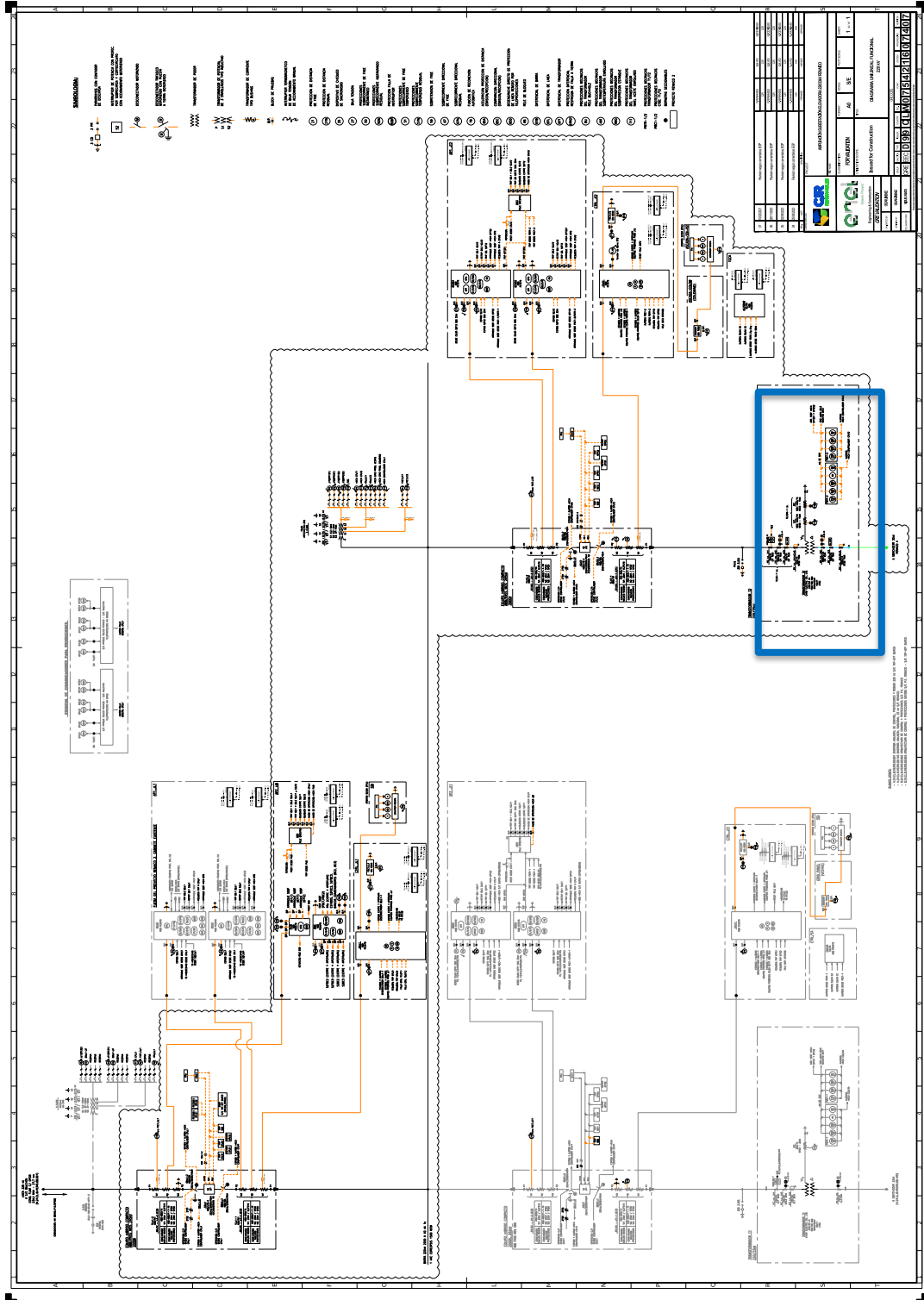


Figura 3.2 – Diagrama unilineal de S/E Renaico



En la Figura 3.3 se muestra la barra principal de 33 kV del Parque Eólico Renaico II, se observa la acometida de los siete alimentadores del parque.



Figura 3.3: Diagrama unilineal barra principal de 33 kV Parque Eólico Renaico II



En la Figura 3.4 se muestra el detalle de cada uno de los circuitos colectores.

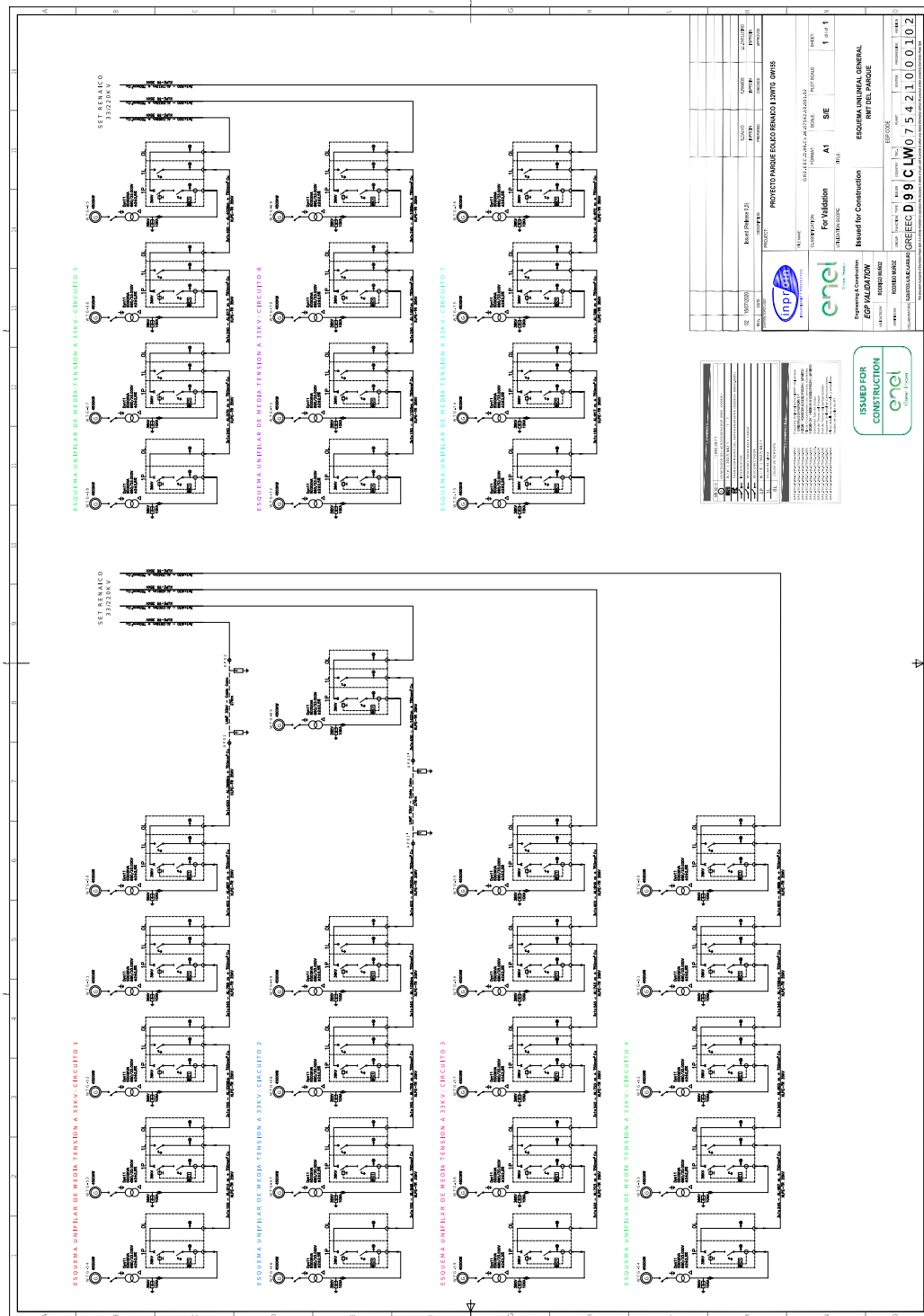


Figura 3.4 – Diagrama unifilar circuitos colectores



4 DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

La Potencia Máxima corresponde al máximo valor de potencia activa bruta que puede sostener un sistema de generación y deberá ser obtenido a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.

Para el caso del Parque Eólico Renaico II se cuenta con mediciones de la Potencia Bruta proveniente de los aerogeneradores, de la Potencia Neta registrada en el POI y mediciones de la velocidad de viento.

Para la prueba de Potencia Máxima realizada, 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]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Renaico II	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del parque Parque Eólico Renaico II.
- (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 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 (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en lado de 220 kV del transformador principal del parque.



4.1 Ensayo de Potencia Máxima

El día 09 de mayo de 2023 se realizó el ensayo de Potencia Máxima en condiciones de máximo viento disponible en el momento y con la totalidad del Parque Eólico Renaico II en funcionamiento.

Se presentan a continuación los registros correspondientes. En la Figura 4.1 se muestra la potencia sumada medida de todos los aerogeneradores (P_{AERO}), la potencia neta medida ($P_{neta,med}$) y la velocidad del viento en el periodo de pruebas.

Finalmente, en la Figura 4.2 se muestra el registro de la velocidad del viento, marcando el período considerado en el ensayo de Potencia Máxima.

