



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

# **INFORME DE DETERMINACIÓN DE MINIMO TÉCNICO**

## **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 .....	6
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL CONTROL DE PLANTA Y FUNCIONALIDADES</b> .....	<b>10</b>
2.1. Funcionalidades del control de planta .....	11
2.2. Descripción de las pruebas .....	15
<b>3. RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	<b>15</b>
3.1. Mínimo técnico en el punto de conexión .....	15
3.2. Pérdidas y consumos propios.....	17
3.3. Cálculo de mínimo técnico Bruto .....	22
<b>4. CONCLUSIONES</b> .....	<b>23</b>
<b>5. REFERENCIAS</b> .....	<b>23</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Valores máximos de pendiente y consigna de potencia activa.....	12
Tabla 2. Valores sugeridos de pendiente para la función limitación de rampa. ....	12
Tabla 3. Parametrización del modo LFSM-O.....	13
Tabla 4. Parametrización del modo <i>FSM-O-U</i> . ....	14
Tabla 5. Configuración de los límites PQ del control de potencia reactiva.....	15
Tabla 6. Tiempos asociados a la dinámica del control de potencia reactiva. ....	15
Tabla 7. Consumos servicios auxiliares aerogeneradores.....	22
Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión con el sistema. ....	7
Gráfico 2. Esquema unilineal de la zona de influencia del PE Malleco Sur. ....	8
Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector en 33 kV. ....	9
Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.45 MW.....	10
Gráfico 5. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW. ....	10
Gráfico 6. Esquema de control y medición del PE Malleco. ....	11
Gráfico 7. <i>Característica</i> LFSM-O.....	13
Gráfico 8. <i>Característica</i> <i>FSM-O-U</i> .....	13
Gráfico 9. Límite PQ del control de potencia reactiva.....	14
Gráfico 10. Potencia activa en el punto de conexión.....	16
Gráfico 11. Potencia reactiva en el punto de conexión. ....	16
Gráfico 12. Tensión en el punto de conexión. ....	16
Gráfico 13. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Surco y semilla. .....	17
Gráfico 14. Placa característica del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla. ....	18
Gráfico 15. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla. ....	19
Gráfico 16. Potencia en mínimo técnico para aerogeneradores 3.45 MW y 3.6 MW. ....	19
Gráfico 17. Aporte de potencia de los circuitos colectores en barra de MT de la SE Surco y Semilla. .....	20
Gráfico 18. Modelo PowerFactory del transformador de bloque de aerogenerador.....	21

## 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

# 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 los días 23 y 24 de julio de 2021, en relación al proceso de determinación del mínimo técnico de la planta.

### 1.1. 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.

Para el caso de un parque eólico la determinación se hará al valor mínimo que permita limitarse la consigna de generación del parque y que no desconecte las turbinas eólicas, de manera de mantener el soporte de tensión y potencia reactiva al sistema, verificado mediante un ensayo sobre el parque.

### 1.2. 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 4 y en el Gráfico 5 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 1 se muestra un esquema unilineal de la conexión del parque a la subestación Surco y Semilla, en el Gráfico 2 el esquema unilineal de la zona de influencia y en el Gráfico 3 se muestra un esquema unilineal del sistema colector en 33 kV

