



---

# INFORME DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO

Informe Técnico

Preparado para:



Marzo – 2023

A 0777 | R 1097 - 22

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.....</b>	<b>3</b>
<b>ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>5</b>
<b>REGISTRO DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>6</b>
<b>SECCIÓN PRINCIPAL.....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1. Definiciones y nomenclatura.....	7
1.2. Marco Normativo.....	8
1.3. Descripción del parque eólico.....	9
<b>2. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.....</b>	<b>16</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>16</b>
<b>4. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA.....</b>	<b>17</b>
<b>5. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>17</b>
5.1. Mínimo técnico a nivel aerogenerador.....	17
5.1.1 Potencia Neta.....	19
5.1.2 Potencia Bruta.....	19
5.1.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	19
5.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	20
5.1.5 Resumen de resultados.....	23
5.2. Mínimo técnico a nivel planta.....	23
5.2.1 Potencia Neta.....	26
5.2.2 Potencia Bruta.....	26
5.2.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	26
5.2.4 Potencia de pérdidas de la central.....	27
5.2.5 Resumen de resultados.....	28
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Tabla resumen de valores a presentar. ....	16
Tabla 2. Mínimo técnico a nivel aerogenerador – duración del ensayo. ....	17
Tabla 3. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo. ....	23
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico. ....	7
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Llanos del Viento ....	9
Gráfico 3. Esquema unilineal de conexión del PE Llanos del Viento. ....	10
Gráfico 4. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 1, 2 y 3. ....	11
Gráfico 5. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 4, 5 y 6. ....	12
Gráfico 6. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 7, 8 y 9. ....	13
Gráfico 7. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 10 y 11. ....	14
Gráfico 8. Curva de capacidad SG 5.0 -145 de 5 MW. ....	15
Gráfico 9. Curva de potencia del aerogenerador SG 5.0 – 145 para una densidad del aire de 1.225 kg/m <sup>3</sup> . ....	15
Gráfico 10. Mínimo técnico generado para una potencia neta de 0 MW en el punto de conexión. ....	18
Gráfico 11. Diferencia de potencia durante la ventana registrada. ....	18
Gráfico 12. Velocidad de viento en la planta para el ensayo de mínimo técnico a nivel aerogenerador. ....	19
Gráfico 13. Determinación del consumo de SSAA para mínimo técnico a nivel aerogenerador. ....	20
Gráfico 14. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos de viento para la condición de mínimo técnico a nivel aerogenerador. ....	21
Gráfico 15. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Llanos del Viento. ....	22
Gráfico 16. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel aerogenerador. ....	23
Gráfico 17. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico. ....	24
Gráfico 18. Mínimo técnico a nivel planta. ....	24
Gráfico 19. Diferencia de potencia durante la ventana registrada para el mínimo técnico a nivel planta. ....	25
Gráfico 20. Velocidad de viento para el ensayo de mínimo técnico a nivel planta. ....	25
Gráfico 21. Determinación del consumo de SSAA para mínimo técnico a nivel planta. ..	27

Gráfico 22. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos de viento para la condición de mínimo técnico a nivel planta.....28

Gráfico 23. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta. ....28

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE	Comisión Nacional de Energía
ERNC	Energía Renovables No Convencional
NTSyCS	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
NT SSMM	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas Medianos
PE	Parque Eólico
SET	Subestación Eléctrica
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
ONAN	Oil Natural Air Natural
ONAF	Oil Natural Air Forced
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
RCB	Regulador Bajo Carga
PMU	Power Management Unit

## REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

<b>N°</b>	<b>Fecha</b> dd/mm/año	<b>Preparó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Observaciones</b>
1	03/03/2023	FG	FM	FM	Emisión Original

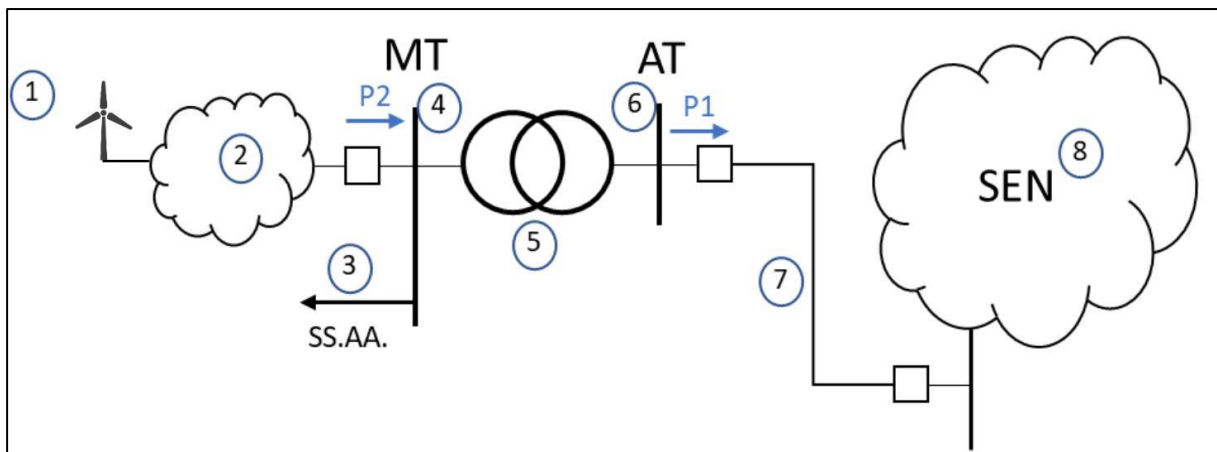
# SECCIÓN PRINCIPAL

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Llanos del Viento, durante el día 11 de Febrero de 2023, en relación al proceso de determinación de la potencia mínima técnica de la planta.

### 1.1. Definiciones y nomenclatura

En el siguiente gráfico se muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:



**Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico.**

**1) Generador equivalente:** Representa la suma de los aportes de potencia activa de los aerogeneradores individuales.

**2) Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector):** Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico, principalmente en el circuito colector de media tensión, y en los transformadores de bloque de cada aerogenerador.

**3) Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.):** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la subestación eléctrica de la planta sumados a los servicios auxiliares de los aerogeneradores.

**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).

De acuerdo con las definiciones anteriores se considera la siguiente nomenclatura:

- P1: Potencia activa inyectada en la barra de AT del PE. Este valor corresponde a la Potencia Neta del Parque (Pneta).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- Pbruta: Suma de los aportes de potencia activa de los aerogeneradores del parque en el lado baja tensión (BT) del parque (en correspondencia con el punto 1 del Gráfico 1).
- Pperd: Potencia de pérdidas en la línea de transmisión (ver punto 7 del Gráfico 1).
- Ptrafo: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- Pssa: Potencia de servicios auxiliares del parque.
- Pcolector: Pérdidas en el sistema colector del parque (ver punto 2 del Gráfico 1).

### 1.2. Marco Normativo

Las pruebas realizadas se programaron en base al ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS "Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras". En tal sentido, el valor de Mínimo Técnico se obtiene 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.

Los valores de mínimo técnico se realizaron considerando distintas condiciones operativas del PE Llanos del Viento, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo técnico con el parque totalmente operativo:** Valor de potencia activa mínima bruta con la cual el parque puede operar considerando todos los aerogeneradores y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estable.
- **Mínimo técnico considerando para una potencia neta de 0 MW en el punto de conexión:** Valor de potencia activa bruta entregada por un único aerogenerador o un grupo de aerogeneradores (con el resto en pausa) que permite entregar una potencia activa neta en el punto de conexión de 0 MW.



### 1.3. Descripción del parque eólico

El PE Llanos del Viento está formado por 32 aerogeneradores marca SIEMENS Gamesa modelo SG 5.0 -145 de 5 MW cada uno, siendo la potencia instalada de 160 MW (32 x 5 MW). En el Gráfico 8 se muestra la curva de capacidad PQ de los aerogeneradores y el Gráfico 10 la curva de potencia en función del viento.

El punto de conexión del PE es en la barra de 220 kV de la SE Llanos del viento. El PE se conecta al sistema eléctrico a través de la SE O'Higgins 220 kV. Una línea de 220 kV y 24.4 km de longitud vincula la SE mencionada con la SE Llanos del Viento.

