

Empresa: GES

País: Chile

Proyecto: Parque Eólico Calama

Descripción: Informe de Mínimo Técnico

Código de Proyecto: EE-2019-259

Código de Informe: EE-EN-2021-1669

Revisión: B



30 de septiembre de 2021



Este documento EE-EN-2021-1669-RB fue preparado para GES por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

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

Ing. Andrés Capalbo
Coordinador Dpto. Ensayos
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani
Gerente Dpto. Ensayos
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 31 páginas y ha sido guardado por última vez el 06/10/2021 por César Colignon, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	30/09/2021	Para presentar.	CiC	AC	PR
B	06/10/2021	Correcciones según observaciones de ENGIE.	CiC	AC	PR

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



Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	Fecha ensayo y personal auditor	4
1.2	Medidores utilizados.....	4
1.3	Definiciones y Nomenclatura	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	8
3.1	Unifilar de planta.....	8
3.2	Datos de los aerogeneradores	15
3.3	Datos de los transformadores de bloque.....	17
3.4	Datos del transformador de poder	18
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO	19
4.1	Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio.....	20
4.1.1	Potencia Bruta	21
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares	21
4.1.3	Potencia de Pérdidas en la central	22
4.1.4	Potencia Neta	23
4.1.5	Resultados	23
4.2	Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	24
4.2.1	Potencia Bruta	25
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	25
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	26
4.2.4	Potencia Neta	27
4.2.5	Resultados	27
5	CONCLUSIONES	28
6	ANEXOS	29
6.1	Certificado de calibración del medidor de energía	29
6.2	Antecedentes de Mínimo Técnico aerogeneradores.....	30



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico Calama de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El Parque Eólico Calama se ubica en la región de Antofagasta, emplazado al sureste de la ciudad de Calama, y tiene una potencia instalada de 162.0 MW. El parque se vincula al SEN mediante una derivación de la línea 1x220 Calama – Lasana y la potencia declarada del parque es de 150.0 MW en el POI.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

<i>Personal</i>	<i>Fecha de ensayo</i>
Ing. César Colignon	3 de septiembre de 2021

1.2 Medidores utilizados

<i>Denominación</i>	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Precisión</i>
Analizador de energía	Janitza	UMG 604	±0.2%

Tabla 1.1 – Equipos utilizados.

Además de lo mostrado en la Tabla 1.1, 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 1 segundo y medidas de todos los aerogeneradores adquiridas con una tasa de muestreo de 2 segundos.



1.3 Definiciones y Nomenclatura

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

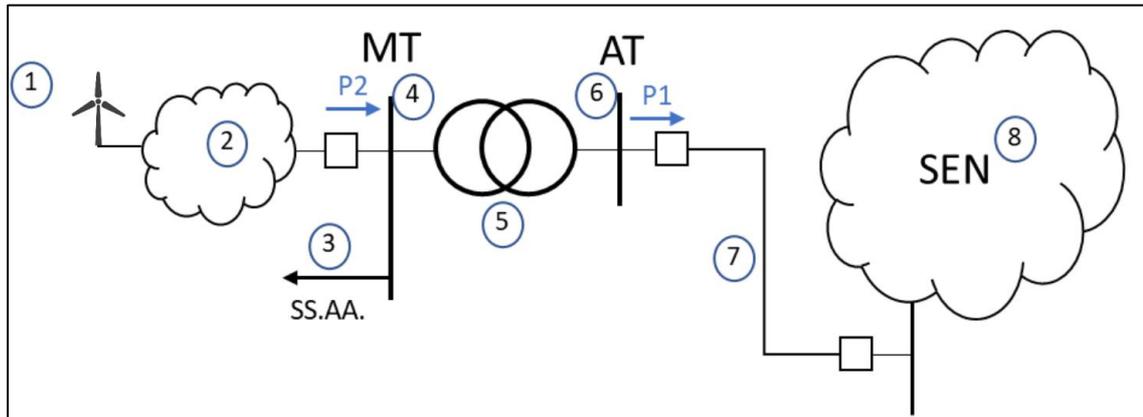


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 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: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Se determinan valores de Mínimo Técnico, considerando distintas condiciones operativas del Parque Eólico Calama, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo:** valor de potencia activa bruta mínima con la cual el parque puede operar considerando todos los aerogeneradores y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estables.
- **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio:** valor de potencia activa bruta mínima entrega por un **único aerogenerador** que permite tener un valor de potencia activa neta de 0 MW.



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. Al momento de realizar las pruebas, se encontraban operativos 35 aerogeneradores y considerando estos equipos se totalizan 162.0 MW de potencia instalada.

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. El valor de potencia activa neta declarado en el POI es de 150.0 MW.

3.1 Unifilar de planta

La red interna de media tensión (MT) del parque se encuentra compuesta por 9 alimentadores en MT, donde cada uno exporta la energía proveniente de 4 aerogeneradores. Adicionalmente, la red interna tiene 2 alimentadores con bancos de capacitores de 10 MVar de capacidad cada uno.

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal de la S/E Elevadora PE Calama. En tanto en las Figura 3.2 a Figura 3.10, se presenta el detalle de cada alimentador de 33 kV.