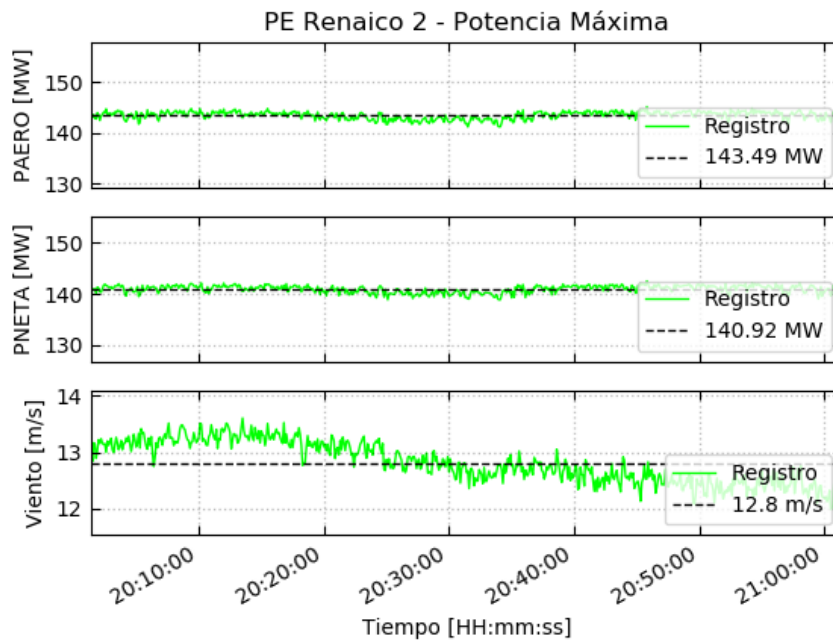


Figura 4.1 – Potencia Máxima – Potencia Aerogeneradores, Potencia Neta y Velocidad del viento

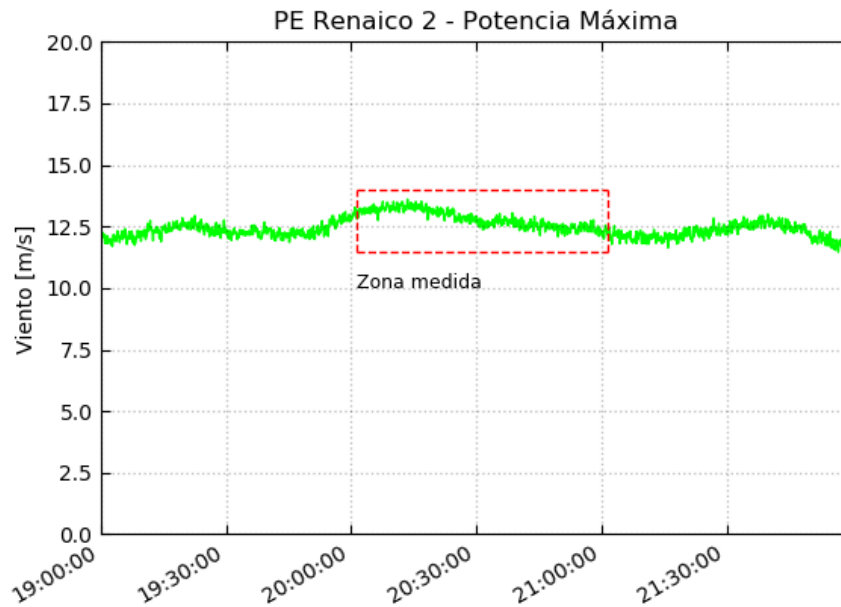


Figura 4.2 – Potencia Máxima – Velocidad del Viento

La prueba se ha realizado con condiciones nominales de velocidad de viento, sin embargo, se producen algunas oscilaciones en la producción de potencia activa debido a la naturaleza variable del recurso primario. Por lo tanto, se presentan de forma complementaria en el anexo 6.1 registros históricos de cada aerogenerador, en los cuales se evidencia que cada equipo supera su valor de potencia nominal en condiciones nominales de velocidad de viento.



4.2 Cálculos y Resultados en condiciones de ensayo

En la presente sección se realizará el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1. Para el desarrollo de los cálculos se han considerado las mediciones realizadas y presentadas en la Figura 4.1.

4.2.1 Potencia Bruta

La determinación de la **Potencia Bruta Ensayada** ($P_{bruta,ens}$) se realiza considerando el registro de potencia de los aerogeneradores (“PAERO” en la Figura 4.1), a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo (ver Figura 3.1) según la siguiente expresión.

$$P_{bruta,ens} = P_{AERO} + N^{\circ} AEROS \times Consumos \text{ propios}$$

$$P_{bruta,ens} = 143.49 \text{ MW} + 32 \times 41 \text{ kW} = 144.80 \text{ MW}$$

4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.1, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 41 kW y debe considerarse la totalidad de unidades en servicio. Adicionalmente, se han estimado los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) en 23.88 kW, según se presenta en la sección 3.5.

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

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

$$P_{SSAA} = 32 \times 41 \text{ kW} + 23.88 \text{ kW} = 1335.88 \text{ kW}$$



4.2.3 Potencia de Pérdidas en la Central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central, en los transformadores de bloque y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Potencia Máxima, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en los aerogeneradores y la **Potencia Neta Ensayada** (ver Figura 4.1). Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimada en 23.88 kW.

La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** en las condiciones de ensayo ($P_{perd,central,ens}$) se presenta a continuación.

$$P_{perd,central,ens} = Pot. AEROS - P_{tr,SSAA} - P_{neta}$$

$$P_{perd,central,ens} = 143.49 MW - 23.88 kW - 140.92 MW = 2546.12 kW$$

Este valor de pérdidas considera las pérdidas en condición de vacío, en el transformador principal del parque y en los transformadores de bloque, y las pérdidas resistivas asociadas al nivel de carga en la condición de ensayo. A continuación, se procede a desglosar el valor de pérdidas ensayada entre los valores correspondiente a carga ($P_{perd,central,carga,ens}$) y vacío ($P_{perd,central,vacio}$).

$$P_{perd,central,carga,ens} = P_{perd,central,ens} - P_{Perd,vacio,tr_{ppal}} - N^{\circ} Tr_{bloque} \times P_{Perd,vacio,tr_{bloque}}$$

$$P_{perd,central,carga,ens} = 2546.12 kW - 55.4 kW - 32 \times 7 kW = 2266.72 kW$$

$$P_{perd,central,vacio} = P_{Perd,vacio,tr_{ppal}} + N^{\circ} Tr_{bloque} \times P_{Perd,vacio,tr_{bloque}}$$

$$P_{perd,central,vacio} = 55.4 kW + 32 \times 7 kW = 279.4 kW$$



El valor de **Potencia de Pérdidas en la central**, determinado en las condiciones de ensayos, debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{Perd,tr_{ppal},ens}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{Perd,redMT,ens}$)

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 operación considerada.

En primer lugar, se realiza el desglose del valor de pérdidas para la condición de ensayos.

Las pérdidas en carga del transformador principal en la condición de ensayos ($P_{Perd,carga,tr_{ppal},ens}$) se calculan según la siguiente expresión.

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},ens} = P_{Perd,carga,tr_{ppal},placa} \times \left(\frac{P_{bruta,ens}}{S_{nom,tr_{ppal}}} \right)^2$$

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},ens} = 379.56 \text{ kW} \times \left(\frac{144.8 \text{ MW}}{160 \text{ MVA}} \right)^2 = 310.88 \text{ kW}$$

Entonces la expresión de pérdidas totales del transformador principal en la condición de ensayos es la siguiente.

$$P_{Perd,tr_{ppal},ens} = P_{Perd,carga,tr_{ppal}} + P_{Perd,vacio,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,tr_{ppal},ens} = 310.88 \text{ kW} + 55.4 \text{ kW} = 362.84 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,ens} = 2546.12 \text{ kW} - 362.28 \text{ kW} = 2183.27 \text{ kW}$$



4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta Ensayada** registrada del Parque Eólico Renaico II se obtuvo a partir de la medida en el punto de interconexión y el cálculo del valor medio para el período de una hora seleccionado obteniéndose el siguiente resultado.

$$P_{neta,ens} = 140.92 \text{ MW}$$

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 Renaico II.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Renaico II	144.8	1335.88	2546.12	140.92

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Renaico II – Condiciones de ensayo

Según se observa en la Tabla 4.2 la **Potencia Bruta Máxima Ensayada** calculada está dentro de lo esperado en base a los registros de potencia disponibles de los aerogeneradores.



4.3 Cálculos y Resultados en condiciones nominales

Según se presenta en el anexo 6.1, los aerogeneradores superan el valor de potencia nominal en condiciones nominales de velocidad de viento. Por lo tanto, se replican los cálculos presentados en la sección 4.2 considerando la totalidad de aerogeneradores operando a 4.5 MW.

4.3.1 Potencia Bruta

La determinación de la **Potencia Bruta Nominal** ($P_{bruta,nom}$) se realiza considerando el valor de potencia nominal de los aerogeneradores, a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo (ver Figura 3.1) según la siguiente expresión.

$$P_{bruta,nom} = P_{AERO,nom} + N^{\circ} AEROS \times Consumos \text{ propios}$$

$$P_{bruta,nom} = 144.00 \text{ MW} + 32 \times 41 \text{ kW} = 145.31 \text{ MW}$$

4.3.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.1, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 41 kW y debe considerarse la totalidad de unidades en servicio. Adicionalmente, se han estimado los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) en 23.88 kW, según se presenta en la sección 3.5.

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

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

$$P_{SSAA} = 32 \times 41 \text{ kW} + 23.88 \text{ kW} = 1335.88 \text{ kW}$$



4.3.3 Potencia de Pérdidas en la Central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central, en los transformadores de bloque y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En condiciones nominales de operación, el cálculo de la **Potencia de Pérdidas en la central en carga** ($P_{perd,central,carga,nom}$) se realiza extrapolando el valor de pérdidas en carga obtenido durante el ensayo de potencia máxima, a las condiciones de operación nominal de los aerogeneradores. Cabe mencionar que el valor de pérdidas en vacío no depende de la condición de despacho del parque.

$$P_{perd,central,carga,nom} = P_{perd,central,carga,ens} \times \left(\frac{P_{bruta,nom}}{P_{bruta,ens}} \right)^2$$

$$P_{perd,central,carga,nom} = 2266.72 \text{ kW} \times \left(\frac{145.31 \text{ MW}}{144.80 \text{ MW}} \right)^2 = 2282.72 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central,vacio} = 279.4 \text{ kW}$$

Considerando lo anterior, el valor de **Potencia de Pérdidas en la central** ($P_{perd,central,nom}$) se calcula según la siguiente expresión:

$$P_{perd,central,nom} = P_{perd,central,carga,nom} + P_{perd,central,vacio}$$

$$P_{perd,central,nom} = 2282.72 \text{ kW} + 279.4 \text{ kW} = 2562.12 \text{ kW}$$

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

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{Perd,tr_{ppal},nom}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{Perd,redMT,nom}$)

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 operación considerada.



Las pérdidas en carga del transformador principal en la condición de operación nominal ($P_{Perd,carga,tr_{ppal},nom}$) se calculan según la siguiente expresión.

