

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

**ENGIE**  
**Chile**  
**Parque Eólico Calama**  
**Informe de Potencia Máxima**



**CÓDIGO DE PROYECTO** EE-2019-259  
**CÓDIGO DE INFORME** EE-EN-2023-1369  
**REVISIÓN** B

**22 nov. 23**



Este documento **EE-EN-2023-1369-RB** fue preparado para ENGIE 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 39 páginas y ha sido guardado por última vez el 22/11/2023 por César Colignon; 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>	31.10.2023	Para presentar	JP	CiC	AC
<b>B</b>	22.11.2023	Correcciones según observaciones cliente	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

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>4</b>
	1.1 Fecha ensayo y personal auditor .....	4
	1.2 Medidores utilizados .....	4
	1.3 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
	3.1 Datos de los aerogeneradores .....	15
	3.2 Datos de los transformadores de bloque.....	17
	3.3 Datos del transformador principal .....	18
	3.4 Bancos de condensadores.....	19
	3.5 Datos de consumos de SSAA de planta .....	19
<b>4</b>	<b>DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA.....</b>	<b>20</b>
	4.1 Ensayo de Potencia Máxima.....	21
	4.1.1 Potencia Bruta Medida .....	23
	4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares .....	23
	4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central .....	23
	4.1.4 Potencia Neta .....	25
	4.1.5 Resultados .....	25
	4.2 Cálculos y resultados en condiciones de potencia máxima histórica.....	26
	4.2.1 Potencia Bruta .....	26
	4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares .....	26
	4.2.3 Potencia de Pérdidas en la Central.....	27
	4.2.4 Potencia Neta .....	28
	4.2.5 Resultados .....	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>31</b>
	6.1 Registro histórico de generación por aerogenerador.....	31
	6.2 Certificado de calibración del medidor de energía.....	38



# 1 Introducción

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Calama 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.

La determinación de la Potencia Máxima realizada en el contexto de la entrada en operación del parque se muestra en el documento: “EE-EN-2021-1670-RB\_Potencia\_Maxima\_PE\_Calama”.

El Parque Eólico Calama se encuentra ubicado en la comuna de Calama, región de Antofagasta. Está constituido por 36 aerogeneradores marca SIEMENS GAMESA, modelo CR45-6P. El parque se encuentra en un proceso de ampliación que consiste en una modificación de software de los aerogeneradores que permite un aumento de la capacidad de las unidades de 4.2 MW a 4.5 MW cada uno, totalizando una nueva capacidad instalada de 162.0 MW según se describe en el NUP 3126.

Cada aerogenerador cuenta con un transformador de bloque de 5.5 MVA (AF) y relación 0.69 kV / (33 kV  $\pm$  2 x 2.5%), que interconecta la salida de cada aerogenerador con la red de MT.

La red colectora del Parque Eólico Calama cuenta con 9 alimentadores en 33 kV que se conectan a la barra principal de 33 kV de la S/E PE Calama. Luego, un transformador de poder de relación 33 kV / (220 kV  $\pm$  11 x 1.25%) de 106/146/175 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2) de potencia aparente nominal permite la inyección de potencia generada al Sistema Eléctrica Nacional mediante una derivación de la línea 1x220 Calama – Lasana.

## 1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Iñaki Cubillos	11 de octubre de 2023

Tabla 1.1 – Personal participante

## 1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	Precisión
Analizador de energía	Janitza	UMG 512-pro	$\pm$ 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 adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 4 segundos para todas las mediciones de aerogeneradores.

### 1.3 Nomenclatura utilizada

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

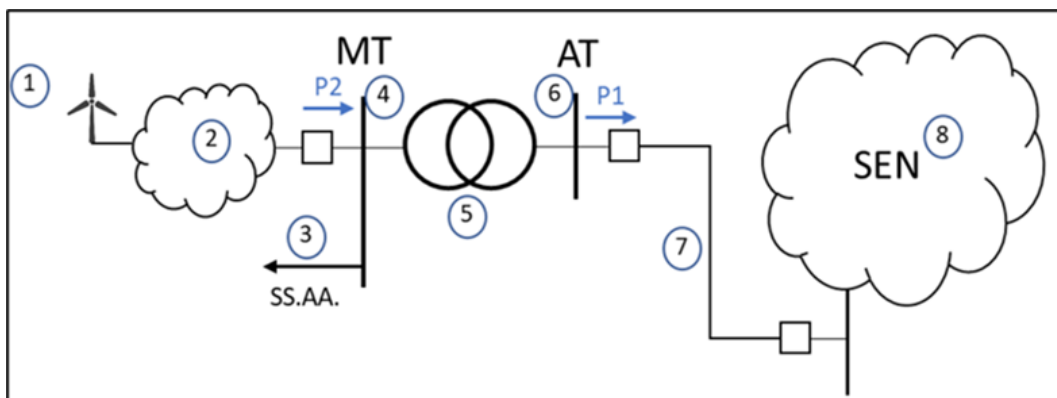


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 1) **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del parque eólico.
- 2) **Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector):** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
- 3) **Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.).**
- 4) **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque eólico.
- 5) **Transformador de Poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque eólico.
- 6) **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque eólico.
- 7) **Línea dedicada de la central:** Línea de alta tensión que vincula el parque eólico con el sistema eléctrico.
- 8) **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**



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).
- ✓ **Pneta,med:** Potencia neta sin corregir.
- ✓ **Pbruta,med:** Potencia bruta sin corregir.
- ✓ **Pbruta,max:** Potencia bruta corregida a valores máximos.



## 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 Calama está constituido por 36 aerogeneradores SIEMENS GAMESA modelo CR45-6P de 4.5 MVA de potencia aparente nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Cada aerogenerador cuenta con un transformador de bloque de 5.5 MVA (AF) y relación 0.69 kV / (33 kV  $\pm$  2 x 2.5%), que interconecta la salida de cada aerogenerador con la red de MT.

La red colectora del Parque Eólico Calama cuenta con 9 alimentadores en 33 kV que se conectan a la barra principal de 33 kV de la S/E Parque Eólico Calama. En cada alimentador se interconectan 4 aerogeneradores. Adicionalmente, la red interna tiene 2 alimentadores con bancos de capacitores de 10 MVAR de capacidad cada uno,

Finalmente, un transformador de poder de relación 33 kV / (220 kV  $\pm$  11 x 1.25%) de 106/146/175 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2) de potencia aparente nominal permite la inyección de la potencia generada al Sistema Eléctrica Nacional mediante una derivación de la línea 1x220 Calama – Lasana.

### 3.1 Unifilar de planta

A continuación, se presenta en la Figura 3.1 el diagrama unifilar de la S/E Parque Eólico Calama. En tanto, en las Figura 3.2 a Figura 3.10, se presenta el detalle de cada alimentador de 33 kV.