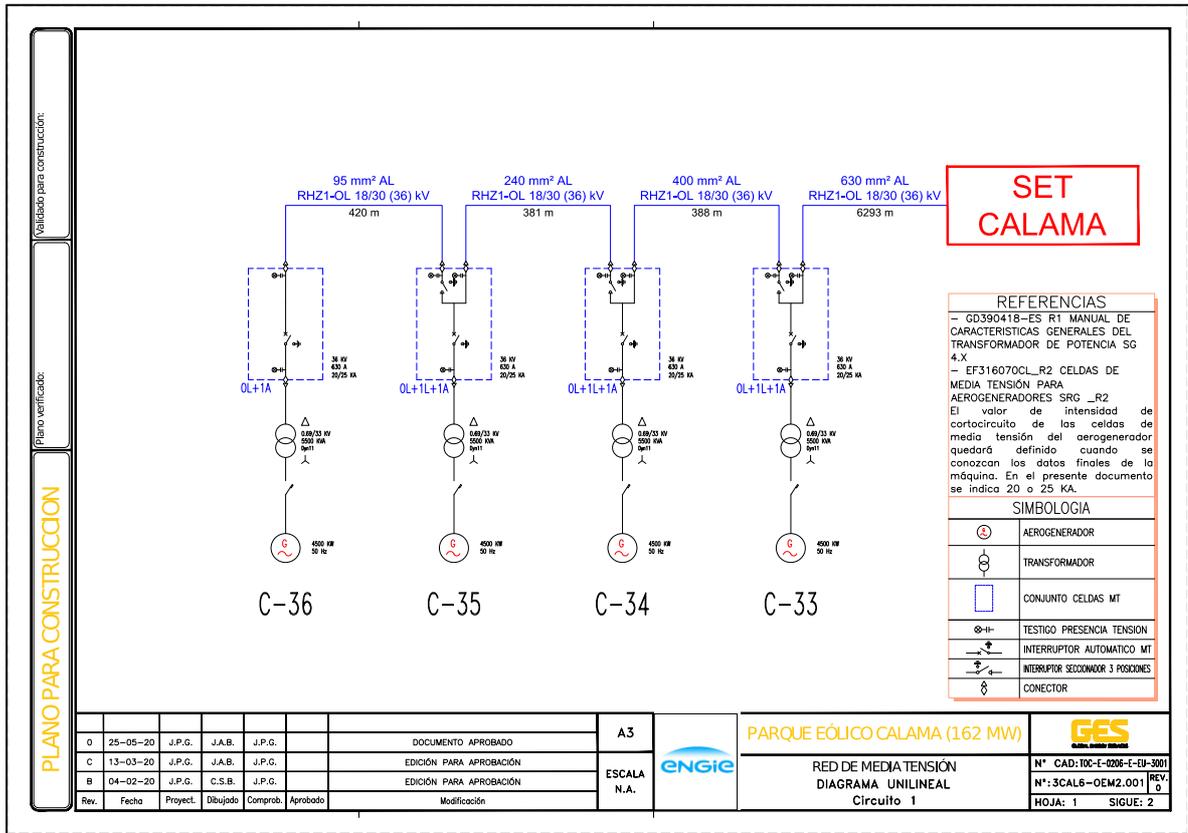


Figura 3.2 - Diagrama unilineal circuito colector 1

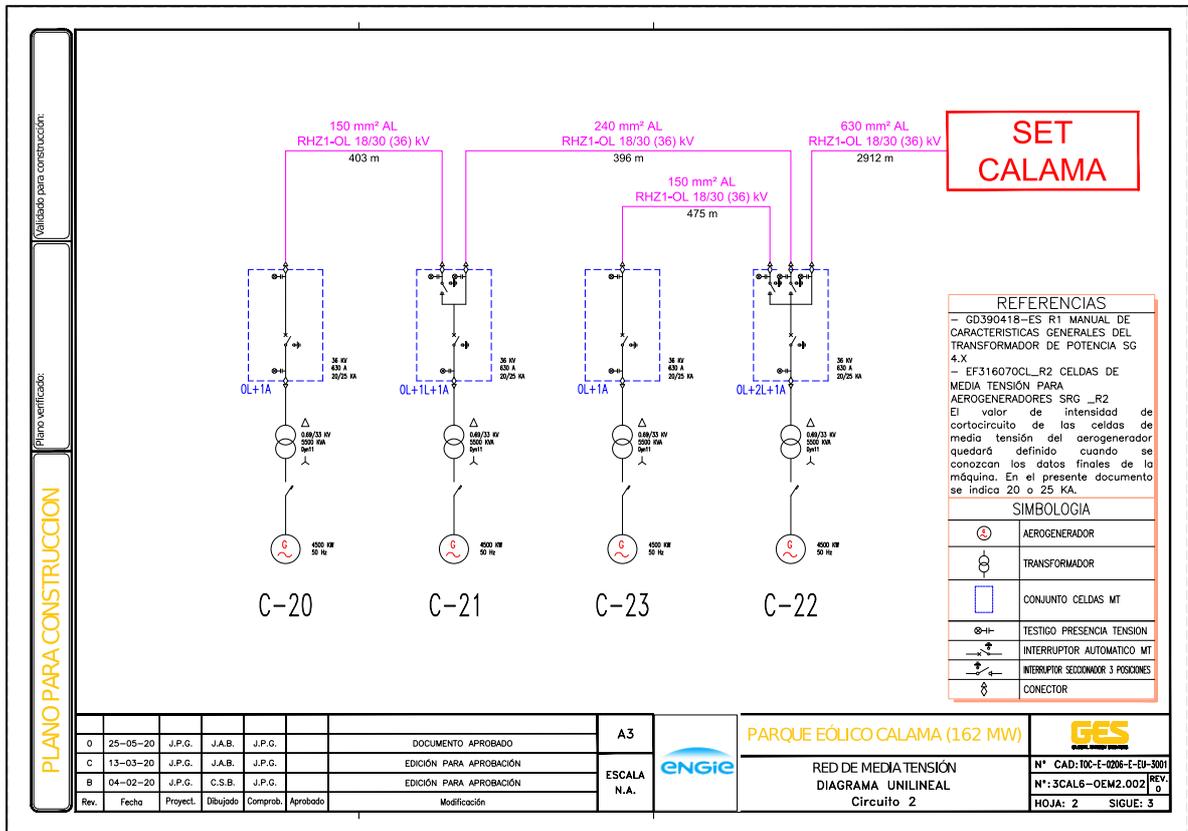


Figura 3.3 - Diagrama unilineal circuito colector 2

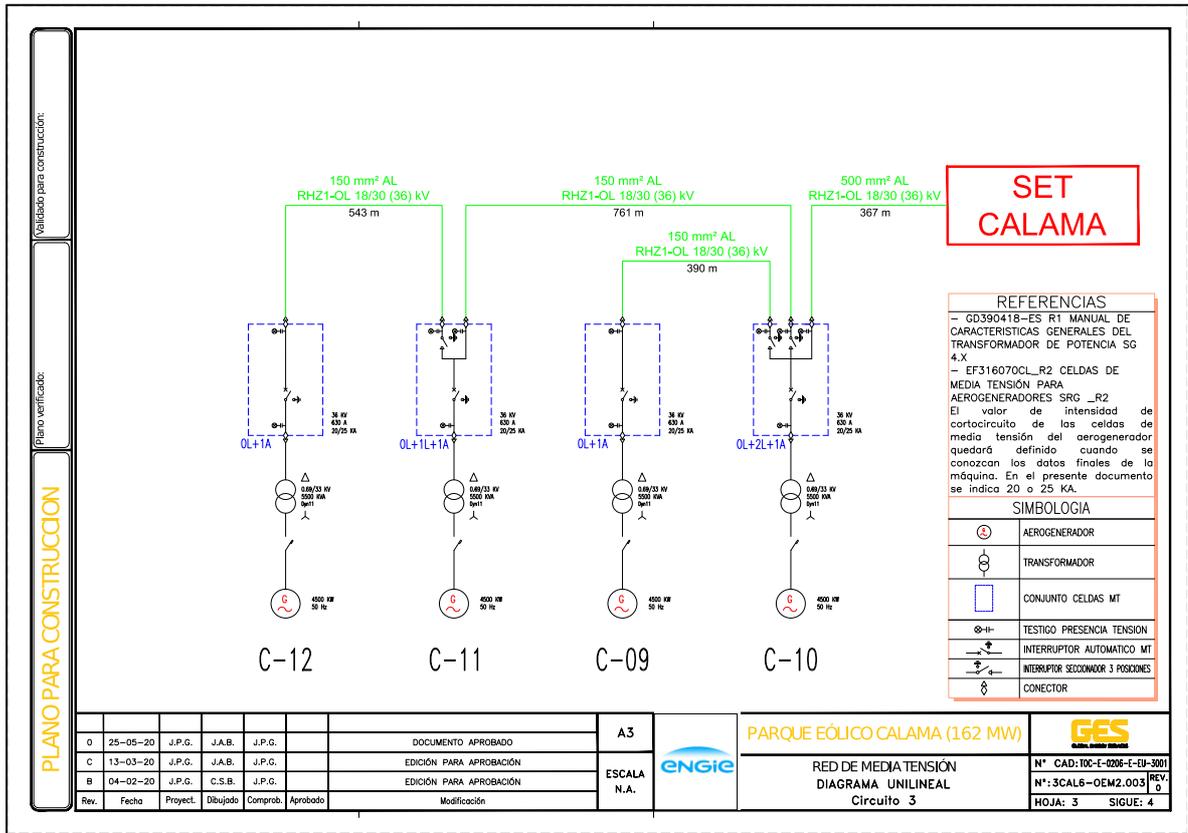