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},nom} = P_{Perd,carga,tr_{ppal},placa} \times \left(\frac{P_{bruta,nom}}{S_{nom,tr_{ppal}}} \right)^2$$

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},nom} = 379.56 \text{ kW} \times \left(\frac{145.31 \text{ MW}}{160 \text{ MVA}} \right)^2 = 313.06 \text{ kW}$$

Entonces la expresión de pérdidas totales del transformador principal en la condición nominal es la siguiente.

$$P_{Perd,tr_{ppal},nom} = P_{Perd,carga,tr_{ppal},nom} + P_{Perd,vacio,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,tr_{ppal},ens} = 313.06 \text{ kW} + 55.4 \text{ kW} = 368.46 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,nom} = 2562.12 \text{ kW} - 368.46 \text{ kW} = 2193.66 \text{ kW}$$

4.3.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta Nominal** registrada del Parque Eólico Renaico II se obtiene a partir de los valores determinados en las secciones precedentes.

$$P_{neta,nom} = P_{bruta,nom} - P_{perd,central,nom} - P_{SSAA}$$

$$P_{neta,nom} = 145.31 \text{ MW} - 2562.12 \text{ kW} - 1335.88 \text{ kW} = 141.41 \text{ MW}$$



4.3.5 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 nominales del Parque Eólico Renaico II.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Renaico II	145.31	1335.88	2562.12	141.41

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Renaico II – Condiciones nominales

Según se observa en la Tabla 4.3 la **Potencia Bruta Máxima Nominal** calculada está dentro de lo esperado en base a los registros de potencia de los aerogeneradores en condiciones nominales de velocidad de viento.



5 CONCLUSIONES

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestran a continuación la tabla resumen de resultados. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayos y para las condiciones de operación nominal del Parque Eólico Renaico II.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Renaico II	144.8	1335.88	2546.12 ¹	140.92

Tabla 5.1 – Potencia Máxima – Parque Eólico Renaico II – Condiciones de ensayo

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Renaico II	145.31	1335.88	2562.12 ²	141.41

Tabla 5.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Renaico II – Condiciones nominales

Según se observa en las Tabla 5.1 y Tabla 5.2 la **Potencia Bruta Máxima** calculada está dentro de lo esperado en base a los antecedentes disponibles de los aerogeneradores.

¹ Desglosado en 2183.27 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión y 362.84 kW de pérdidas en el transformador principal

² Desglosado en 2193.66 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión y 368.46 kW de pérdidas en el transformador principal



6 ANEXOS

6.1 Potencia individual de los aerogeneradores

En la presente sección se muestran los registros de la potencia medida por cada unidad individual del Parque Eólico Renaico II en el momento de las pruebas. Se observa que todas las unidades superan el valor de potencia nominal de 4.5 MW, en condiciones de velocidad de viento nominal de aproximadamente 12.8 m/s.

