



---

# INFORME DE DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TECNICO

Informe Técnico

Preparado para:



Junio - 2022

A 0609 | R 1207-20

# 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. Antecedentes.....	7
1.2. Definiciones y nomenclatura.....	7
<b>2. MARCO NORMATIVO.....</b>	<b>8</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PARQUE EÓLICO.....</b>	<b>9</b>
<b>4. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>20</b>
<b>6. RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>21</b>
6.1. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo.....	21
6.1.1 Potencia Neta.....	25
6.1.2 Potencia Bruta.....	26
6.1.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	26
6.1.4 Potencia de pérdida de la central.....	26
6.1.5 Resumen de resultados.....	29
6.2. Mínimo técnico con un aerogenerador operativo.....	29
6.2.1 Potencia Neta.....	31
6.2.2 Potencia bruta.....	32
6.2.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	32
6.2.4 Potencia de pérdidas de la central.....	32
6.2.5 Resumen de resultados.....	33
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Potencia máxima de referencia y pendiente máxima de los aerogeneradores. .	16
Tabla 2. Rampa de toma y bajada de carga configuradas.....	16
Tabla 3. Parametrización del modo LFSM-O. ....	17
Tabla 4. Parametrización del modo FSM-O-U.....	17
Tabla 5. Configuración de los límites del control de potencia reactiva. ....	18
Tabla 6. Tabla resumen de valores a presentar. ....	20
Tabla 7. Mínimo técnico de planta.....	29
Tabla 7. Mínimo técnico con un aerogenerador operativo.....	34
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico. ....	7
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Lomas de Duqueco. ....	10
Gráfico 3. Diagrama unilineal simplificado de la zona de influencia del proyecto. ....	11
Gráfico 4. Esquema unilineal de la SE Los Ángeles Sur. ....	12
Gráfico 5. Esquema unilineal del circuito colector.....	13
Gráfico 6. Curva de capacidad WTG Vestas V150 Mk3B 4.2 MW. ....	14
Gráfico 7. Esquema de control y medición del PE Lomas de Duqueco. ....	15
Gráfico 8. Característica LFSM-O. ....	16
Gráfico 9. Característica FSM-O-U.....	17
Gráfico 10. Límite PQ del control de potencia reactiva. ....	18
Gráfico 11. Comportamiento dinámico del control de potencia reactiva.....	19
Gráfico 12. Parámetros de desempeño típicos del control de potencia reactiva. ....	19
Gráfico 13. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en el punto de conexión.....	22
Gráfico 14. Captura del SCADA de planta. Setpoint de potencia activa en el punto de conexión. ....	23
Gráfico 15. Potencia bruta generada por cada aerogenerador.....	23
Gráfico 16. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en bornes de WTG05. ....	24
Gráfico 17. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en bornes de WTG13. ....	25
Gráfico 18. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur. ....	27

Gráfico 19. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur. ....	28
Gráfico 20. Captura del SCADA de planta. Setpoint de potencia activa en el punto de conexión. ....	29
Gráfico 21. Potencia bruta generada por cada aerogenerador. ....	30
Gráfico 22. Potencia activa en el punto de conexión. ....	30
Gráfico 23. Potencia activa – WTG01.....	31
Gráfico 24. Velocidad de viento – WTG01. ....	31
Gráfico 25. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur. Mínimo técnico con un aerogenerador en servicio. ....	33
Gráfico 26. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta. ....	34
Gráfico 27. Resumen de resultados – Mínimo técnico con un aerogenerador operativo. ....	34

## 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	28/06/22	FG	FM	FM	Emisión Original

## Sección principal

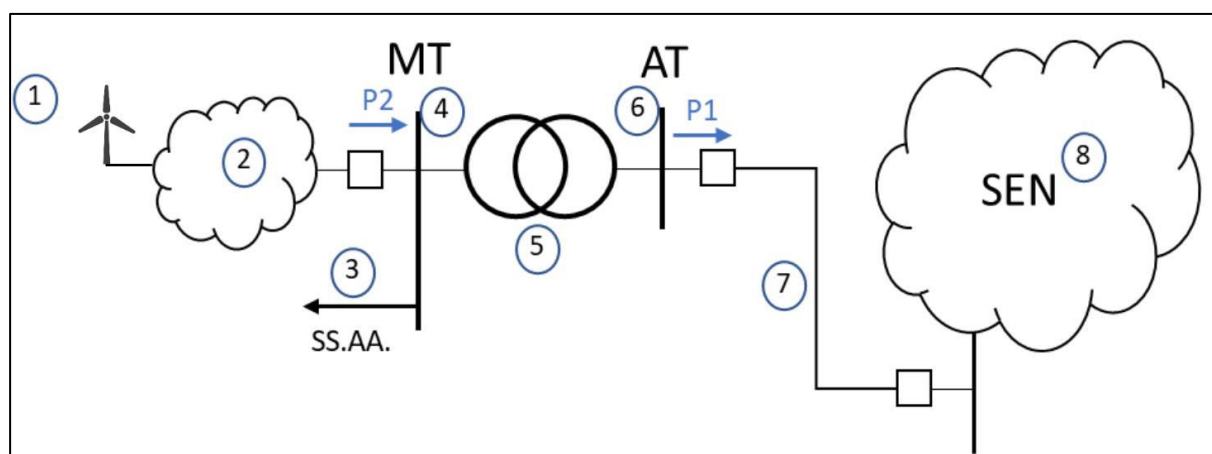
### 1. Introducción

#### 1.1. Antecedentes

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Lomas de Duqueco, durante el día 25 de Mayo de 2022, en relación al proceso de determinación del mínimo técnico de la planta. Los ensayos fueron realizados encontrándose en servicio la totalidad de los aerogeneradores.

#### 1.2. 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 (P<sub>net</sub>).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- P<sub>bruta</sub>: 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).
- P<sub>perd</sub>: Potencia de pérdidas en la línea de transmisión (ver punto 7 del Gráfico 1).
- P<sub>trafo</sub>: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- P<sub>ssa</sub>: Potencia de servicios auxiliares del parque.
- P<sub>colector</sub>: Pérdidas en el sistema colector del parque (ver punto 2 del Gráfico 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 obtuvieron considerando distintas condiciones operativas del PE Lomas de Duqueco. Los escenarios considerados se detallan a continuación:

- **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 un aerogenerador en servicio:** Valor de potencia activa bruta entregada por un único aerogenerador (con el resto en pausa) que permite entregar una Potencia activa neta en el punto de conexión de 0 MW.



### **3. Descripción del parque eólico**

El PE Lomas de Duqueco está ubicado en la comuna de los ángeles Provincia de Bio Bio, VIII región del Bio Bío, Chile. Está conformado por 14 aerogeneradores pertenecientes a la marca Vestas, modelo V150 Mk3B 4.2 MW, todos del tipo Full-Scale Converter Induction Generator, totalizando una potencia total instalada de 58.8 MW. En el Gráfico 6 se muestra la curva de capacidad de los aerogeneradores.

La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector en 33 kV formado por 3 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada unidad cuenta con un transformador de bloque de 0.72/33 kV de una potencia de 5.15 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 66/33 kV y 80 MVA (ONAF), ubicado en la SE Los Ángeles Sur.

El punto de conexión del parque es en barra de 66 kV de la SE Los Ángeles Sur. Desde este nodo parte una línea en 66 kV (formada por 5 tramos de línea) que lo interconecta con la SE Duqueco.

En el Gráfico 2 se muestra la ubicación geográfica del proyecto, en el Gráfico 3 se muestra un diagrama unilineal simplificado de la zona de influencia, en el Gráfico 4 se muestra el diagrama unilineal de la SE Los Ángeles Sur y en el Gráfico 5 se muestra el diagrama unilineal del sistema colector del PE Lomas de Duqueco.