La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector en 33 kV formado por 11 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada aerogenerador cuenta con su transformador de bloque de 0.69/33 kV de una potencia de 5.5 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 220/33 kV, 120/170 MVA (ONAN/ONAF), de la SE Llanos del Viento.

En el Gráfico 2 se muestra la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 3 el esquema unilíneal de conexión, en el **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** al Gráfico 7 se muestra un esquema unilíneal del sistema colector en 33 kV.



#### PE Llanos del Viento

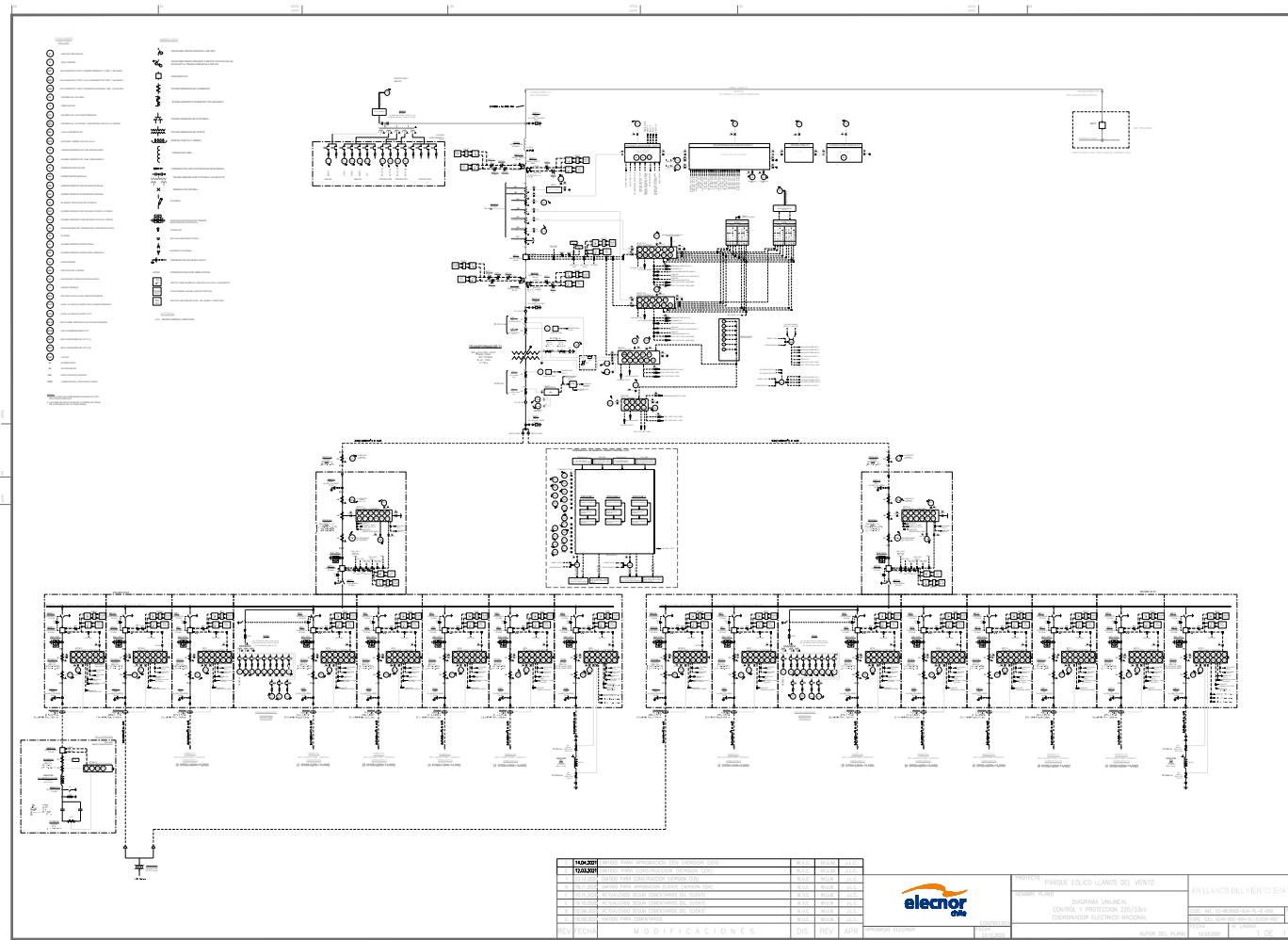
Región de Antofagasta

Ubicación: Antofagasta

Capacidad Instalada: 160 MW

Cantidad de aerogeneradores: 32

**Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Llanos del Viento**



**Gráfico 3. Esquema unilineal de conexión del PE Llanos del Viento.**

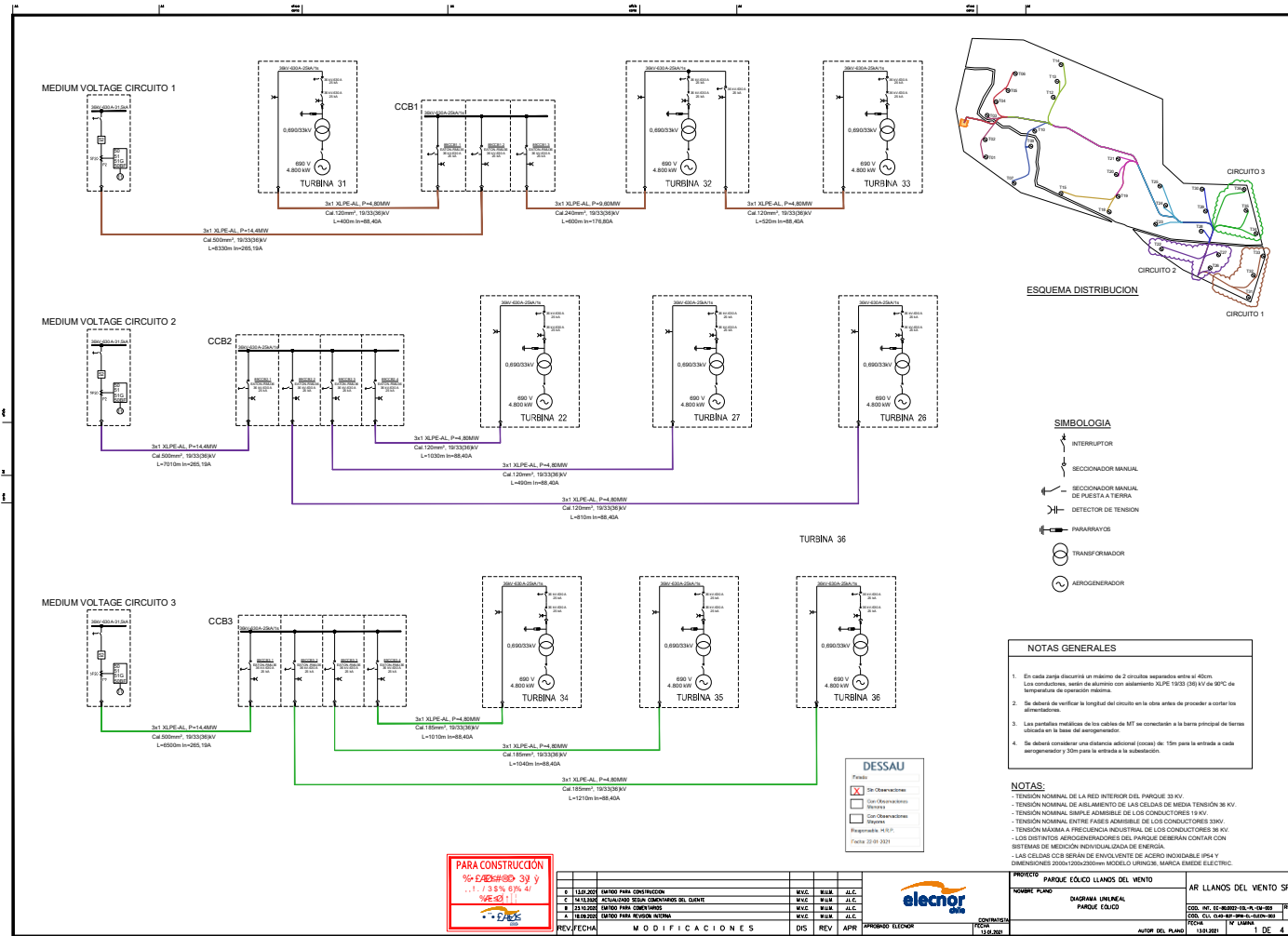


Gráfico 4. Esquema unilínea del sistema colector – circuitos 1, 2 y 3.