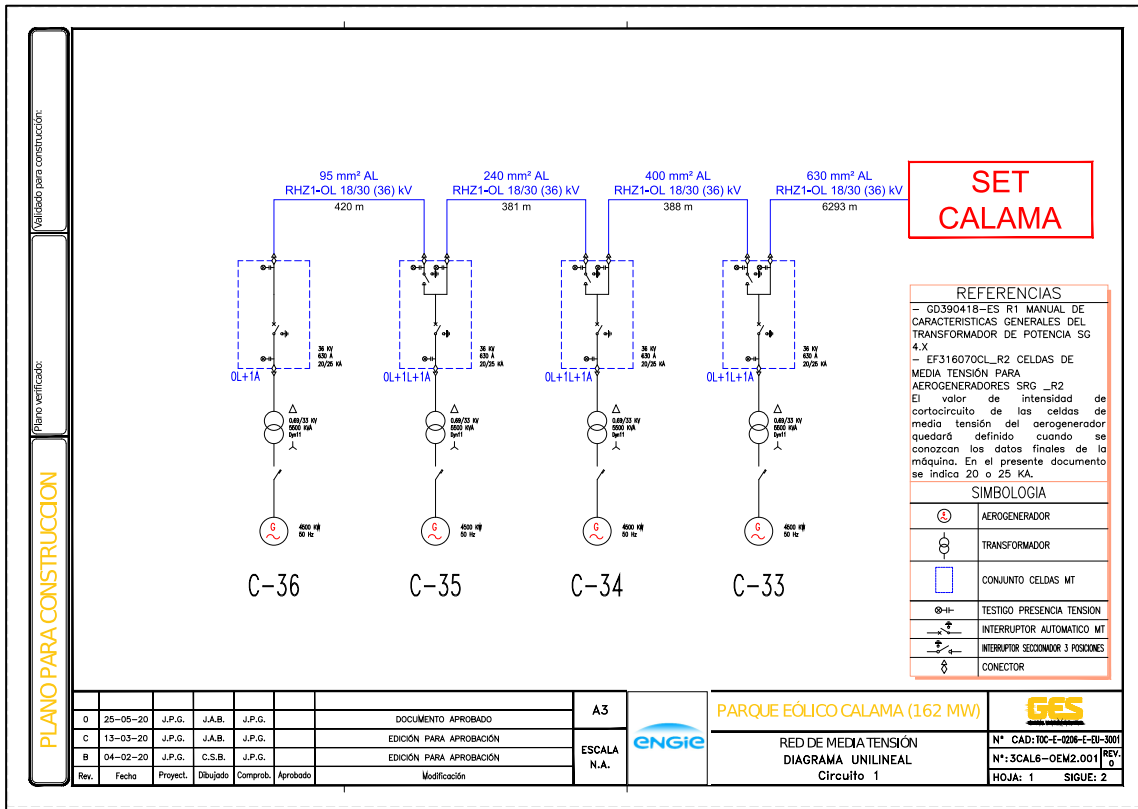


Figura 3.2 – Diagrama unilineal circuito colector 1

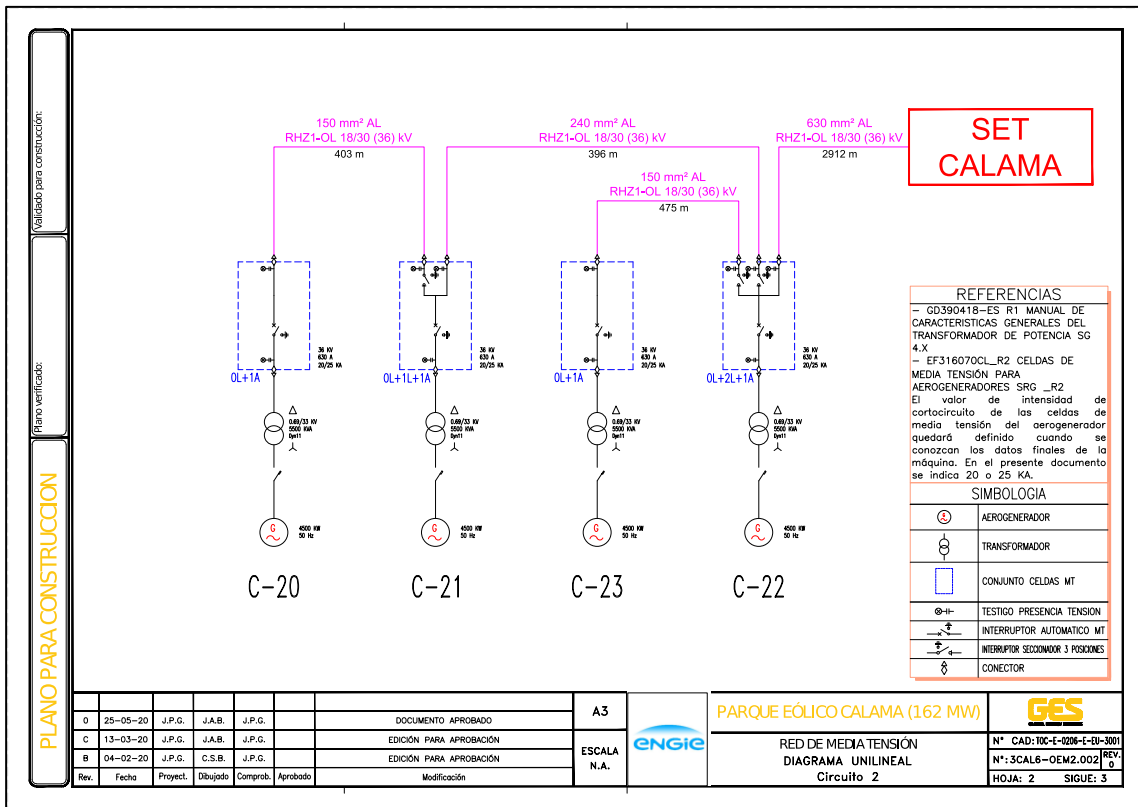


Figura 3.3 – Diagrama unilineal circuito colector 2

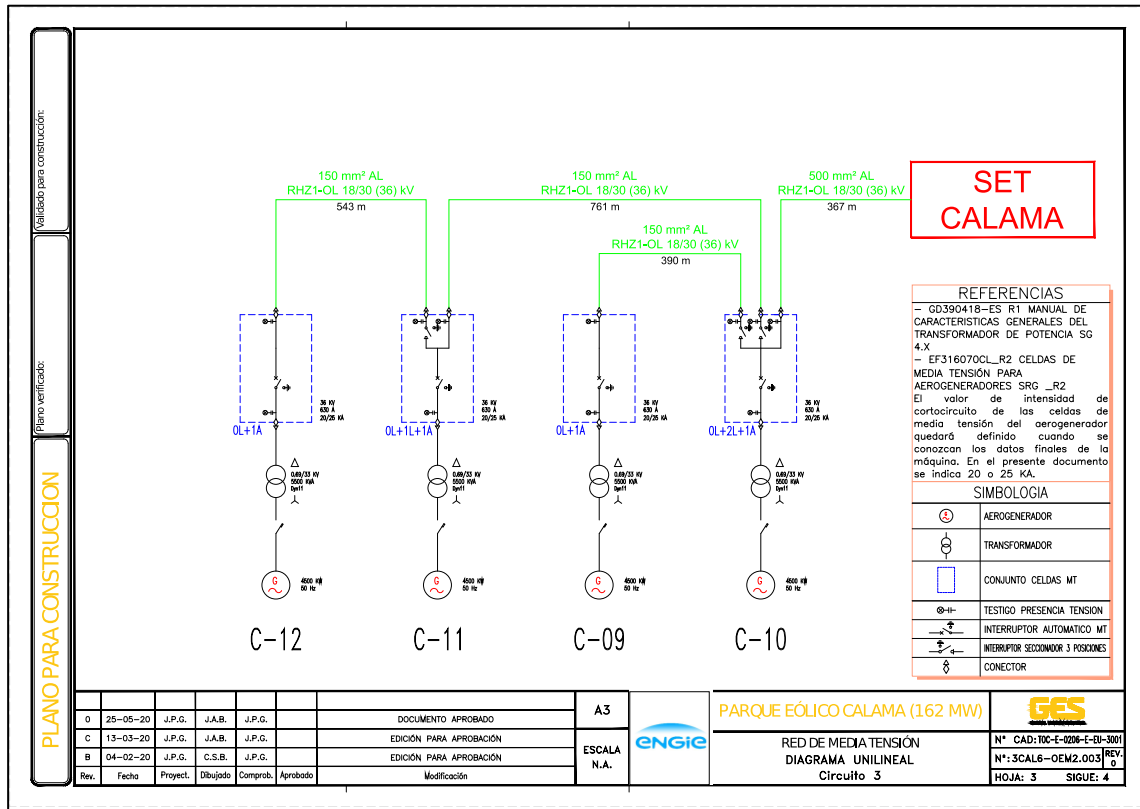


Figura 3.4 – Diagrama unilineal circuito colector 3

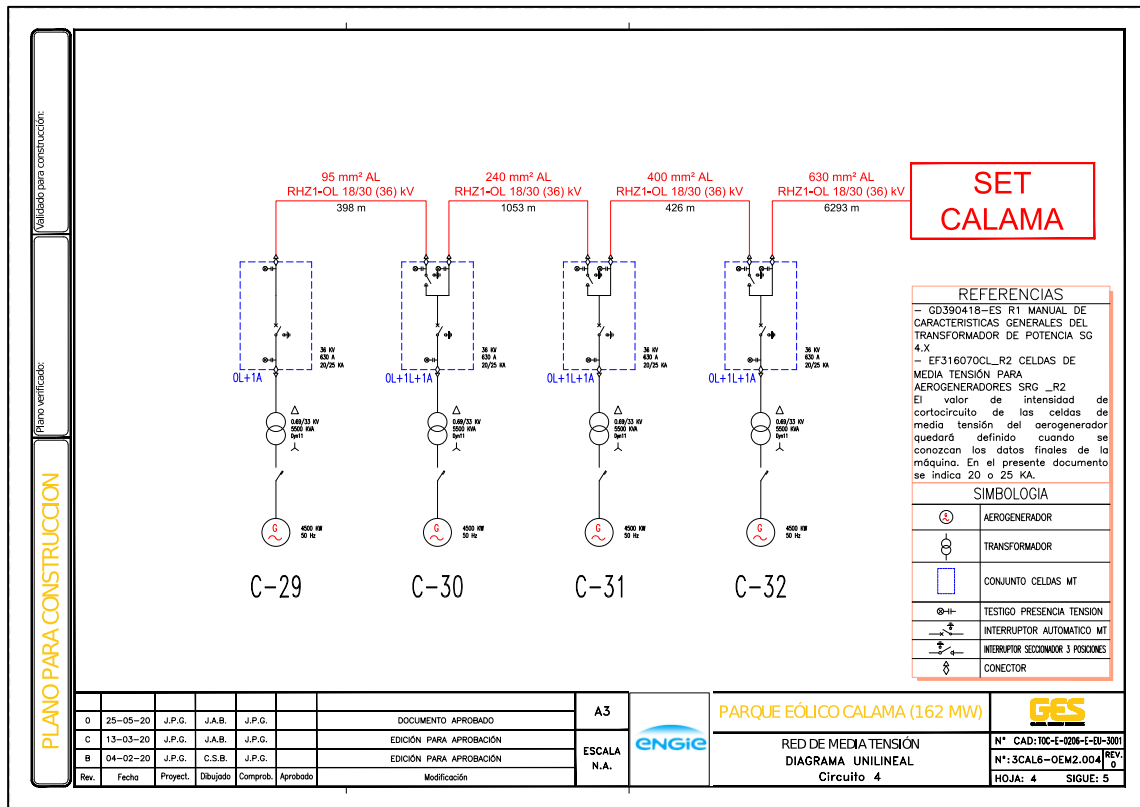


Figura 3.5 – Diagrama unilineal circuito colector 4

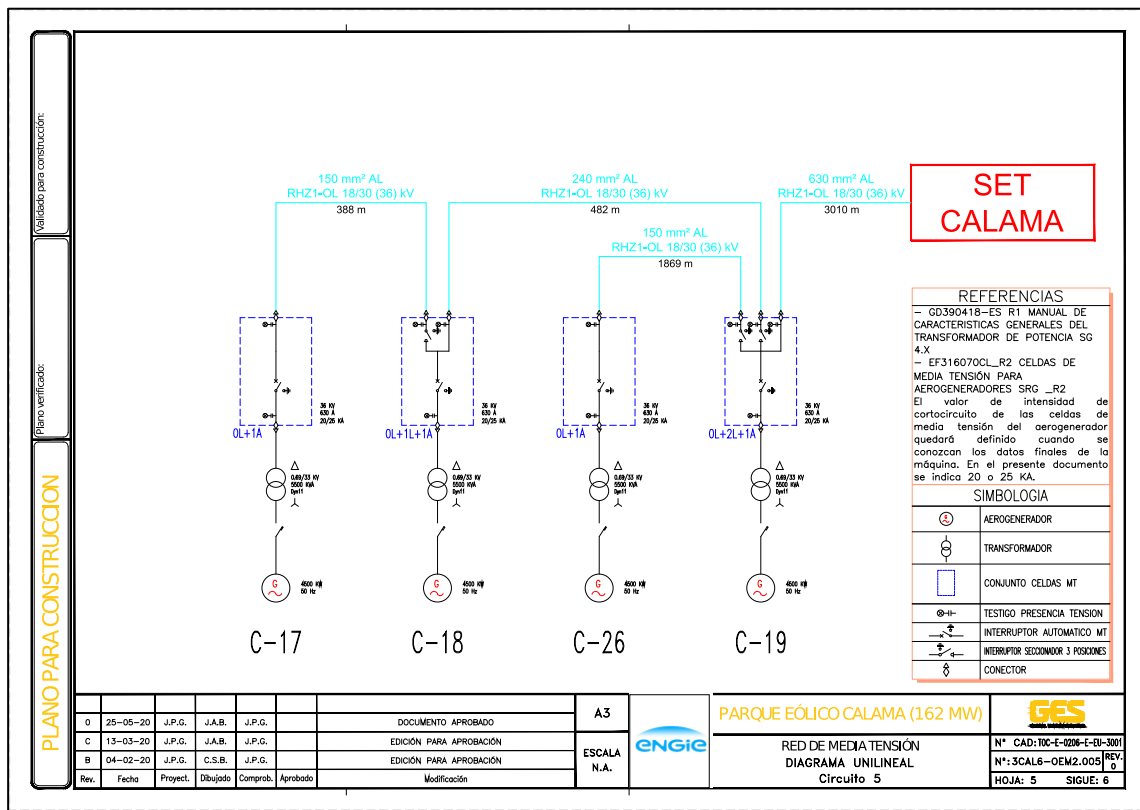


Figura 3.6 – Diagrama unilineal circuito colector 5

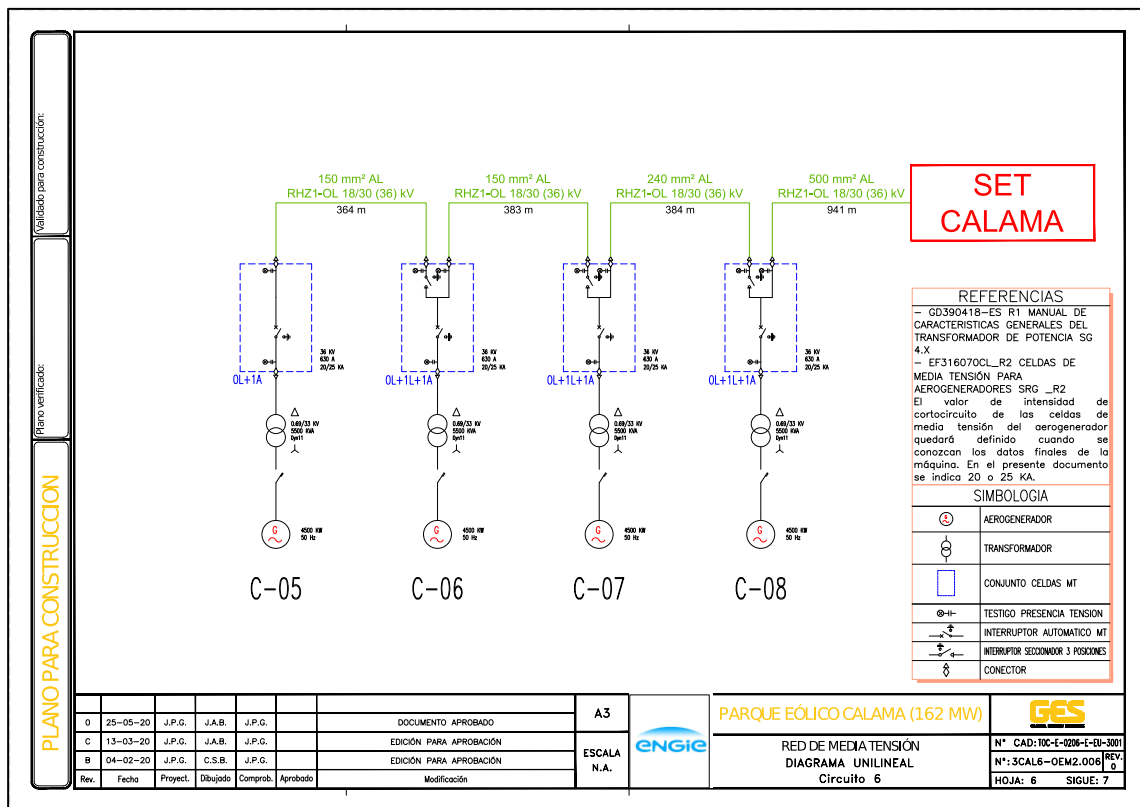


Figura 3.7 – Diagrama unilineal circuito colector 6