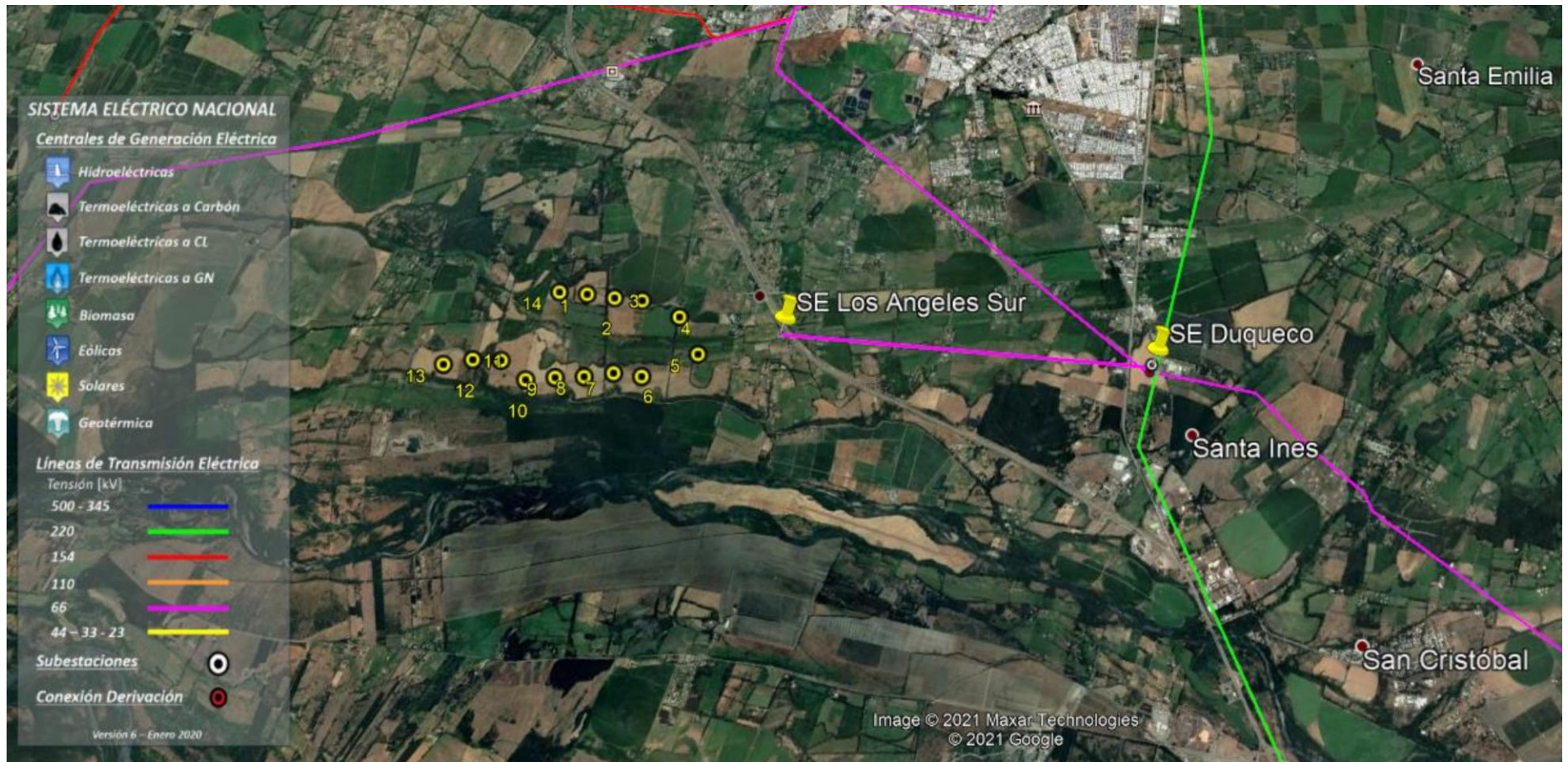
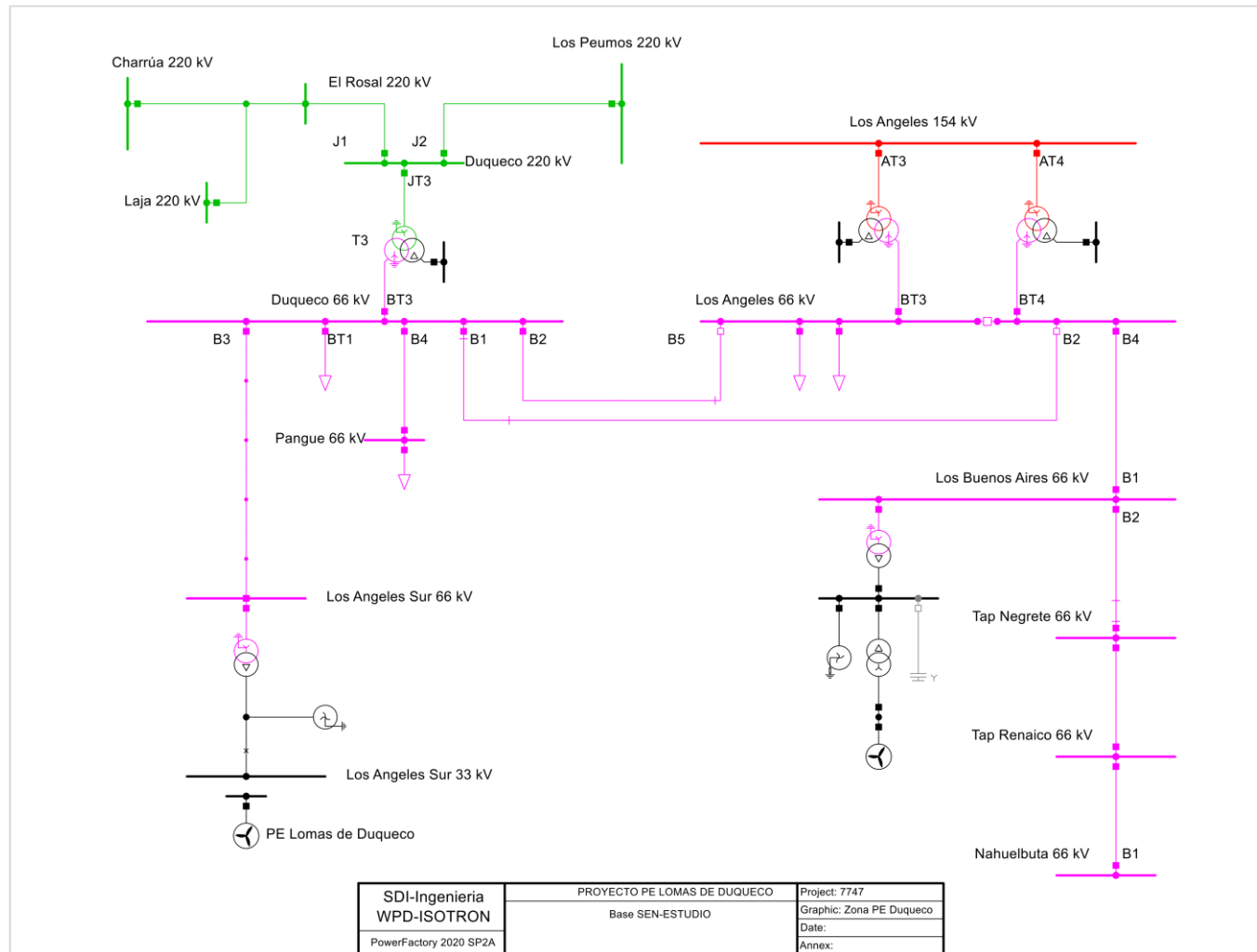
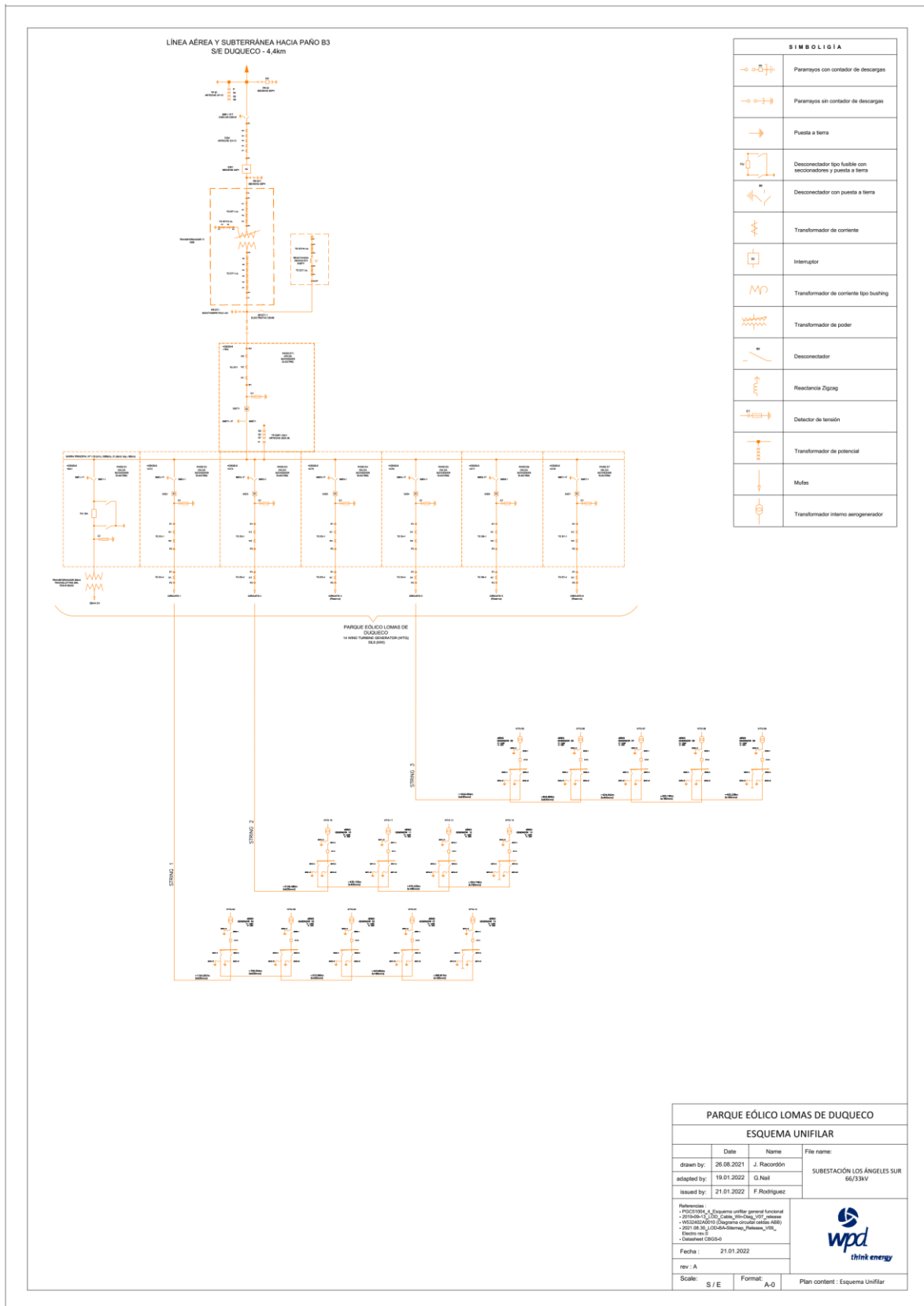


Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Lomas de Duqueco.



