

Empresa: AES Andes

País: Chile

Proyecto: Parque Eólico Campo Lindo

Descripción: Informe de Potencia Máxima

Código de Proyecto: EE-2020-099

Código de Informe: EE-EN-2022-1184

Revisión: B

*Development and Simulation of Mathematical Models
of Control System of Electricity Generation Plants
ISO9001:2015 Certified*



Este documento EE-EN-2022-1184-RB fue preparado para AES Andes por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman

Sub-Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo

Sub-Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani

Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 40 páginas y ha sido guardado por última vez el 20/02/2023 por Iñaki Cubillos, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	20/02/2023	Para presentar.	IC	AC	PR
B	20/02/2023	Correcciones según observaciones de AES Andes.	IC	AC	PR

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



Índice

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	Fecha ensayo y personal auditor	4
1.2	Medidores utilizados	4
1.3	Nomenclatura y observaciones generales	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	8
3.1	Unifilar de planta.....	8
3.2	Datos de los aerogeneradores	13
3.3	Datos de los transformadores de bloque.....	17
3.4	Datos del transformador de poder	18
3.1	Datos de consumos de SSAA de planta.....	19
4	DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA	20
4.1	Ensayo de Potencia Máxima	21
4.2	Cálculos y resultados.....	23
4.2.1	Potencia Bruta.....	23
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	23
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	24
4.2.4	Potencia Neta	27
4.2.5	Resultados	28
5	CONCLUSIONES	29
6	ANEXOS	30
6.1	Certificado de calibración de medidor de potencia neta.....	30
6.2	Potencia máxima de aerogeneradores	31



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Campo Lindo 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 Campo Lindo está constituido por 15 aerogeneradores Vestas modelo V150 tipo full-converter de 4.3 MW de potencia nominal y 720 V de tensión de operación nominal, totalizando una potencia instalada de 64.5 MW y se encuentra ubicado en la región del Biobío, emplazado en la comuna de Los Ángeles. El parque se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / (220 kV $\pm$ 10 $\times$ 1.25%) y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Campo Lindo. Luego, una línea de 20 km interconecta la S/E Campo Lindo en la seccionadora S/E Santa Clara 220 kV.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Fernando Montecinos	3 y 7 de febrero de 2023

Tabla 1.1 - Nómina del personal participante durante los ensayos

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	Precisión
Analizador de energía	Janitza	UMG 512	$\pm 0.2\%$

Tabla 1.2 – Equipos utilizados

Además de lo mostrado en la Tabla 1.2, se cuenta con datos complementarios del sistema controlador de planta y medidas de todos los aerogeneradores adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 40 ms.



1.3 Nomenclatura y observaciones generales

La Figura 1.1, muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

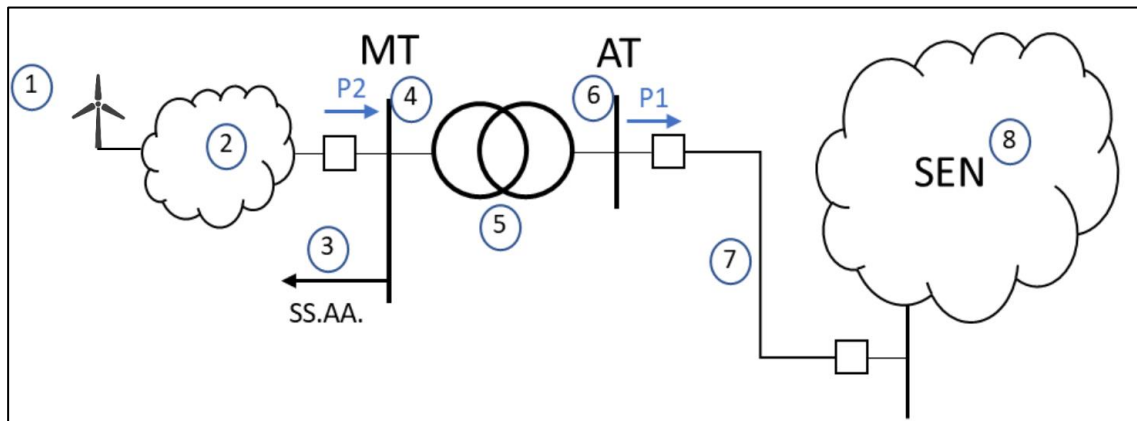


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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. 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 Campo Lindo cuenta con una potencia instalada de 64.5 MW y se encuentra ubicado en la región del Biobío, emplazado en la comuna de Los Ángeles. El parque se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / (220 kV $\pm$ 10 $\times$ 1.25%) y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Campo Lindo. Luego, una línea de 20 km interconecta la S/E Campo Lindo con el SEN en la seccionadora S/E Santa Clara 220 kV.

El parque está constituido por 15 aerogeneradores marca Vestas modelo V150, de 4.3 MW de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal. Cada uno de estos equipos cuenta con un transformador elevador de relación 0.72 kV / (33 kV $\pm$ 2 $\times$ 2.5%) que permite la inyección de su producción en la red de media tensión. La red colectora de media tensión está constituida por cables subterráneos y dividida en 3 circuitos colectores. En el primer colector se conectan 6 aerogeneradores, en el segundo se conectan 5 y en el restante se conectan 4 aerogeneradores.

3.1 Unifilar de planta

La red interna de media tensión (MT) del parque se encuentra compuesta por 3 circuitos alimentadores en MT. La disposición de los aerogeneradores dentro de dichos circuitos es la siguiente:

- Circuito N°1: Aerogeneradores CPL-01, CPL-03, CPL-05, CPL-07, CPL-08 y CPL-11.
- Circuito N°2: Aerogeneradores CPL-10, CPL-16, CPL-18, CPL-20 y CPL-24.
- Circuito N°3: Aerogeneradores CPL-39, CPL-41, CPL-42 y CPL-44.

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal de la S/E Campo Lindo. En tanto en la Figura 3.2 se muestra la barra principal de 33 kV del parque. Finalmente, en las Figura 3.3 y Figura 3.4, se presenta el detalle de cada alimentador de 33 kV.