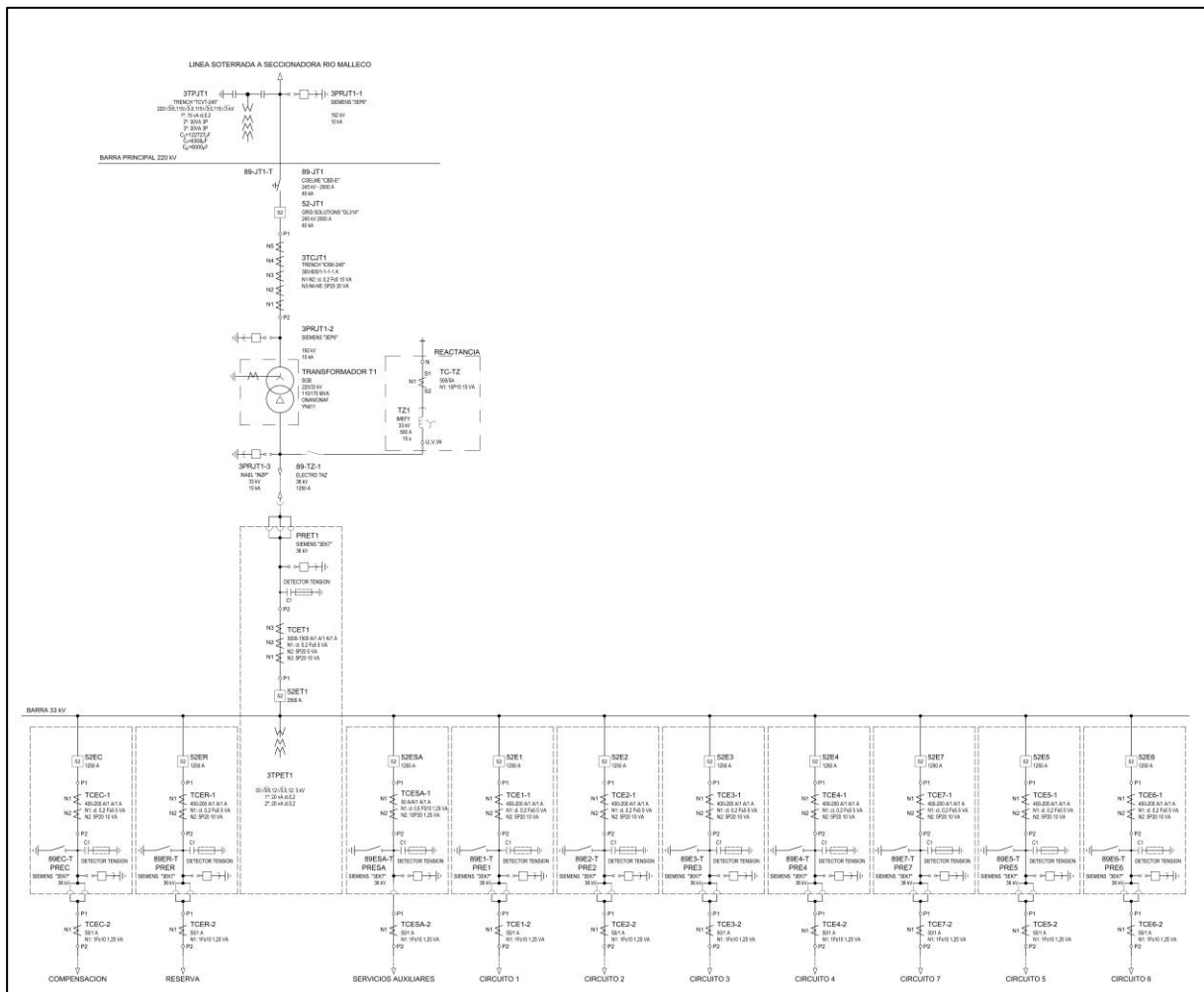


Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión con el sistema.



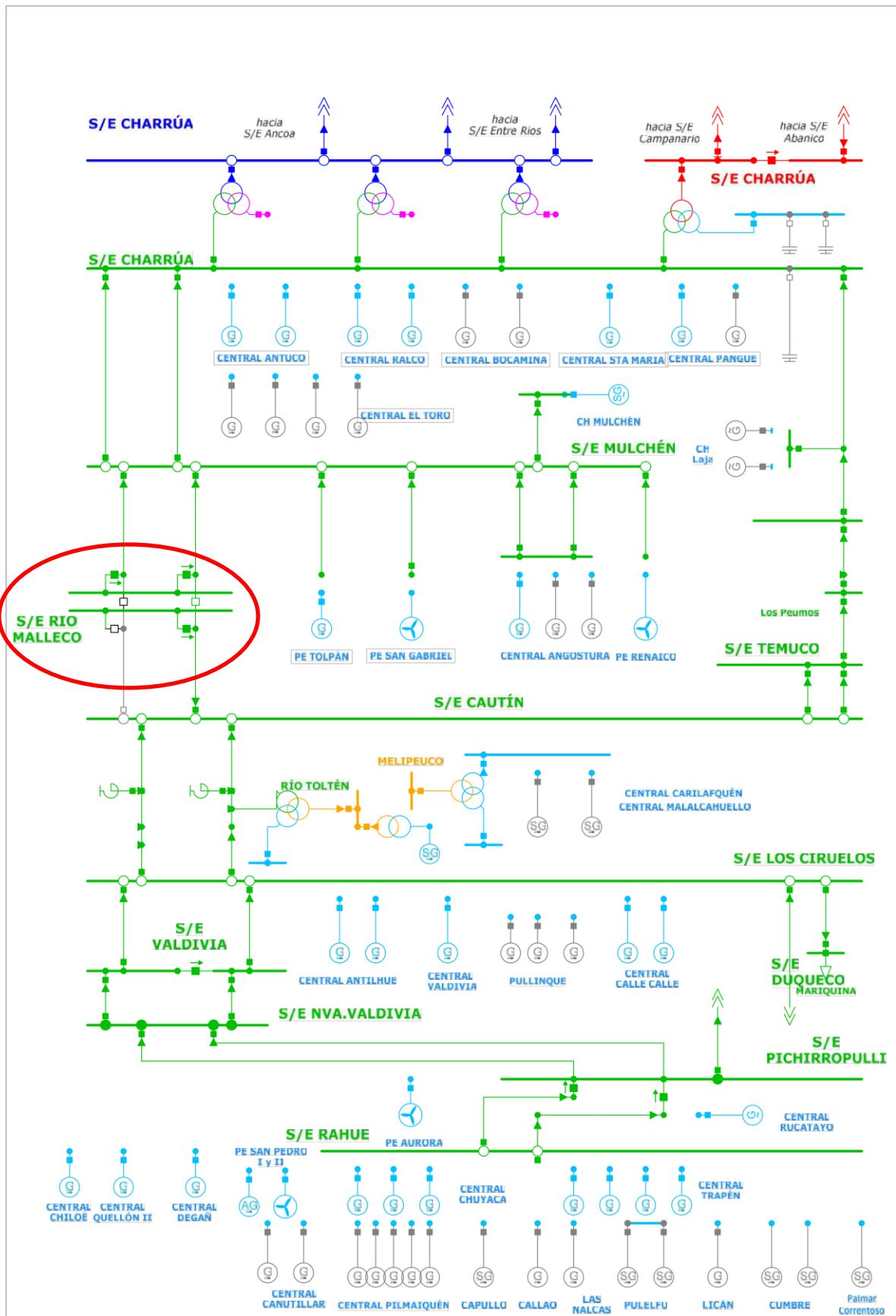


Gráfico 2. Esquema unilíneal de la zona de influencia del PE Malleco Sur.



