

**Empresa**  
**País**  
**Proyecto**  
**Descripción**

AES Andes  
Chile  
Parque Eólico Mesamávida  
Informe de Potencia Máxima

**aes** Chile

**CÓDIGO DE PROYECTO** EE-2020-213  
**CÓDIGO DE INFORME** EE-EN-2023-1547  
**REVISIÓN** B

**29 dic. 23**





Este documento **EE-EN-2023-1547-RB** 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](mailto:andres.capalbo@estudios-electricos.com)

**Ing. Claudio Celman**  
Sub-Gerente Dpto. Ensayos  
[claudio.celman@estudios-electricos.com](mailto:claudio.celman@estudios-electricos.com)

**Ing. Pablo Rifrani**  
Gerente Dpto. Ensayos  
[pablo.rifrani@estudios-electricos.com](mailto: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 40 páginas y ha sido guardado por última vez el 29/12/2023 por Nicolás Silva; sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

<b>Revisión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Realizó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>
<b>A</b>	07.12.2023	Para presentar	NS	AC	PR
<b>B</b>	29.12.2023	Correcciones según observaciones de AES Andes.	NS	AC	PR

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



# Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
	1.1 Nomenclatura utilizada .....	5
<b>2</b>	<b>ASPECTOS NORMATIVOS</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PARQUE</b> .....	<b>8</b>
	3.1 Unifilar de planta .....	8
	3.2 Datos de los aerogeneradores .....	14
	3.3 Datos de los transformadores de bloque.....	16
	3.4 Datos del transformador de poder.....	17
	3.5 Datos de consumos de SSAA de planta .....	18
<b>4</b>	<b>DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA</b> .....	<b>19</b>
	4.1 Ensayo de Potencia Máxima (13 aerogeneradores, Etapa II) .....	20
	4.2 Cálculos y resultados.....	21
	4.2.1 Potencia Bruta .....	21
	4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares .....	21
	4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central .....	22
	4.2.4 Potencia Neta .....	25
	4.2.5 Resultados .....	26
<b>5</b>	<b>POTENCIA MÁXIMA - 14 AEROGENERADORES (ETAPA III)</b> .....	<b>27</b>
	5.1 Cálculos y resultados.....	27
	5.1.1 Potencia Bruta corregida .....	27
	5.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares .....	28
	5.1.3 Potencia de Pérdidas en la central .....	28
	5.1.4 Potencia Neta .....	30
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>32</b>
	7.1 Potencia máxima de aerogeneradores.....	32



# 1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Mesamávida 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 Mesamávida, se encuentra ubicado en la región de Biobío, emplazado en la comuna de Los Ángeles. En su tercera etapa, y final, está constituido por catorce (14) aerogeneradores marca NORDEX, modelo Delta4000, de 4.8 MW de capacidad nominal y 690 V de tensión de operación nominal.

En la etapa II anterior, se determinó que la Potencia Máxima nominal del parque con 13 aerogeneradores en operación, es 62,4 MW la cual es superior a la potencia de inyección aprobada por acceso abierto que es de 60 MW, cabe destacar que el parque opera limitando su inyección en la actualidad. Recientemente se ha puesto en servicio el último aerogenerador, totalizando 14 en el parque y cuyos resultados de potencia máxima se agregan a los obtenidos en etapas anteriores en el capítulo 5 del presente informe, no obstante, se mantiene la condición de inyección máxima, ya que es una limitación dada por la capacidad técnica de la línea de transmisión que evacua el parque. Se incluye un registro operacional del nuevo aerogenerador en servicio que demuestra su capacidad individual y se calculan los nuevos valores de Potencia Bruta y Potencia Neta del parque completo.



## 1.1 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:

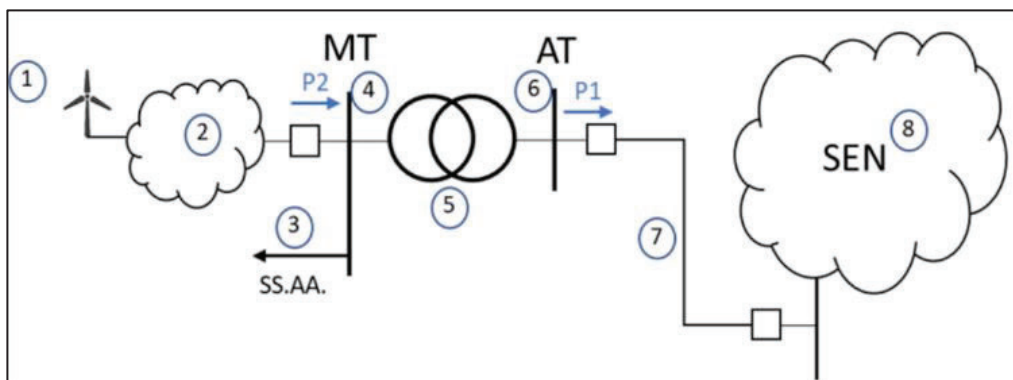


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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].
- ✓ **P2:** Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) del parque [MW].
- ✓ **Pperd:** Pérdidas de potencia activa en línea de transmisión [MW] (ver número "7" en Figura 1.1).
- ✓ **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [kW].



- ✓ **SS.AA.:** 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 Mesamávida, está constituido por 14 aerogeneradores NORDEX modelo Delta4000 de 4.8 MW de potencia nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Cada aerogenerador cuenta con un transformador de bloque de 5.35 MVA (KFWF) y relación 0.69 kV / 30 kV (+ 4 x 2.5%), que interconecta la salida de cada aerogenerador con la red de MT.

La red colectora del Parque Eólico Mesamávida cuenta con 3 alimentadores en 33 kV que se conectan a la barra principal de 33 kV de la S/E Mesamávida. Luego, un transformador de poder de relación 33 kV / 154 kV ( $\pm 12 \times 1.25\%$ ) y 60/80 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal permite la inyección de potencia generada al Sistema Eléctrico Nacional.

### 3.1 Unifilar de planta

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

- Circuito N°1: Aerogeneradores AE-01, AE-02, AE-03, AE-04 y AE-05.
- Circuito N°2: Aerogeneradores AE-06, AE-07, AE-09 y AE-10.
- Circuito N°3: Aerogeneradores AE-13, AE-14, AE-15, AE-34bis (Etapa II) y AE-43bis (Etapa III).

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal de la S/E Mesamávida. En tanto en la Figura 3.2 se muestra la barra principal de 33 kV del parque. Finalmente, entre la Figura 3.3 y Figura 3.5, se presenta el detalle de cada alimentador de 33 kV.