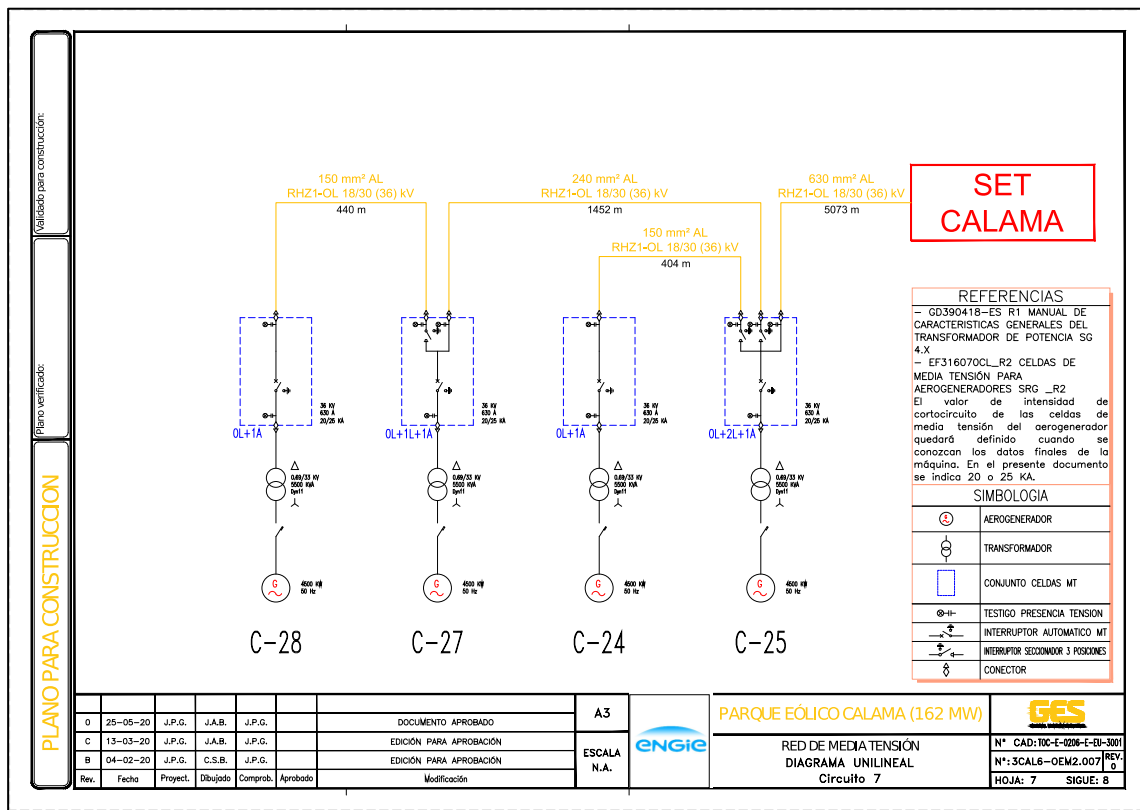


Figura 3.8 – Diagrama unilineal circuito colector 7

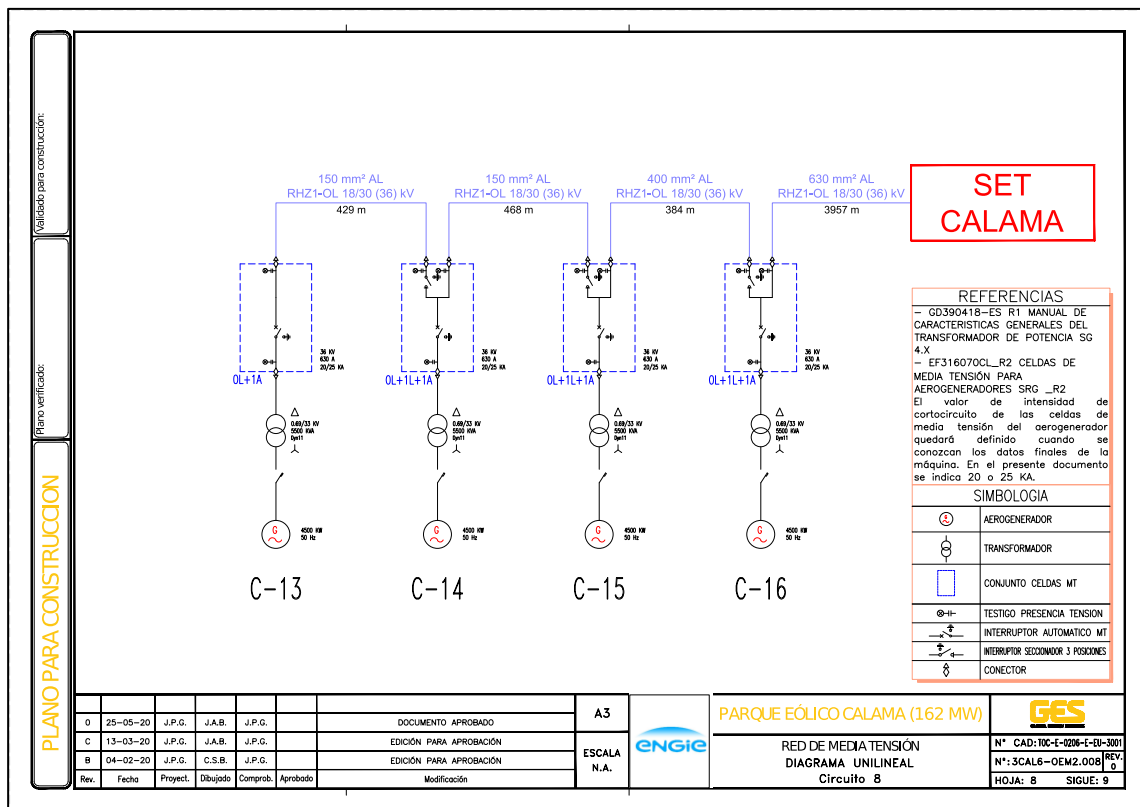
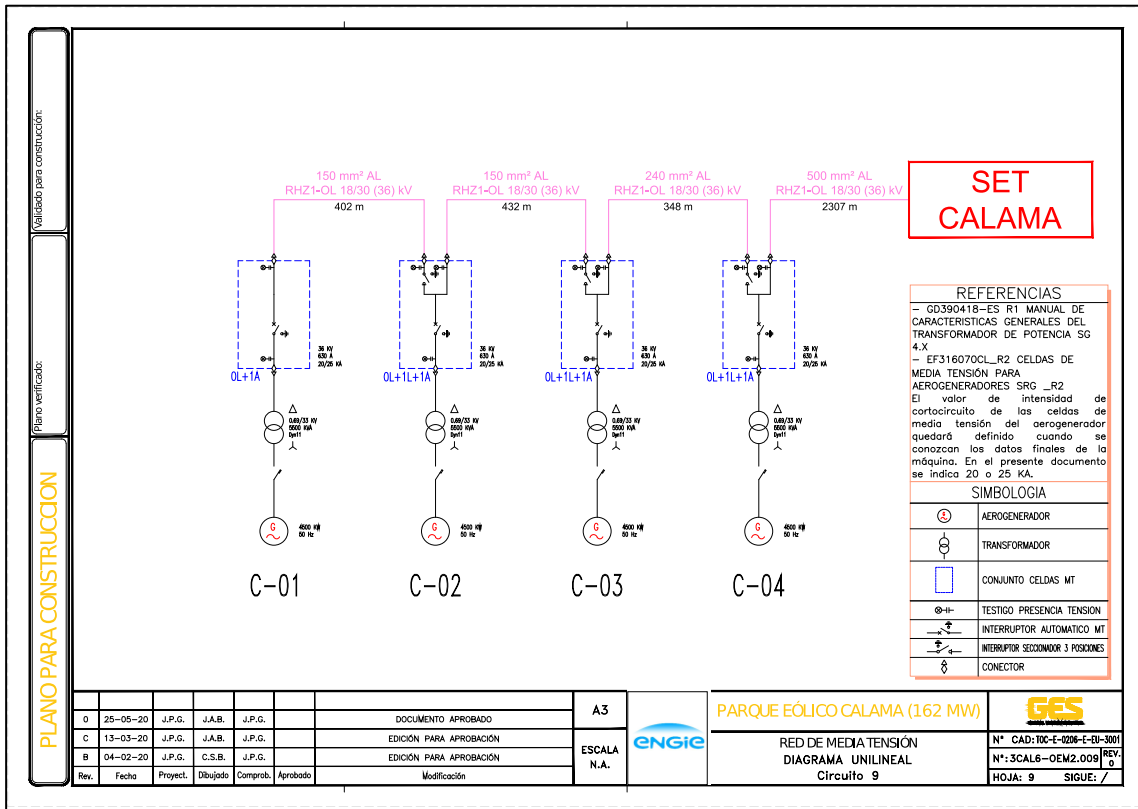


Figura 3.9 – Diagrama unilineal circuito colector 8





### 3.1 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Calama cuenta con 36 aerogeneradores marca SIEMENS GAMESA, modelo CR45-6P, de 4.5 MW de capacidad nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Se presentan en la Figura 3.11 las características nominales de los aerogeneradores.