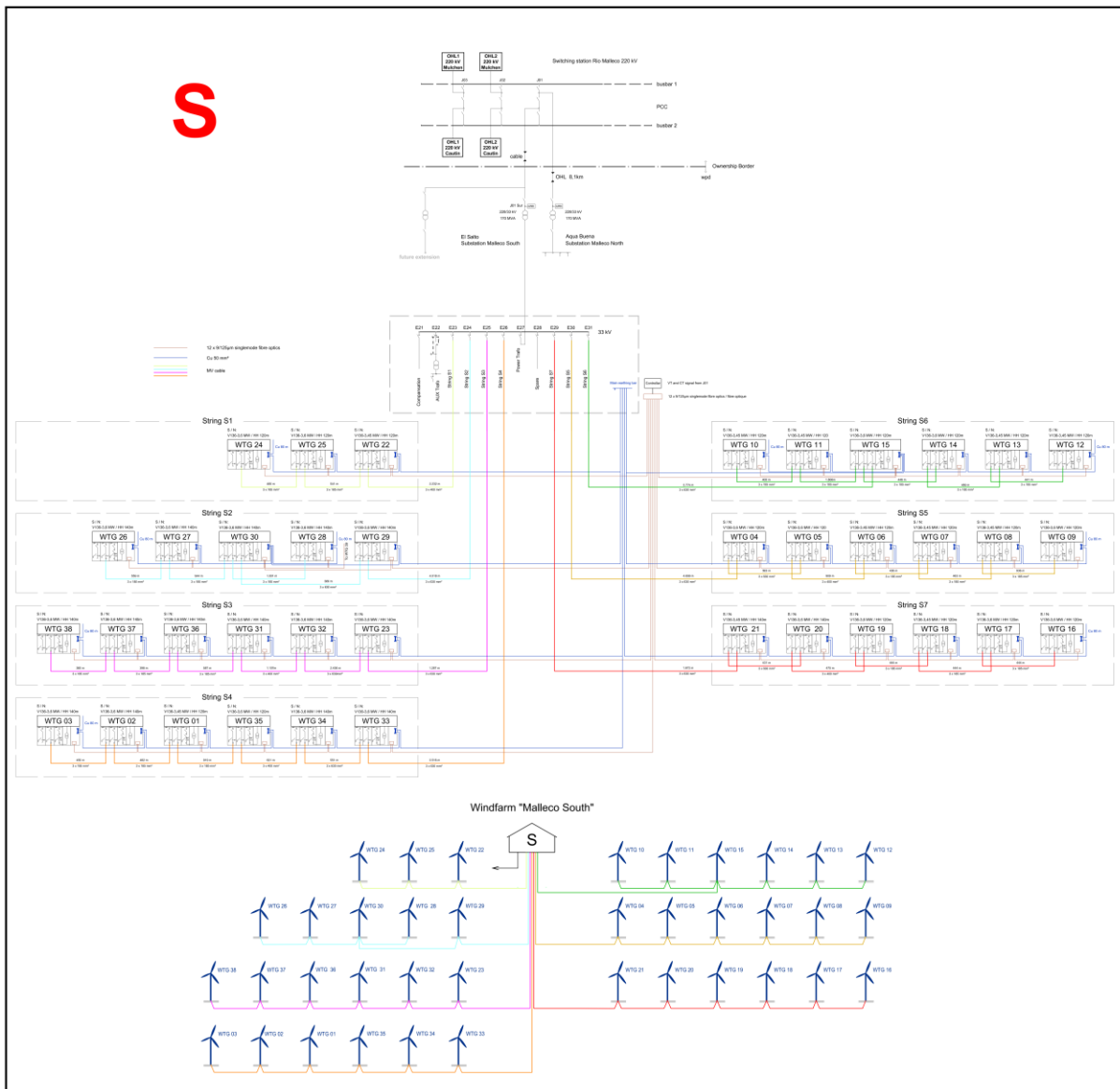


Gráfico 3. Esquema unilíneal del sistema colector en 33 kV.