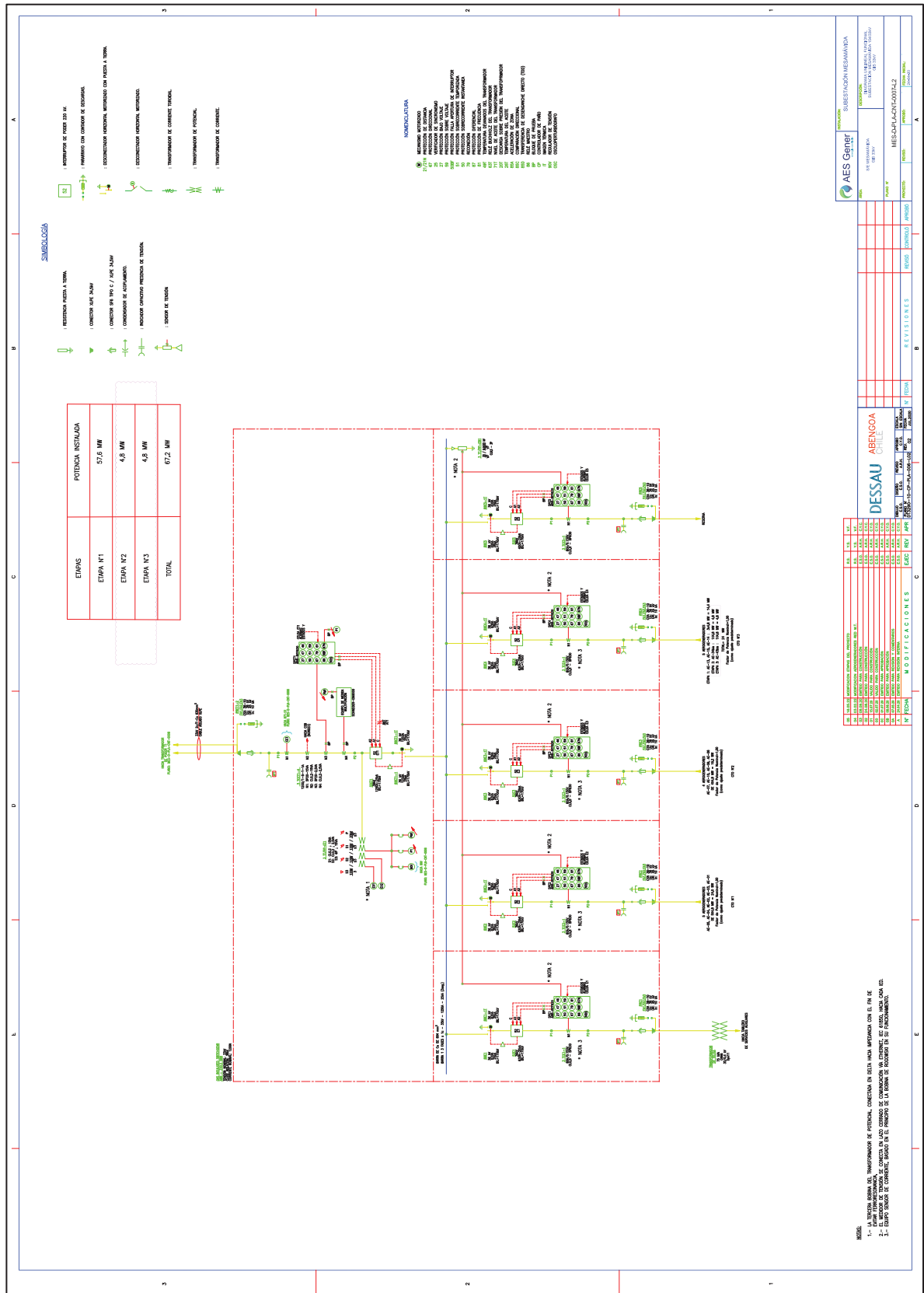


Figura 3.2 – Diagrama unilineal barra principal de 33 kV Parque Eólico Mesamávida