Los aerogeneradores son del tipo 3, es decir, generadores de inducción doblemente alimentados y cuentan con un convertidor de potencia en el enrollado del rotor.

<b>Potencia nominal</b>	4,5 MW
<b>Frecuencia</b>	50Hz / 60Hz
<b>Diámetro del rotor</b>	145 m
<b>Ángulo de la punta de la pala</b>	Regulación del control del paso
<b>Referencia de la densidad del aire</b>	1,225 kg/m <sup>3</sup>

Figura 3.11 – Datos nominales de aerogeneradores

La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 3.12.

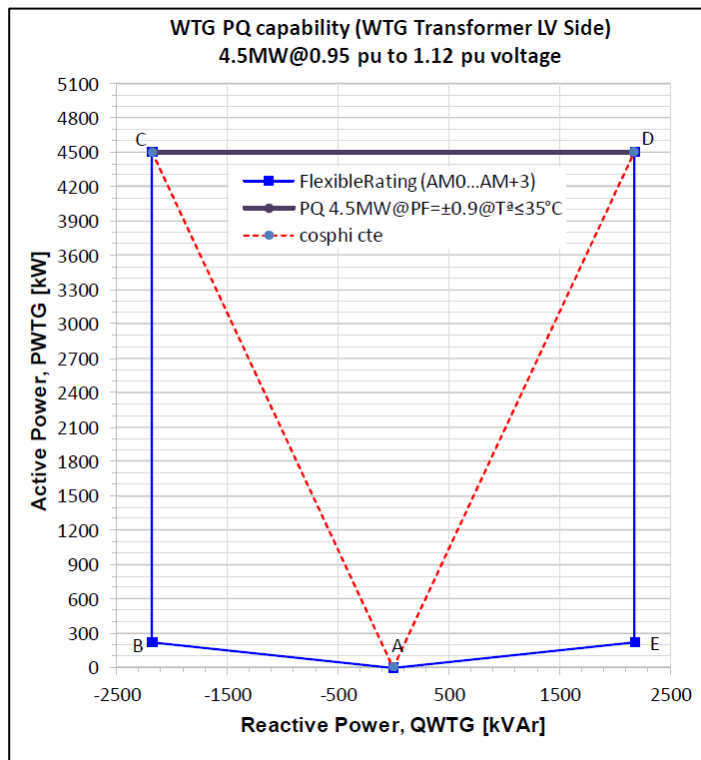


Figura 3.12 – Curva de capacidad del aerogenerador



Finalmente se presenta en la Figura 3.13 la curva de potencia según velocidad del viento del aerogenerador.

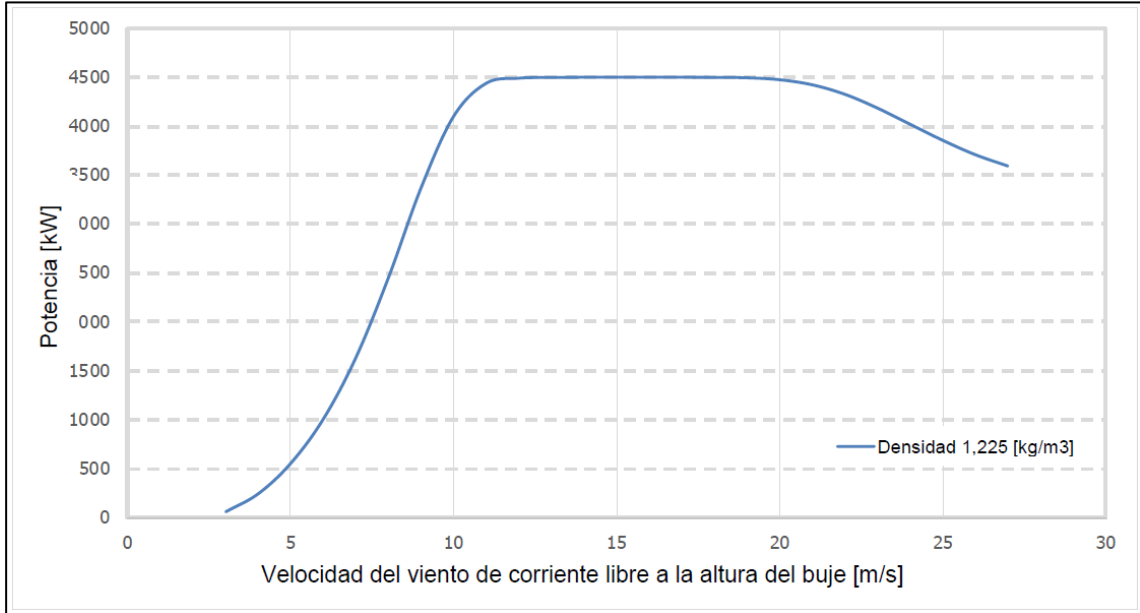


Figura 3.13 – Curva Viento/potencia para los grupos de aerogeneradores





### 3.2 Datos de los transformadores de bloque

El Parque Eólico Calama cuenta con 36 transformadores de bloque de 5.5 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 que 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.

<b>Característica</b>	<b>Nominal</b>
<b>Potencia Nominal</b>	5.5 MVA
<b>Refrigeración</b>	AF
<b>Tensión nominal lado HV</b>	33 kV
<b>Tensión nominal lado LV</b>	0.69 kV
<b>Grupo de conexión</b>	Dyn11
<b>Impedancia (HV-LV)</b>	8.89 %
<b>Pérdidas en carga</b>	38.77 kW
<b>Pérdidas en vacío</b>	7.8 kW
<b>Posiciones de TAP</b>	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



### 3.3 Datos del transformador principal

El Parque Eólico Calama cuenta con un transformador principal, ubicado en la S/E Elevadora PE Calama. Es de potencia nominal 106/146/175 MVA según método de enfriamiento ONAN/ONAF1/ONAF2. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 33 kV y un arrollamiento de alta tensión de 220 kV. El transformador posee cambiador de tomas bajo carga.

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

Parámetros	Valor nominal
Potencia Nominal	106/146/175 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF1/ONAF2
Tensión nominal lado HV	220.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd1
Impedancia	19.88 %
Pérdidas en carga	555.61 kW
Pérdidas en vacío	57.75 kW
Posiciones de TAP	$\pm 11 \times 1.25$ %

Tabla 3.2 – Datos del transformador principal



### 3.4 Bancos de condensadores

El Parque Eólico Calama cuenta con 2 bancos de capacitores, de capacidad nominal 10 MVAR cada uno. Se presentan en la Tabla 3.3 los parámetros más relevantes para su modelado.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Potencia Nominal</b>	10 MVAR
<b>Tensión Nominal</b>	33 kV
<b>N° de etapas</b>	1
<b>Capacidad instalada por etapa</b>	11.900 MVAR @36 kV

Tabla 3.3 – Datos de los bancos de capacitores

### 3.5 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Eólico Calama cuenta con dos transformadores trifásico de poder para alimentar sus servicios auxiliares de 100 kVA de potencia aparente nominal cada uno. Estos transformadores cuentan con un devanado de baja de 380 V y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

El consumo total de los transformadores de SSAA corresponde a 10.0 kW estables según se ha presentado en el documento *EE-EN-2021-1670-RA\_Potencia\_Maxima\_PE\_Calama*.

Se adjunto el registro obtenido de los transformadores de servicios auxiliares durante un período de operación estable de 1 hora.

Adicionalmente, se cuenta con el registro de los consumos auxiliares de cada aerogenerador durante el período de pruebas. Este valor debe ser sumado al valor de potencia activa medido a la salida de los aerogeneradores para obtener el valor de potencia bruta.



## 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 Calama se cuenta con mediciones de la Potencia Neta proveniente de los aerogeneradores, de la Potencia Neta registrada en el POI, Potencia de SSAA de cada aerogenerador y mediciones de la velocidad del viento, que incide directamente en la producción de las unidades.

El ensayo de potencia máxima realizado el día 11 de octubre de 2023 es utilizado para el dimensionamiento de la potencia de pérdidas y potencia de servicios auxiliares en una condición de operación real, con el objetivo de extrapolar dichos valores a la condición de potencia máxima del parque estimada en base a los registros históricos presentados en el anexo 6.1.

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]
Calama	(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 Calama.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador, más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque.



## 4.1 Ensayo de Potencia Máxima

El día 11 de octubre de 2023 se realizó el ensayo de Potencia Máxima considerando el parque completamente operativo y en la mejor condición de viento disponible en los días de ensayo.

En la Figura 4.1 se presenta la suma de potencia medida en bornes de todos los aerogeneradores y la suma de los consumos auxiliares de cada unidad. En tanto, la Figura 4.2 muestra la potencia neta del parque, registrada en el lado de 220 kV del transformador principal del Parque Eólico Calama.

En la Figura 4.3 se muestra el registro de viento del día completo marcando el período considerado en el ensayo de Potencia Máxima.

A continuación, se realiza el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.