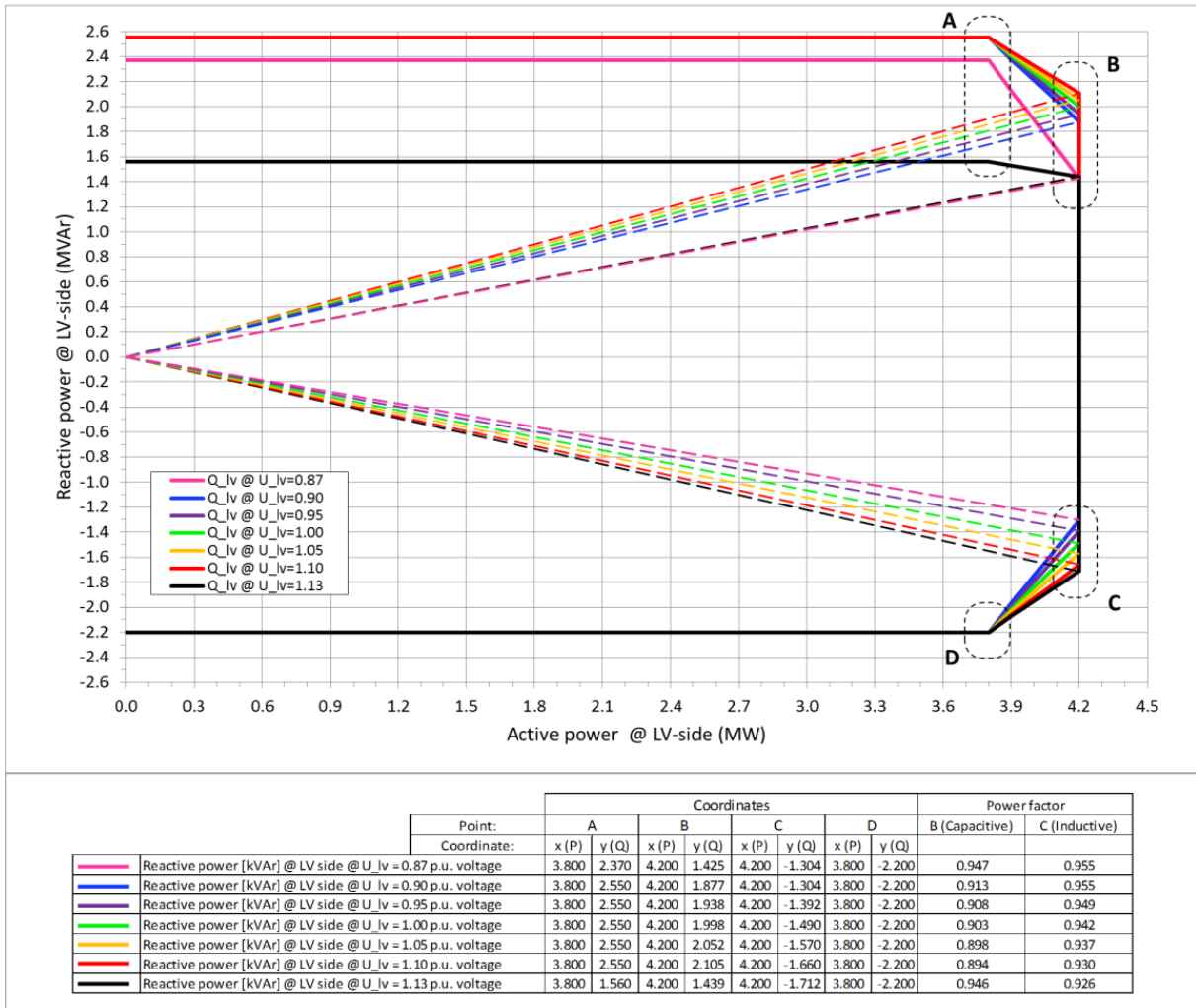
**Gráfico 3. Diagrama unilineal simplificado de la zona de influencia del proyecto.**





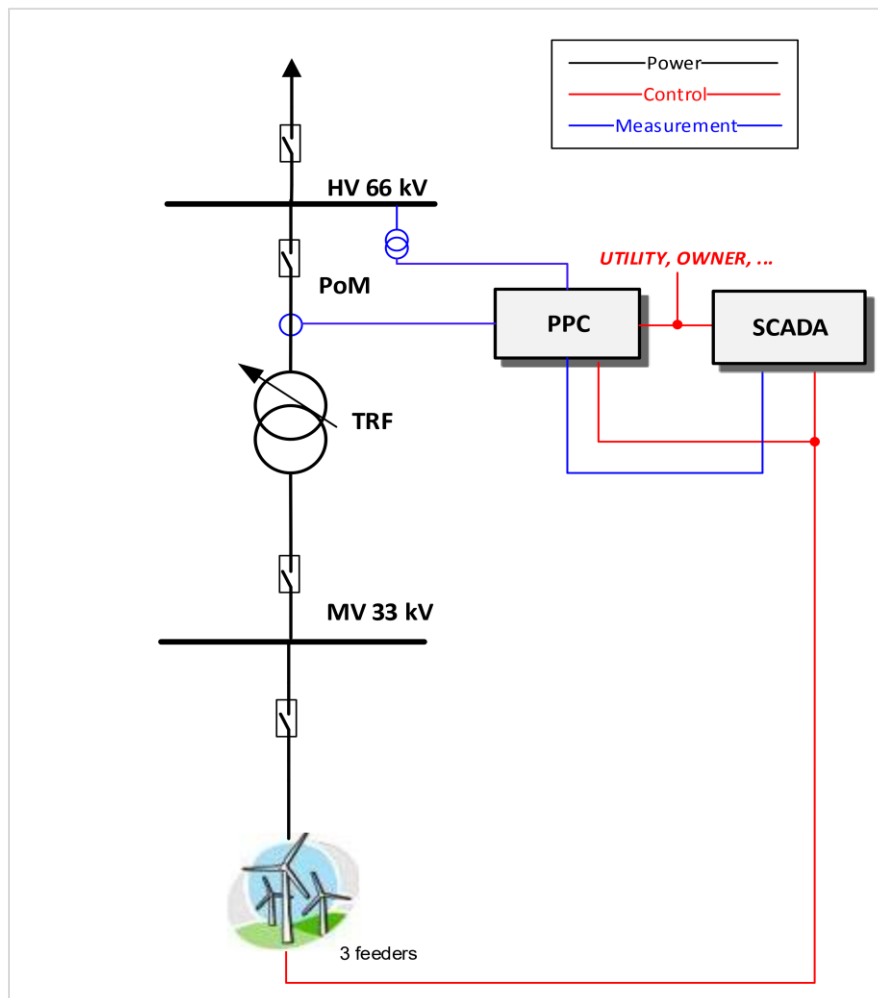
**Gráfico 5. Esquema unilínea del circuito colector.**





**Gráfico 6. Curva de capacidad WTG Vestas V150 Mk3B 4.2 MW.**

El control del PE Lomas de Duqueco se realiza a través de un único PPC (Power Plant Controller) de Vestas mediante el sistema SCADA, siendo la barra de control del parque la situada eléctricamente en la barra de 66 kV de la SE Los Ángeles Sur. En el siguiente gráfico se muestra un esquema de los puntos de medición (POM) y control del parque.



**Gráfico 7. Esquema de control y medición del PE Lomas de Duqueco.**

El control de planta posee las siguientes funcionalidades:

- Funciones de control de potencia activa:
  - Control de potencia activa (0 – 100%): Permite ajustar el valor de potencia activa a un valor determinado. Cuando la limitación de rampa está activa, tanto la rampa subida como de bajada quedan definidas por una pendiente determinada. En el caso particular del PE Lomas de Duqueco está pendiente estaba configurada en 20 %/min tanto para la toma como para la reducción de generación. Cuando la limitación de rampa está desactivada, la reducción y toma de carga se realizarán a una tasa que está dada por la pendiente natural de los aerogeneradores (PrampLimit).

Con respecto al valor de potencia máxima de referencia, para el PE Lomas de Duqueco, esta es del 100% de la potencia nominal de la planta (58.8 MW).

En la sección 7.2 del documento de referencia del fabricante se muestra las configuraciones sugeridas para el control de potencia activa que en este caso coinciden con las adoptadas en el PE y se muestran a continuación:

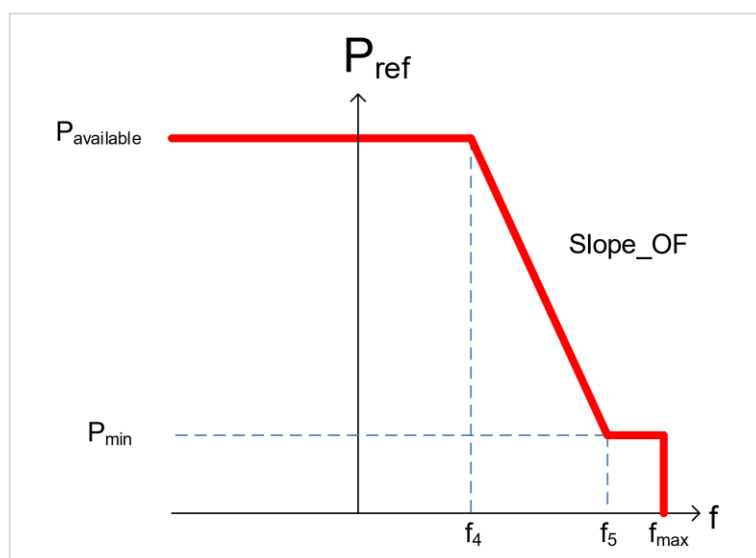
**Tabla 1. Potencia máxima de referencia y pendiente máxima de los aerogeneradores.**

<b>P<sub>ref</sub> maximum</b>	58.8 MW
<b>P<sub>ramp</sub> limit (internal)</b>	0.02 pu/s

**Tabla 2. Rampa de toma y bajada de carga configuradas.**

<b>Active power output ramp</b>	11760 kW/min (0.2 pu/min)
---------------------------------	---------------------------

- Control de frecuencia: Esta función contempla la respuesta de la potencia activa en función a las fluctuaciones de frecuencia respecto a la frecuencia nominal (50 Hz). La respuesta del parque estará dada por una curva de potencia / frecuencia que posee una pendiente y una banda muerta. En las secciones 7.1.1 y 7.1.2 del documento de referencia, se establece la configuración sugerida por el fabricante VESTAS para los modos LFSM-O (modo de control de frecuencia sin reserva) y LFSM-O-U (modo de control de frecuencia con reserva de potencia activa). En los siguientes gráficos y tablas se detallan las curvas características y parametrización para ambos modos de control.