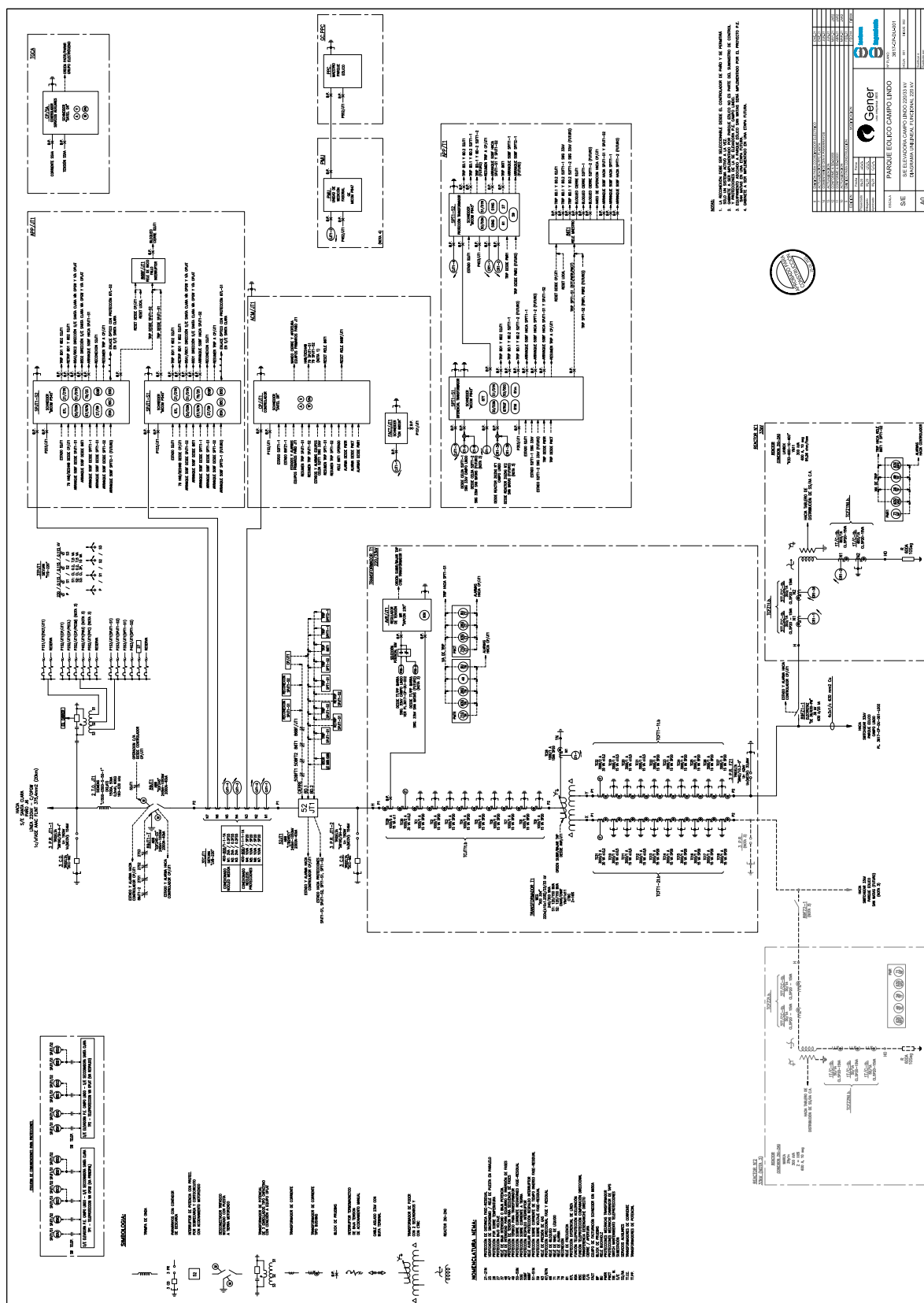


Figura 3.1 – Diagrama unilineal de S/E Campo Lindo

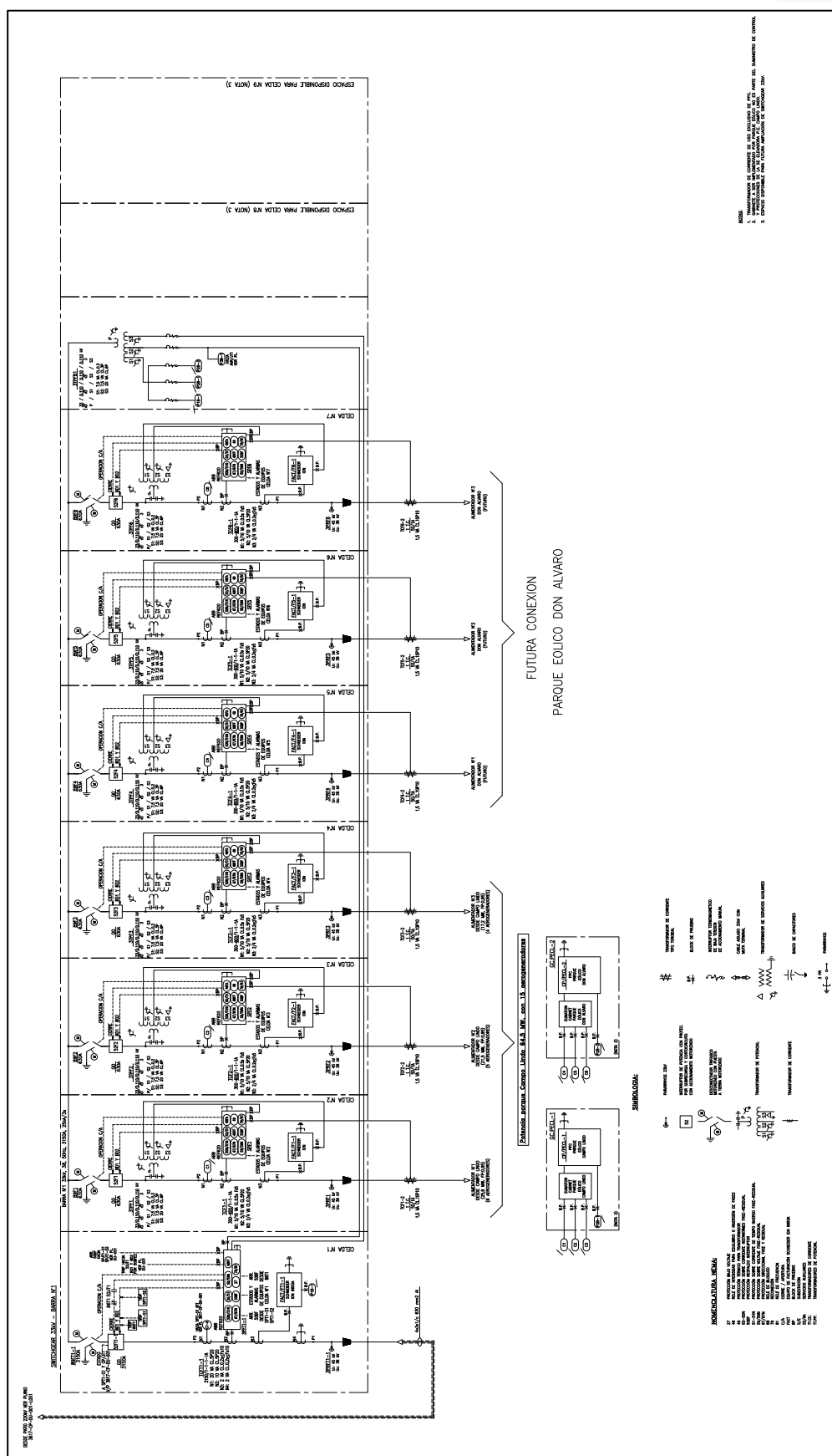


Figura 3.2 – Diagrama unilineal barra principal de 33 kV Parque Eólico Campo Lindo

