



**estudios energéticos consultores.**  
GRUPO MERCADOS ENERGÉTICOS CONSULTORES

# **INFORME DE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA**

## **Parque Eólico Malleco Sur**



Agosto 2021

A 0609 / R 1207-20

## Tabla de contenido

<b>REGISTRO DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>5</b>
<b>SECCIÓN PRINCIPAL .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1. Marco normativo .....	6
1.2. Descripción de la Planta .....	7
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL CONTROL DE PLANTA Y FUNCIONALIDADES .....</b>	<b>11</b>
2.1. Funcionalidades del control de planta .....	13
2.2. Descripción de las pruebas .....	16
<b>3. RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>16</b>
3.1. Registros .....	16
3.2. Pérdidas y consumos propios.....	20
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>5. REFERENCIAS.....</b>	<b>25</b>
<b>6. ANEXO 1 .....</b>	<b>25</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Valores máximos de pendiente y consigna de potencia activa.....	13
Tabla 2. Valores sugeridos de pendiente para la función limitación de rampa. ....	13
Tabla 3. Parametrización del modo LFSM-O.....	14
Tabla 4. Parametrización del modo FSM-O-U. ....	15
Tabla 5. Configuración de los límites PQ del control de potencia reactiva.....	16
Tabla 6. Tiempos asociados a la dinámica del control de potencia reactiva. ....	16
Tabla 7. Consumos servicios auxiliares aerogeneradores.....	23
Tabla 8. Parámetros de potencia máxima obtenidos.....	25
Tabla 9. Registros de potencia máxima y velocidad de viento. ....	25
Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión con el sistema. ....	8
Gráfico 2. Esquema unilineal de la zona de influencia del PE Malleco Sur. ....	9
Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.....	10
Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.45 MW.....	11
Gráfico 5. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW.....	11
Gráfico 6. Esquema de control y medición del PE Malleco. ....	12
Gráfico 7. Característica LFSM-O.....	14
Gráfico 8. Característica FSM-O-U.....	14
Gráfico 9. Límite PQ del control de potencia reactiva.....	15
Gráfico 10. Potencia activa en el punto de conexión (Potencia neta medida).....	17
Gráfico 11. Potencia activa en el aerogenerador WTG23. ....	17
Gráfico 12. Velocidad de viento en el aerogenerador WTG23. ....	18
Gráfico 13. Potencia activa en el aerogenerador WTG38. ....	18
Gráfico 14. Velocidad de viento en el aerogenerador WTG38. ....	19
Gráfico 15. Curva potencia velocidad WTG23.....	19
Gráfico 16. Curva potencia velocidad WTG38.....	20
Gráfico 17. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Surco y semilla. .....	21
Gráfico 18. Placa característica del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla. ....	21
Gráfico 19. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla. ....	22
Gráfico 20. Potencia generada en aerogeneradores de 3.6 y 3.45 MW. ¡Error! Marcador no	

**definido.**

Gráfico 21. Aporte de potencia de los circuitos colectores en la barra de MT de la SE Surco y Semilla.  
..... ¡Error! Marcador no definido.

Gráfico 22. Modelo PowerFactory del transformador de bloque de aerogenerador. ¡Error! Marcador no definido.

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
SE	Subestación Eléctrica
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
PE	Parque Eólico
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.

Número	Fecha dd/mm/año	Objeto	Ref	Observaciones	Responsable
1	24/08/2021	Emisión original	V1	Preparó RP/FG	FM
2	11/11/2021	Correcciones en función de los comentarios del CEN "COR-GO-DCO-PMAX- _PE_Malleco_Sur"	V2	Preparó FG	FM

## SECCIÓN PRINCIPAL

### 1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Malleco Sur, durante el día 15 de agosto de 2021, en relación con el proceso de determinación de la potencia máxima del parque eólico. Los ensayos fueron realizados encontrándose en servicio los 38 aerogeneradores que componen el parque, totalizando una potencia de 135.15 MW.

#### 1.1. MARCO NORMATIVO

Las pruebas realizadas se programaron en base al ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”. En particular es de aplicación el Artículo 39 “Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación” del TÍTULO VIII – CENTRALES CUYA FUENTE ES RENOVABLE NO CONVENCIONAL” al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. En tal sentido, el valor de Potencia Máxima 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.

#### 1.2. NOMENCLATURA Y OBSERVACIONES GENERALES

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

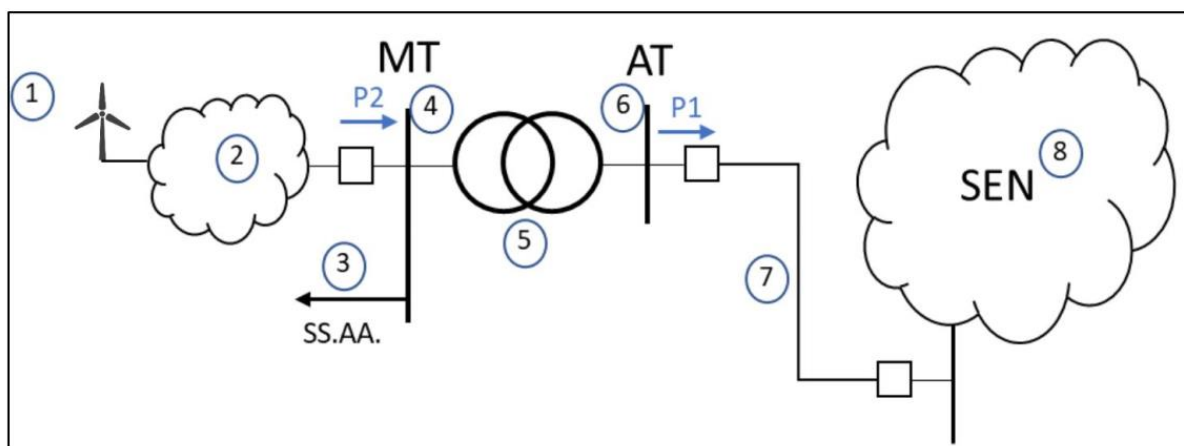


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico.

- 1) Generador equivalente: corresponde a los aportes de distribuidos de potencia activa de cada aerogenerador del parque eólico.
- 2) Pérdidas del 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 de bloque de cada aerogenerador.
- 3) Servicios auxiliares de la central (SS.AA.):
- 4) Barra de MT: Corresponde al lado de baja del transformador de potencia de la central.

- 5) Transformador de potencia: Corresponde al transformador de potencia de la central.
- 6) Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión del lado de alta tensión del transformador de potencia del parque eólico.
- 7) Línea dedicada de la central: línea de interconexión entre el parque eólico y el sistema.

A partir de las definiciones anteriores, se consideran las siguientes nomenclaturas:

- **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].
- **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque [kW].
- **SSAA:** Consumo total de servicios auxiliares del parque [kW].
- **Pcolector:** Pérdidas en el sistema colector del parque [kW].

### 1.3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El PE Malleco Sur se ubica a 15 km al sureste de la ciudad de Collipulli, Comuna de Collipulli (en el Fundo Agua Buena), Provincia de Malleco, IX región de La Araucanía, Chile. Está conformado por 38 aerogeneradores pertenecientes a la marca Vestas, contando con dos modelos, **V136 Mk3B 3.45 MW** (11 aerogeneradores) y **3.6 MW** (27 aerogeneradores) del tipo Full-Scale Converter Induction Generator, totalizando una potencia de 135.15 MW. En el Gráfico 5 y en el Gráfico 6 se muestran las curvas de capacidad PQ para ambos modelos de aerogenerador.

La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector en 33 kV formado por 7 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada aerogenerador cuenta con su transformador de bloque de 0.65/33 kV de una potencia de 4 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 230/33 kV 170 MVA (ONAF), ubicado en la SE Surco y Semilla.

El punto de conexión del parque es en barra de 220 kV de la SE Surco y Semilla. Desde la SE Surco y Semilla parte una línea subterránea que la interconecta con la SE Rio Malleco. Adicionalmente en la zona, se emplazará posteriormente el PE Malleco Norte de una potencia de 137.85 MW cuyo punto de conexión será la barra de 220 kV de la SE Agua Buena.

En el Gráfico 2 se muestra un esquema unilíneal de la conexión del parque a la subestación Surco y Semilla, en el Gráfico 3 el esquema unilíneal de la zona de influencia y en el Gráfico 4 se muestra un esquema unilíneal del sistema colector en 33 kV

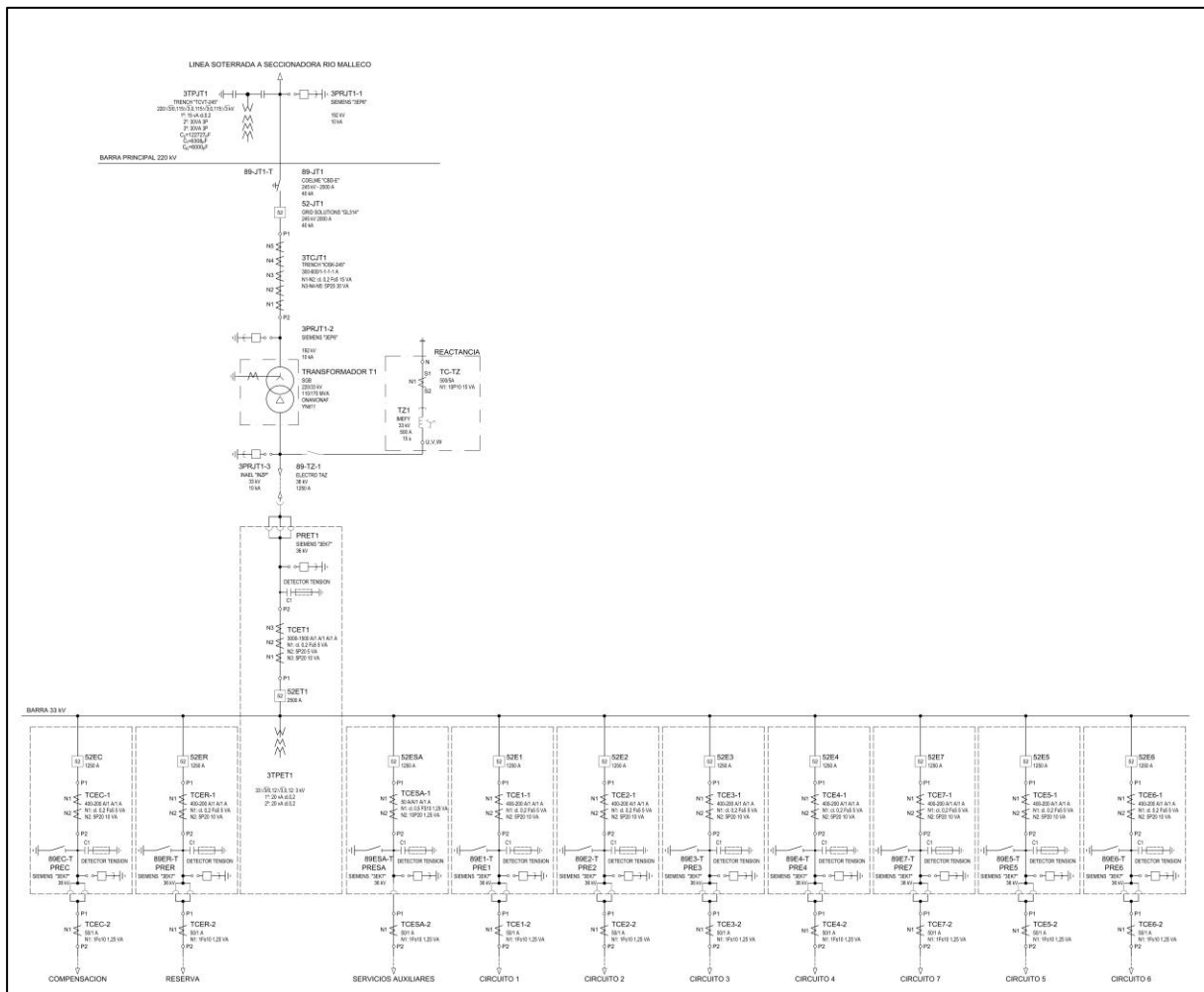


Gráfico 2. Esquema Unilineal de interconexión con el sistema.