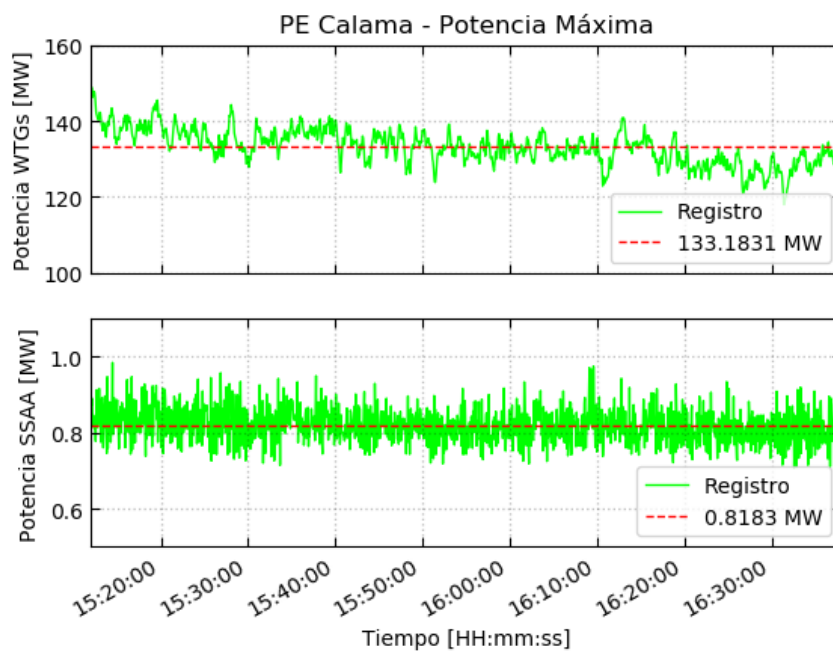


Figura 4.1 – Potencia Máxima – Potencia aerogeneradores y consumos propios

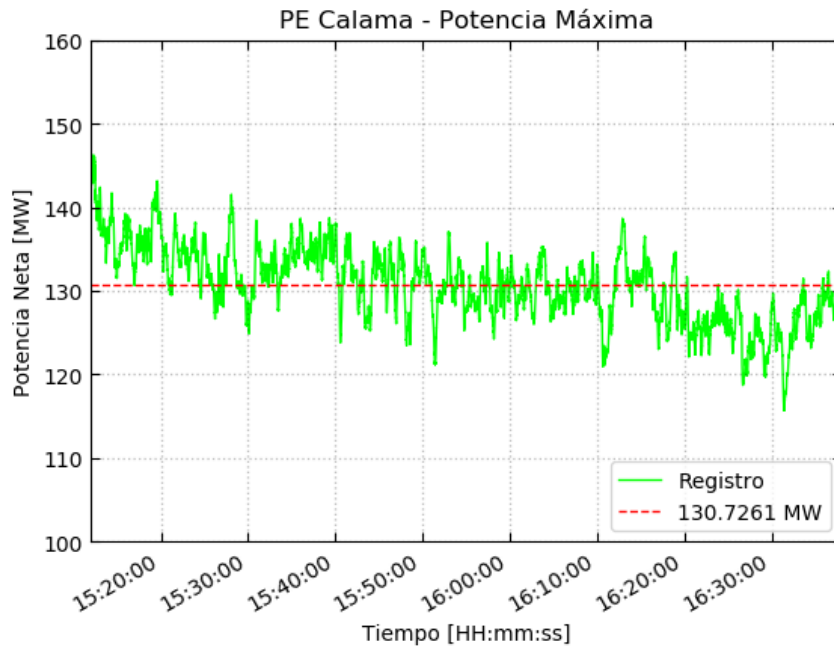


Figura 4.2 – Potencia Máxima – Potencia Neta

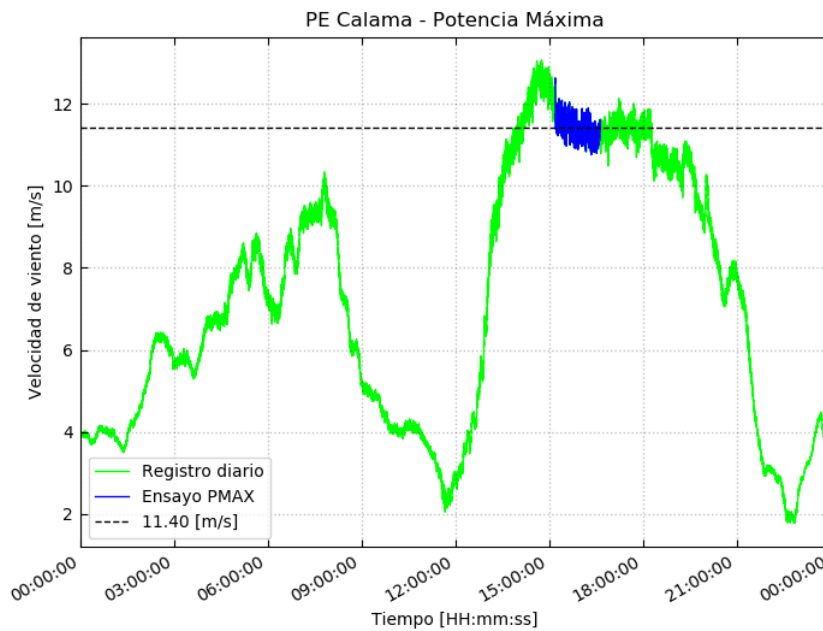


Figura 4.3 – Potencia Máxima – Velocidad del viento



#### 4.1.1 Potencia Bruta Medida

La medición de potencia de los aerogeneradores presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes de los equipos, en un punto posterior a la medición de servicios auxiliares de la propia turbina, por lo tanto, para obtener la **Potencia Bruta**, se le deben sumar los consumos propios de los aerogeneradores.

$$P_{bruta,ens} = \sum_i P_{WTG_i} + \sum_i P_{SSAA_i}$$

$$P_{bruta,ens} = 133.1831 \text{ MW} + 0.8183 \text{ MW} = 134.0014 \text{ MW}$$

#### 4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador más los Servicios Auxiliares del parque.

En la Figura 4.1 se muestra el registro del total de consumos de todos los aerogeneradores. En tanto, el consumo del transformador de SSAA corresponde a 10.0 kW estables según se ha mencionado en la sección 3.5. Por lo tanto, el valor de potencia de servicios auxiliares queda dado por la siguiente expresión.

$$P_{SSAA} = \sum_i P_{SSAA_{WTG_i}} + P_{tr.SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 0.8183 \text{ MW} + 0.0100 \text{ MW} = 0.8283 \text{ MW}$$

#### 4.1.3 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 (kW) 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 neta medida en los aerogeneradores y la Potencia Neta del Parque.

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, cuyo valor se ha estimado en 10.0 kW.



La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** se presenta a continuación.

$$P_{perd,central,ens} = P_{WTGs} - P_{SSAA} - P_{Neta}$$

$$P_{perd,central,ens} = 133.1831 \text{ MW} - 0.0100 \text{ MW} - 130.7261 \text{ MW} = 2.4470 \text{ MW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** 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 de ensayos. Las pérdidas en carga se calculan según la siguiente expresión.

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},ens} = 555.61 \text{ kW} \times \left( \frac{134.0014 \text{ MW}}{175 \text{ MVA}} \right)^2 = 325.77 \text{ kW}$$

La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

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

$$P_{Perd,tr_{ppal},ens} = 325.77 \text{ kW} + 57.75 \text{ kW} = 383.52 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,ens} = 2.4470 \text{ MW} - 383.52 \text{ kW} = 2063.48 \text{ kW}$$





El valor de potencia de pérdidas de la central también puede ser desglosado para la condición de vacío y carga.

En primer lugar, se obtiene el valor de potencia de pérdidas de la central en vacío ( $P_{perd,central,vacio}$ ) según la siguiente expresión.

$$P_{perd,central,vacio} = \sum_i P_{Perd,vacio,tr_{bloque}} + P_{Perd,vacio,tr_{ppal}}$$

$$P_{perd,central,vacio} = 36 \times 7.8 \text{ kW} + 57.75 \text{ kW} = 338.55 \text{ kW}$$

A partir de este valor se puede obtener la potencia de pérdidas de la central en carga ( $P_{perd,central,carga,ens}$ ) considerando la siguiente ecuación.

$$P_{perd,central,carga,ens} = P_{perd,central} - P_{perd,central,vacio}$$

$$P_{perd,central,carga,ens} = 2.4470 \text{ MW} - 338.55 \text{ kW} = 2.1085 \text{ MW}$$

Este valor de pérdidas de la central en carga será extrapolado a la condición de operación de potencia máxima del parque en la sección 4.2.3.

#### 4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en el lado de alta tensión del transformador de poder y se ha presentado en la Figura 4.2.

$$P_{neta,ens} = 130.7261 \text{ MW}$$

#### 4.1.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Calama	134.0014	0.8283	2.4470	130.7261

Tabla 4.2 – Potencia Máxima – Parque Eólico Calama



## 4.2 Cálculos y resultados en condiciones de potencia máxima histórica

En el anexo 6.1 se presenta la potencia máxima histórica para cada uno de los aerogeneradores. El valor correspondiente a cada unidad se ha calculado utilizando la mayor media horaria y el valor obtenido para cada turbina se muestra en la Tabla 6.1.

Considerando lo anterior, se considera en la presente sección un valor de potencia total de aerogeneradores de **166.5172 MW**. A continuación, se replican los cálculos presentados en la sección 4.1 considerando esta condición de operación.

### 4.2.1 Potencia Bruta

La determinación de la **Potencia Bruta Máxima** ( $P_{bruta,max}$ ) se realiza considerando el valor de potencia máxima histórica de los aerogeneradores, a lo que debe sumarse la potencia de los consumos propios de cada equipo según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = \sum_i P_{WTG_i} + \sum_i P_{SSAA_i}$$

$$P_{bruta,max} = 166.5172 \text{ MW} + 0.8183 \text{ kW} = 167.3355 \text{ MW}$$

### 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 más los Servicios Auxiliares de la central.

En la Figura 4.1 se muestra el registro del total de consumos de todos los aerogeneradores. En tanto, el consumo del transformador de SSAA corresponde a 10.0 kW estables según se ha mencionado en la sección 3.5. Por lo tanto, el valor de potencia de servicios auxiliares queda dado por la siguiente expresión.

$$P_{SSAA} = P_{SAAeros} + P_{tr,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 0.8183 \text{ MW} + 0.0100 \text{ MW} = 0.8283 \text{ MW}$$



### 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 y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

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

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

$$P_{perd,central,carga,max} = 2.1085 \text{ MW} \times \left( \frac{167.3355 \text{ MW}}{134.0014 \text{ MW}} \right)^2 = 3.2880 \text{ MW}$$

El valor de potencia de pérdidas de la central en vacío es el mismo que para la condición de ensayos.

$$P_{perd,central,vacio} = 338.55 \text{ kW}$$

A partir de lo anterior se puede obtener el valor de **Potencia de Pérdidas en la central** en condiciones de potencia máxima según la siguiente expresión.

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

$$P_{perd,central,max} = 3.2280 \text{ MW} + 338.55 \text{ kW} = 3.5666 \text{ MW}$$

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

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

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal.