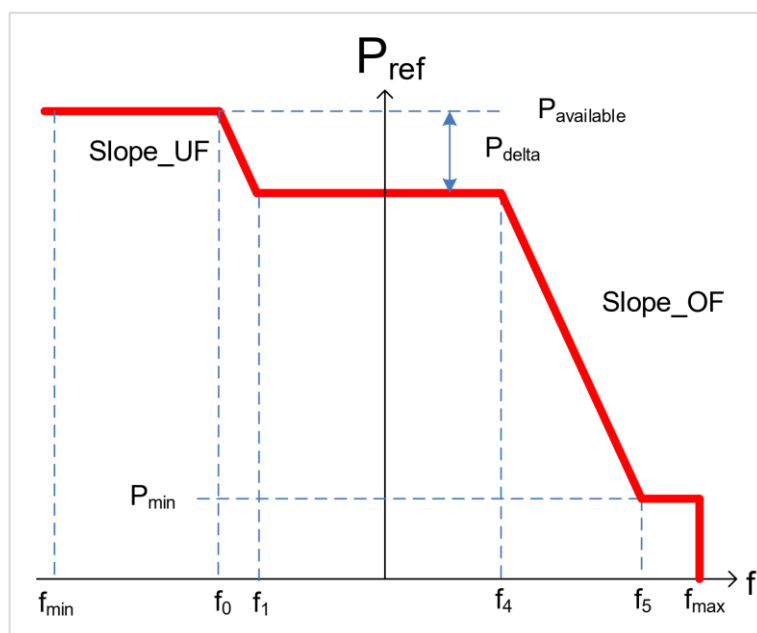


**Gráfico 8. Característica LFSM-O.**



**Tabla 3. Parametrización del modo LFSM-O.**

<b>f4</b>	50.2 Hz
<b>fmax</b>	52 Hz
<b>f5</b>	51.5 Hz
<b>Pmin</b>	28.5% of Pavailable
<b>P ramp rate limit (default)</b>	0.02 pu/s



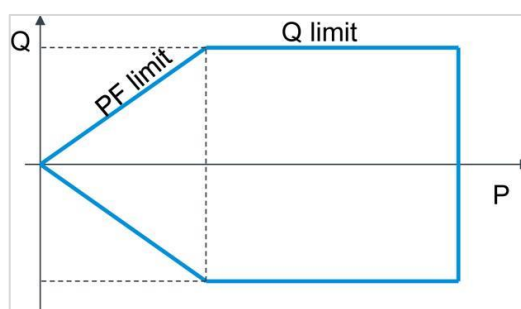
**Gráfico 9. Característica FSM-O-U.**

**Tabla 4. Parametrización del modo FSM-O-U.**

<b>fmin</b>	48 Hz
<b>f0</b>	$( f_1 - (Pdelta [\%] \times Slope_{UF} / 100 / 100 \times 50) )$ Hz
<b>f1</b>	49.8 Hz
<b>SLOPE_UF</b>	3.64%
<b>Pdelta</b>	Defined by WPP Operator or TSO (default: 3%)
<b>f4</b>	50.2 Hz
<b>fmax</b>	52 Hz
<b>f5</b>	51.5 Hz
<b>Pmin</b>	28.5% of Pavailable
<b>P ramp rate limit (default)</b>	0.02 pu/s

El modo configurado en la planta es el LFSM-O (Modo de control de frecuencia sin reserva).

- Funciones de control de potencia reactiva:
  - Control de Tensión: Permite definir un valor de consigna de tensión en el punto de conexión del PE. En el caso particular del PE Lomas de Duqueco, el control de tensión es del tipo proporcional integral (PI). Esto implica que, ante una consigna de tensión, el PPC ajustará la inyección/absorción de potencia reactiva del PE en el punto de conexión mediante un algoritmo PI que tiene por objetivo reducir el error entre la tensión medida y la consigna o referencia a un valor de 0. Cabe señalar que este modo de control no asegura que se pueda lograr el valor consignado. El PPC saturará su acción de control de potencia reactiva en los límites definidos por el bloque de control de potencia reactiva.
  - Control de Potencia reactiva: Permite definir un valor de consigna de potencia reactiva en el punto de conexión, la cual es distribuida entre todas las unidades. En la sección 5.1 del documento de referencia de fabricante, se establecen los límites máximos de potencia reactiva según se detalla a continuación:

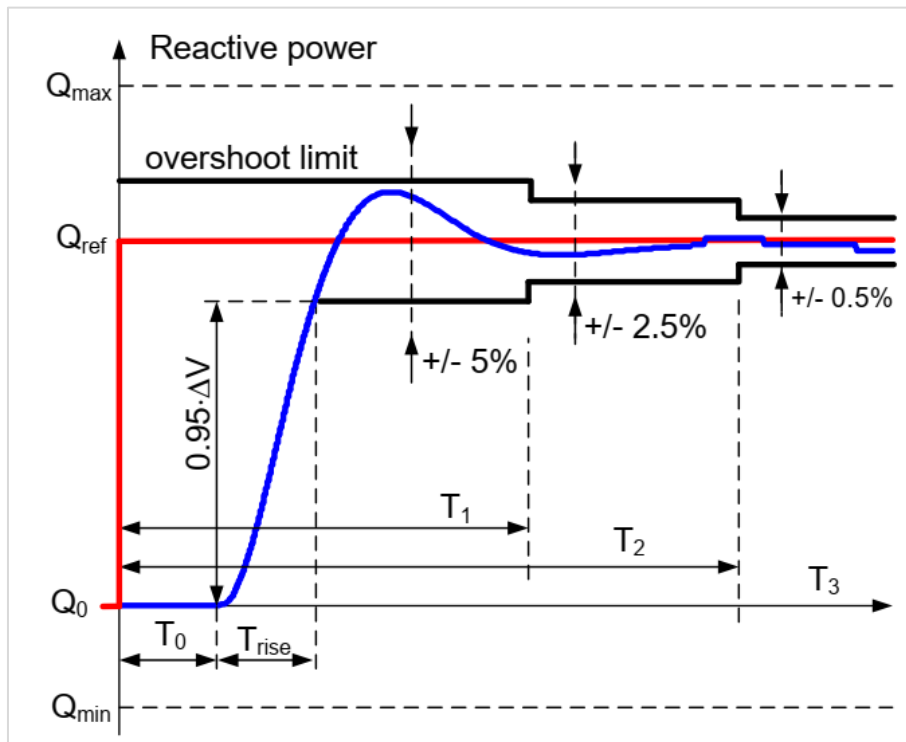


**Gráfico 10. Límite PQ del control de potencia reactiva.**

**Tabla 5. Configuración de los límites del control de potencia reactiva.**

<b>PF limit capacitive</b>	0.51
<b>PF limit inductive</b>	0.83
<b>Q limit capacitive</b>	19.4 MVar
<b>Q limit inductive</b>	19.4 MVar
<b>Q<sub>ref</sub> ramp rate limit</b>	0.1 pu/s

En cuanto a los tiempos de respuesta del control en las siguientes tablas y gráficas se muestran los tiempos típicos de respuesta del control.



**Gráfico 11. Comportamiento dinámico del control de potencia reactiva.**

**Gráfico 12. Parámetros de desempeño típicos del control de potencia reactiva.**

<b>T<sub>0</sub></b>	Typical performance around 0.2 s
<b>T<sub>rise</sub></b>	4 s
<b>T<sub>2</sub></b>	< 15 s

- Control de factor de potencia: Permite definir un valor de consigna de factor de potencia en el punto de conexión, controlando la inyección de potencia reactiva para mantenerlo constante. Los límites de este modo de control están en función de los mostrados para el control de potencia reactiva.

## 4. 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:

- Parque Eólico Malleco Norte (mínimo técnico a nivel planta de 13.48 MW y a nivel aerogenerador de 185 kW)<sup>1</sup>

## 5. 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”.

Tal como se comentó en la Sección 2 el valor de mínimo técnico se determinará con el parque totalmente operativo y además con un aerogenerador en servicio (con el resto en pausa).

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 5.58 MW (10% de Pn). 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. Cuando un aerogenerador recibe una consigna por debajo del 10% de su potencia nominal, automáticamente entra en modo pausa. Para realizar la prueba, se procedió a reducir la consigna de generación por medio del comando del operador al mínimo valor configurable (5.58 MW). Posteriormente, se evaluó la estabilidad de operación de la planta, verificándose un correcto desempeño y control, sin desconexión de los aerogeneradores.

Para el cálculo de mínimo técnico a nivel aerogenerador se procedió a despachar una consigna de 0 MW en el punto de conexión desde el control de planta y de esta forma verificar el valor de potencia activa generada en bornes de aerogenerador, además del número de aerogeneradores operativos para esta condición.

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

**Tabla 6. 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 Lomas de Duqueco</b>	(1)	(2)	(3)	(4)

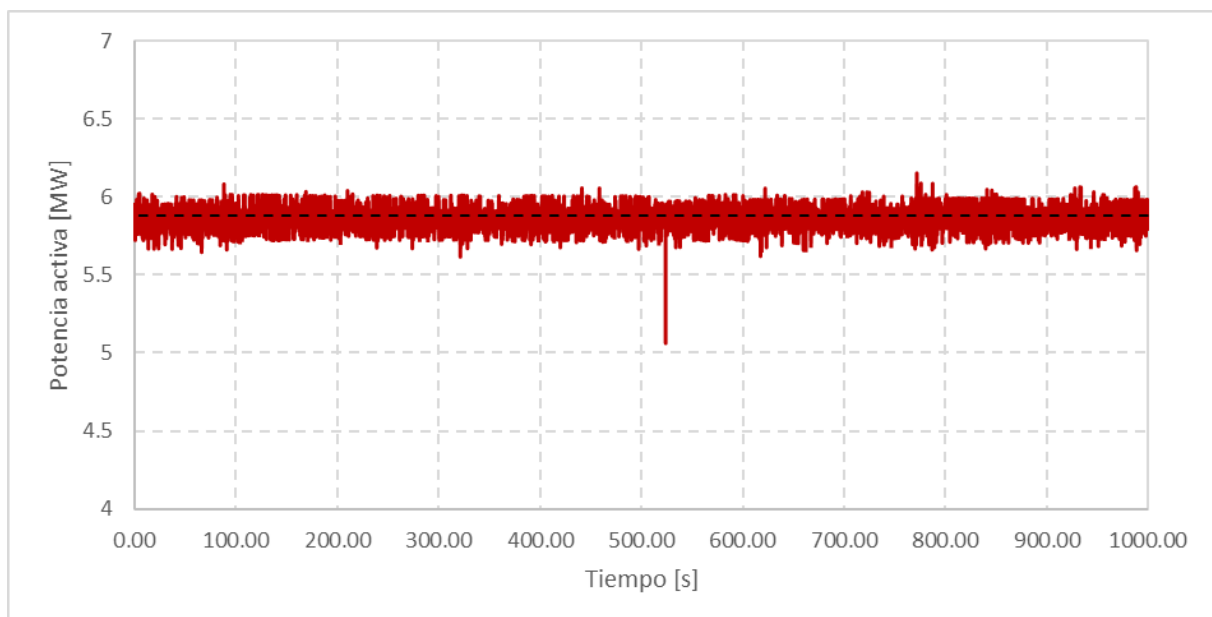
<sup>1</sup> <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