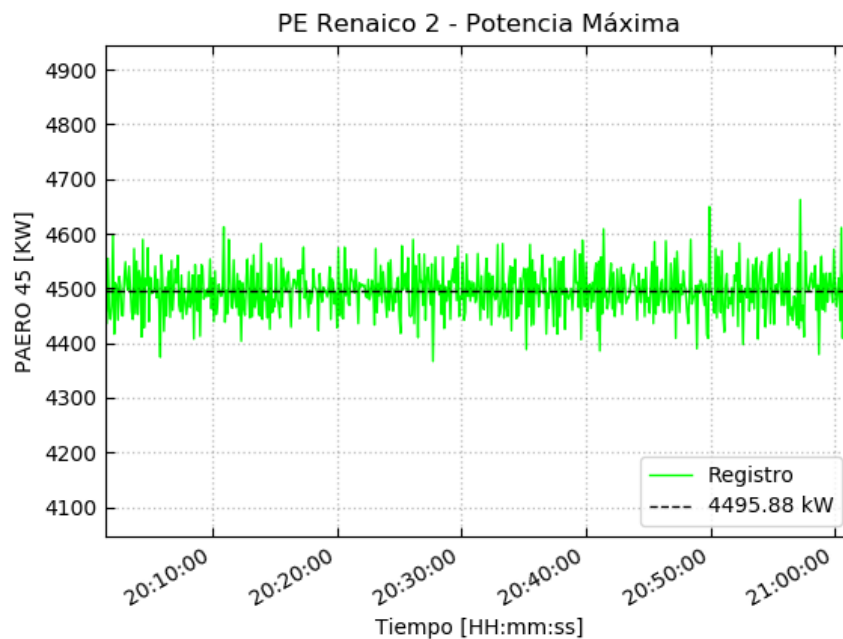


Figura 6.1 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 45

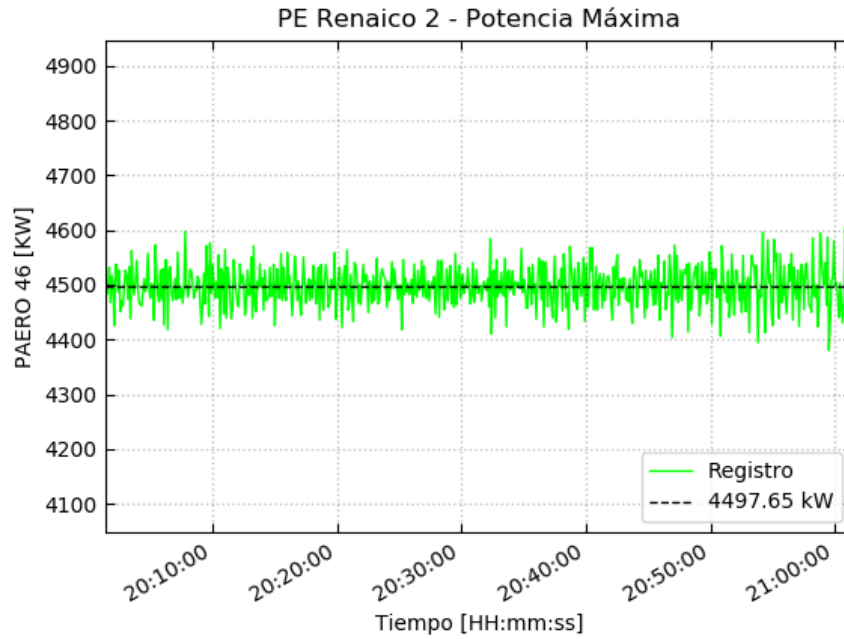


Figura 6.2 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 46

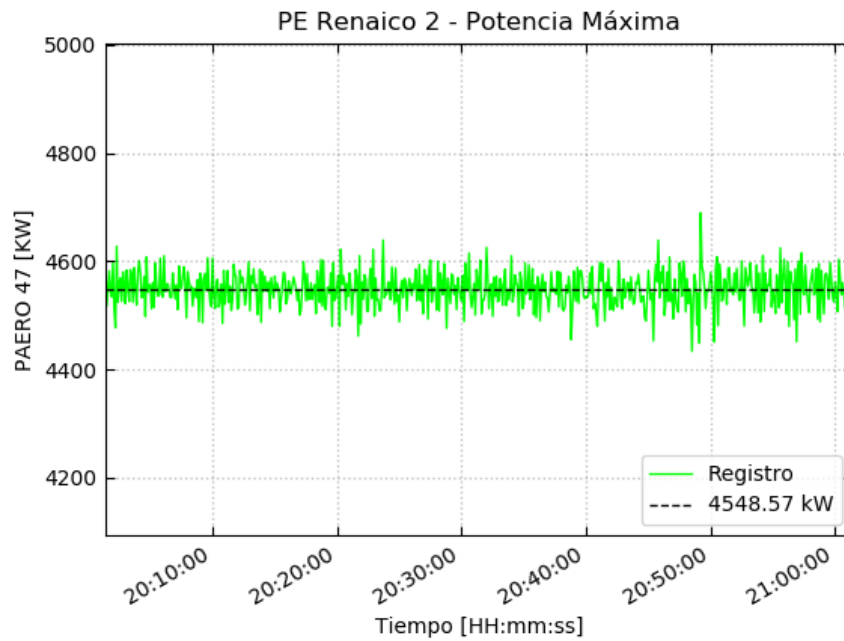


Figura 6.3 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 47

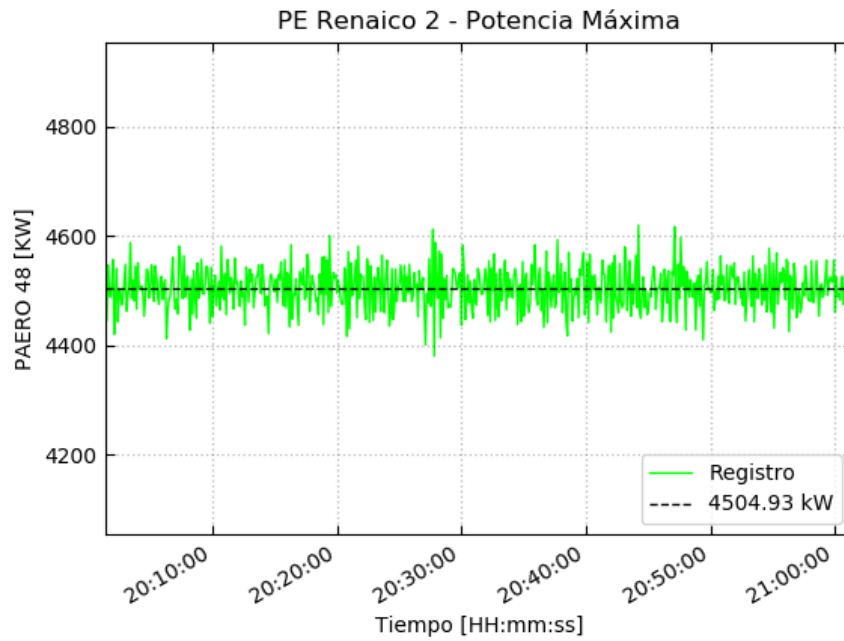


Figura 6.4 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 48

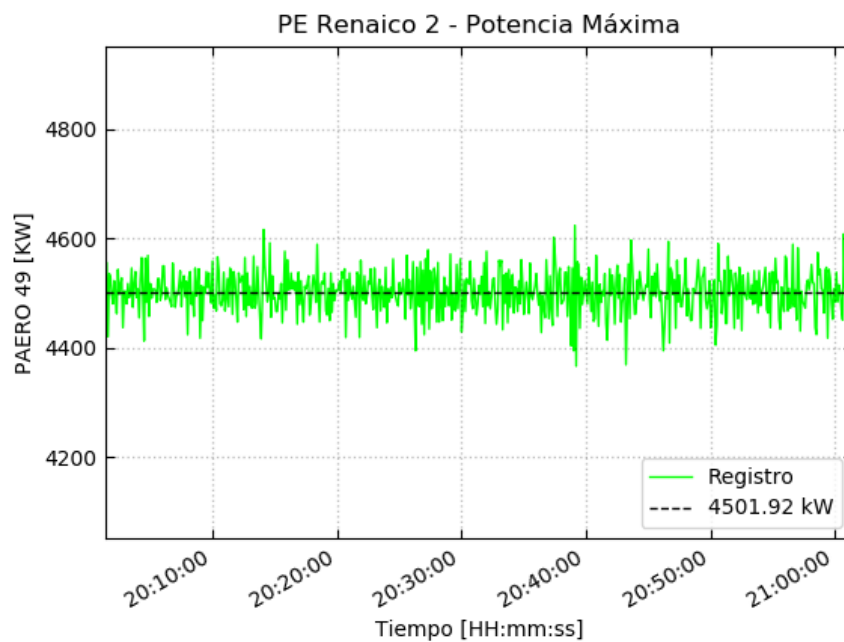


Figura 6.5 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 49

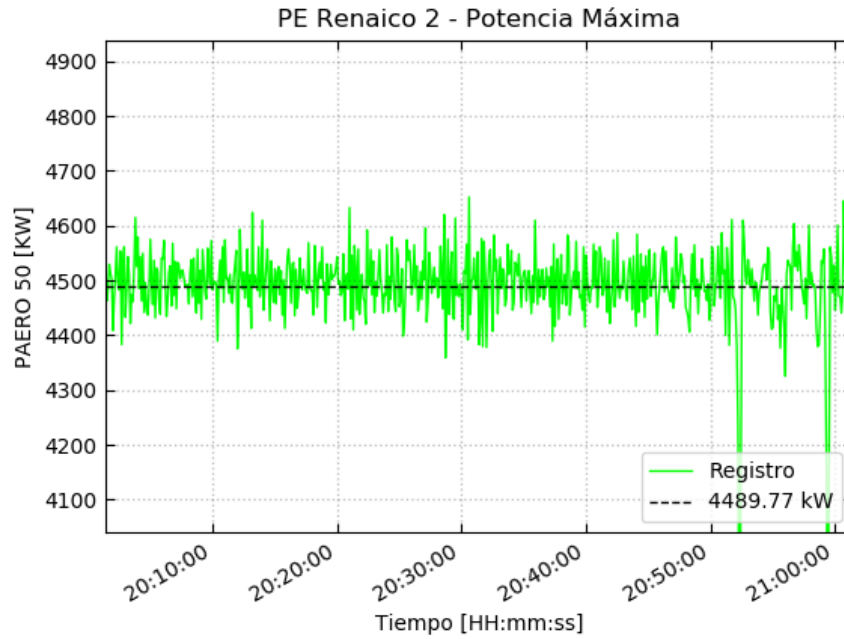


Figura 6.6 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 50

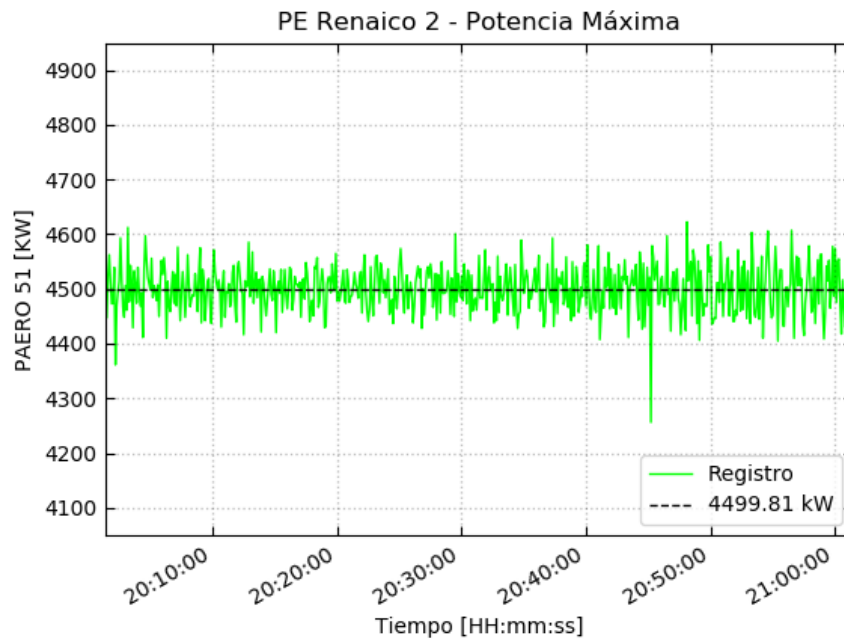


Figura 6.7 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 51