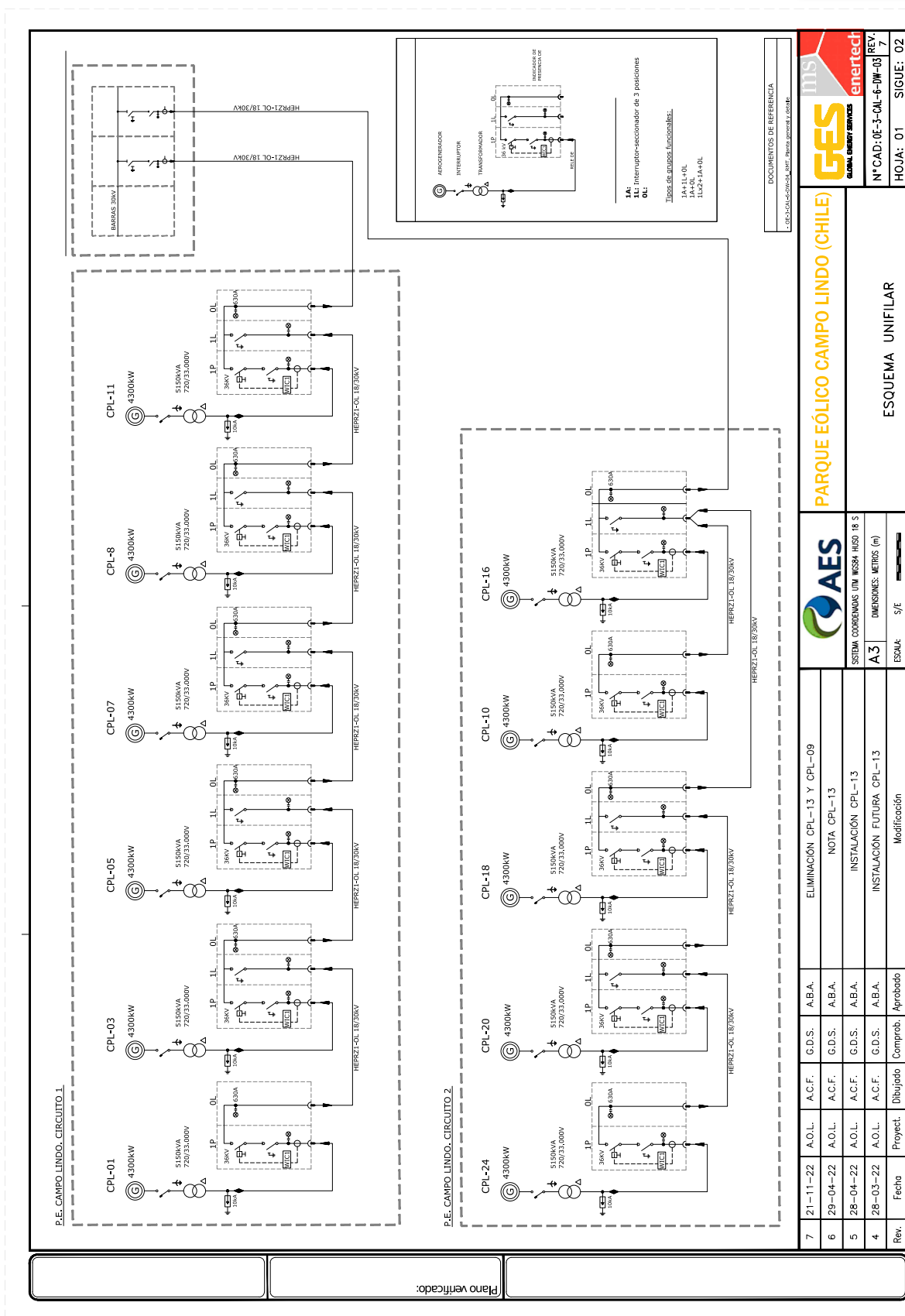


Figura 3.3 – Diagrama unilineal circuitos colectores 1 y 2

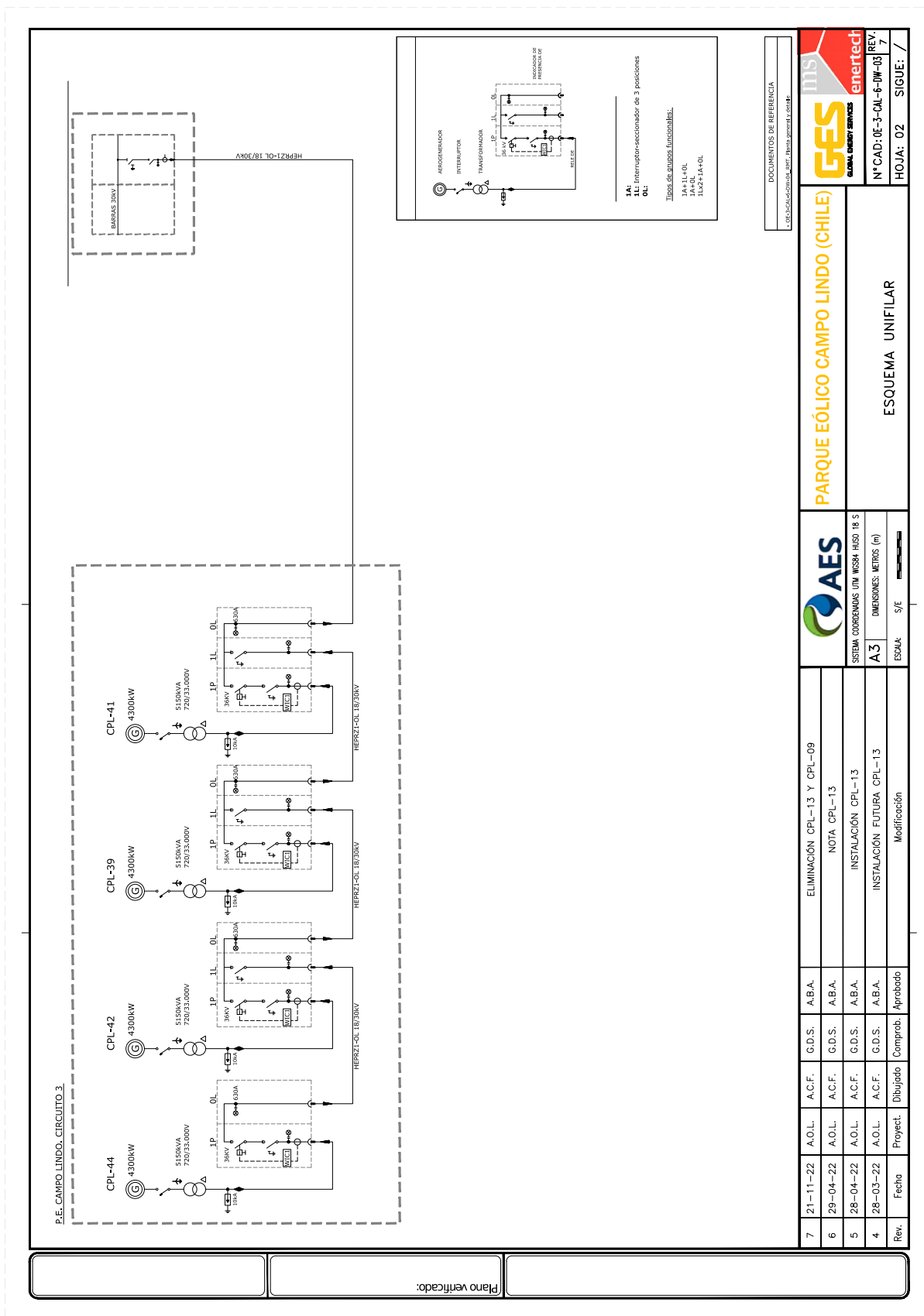


Figura 3.4 - Diagrama unilineal circuito colector 3



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Campo Lindo, está constituido por 15 aerogeneradores Vestas modelo V150 tipo full-converter de 4.3 MW de potencia nominal y 720 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales del generador se presentan en la Figura 3.5, mientras que los datos del conversor asociado se presentan en la Figura 3.6.

4.1 Generator	
The generator is a three-phase asynchronous induction generator with cage rotor that is connected to the grid through a full-scale converter. The generator housing allows the circulation of cooling air within the stator and rotor.	
The air-to-water heat exchange occurs in an external heat exchanger.	
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

Figura 3.5 – Datos nominales de aerogeneradores

4.2 Converter	
The converter is a full-scale converter system controlling both the generator and the power quality delivered to the grid. The converter consists of 3 machine-side converter units and 3 line-side converter units operating in parallel with a common controller.	
The converter controls conversion of variable frequency AC power from the generator into fixed frequency AC power with desired active and reactive power levels (and other grid connection parameters) suitable for the grid.	
The converter is located in the nacelle and has a grid side voltage rating of 720 V. The generator side voltage rating is up to 800 V dependent on generator speed.	
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 3.6 – Datos nominales del conversor aerogeneradores



La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 3.7.

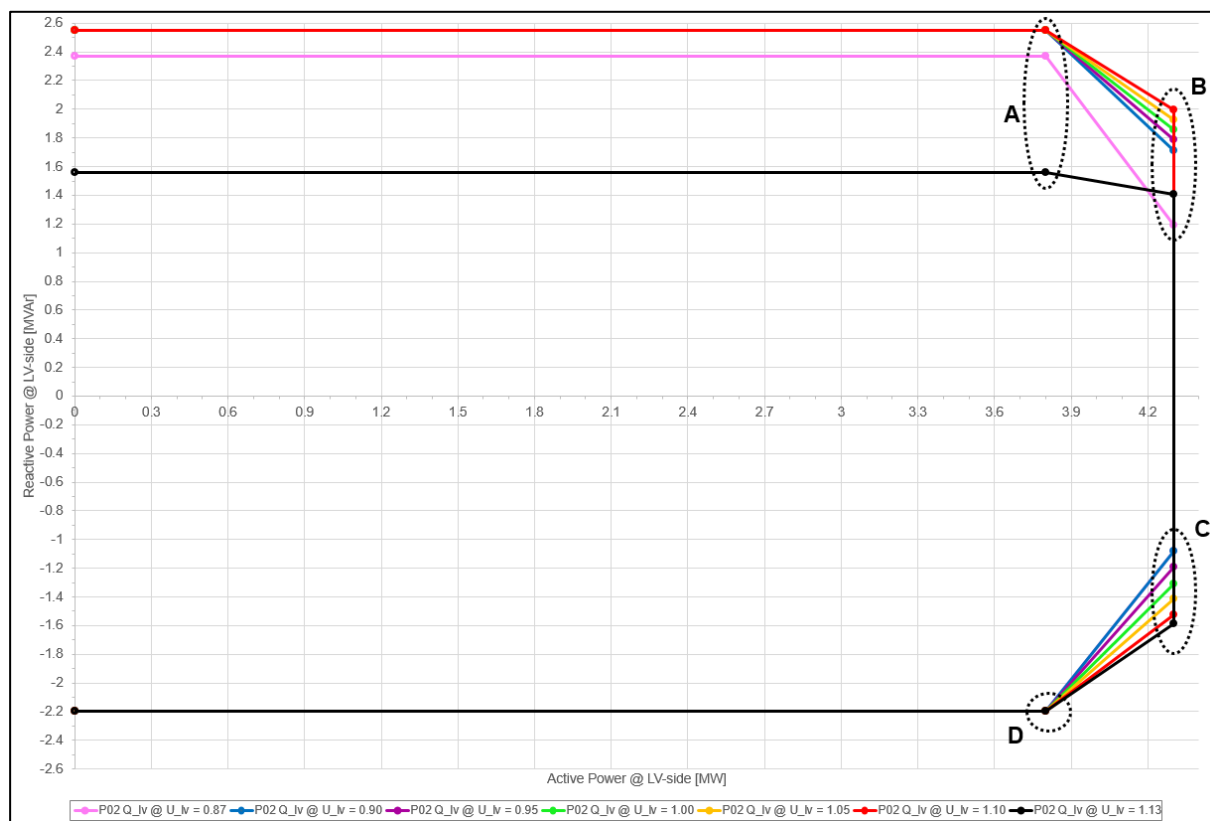


Figura 3.7 - Curva de capacidad del aerogenerador



Se presenta en la Figura 3.8 la curva de potencia según viento del aerogenerador.

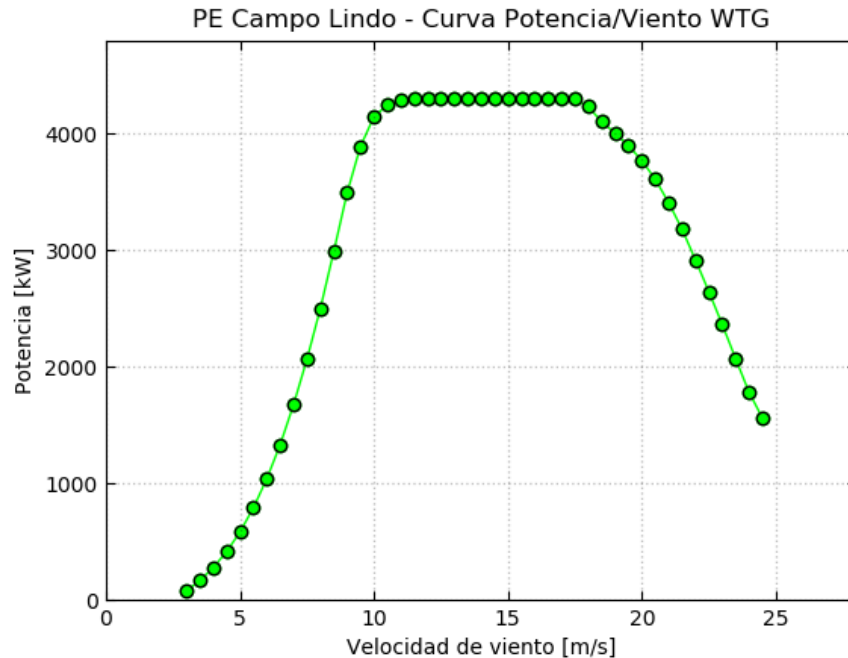


Figura 3.8 – Curva Viento/Potencia para los grupos de aerogeneradores

Se presentan en la Figura 3.9 antecedentes relacionados al consumo de potencia para alimentar los servicios auxiliares propios de la unidad. Se observa que el consumo total de potencia en concepto de servicios auxiliares propios de la unidad tiene un valor máximo de 80.6 kW. Este valor es considerado en los cálculos de la sección 3.1.