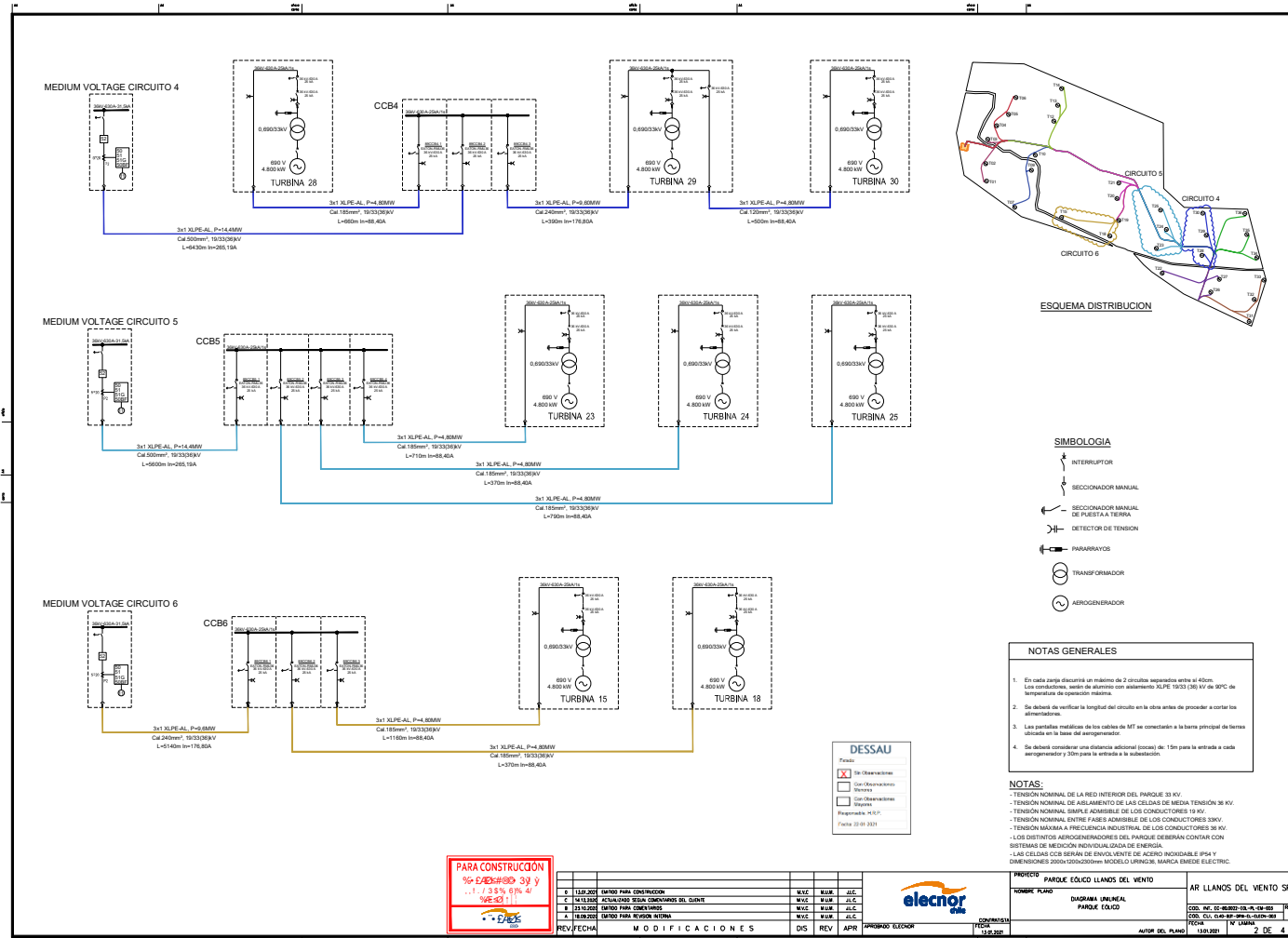
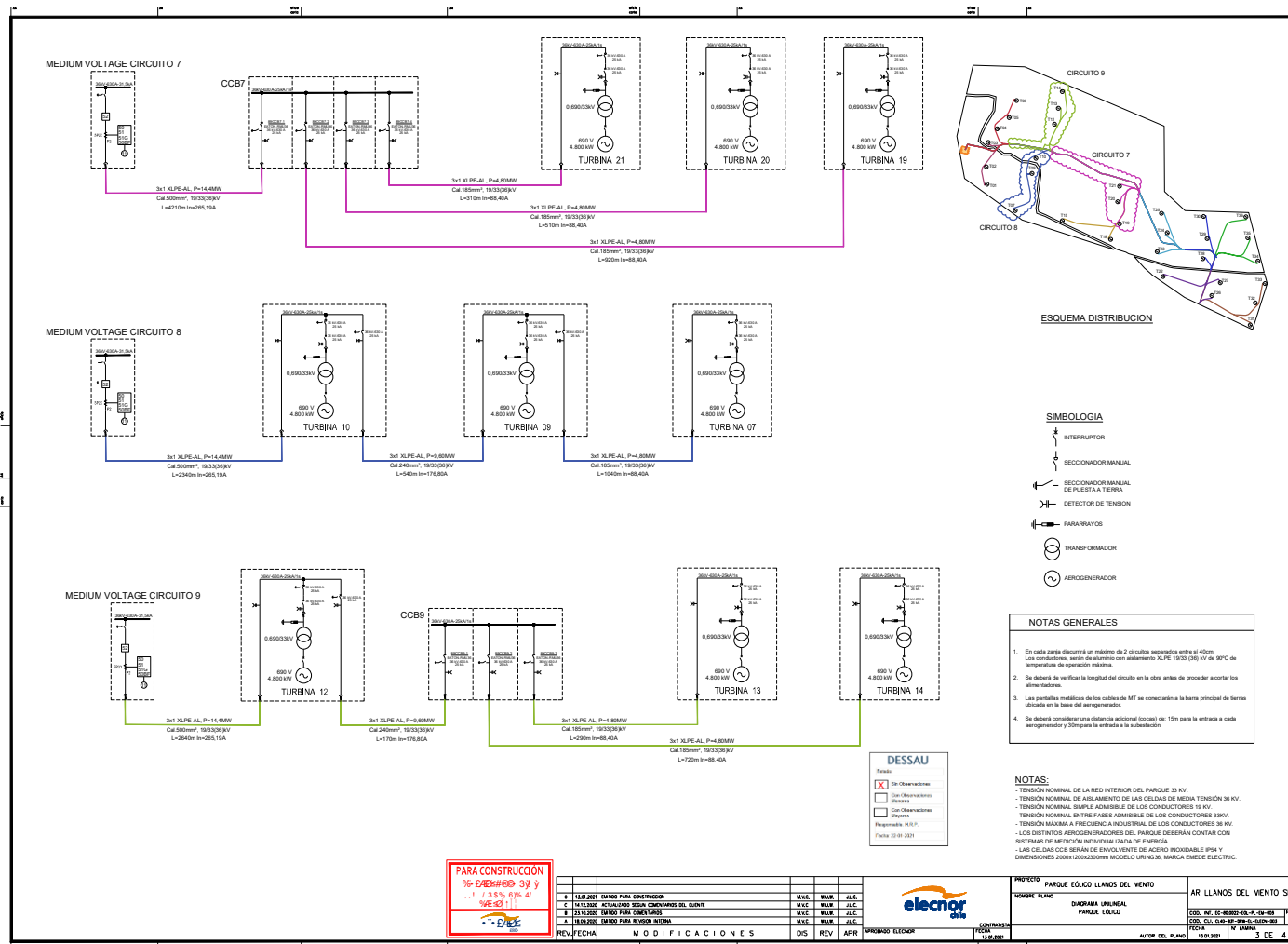


Gráfico 5. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 4, 5 y 6.