Figura 3.4 - Diagrama unilineal circuito colector 3

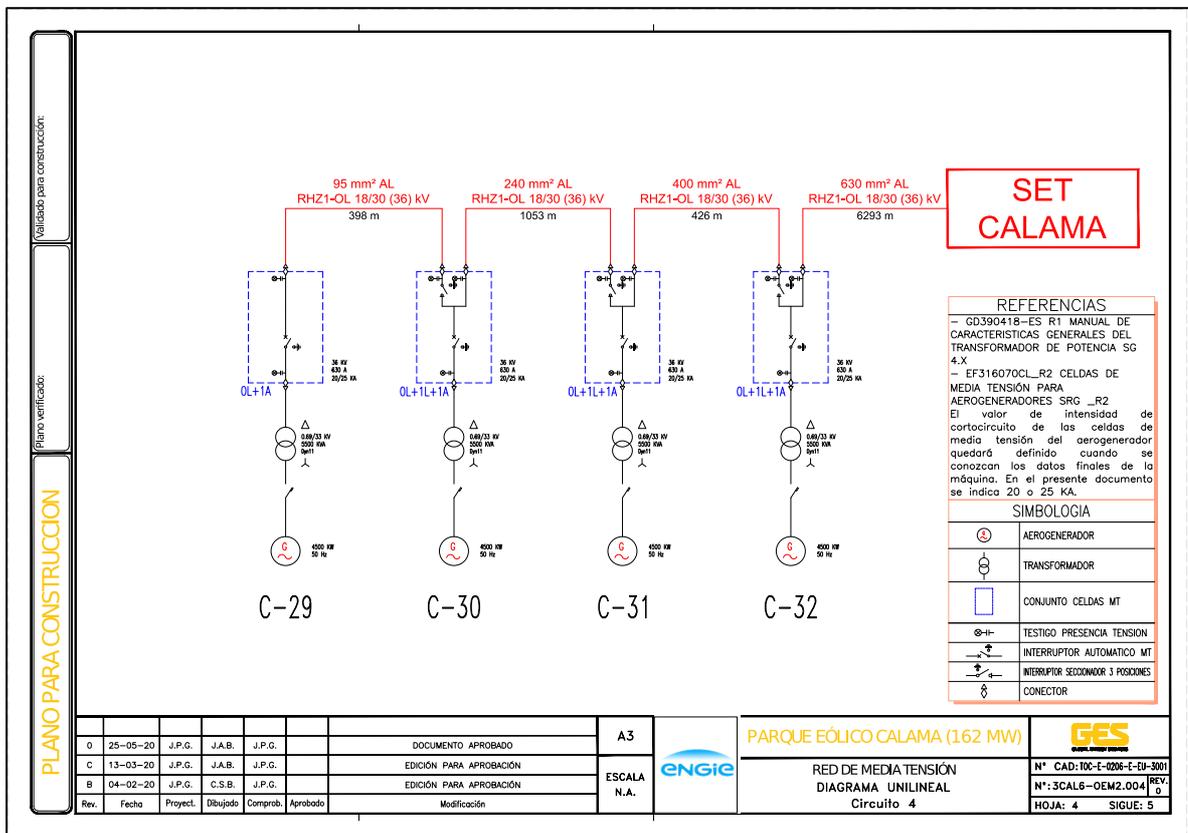


Figura 3.5 - Diagrama unilineal circuito colector 4

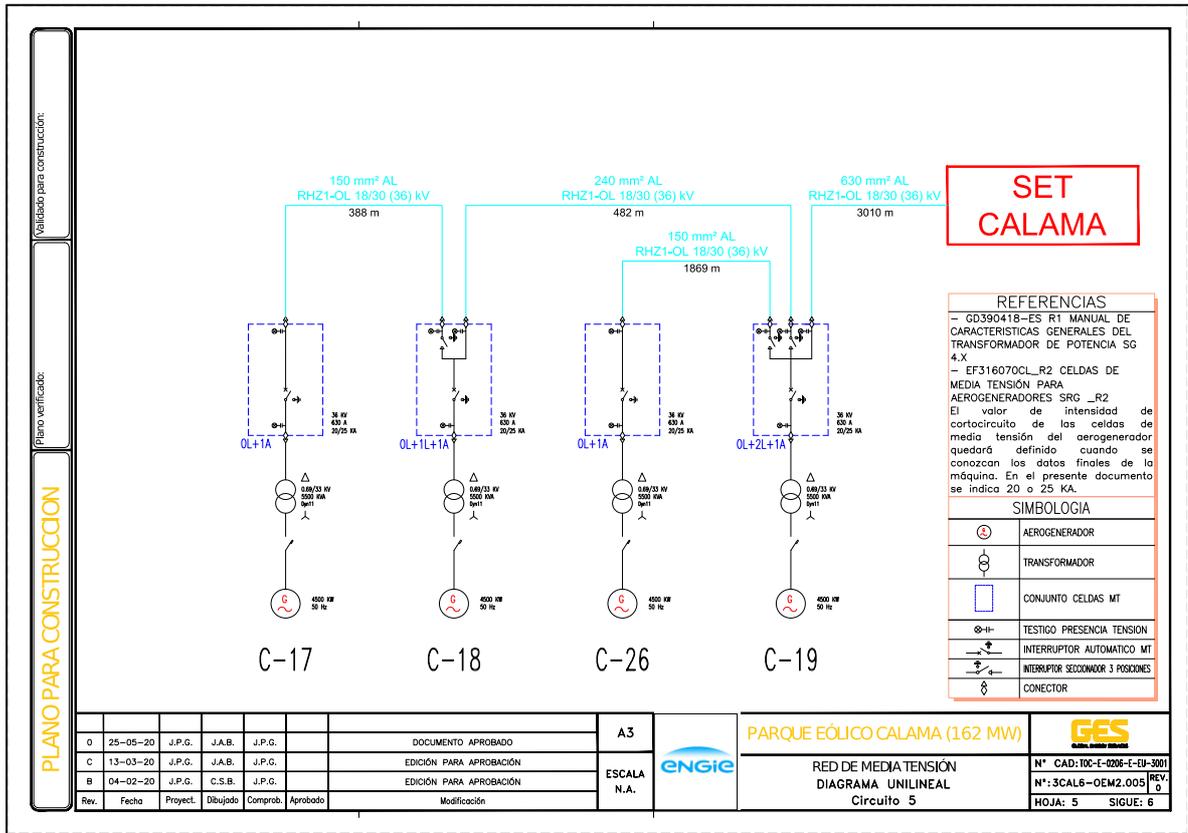


Figura 3.6 - Diagrama unilineal circuito colector 5

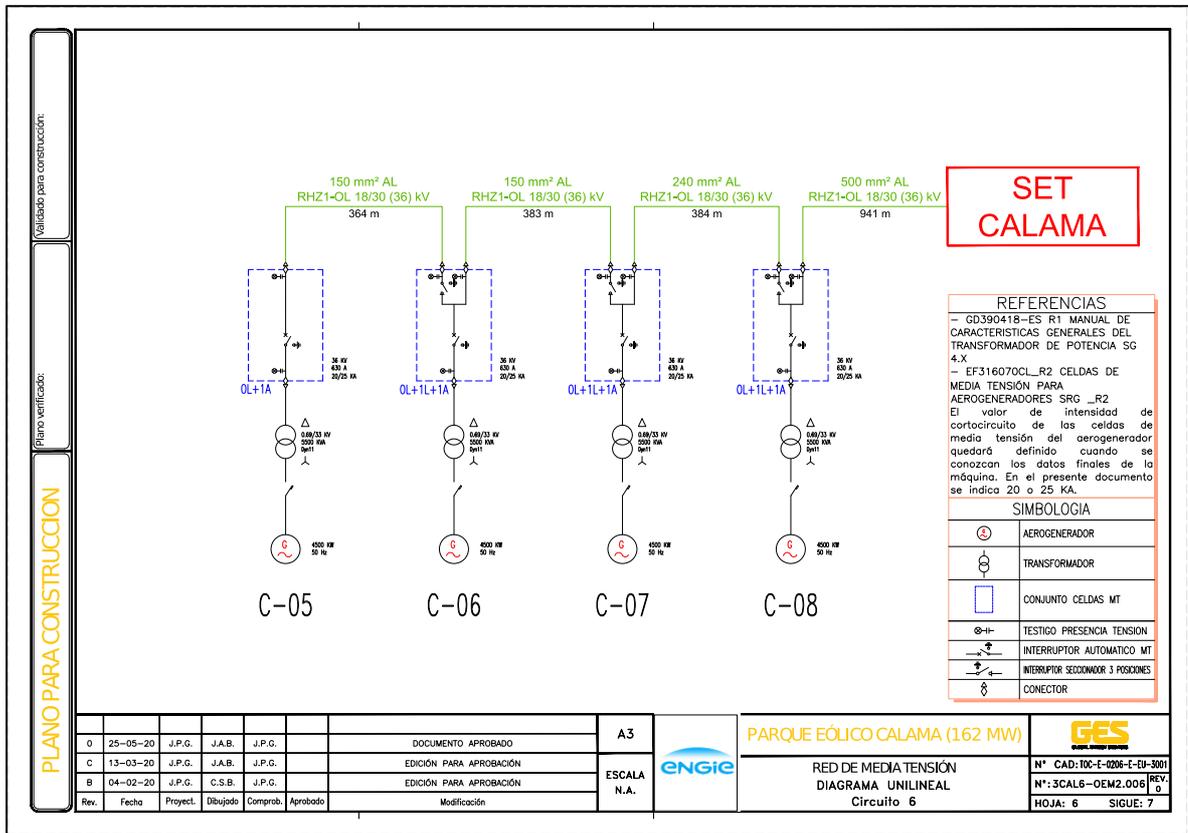