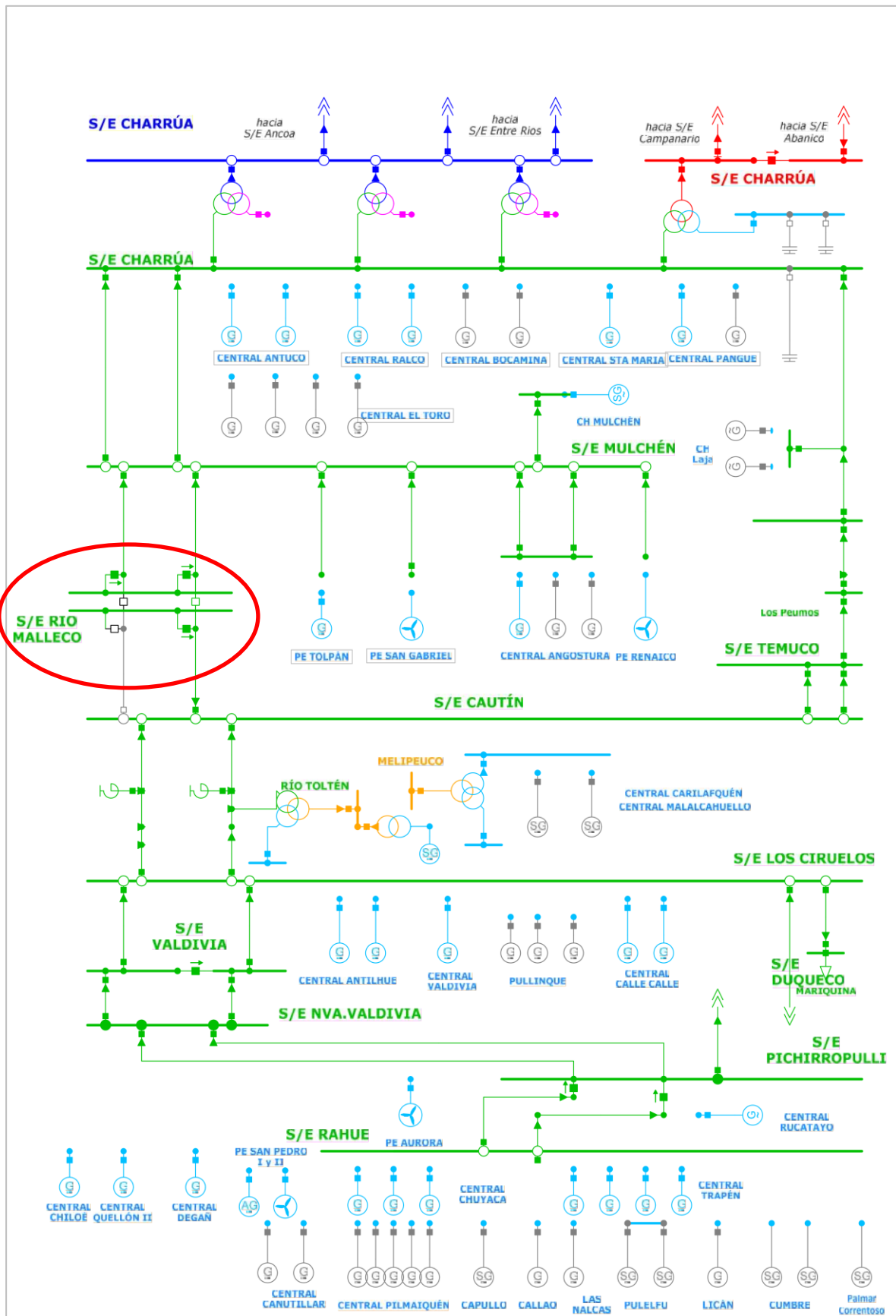


Gráfico 3. Esquema unilíneal de la zona de influencia del PE Malleco Sur.

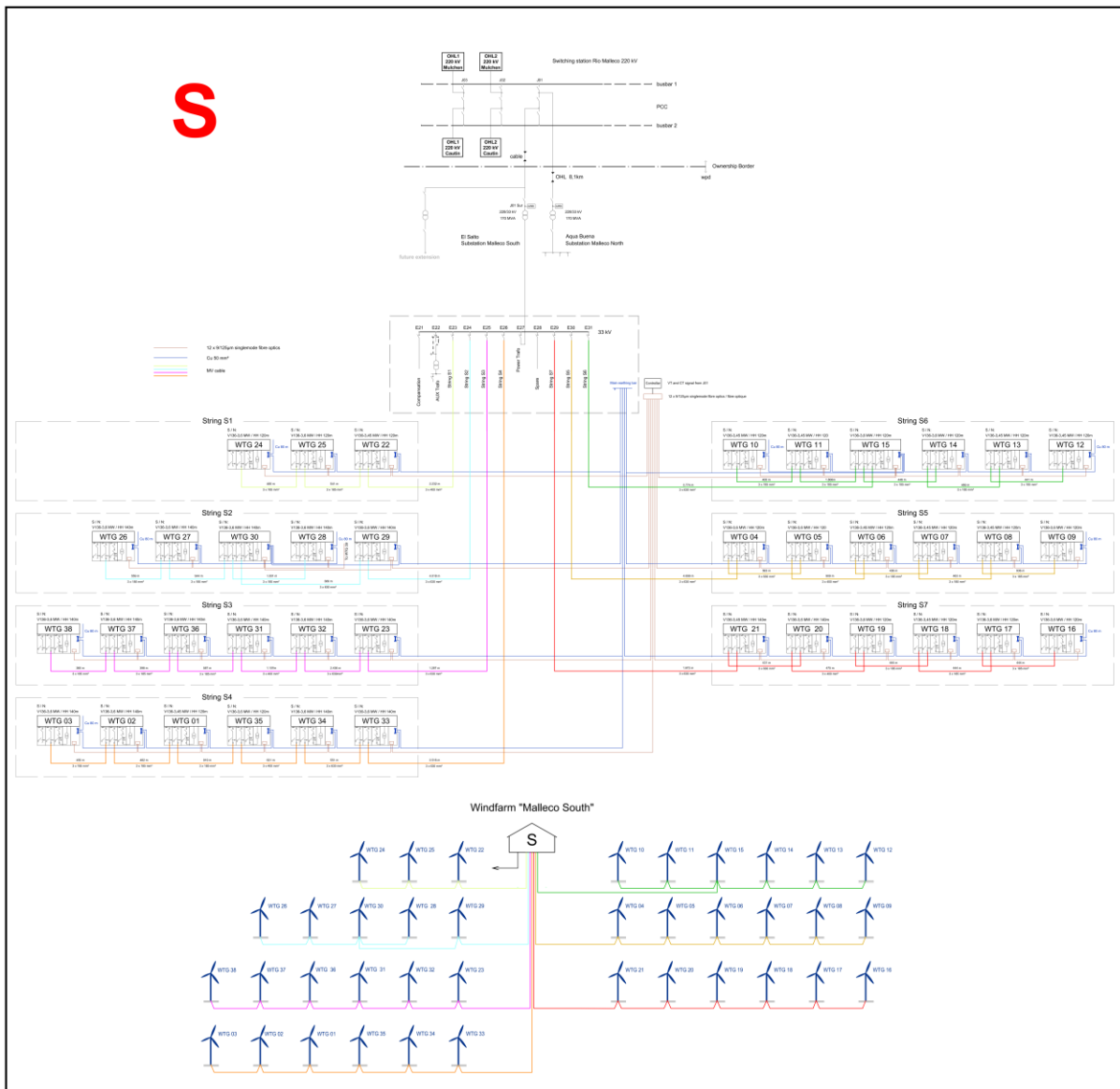


Gráfico 4. Esquema unilínea del sistema colector en 33 kV.

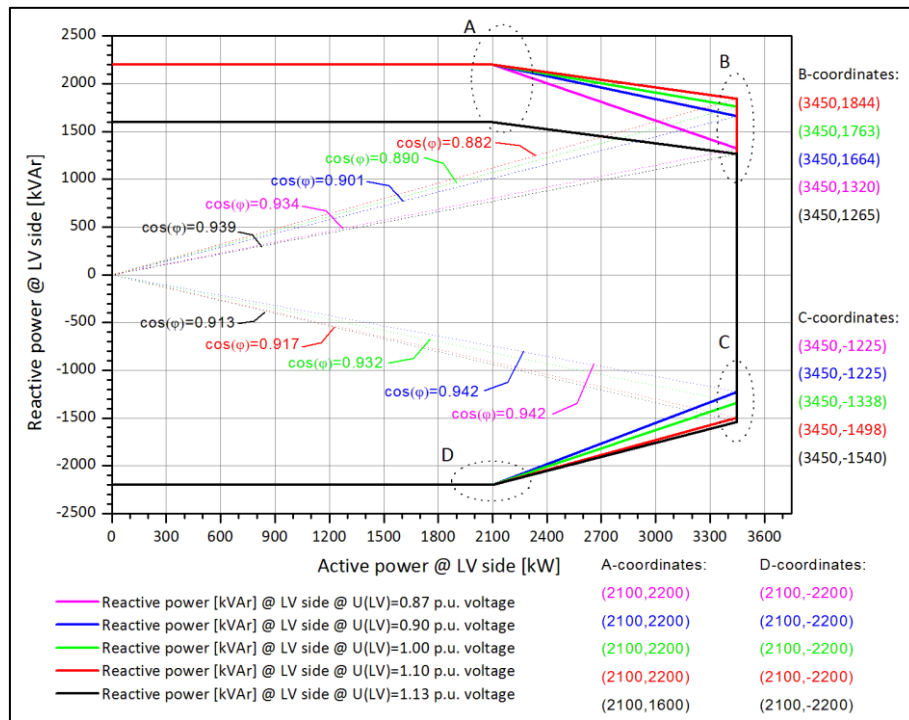


Gráfico 5. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.45 MW.