**Gráfico 6. Esquema unilínea del sistema colector – circuitos 7, 8 y 9.**



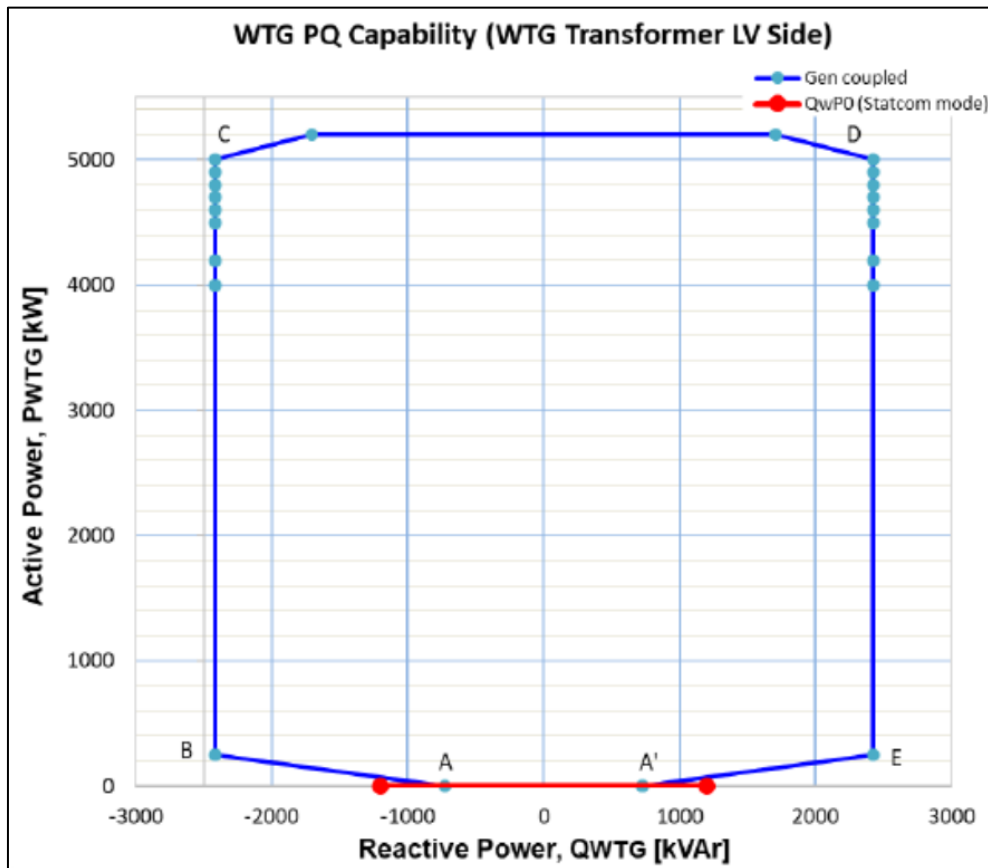


Gráfico 8. Curva de capacidad SG 5.0 -145 de 5 MW.

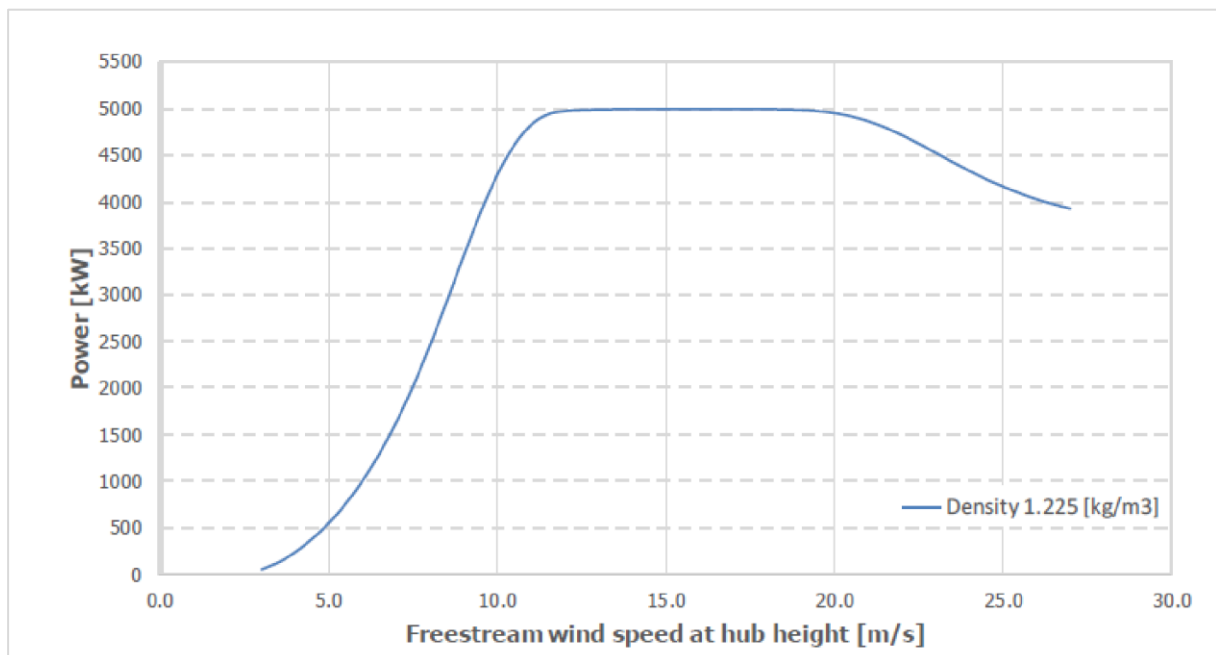


Gráfico 9. Curva de potencia del aerogenerador SG 5.0 – 145 para una densidad del aire de 1.225 kg/m<sup>3</sup>.

## 2. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El parque eólico presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques eólicos de similares características, como los mencionados a continuación<sup>1</sup>:

- Parque Eólico Tolpán Sur (mínimo técnico = 0.87 MW).
- Parque Eólico Alena (mínimo técnico = 0.029 MW).

## 3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

De acuerdo con el Artículo 4 “Definiciones” del Anexo Técnico, se determinó “la potencia activa bruta mínima, con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua”.

Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, el mínimo valor de referencia configurable en el punto de conexión desde el control de planta (PPC) según se informó por el fabricante, es de 8 MW (5% de P<sub>n</sub>). El PPC reparte la consigna entre los aerogeneradores de la planta, decidiendo además si dejar en pausa o no a algún aerogenerador para cumplir con la consigna enviada. Para realizar la prueba, se procedió a reducir la consigna de generación por medio del comando del operador de a pasos hasta alcanzar un valor por debajo del cual los aerogeneradores se empiecen a pausar, una vez alcanzado dicho punto se tomó un registro de 15 minutos para verificar la estabilidad de las variables.

Para el ensayo de mínimo técnico con una inyección en el punto de conexión de 0 MW se proceda a despachar al parque desde el control de planta en dicha consigna y se registró la generación bruta inyectada de los aerogeneradores que quedaron en funcionamiento. Se registró 15 minutos en esta condición para verificar la estabilidad de las variables.

Para cada una de las pruebas, se desglosan los valores de potencia obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Tabla resumen de valores a presentar.**

<b>Parque Eólico</b>	<b>Potencia Bruta [kW]</b>	<b>SS.AA. [kW]</b>	<b>Pérdidas en la central [kW]</b>	<b>Potencia Neta [kW]</b>
<b>PE Llanos del Viento</b>	(1)	(2)	(3)	(4)

<sup>1</sup> <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>



- (1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los aerogeneradores del PE Llanos del Viento en el lado de BT.
- (2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (aerogeneradores + SE Llanos del Viento 220 kV).
- (3) **Perdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos del Viento 220 kV y las pérdidas en el sistema colector de la central (transformadores de bloque de los aerogeneradores + circuito colector de MT).
- (4) **Potencia Neta:** Es la potencia neta inyectada en el punto de conexión del parque eólico, que para el caso del PE Llanos del viento es la barra de AT de la SE Llanos del Viento 220 kV.