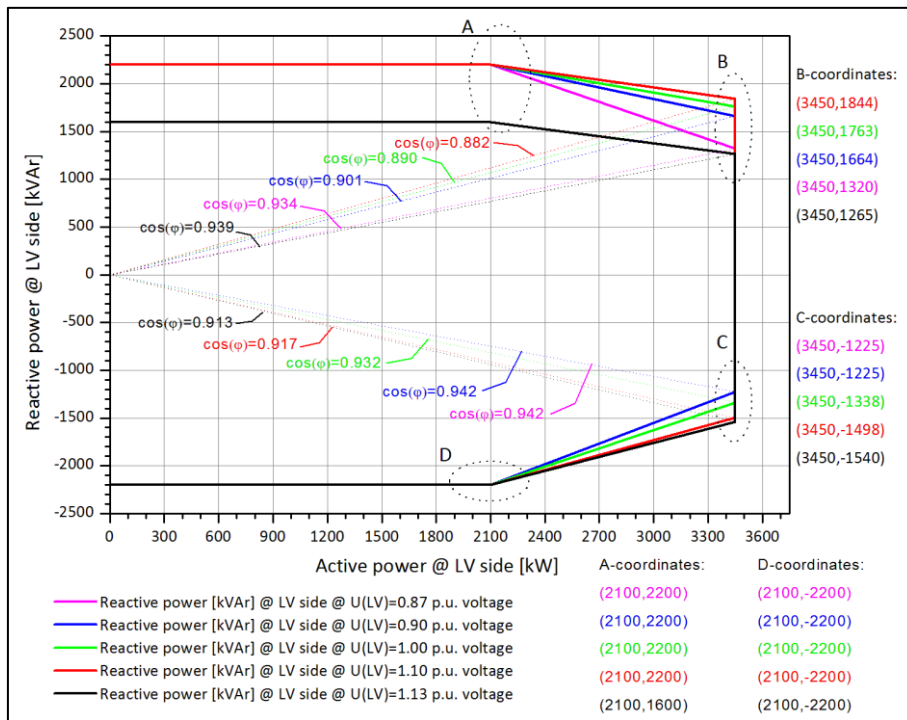


Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.45 MW.

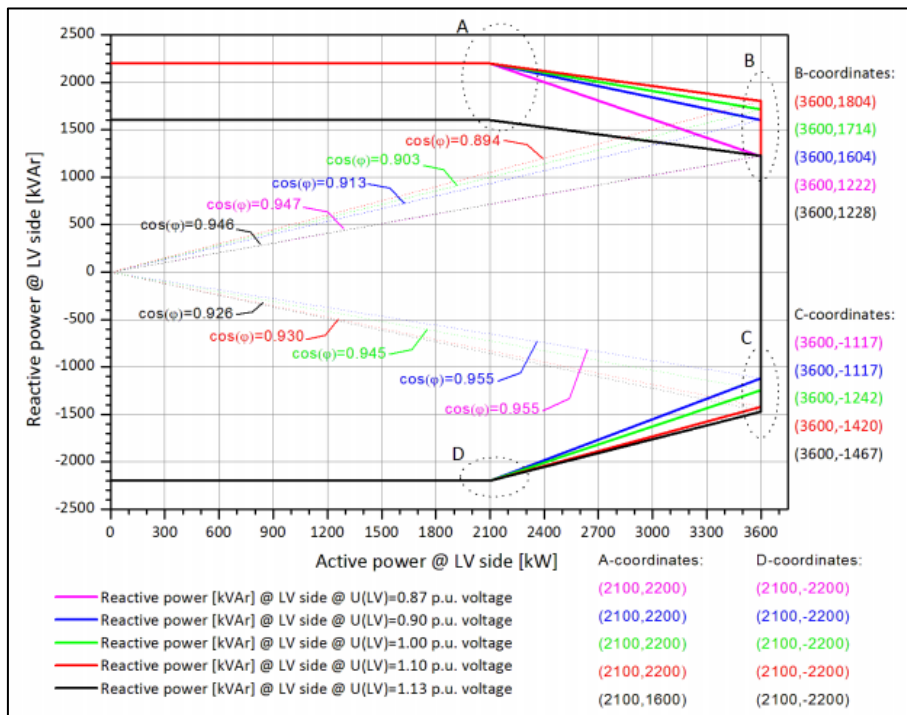


Gráfico 5. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW.