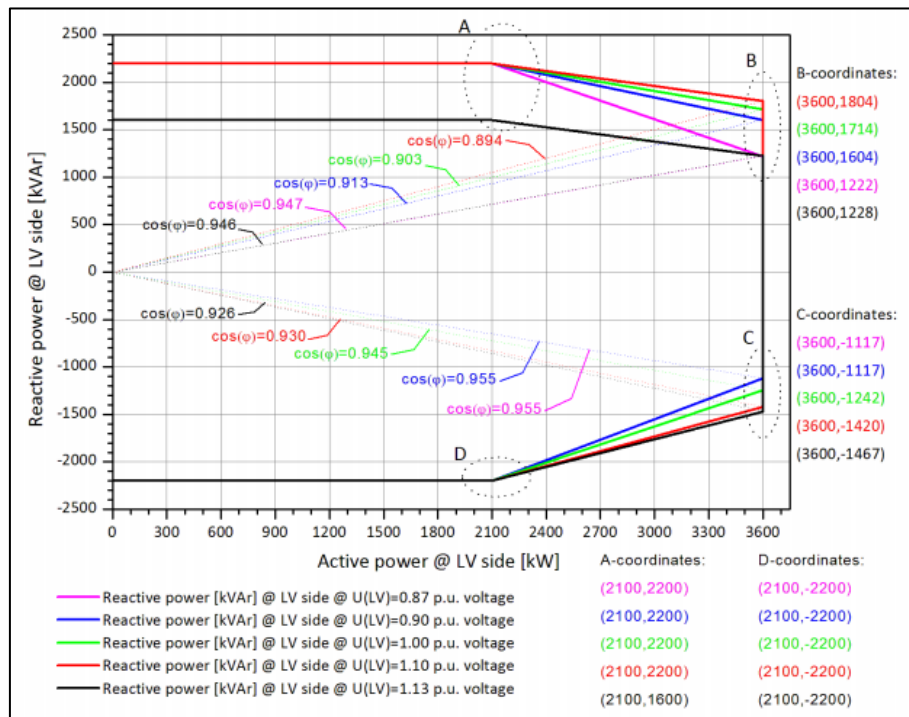


Gráfico 6. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL CONTROL DE PLANTA Y FUNCIONALIDADES

El control del PE Malleco Sur 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 220 kV de la SE Surco y Semilla. En el siguiente gráfico se muestra un esquema de los

puntos de medición (POM) y control del PE.

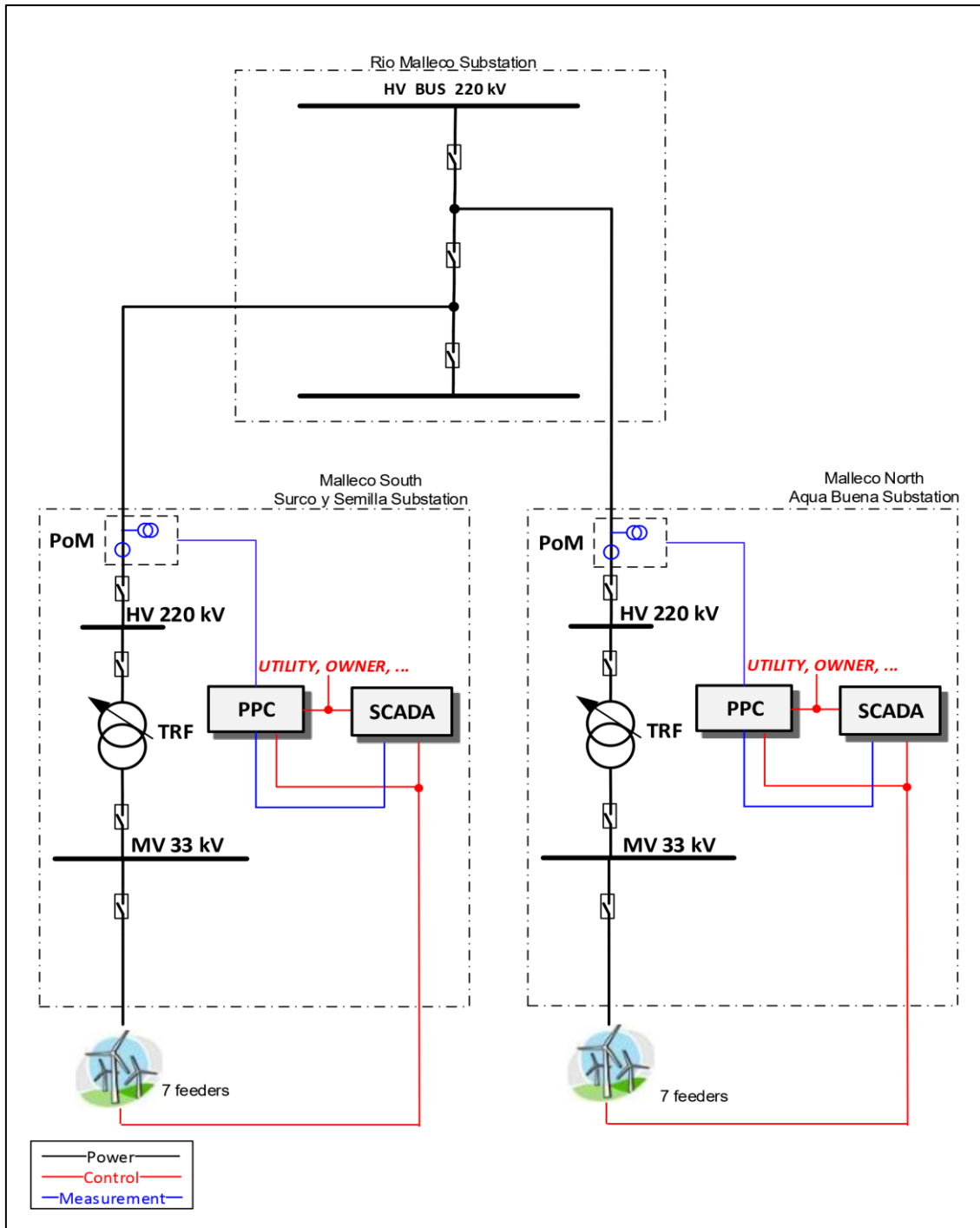


Gráfico 7. Esquema de control y medición del PE Malleco.

## 2.1. FUNCIONALIDADES DEL CONTROL DE PLANTA

El control de planta posee las siguientes funcionalidades:

- Funciones de control de potencia activa:
  - Control de potencia activa 0-100%.
  - Control de frecuencia.
- Funciones de control de potencia reactiva:
  - Control de tensión.
  - Control de potencia reactiva.
  - Control de factor de potencia.

El PPC envía las consignas de potencia activa y reactiva a los aerogeneradores. Además, el sistema SCADA permite enviar consignas de potencia activa y potencia reactiva individualmente a cada aerogenerador sin la participación del control del PPC (PPC desactivado).

### 2.1.1. Funciones de control de potencia activa

El PPC podrá operar en dos modos diferentes de control:

- **Control de potencia activa de 0-100%:** Permite ajustar la consigna de potencia activa a un valor determinado. Si se activa la función de limitación de rampa, tanto la rampa de bajada como de subida o toma de carga quedarán limitadas a una tasa de crecimiento determinada (en %/min). Si la función está desactivada, la reducción y la toma de carga se harán a una tasa que estará dada por la pendiente natural de los aerogeneradores (PrampLimit).

Con respecto al valor máximo de potencia activa, para el PE Malleco sur este es del 100% de la potencia nominal de la planta (135.15 MW).

En la sección 7.2 del documento de referencia del fabricante se detalla la configuración sugerida y las limitaciones en el control de potencia activa como se muestra a continuación:

Tabla 1. Valores máximos de pendiente y consigna de potencia activa.

<b>P<sub>ref</sub> maximum</b>	<b>Malleco South</b>	135.15 MW
	<b>Malleco North</b>	137.85 MW
<b>P<sub>ramp</sub> limit (internal)</b>		0.02 pu/s

A nivel PPC la tasa por defecto sugerida en este documento se muestra a continuación:

Tabla 2. Valores sugeridos de pendiente para la función limitación de rampa.

<b>Active power output ramp</b>	<b>Malleco South</b>	27030 kW/min (0.2 pu/min)
	<b>Malleco North</b>	27570 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 y LFSM-O-U. En los siguientes gráficos y tablas se detallan las curvas características y parametrización para ambos modos de control.

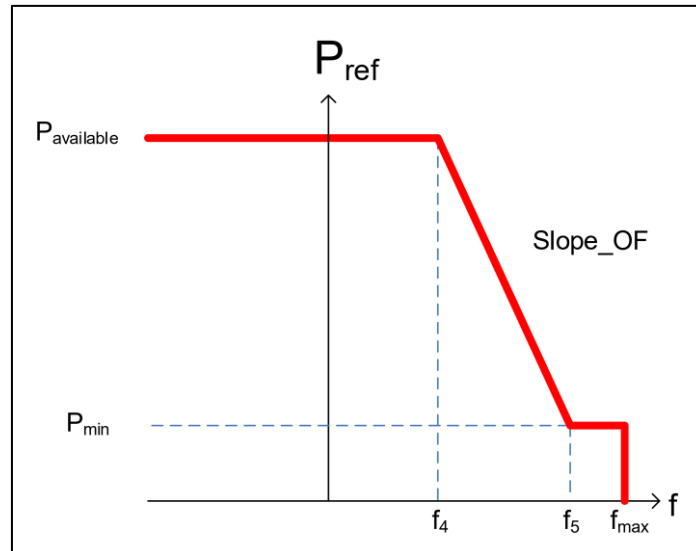


Gráfico 8. Característica LFSM-O.

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>Slope_OF</b>	3.64%
<b>P ramp rate limit (default)</b>	0.02 pu/s

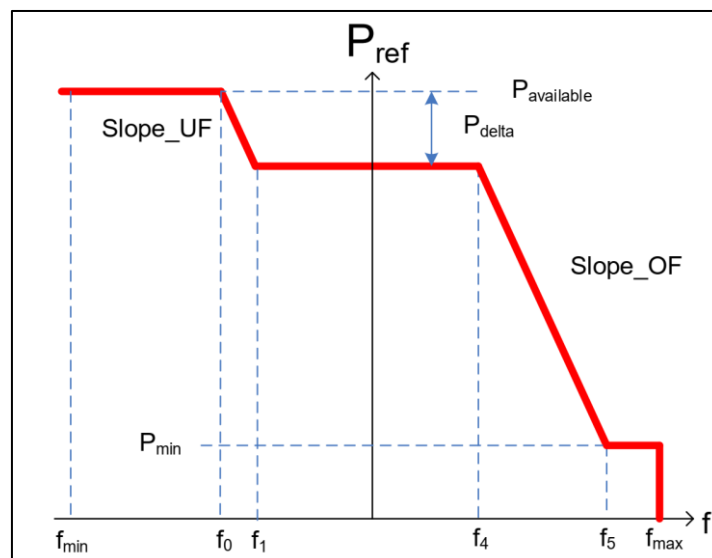


Gráfico 9. Característica FSM-O-U.