## 4. TOMA DE REGISTROS DE POTENCIA MÍNIMA

Para la realización de este ensayo de potencia mínima se emplearon los registros propios de la central extraídos desde el control de planta (PPC). Los registros temporales empleados tienen una resolución de 1 segundo.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

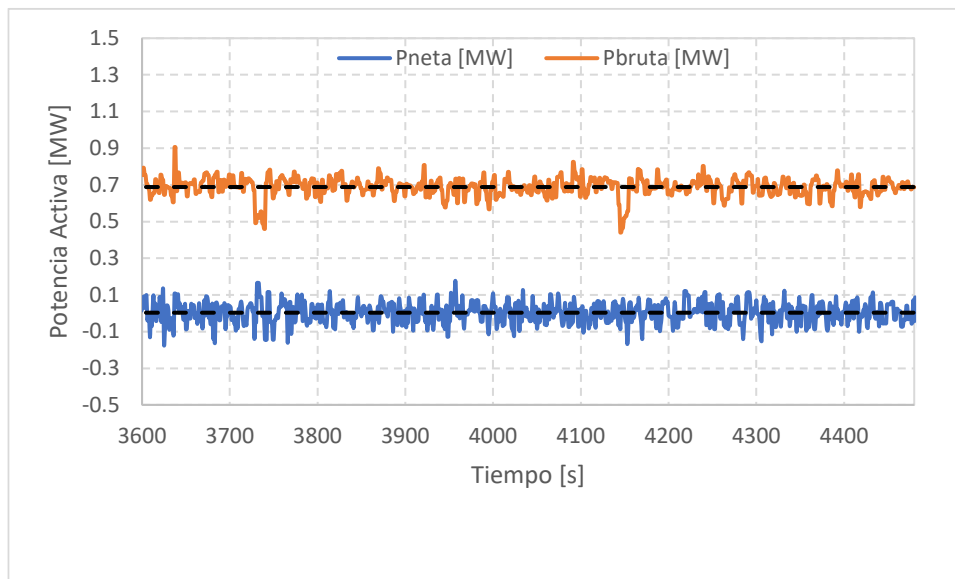
### 5.1. Mínimo técnico a nivel aerogenerador

Se procedió a enviar una consigna de 0 MW mediante el PPC de la planta, registrando la potencia neta en el punto de conexión y la potencia bruta generada por los aerogeneradores que quedaron operativos. En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

**Tabla 2. Mínimo técnico a nivel aerogenerador – duración del ensayo.**

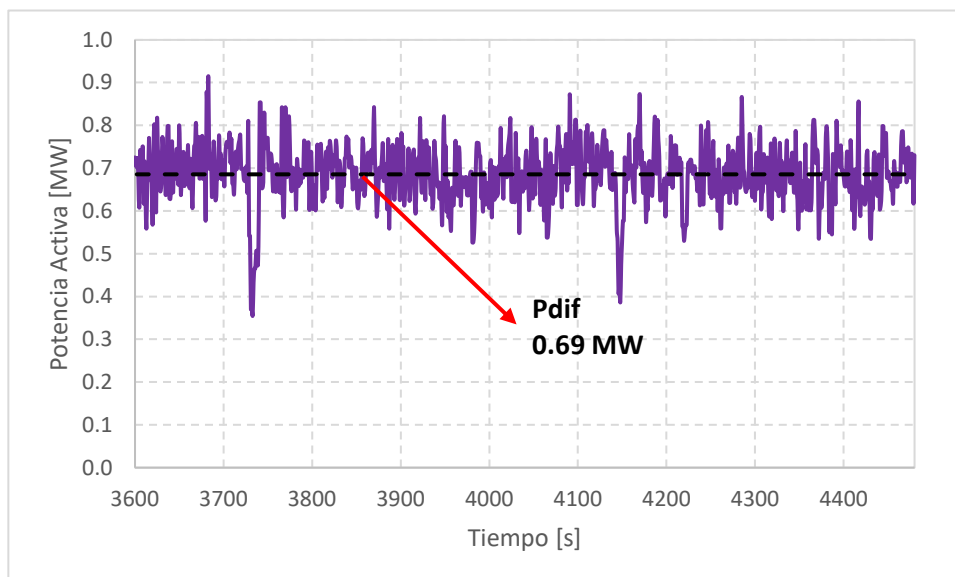
<b>Fecha</b>	11/02/2023
<b>Inicio de la prueba [hh:mm:ss]</b>	17:50:00
<b>Finalización de la prueba [hh:mm:ss]</b>	18:04:40

Para una consigna de 0 MW en el punto de conexión quedaron dos aerogeneradores en funcionamiento WTG29 y WTG25 (con el resto en pausa) alimentando las pérdidas de la central. En los siguientes gráficos se muestra el resultado de la prueba:



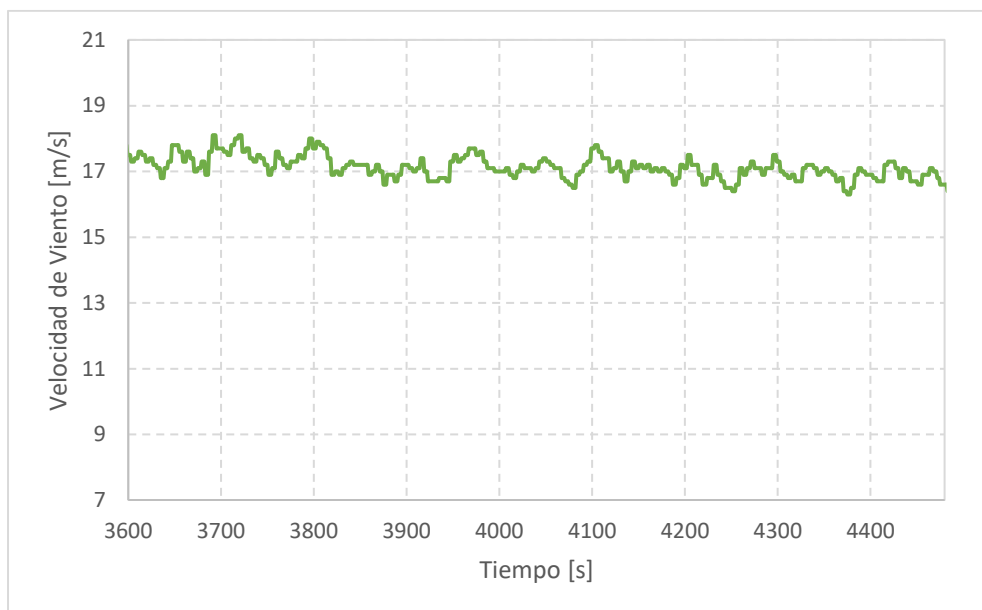
**Gráfico 10. Mínimo técnico generado para una potencia neta de 0 MW en el punto de conexión.**

Del gráfico anterior se observa que la potencia neta promedio fue de **Pneta = 0 MW** para una potencia bruta promedio de **Pbruta = 0.69 MW**. La diferencia entre ambas variables se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 11. Diferencia de potencia durante la ventana registrada.**

La velocidad de viento registrada se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 12. Velocidad de viento en la planta para el ensayo de mínimo técnico a nivel aerogenerador.**

A continuación, se realiza el cálculo de potencia según la Tabla 1

#### 5.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 10 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 0 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 0 \text{ MW}$$