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

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

$$P_{Perd,carga,tr_{ppal},max} = 555.61 \text{ kW} \times \left( \frac{167.3355 \text{ MW}}{175 \text{ MVA}} \right)^2 = 508.01 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,tr_{ppal},max} = 508.01 \text{ kW} + 57.75 \text{ kW} = 565.76 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{Perd,redMT,max} = 3.5666 \text{ MW} - 565.76 \text{ kW} = 3000.84 \text{ kW}$$

#### 4.2.4 Potencia Neta

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

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

$$P_{neta,max} = 167.3355 \text{ MW} - 3.5666 \text{ MW} - 0.8283 \text{ MW} = 162.9406 \text{ MW}$$



#### 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 potencia máxima del Parque Eólico Calama.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Calama	167.3355	0.8283	3.5666	162.9406

Tabla 4.3 – Potencia Máxima – Parque Eólico Calama – Operación máxima histórica



## 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 la condición de potencia máxima histórica del Parque Eólico Calama.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
Calama	167.3355	0.8283	3.5666	162.9406

Tabla 5.1 - Resumen de resultados – PE Calama

De forma complementaria se presenta en la Tabla 5.2 el desglose de pérdidas del parque entre en el transformador principal y en la red colectora de media tensión

Pérdidas en la central [MW]	Pérdidas Tr. Principal [kW]	Pérdidas red colectora [kW]
3.5666	565.76	3000.84

Tabla 5.2 – Desglose de pérdidas – Parque Eólico Calama



## 6 ANEXOS

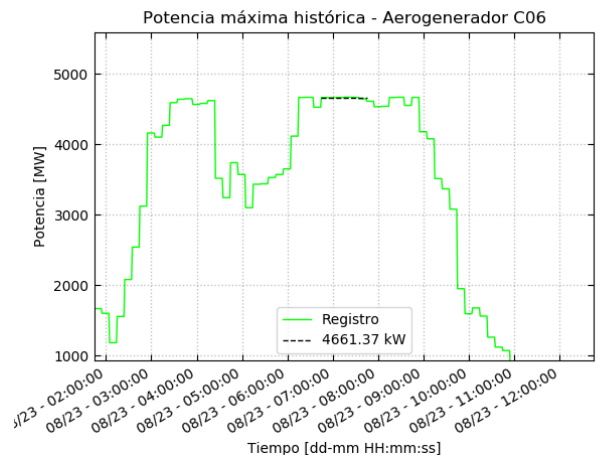
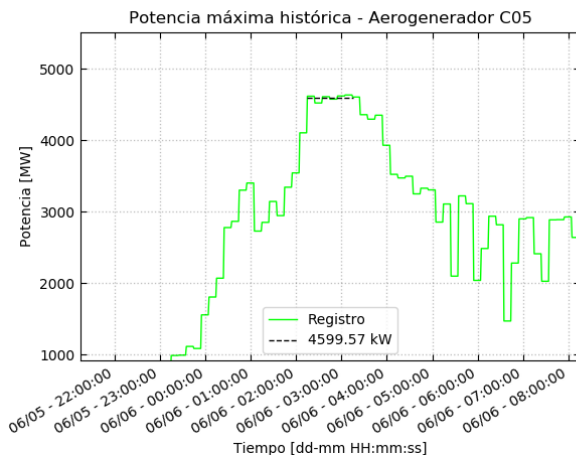
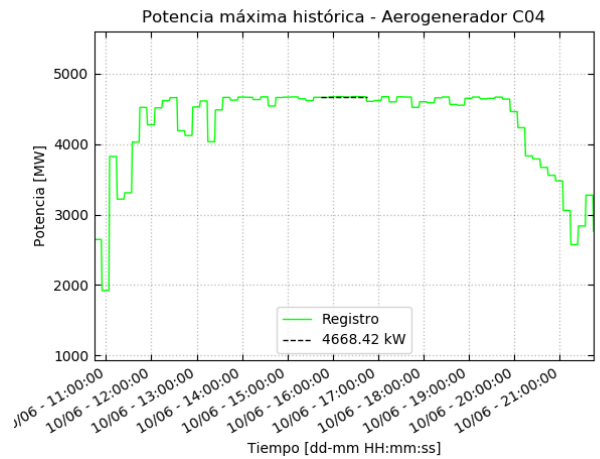
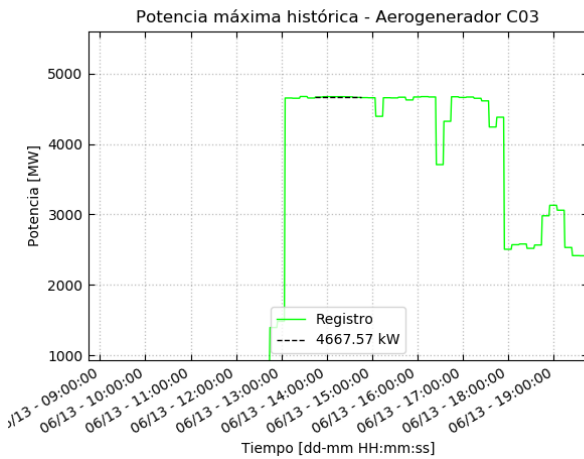
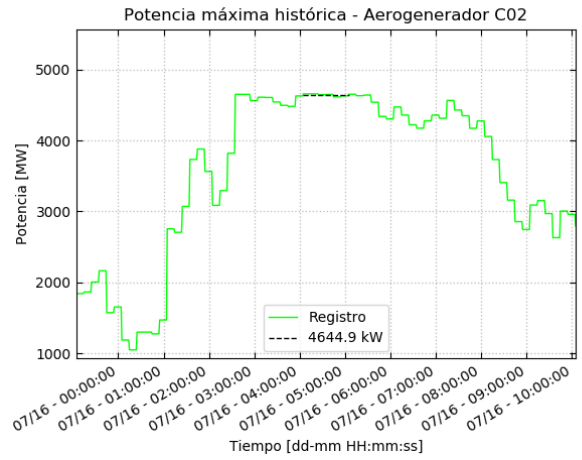
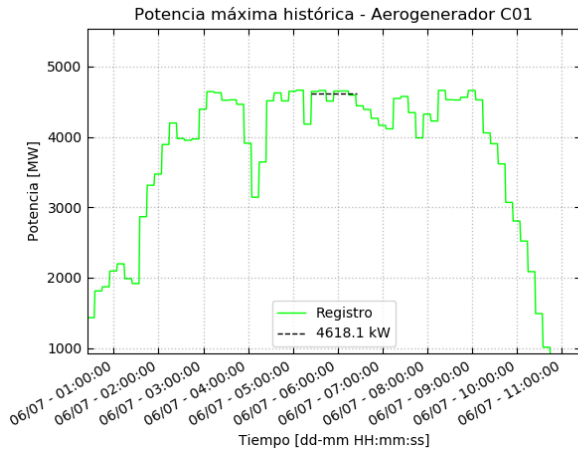
### 6.1 Registro histórico de generación por aerogenerador

En la presente sección se muestran registros históricos donde se presenta la máxima media horaria para cada aerogenerador. Los resultados se muestran en la Tabla 6.1.

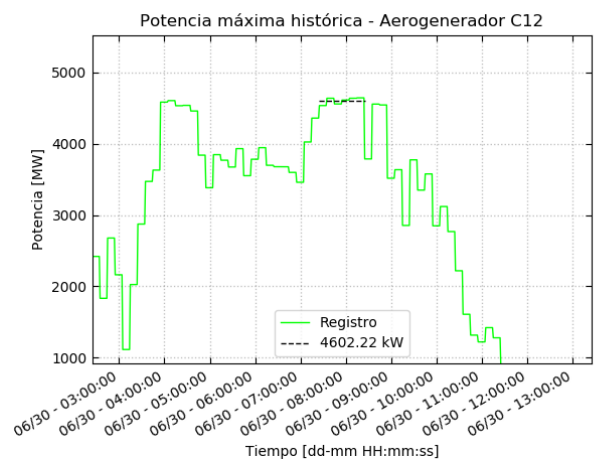
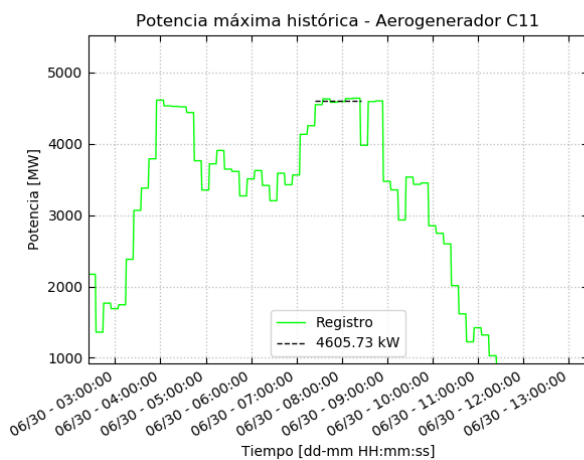
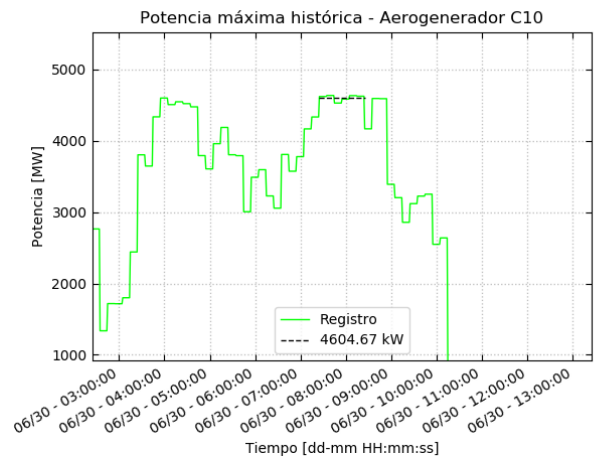
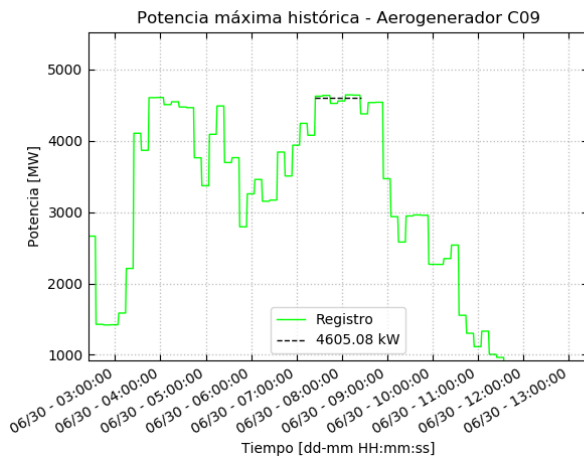
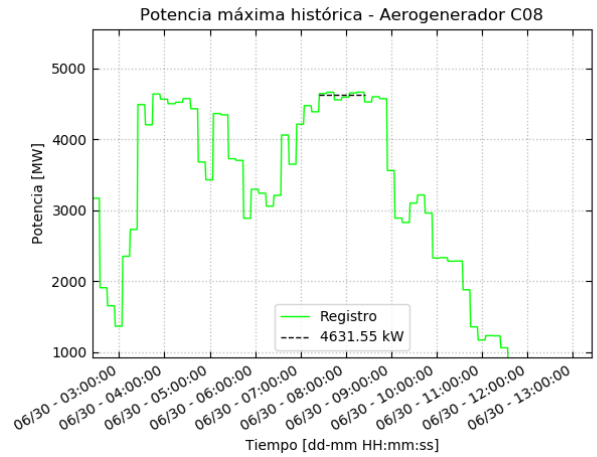
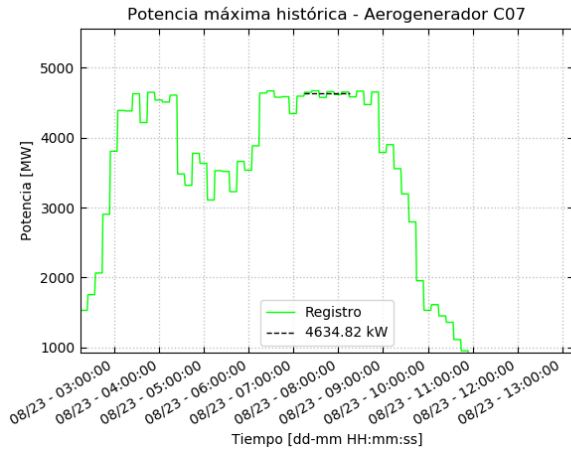
Aerogenerador	Potencia máxima [kW]	Aerogenerador	Potencia máxima [kW]	Aerogenerador	Potencia máxima [kW]
C01	4618.10	C13	4659.17	C25	4624.57
C02	4644.90	C14	4640.28	C26	4572.50
C03	4667.57	C15	4645.50	C27	4665.03
C04	4668.42	C16	4640.13	C28	4633.60
C05	4599.57	C17	4629.72	C29	4648.75
C06	4661.37	C18	4644.77	C30	4633.23
C07	4634.82	C19	4599.63	C31	4567.82
C08	4631.55	C20	4627.05	C32	4588.52
C09	4605.08	C21	4607.43	C33	4639.65
C10	4604.67	C22	4602.55	C34	4626.82
C11	4605.73	C23	4590.52	C35	4620.33
C12	4602.22	C24	4638.10	C36	4627.57