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
HV Transformer No-load Loss	See section 4.3 HV Transformer, p. 12

Figura 3.9 – Consumos internos de aerogeneradores



Finalmente, se presenta en la Figura 3.8 la curva de potencia del aerogenerador según temperatura ambiente. Se agrega este antecedente, ya que durante las pruebas la producción de los aerogeneradores se vio limitada por la temperatura ambiente, a pesar de la disponibilidad de viento.

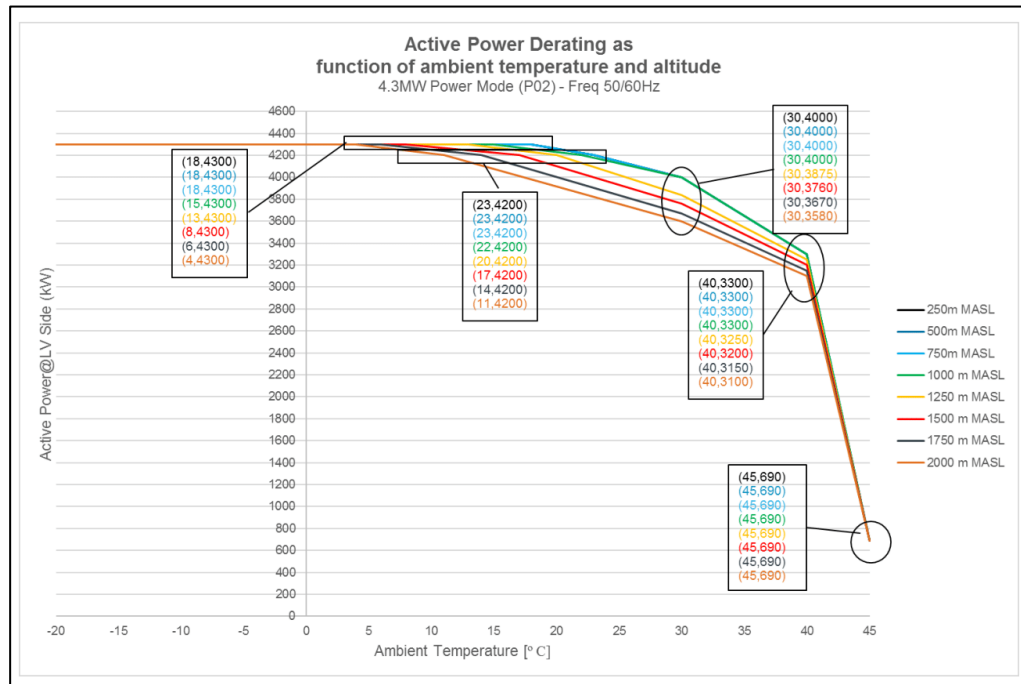


Figura 3.10 – Curva Potencia/Temperatura Ambiente para los grupos de aerogeneradores



3.3 Datos de los transformadores de bloque

Cada aerogenerador se vincula a la red colectora de 33 kV mediante un transformador de 5.15 MVA de capacidad nominal, y de relación de transformación de 0.72/33 kV.

Los datos característicos de los transformadores de bloque 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	9.9 %
Pérdidas en carga	35.7 kW
Pérdidas en vacío	7.253 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



3.4 Datos del transformador de poder

El Parque Eólico Campo Lindo se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / $(220 \text{ kV} \pm 10 \times 1.25\%)$ y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), de potencia aparente nominal (120/150 MVA por devanado). Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

Los datos característicos del transformador principal se muestran en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	120/150 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	220.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd11d11
Impedancia	15.91 %
Pérdidas en carga	384 kW
Pérdidas en vacío	138 kW
Posiciones de TAP	$\pm 10 \times 1.25 \%$

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



3.1 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Eólico Campo Lindo cuenta con un transformador de poder para alimentar sus servicios auxiliares de 300 kVA de potencia aparente nominal. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.38 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

En el documento “213009 A ECL CE 006 - B _ MC dimensionamiento de SSAA” se realiza el dimensionamiento de los consumos asociados a las instalaciones de 220 kV y 33 kV de la S/E Campo Lindo considerando servicios auxiliares en 380/220 Vca.

En la Figura 3.11 se presenta el resumen de cargas asociadas a los servicios auxiliares, se aprecia que el total de consumos esenciales es de 87.01 kW.

Categoría	Potencia [kW]
Total, Consumo Esenciales	87,01
Total, Consumo No esenciales	98,39
Total, Consumo C.A y C.C.	185,40

Figura 3.11 – Cargas permanentes de SSAA



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 Campo Lindo se cuenta con mediciones de la Potencia Bruta proveniente de los aerogeneradores, de la Potencia Neta registrada en el POI y mediciones de velocidad del 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]
Campo Lindo	(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 Campo Lindo.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogenerador (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 (circuitos colectores y transformadores de bloque).
- (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 3 de febrero de 2023 se realizó el ensayo de Potencia Máxima registrando la operación estable del parque completo durante 1 hora y con los 15 aerogeneradores en servicio.

En la Figura 4.1 se muestra la suma de potencia en bornes de todos los aerogeneradores y la potencia neta en el punto de interconexión; en la Figura 4.2 se muestra la temperatura promedio y la velocidad del viento para el período de pruebas.

Se observa que la potencia generada es menor a la nominal, lo anterior se debe a las altas temperaturas durante el período de las pruebas, que provoca que los aerogeneradores limiten su operación. Debido a que la suma de potencia de los aerogeneradores es de 57.72 MW implica un despacho aproximado de 3.85 MW para cada unidad. Como se puede ver en la Figura 3.10, para una temperatura de 32 °C la máxima potencia que podría generar el aerogenerador es de 3.86 MW, lo que se condice con el despacho alcanzado.

Cabe mencionar que para la determinación de la potencia bruta se deben agregar los consumos propios de cada unidad a la medición realizada en bornes de los aerogeneradores ("P. AERO" en la Figura 4.1).

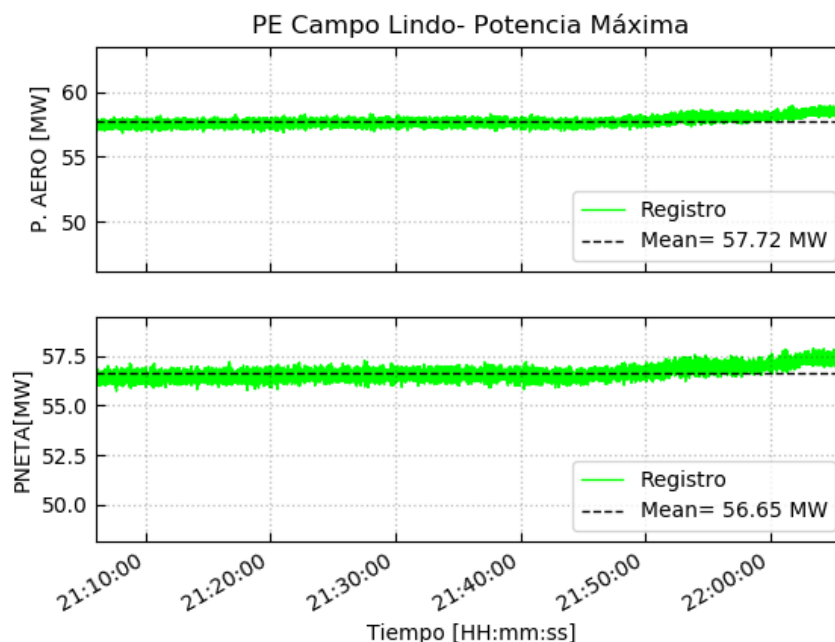


Figura 4.1 – Potencia Máxima – Potencia inyectada

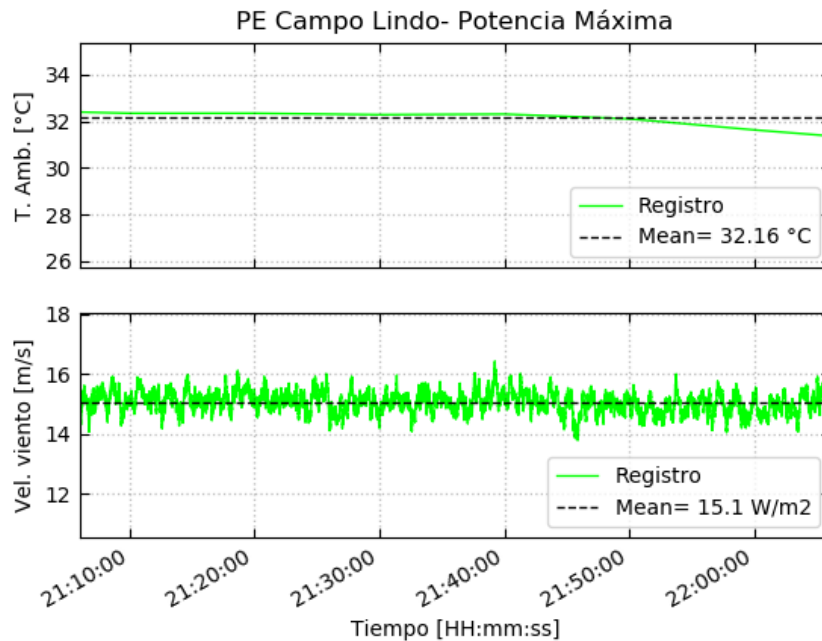


Figura 4.2 – Potencia Máxima – Mediciones climáticas

Sin embargo, las unidades instaladas son capaces de operar a potencia nominal de 4.3 MW en condiciones nominales de velocidad de viento y temperatura. Lo anterior se evidencia en el anexo 6.2 dónde puede apreciarse la operación a potencia nominal de cada aerogenerador, registrada durante el proceso de puesta en marcha de la planta.