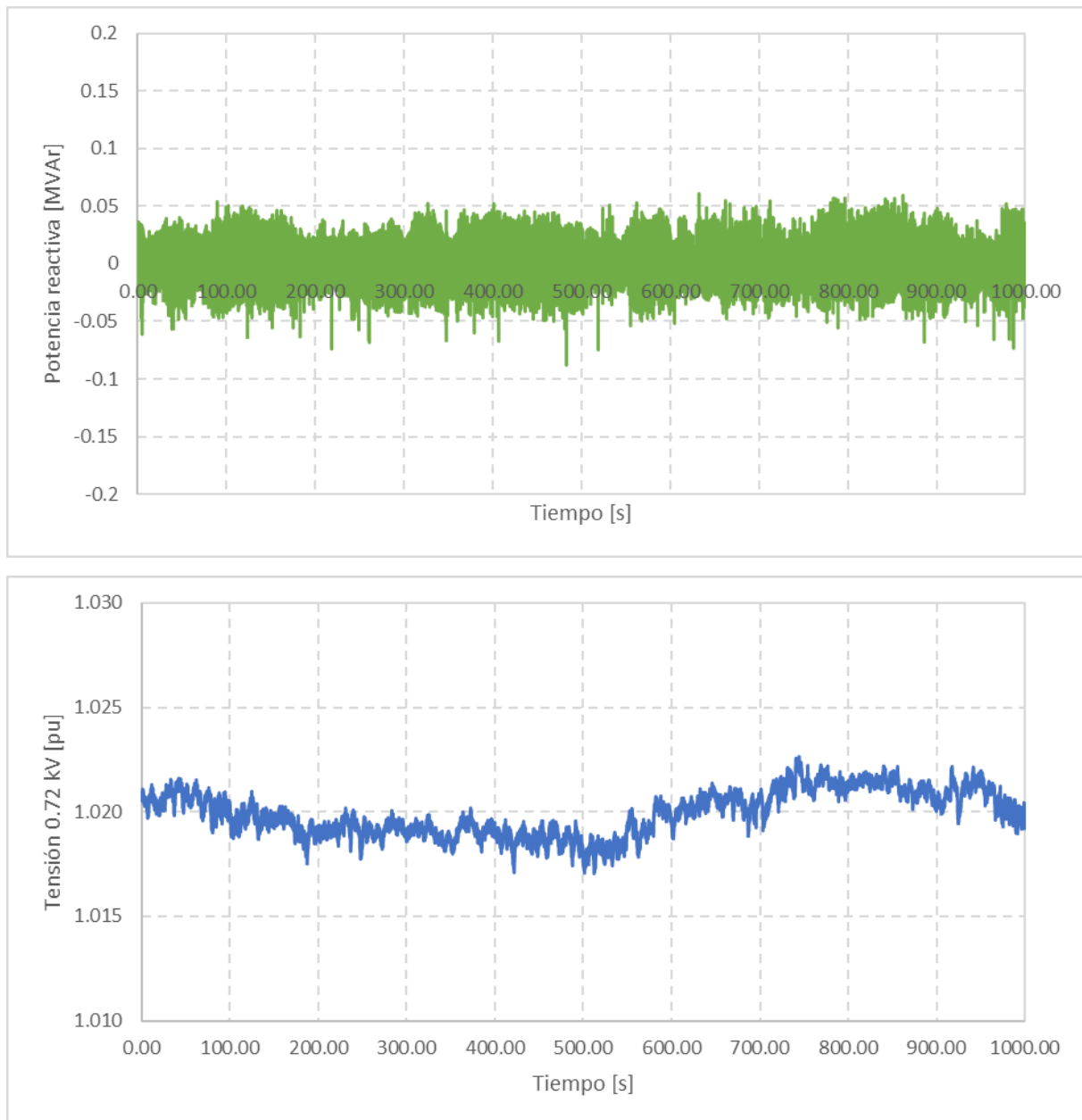
- (1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los aerogeneradores del PE Lomas de Duqueco en el lado de BT.
- (2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (aerogeneradores + SE Los Ángeles Sur).
- (3) **Perdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur 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 Lomas de Duqueco es la barra de AT de la SE Los Ángeles Sur.

## 6. Resultados obtenidos

### 6.1. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo

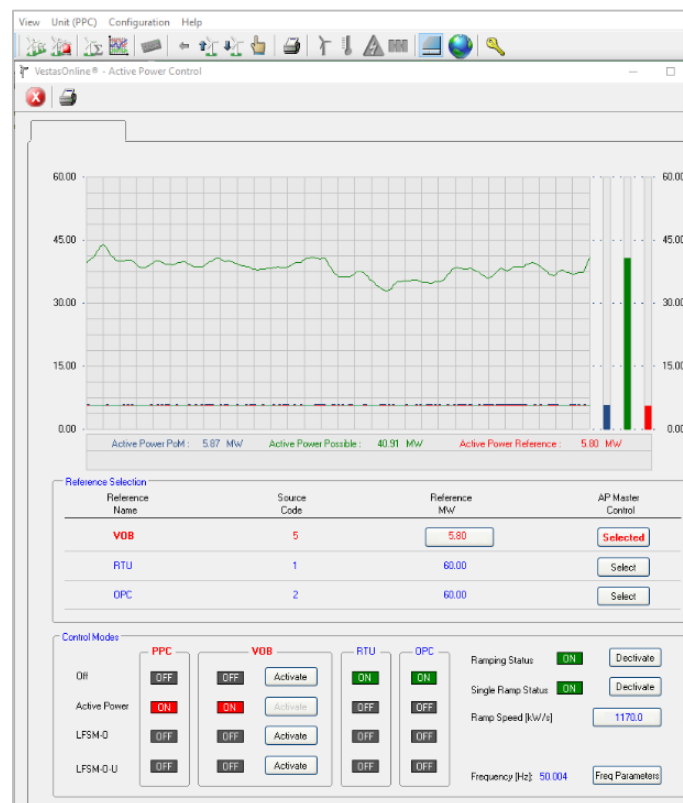
Se obtuvieron los registros de potencia activa P1, potencia reactiva y tensión en el punto de conexión, para un valor mínimo de potencia activa configurable en 5.88 MW desde el control de planta:



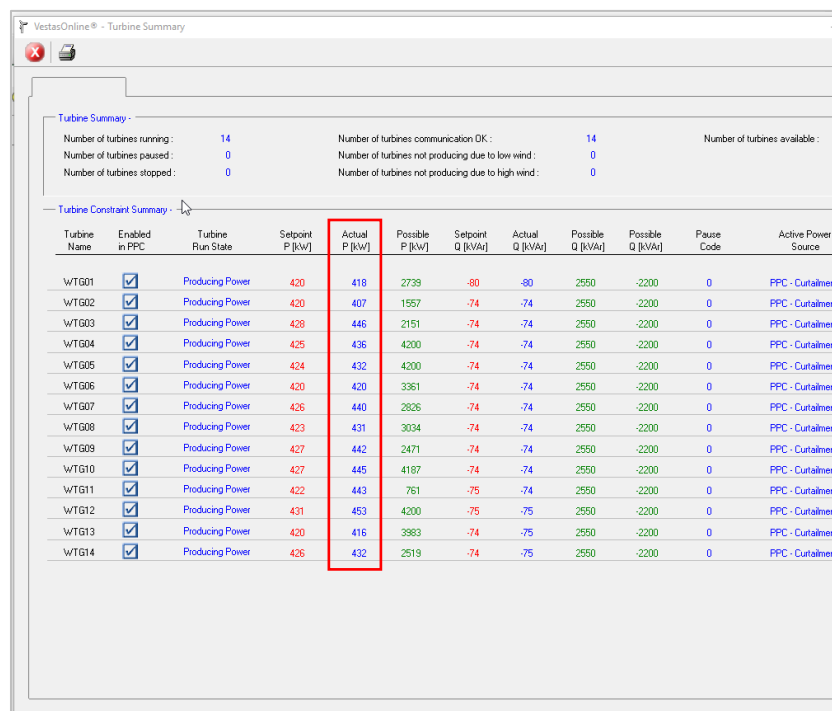


**Gráfico 13. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en el punto de conexión.**

En los siguientes gráficos se muestra una captura del SCADA de planta donde se visualiza el setpoint de potencia activa ingresado y la potencia activa generada por cada unidad (potencia bruta) para dicha condición operativa:

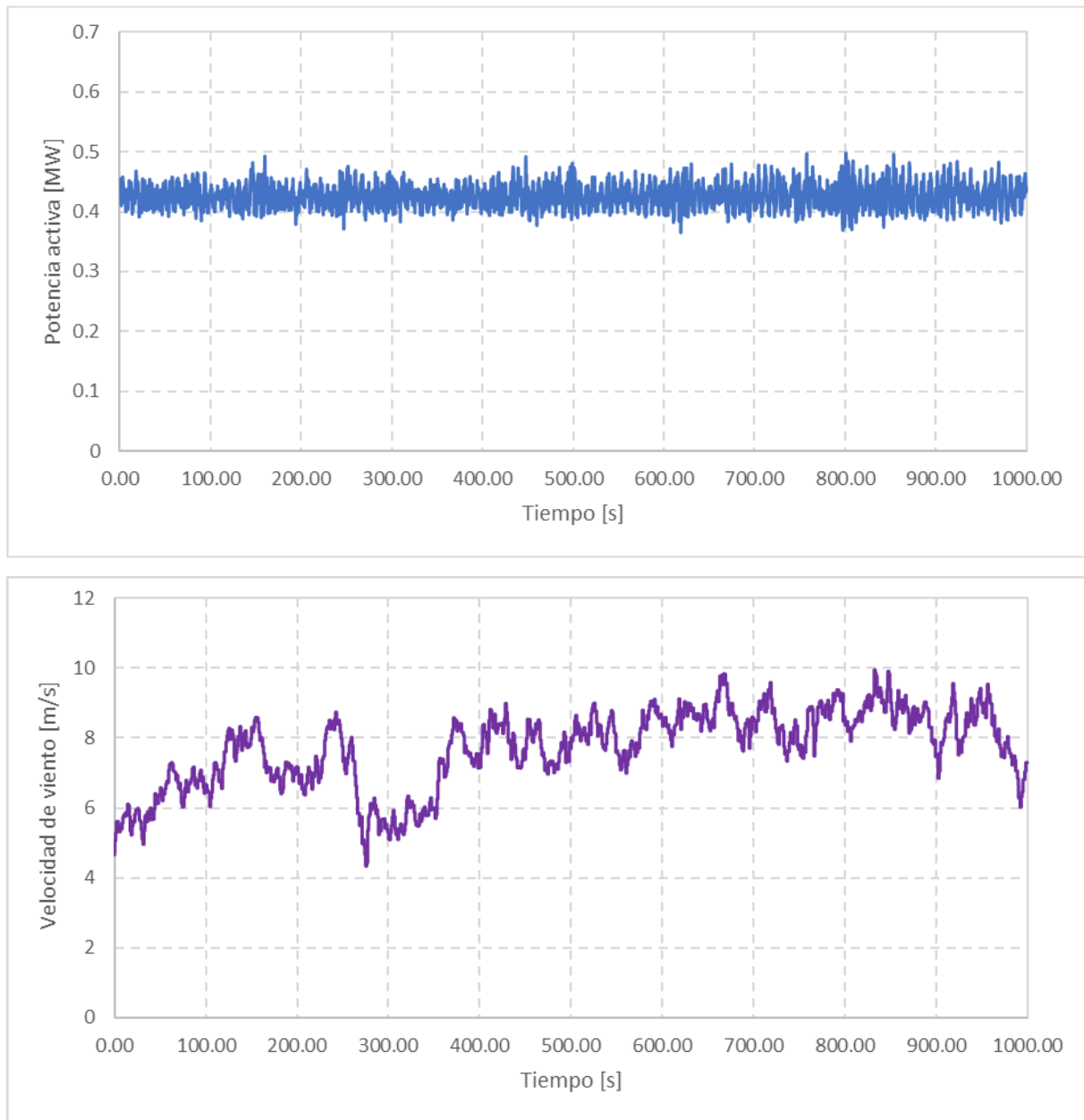


**Gráfico 14. Captura del SCADA de planta. Setpoint de potencia activa en el punto de conexión.**



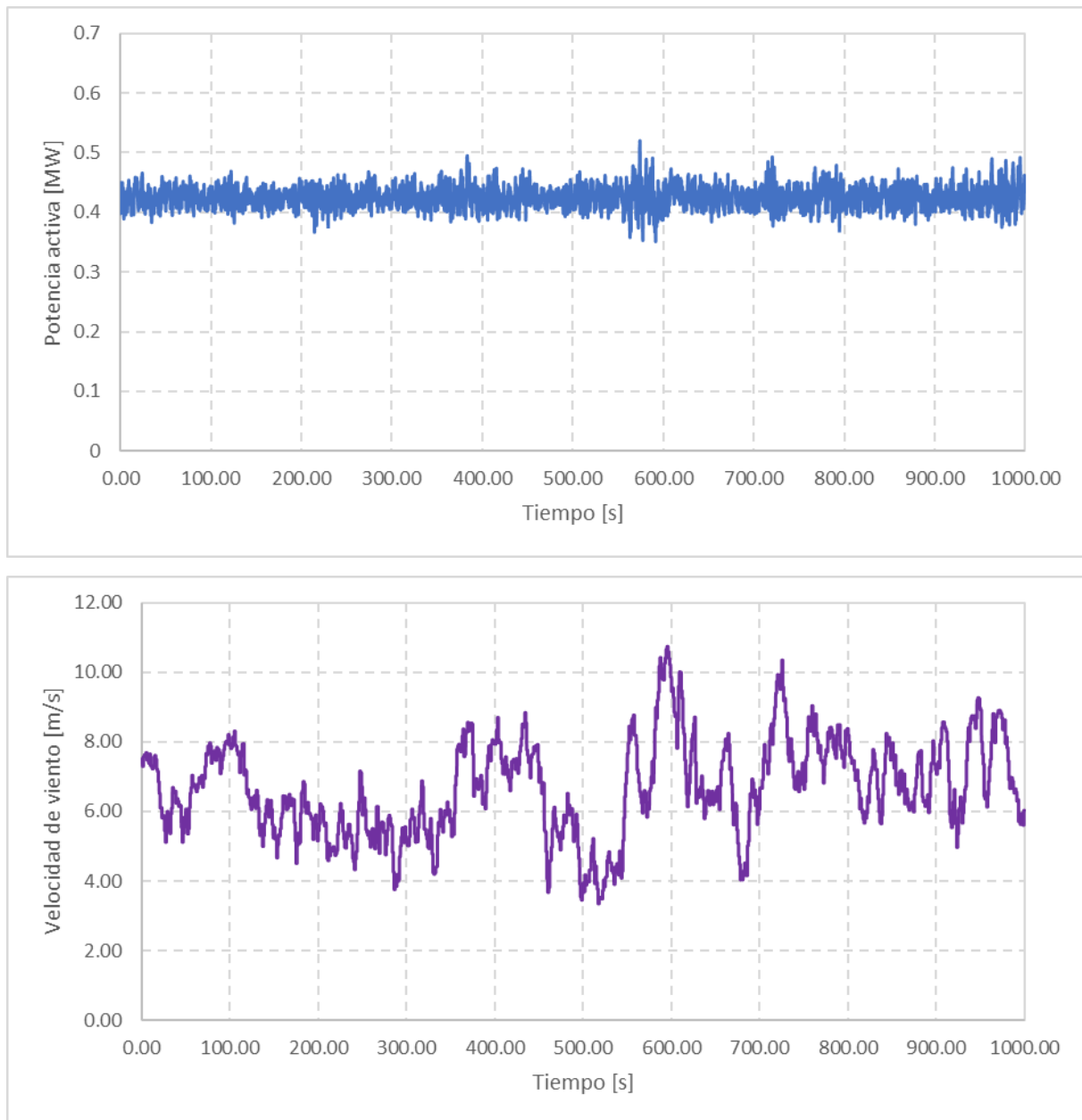
**Gráfico 15. Potencia bruta generada por cada aerogenerador.**

Complementando lo anterior, en los siguientes gráficos se muestra la evolución temporal de la potencia activa, y la velocidad de viento para el aerogenerador más cercano (WTG05) y el aerogenerador más lejano (WTG13) a la subestación:



**Gráfico 16. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en bornes de WTG05.**





**Gráfico 17. Mínimo técnico con el parque totalmente operativo. Variables temporales en bornes de WTG13.**

El parque operó satisfactoriamente sin presentar inestabilidades y manteniendo el soporte de potencia reactiva y tensión a la red sin desconexión de aerogeneradores. A continuación, se realiza el cálculo de potencia según la Tabla 6.

#### 6.1.1 Potencia Neta

La potencia neta surge del promedio de potencia activa inyectado en el punto de conexión según el Gráfico 13.

$$P_{neta} = 5.88 \text{ MW}$$

### 6.1.2 Potencia Bruta

La potencia bruta surge de la sumatoria de las potencias individuales en bornes de cada aerogenerador (Gráfico 15).

$$P_{bruta} = \sum_{i=1}^{14} P_{gi} = 6.06 \text{ MW}$$

### 6.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

El consumo para esta condición operativa se determinó en un valor de 30 kW (SE Los Ángeles Sur + Aerogeneradores).

$$P_{SSAA} = 30 \text{ kW}$$

### 6.1.4 Potencia de pérdida 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:

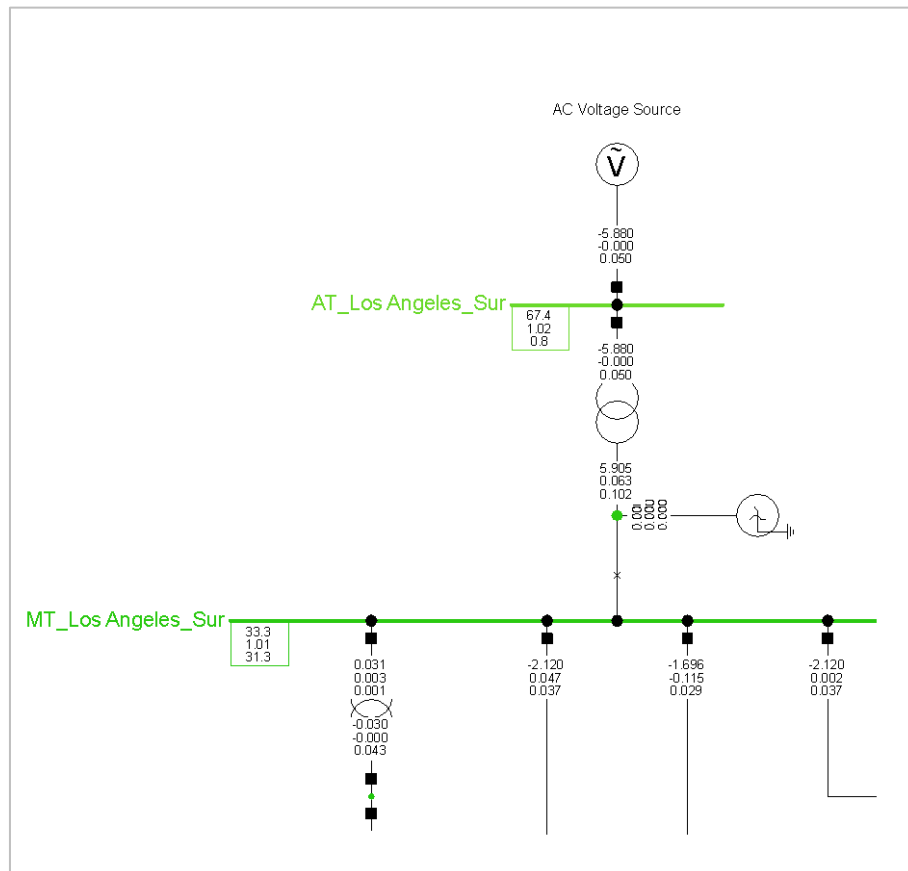
$$\begin{aligned} P_{perd \text{ central}} &= P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA} \\ P_{perd \text{ central}} &= 6.06 \text{ MW} - 5.88 \text{ MW} - 0.03 \text{ MW} \\ P_{perd \text{ central}} &= 150 \text{ kW} \end{aligned}$$