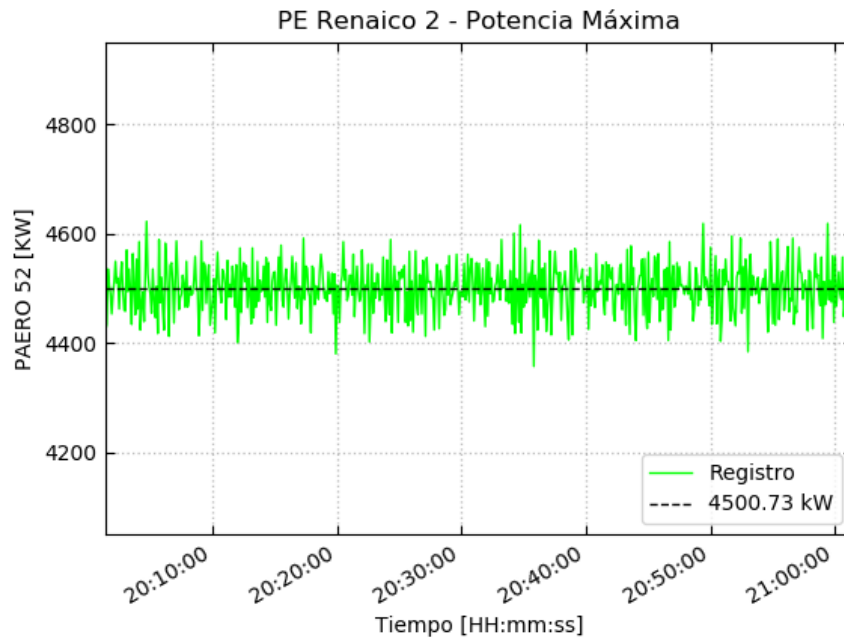


Figura 6.8 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 52

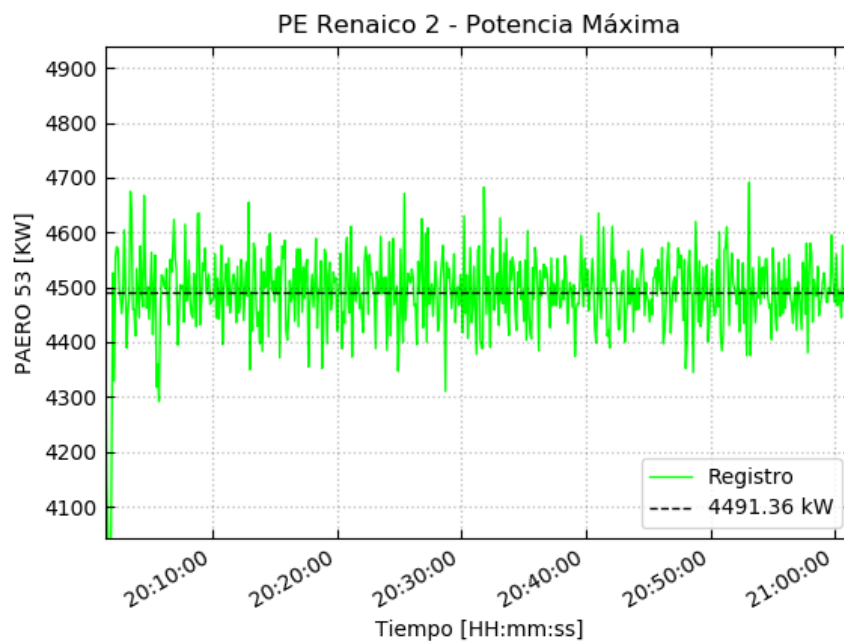


Figura 6.9 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 53

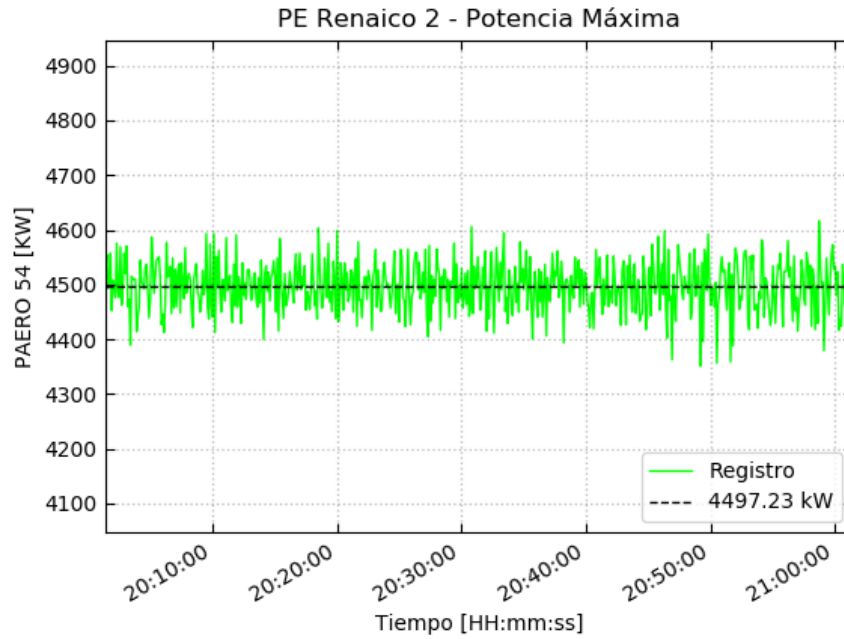


Figura 6.10 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 54

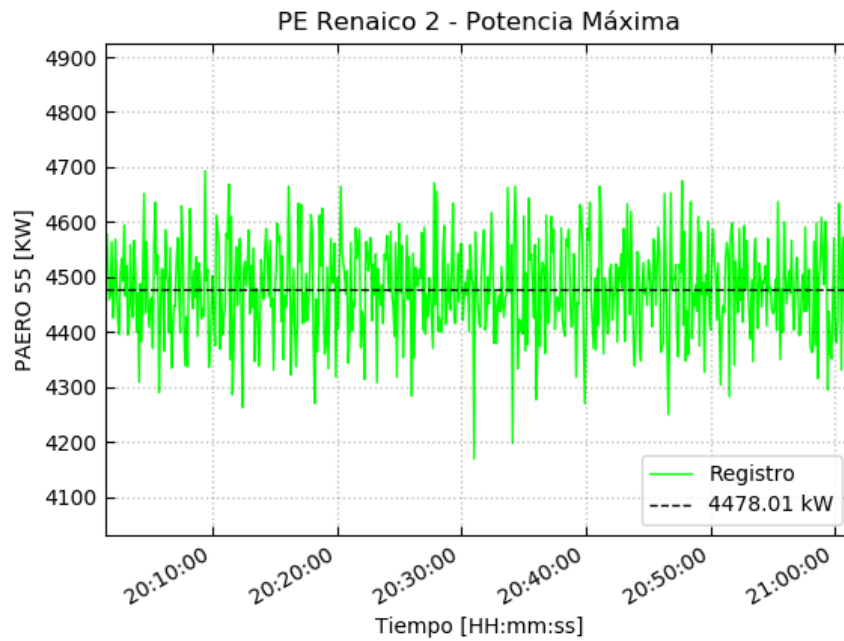


Figura 6.11 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 55

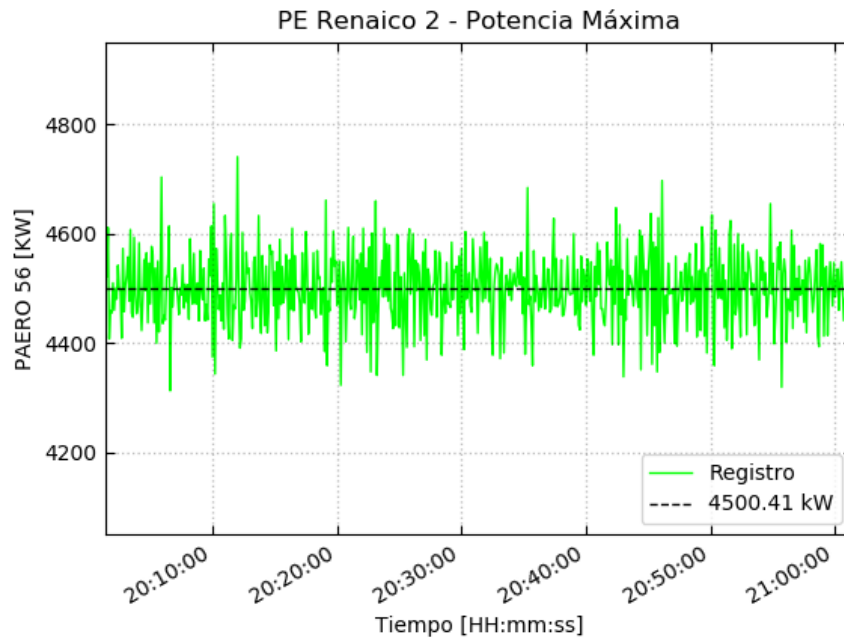


Figura 6.12 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 56

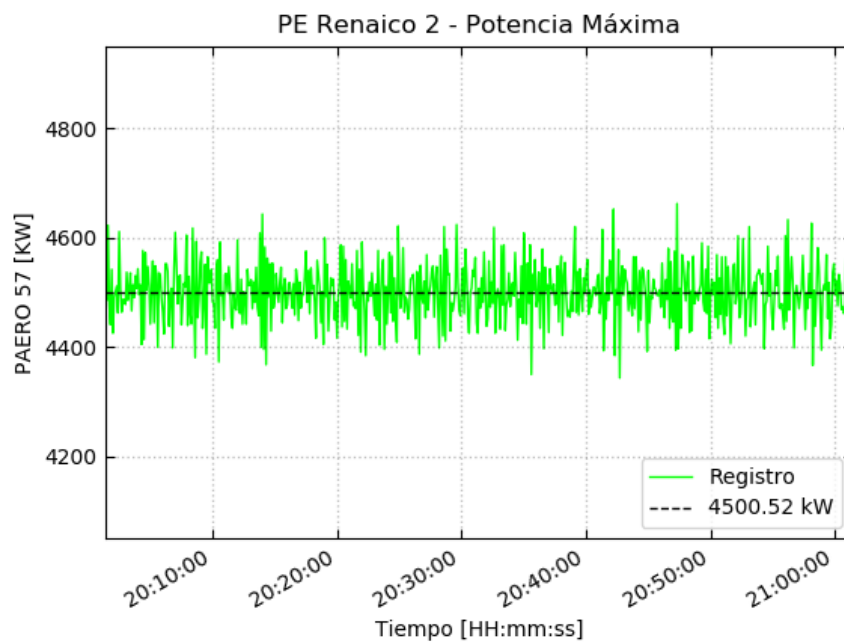


Figura 6.13 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 57

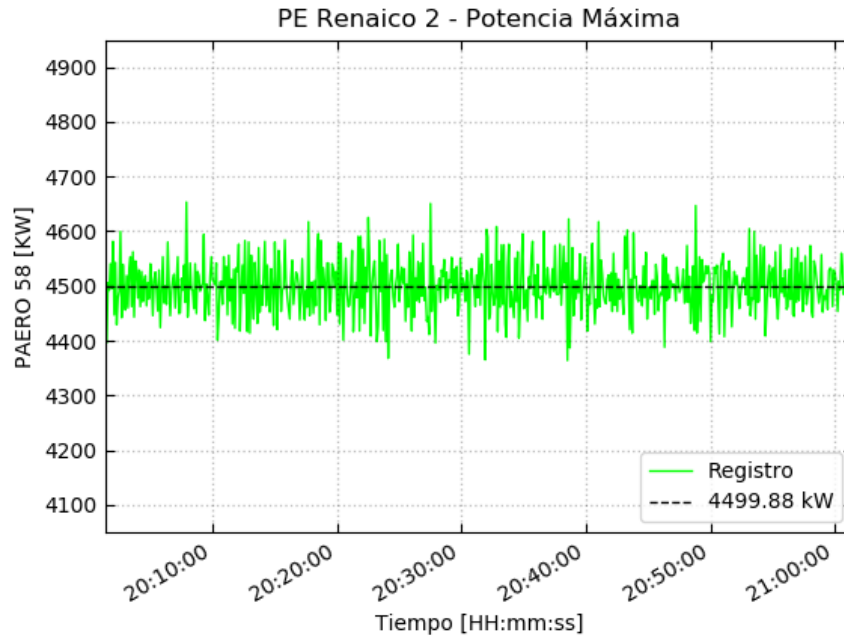


Figura 6.14 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 58