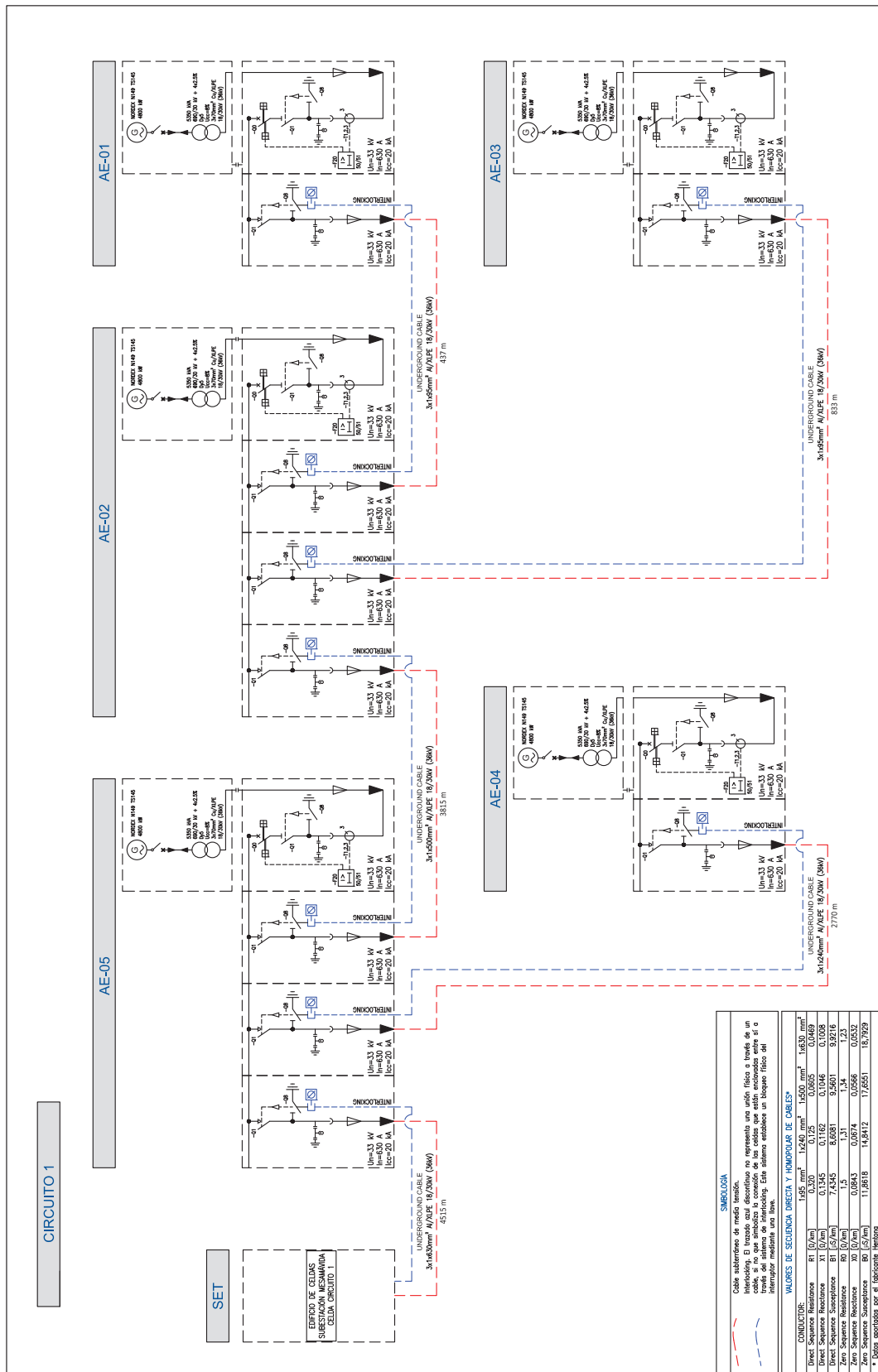


Figura 3.3 – Diagrama unilineal circuito colector 1

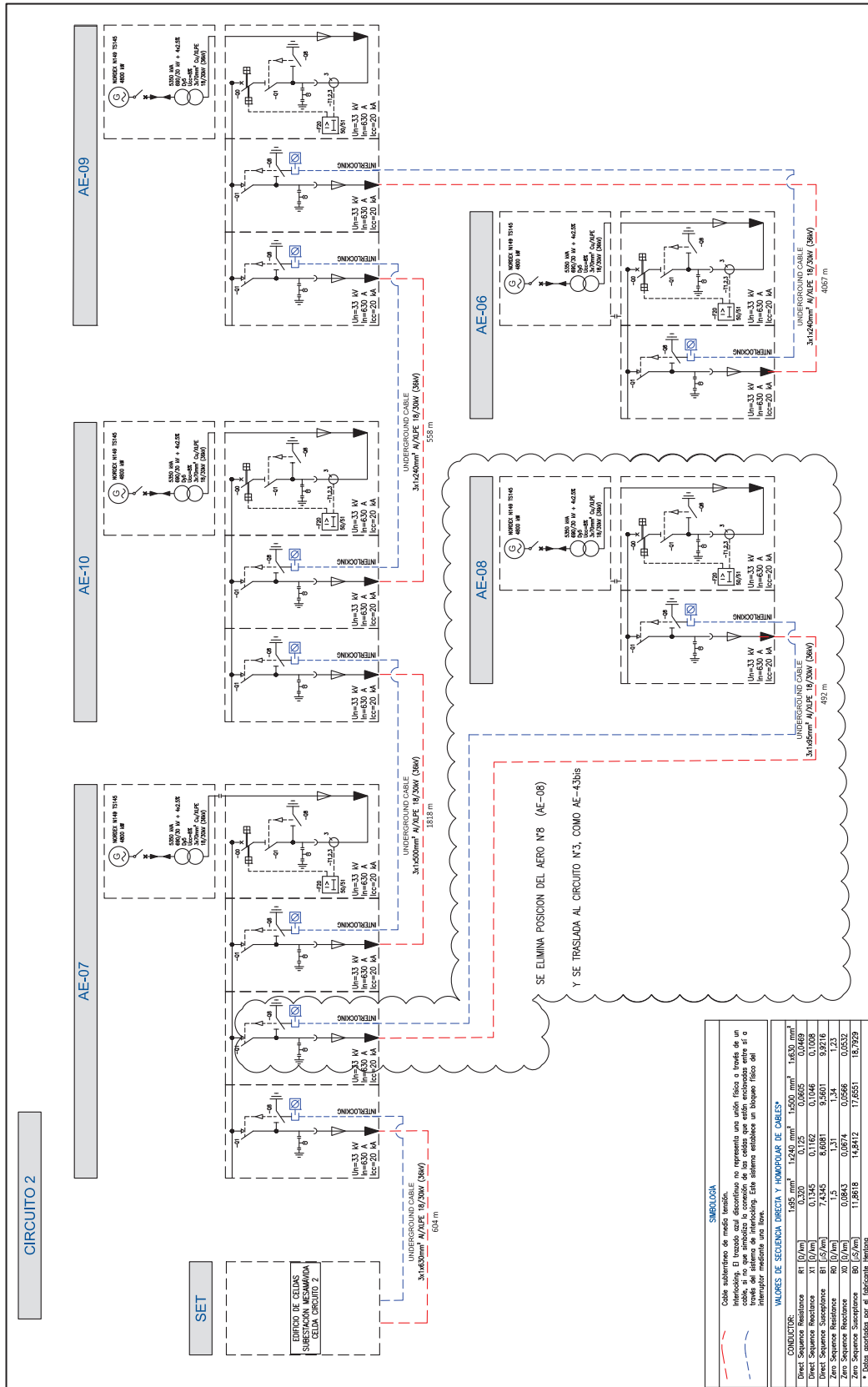


Figura 3.4 – Diagrama unilineal circuito colector 2

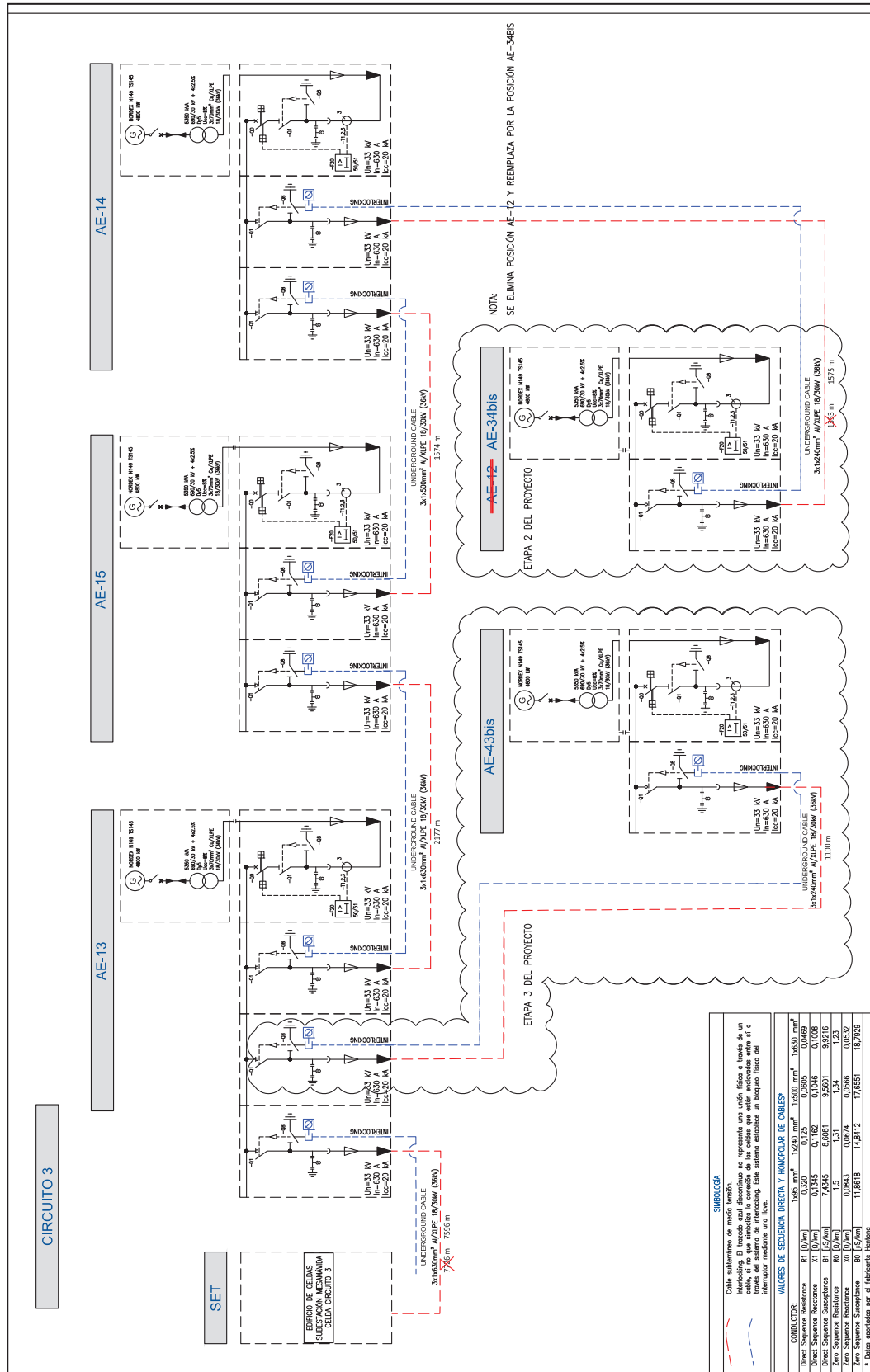


Figura 3.5 – Diagrama unilineal circuito colector 3



### 3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Mesamávida, está constituido en esta primera etapa por 12 aerogeneradores NORDEX modelo Delta400 de 4.8 MW de potencia nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales se presentan en la Figura 3.6.

**2.1 Electrical Operating Ranges**

Delta4000 WT's feature the following basic electrical operating ranges.

WT	Characteristic data	Values	
Delta4000	Nominal frequency	50 Hz	60 Hz
	Frequency operating range	47.5 Hz – 53.0 Hz continuously 47.0 Hz – 47.5 Hz for 5 min	57.0 Hz – 62.0 Hz continuously 62.0 Hz – 62.4 Hz for 30 min 62.4 Hz – 62.5 Hz for 5 s
	Frequency gradients	4 Hz/s continuously 8 Hz/s for 1 s	
	Nominal voltage ( $U_{nom}$ )	660 V / 690 V	
N149/4.0-4.5	Voltage operating range	87 % $U_{nom}$ – 115 % $U_{nom}$	
	Nominal active power $P_{nom}$ (depending on power mode)	up to 4800 kW	
N149/5.X N163/5.X	Nominal voltage ( $U_{nom}$ )	750 V	
	Voltage operating range	87 % $U_{nom}$ – 115 % $U_{nom}$	
	Nominal active power $P_{nom}$ (depending on power mode)	N149/5.X: up to 5900 kW N163/5.X: up to 5700 kW	

Figura 3.6 – Datos nominales de aerogeneradores

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

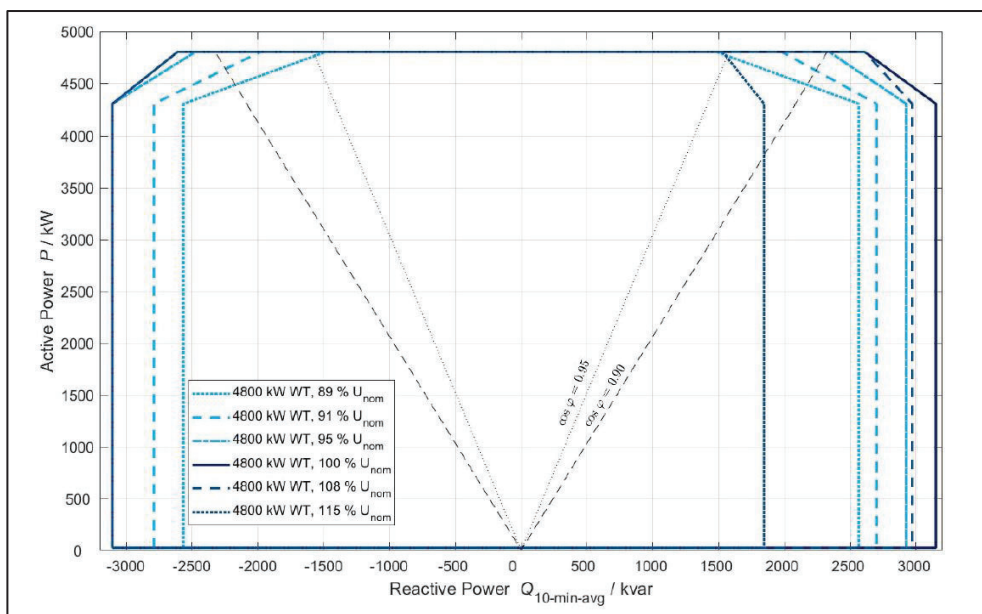


Figura 3.7 – Curva de capacidad del aerogenerador



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

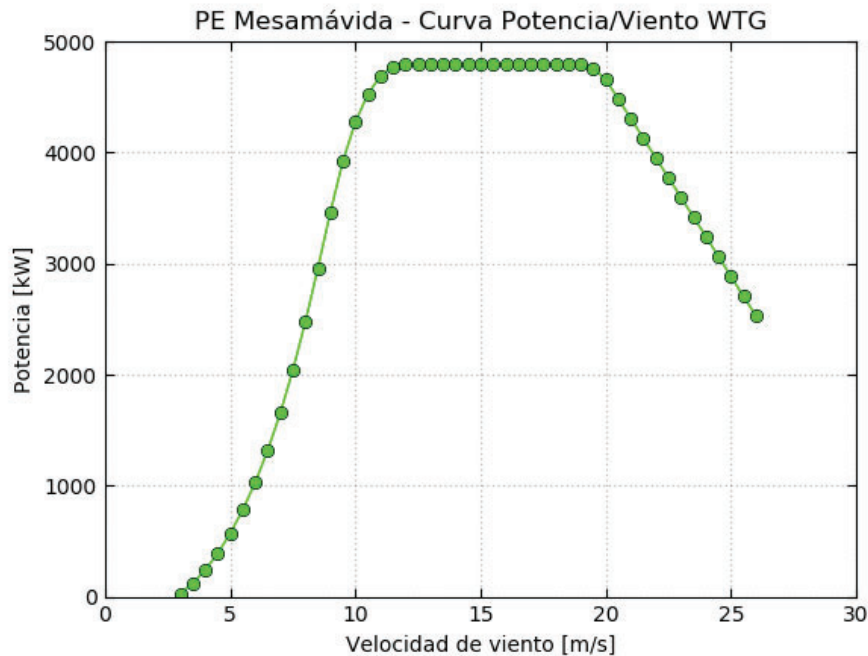


Figura 3.8 – Curva Viento/potencia para los grupos de aerogeneradores

Finalmente, se presentan en la Figura 3.9 antecedentes relacionados al consumo de potencia para alimentar los servicios auxiliares propios de la unidad. Se reporta un valor medio anual de aproximadamente 15 kW.