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 Los Ángeles Sur. Para el estado de mínimo técnico se tiene:



**Gráfico 18. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur.**

De lo anterior las pérdidas activas en el transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur se calculan como:

$$P_{trafo} = 5.905 - 5.88 = 25 \text{ kW}$$

Los datos del transformador de potencia se muestran a continuación:

Name	T1 Los Angeles Sur 66/33 kV 80 MVA	
Technology	Three Phase Transformer	
Rated Power	80.	MVA
Nominal Frequency	50	Hz
Rated Voltage		Vector Group
HV-Side	66.	kV
LV-Side	33.	kV
Positive Sequence Impedance		HV-Side
Short-Circuit Voltage uk	12.09	%
Copper Losses	316.41	kW
Zero Sequence Impedance		LV-Side
Short-Circuit Voltage uk0	11.88	%
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0.	%
		Phase Shift
		11.
		*30deg
		Name
		YNd11

General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Magnetising Impedance			
No Load Current	0.032	%	
No Load Losses	22.691	kW	
Distribution of Leakage Reactances (p.u.)			
x,Pos.Seq. HV-Side	0.5		
x,Pos.Seq. LV-Side	0.5		
Distribution of Leakage Resistances (p.u.)			
r,Pos.Seq. HV-Side	0.5		
r,Pos.Seq. LV-Side	0.5		

**Gráfico 19. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Los Ángeles Sur.**

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

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

$$P_{colector} = 150\ kW - 25\ kW$$

$$P_{colector} = 125 \text{ kW}$$

### 6.1.5 Resumen de resultados

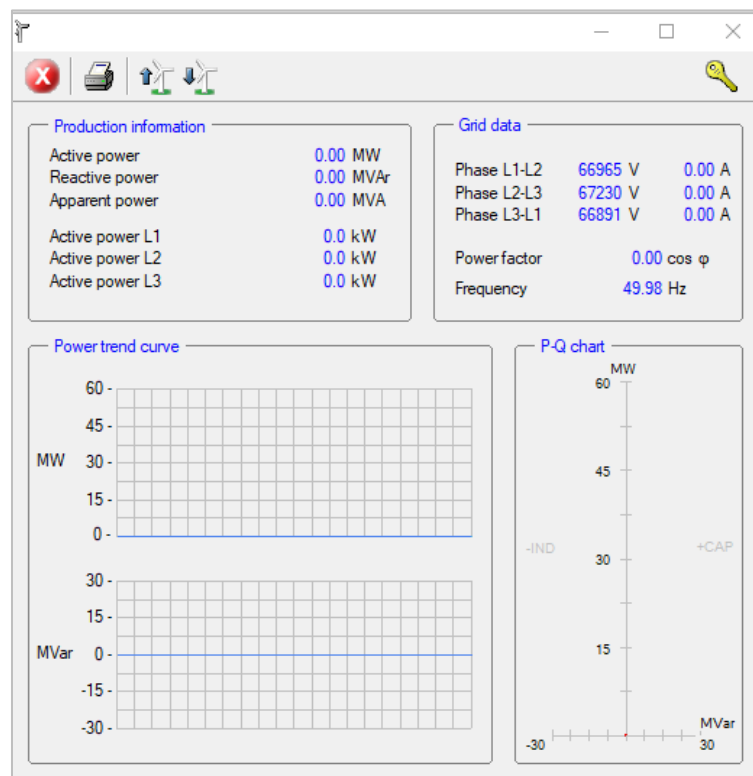
En la siguiente tabla se muestran los resultados de mínimo técnico a nivel planta:

**Tabla 7. Mínimo técnico de planta.**

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
PE Lomas de Duqueco	6.06	30	150	5.88

### 6.2. Mínimo técnico con un aerogenerador operativo

En este caso desde el control de planta se dio un setpoint de 0 MW en el punto de conexión y se registraron las variables de interés tanto en el punto de conexión como a nivel aerogenerador. En los siguientes gráficos se muestra una captura del SCADA de planta donde se visualiza el setpoint de potencia activa ingresado y la potencia activa generada por cada unidad (potencia bruta) para dicha condición operativa.



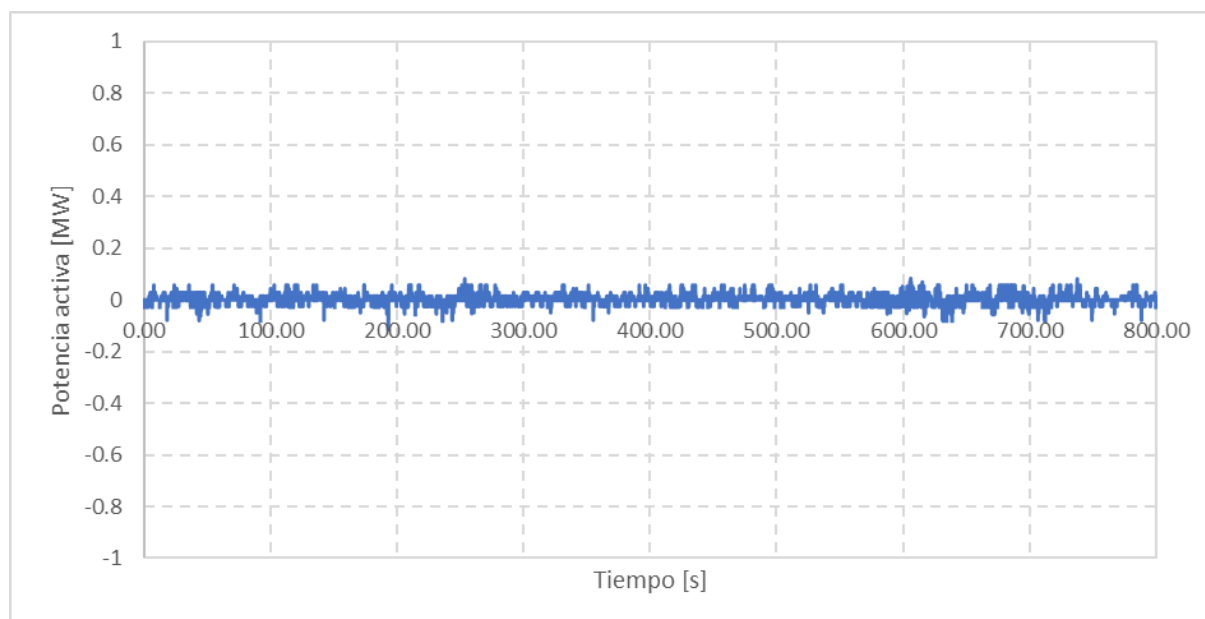
**Gráfico 20. Captura del SCADA de planta. Setpoint de potencia activa en el punto de conexión.**

Turbine Name	Enabled in PPC	Turbine Run State	Setpoint P [kW]	Actual P [kW]	Possible P [kW]	Setpoint Q [kVAr]	Actual Q [kVAr]	Possible Q [kVAr]	Possible Q [kVAr]	Pause Code	Active Power Source
WTG01	<input checked="" type="checkbox"/>	Producing Power	472	471	2117	-83	-82	2550	-2200	0	PPC - Curtailment
WTG02	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG03	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG04	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG05	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG06	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG07	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-25	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG08	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG09	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG10	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-82	-82	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG11	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-25	0	-83	-83	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG12	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-23	0	-83	-83	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG13	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-25	0	-83	-83	2550	-2200	5	PPC - Curtailment
WTG14	<input checked="" type="checkbox"/>	Paused	420	-24	0	-83	-84	2550	-2200	5	PPC - Curtailment

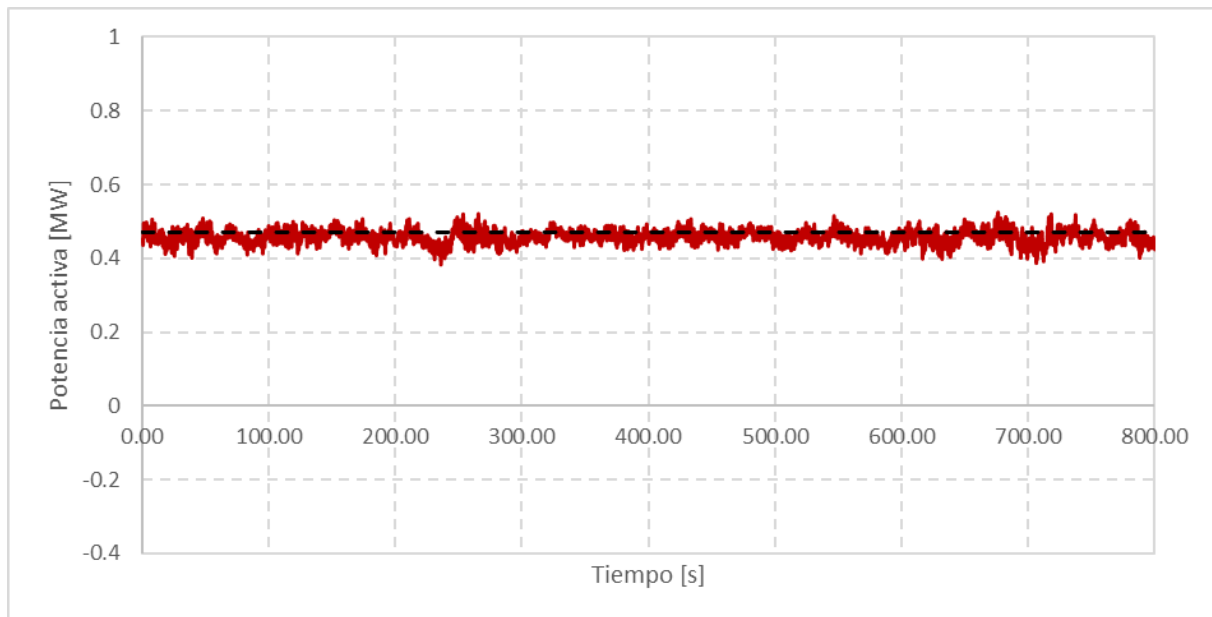
**Gráfico 21. Potencia bruta generada por cada aerogenerador.**

Del Gráfico 21 puede notarse que el único aerogenerador en servicio fue el WTG01 y el resto se mantuvo en pausa para la condición de potencia 0 MW en el punto de conexión.