Figura 3.7 - Diagrama unilineal circuito colector 6

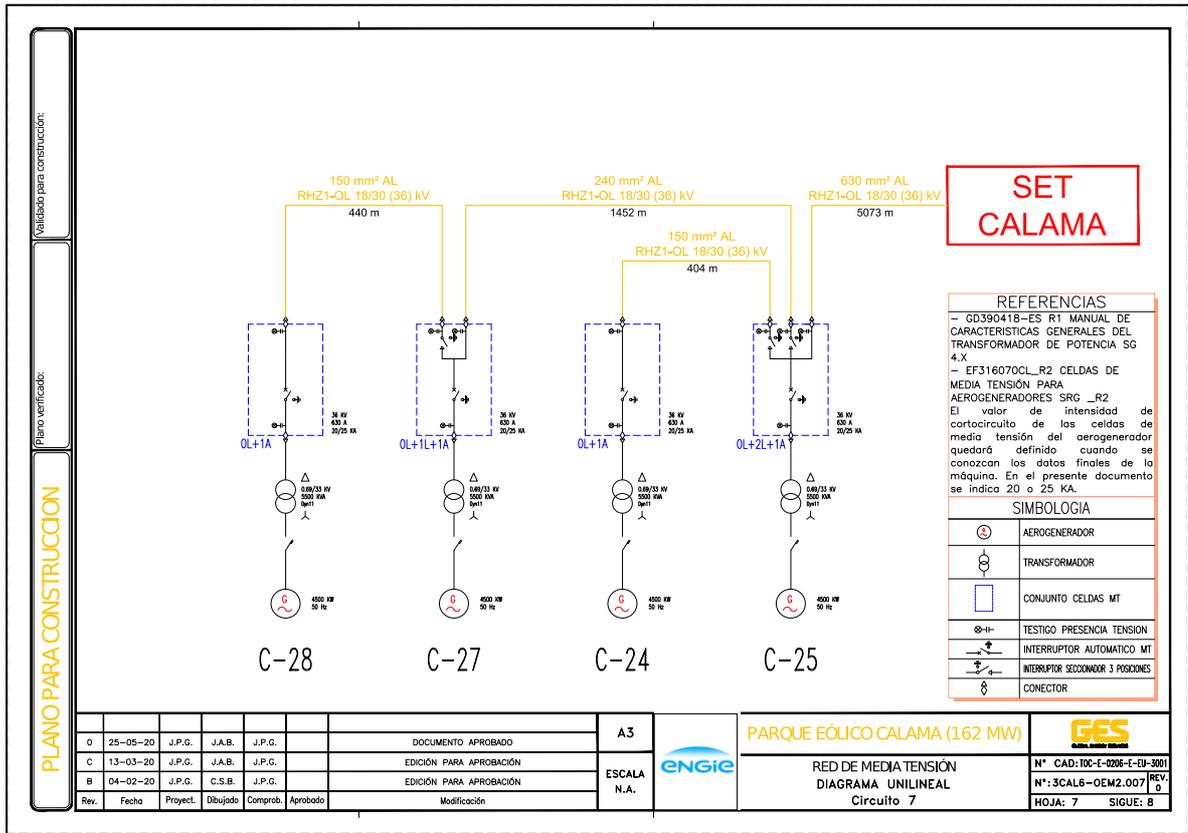


Figura 3.8 - Diagrama unilineal circuito colector 7

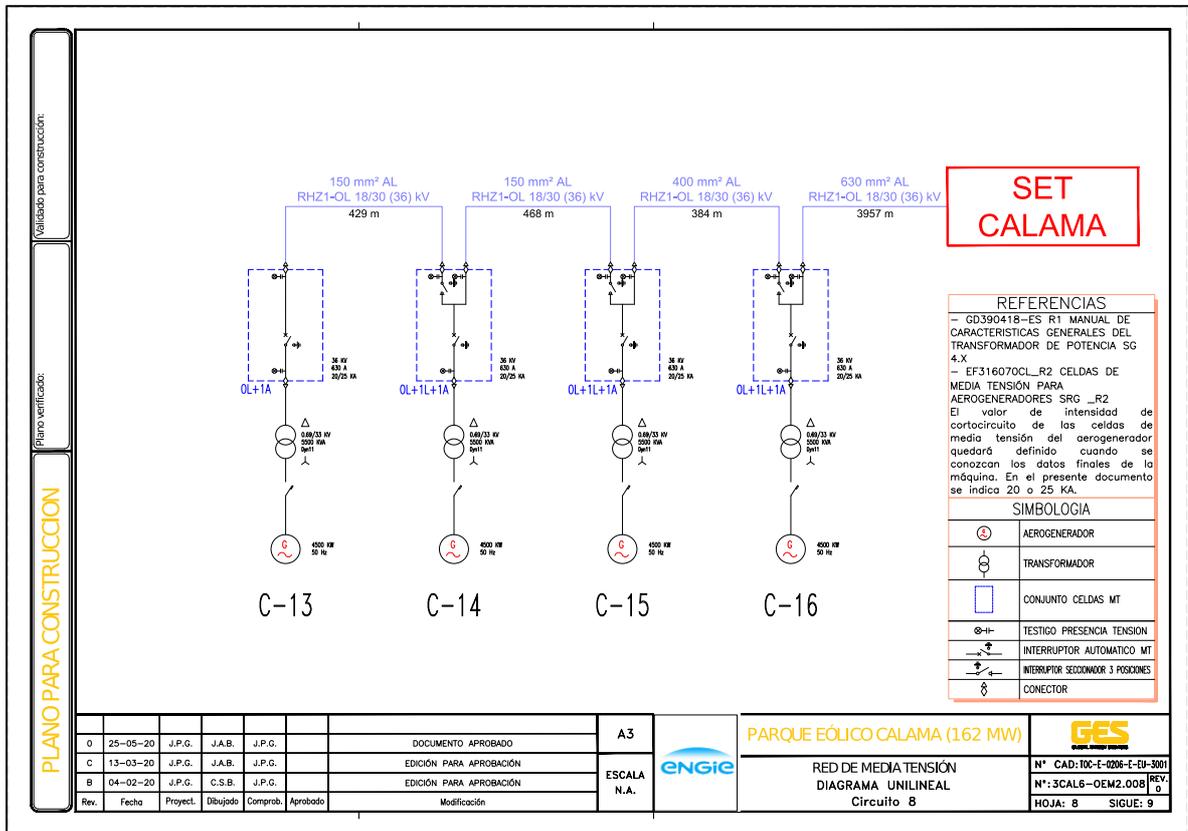


Figura 3.9 - Diagrama unilineal circuito colector 8



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Calama está constituido por 36 aerogeneradores SIEMENS GAMESA modelo CR45-6P de 4.5 MW de potencia aparente nominal y 690 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales se presenta en la Figura 3.11.