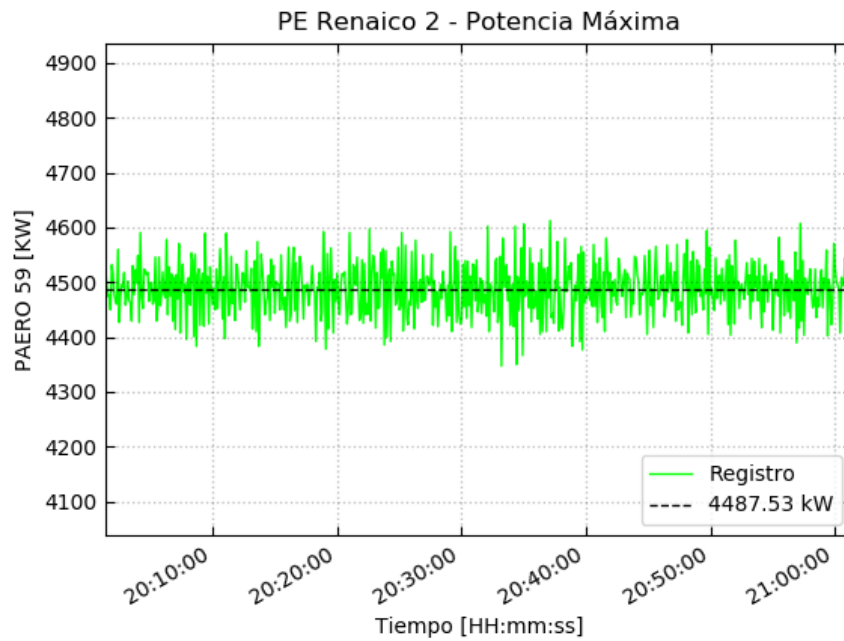


Figura 6.15 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 59

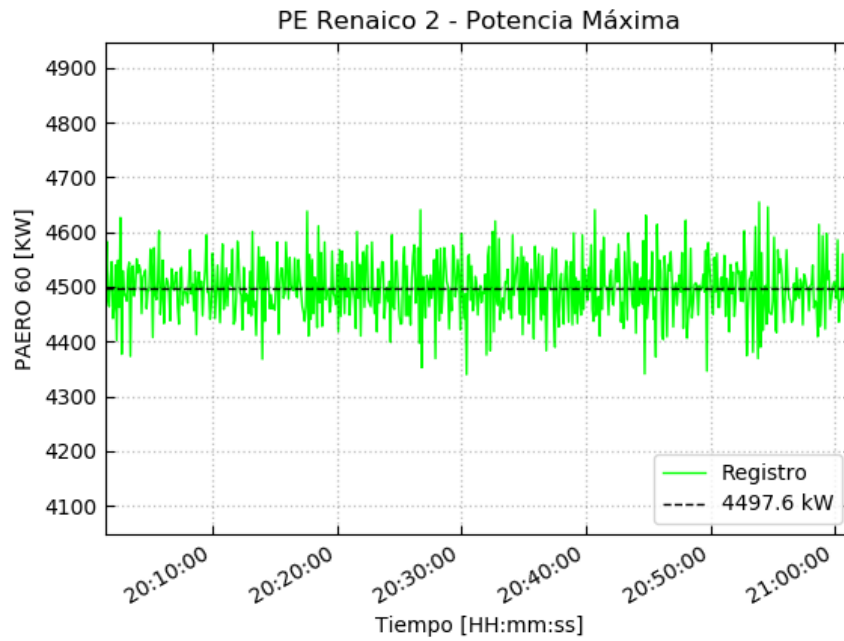


Figura 6.16 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 60

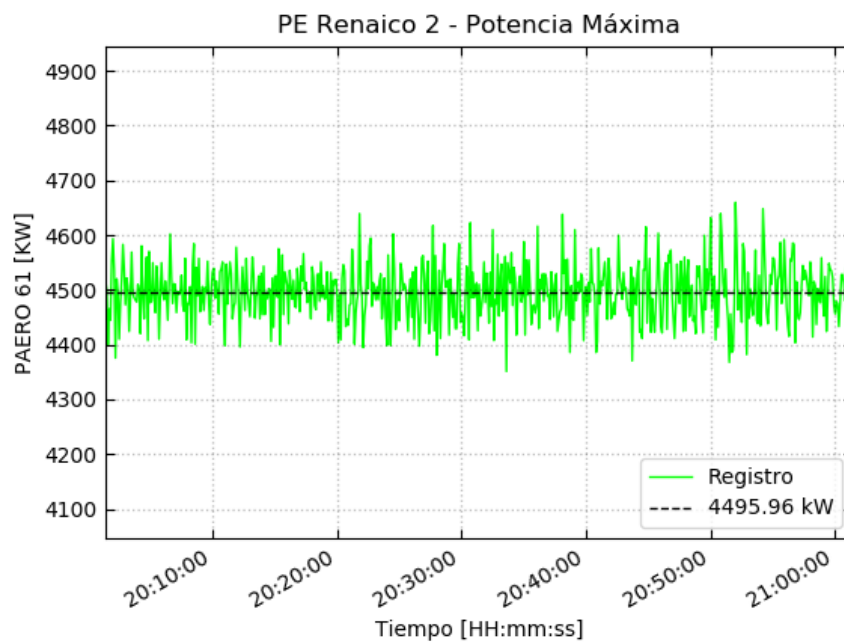


Figura 6.17 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 61

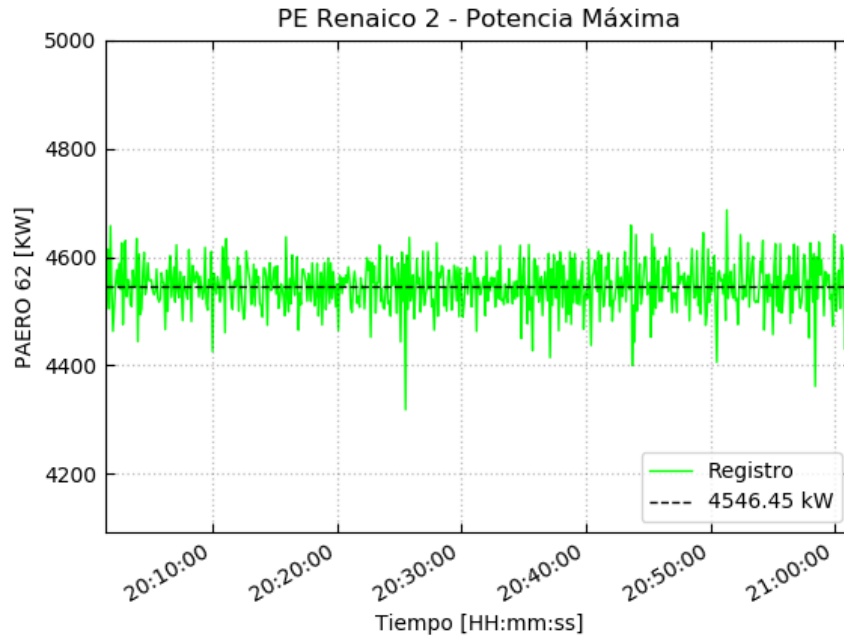


Figura 6.18 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 62

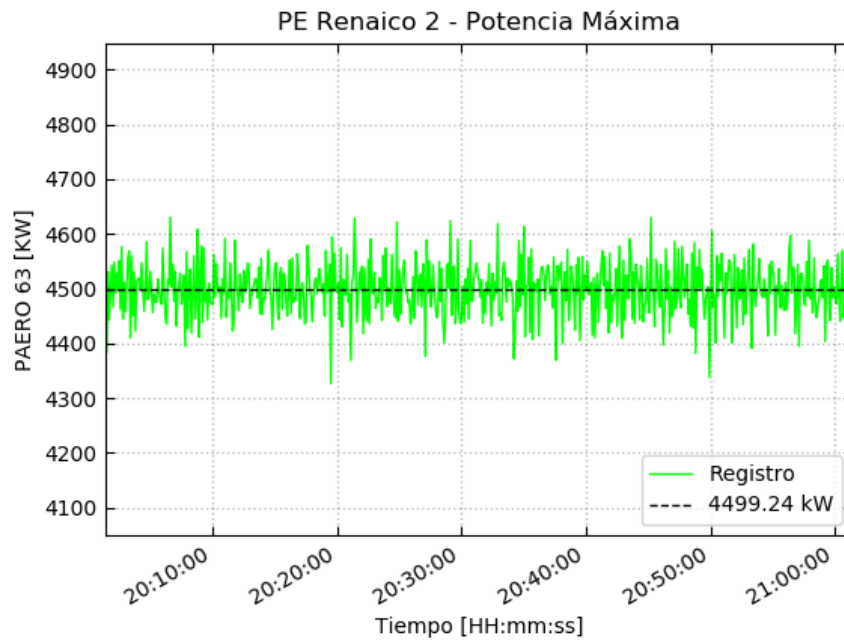


Figura 6.19 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 63

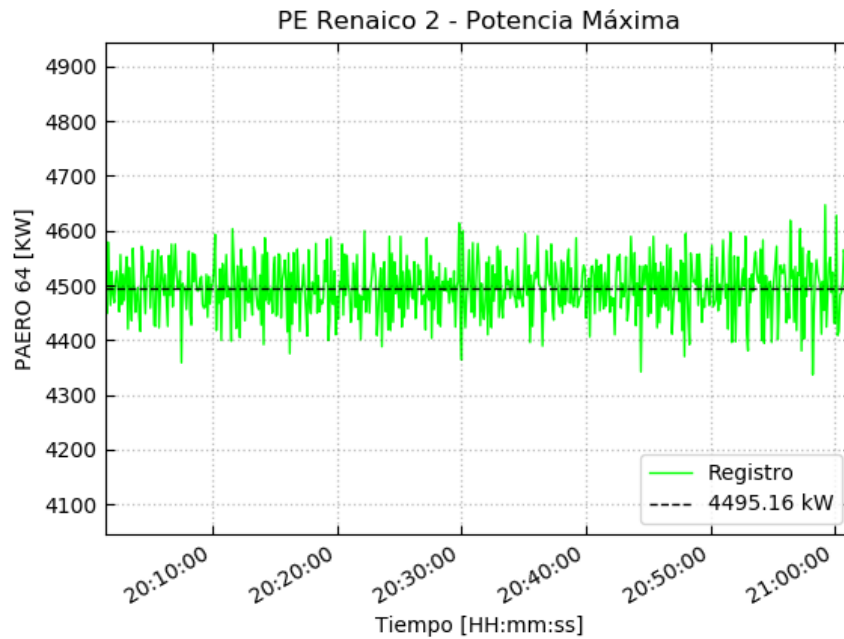


Figura 6.20 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 64

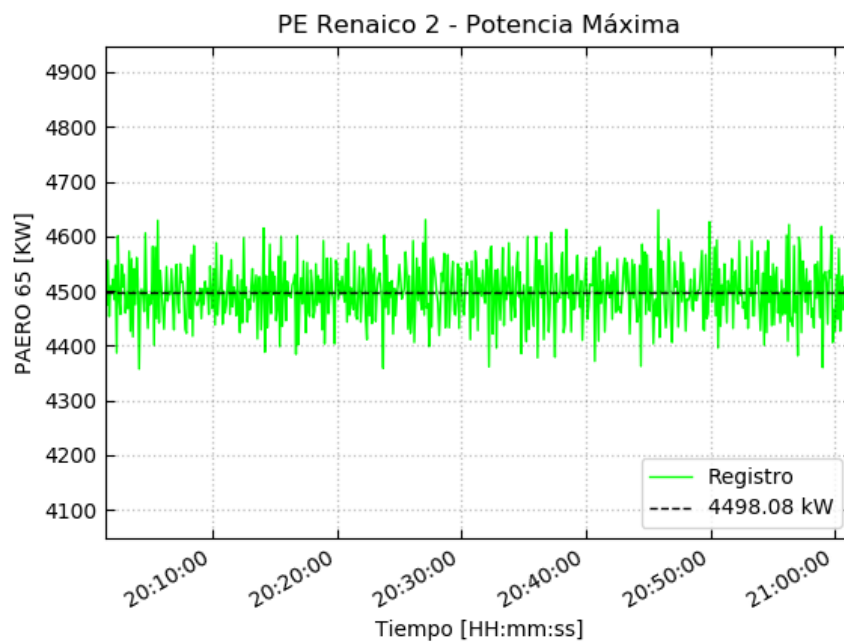


Figura 6.21 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 65