#### 5.1.2 Potencia Bruta

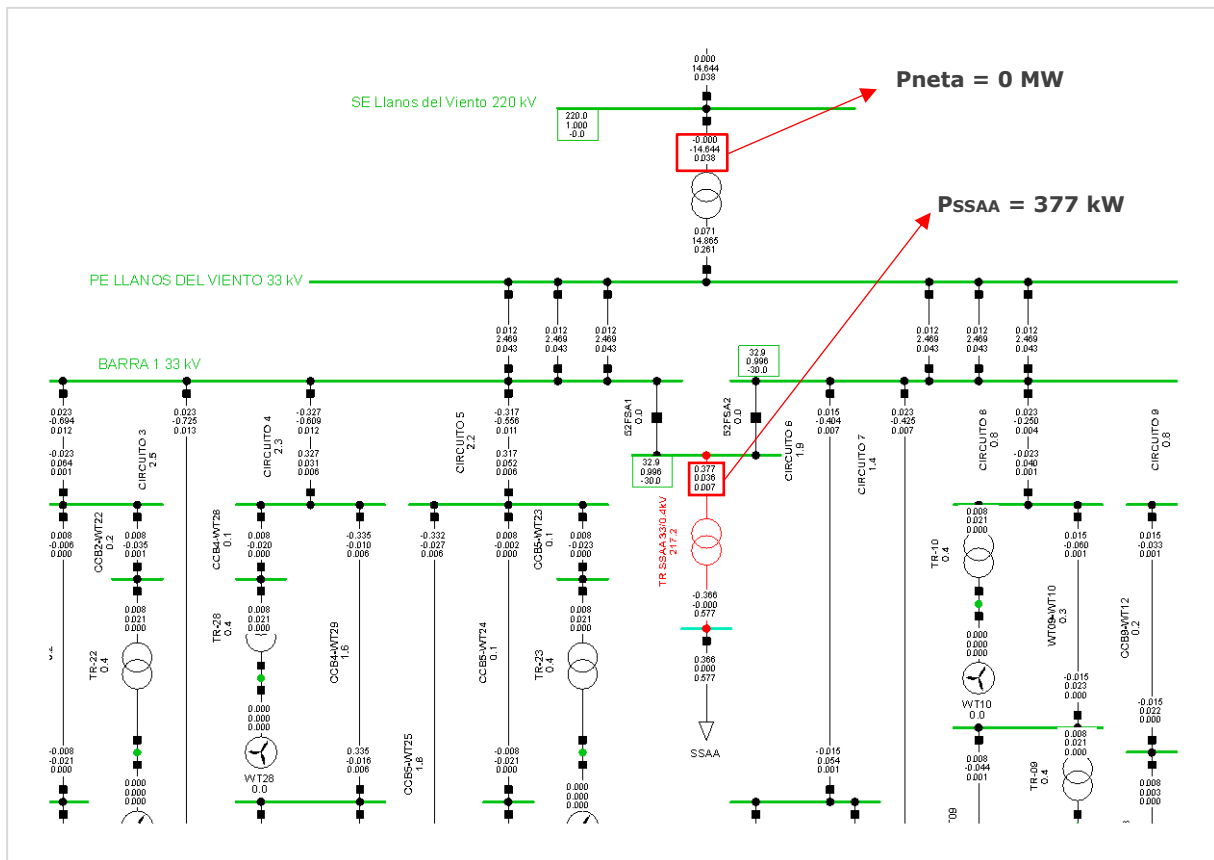
Como se comentó anteriormente, para la condición operativa de la prueba, solo dos aerogeneradores quedaron en funcionamiento. Luego la potencia bruta resulta de la suma promedio la generación de WTG29 y WTG25, por lo tanto:

$$P_{bruta} = P_{WTG29} + P_{WTG25} = 0.69 \text{ MW}$$

#### 5.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

El consumo de los servicios auxiliares para la condición de mínimo técnico se determinó mediante un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, empleando el modelo desarrollado de la central. Se despacharon los generadores con las potencias brutas registradas en el ensayo. En el siguiente gráfico se muestra el resultado obtenido donde se observa que para un consumo de SSAA de 377 kW, se obtiene la potencia neta en el

punto de conexión de 0 MW (obtenida en el ensayo).



**Gráfico 13. Determinación del consumo de SSAA para mínimo técnico a nivel aerogenerador.**

El consumo de servicios auxiliares para esta condición operativa se determinó en un valor de 377 kW (SSAA SE Llanos del viento + SSAA Aerogeneradores).

$$P_{SSAA} = 377 \text{ kW}$$

#### 5.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La potencia de pérdidas de la central se obtiene como la suma de las pérdidas del transformador de potencia de la central y las pérdidas en el sistema colector de media tensión (cables MT + transformadores de bloque de aerogeneradores).

Además, debe descontarse el consumo de los SSAA. La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{\text{perd central}} = P_{\text{bruta}} - P_{\text{neta}} - P_{SSAA}$$

$$P_{\text{perd central}} = 0.69 \text{ MW} - 0 \text{ MW} - 0.377 \text{ MW}$$

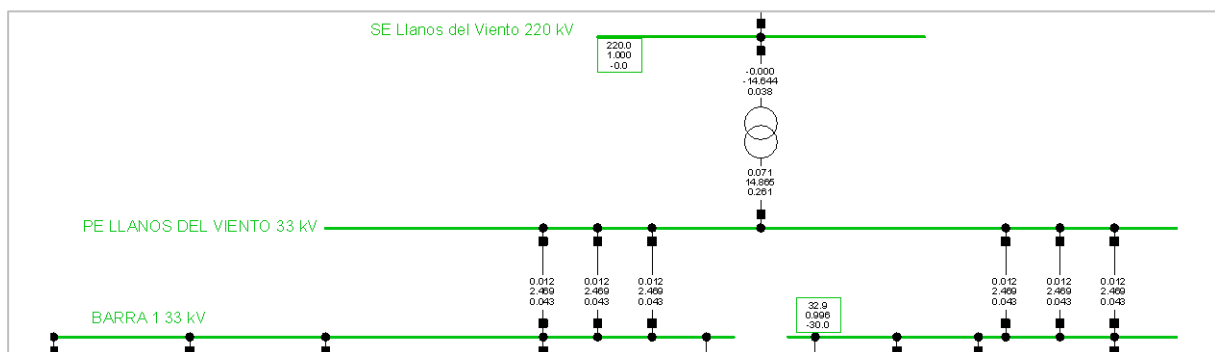
$$P_{perd\ central} = 0.313\text{ MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

Para poder desagregar las pérdidas anteriores, se realizó un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, tomando el modelo detallado empleado en el estudio de validación.

Considerando la simulación de flujo de potencia mencionada anteriormente se pueden determinar las pérdidas activas de potencia asociadas al transformador elevador de la SE Llanos del viento. Para el estado de potencia mínima se tiene:



**Gráfico 14. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos de viento para la condición de mínimo técnico a nivel aerogenerador.**

De lo anterior las pérdidas activas en el transformador de potencia de la SE Llanos del viento, se calculan como:

$$P_{trafo} = 0.071\text{ MW} - 0\text{ MW} = 71\text{ kW}$$

Los datos del transformador de potencia se muestran a continuación:

2-Winding Transformer Type - Templates\pe llanos\Library\Equipment Type Library\Elementos Futuros\Trf 220/33kV 170 MVA, TypTr2

<b>Basic Data</b>	Name	Trf 220/33kV 170 MVA	
Description	Technology	Three Phase Transformer	
Version	Rated Power	170.	MVA
Load Flow	Nominal Frequency	50.	Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage		Vector Group
Short-Circuit Complete	HV-Side	220.	kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	33.	kV
Short-Circuit IEC 61363	Positive Sequence Impedance		HV-Side
Short-Circuit DC	Short-Circuit Voltage uk		YN
Simulation RMS	Copper Losses		LV-Side
Simulation EMT	Zero Sequence Impedance		Phase Shift
Protection	Short-Circuit Voltage uk0		1.
Power Quality/Harmonics	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r		*30deg
Reliability	No Load Current		Name
Hosting Capacity Analysis	No Load Losses		YNd1
Optimal Power Flow			

<b>Magnetising Impedance</b>	
No Load Current	0.052 %
No Load Losses	69. kW

**Gráfico 15. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Llanos del Viento.**

Por lo tanto, las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por la siguiente expresión:

$$P_{colector} = P_{perd\ central} - P_{trafo}$$

$$P_{colector} = 0.313\ MW - 0.071\ MW$$

$$P_{colector} = 0.242\ MW$$

### 5.1.5 Resumen de resultados

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

**Gráfico 16. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel aerogenerador.**

<b>Parque Eólico</b>	<b>Potencia Bruta medida [MW]</b>	<b>SS.AA. [MW]</b>	<b>Pérdidas en la central [MW]</b>	<b>Potencia Neta [MW]</b>
<b>PE Llanos del Viento</b>	0.69	0.377	0.313	0