## 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.

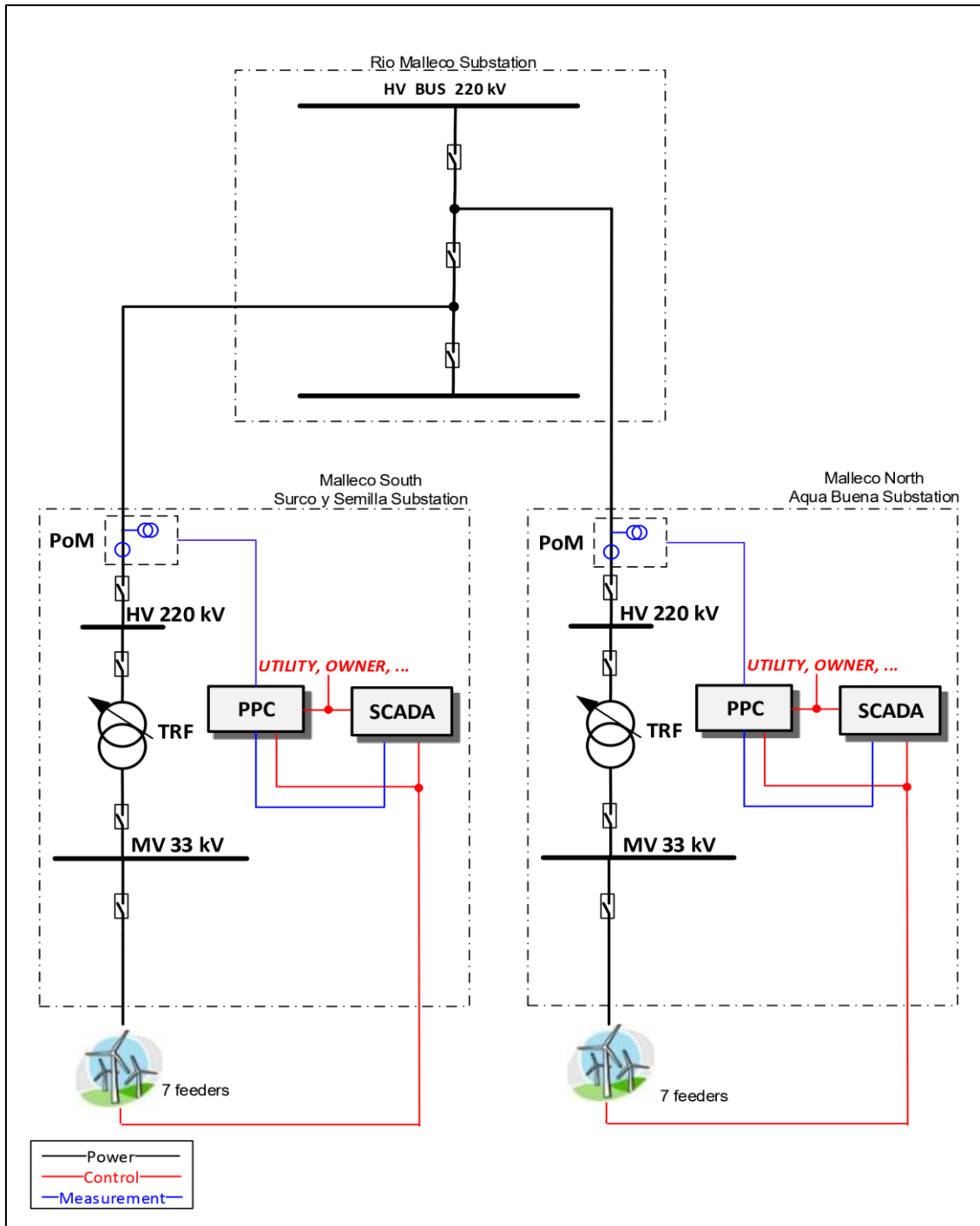


Gráfico 6. Esquema de control y medición del PE Malleco.

## 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.

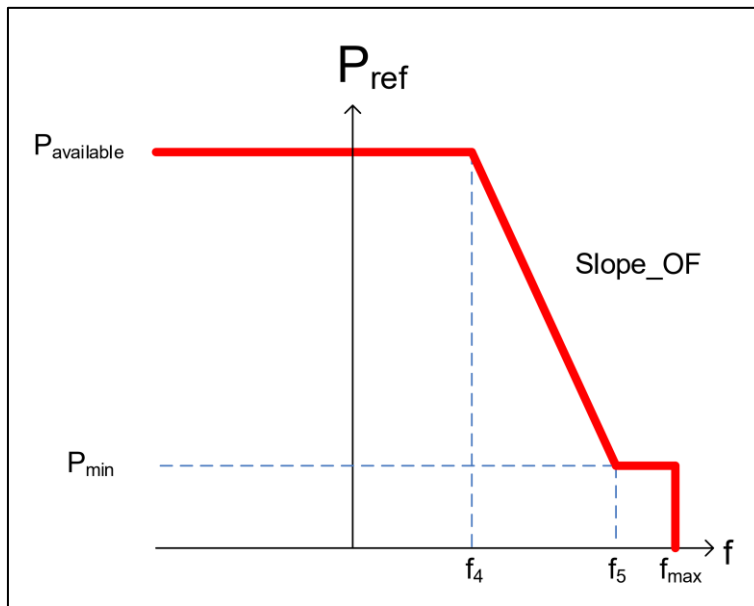


Gráfico 7. Característica LFSM-O.

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

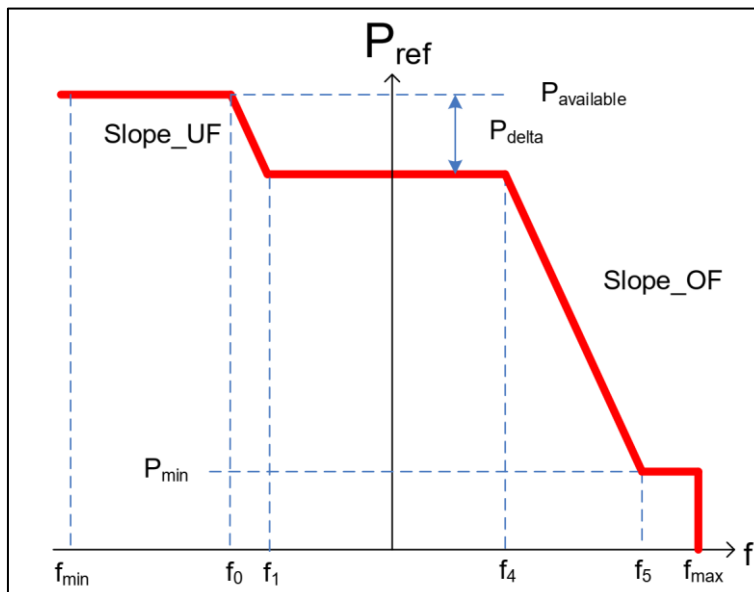


Gráfico 8. Característica FSM-O-U.