4.2 Cálculos y resultados

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 y adicionalmente, se presentan los cálculos para la condición de operación a potencia nominal de las unidades.

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 ("P. AERO" en la Figura 4.1), a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta,ens} = 57.72 \text{ MW} + 15 \times 80.6 \text{ kW} = 58.93 \text{ MW}$$

Para la determinación de **Potencia Bruta Nominal** ($P_{bruta,nom}$) se considera la operación de la totalidad de aerogeneradores en condición de potencia nominal, el valor queda dado por la siguiente expresión.

$$P_{bruta,nom} = \sum_i (P_{AERO,NOMINAL} + Consumos \text{ propios})$$

$$P_{bruta,nom} = 15 \times (4.3 \text{ MW} + 80.6 \text{ kW}) = 65.71 \text{ MW}$$

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 3.9, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 80.6 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 87.01, según se presenta en la sección 3.1.



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

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

$$P_{SSAA} = 15 \times 80.6 \text{ kW} + 87.01 \text{ kW} = 1296.01 \text{ kW}$$

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 87.01 kW.

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

$$P_{perd,central,ens} = P.AERO - P_{tr,SSAA} - P_{neta,ens}$$

$$P_{perd,central,ens} = 57.72 \text{ MW} - 87.01 \text{ kW} - 56.65 \text{ MW} = 982.99 \text{ kW}$$

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 ($P_{perd,central,ens,carga}$) y vacío ($P_{perd,central,ens,vacio}$).

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

$$P_{perd,central,ens,carga} = 982.99 \text{ kW} - 138 \text{ kW} - 15 \times 7.253 \text{ kW} = 736.20 \text{ kW}$$

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

$$P_{perd,central,vacio} = 138 \text{ kW} + 15 \times 7.253 \text{ kW} = 246.80 \text{ kW}$$



Este valor de pérdidas en carga medido ($P_{perd,central,ens,carga}$) debe ser corregido para el despacho en escenario de **Potencia Bruta Nominal**. La siguiente expresión muestra la **Potencia de Pérdidas en la central** en condiciones de potencia nominal ($P_{perd,central,nom,carga}$). Cabe mencionar que el valor de pérdidas en vacío no depende de la condición de despacho del parque.

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

$$P_{perd,central,nom,carga} = 982.99 \text{ kW} \times \left(\frac{65.71 \text{ MW}}{58.93 \text{ MW}} \right)^2 = 1222.19 \text{ kW}$$

Entonces el valor total de **Potencia de Pérdidas en la central nominal** ($P_{perd,central,nom}$) queda determinado por la siguiente expresión.

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

$$P_{perd,central,nom} = 1222.19 \text{ kW} + 246.80 \text{ kW} = 1468.99 \text{ kW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central**, tanto para la condición de ensayos como para la nominal, debe ser desglosado en los siguientes elementos:

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

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

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},ens} = 384 \text{ kW} \times \left(\frac{58.93 \text{ MW}}{150.0 \text{ MVA}} \right)^2 = 59.27 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,tr_{ppal},ens} = 59.27 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 197.27 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,ens} = 982.99 \text{ kW} - 197.27 \text{ kW} = 785.72 \text{ kW}$$

A continuación, se realiza el desglose del valor de pérdidas para la condición nominal de operación.

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

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},nom} = 384 \text{ kW} \times \left(\frac{65.71 \text{ MW}}{150 \text{ MVA}} \right)^2 = 73.69 \text{ kW}$$



Entonces la expresión de pérdidas totales del transformador principal en condiciones nominales es la siguiente.

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

$$P_{Perd,tr_{ppal},nom} = 73.69 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 211.69 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,nom} = 1468.99 \text{ kW} - 211.69 \text{ kW} = 1257.30 \text{ kW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La **Potencia Neta** registrada del Parque Eólico Campo Lindo 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.

$$P_{neta,ens} = 56.65 \text{ MW}$$

Para obtener el valor de **Potencia Neta Nominal** se utilizará el valor de Potencia bruta nominal, de Potencia de Servicios Auxiliares y Potencia de Pérdidas de la central en condiciones de operación nominales, según la siguiente expresión.

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

$$P_{neta,nom} = 65.71 \text{ MW} - 1296.01 \text{ kW} - 1468.99 \text{ kW} = 62.95 \text{ MW}$$



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 y para las condiciones de operación nominal del Parque Eólico Campo Lindo.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	65.71	1296.01	1468.99	62.95

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Campo Lindo – Operación en condiciones nominales

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	58.93	1296.01	982.99	56.65

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Campo Lindo – Condición de ensayos

Según se observa en las Tabla 4.2 y Tabla 4.3 la **Potencia Bruta Máxima** calculada está dentro de lo esperado en base a los antecedentes disponibles de los aerogeneradores.



5 CONCLUSIONES

Se demuestra que la máxima potencia bruta que puede entregar el Parque Eólico Campo Lindo en condiciones de recurso primario nominales es de 64.5 MW, resultando en una potencia neta de 62.97 MW en el POI.

La Tabla 5.1 resume los resultados en condiciones de operación nominales.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	65.71	1296.01	1468.99 ¹	62.95

Tabla 5.1 – Potencia Máxima – Parque Eólico Campo Lindo – Operación en condiciones nominales

En tanto, la Tabla 5.2 resume los resultados en condiciones de ensayo.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	58.93	1296.01	982.99 ²	56.65

Tabla 5.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Campo Lindo – Condición de ensayos

¹ Desglosado en 211.69 kW de pérdidas en el transformador principal y 1257.30 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

² Desglosado en 197.27 kW de pérdidas en el transformador principal y 785.72 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración de medidor de potencia neta

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
		
ESTUDIOS ELÉCTRICOS		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	21/07/2022
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	Número de Serie	Última Calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/11/2021
Fecha de evaluación: 21/07/22 Certificado número: EE-CI-2022-1131		Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma: 
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning		



6.2 Potencia máxima de aerogeneradores

En la presente sección se muestran los registros de la máxima potencia alcanzada por cada unidad individual del Parque Eólico Campo Lindo. Se observa que las unidades alcanzan su valor de potencia nominal de 4.3 MW, en condiciones de velocidad de viento nominal de 12 m/s.

A modo de resumen, se presenta en la siguiente tabla, el valor máximo alcanzado por cada unidad. Se observa que el valor total es superior al nominal total de las unidades.

Unidad	Potencia Máxima [kW]
WTG01	4469.06
WTG03	4372.42
WTG05	4370.75
WTG07	4452.29
WTG08	4458.82
WTG10	4565.63
WTG11	4416.58
WTG16	4549.25
WTG18	4599.74
WTG20	4626.94
WTG24	4581.06
WTG39	4493.82
WTG41	4589.25
WTG42	4573.50
WTG44	4621.70
Total	67.74 [MW]