### 5.2. Mínimo técnico a nivel planta

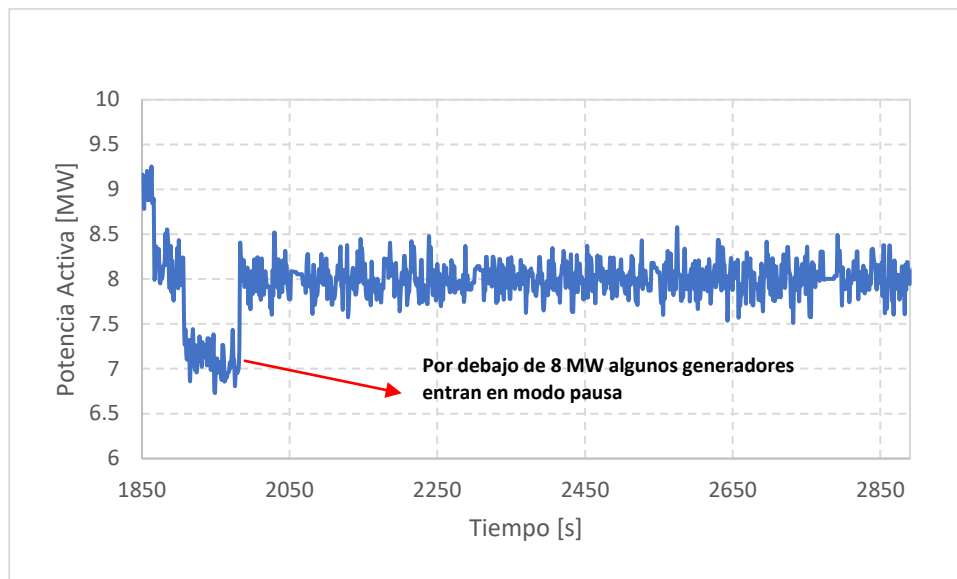
Para el caso del mínimo técnico a nivel planta, el mínimo valor de referencia configurable en el punto de conexión desde el control de planta (PPC) según se informó por el fabricante, es de 8 MW (5% de P<sub>n</sub>). Para realizar la prueba, se procedió a reducir la consigna de generación por medio del comando del operador de a pasos hasta alcanzar un valor por debajo del cual los aerogeneradores se empiecen a pausar, una vez alcanzado dicho punto se tomó un registro de 15 minutos para verificar la estabilidad de las variables.

En la siguiente tabla se muestra la fecha y hora de realización de esta prueba:

**Tabla 3. Mínimo técnico a nivel planta – duración del ensayo.**

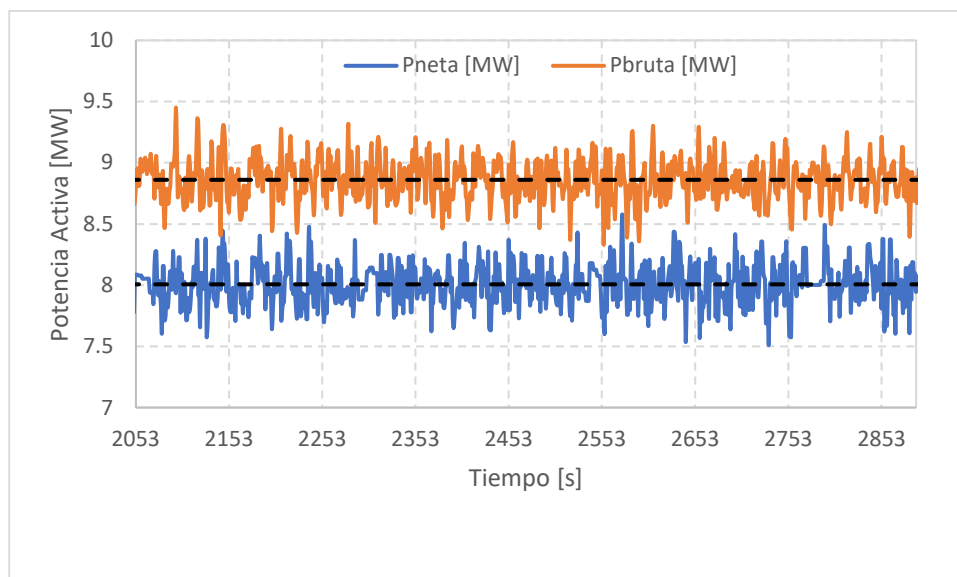
<b>Fecha</b>	11/02/2023
<b>Inicio de la prueba [hh:mm:ss]</b>	17:24:13
<b>Finalización de la prueba [hh:mm:ss]</b>	17:38:10

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de la prueba:



**Gráfico 17. Resultado de disminución de la potencia de la planta en búsqueda del mínimo técnico.**

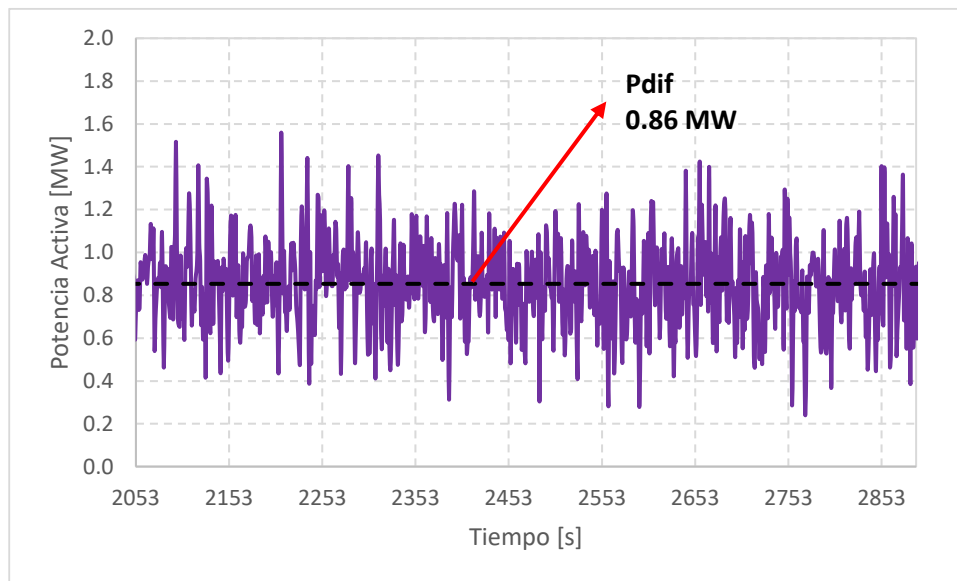
De lo anterior el mínimo valor de consigna para el cual todos los aerogeneradores se mantienen inyectando potencia es de 8 MW, coincidente con el valor teórico informado por el fabricante. Se registró la potencia neta y la potencia bruta en esta condición:



**Gráfico 18. Mínimo técnico a nivel planta.**

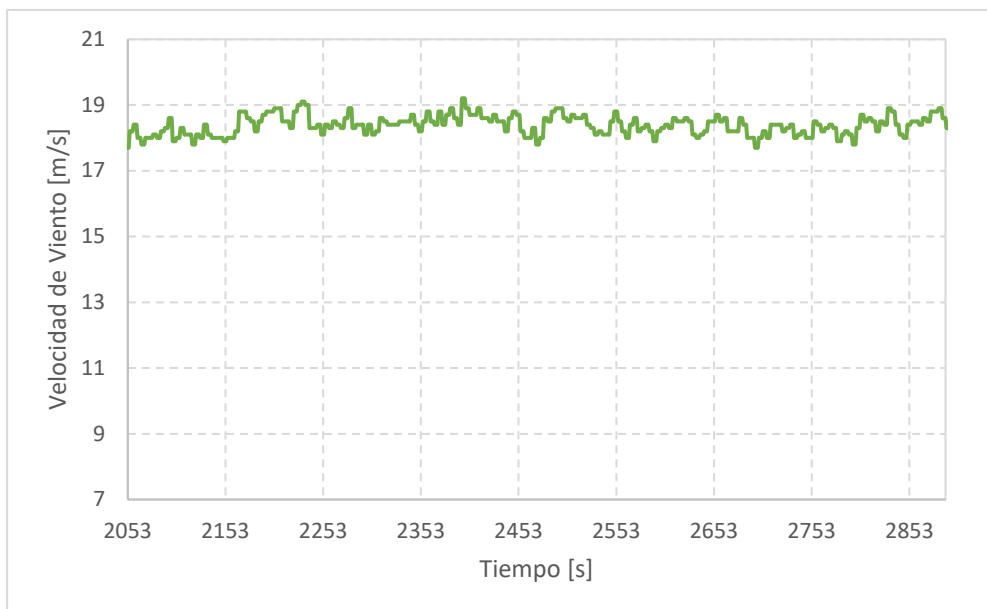
Del grafico anterior se observa que la potencia neta promedio fue de **Pneta = 8 MW** para una potencia bruta promedio de **Pbruta = 8.86 MW**. La diferencia entre ambas variables se muestra en el siguiente gráfico:





**Gráfico 19. Diferencia de potencia durante la ventana registrada para el mínimo técnico a nivel planta.**

La velocidad de viento registrada se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 20. Velocidad de viento para el ensayo de mínimo técnico a nivel planta.**

A continuación, se realiza el cálculo de potencia según la Tabla 1

#### 5.2.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 18 la potencia neta inyectada en el punto de conexión fue de 8 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 8 \text{ MW}$$

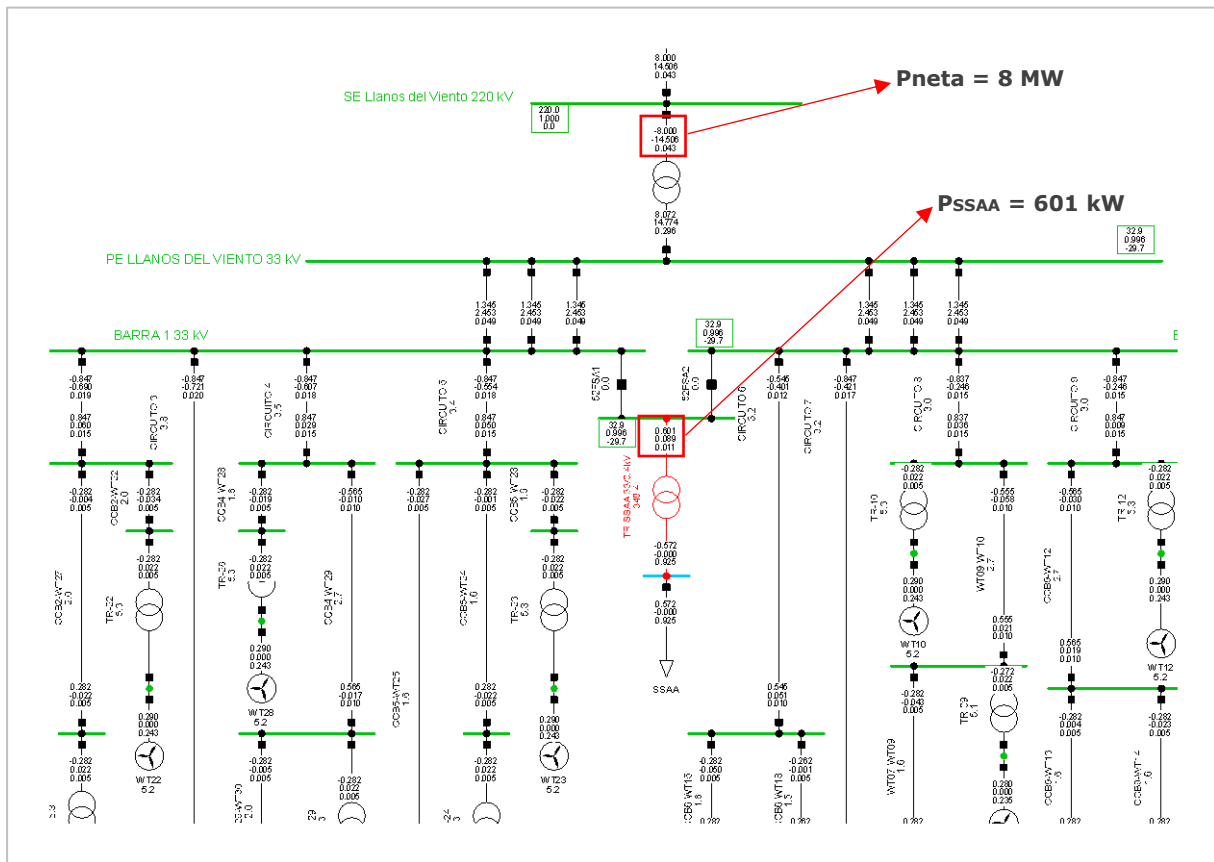
#### 5.2.2 Potencia Bruta

La potencia bruta total surge de la sumatoria de las potencias individuales en bornes de cada aerogenerador para el instante considerado:

$$P_{bruta} = \sum_{i=1}^{32} P_{gi} = 8.86 \text{ MW}$$

#### 5.2.3 Potencia de los servicios auxiliares

El consumo de los servicios auxiliares para la condición de mínimo técnico se determinó mediante un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, empleando el modelo desarrollado de la central. Se despacharon los generadores con las potencias brutas registradas en el ensayo. En el siguiente gráfico se muestra el resultado obtenido donde se observa que para un consumo de SSAA de 601 kW, se obtiene la potencia neta en el punto de conexión de 8 MW (obtenida en el ensayo).



**Gráfico 21. Determinación del consumo de SSAA para mínimo técnico a nivel planta.**

El consumo de servicios auxiliares para esta condición operativa se determinó en un valor de 601 kW (SSAA SE Llanos del viento + SSAA Aerogeneradores).

$$P_{SSAA} = 601 \text{ kW}$$

#### 5.2.4 Potencia de pérdidas de la central

La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{\text{perd central}} = P_{\text{bruta}} - P_{\text{neta}} - P_{SSAA}$$

$$P_{\text{perd central}} = 8.86 \text{ MW} - 8 \text{ MW} - 0.601 \text{ MW}$$

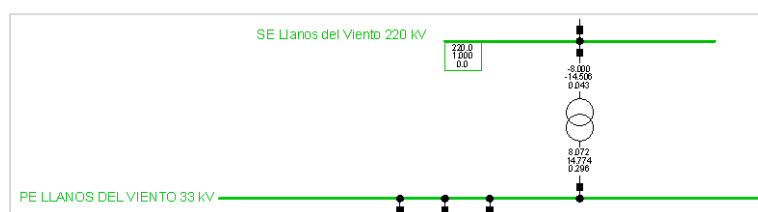
$$P_{\text{perd central}} = 0.259 \text{ MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

Para poder desagregar las pérdidas anteriores, se realizó un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, tomando el modelo detallado empleado en el estudio de validación.

Considerando la simulación de flujo de potencia mencionada anteriormente se pueden determinar las pérdidas activas de potencia asociadas al transformador elevador de la SE Llanos del viento. Para el estado de potencia mínima se tiene:



**Gráfico 22. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos de viento para la condición de mínimo técnico a nivel planta.**

De lo anterior las pérdidas activas en el transformador de potencia de la SE Llanos del viento, se calculan como:

$$Ptraf\o = 8.072 \text{ MW} - 8 \text{ MW} = 72 \text{ kW}$$

Por lo tanto, las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por la siguiente expresión:

$$Pcolector = Pperd\ central - Ptraf\o$$

$$Pcolector = 0.259 \text{ MW} - 0.072 \text{ MW}$$

$$Pcolector = 0.187 \text{ MW}$$

## 5.2.5 Resumen de resultados

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

**Gráfico 23. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.**

Parque Eólico	Potencia Bruta medida [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Llanos del Viento	8.86	0.601	0.259	8

## 6. CONCLUSIONES

- Dada una potencia mínima neta de **0 MW** en el punto de conexión del PE Llanos del Viento (lado de 220 kV de la SE Llanos del Viento) se determinó que mediante una generación bruta de **0.69 MW** (con dos aerogeneradores WTG29 y WTG25 en funcionamiento y el resto en pausa) es posible alimentar las pérdidas de la central y los servicios auxiliares.
- Dada la mínima consigna en el punto conexión (tal que todos los aerogeneradores permanecieran en funcionamiento) de **8 MW** (Pneta), se determinó una generación bruta de 8.86 MW para dicha condición operativa, tal que se pueda abastecer las pérdidas en la central y los servicios auxiliares.