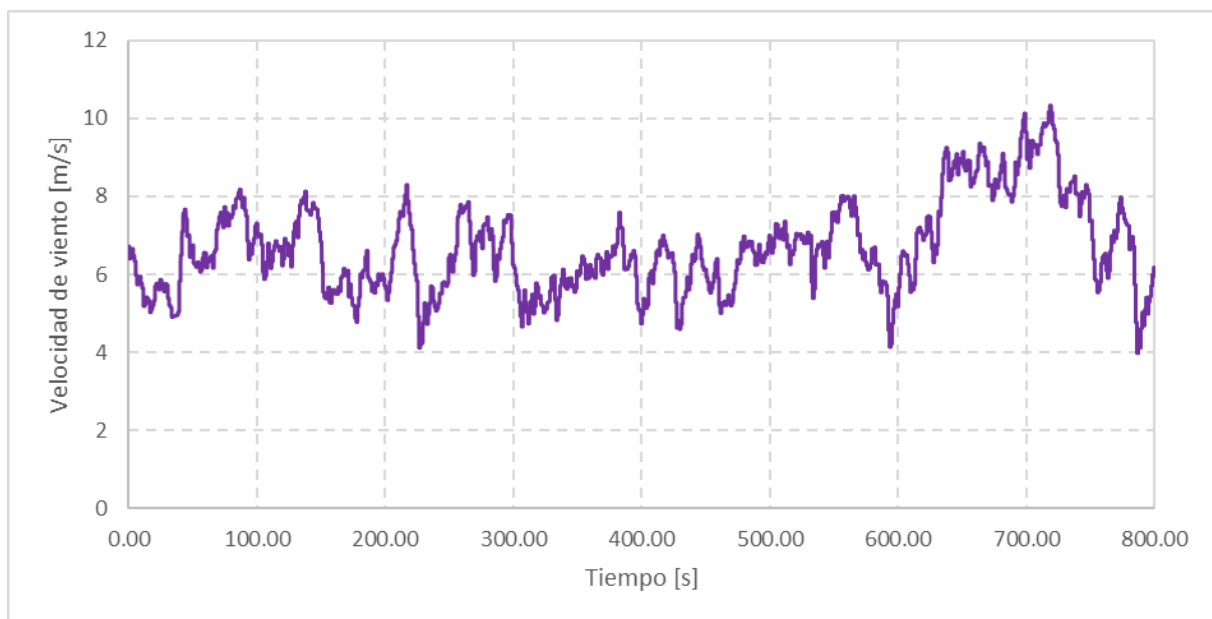
En los siguientes gráficos se muestra la evolución temporal de las variables de interés tanto en el punto de conexión como en WTG01.



**Gráfico 22. Potencia activa en el punto de conexión.**



**Gráfico 23. Potencia activa – WTG01.**



**Gráfico 24. Velocidad de viento – WTG01.**

A continuación, se realiza el cálculo de potencia según la Tabla 6.

#### 6.2.1 Potencia Neta

La potencia neta en el punto de conexión en este caso es 0 MW.

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

### 6.2.2 Potencia bruta

La potencia bruta es la generada por WTG01 e indicada en el Gráfico 21:

$$P_{bruta} = 0.471 \text{ MW}$$

### 6.2.3 Potencia de los servicios auxiliares

El consumo para esta condición operativa se determinó en un valor de 428 kW (SE Los Ángeles Sur = 114 kW+ Aerogeneradores = 314 kW).

$$P_{SSAA} = 428 \text{ kW}$$

### 6.2.4 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:

$$\begin{aligned} P_{perd \text{ central}} &= P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA} \\ P_{perd \text{ central}} &= 0.471 \text{ MW} - 0 \text{ MW} - 0.428 \text{ MW} \\ P_{perd \text{ central}} &= 43 \text{ kW} \end{aligned}$$

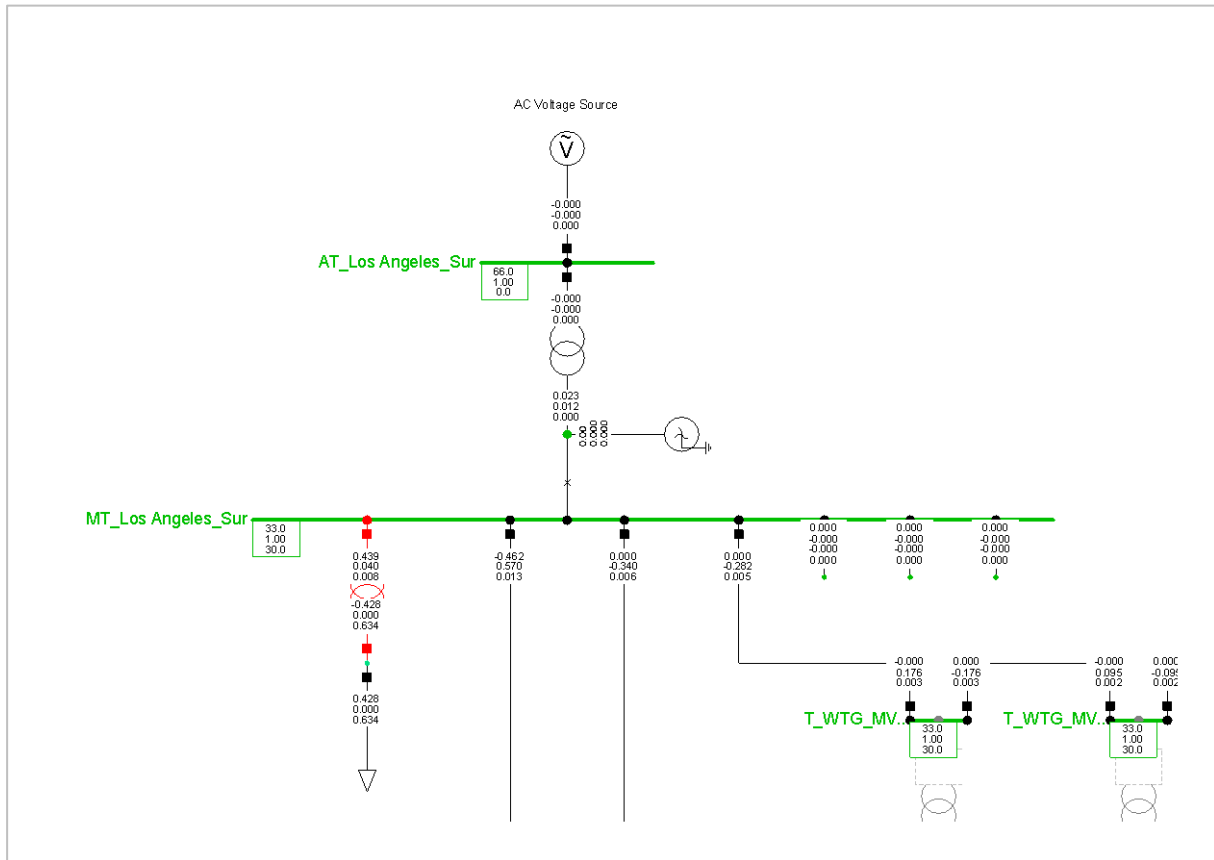
Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- 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 Los Ángeles Sur. Para el estado de mínimo técnico con un aerogenerador en servicio se tiene:





**Gráfico 25. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Los Angeles Sur. Mínimo técnico con un aerogenerador en servicio.**

De lo anterior las pérdidas activas en el transformador de potencia de la SE Los Angeles Sur se calculan como:

$$P_{trafo} = 23 \text{ kW}$$

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

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

$$P_{colector} = 43 \text{ kW} - 23 \text{ kW}$$

$$P_{colector} = 10 \text{ kW}$$

### 6.2.5 Resumen de resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados de mínimo técnico a nivel aerogenerador:

**Tabla 8. Mínimo técnico con un aerogenerador operativo.**

<b>Parque Eólico</b>	<b>Potencia Bruta [MW]</b>	<b>SS.AA. [kW]</b>	<b>Pérdidas en la central [kW]</b>	<b>Potencia Neta [MW]</b>
<b>PE Lomas de Duqueco</b>	0.471	428	43	0

## 7. Conclusiones

Dada la mínima consigna operable del parque eólico de 5.58 MW (potencia mínima neta) en el punto de conexión (Barra de 66 kV de la SE Los Ángeles Sur), se determinó una potencia mínima bruta de 6.06 MW para el total de los aerogeneradores del Parque Eólico Lomas de Duqueco.

Considerando una potencia neta en el punto de conexión de 0 MW y un aerogenerador operativo (WTG01), se determinó una potencia mínima bruta de 0.471 kW.

Los resultados se resumen a continuación:

**Gráfico 26. Resumen de resultados – Mínimo técnico a nivel planta.**

<b>Parque Eólico</b>	<b>Potencia Bruta [MW]</b>	<b>SS.AA. [kW]</b>	<b>Pérdidas en la central [kW]</b>	<b>Potencia Neta [MW]</b>
<b>PE Lomas de Duqueco</b>	6.06	30	150	5.88

**Gráfico 27. Resumen de resultados – Mínimo técnico con un aerogenerador operativo.**

<b>Parque Eólico</b>	<b>Potencia Bruta [MW]</b>	<b>SS.AA. [kW]</b>	<b>Pérdidas en la central [kW]</b>	<b>Potencia Neta [MW]</b>
<b>PE Lomas de Duqueco</b>	0.471	428	43	0