Tabla 6.1 – Potencia máxima de cada unidad

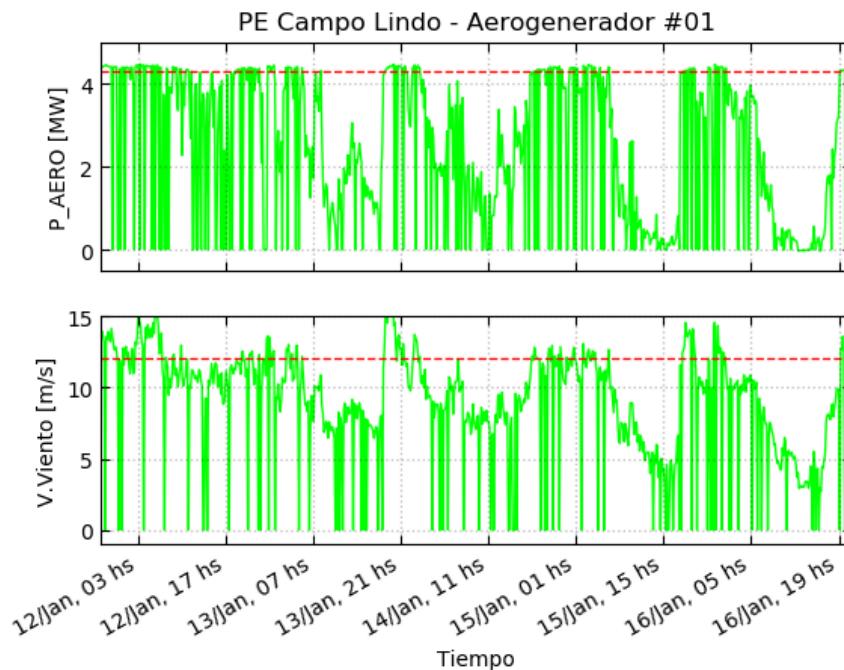


Figura 6.1 – Potencia máxima – WTG01

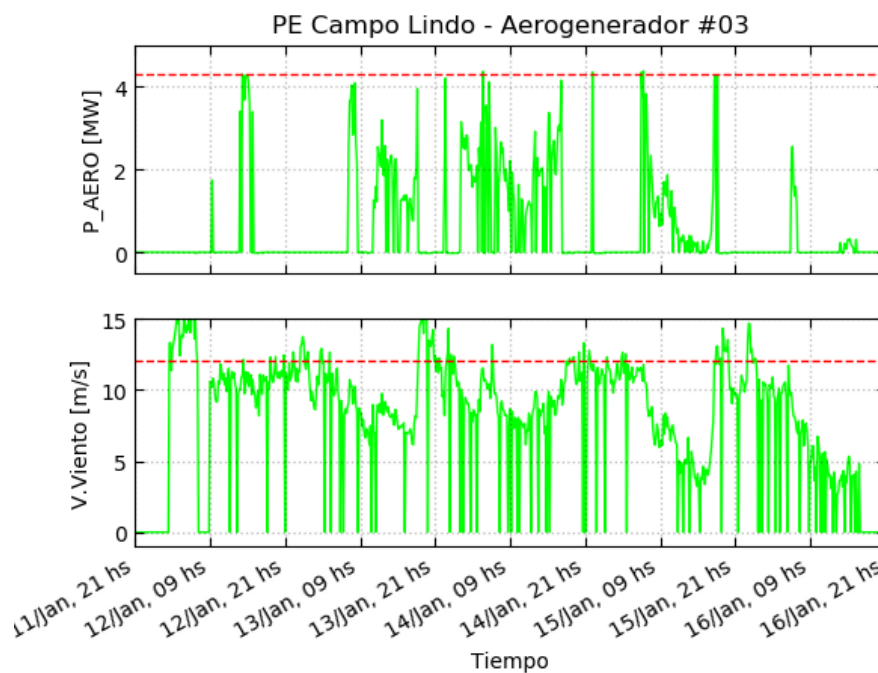


Figura 6.2 – Potencia máxima – WTG03

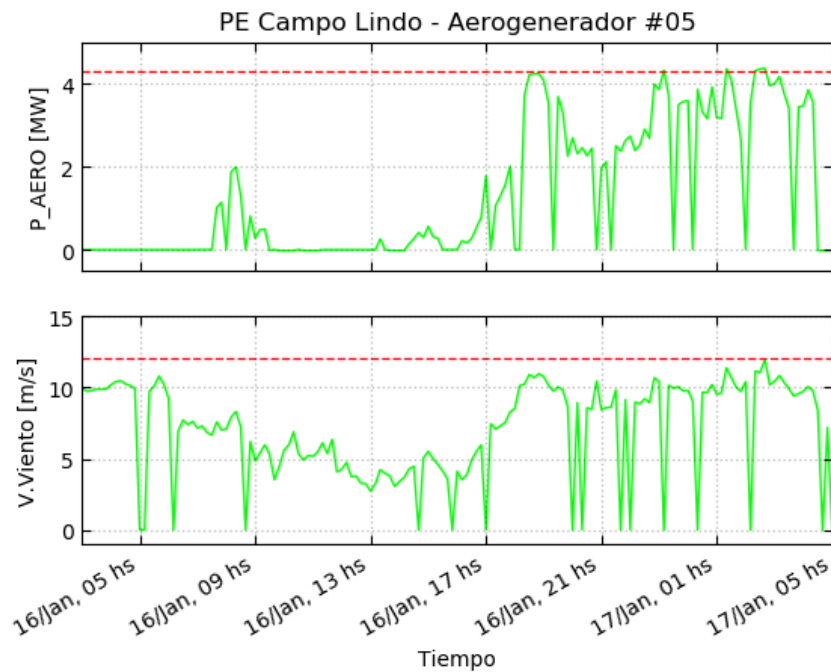


Figura 6.3 – Potencia máxima – WTG05

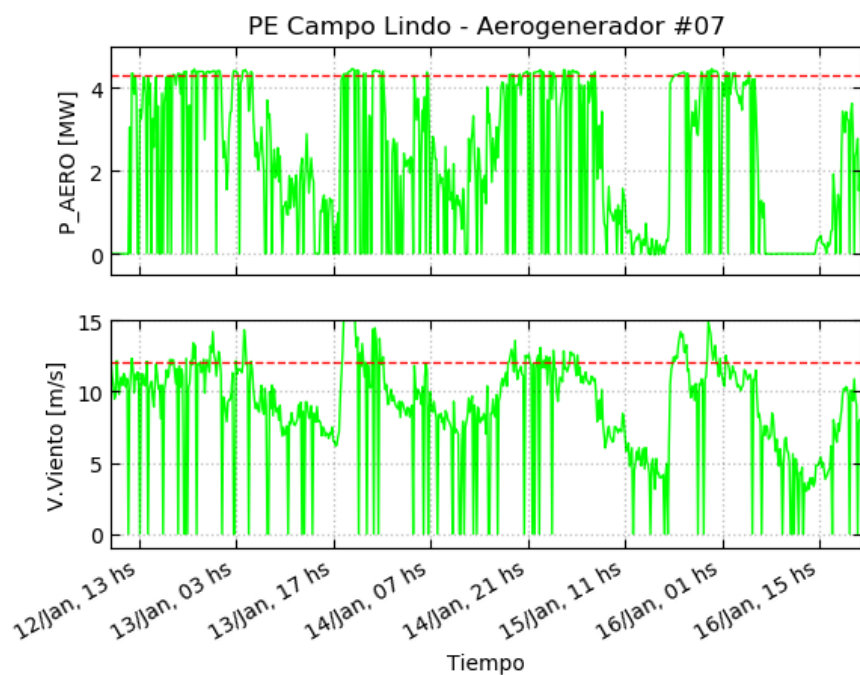


Figura 6.4 – Potencia máxima – WTG07

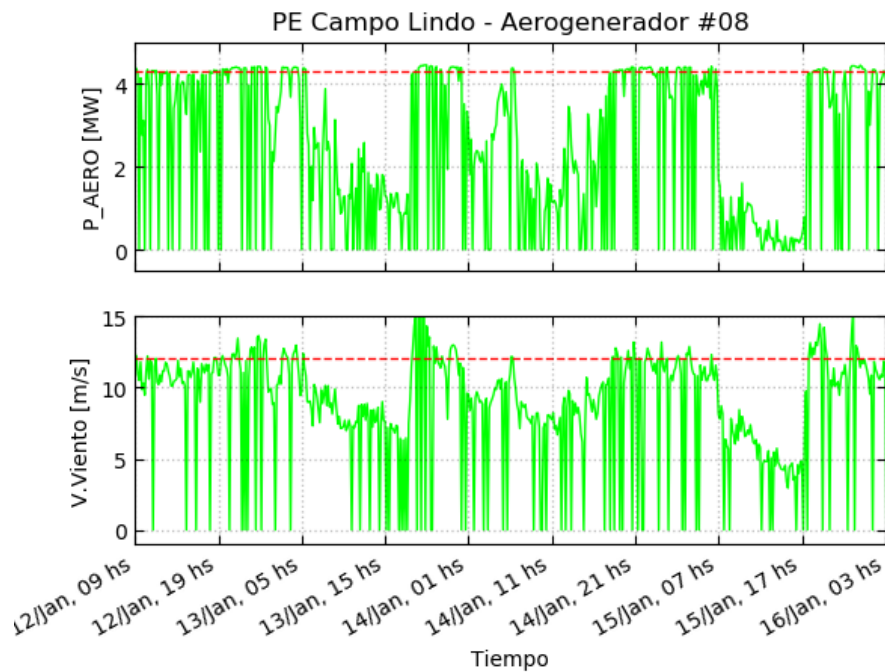


Figura 6.5 – Potencia máxima – WTG08