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:

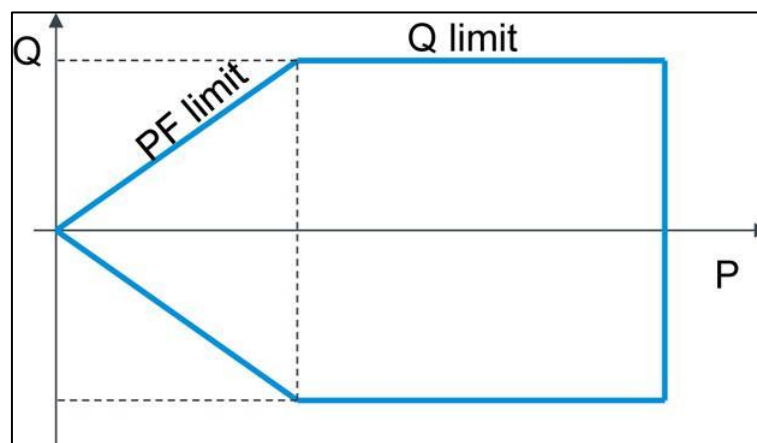


Gráfico 9. Límite PQ del control de potencia reactiva.

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>Q limit inductive</b>	<b>Malleco South</b>	<b>45 MVar</b>
<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

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 ello, se procedió a reducir la consigna de generación por medio del comando del operador al mínimo valor configurable, el cual se determinó en 13.515 MW en el punto de conexión del PE (esto es en la barra de 220 kV de la SE surco y semilla). Posteriormente, se evaluó la estabilidad de operación de la planta realizando cambios en la consigna de potencia reactiva, verificándose un correcto desempeño y control, sin desconexión de los aerogeneradores.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS

### 3.1. Mínimo técnico en el punto de conexión

Se obtuvieron los registros de potencia activa (Gráfico 10), potencia reactiva (Gráfico 11) y tensión en el punto de conexión (Gráfico 12), para un valor mínimo de potencia activa configurable en 13,515 MW (10% P<sub>n</sub>) desde el control de planta. En este estado de carga se realizaron dos escalones en la potencia reactiva de +5 MVar (capacitivo e inductivo).



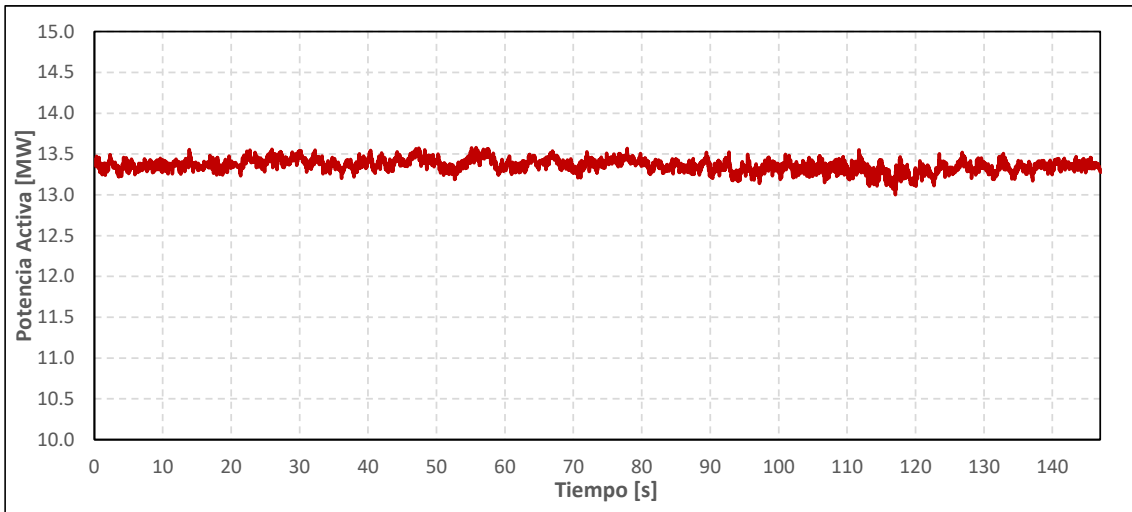


Gráfico 10. Potencia activa en el punto de conexión.

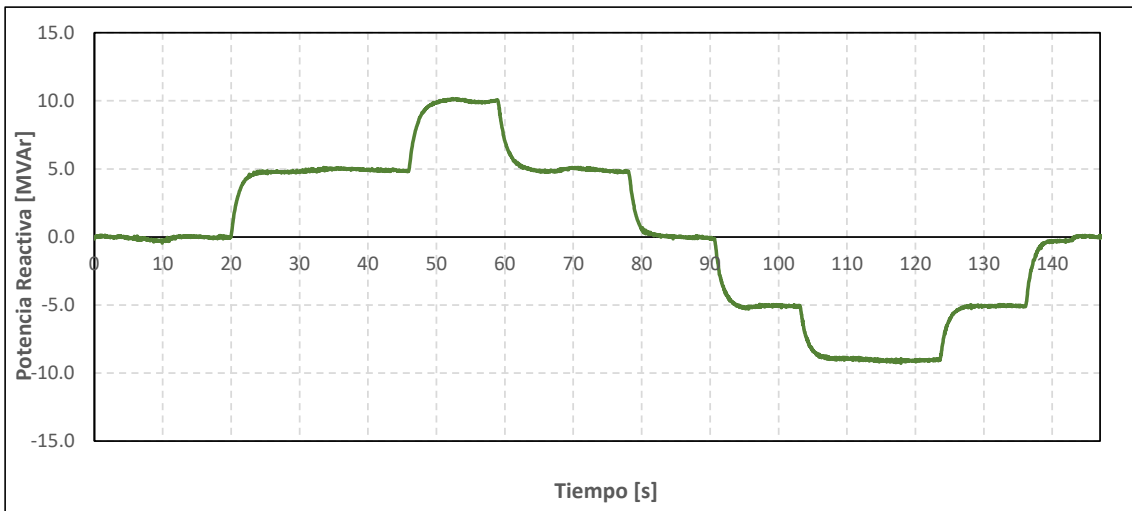


Gráfico 11. Potencia reactiva en el punto de conexión.