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

<b>fmin</b>	48 Hz
<b>f0</b>	$( f1 - (Pdelta [\%] \times Slope\_UF / 100 / 100 \times 50) )$ 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>	$((100 - 100 \times ( f5 - f4 ) / 50 \times 100 / Slope\_OF) \% ) - Pdelta$ %
<b>SLOPE_OF</b>	3.64%
<b>P ramp rate limit (default)</b>	0.02 pu/s

### 2.1.2. 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 Malleco 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.

La sección 5.1 del documento de referencia del fabricante, establece límites máximos de potencia reactiva según se detalla a continuación:

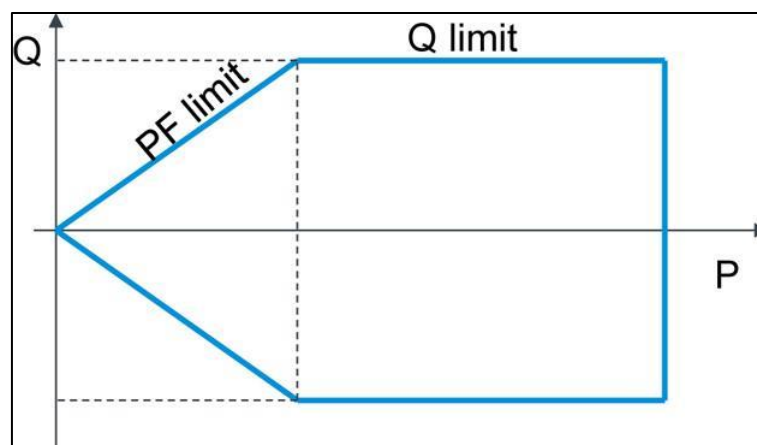


Gráfico 10. Límite PQ del control de potencia reactiva.

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

<b>PF limit capacitive</b>		<b>0.51</b>
<b>PF limit inductive</b>		<b>0.83</b>
<b>Q limit capacitive</b>	<b>Malleco South</b>	<b>45 MVar</b>
	<b>Malleco North</b>	46 MVar
<b>Q limit inductive</b>	<b>Malleco South</b>	<b>45 MVar</b>
	<b>Malleco North</b>	46 MVar
<b>Q<sub>ref</sub> ramp rate limit</b>		<b>0.1 pu/s</b>

Tabla 6. Tiempos asociados a la dinámica del control de potencia reactiva.

<b>T<sub>0</sub></b>	Typical performance around 0.2 s
<b>T<sub>rise</sub></b>	3 s
<b>T<sub>2</sub></b>	< 5 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

## 2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

La prueba se realizó en un lapso en el cual el recurso primario se mantuvo aproximadamente invariable, en las condiciones más cercanas a las nominales posibles, en cumplimiento con el Artículo 39 “Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación” al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. La potencia máxima se obtuvo a partir de registros de operación y mediciones del recurso natural que incide en esta tecnología durante el domingo 15/08/2021, incluyendo los antecedentes técnicos y los cálculos usados para obtener el valor. En el Anexo1 (adjunto con este informe) se detallan los valores registrados.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS

### 3.1. REGISTROS

Se obtuvieron registros de potencia activa en el punto de conexión de la planta (barra de 220 kV de la SE Surco y Semilla), para un rango horario de máxima generación.



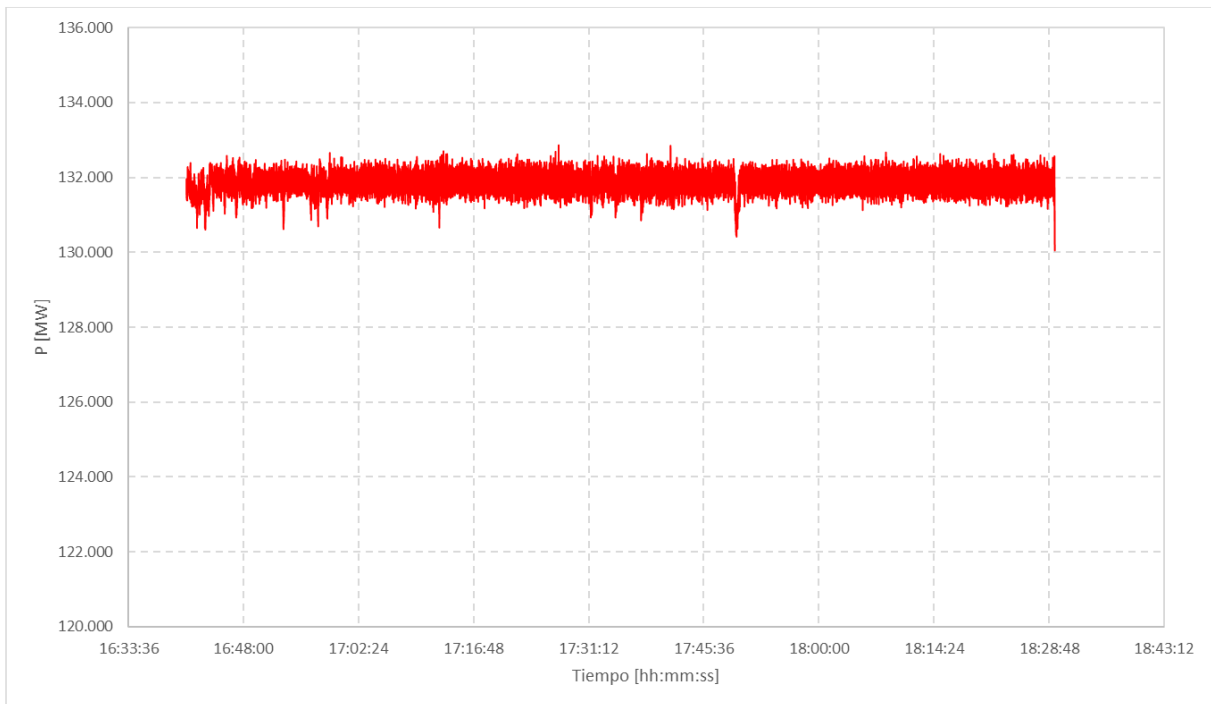


Gráfico 11. Potencia activa en el punto de conexión (Potencia neta medida).

Así mismo en los siguientes gráficos se muestra la potencia en el aerogenerador más cercano (WTG23) y en más lejano (WTG38) junto con la velocidad del viento en ambos.

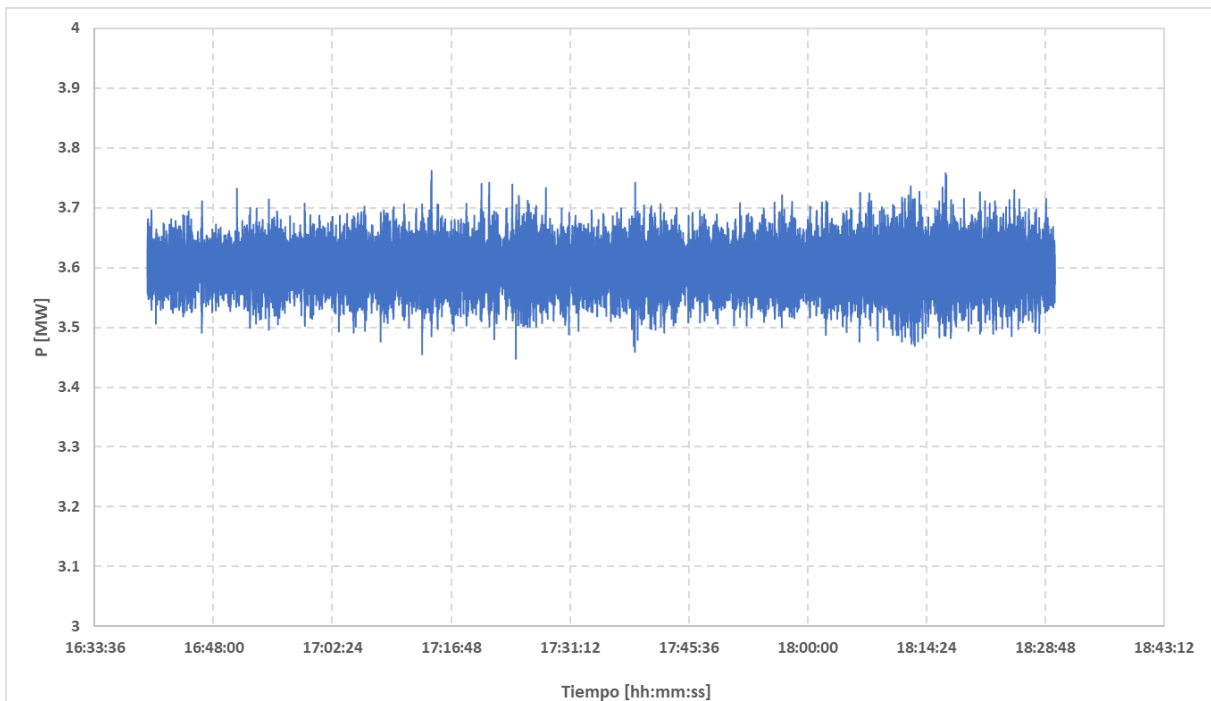


Gráfico 12. Potencia activa en el aerogenerador WTG23.

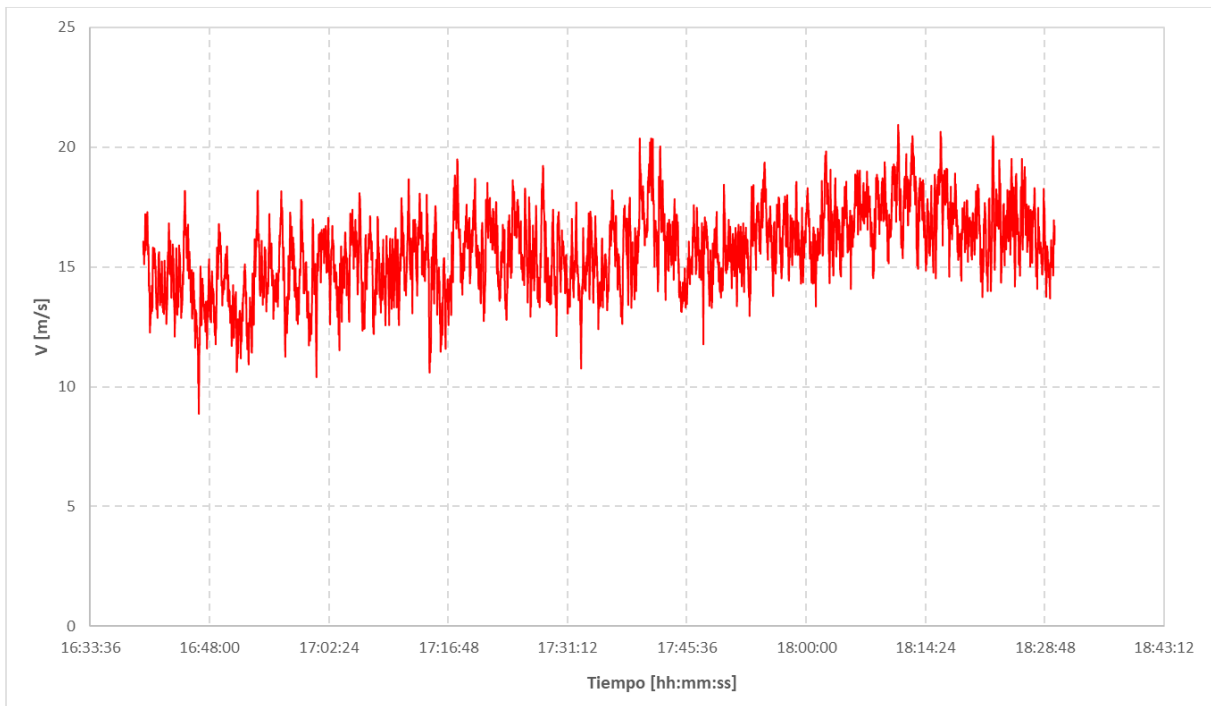


Gráfico 13. Velocidad de viento en el aerogenerador WTG23.