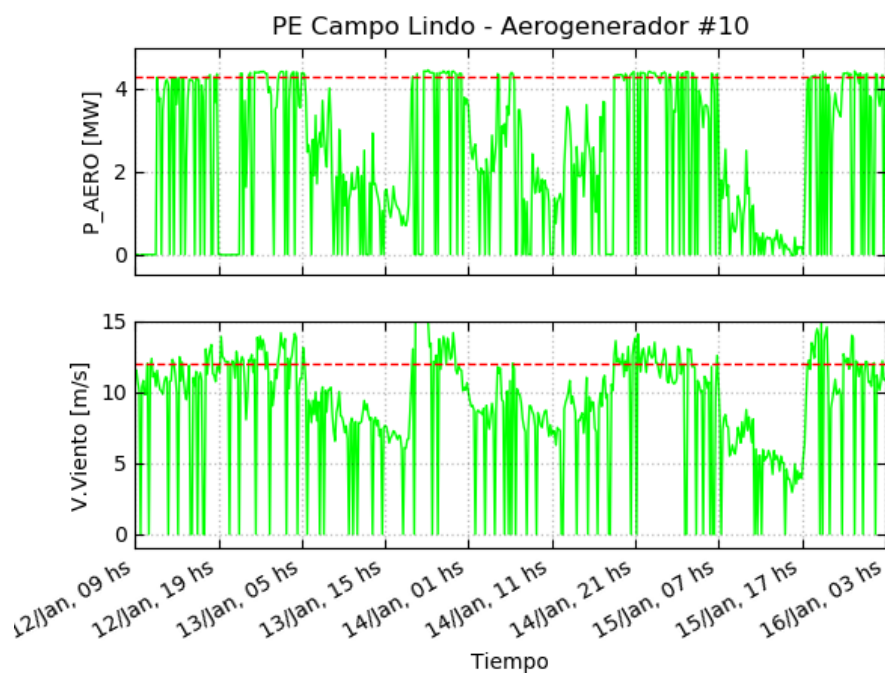


Figura 6.6 – Potencia máxima – WTG10

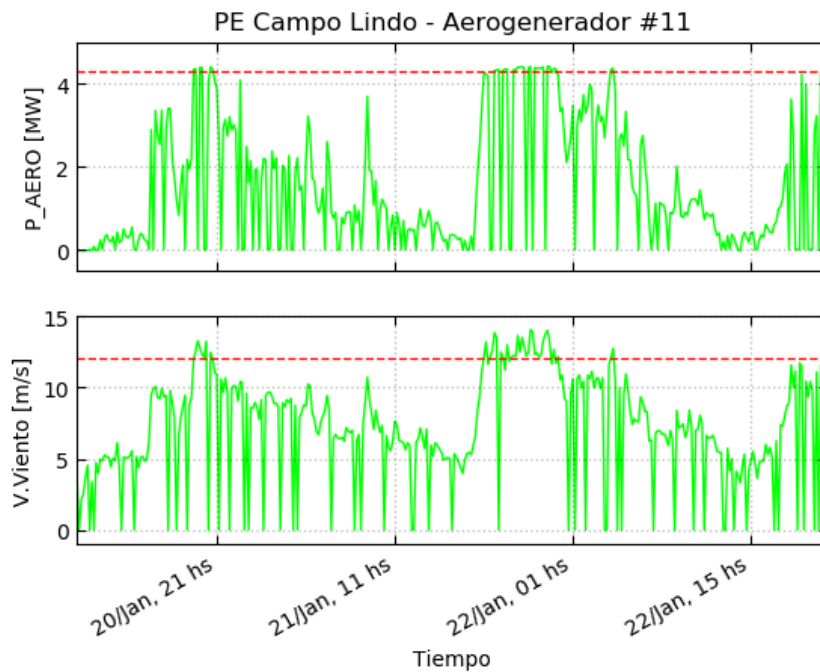


Figura 6.7 – Potencia máxima – WTG11

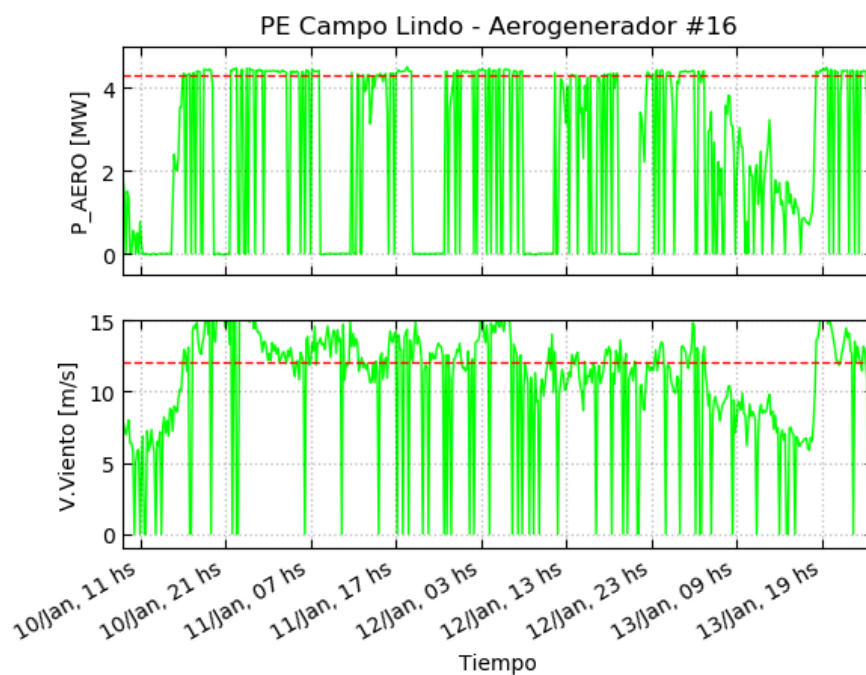


Figura 6.8 – Potencia máxima – WTG16

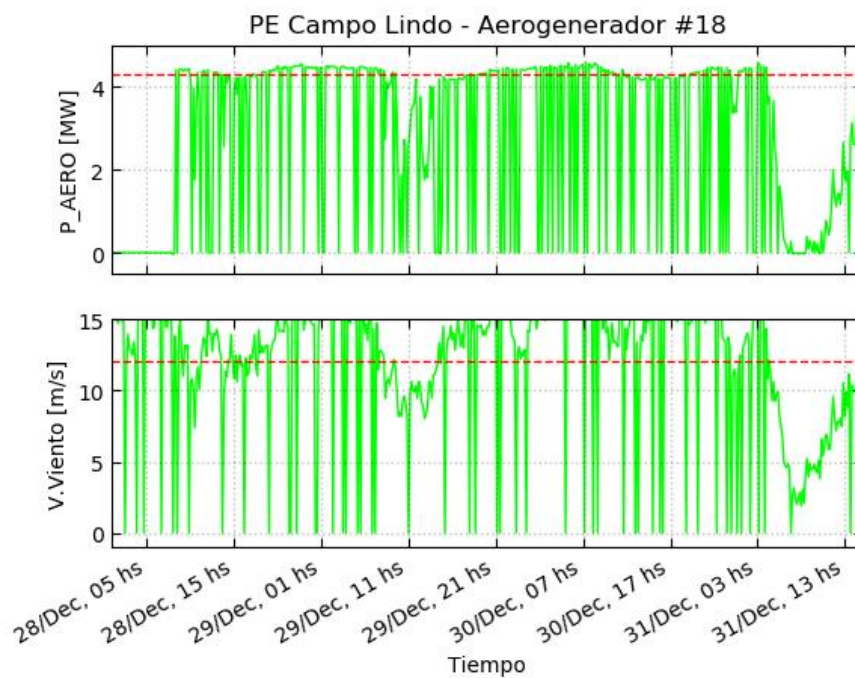


Figura 6.9 – Potencia máxima – WTG18

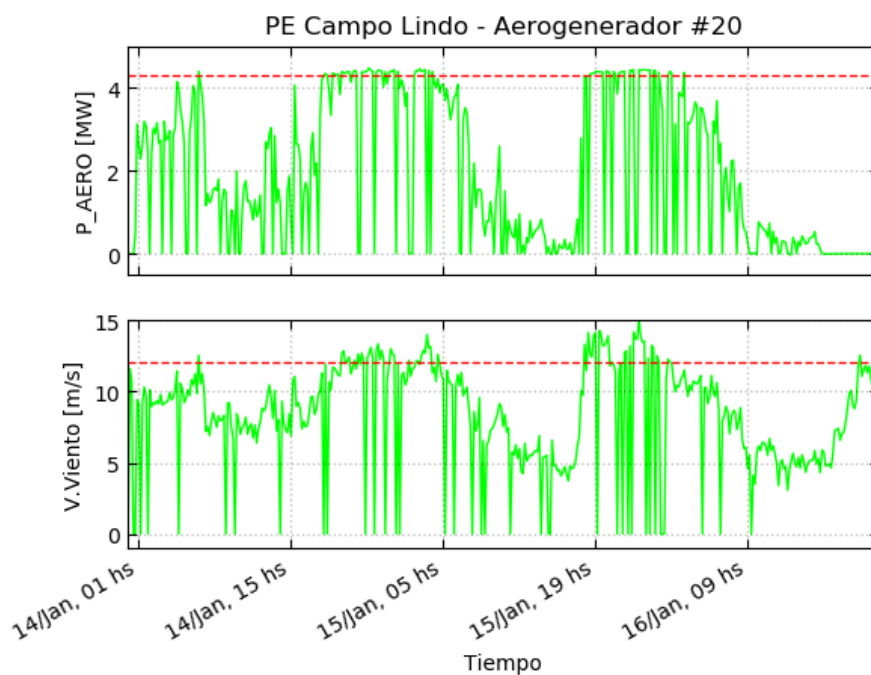


Figura 6.10 – Potencia máxima – WTG20

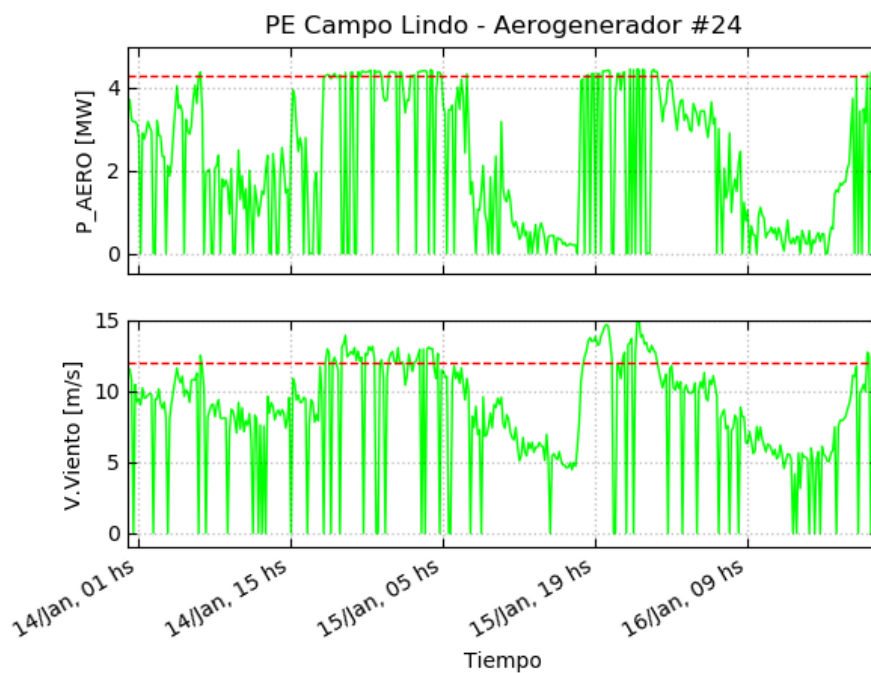