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

Figura 3.11 – Datos nominales de aerogeneradores

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

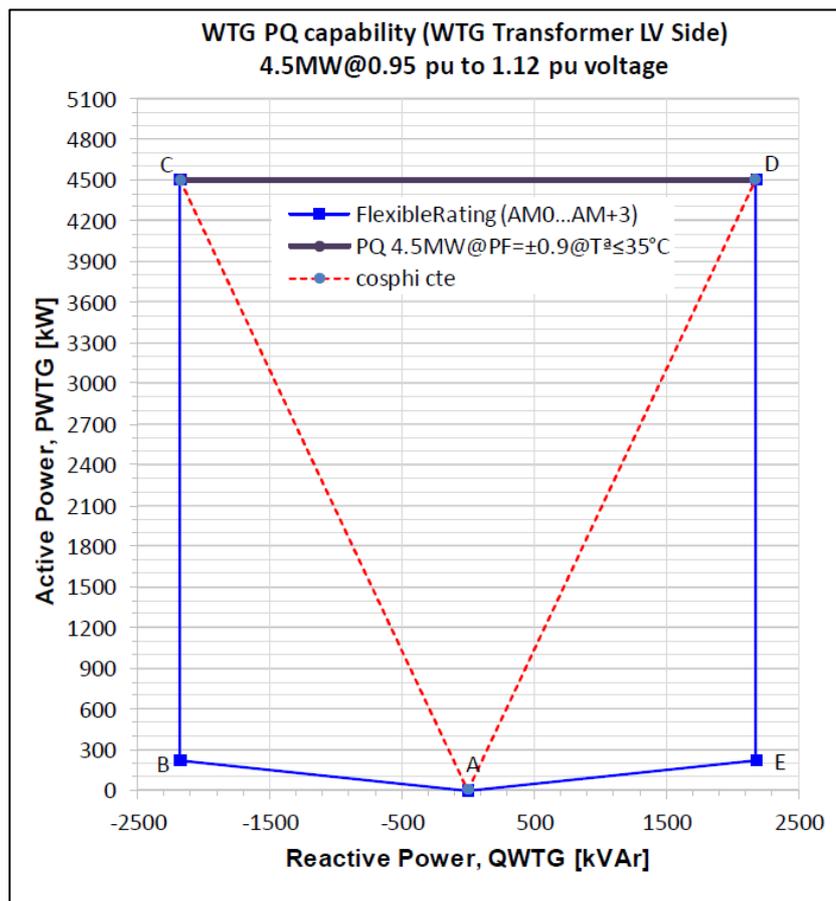


Figura 3.12 – Curva de capacidad del aerogenerador



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

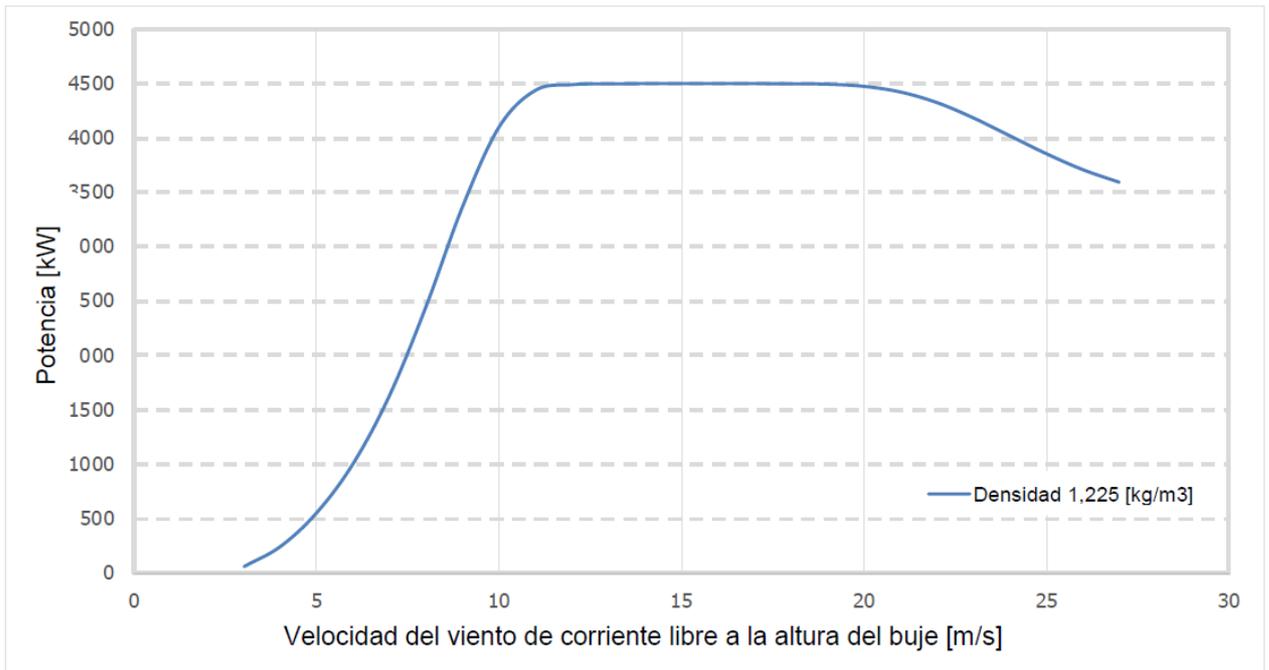


Figura 3.13 – Curva Viento/potencia para los grupos de aerogeneradores



3.3 Datos de los transformadores de bloque

Cada aerogenerador se vincula a la red colectora de 33 kV mediante un transformador de 5.5 MVA de capacidad nominal, y de relación de transformación de 0.69/33 kV.

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

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	5.5 MVA
Refrigeración	AF
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.69 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Impedancia (HV-LV)	8.89 %
Pérdidas en carga	38.77 kW
Pérdidas en vacío	7.8 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 Calama cuenta con un transformador de poder, 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. 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	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



4 DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO

El Mínimo Técnico corresponde al menor valor de potencia activa bruta que el parque es capaz de mantener de manera estable.

Tal como se ha mencionado en el capítulo 2 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio**.

Para cada una de las pruebas de Mínimo Técnico realizadas, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
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 promedio de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando todos los aerogeneradores en servicio), más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión (circuitos colectores y transformadores de bloque).
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en 220 kV en paño JT1 de la S/E Elevadora PE Calama.



4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio

El día 3 de septiembre de 2021 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio. Para lograr esta condición se da orden de detención a todos los aerogeneradores del parque a excepción del aerogenerador WTG31. En esta condición todos los circuitos colectores y transformadores de bloque se mantienen energizados.

En la Figura 4.1 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando únicamente el aerogenerador WTG31 en servicio.

Como escenario de operación inicial se cuenta con la totalidad de aerogeneradores fuera de servicio. A continuación, se enciende el aerogenerador WTG31 y se consigna un valor de potencia activa de 0.0 MW en el POI.