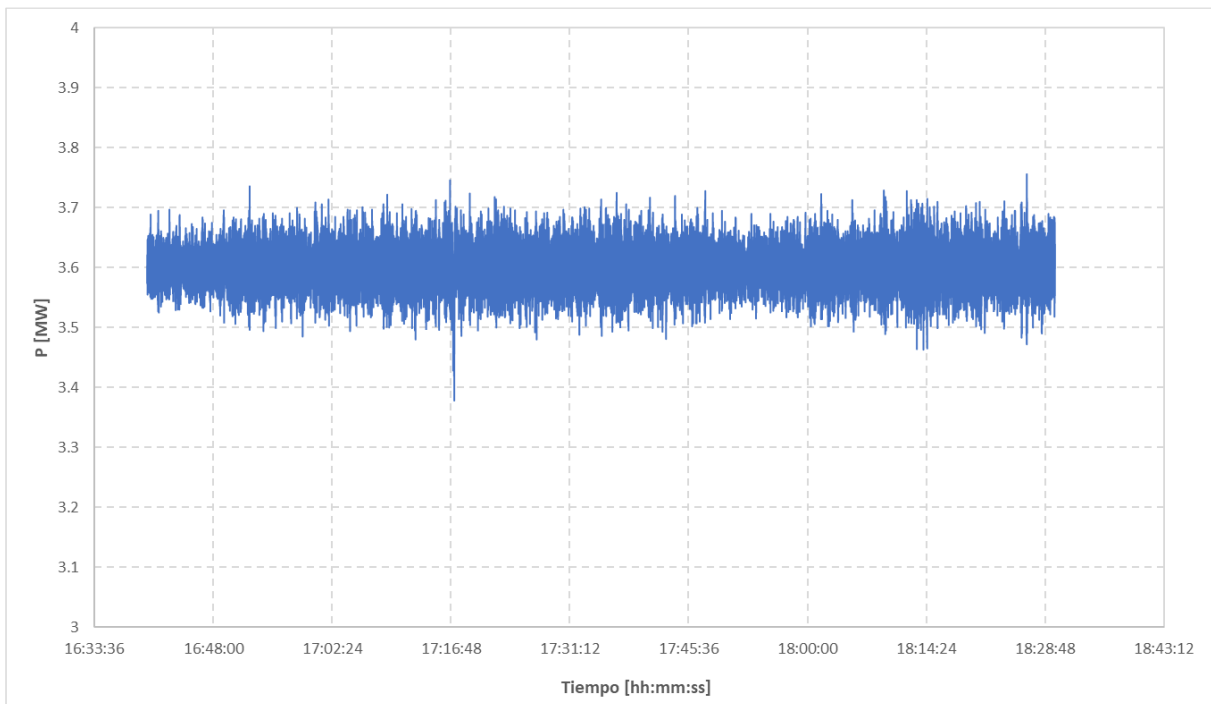


Gráfico 14. Potencia activa en el aerogenerador WTG38.

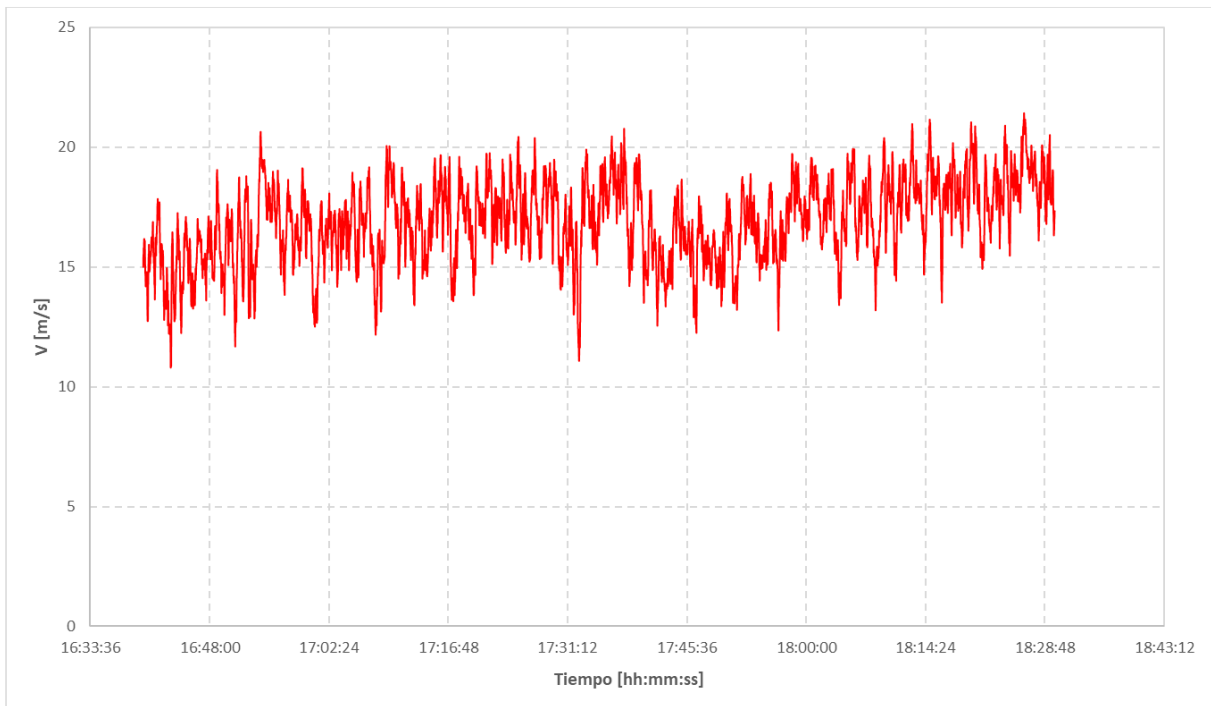


Gráfico 15. Velocidad de viento en el aerogenerador WTG38.

A partir de los registros anteriores de potencia y velocidad para los aerogeneradores más cercano y lejano se confeccionaron las curvas de potencia velocidad y se comparó con la curva teórica del aerogenerador.

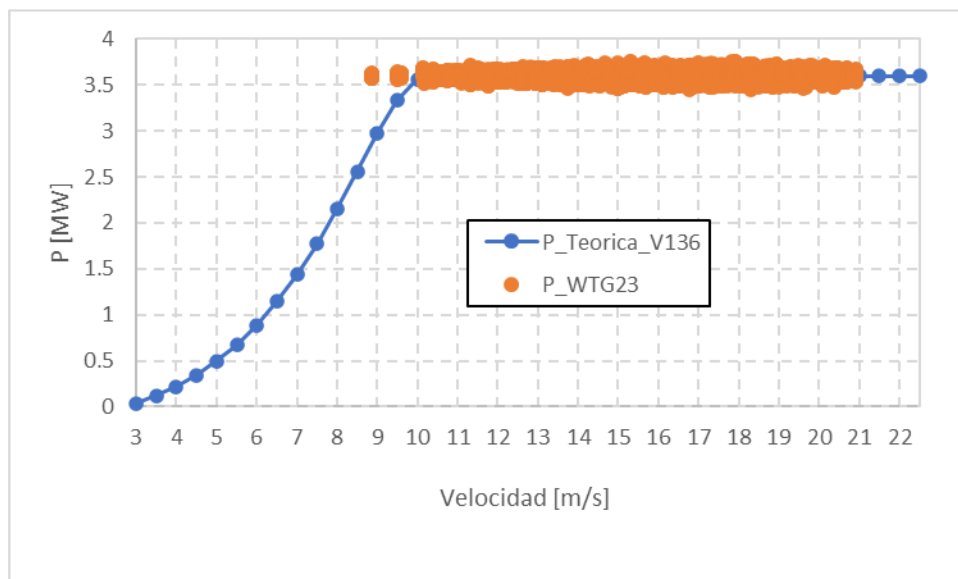


Gráfico 16. Curva potencia velocidad WTG23.

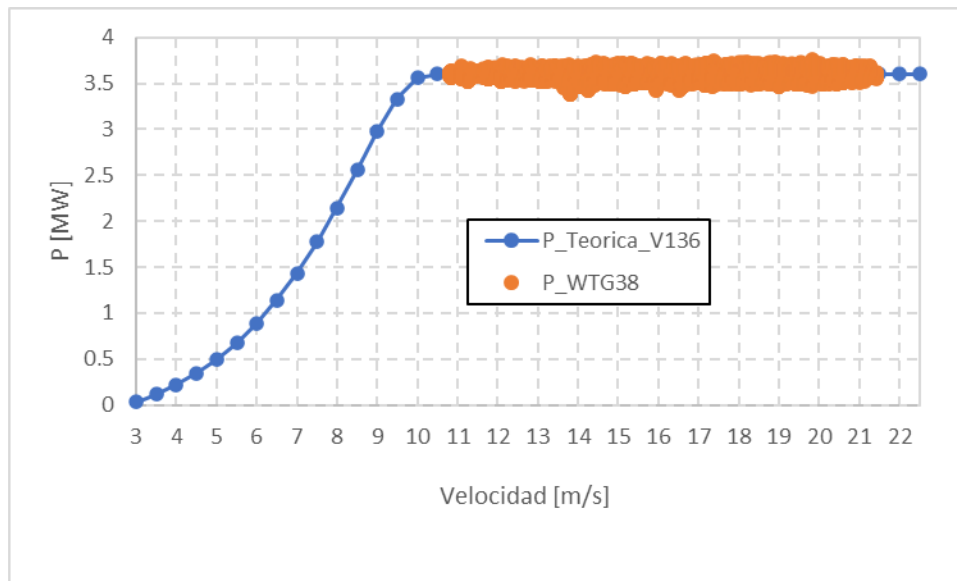


Gráfico 17. Curva potencia velocidad WTG38.