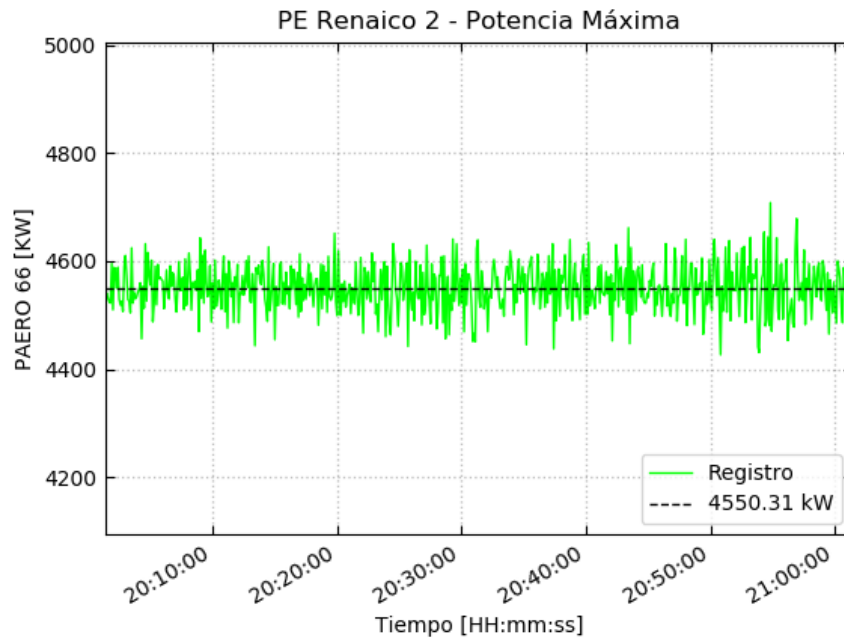


Figura 6.22 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 66

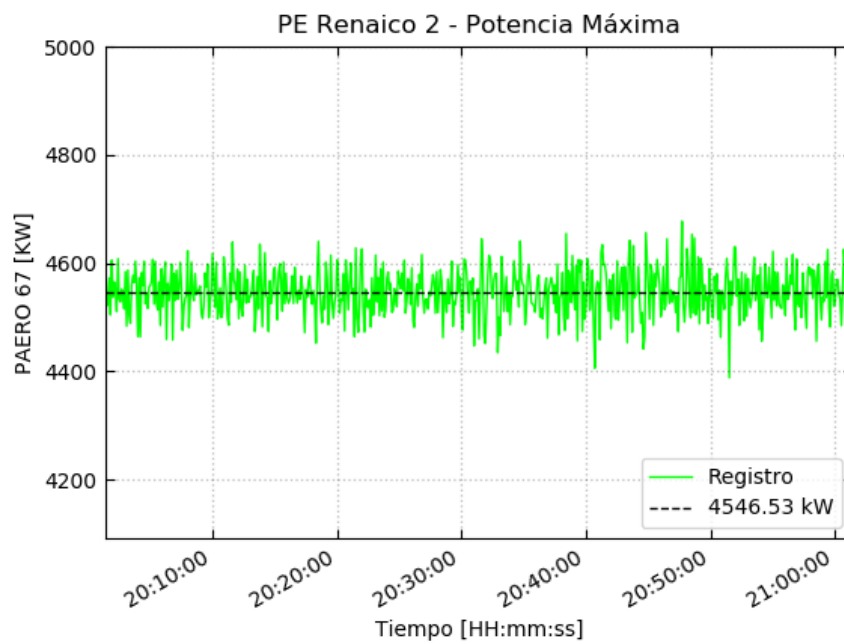


Figura 6.23 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 67

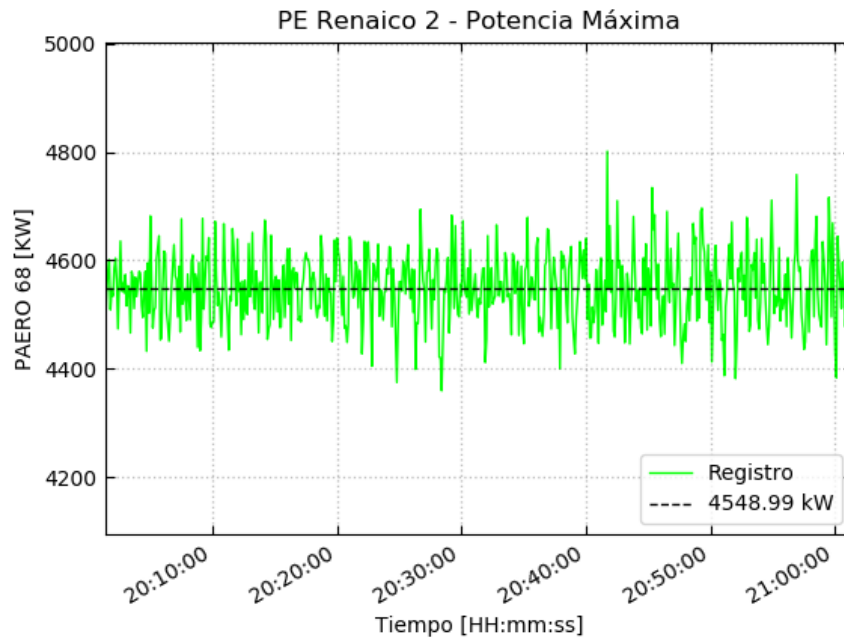


Figura 6.24 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 68

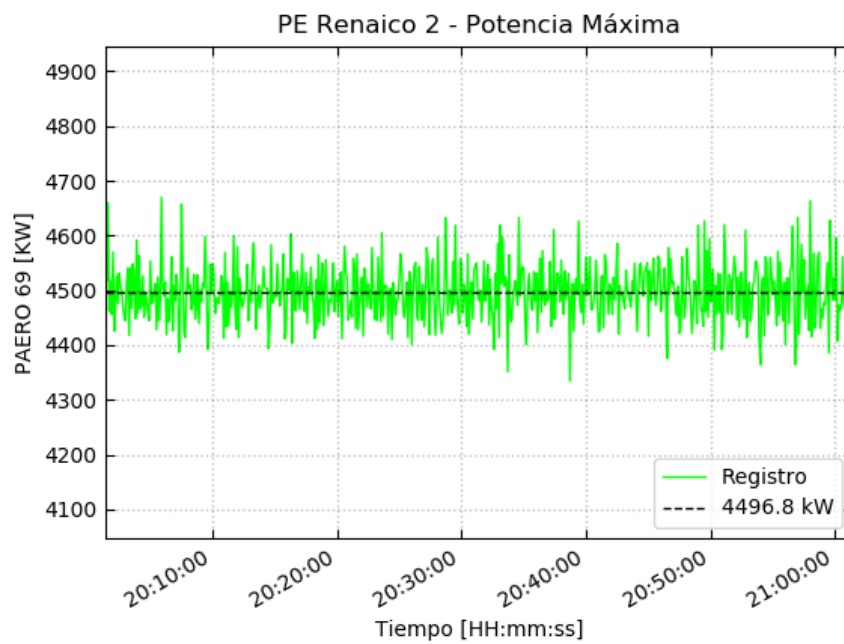


Figura 6.25 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 69

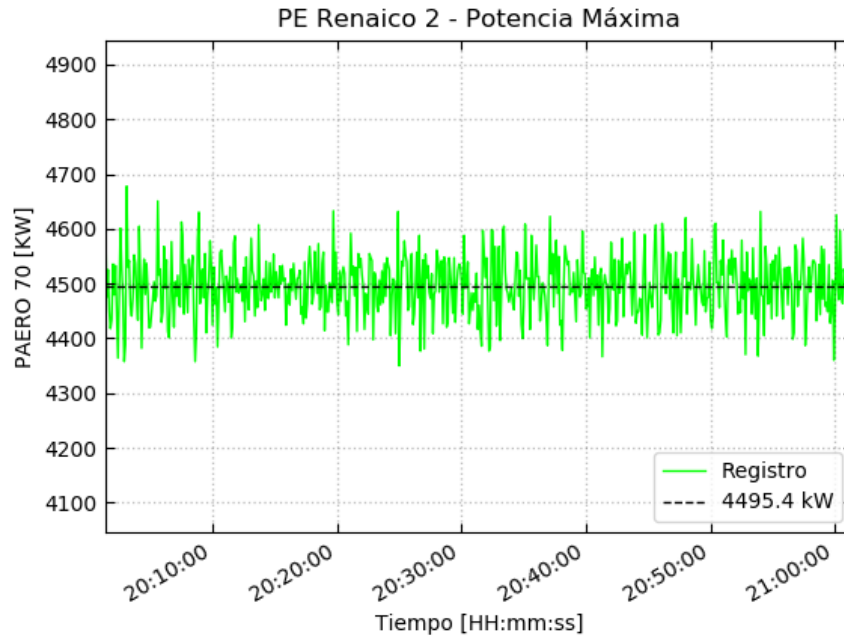


Figura 6.26 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 70

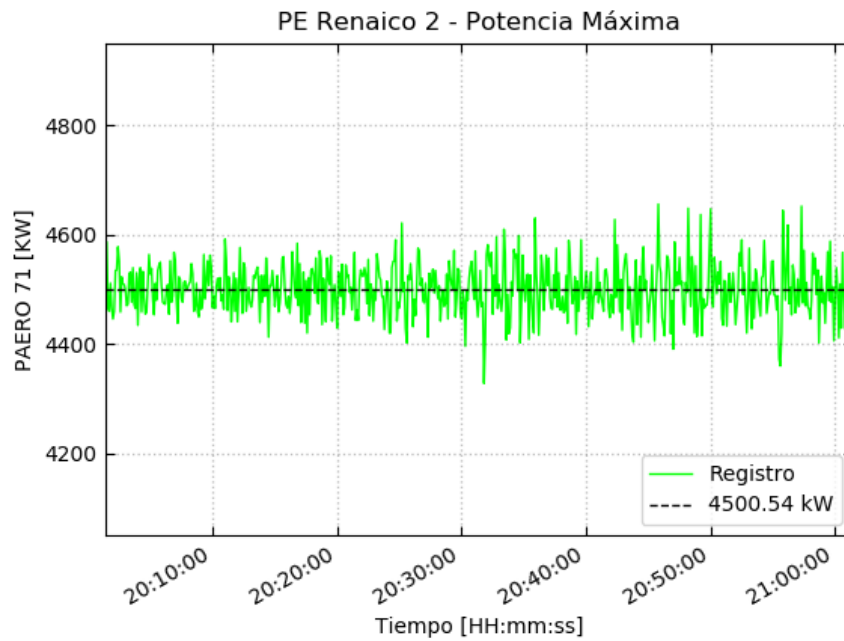


Figura 6.27 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 71

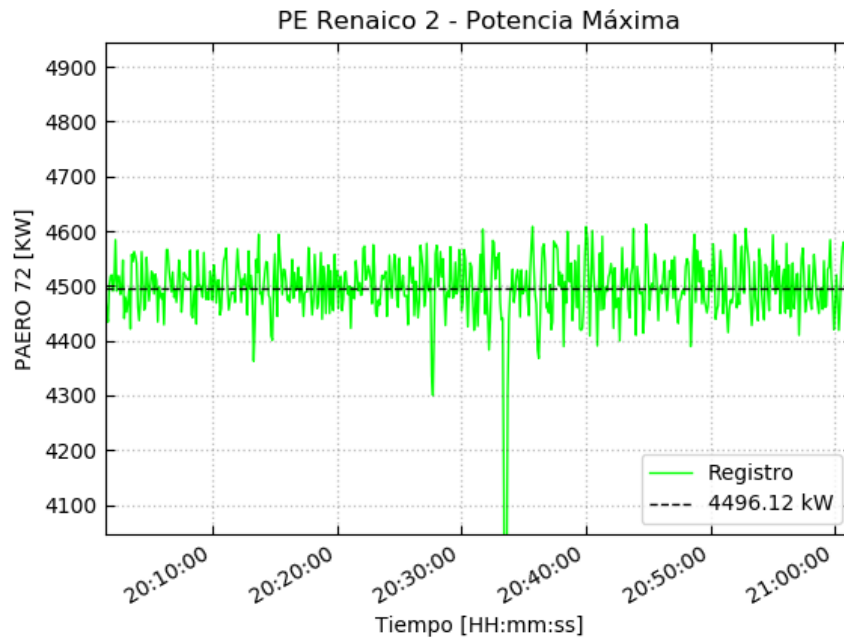


Figura 6.28 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 72

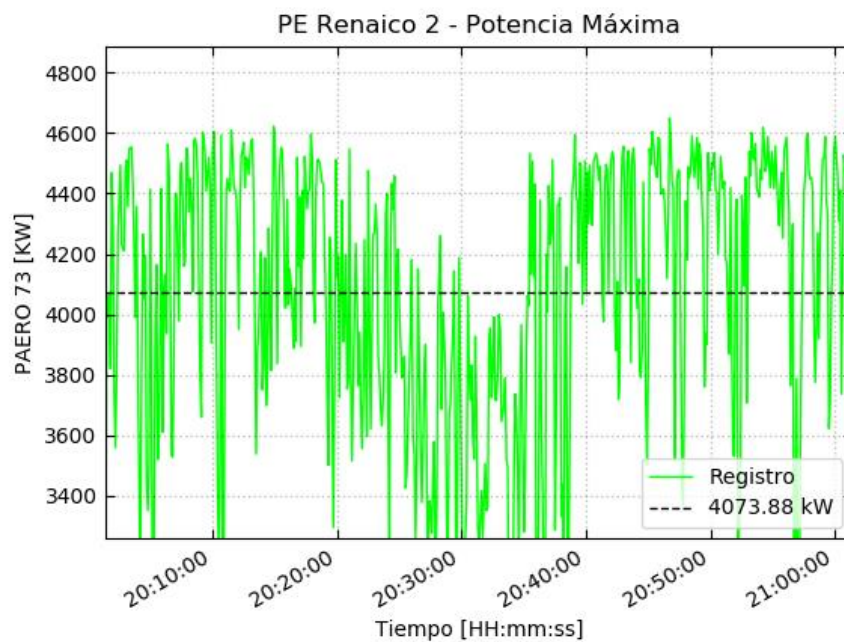