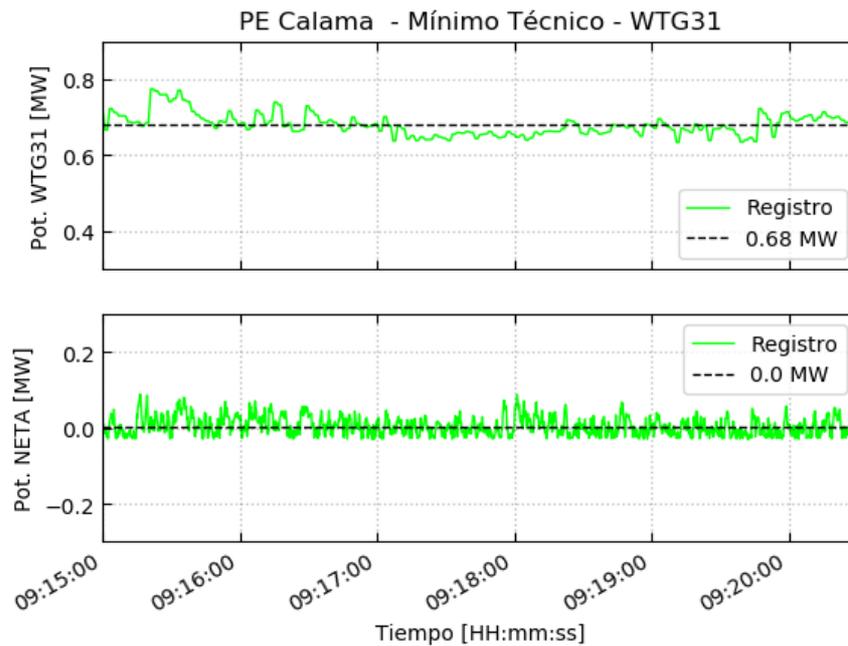


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Aerogenerador WTG31

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



4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia del aerogenerador presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes de los equipos, en un punto previo a la conexión del transformador de servicios auxiliares de la propia turbina, por lo tanto, corresponde a la **Potencia Bruta**.

$$P_{bruta} = P_{WTG_{31}}$$

$$P_{bruta} = 679.9 \text{ kW}$$

4.1.2 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.

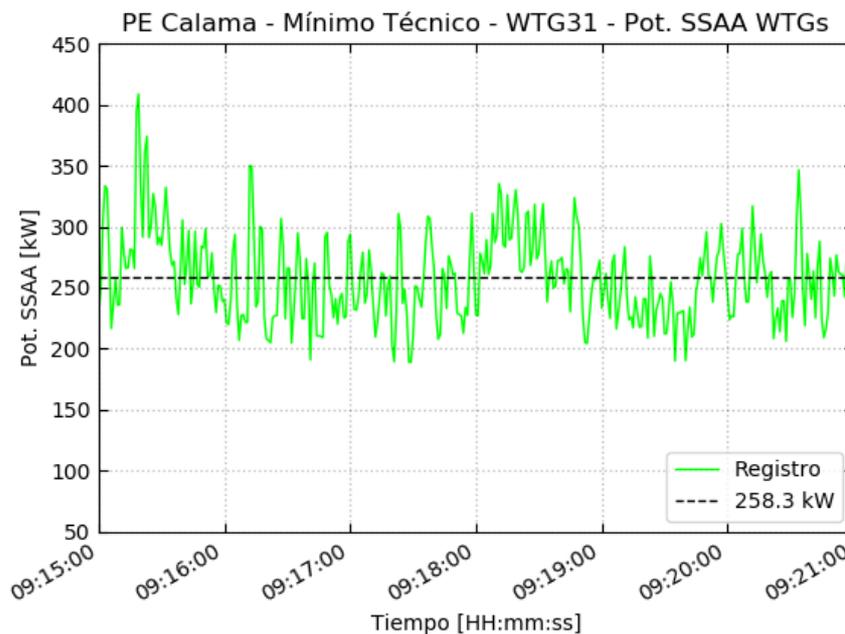


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Aerogenerador WTG31 – Potencia SSAA de aerogeneradores

En la Figura 4.2 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 presentado en el documento *EE-EN-2021-1670-RA_Potencia_Maxima_PE_Calama*. Por lo tanto, el valor de potencia de servicios auxiliares queda dado por la siguiente expresión.



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

$$P_{SSAA} = 258.3 \text{ kW} + 10.0 \text{ kW} = 268.3 \text{ kW}$$

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 Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el aerogenerador WTG31 y la **Potencia Neta Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.1).

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, cuya lectura durante las pruebas fue de 10.0 kW y los consumos internos de todos los aerogeneradores.

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

$$P_{perd,central} = P_{WTG_{31}} - P_{SSAA} - P_{neta,med}$$

$$P_{perd,central} = 679.9 \text{ kW} - 268.3 \text{ kW} - 0.0 \text{ kW} = 411.6 \text{ kW}$$

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

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

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 carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.



$$P_{perd,tr_{ppal}} = P_{perd,carga} + P_{perd,vacio}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor 1%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 57.75 \text{ kW} = 57.75 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,redMT} = 411.6 \text{ kW} - 57.75 \text{ kW} = 353.85 \text{ kW}$$

4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño JT1 de la S/E Elevador PE Calama. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 0.0 kW, considerando la operación de un único aerogenerador.

$$P_{neta} = 0.0 \text{ kW}$$

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 [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PE Calama	679.9	268.3	411.6	0.0

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Aerogenerador WTG31 – Parque Eólico Calama



4.2 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

A continuación, se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de aerogeneradores en servicio.

Según informa el fabricante de los aerogeneradores, el valor mínimo de potencia activa que permite la operación estable de los aerogeneradores es del 5% de la capacidad nominal, es decir, aproximadamente 222.5 kW (ver anexo 6.2).

En la Figura 4.3 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando todos los aerogeneradores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de potencia bruta, considerando el aporte de todos los aerogeneradores en servicio, y de potencia neta, registrada en el lado de 220 kV del transformador principal del Parque Eólico Calama. La diferencia registrada entre ambos valores es de 0.96 MW.

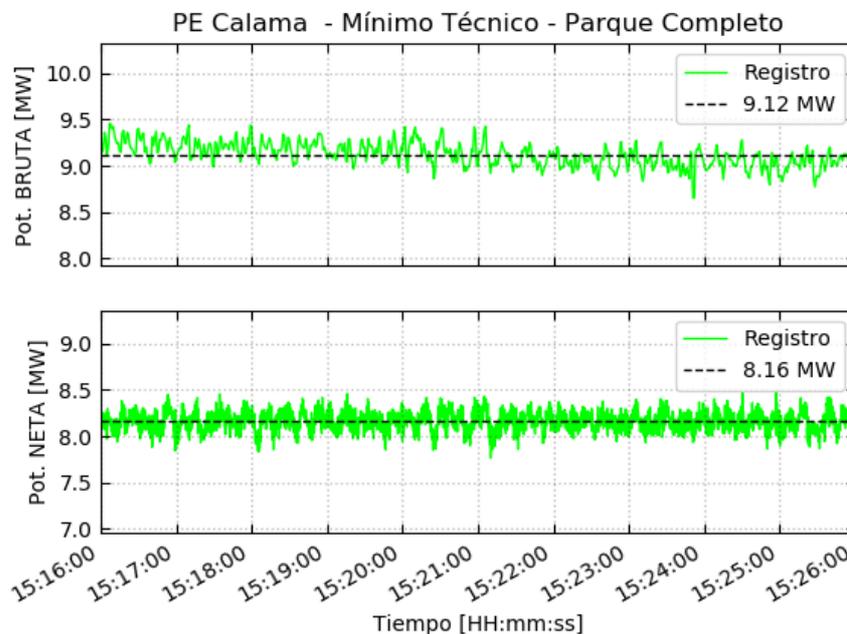


Figura 4.3 – Mínimo Técnico – Todos los aerogeneradores en servicio

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



4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de los aerogeneradores presentada en la Figura 4.3 se realiza en bornes de los equipos, en un punto previo a la conexión del transformador de servicios auxiliares de la propia turbina, por lo tanto, corresponde a la **Potencia Bruta**.