Se observa que para el periodo considerado los aerogeneradores operaron a potencia máxima. Por lo tanto, la potencia neta para la condición de máxima generación surge del promedio del registro del Gráfico 11.

$$P_{\text{neta}} = 131.861 \text{ MW}$$

Así mismo la potencia bruta máxima será la potencia máxima asegurada en bornes de aerogenerador. Como el PE Malleco Sur posee tanto aerogeneradores de 3.45 MW y de 3.6 MW, luego la potencia bruta máxima se calcula como:

$$P_{\text{bruta}} = 11 \times 3.45 \text{ MW} + 27 \times 3.6 \text{ MW} = 135.15 \text{ MW}$$

## 3.2. PÉRDIDAS Y CONSUMOS PROPIOS

Las componentes que generan pérdidas respecto a la potencia bruta generada en el parque se pueden enumerar a continuación:

- Red de media tensión (7 circuitos colectores en 33 kV + transformadores de bloque de los aerogeneradores).
- Transformador de potencia de la subestación.
- Servicios auxiliares (aerogeneradores + subestación).

Para poder calcular las pérdidas de los elementos anteriores se procede a considerar una simulación estática (flujo de potencia) en el software PowerFactory, tomando el modelo empleado en el estudio de validación [1].

### 3.2.1. Cálculo de pérdidas asociadas al transformador de potencia 220/33 kV de la subestación

Considerando la simulación de flujo de potencia mencionada en 3.2 se pueden determinar las pérdidas de potencia asociadas al transformador elevador de la subestación surco y semilla, como la diferencia entre la potencia que recibe la barra colectora de 33 kV y la potencia en el lado de 220 kV del transformador.

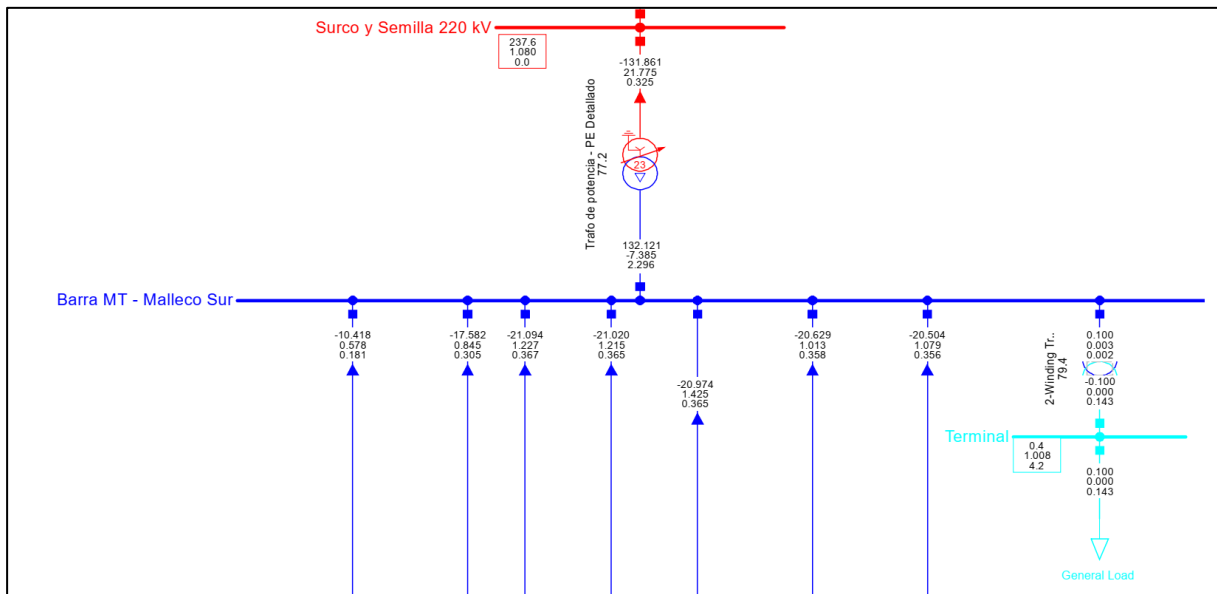


Gráfico 18. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Surco y semilla.

$$P_{trafo} = 132.121 - 131.861 = 260 \text{ kW}$$

Los datos de placa y el modelo Powerfactory del transformador se muestran a continuación:

**SGB** **CE**

**STARKBROM-GERATEBAU GMBH**

Transformador de Potencia Trifásico TP III 170 MVA, 220 / 33 kV, YNd11

Tipo	DOTR 170 000 / 245			Frecuencia nominal	Hz 50	Nivel de aislamiento	A.T.	A.T.-10	B.T.
No. de fabricación	153 709			Sistema de refrigeración	ONAF / ONAN Um		245	245	36
Año de fabricación	2019			Factor de potencia	NYTRO TAURUS LI		1050	1050	250
Normas	IEC				AC		480	480	73
	NO-PCB en el momento del envío				Grupo de conexión		YNd11		

Potencia asignada MVA				Tensión asignada kV		Corriente asignada A			
A.T.	B.T.	A.T.	B.T.	A.T.	B.T.	A.T.	B.T.	A.T.	B.T.
ONAF	ONAN	ONAF	ONAN	220,00	33,00	ONAF	ONAN	ONAF	ONAN
170	110	170	110			446,1	288,7	2974,2	1924,5

Relación	Tensión de cortocircuito directa Ohmio / Fase		Impedancia de secuencia directa Ohmio / Fase		Pérdidas debidas a la carga W		Pérdidas en el vacío W		Corriente de cortocircuito max. kA		Duración del cortocircuito max. s
	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	Pos. 1/Pos. 17 a b c/Pos. 33	A.T.	B.T.	A.T.	B.T.	
A.T. / B.T. / ONAF	15,7 / 14,2 / 13,1	60,3 / 40,3 / 26,3	389 890 / 383 071 / 394 588	53 944	4,05	22,8	3				

Transformador de Intensidad	1N CE 104	2V CE 151
Relación de Transformación	300-600/1A	3000 / 2A
Potencia asignada	15 VA	15 VA
Clase de Precisión	SP20 est. 120% 5 est. 120%	

Regulador en carga	No.	209 2389	PEE	99 821	%	WEP	57,9	%
Tipo	M III 600 Y - 245C-18 35 32							
Resistencia de conmutación cada fase / Ohmio	2,3							
Presión acústica, ONAF	72,9 dB(A) / 1m				Consumo del equipo de refrigeración ONAF			
Presión acústica, ONAN	75,7 dB(A) / 2m				6,56 kW			

Cuba, radiadores y depósito de expansión, cambiador de tomas, resistentes al aceite 100 Pp

Pos.	kV	Devanado A.T. / Conexión a 220, 220, 220		Preservador	Materiales
		ONAF	ONAN		
1	252,30	245,7	384,3	10,25, 10,25, 10,25	179 500
2	252,30	251,3	387,9	10,25, 10,25, 10,25	120 500
3	252,30	253,2	391,5	10,18, 10,18, 10,18	107 500
4	248,60	250,5	384,3	10,18, 10,18, 10,18	99 500
5	248,60	257,7	388,3	10,17, 10,17, 10,17	44 700
6	244,20	261,1	401,9	10,18, 10,18, 10,18	23 100
7	242,10	252,4	408,3	10,18, 10,18, 10,18	65 797
8	239,80	242,5	408,3	10,14, 10,14, 10,14	65 797
9	237,80	267,3	412,0	10,13, 10,13, 10,13	65 797
10	236,40	268,8	418,8	10,12, 10,12, 10,12	65 797
11	235,30	271,2	422,9	10,11, 10,11, 10,11	65 797
12	234,30	274,3	428,9	10,10, 10,10, 10,10	65 797
13	233,40	277,9	435,0	10,9, 10,9, 10,9	65 797
14	232,60	282,3	441,3	10,8, 10,8, 10,8	65 797
15	231,80	287,3	447,4	10,7, 10,7, 10,7	65 797
16	231,00	292,9	453,7	10,6, 10,6, 10,6	65 797
17	230,30	298,7	460,1	10,5, 10,5, 10,5	65 797
18	229,70	304,7	466,7	10,4, 10,4, 10,4	65 797
19	229,10	310,9	473,5	10,3, 10,3, 10,3	65 797
20	228,60	317,3	480,5	10,2, 10,2, 10,2	65 797
21	228,10	323,9	487,7	10,1, 10,1, 10,1	65 797
22	227,60	330,7	495,1	10,0, 10,0, 10,0	65 797
23	227,20	337,7	502,7	9,9, 9,9, 9,9	65 797
24	226,80	344,9	510,5	9,8, 9,8, 9,8	65 797
25	226,40	352,3	518,5	9,7, 9,7, 9,7	65 797
26	226,00	359,9	526,7	9,6, 9,6, 9,6	65 797
27	225,60	367,7	535,1	9,5, 9,5, 9,5	65 797
28	225,20	375,7	543,7	9,4, 9,4, 9,4	65 797
29	224,80	383,9	552,5	9,3, 9,3, 9,3	65 797
30	224,40	392,3	561,5	9,2, 9,2, 9,2	65 797
31	224,00	400,9	570,7	9,1, 9,1, 9,1	65 797
32	223,60	409,7	580,1	9,0, 9,0, 9,0	65 797
33	223,20	418,7	589,7	8,9, 8,9, 8,9	65 797
34	222,80	427,9	599,5	8,8, 8,8, 8,8	65 797
35	222,40	437,3	609,5	8,7, 8,7, 8,7	65 797
36	222,00	446,9	619,7	8,6, 8,6, 8,6	65 797
37	221,60	456,7	630,1	8,5, 8,5, 8,5	65 797
38	221,20	466,7	640,7	8,4, 8,4, 8,4	65 797
39	220,80	476,9	651,5	8,3, 8,3, 8,3	65 797
40	220,40	487,3	662,5	8,2, 8,2, 8,2	65 797
41	220,00	497,9	673,7	8,1, 8,1, 8,1	65 797
42	219,60	508,7	685,1	8,0, 8,0, 8,0	65 797
43	219,20	519,7	696,7	7,9, 7,9, 7,9	65 797
44	218,80	530,9	708,5	7,8, 7,8, 7,8	65 797
45	218,40	542,3	720,5	7,7, 7,7, 7,7	65 797
46	218,00	553,9	732,7	7,6, 7,6, 7,6	65 797
47	217,60	565,7	745,1	7,5, 7,5, 7,5	65 797
48	217,20	577,7	757,7	7,4, 7,4, 7,4	65 797
49	216,80	589,9	770,5	7,3, 7,3, 7,3	65 797
50	216,40	602,3	783,5	7,2, 7,2, 7,2	65 797
51	216,00	614,9	796,7	7,1, 7,1, 7,1	65 797
52	215,60	627,7	810,1	7,0, 7,0, 7,0	65 797
53	215,20	640,7	823,7	6,9, 6,9, 6,9	65 797
54	214,80	653,9	837,5	6,8, 6,8, 6,8	65 797
55	214,40	667,3	851,5	6,7, 6,7, 6,7	65 797
56	214,00	680,9	865,7	6,6, 6,6, 6,6	65 797
57	213,60	694,7	880,1	6,5, 6,5, 6,5	65 797
58	213,20	708,7	894,7	6,4, 6,4, 6,4	65 797
59	212,80	722,9	909,5	6,3, 6,3, 6,3	65 797
60	212,40	737,3	924,5	6,2, 6,2, 6,2	65 797
61	212,00	751,9	939,7	6,1, 6,1, 6,1	65 797
62	211,60	766,7	955,1	6,0, 6,0, 6,0	65 797
63	211,20	781,7	970,7	5,9, 5,9, 5,9	65 797
64	210,80	796,9	986,5	5,8, 5,8, 5,8	65 797
65	210,40	812,3	1002,5	5,7, 5,7, 5,7	65 797
66	210,00	827,9	1018,7	5,6, 5,6, 5,6	65 797
67	209,60	843,7	1035,1	5,5, 5,5, 5,5	65 797
68	209,20	859,7	1051,7	5,4, 5,4, 5,4	65 797
69	208,80	875,9	1068,5	5,3, 5,3, 5,3	65 797
70	208,40	892,3	1085,5	5,2, 5,2, 5,2	65 797
71	208,00	908,9	1102,7	5,1, 5,1, 5,1	65 797
72	207,60	925,7	1120,1	5,0, 5,0, 5,0	65 797
73	207,20	942,7	1137,7	4,9, 4,9, 4,9	65 797
74	206,80	959,9	1155,5	4,8, 4,8, 4,8	65 797
75	206,40	977,3	1173,5	4,7, 4,7, 4,7	65 797
76	206,00	994,9	1191,7	4,6, 4,6, 4,6	65 797
77	205,60	1012,7	1210,1	4,5, 4,5, 4,5	65 797
78	205,20	1030,7	1228,7	4,4, 4,4, 4,4	65 797
79	204,80	1048,9	1247,5	4,3, 4,3, 4,3	65 797
80	204,40	1067,3	1266,5	4,2, 4,2, 4,2	65 797
81	204,00	1085,9	1285,7	4,1, 4,1, 4,1	65 797
82	203,60	1104,7	1305,1	4,0, 4,0, 4,0	65 797
83	203,20	1123,7	1324,7	3,9, 3,9, 3,9	65 797
84	202,80	1142,9	1344,5	3,8, 3,8, 3,8	65 797
85	202,40	1162,3	1364,5	3,7, 3,7, 3,7	65 797
86	202,00	1181,9	1384,7	3,6, 3,6, 3,6	65 797
87	201,60	1201,7	1405,1	3,5, 3,5, 3,5	65 797
88	201,20	1221,7	1425,7	3,4, 3,4, 3,4	65 797
89	200,80	1241,9	1446,5	3,3, 3,3, 3,3	65 797
90	200,40	1262,3	1467,5	3,2, 3,2, 3,2	65 797
91	200,00	1282,9	1488,7	3,1, 3,1, 3,1	65 797
92	199,60	1303,7	1510,1	3,0, 3,0, 3,0	65 797
93	199,20	1324,7	1531,7	2,9, 2,9, 2,9	65 797
94	198,80	1345,9	1553,5	2,8, 2,8, 2,8	65 797
95	198,40	1367,3	1575,5	2,7, 2,7, 2,7	65 797
96	198,00	1388,9	1597,7	2,6, 2,6, 2,6	65 797
97	197,60	1410,7	1620,1	2,5, 2,5, 2,5	65 797
98	197,20	1432,7	1642,7	2,4, 2,4, 2,4	65 797
99	196,80	1454,9	1665,5	2,3, 2,3, 2,3	65 797
100	196,40	1477,3	1688,5	2,2, 2,2, 2,2	65 797