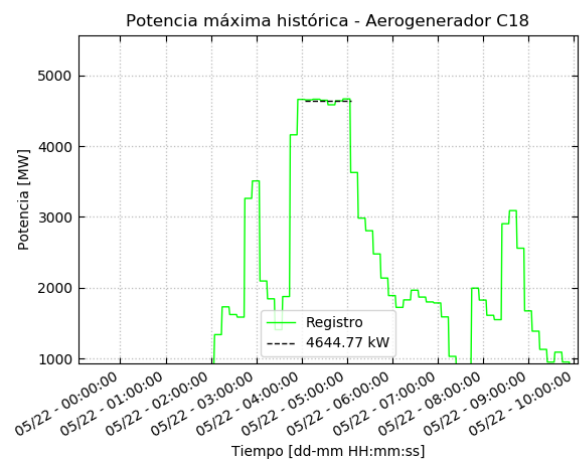
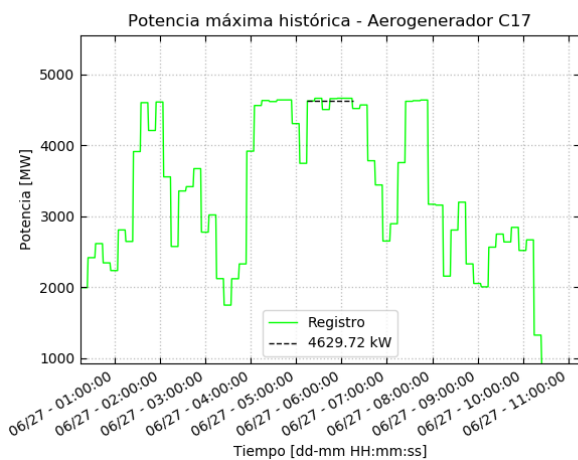
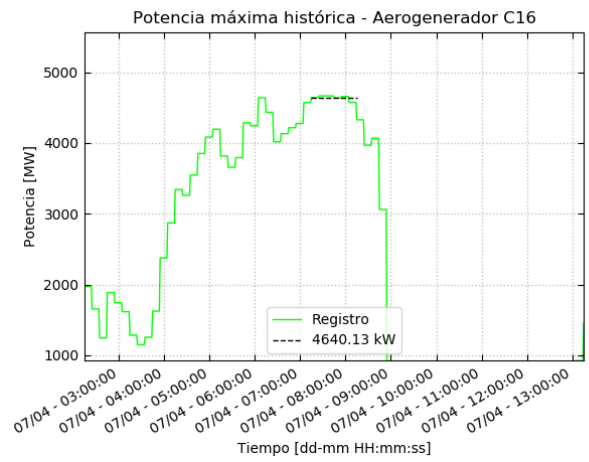
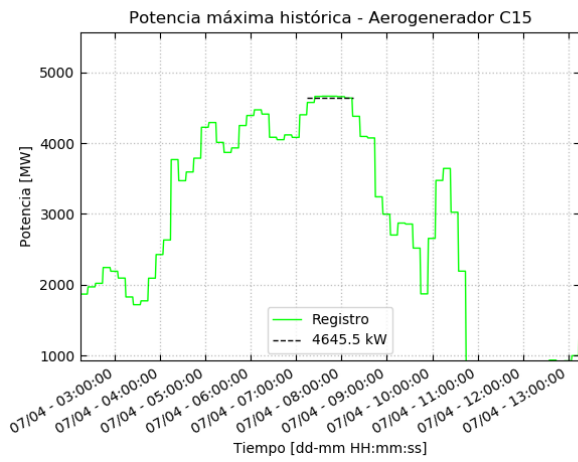
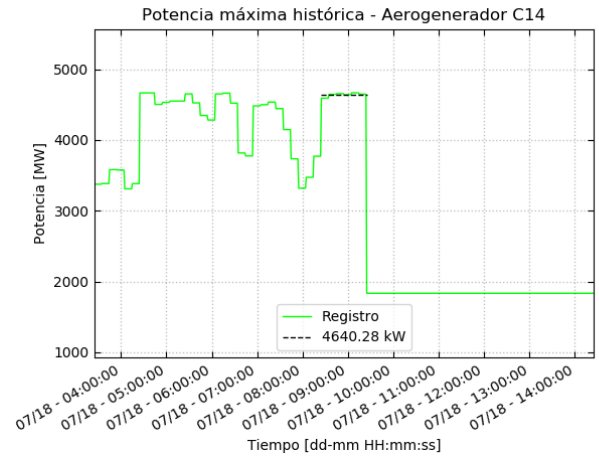
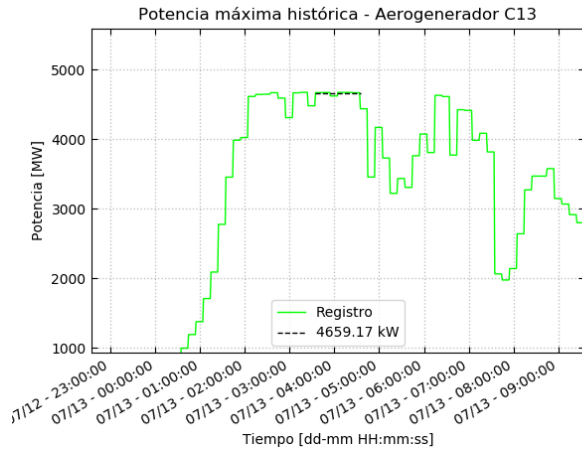
Tabla 6.1 – Potencia máxima histórica por aerogenerador

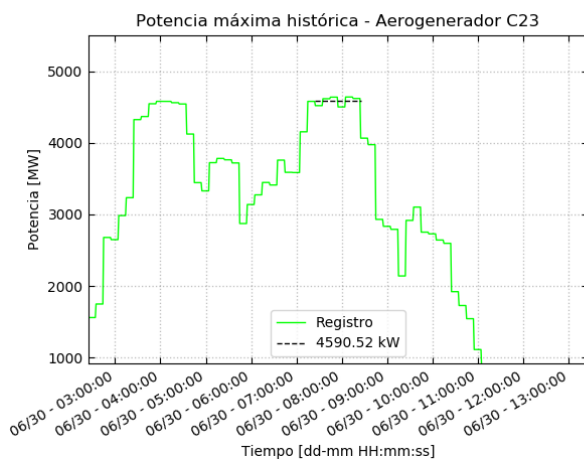
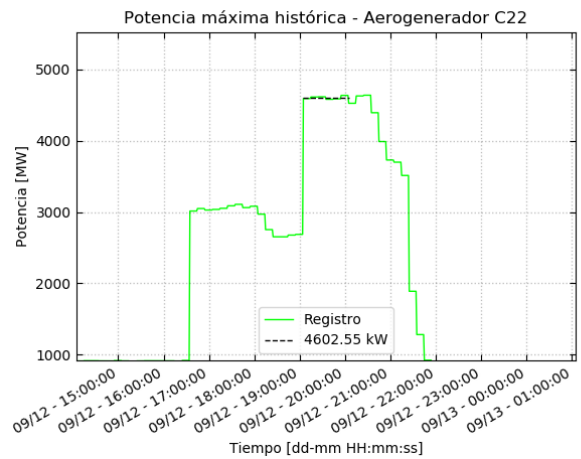
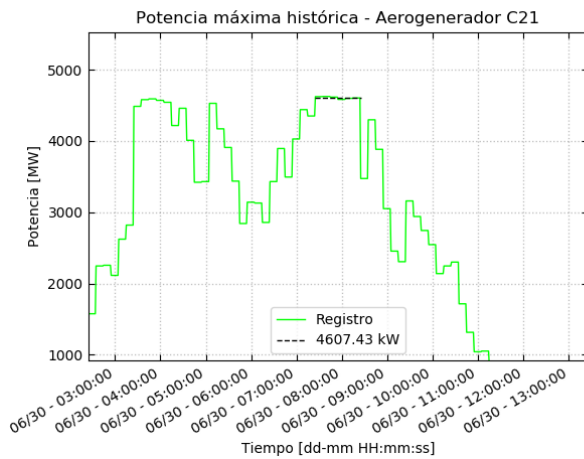
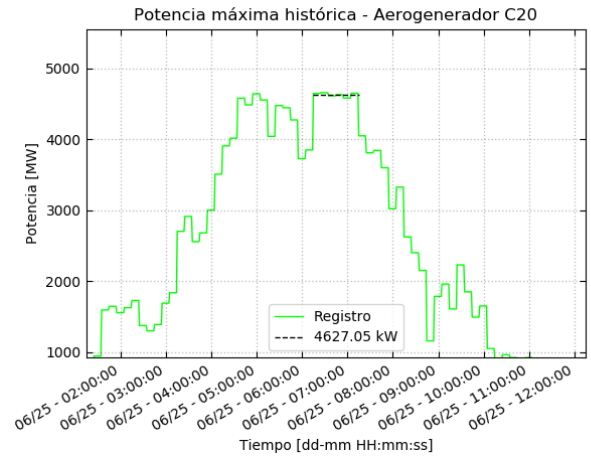
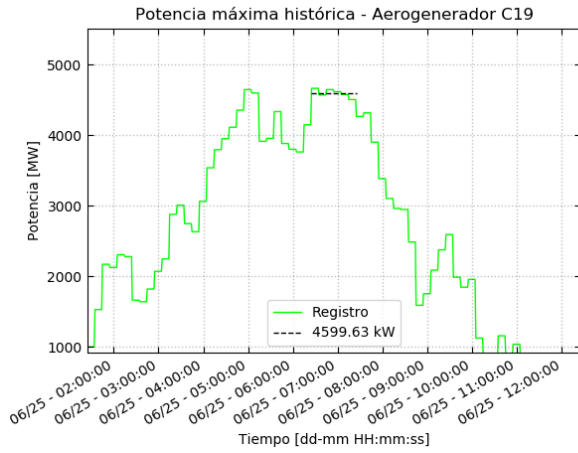
En base a lo presentado se cuenta con una potencia de aerogeneradores máxima histórica de **166.5172 MW**.