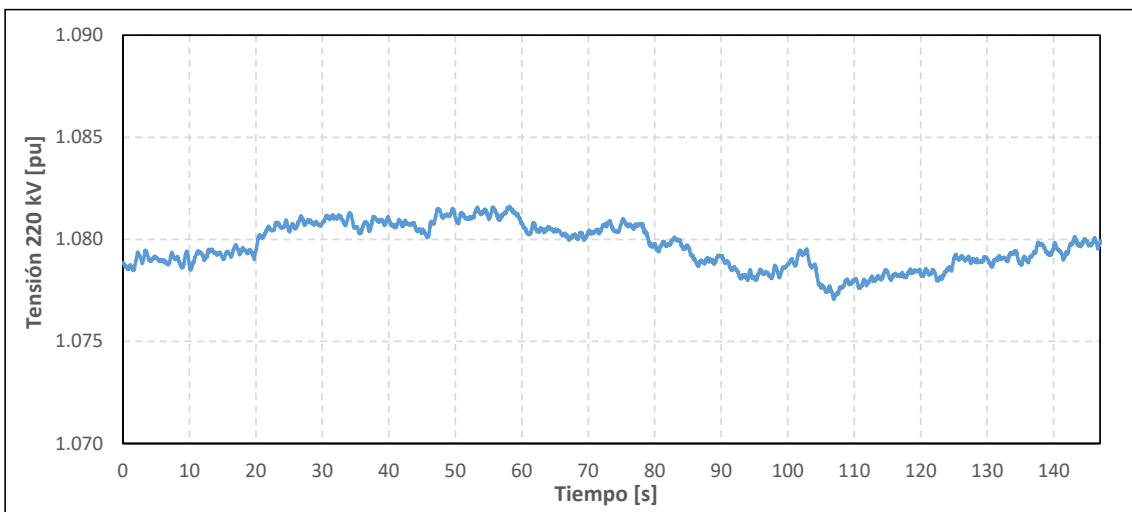


Gráfico 12. Tensión en el punto de conexión.

El parque operó satisfactoriamente sin presentar inestabilidades y manteniendo el soporte de potencia reactiva y tensión a la red sin desconexión de aerogeneradores.

### 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).
- Transformador de potencia de la subestación.
- Transformadores de bloque de aerogenerador-
- Servicios auxiliares (aerogenerador + subestación).

Para poder calcular las pérdidas de los elementos anteriores y poder obtener la potencia nominal bruta de la planta 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.

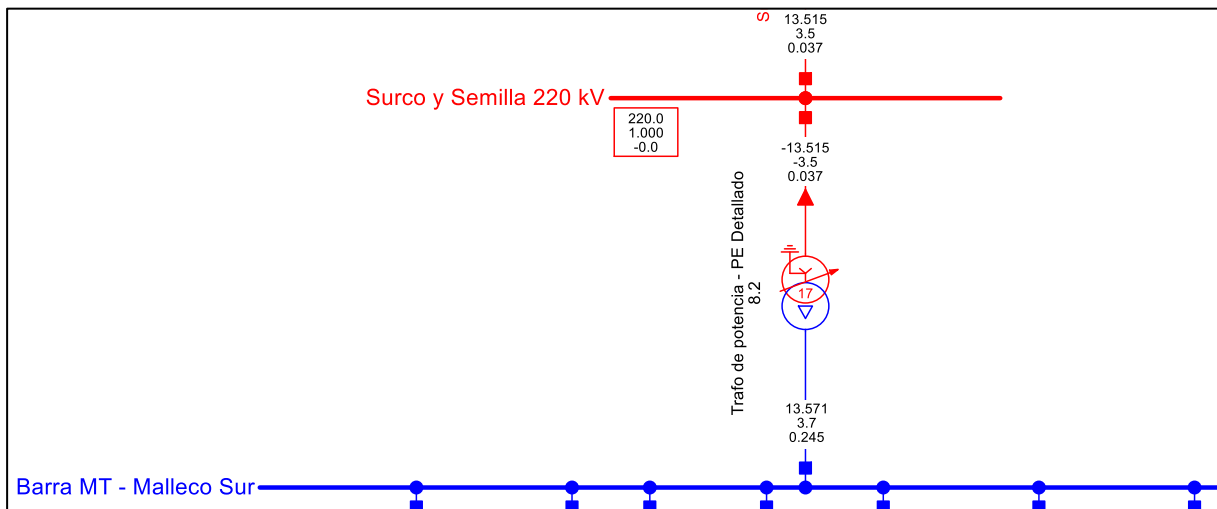


Gráfico 13. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Surco y semilla.

$$P_{p\ Tr\ SE\ Surco\ y\ Semilla} = 13.571\ MW - 13.515\ MW = 56\ kW$$

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

**SGB** **CE**

**STARKSTROM-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.-1N	B.T.
No. de fabricación	153 708		Sistema de refrigeración	ONAF / ONAN	Um		245	245	36
Año de fabricación	2019		Tipo de aceite / Tipo U.LINE-en stock	NYTRO TAUPLUS LI			1050	1050	250
Normas	IEC		NO-PCB en el momento del envío	AC			450	450	79
			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.	
ONAF	ONAN	ONAF	ONAN	220.00		33.00		ONAF	ONAN	ONAF	ONAN
170	110	170	110					446.1	297.7	2974.2	1924.5