Devanado B.T. / Conexión a 33, 2V, 2V0	
W	A
33,00	2974,2
ONAF	ONAN
	1924,5

Gráfico 19. Placa característica del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\170 MVA 220/33 kV SE Surco y Semilla.TypTr2

<b>Basic Data</b>	Name	170 MVA 220/33 kV SE Surco y Semilla	
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			
Short-Circuit DC			
Simulation RMS	Positive Sequence Impedance		
Simulation EMT	Short-Circuit Voltage uk	14.17	%
Protection	Copper Losses	344.483	kW
Power Quality/Harmonics			
Reliability	Zero Sequence Impedance		
Hosting Capacity Analysis	Short-Circuit Voltage uk0	13.2	%
Optimal Power Flow	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0.	%
	Phase Shift	11.	*30deg
	Name	YNd11	

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\170 MVA 220/33 kV SE Surco y Semilla.TypTr2

<b>Basic Data</b>	General	Tap Changer	Saturation	Advanced
Description	Magnetising Impedance			
Version	No Load Current	0,0403	%	
Load Flow	No Load Losses	53,949	kW	
Short-Circuit VDE/IEC	Distribution of Leakage Reactances (p.u.)			
Short-Circuit Complete	x,Pos.Seq. HV-Side	0,5		
Short-Circuit ANSI	x,Pos.Seq. LV-Side	0,5		
Short-Circuit IEC 61363	Distribution of Leakage Resistances (p.u.)			
Short-Circuit DC	r,Pos.Seq. HV-Side	0,5		
Simulation RMS	r,Pos.Seq. LV-Side	0,5		
Simulation EMT				
Protection				
Power Quality/Harmonics				
Reliability				
Hosting Capacity Analysis				
Optimal Power Flow				

Gráfico 20. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla.

### 3.2.2. Potencia inyectada en la barra de MT

La potencia inyectada en la red de MT (P2) se determinó mediante flujo de potencia, considerando en la barra de AT la potencia neta medida durante la prueba. En el gráfico siguiente se muestra el resultado obtenido:

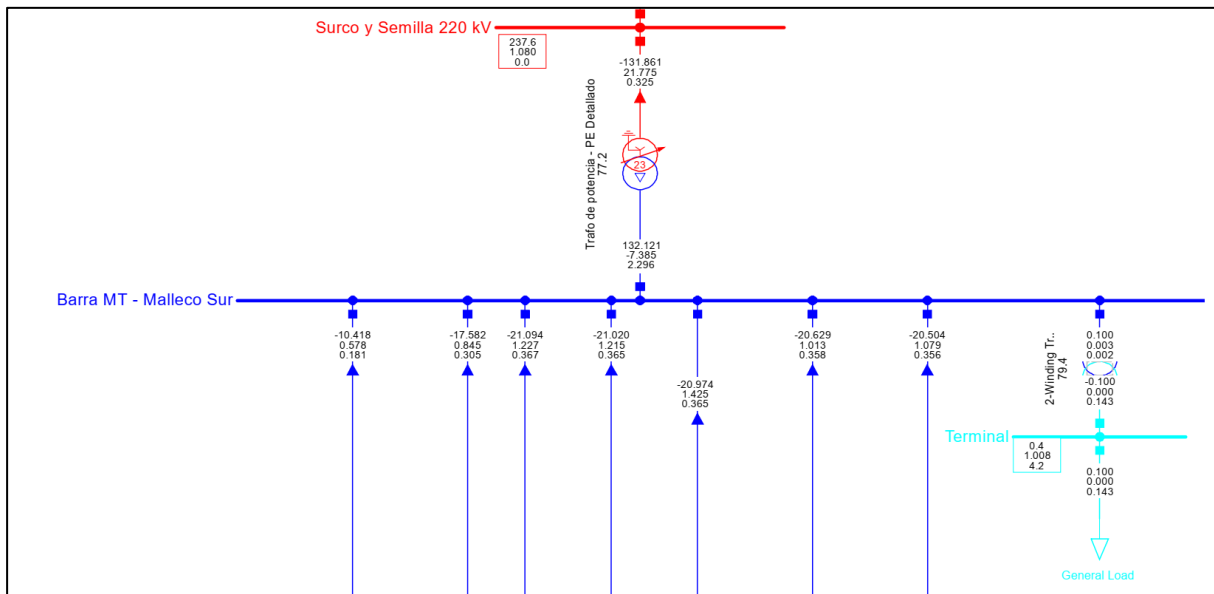


Gráfico 21. Potencia inyectada en la barra de MT.

De lo anterior la potencia P2 se calculó como la suma de las potencias de cada circuito colector:

$$P2 = 10.418 + 17.582 + 21.094 + 21.02 + 20.974 + 20.619 + 20.504 = 132.21 \text{ MW}$$

### 3.2.3. Consumo de servicios auxiliares

#### a.1) Consumo de Servicios auxiliares a nivel aerogenerador

El consumo de servicios auxiliares (SSAA) de cada aerogenerador está especificado en el documento del fabricante VESTAS “General Description 3MW Platform”. En la tabla a continuación se muestran los consumos de SSAA asociadas a los aerogeneradores del PE.

Tabla 7. Consumos servicios auxiliares aerogeneradores.

ELEMENTO	Consumo kW
Consumo motor hidráulico	30
Motor de ajuste	18
Calefacción de agua	10
Bombas de agua	6.2
Calefacción de aceite	7.9
Bombeo de lubricantes	10
Sistema de control	3
Perdidas en vacío transformador	6
<b>Total</b>	<b>91.1</b>
<b>Total (38 Aerogeneradores)</b>	<b>3461.8</b>

Estas pérdidas son las máximas, sin considerar factores de simultaneidad y consumos asociados a calefacción que en estado de carga no estarían presentes.

Para determinar el consumo real a potencia máxima se realizó un cálculo de flujo de potencia

donde se consideró el parque inyectando su potencia neta máxima en barras de AT de la SE Surco y semilla.

Para esta condición de potencia neta máxima los aerogeneradores quedan despachados como se muestra:

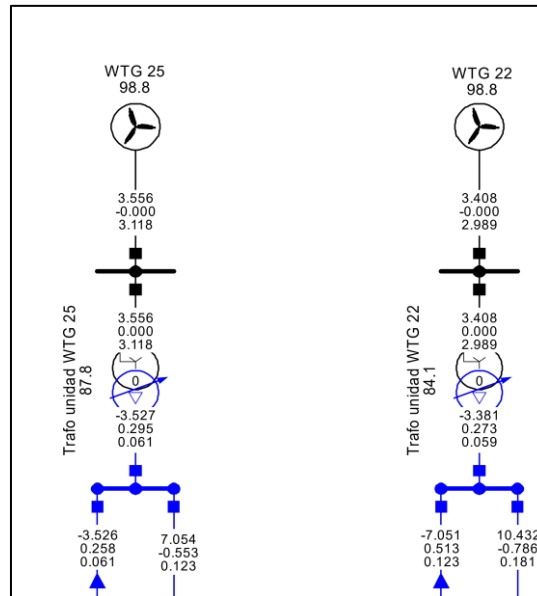


Gráfico 22. Despacho de generadores para potencia neta.