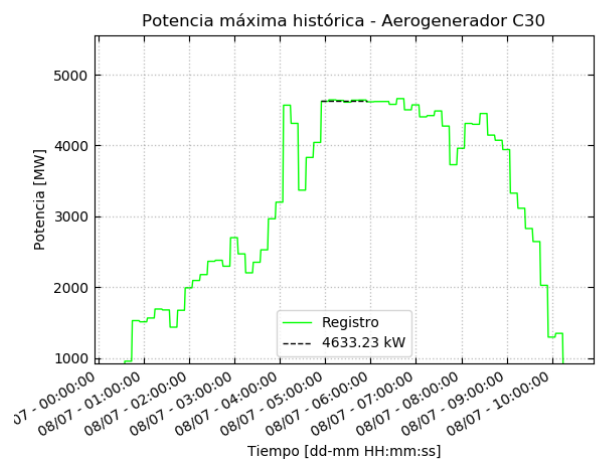
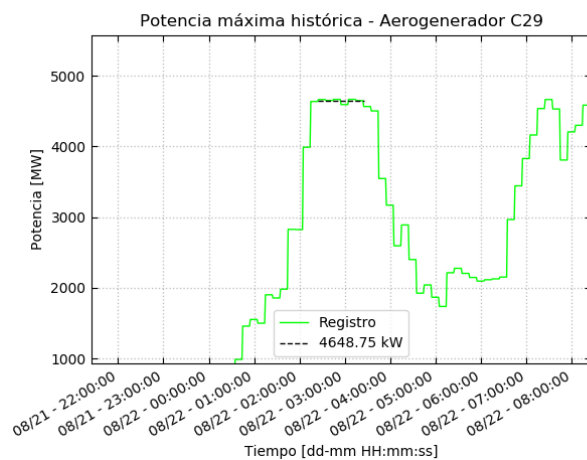
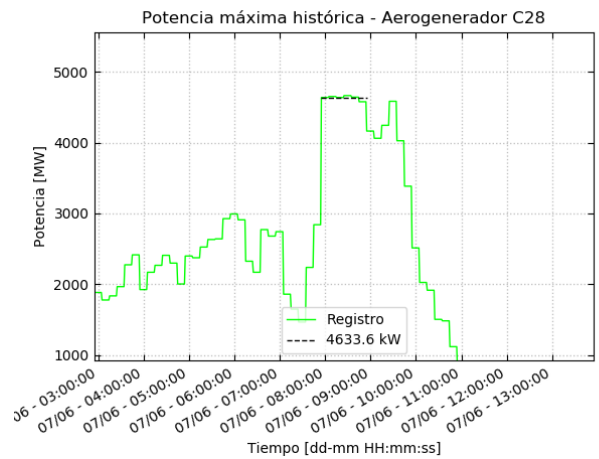
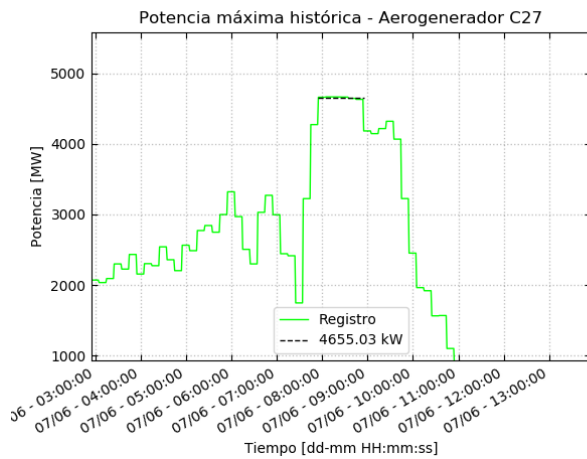
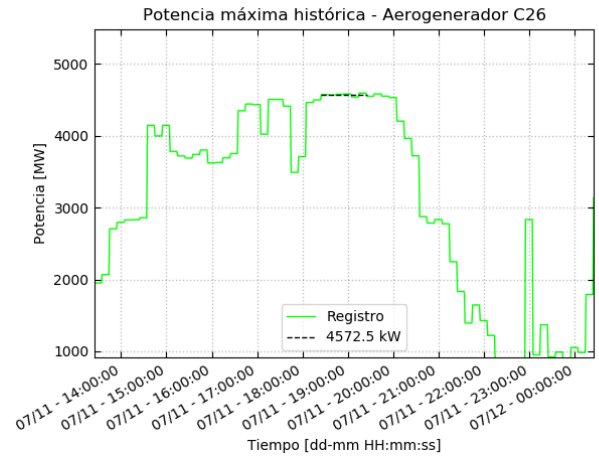
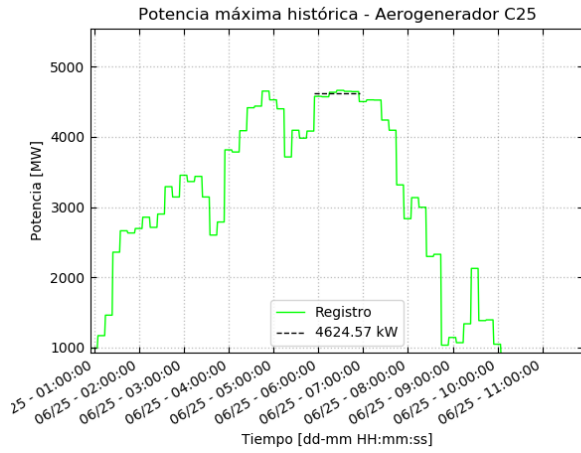


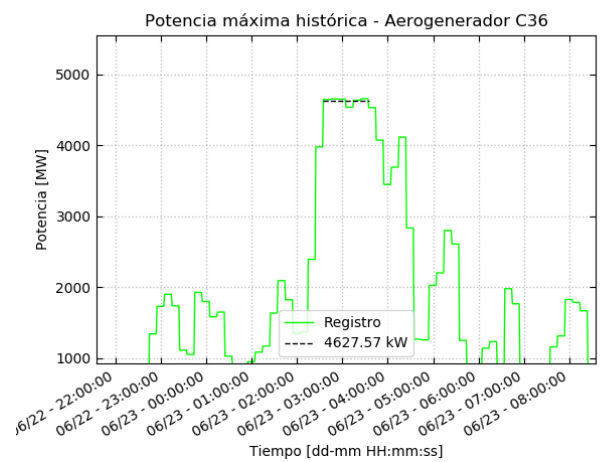
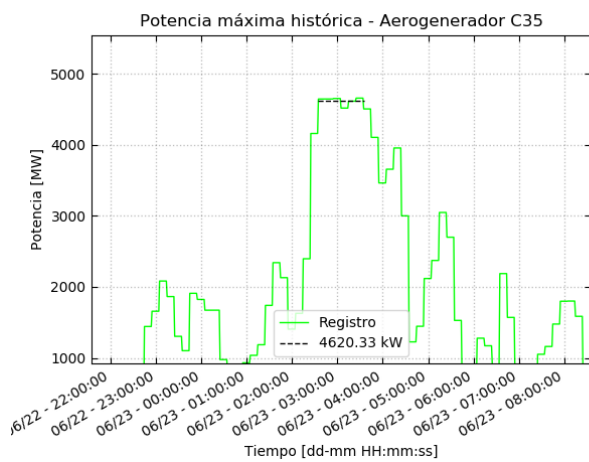
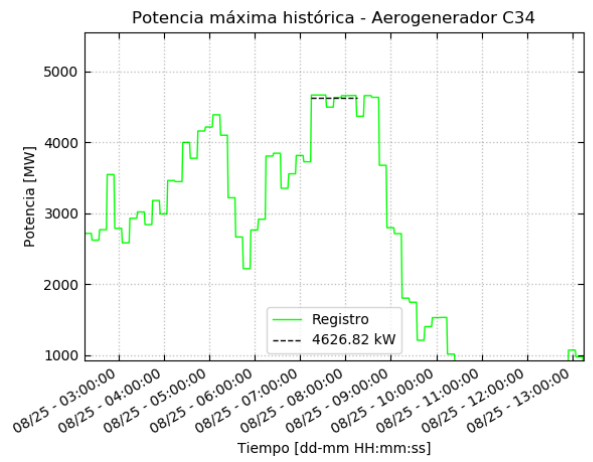
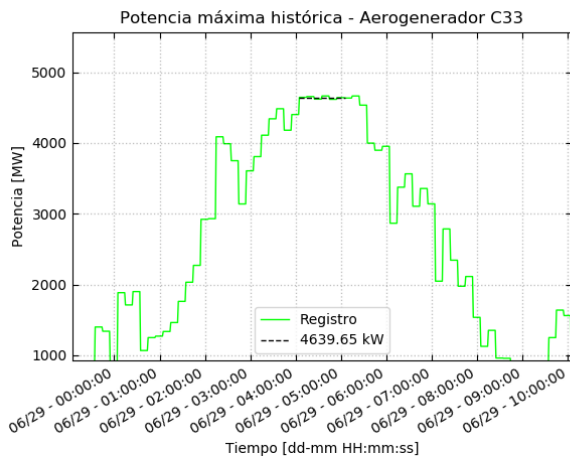
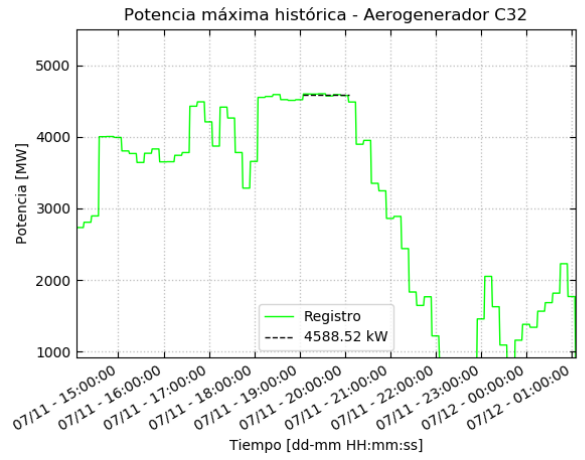
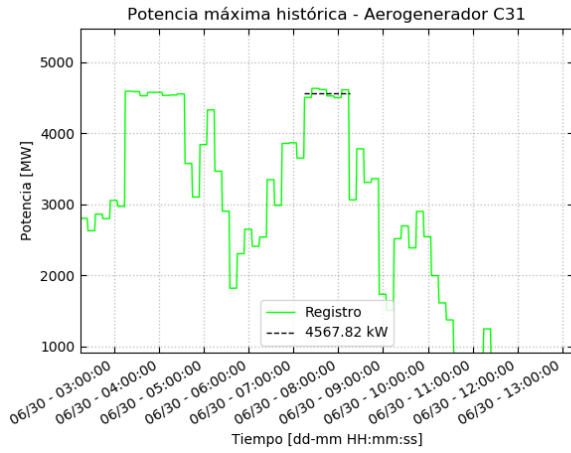














## 6.2 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
 <b>ESTUDIOS ELECTRICOS</b>			
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:			
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración	
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	9/5/2023	
<p>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.</p> <p>Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:</p>			
Instrumento Patrón	Número de Serie:	Última calibración	Próxima calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/10/2021	29/10/2024
Fecha de evaluación: 9/5/2023		Nombre Inspector: Leiss, Jorge	
Certificado número: EE-CI-2023-0604		Firma: 	



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.