Figura 6.29 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 73

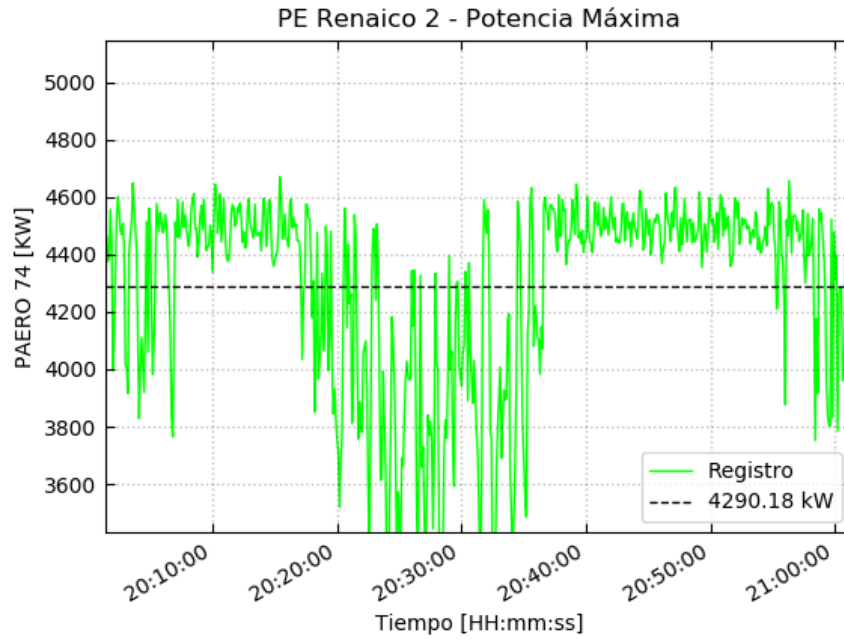


Figura 6.30 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 74

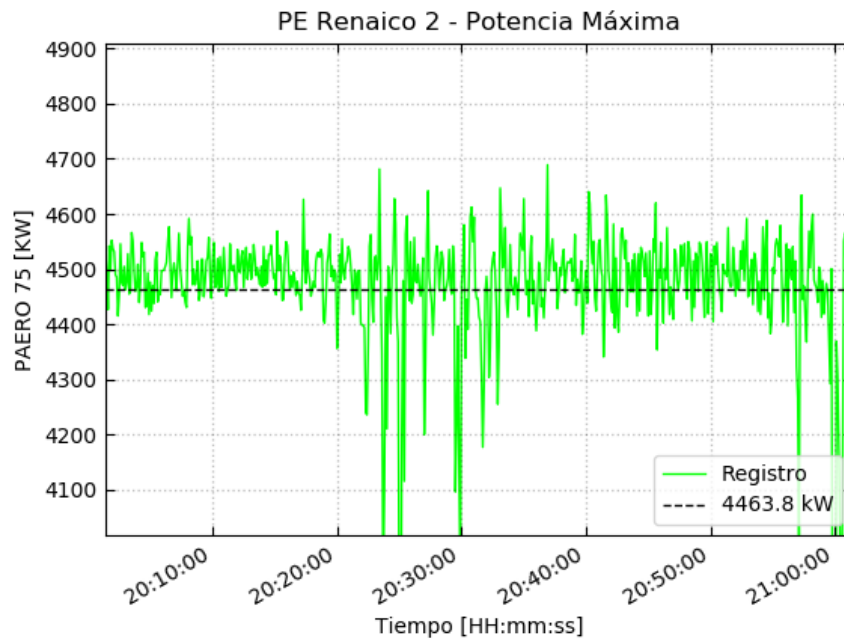


Figura 6.31 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 75

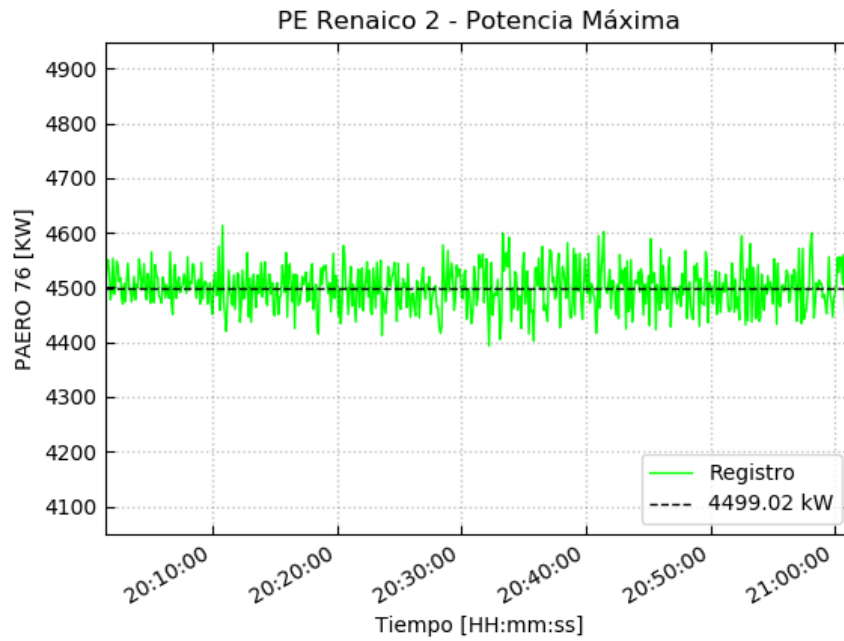


Figura 6.32 – Potencia Máxima – Potencia Aerogenerador 76



6.2 Registro de viento durante las pruebas

En la presente sección se muestran los registros de velocidad de viento obtenidos durante el desarrollo de las pruebas.

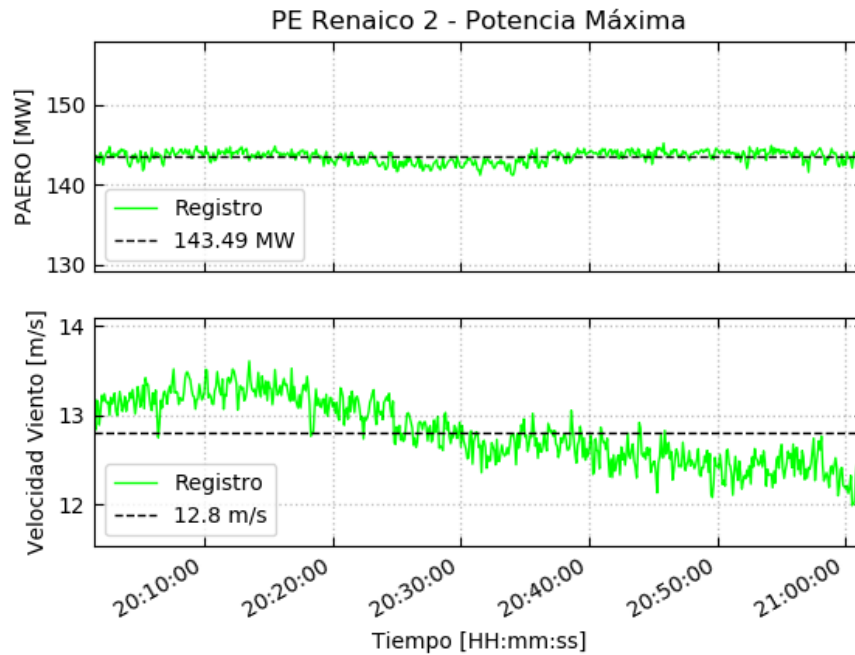


Figura 6.33 – Potencia total medida y velocidad del viento

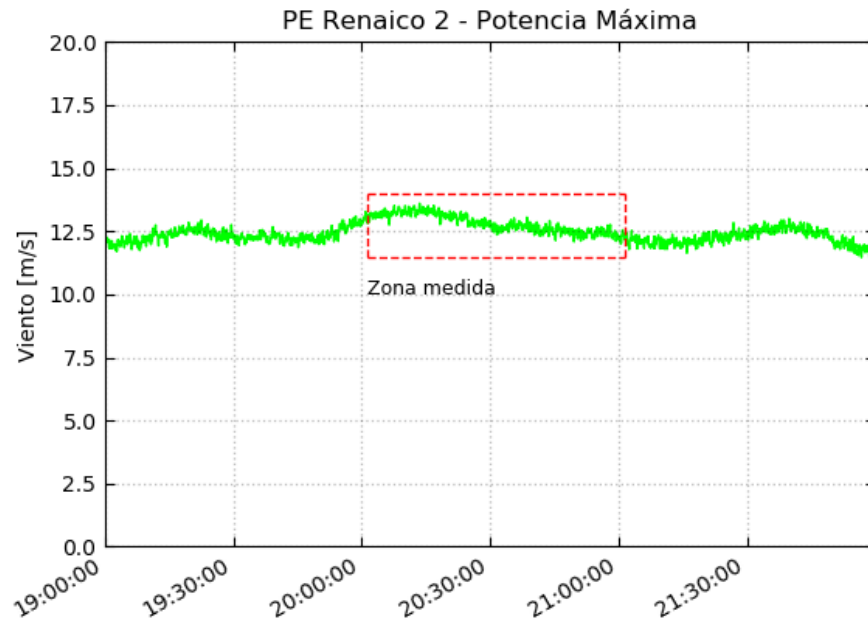


Figura 6.34 – Velocidad de viento durante la ejecución de ensayos