Esta potencia resulta luego descontar el consumo de servicios auxiliares de cada aerogenerador. Por lo tanto, la diferencia con la potencia bruta generada en la prueba resulta en el consumo de servicios auxiliares para esta condición operativa.

De lo anterior se determina el consumo total de servicios auxiliares como:

$$SS.AA \text{ aero} = 11 \times (3.45 - 3.408) + 27 \times (3.6 - 3.556) = 1650 \text{ kW}$$

Con un consumo promedio de 43 kW por aerogenerador.

#### a.2) Consumo de servicios auxiliares de la subestación

El consumo de servicios auxiliares de la SE Surco y semilla fue informado en **100 kW**. De lo anterior, el consumo total de servicios auxiliares se calcula como:

$$SS.AA = 1650 \text{ kW} + 100 \text{ kW} = 1750 \text{ kW}$$

#### 3.2.4. Cálculo de pérdidas en el sistema colector

Las pérdidas totales del sistema colector (pérdidas en los cables de MT + pérdidas en los transformadores de bloque) se determinaron de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_{\text{colector}} = P_{\text{bruta}} - P_{\text{neto}} - SS.AA - P_{\text{trafo}}$$

$$P_{\text{colector}} = 135.15 \text{ MW} - 131.861 \text{ MW} - 1.75 \text{ MW} - 0.260 = 1279 \text{ kW}$$



## 4. CONCLUSIONES

En relación a los ensayos realizados en campo y descritos en el presente informe, se concluye que el resultado de las pruebas realizadas fue satisfactorio, obteniéndose los parámetros indicados en la Tabla 8 :

Tabla 8. Parámetros de potencia máxima obtenidos.

Parámetro	Valor [MW]
Potencia máxima neta medida	131.861
Potencia máxima bruta medida	135.15
Pérdidas estimadas en el transformador de la SE Surco y Semilla	0.260
Pérdidas totales estimadas del circuito colector	1.279
Consumo de SSAA	1.750

## 5. REFERENCIAS

- [1] A 0609 - WPD - PE Malleco Sur - Informe de Homologación de Modelos Dinámicos
- [2] Power Plant Controller Functional Design Specification
- [3] General Description 3MW Platform
- [4] ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS “Pruebas de potencia máxima en Unidades Generadoras”

## 6. ANEXO 1

Los registros de potencia máxima promediados cada 1 minuto se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9. Registros de potencia máxima y velocidad de viento.

Fecha	P_WTG23 [MW]	V_WTG23 [m/s]	P_WTG38 [MW]	V_WTG38 [m/s]	P_POM [MW]
15/08/2021 16:40	3.601	15.236	3.599	14.976	131.649
15/08/2021 16:41	3.600	15.234	3.599	14.976	131.724
15/08/2021 16:42	3.599	15.233	3.599	14.977	131.559
15/08/2021 16:43	3.601	15.232	3.599	14.978	131.543
15/08/2021 16:44	3.601	15.230	3.599	14.979	131.873
15/08/2021 16:45	3.600	15.229	3.599	14.980	131.875
15/08/2021 16:46	3.602	15.227	3.599	14.981	131.885
15/08/2021 16:47	3.600	15.226	3.599	14.981	131.814
15/08/2021 16:48	3.601	15.224	3.599	14.982	131.892
15/08/2021 16:49	3.600	15.223	3.599	14.983	131.809
15/08/2021 16:50	3.601	15.222	3.599	14.984	131.874

15/08/2021 16:51	3.600	15.220	3.599	14.985	131.880
15/08/2021 16:52	3.601	15.219	3.599	14.986	131.840
15/08/2021 16:53	3.600	15.217	3.599	14.986	131.806
15/08/2021 16:54	3.600	15.216	3.599	14.987	131.897
15/08/2021 16:55	3.601	15.214	3.599	14.988	131.888
15/08/2021 16:56	3.599	15.213	3.599	14.988	131.730
15/08/2021 16:57	3.601	15.212	3.599	14.989	131.758
15/08/2021 16:58	3.600	15.210	3.599	14.989	131.779
15/08/2021 16:59	3.600	15.209	3.599	14.990	131.895
15/08/2021 17:00	3.600	15.208	3.599	14.990	131.896
15/08/2021 17:01	3.600	15.206	3.599	14.991	131.888
15/08/2021 17:02	3.601	15.205	3.599	14.991	131.871
15/08/2021 17:03	3.600	15.204	3.599	14.992	131.890
15/08/2021 17:04	3.600	15.203	3.599	14.992	131.890
15/08/2021 17:05	3.600	15.201	3.599	14.993	131.892
15/08/2021 17:06	3.601	15.200	3.599	14.993	131.879
15/08/2021 17:07	3.600	15.199	3.599	14.994	131.885
15/08/2021 17:08	3.600	15.197	3.599	14.994	131.893
15/08/2021 17:09	3.601	15.196	3.599	14.995	131.898
15/08/2021 17:10	3.600	15.195	3.599	14.995	131.875
15/08/2021 17:11	3.601	15.193	3.599	14.996	131.877
15/08/2021 17:12	3.601	15.192	3.599	14.996	131.823
15/08/2021 17:13	3.600	15.191	3.599	14.997	131.907
15/08/2021 17:14	3.600	15.190	3.599	14.997	131.901
15/08/2021 17:15	3.601	15.188	3.599	14.998	131.894
15/08/2021 17:16	3.600	15.187	3.599	14.998	131.880
15/08/2021 17:17	3.600	15.186	3.599	14.998	131.895
15/08/2021 17:18	3.601	15.184	3.599	14.999	131.895
15/08/2021 17:19	3.600	15.183	3.599	14.999	131.887
15/08/2021 17:20	3.600	15.182	3.599	15.000	131.872
15/08/2021 17:21	3.600	15.180	3.599	15.000	131.851
15/08/2021 17:22	3.600	15.179	3.599	15.000	131.888
15/08/2021 17:23	3.601	15.178	3.599	15.001	131.879
15/08/2021 17:24	3.599	15.177	3.599	15.001	131.874
15/08/2021 17:25	3.601	15.176	3.599	15.001	131.887
15/08/2021 17:26	3.600	15.175	3.599	15.002	131.884
15/08/2021 17:27	3.600	15.173	3.599	15.002	131.891
15/08/2021 17:28	3.600	15.172	3.599	15.002	131.892
15/08/2021 17:29	3.600	15.171	3.599	15.003	131.887
15/08/2021 17:30	3.601	15.170	3.599	15.003	131.885
15/08/2021 17:31	3.601	15.169	3.599	15.003	131.789
15/08/2021 17:32	3.600	15.168	3.599	15.003	131.879
15/08/2021 17:33	3.600	15.167	3.599	15.004	131.900

15/08/2021 17:34	3.600	15.166	3.599	15.004	131.748
15/08/2021 17:35	3.601	15.164	3.599	15.004	131.902
15/08/2021 17:36	3.600	15.163	3.599	15.005	131.886
15/08/2021 17:37	3.600	15.162	3.599	15.005	131.806
15/08/2021 17:38	3.600	15.161	3.599	15.005	131.863
15/08/2021 17:39	3.601	15.160	3.599	15.006	131.902
15/08/2021 17:40	3.600	15.159	3.599	15.006	131.862
15/08/2021 17:41	3.600	15.158	3.599	15.006	131.843
15/08/2021 17:42	3.601	15.157	3.599	15.006	131.874
15/08/2021 17:43	3.600	15.155	3.599	15.007	131.897
15/08/2021 17:44	3.600	15.154	3.599	15.007	131.872
15/08/2021 17:45	3.599	15.153	3.599	15.007	131.882
15/08/2021 17:46	3.601	15.152	3.599	15.007	131.827
15/08/2021 17:47	3.600	15.151	3.599	15.007	131.901
15/08/2021 17:48	3.600	15.150	3.599	15.008	131.875
15/08/2021 17:49	3.600	15.149	3.599	15.008	131.465
15/08/2021 17:50	3.600	15.148	3.599	15.008	131.861
15/08/2021 17:51	3.601	15.147	3.599	15.008	131.866
15/08/2021 17:52	3.600	15.147	3.599	15.008	131.892
15/08/2021 17:53	3.601	15.146	3.599	15.008	131.891
15/08/2021 17:54	3.600	15.145	3.599	15.008	131.878
15/08/2021 17:55	3.600	15.144	3.599	15.008	131.896
15/08/2021 17:56	3.601	15.143	3.599	15.008	131.879
15/08/2021 17:57	3.600	15.142	3.599	15.008	131.868
15/08/2021 17:58	3.600	15.141	3.600	15.009	131.874
15/08/2021 17:59	3.600	15.140	3.600	15.009	131.898
15/08/2021 18:00	3.600	15.139	3.600	15.009	131.881
15/08/2021 18:01	3.600	15.138	3.600	15.009	131.894
15/08/2021 18:02	3.601	15.137	3.600	15.009	131.883
15/08/2021 18:03	3.600	15.136	3.600	15.009	131.883
15/08/2021 18:04	3.600	15.135	3.599	15.009	131.876
15/08/2021 18:05	3.600	15.134	3.599	15.009	131.881
15/08/2021 18:06	3.600	15.133	3.599	15.009	131.883
15/08/2021 18:07	3.600	15.133	3.599	15.009	131.884
15/08/2021 18:08	3.599	15.132	3.599	15.010	131.889
15/08/2021 18:09	3.601	15.131	3.599	15.010	131.887
15/08/2021 18:10	3.600	15.130	3.599	15.010	131.897
15/08/2021 18:11	3.601	15.129	3.599	15.010	131.879
15/08/2021 18:12	3.600	15.128	3.599	15.010	131.897
15/08/2021 18:13	3.601	15.126	3.599	15.010	131.889
15/08/2021 18:14	3.600	15.125	3.599	15.010	131.869
15/08/2021 18:15	3.600	15.124	3.599	15.011	131.891
15/08/2021 18:16	3.600	15.122	3.599	15.011	131.876

---

<b>15/08/2021 18:17</b>	3.600	15.121	3.599	15.011	131.869
<b>15/08/2021 18:18</b>	3.601	15.120	3.599	15.011	131.866
<b>15/08/2021 18:19</b>	3.600	15.118	3.599	15.011	131.884
<b>15/08/2021 18:20</b>	3.600	15.117	3.599	15.012	131.870
<b>15/08/2021 18:21</b>	3.601	15.116	3.599	15.012	131.895
<b>15/08/2021 18:22</b>	3.600	15.114	3.599	15.012	131.879
<b>15/08/2021 18:23</b>	3.600	15.113	3.599	15.012	131.870
<b>15/08/2021 18:24</b>	3.600	15.112	3.599	15.012	131.866
<b>15/08/2021 18:25</b>	3.601	15.110	3.599	15.012	131.891
<b>15/08/2021 18:26</b>	3.600	15.109	3.599	15.013	131.888
<b>15/08/2021 18:27</b>	3.600	15.107	3.599	15.013	131.876
<b>15/08/2021 18:28</b>	3.600	15.106	3.599	15.013	131.878
<b>15/08/2021 18:29</b>	3.600	15.105	3.599	15.013	131.801