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

$$P_{bruta} = 9.12 \text{ MW}$$

Cabe mencionar que el valor de 9.12 MW de potencia bruta implica un despacho aproximado de 260.6 kW en cada aerogenerador, cercano al 5% de la potencia nominal del equipo. Se ha observado durante los ensayos la operación estable del Parque Eólico Calama.

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.

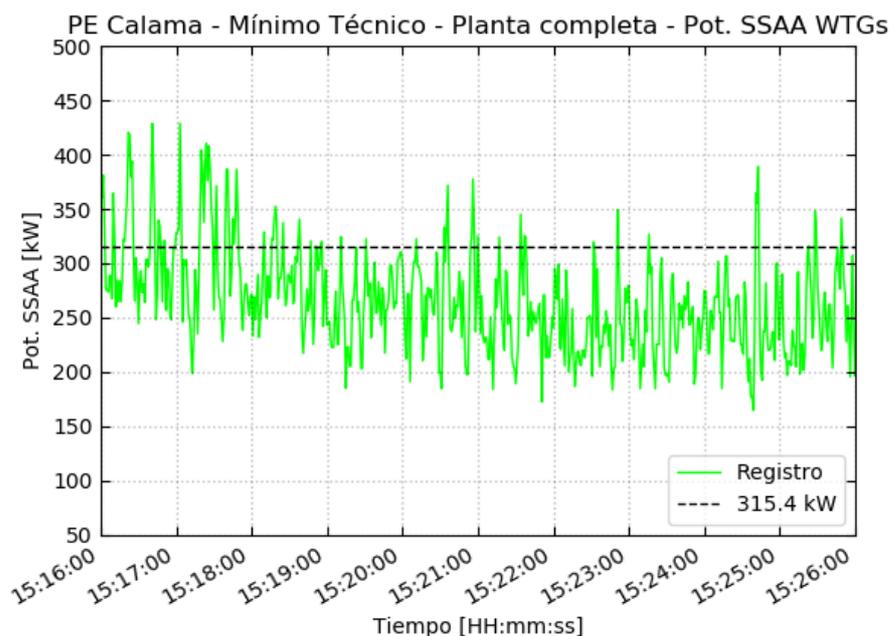


Figura 4.4 – Mínimo Técnico – Planta completa – Potencia SSAA de aerogeneradores



En la Figura 4.4 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 presentado en el documento *EE-EN-2021-1670-RA_Potencia_Maxima_PE_Calama*. Por lo tanto, el valor de potencia de servicios auxiliares queda dado por la siguiente expresión.

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

$$P_{SSAA} = 315.4 \text{ kW} + 10.0 \text{ kW} = 325.4 \text{ kW}$$

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 (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, 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 Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.3).

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, cuya lectura durante las pruebas fue de 10.0 kW y los consumos internos de todos los aerogeneradores.

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

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

$$P_{perd,central} = 9.12 \text{ MW} - 325.4 \text{ kW} - 8.16 \text{ MW} = 634.6 \text{ kW}$$

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

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

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 carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{vacío}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es cercano al 5%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 57.75 \text{ kW} = 57.75 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{perd,redMT} = 634.6 \text{ kW} - 57.75 \text{ kW} = 576.85 \text{ kW}$$

4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en 220 kV en el paño JT1 de la S/E Elevadora PE Calama. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 8.16 MW, considerando la operación estable de todos los aerogeneradores.

$$P_{neta} = 8.16 \text{ MW}$$

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.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Calama	9.12	325.4	624.6	8.16

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Planta completa – Parque Eólico Calama



5 CONCLUSIONES

Se determinó mediante ensayos el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio**. Los resultados se resumen a continuación.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PE Calama	679.9	268.3	411.6 ¹	0.0

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – Aerogenerador WTG31 – Parque Eólico Calama

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Calama	9.12	325.4	634.6 ²	8.16

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Planta completa – Parque Eólico Calama

¹ Desglosado en 57.75 kW de pérdidas en el transformador principal y 353.85 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

² Desglosado en 57.75 kW de pérdidas en el transformador principal y 576.85 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración del medidor de energía

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 <h1 style="margin: 0;">ESTUDIOS ELECTRICOS</h1>		
<p>Estudios Eléctricos declara que el instrumento:</p> <h2 style="margin: 0;">Janitza UMG 604</h2> <p style="margin: 0;">Número de Serie: 5216/002</p>		
<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	Número de Serie	Última Calibración
Valija de Inyección Freja 300	4501345	04/05/2020
<p>Fecha de evaluación: 19/08/21 Certificado número: EE-CI-2021-1560</p>		<p>Nombre Inspector: Leiss, Jorge Firma:</p> 
<p>Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning</p>		



6.2 Antecedentes de Mínimo Técnico aerogeneradores

A continuación, se presenta un correo enviado por el fabricante de los equipos, en el que se informa el valor de potencia mínima de cada aerogenerador. Establecido en el 5% del valor nominal.

Buen día Jose Luis.

Mediante la presente, Siemens Gamesa Renewable Energy establece que las condiciones de diseño de los aerogeneradores SG – 4.5 145 instalados en el Parque Eólico Calama le permiten operar de manera permanente, estable y segura **en presencia del recurso eólico** a una potencia mínima igual al 5% de su valor nominal.

La reducción de potencia en presencia de recurso eólico se consigue incrementando el ángulo de inclinación (Pitch Angle) de las palas. De esta manera, para ángulos mayores de inclinación, el sistema de control del aerogenerador lo pasa al estado “Pausa” para evitar que la potencia activa no pueda ser controlada, así como también para evitar la aparición de esfuerzos que ocasionen una reducción acelerada en la vida útil de sus principales componentes.

Saludos cordiales.

Mauricio García Parada
PROGRAM DIRECTOR
LATAM, On Shore

SIEMENS Gamesa
RENEWABLE ENERGY

Siemens Gamesa LATAM



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.