Figura 6.11 - Potencia máxima - WTG24

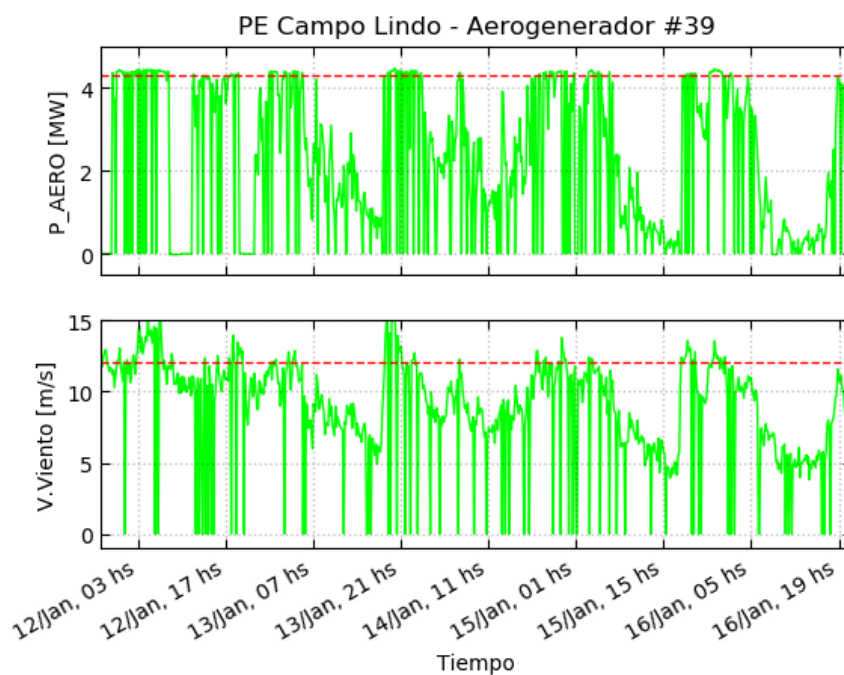


Figura 6.12 - Potencia máxima - WTG39

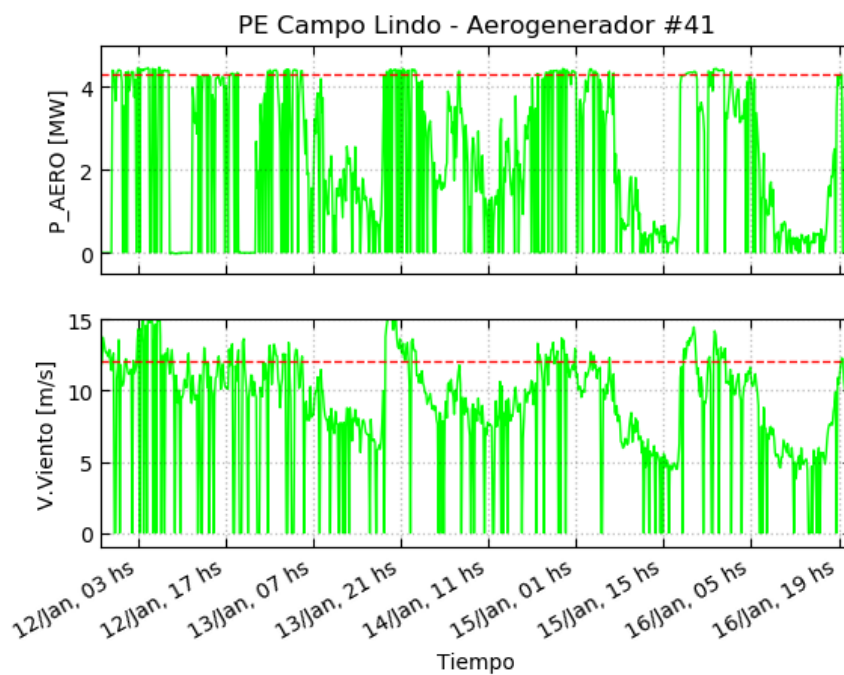


Figura 6.13 - Potencia máxima - WTG41

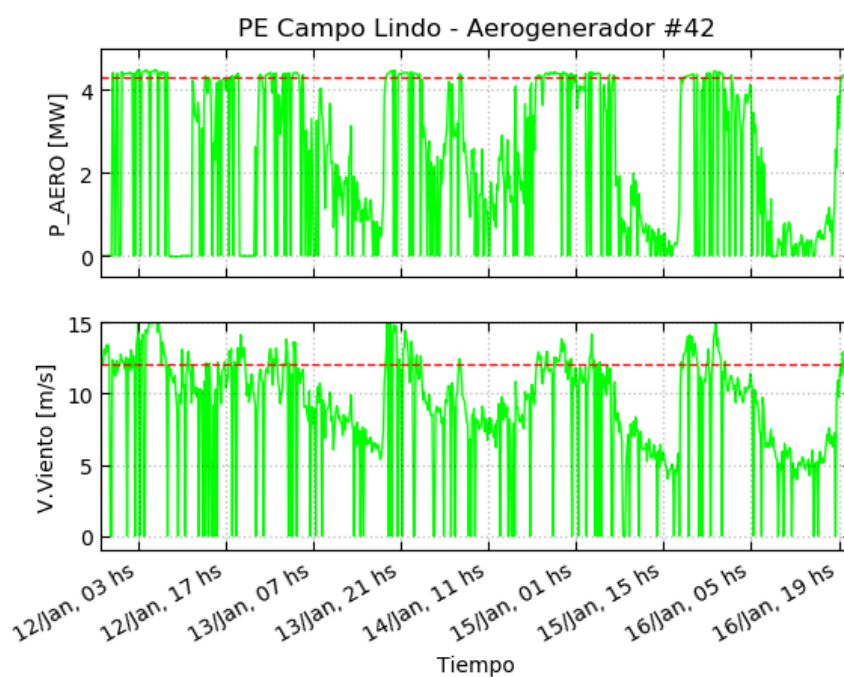


Figura 6.14 - Potencia máxima - WTG42

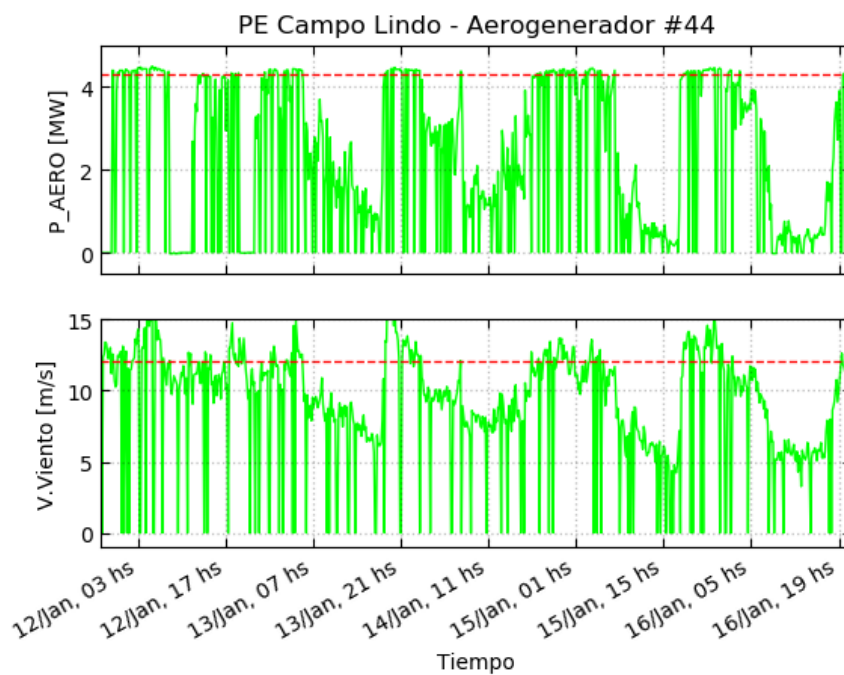


Figura 6.15 – Potencia máxima – WTG44



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.