### 3.4 Auxiliary power of the wind turbine

The auxiliary low voltage required by the wind turbine in stand-by mode and feed-in mode is requested by the following consumers:

- System control including main converter control
- 400 V/230 V auxiliary power of the main converter
- 230 V AC UPS supply including 24 V DC supply
- Yaw system
- Pitch system
- Auxiliary drives such as pumps, fans and lubrication units
- Heating and lighting
- Auxiliary systems such as service lift, obstacle lights

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

Figura 3.9 – Consumos internos 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 5.35 MVA de capacidad nominal, y de relación de transformación de 0.69/30 kV.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Potencia Nominal	5.35 MVA
Refrigeración	KFWF
Tensión nominal lado HV	30 kV
Tensión nominal lado LV	0.69 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia (HV-LV1 y HV-LV2)	9.23 %
Pérdidas en carga	60.116 kW
Pérdidas en vacío	2.84 kW
Posiciones de TAP	+4 x 2.5 %

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque





### 3.4 Datos del transformador de poder

El Parque Eólico Mesamávida cuenta con un transformador de poder de relación 33 kV / 154 kV ( $\pm 12 \times 1.25\%$ ) y 60/80 MVA (ONAN/ONAF) de potencia aparente nominal. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 33 kV y un arrollamiento de alta tensión de 154 kV. Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

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

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Potencia Nominal	60/80 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	154.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd11
Impedancia	12.54 %
Pérdidas en carga	332.36 kW
Pérdidas en vacío	34.7 kW
Posiciones de TAP	$\pm 12 \times 1.25 \%$

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



### 3.5 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Eólico Mesamávida cuenta con un transformador de poder para alimentar sus servicios auxiliares de 75 kVA de potencia aparente nominal. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.4 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

En el documento “MES-D-MCAL-ELE-0007-R00” se realiza el dimensionamiento de los consumos asociados a las instalaciones de 154 kV y 33 kV de la S/E Mesamávida considerando servicios auxiliares en 400/230 Vca.

En la Figura 3.10 se presenta el resumen de cargas asociadas a los servicios auxiliares, se aprecia que el total de consumos esenciales es de 18.3 kW.

Categoría	Potencia [kW]
Total, Consumo Esenciales	18,30
Total, Consumo No Esenciales	14,88
Total, Consumo	33,18

Figura 3.10 – Cargas permanentes en corriente continua



## 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 Mesamávida 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. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	(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 Mesamávida.
- (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 154 kV del transformador principal del parque.



#### 4.1 Ensayo de Potencia Máxima (13 aerogeneradores, Etapa II)

El día 21 de noviembre de 2022 se realizó el ensayo de Potencia Máxima registrando la operación estable del parque completo durante 1 hora y con 13 aerogeneradores en servicio de la segunda etapa.

En la Figura 4.1 se muestra la suma de potencia en bornes de todos los aerogeneradores (“P AERO” en la figura), la potencia medida en 33kV en la entrada del transformador elevador (“P MT” en la figura) y la velocidad del viento para el período de pruebas.

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 AEROS” en la Figura 4.1).

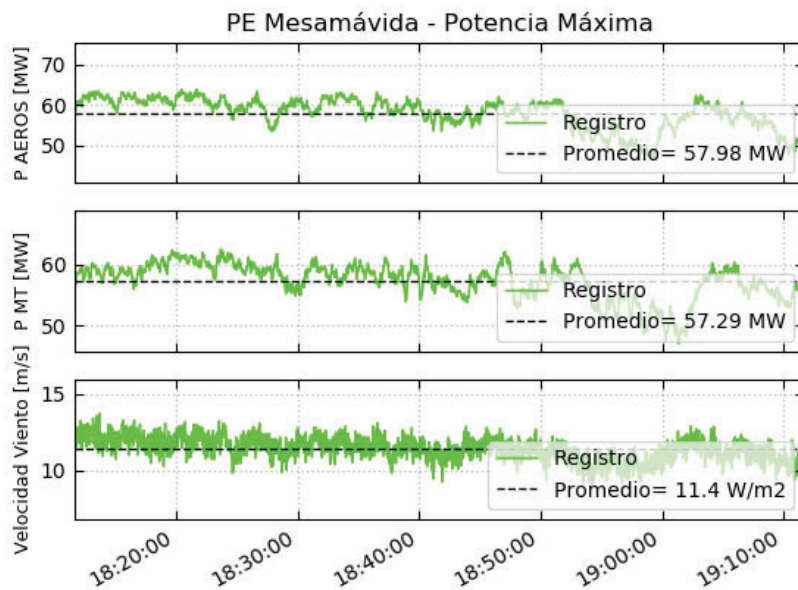


Figura 4.1 – Potencia Máxima – Principales variables

La prueba se ha realizado en condiciones de velocidad de viento cercanas al nominal. Se presentan de forma complementaria en el anexo 7.1 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 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** ( $P_{bruta}$ ) se realiza considerando el registro de potencia de los aerogeneradores (“P AEROS” en la Figura 4.1), a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo (ver Figura 3.9) según la siguiente expresión.

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

$$P_{bruta,ens} = 57.98 \text{ MW} + 13 \times 15 \text{ kW} = 58.18 \text{ MW}$$

Para la determinación de **Potencia Bruta Nominal** ( $P_{bruta,nom}$ ) se considera la operación de la totalidad de aerogeneradores en condición de potencia nominal (la que se ha demostrado en la sección 7.1), el valor queda dado por la siguiente expresión.

$$P_{bruta,nom} = \sum_i P_{AERO,NOMINAL}$$

$$P_{bruta,nom} = 13 \times 4.8 \text{ MW} = 62.4 \text{ MW}$$

### 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 15 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 18.3 kW, según se presenta en la sección 3.5.

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



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

$$P_{SSAA} = 13 \times 15 \text{ kW} + 18.3 \text{ kW} = 213.3 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.2133 \text{ MW}$$

## 4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central

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.

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal,ens}} = 332.36 \text{ kW} \times \left( \frac{58.18 \text{ MW}}{80 \text{ MVA}} \right)^2 = 175.78 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,tr_{ppal,ens}} = 175.78 \text{ kW} + 34.7 \text{ kW} = 210.48 \text{ kW}$$



En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora en la condición de ensayos queda determinado en base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Potencia Máxima, considerando la diferencia entre la potencia medida en los aerogeneradores, los consumos del transformador de servicios auxiliares ( $P_{tr,SSAA}$ ) y la potencia de media tensión ("P MT", ver Figura 4.1).

$$P_{Perd,redMT,ens} = P_{AERO} - P_{tr,SSAA} - P_{MT}$$

$$P_{Perd,redMT,ens} = 57.98 \text{ MW} - 18.3 \text{ kW} - 57.29 \text{ MW} = 671.7 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,central,ens} = 210.48 \text{ kW} + 671.7 \text{ kW} = 882.18 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central,ens} = 0.8822 \text{ MW}$$

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

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

$$P_{perd,central,ens,carga} = 882.18 \text{ kW} - 34.7 \text{ kW} - 13 \times 2.84 \text{ kW} = 810.56 \text{ kW}$$

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

$$P_{perd,central,vacio} = 34.7 \text{ kW} + 13 \times 2.84 \text{ kW} = 71.62 \text{ kW}$$

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.

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

$$P_{perd,central,nom,carga} = 810.56 \text{ kW} \times \left( \frac{62.40 \text{ MW}}{58.18 \text{ MW}} \right)^2 = 932.41 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,central,nom} = 932.41 \text{ kW} + 71.62 \text{ kW} = 1004.03 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central,nom} = 1.004 \text{ MW}$$

A continuación, se realiza el desglose del valor de pérdidas para la condiciones nominales.

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

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal,nom}} = 332.36 \text{ kW} \times \left( \frac{62.4 \text{ MW}}{80 \text{ MVA}} \right)^2 = 202.21 \text{ kW}$$

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

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





$$P_{Perd,tr_{ppal},nom} = 202.21 \text{ kW} + 34.7 \text{ kW} = 236.91 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,nom} = 1004.03 \text{ kW} - 236.91 \text{ kW} = 767.12 \text{ kW}$$

$$P_{Perd,redMT,nom} = 0.7671 \text{ MW}$$

#### 4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en lado de 154 kV del transformador principal. El cálculo de **Potencia Neta Ensayada** se realiza considerando el registro de potencia de media tensión ("P MT" en la Figura 4.1), a lo que debe restarse la potencia de los consumos propios del transformador elevador (ver Tabla 3.2) según la siguiente expresión.

$$P_{neta,ens} = P_{MT} - P_{Perd,tr_{ppal},ens}$$

$$P_{neta,ens} = 57.29 \text{ MW} - 210.48 \text{ kW} = 57.08 \text{ MW}$$

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 nominales, según la siguiente expresión.

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

$$P_{neta,nom} = 62.4 \text{ MW} - 0.2133 \text{ MW} - 1.004 \text{ MW} = 61.1827 \text{ MW}$$



## 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 obtenida en la Etapa II. Se presentan los resultados para las condiciones de ensayo y para las condiciones nominales (etapa II anterior) del Parque Eólico Mesamávida.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	62.4000	0.2133	1.004	61.1827

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida – Condiciones nominales Etapa II

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	58.1800	0.2133	0.8822	57.08

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida – 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 POTENCIA MÁXIMA - 14 AEROGENERADORES (ETAPA III)

Como se ha indicado anteriormente, durante la Etapa III se ha incorporado un nuevo aerogenerador de iguales características a los anteriores. La Figura 5.1 presenta la medición real y con la cual se ha demostrado la capacidad de 4.8 MW de este aerogenerador AE43bis, recientemente incorporado a la operación del parque eólico.

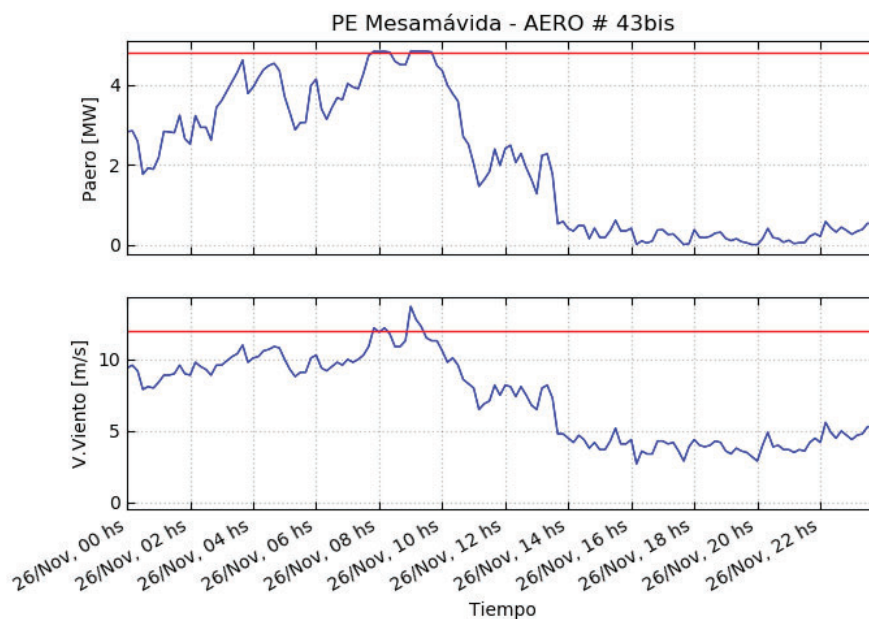


Figura 5.1 – Potencia máxima – AE43bis

A partir de esto, en el presente capítulo se actualizan los valores ya expuestos en el capítulo anterior de potencia bruta, servicios auxiliares, pérdidas en el parque y potencia neta, considerando como base los resultados del capítulo 4 y la capacidad nominal demostrada en la Figura 5.1 del aerogenerador AE43bis.

### 5.1 Cálculos y resultados

En la presente sección se realizará el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.

#### 5.1.1 Potencia Bruta corregida

Para realizar el cálculo pertinente, se considera que todos los aerogeneradores son iguales y que, por lo tanto, la potencia posee una dependencia lineal con el número de aerogeneradores en servicio.



Para la determinación de **Potencia Bruta Nominal** ( $P_{bruta,nom}$ ) se considera la operación de la totalidad de aerogeneradores en condición de potencia nominal (la que se ha demostrado en la sección 7.1), el valor queda dado por la siguiente expresión.

$$P_{bruta,nom} = \sum_i P_{AERO,NOMINAL}$$

$$P_{bruta,nom} = 14 \times 4.8 \text{ MW} = 67.2 \text{ MW}$$

### 5.1.2 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 15 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 18.3 kW, según se presenta en la sección 3.5.

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

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

$$P_{SSAA} = 14 \times 15 \text{ kW} + 18.3 \text{ kW} = 228.3 \text{ kW}$$

$$P_{SSAA} = 0.2283 \text{ MW}$$

### 5.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

Como se ha indicado anteriormente, el valor de pérdidas en vacío de la central se encuentra determinado por la siguiente expresión:

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

$$P_{perd,vacío} = 34.7 \text{ kW} + 14 \times 2.84 \text{ kW} = 74.46 \text{ kW}$$



Por su parte, el valor de pérdidas en carga medido en la etapa II ( $P_{perd,central,med,carga}$ ) debe ser corregido para el despacho en el nuevo escenario nominal (67.2 MW). La siguiente expresión muestra la **Potencia de Pérdidas en la central en carga** ( $P_{perd,central,carga}$ ) en el caso de contar con 14 aerogeneradores disponibles. Cabe mencionar que el valor de pérdidas en vacío no depende de la condición de despacho del parque.

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

$$P_{perd,central,nom,carga} = 810.56 \text{ kW} \times \left( \frac{67.2 \text{ W}}{58.2 \text{ MW}} \right)^2 = 1080.63 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,central,nom} = 1080.63 \text{ kW} + 74.46 \text{ kW} = 1155.09 \text{ kW}$$

$$P_{perd,central,nom} = 1080.63 \text{ kW} + 74.46 \text{ kW} = 1.1551 \text{ MW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas de cada** ( $P_{perd}$ ) debe ser desglosado en los siguientes elementos:

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

A continuación, se realiza el desglose del valor de pérdidas para la condiciones nominales.

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

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



$$P_{Perd,carga,tr_{ppal,nom}} = 332.36 \text{ kW} \times \left( \frac{67.2 \text{ MW}}{80 \text{ MVA}} \right)^2 = 234.51 \text{ kW}$$

Entonces la expresión de pérdidas totales del transformador principal en condiciones de 14 aerogeneradores es la siguiente.

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

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 234.51 \text{ kW} + 34.7 \text{ kW} = 269.21 \text{ kW}$$

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.2692 \text{ MW}$$

En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora en condiciones de 14 aerogeneradores queda determinado por la siguiente ecuación.

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

$$P_{Perd,redMT} = 1155.09 \text{ kW} - 269.21 \text{ kW} = 885.88 \text{ kW}$$

$$P_{Perd,redMT} = 0.8859 \text{ MW}$$

## 5.1.4 Potencia Neta

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 nominales, según la siguiente expresión.

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

$$P_{neta,nom} = 67.2 \text{ MW} - 0.2283 \text{ kW} - 1.1551 \text{ kW} = 65.8166 \text{ MW}$$



## 6 CONCLUSIONES

Se actualiza que la máxima potencia bruta que puede entregar el Parque Eólico Mesamávida, en su etapa III que considera 14 aerogeneradores en servicio y en condiciones de recurso primario nominales es de 67.2 MW, resultando en una potencia neta de 65.8166 MW en el POI. Considerando como imput las pruebas realizadas con 13 aerogeneradores (tabla 6.1) y su extrapolación (tabla 6.3) y finalmente la extrapolación del último aerogenerador con su prueba individual que se muestra en la tabla 6.4. **Cabe destacar que actualmente el Parque Eólico Mesamávida cuenta con una limitación de 60 MW en el punto de interconexión POI, por condiciones de evacuación sistémicas que son consistentes con la aprobación de Acceso Abierto.**

Tablas resumen de resultados.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	58.1800	0.2133	0.8822	57.08

Tabla 6.1 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida – Condición de ensayos Etapa 2

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	62.4000	0.2133	1.004	61.1827

Tabla 6.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida – Condiciones nominales Etapa 2

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	62.9800	0.2283	1.0243 <sup>1</sup>	61.7274

Tabla 6.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida-Condición Ensayo etapa 3

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Mesamávida	67.2000	0.2283	1.1551 <sup>1</sup>	65.8166

Tabla 6.4 – Potencia Máxima – Parque Eólico Mesamávida – Condiciones nominales Etapa 3

Se repetirá el ensayo de potencia máxima con los 14 aerogeneradores cuando las condiciones de recurso eólico lo permitan.

<sup>1</sup> desglosado en 0.2692 MW de pérdidas en el transformador principal y 0.8859 MW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



## 7 ANEXOS

### 7.1 Potencia máxima de aerogeneradores

En la presente sección se muestran los registros de la máxima potencia alcanzada por cada unidad individual del Parque Eólico Mesamávida. Se observa que las unidades superan su valor de potencia nominal de 4.8 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]
AE01	4883.33
AE02	4883.92
AE03	4860.45
AE04	4877.72
AE05	4879.63
AE06	4885.73
AE07	4901.18
AE09	4888.80
AE10	4882.09
AE13	4891.90
AE14	4888.33
AE15	4879.59
AE34bis	5084.66
AE43bis	4842.29
<b>Total</b>	<b>68.53</b> [MW]

Tabla 7.1 – Potencia máxima de cada unidad



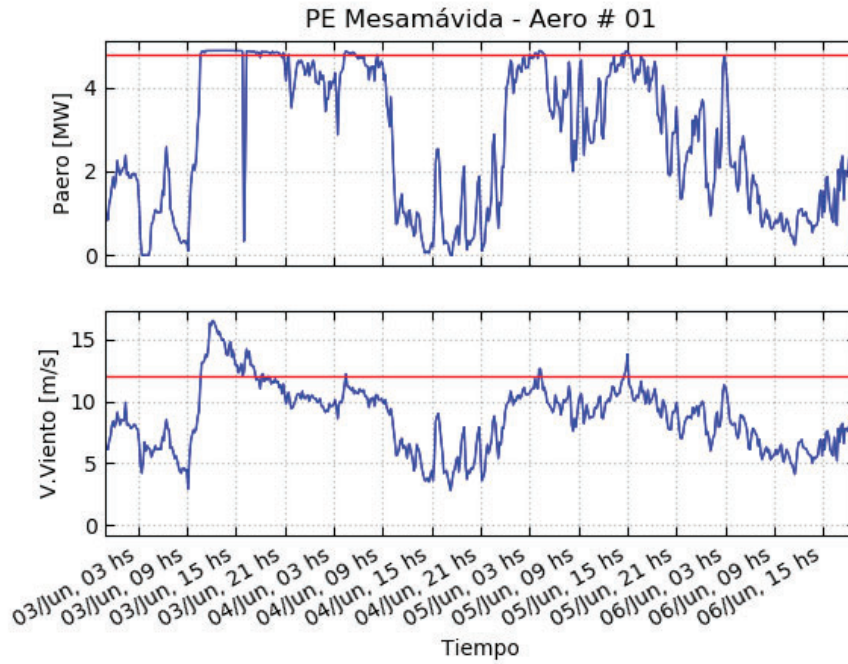


Figura 7.1 – Potencia máxima – AE01

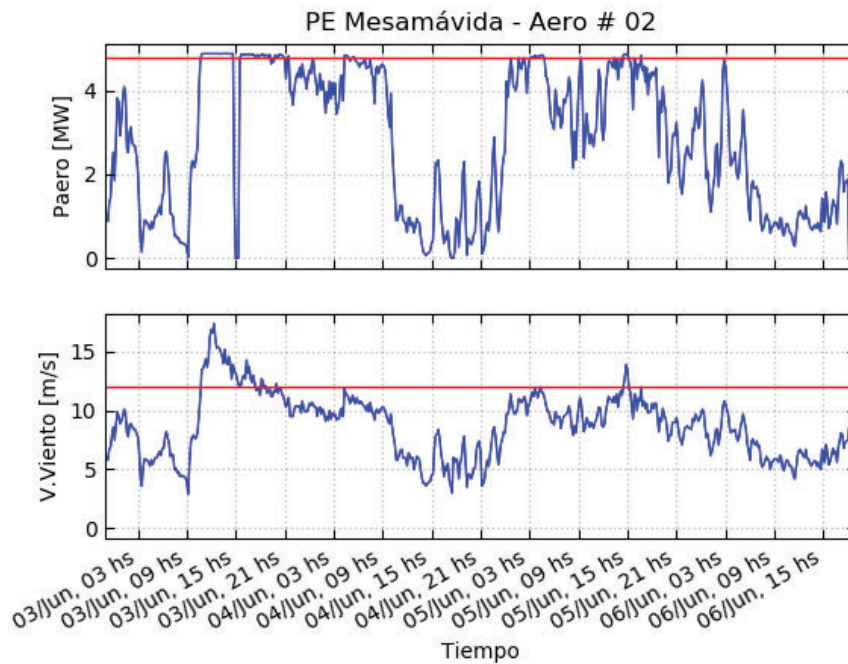


Figura 7.2 – Potencia máxima – AE02

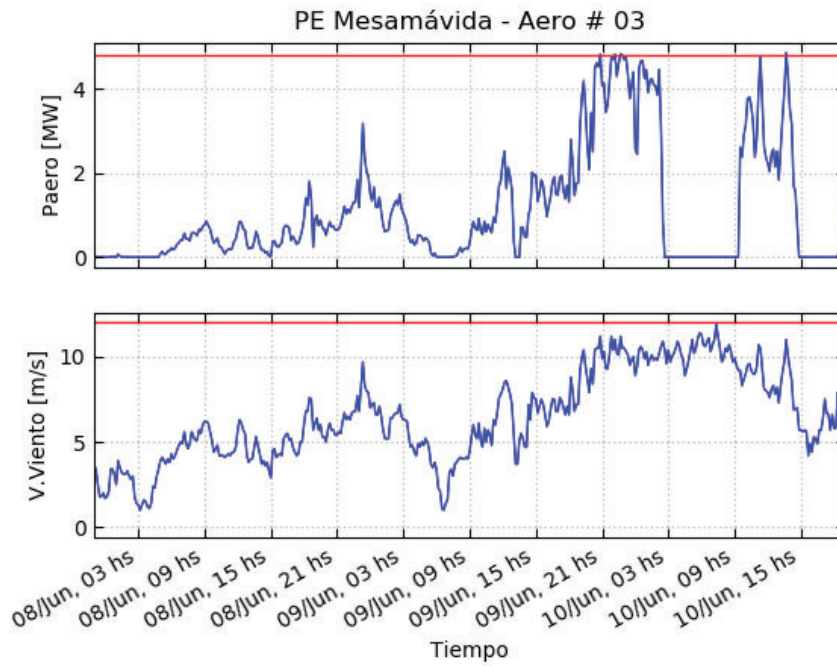


Figura 7.3 – Potencia máxima – AE03

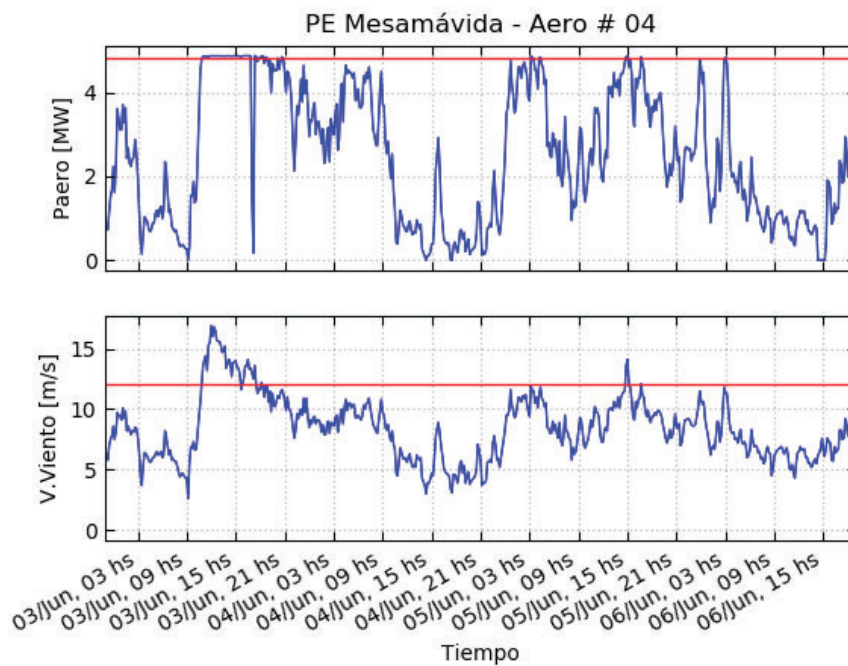


Figura 7.4 – Potencia máxima – AE04

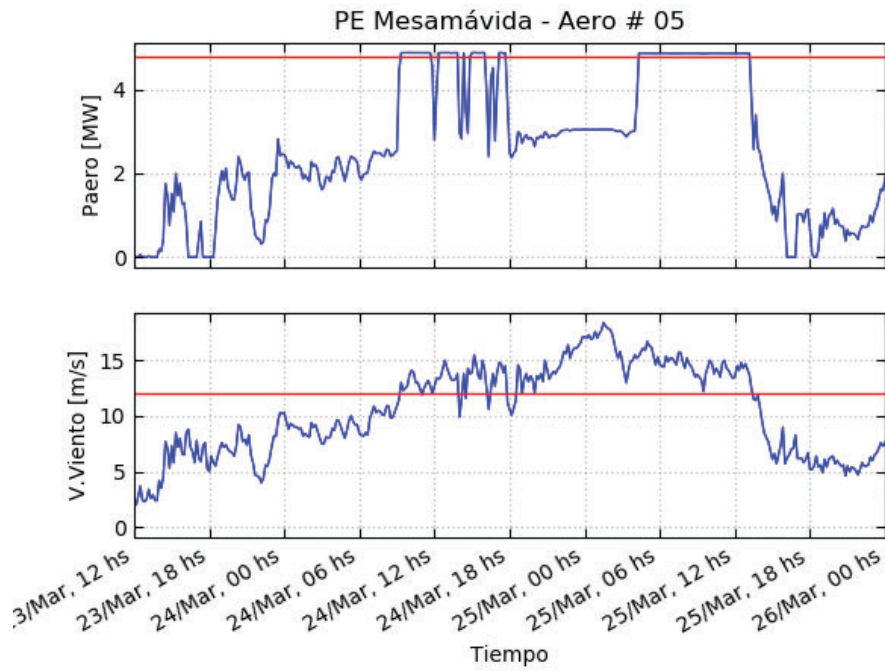


Figura 7.5 – Potencia máxima – AE05

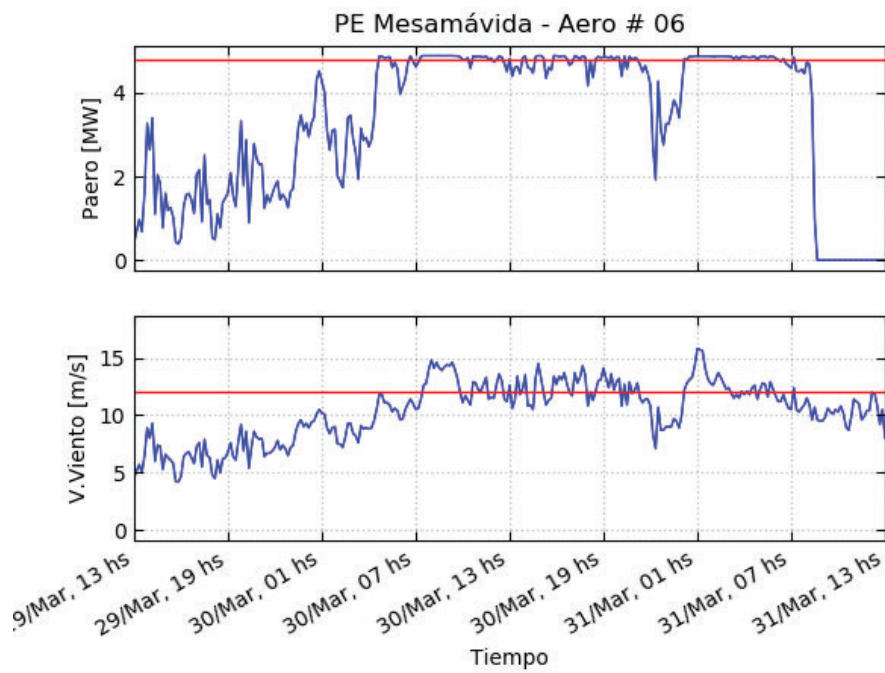


Figura 7.6 – Potencia máxima – AE06

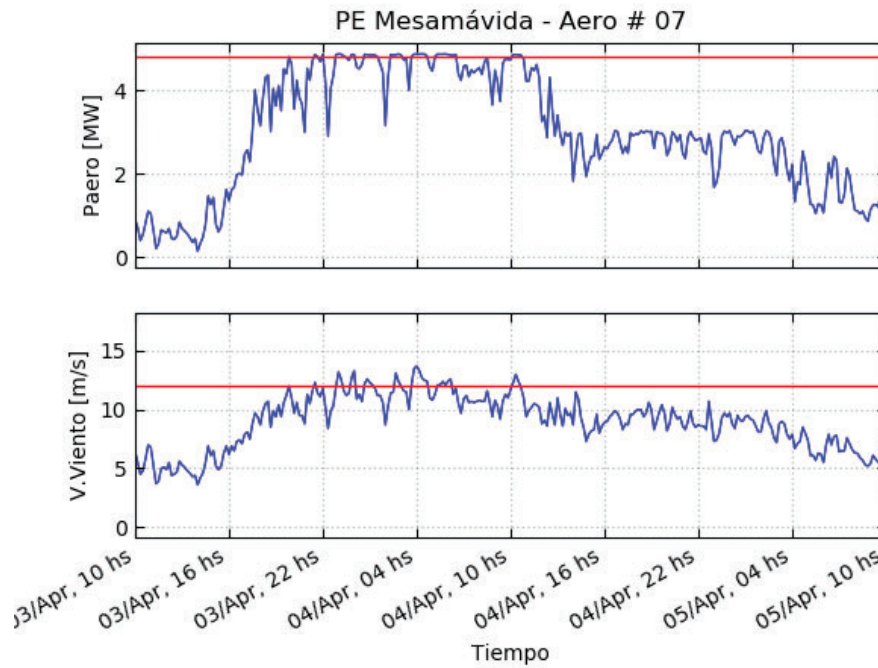


Figura 7.7 – Potencia máxima – AE07

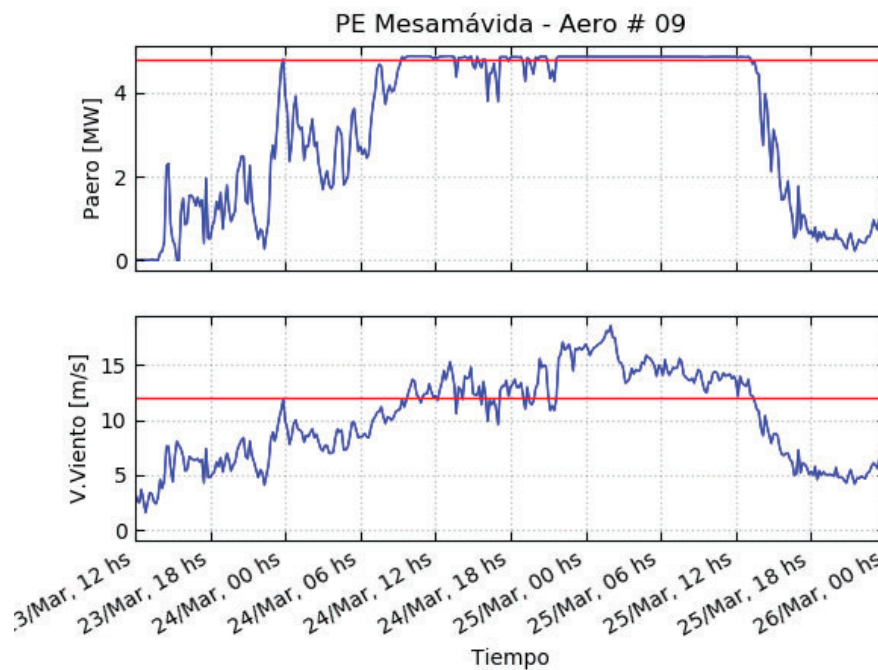


Figura 7.8 – Potencia máxima – AE09

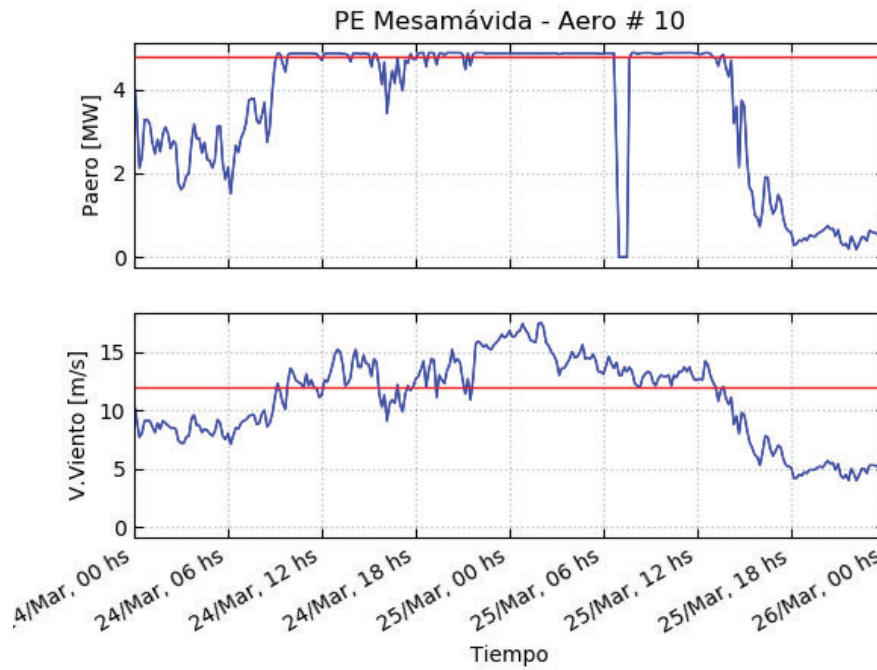


Figura 7.9 – Potencia máxima – AE10

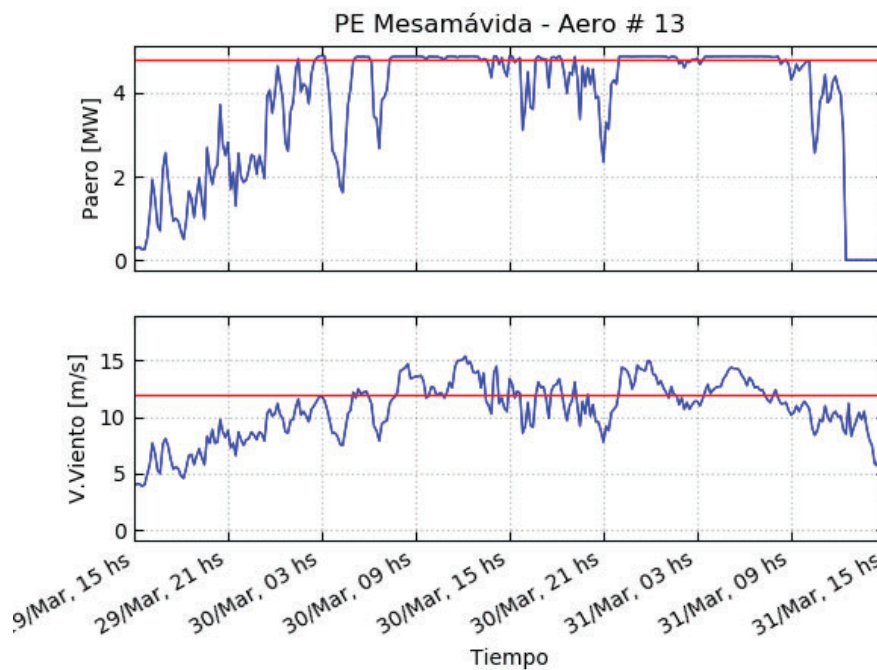


Figura 7.10 – Potencia máxima – AE13

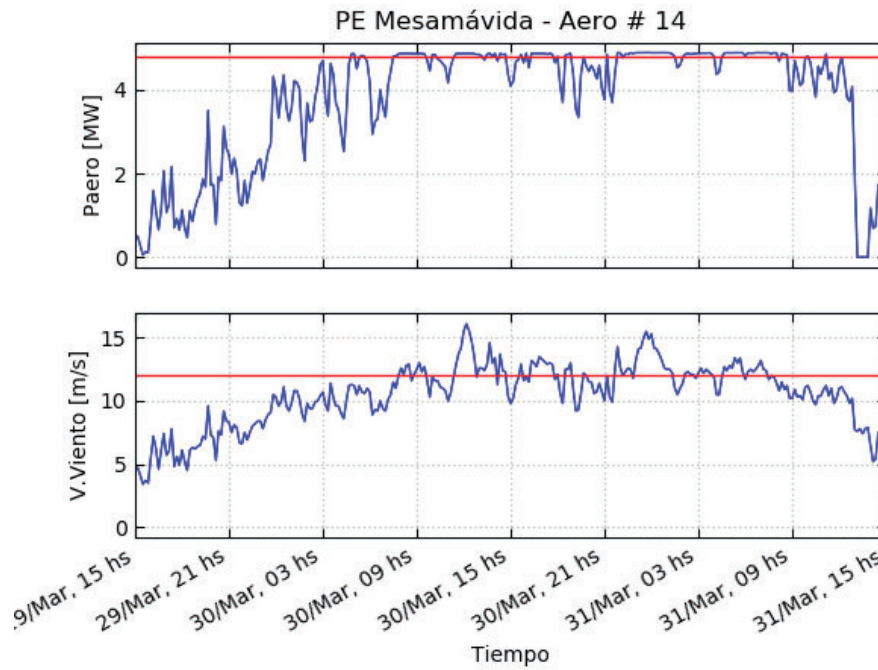


Figura 7.11 – Potencia máxima – AE14

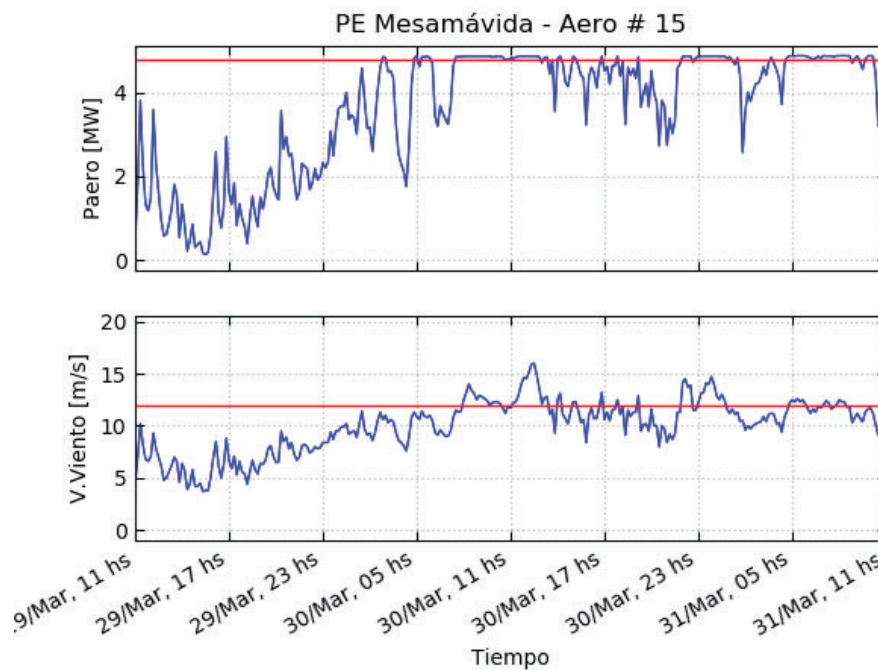


Figura 7.12 – Potencia máxima – AE15

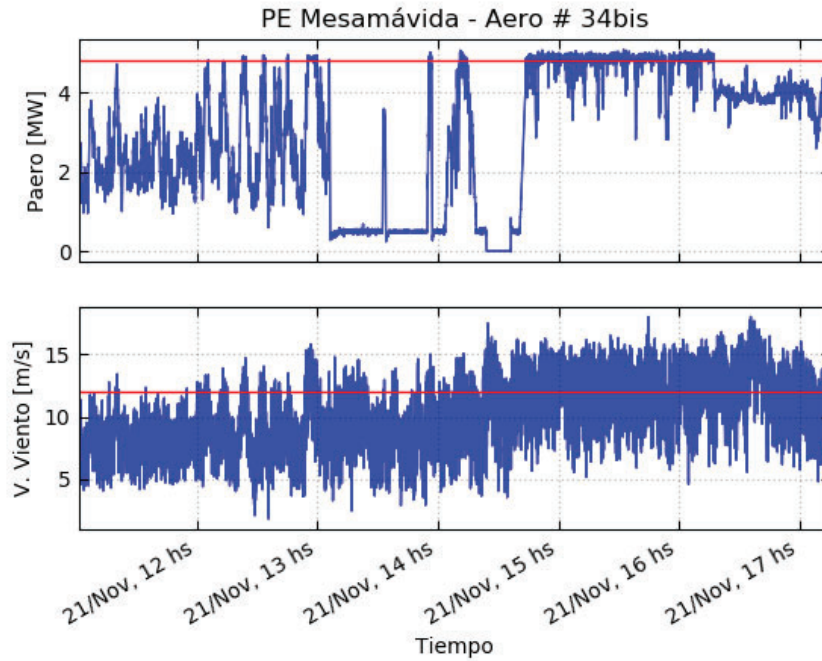


Figura 7.13 – Potencia máxima – AE34bis

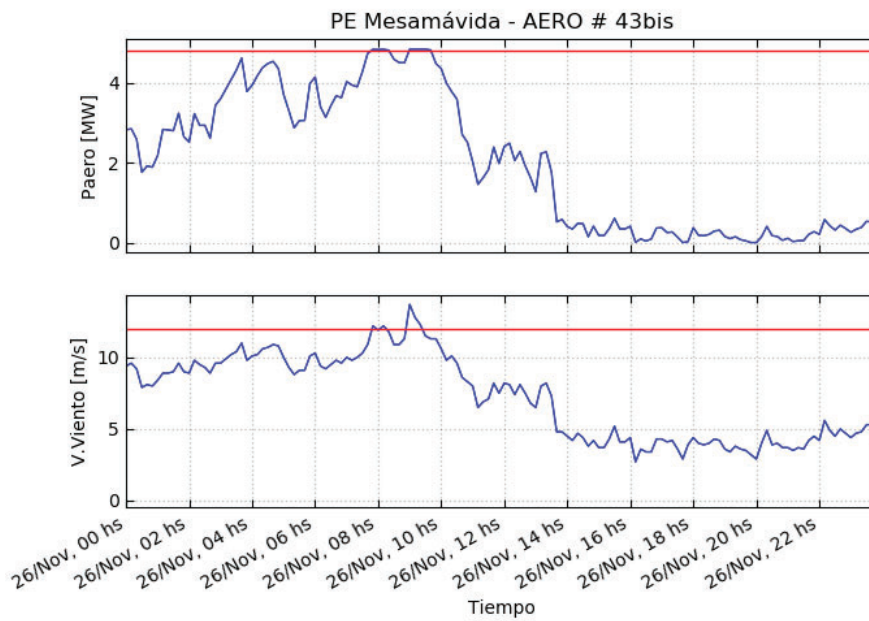


Figura 7.14 – Potencia máxima – AE43bis



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.