Relación	Tensión de cortocircuito %	Impedancia de secuencia directa Ohmio / Fase	Perdidas debida a la carga W	Perdidas en vacío W	Corriente de cortocircuito max. kA	Duración del cortocircuito max. s
A.T. / B.T. / ONAF	15.7 / 14.2 / 13.1	60.3 / 40.3 / 26.3	389 650 / 383 671 / 354 966	53 944	4.05	22.8
220 / 33 kV / 170 MVA						3

Transformador de Intensidad	1N	2V
	CE 104	CE 151
Relación de Transformación	A	300-600/1A
		3000 / 2A
Potencia asignada	VA	15
		15
Clase de Precisión		5P20 ext.120%
		3 ext.120%

Atención: Cortocircuitar los transformadores de intensidad cuando no estén en uso.

Regulador en carga	No.	209 2396	PEI	99,831	%	KIEP	57.9	%
Tipo	M III 600 Y - 245ID-18-35-3G		Consumo transformador ONAN					1.5
Resistencias de conmutación cada fase / Ohmios	2.8		Consumo transformador ONAN					0.0
Presión acústica, ONAN	72.9 dB(A) / 1m		Consumo del equipo de refrigeración ONAF					6.56
Presión acústica, ONAF	79.7 dB(A) / 2m							

Cuba, radiadores y depósito de expansión, cambiador de tomas, resistentes al vacío 100 Pa

Pos.	kV	Devanado A.T. / Conexión a 1U, 1V, 1W, 1X		Praselector	Masa total
		ONAF	ONAN		
1	252.20	248.3	384.5	1U 21, 1V 21, 1W 21	178 500
2	252.00	281.0	387.3	1U 20, 1V 20, 1W 20	123 500
3	250.80	252.2	387.3	1U 19, 1V 19, 1W 19	107 500
4	248.60	255.5	394.9	1U 18, 1V 18, 1W 18	88 950
5	246.40	257.7	398.3	1U 17, 1V 17, 1W 17	44 700
6	244.20	260.1	401.9	1U 16, 1V 16, 1W 16	23 193
7	242.00	262.4	405.5	1U 15, 1V 15, 1W 15	115 104
8	239.80	264.8	409.1	1U 14, 1V 14, 1W 14	116 114
9	237.60	267.3	413.1	1U 13, 1V 13, 1W 13	116 114
10	235.40	269.9	418.3	1U 12, 1V 12, 1W 12	
11	233.20	272.2	423.0	1U 11, 1V 11, 1W 11	
12	231.00	274.9	428.5	1U 10, 1V 10, 1W 10	
13	228.80	277.6	435.0	1U 9, 1V 9, 1W 9	
14	226.60	280.3	442.1	1U 8, 1V 8, 1W 8	
15	224.40	283.0	449.4	1U 7, 1V 7, 1W 7	
16	222.20	285.8	447.7	1U 6, 1V 6, 1W 6	
17a				1U 5, 1V 5, 1W 5	
17b	220.00	288.7	446.1	1U 4, 1V 4, 1W 4	
17c				1U 3, 1V 3, 1W 3	
18	217.90	291.5	450.0	1U 2, 1V 2, 1W 2	
19	215.80	294.3	455.2	1U 1, 1V 1, 1W 1	
20	213.60	297.2	459.0	1U 0, 1V 0, 1W 0	
21	211.50	300.7	464.7	1U 17, 1V 17, 1W 17	
22	209.40	303.9	469.0	1U 16, 1V 16, 1W 16	
23	207.30	307.1	474.0	1U 15, 1V 15, 1W 15	
24	205.20	310.4	478.7	1U 14, 1V 14, 1W 14	
25	203.10	313.8	484.0	1U 13, 1V 13, 1W 13	
26	201.00	317.2	489.0	1U 12, 1V 12, 1W 12	
27	198.90	320.9	495.7	1U 11, 1V 11, 1W 11	
28	196.80	324.4	501.7	1U 10, 1V 10, 1W 10	
29	194.70	328.0	508.0	1U 9, 1V 9, 1W 9	
30	192.60	331.8	514.8	1U 8, 1V 8, 1W 8	
31	190.50	335.7	521.9	1U 7, 1V 7, 1W 7	
32	188.40	339.6	529.6	1U 6, 1V 6, 1W 6	
33	186.30	343.7	537.1	1U 5, 1V 5, 1W 5	

Devanado B.T. / Conexión a 2U, 2V, 2W

kV	A
33,00	2974.2
	1924.5

Gráfico 14. 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.TypeTr2

<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	
Short-Circuit Complete	HV-Side	220. kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	33. kV
Short-Circuit IEC 61363	Vector Group	
Short-Circuit DC	HV-Side	YN
Simulation RMS	LV-Side	D
Simulation EMT	Phase Shift	11. *30deg
Protection	Name	YNd11
Power Quality/Harmonics	Positive Sequence Impedance	
Reliability	Short-Circuit Voltage uk	14.17 %
Hosting Capacity Analysis	Copper Losses	344.483 kW
Optimal Power Flow	Zero Sequence Impedance	
	Short-Circuit Voltage uk0	13.2 %
	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %

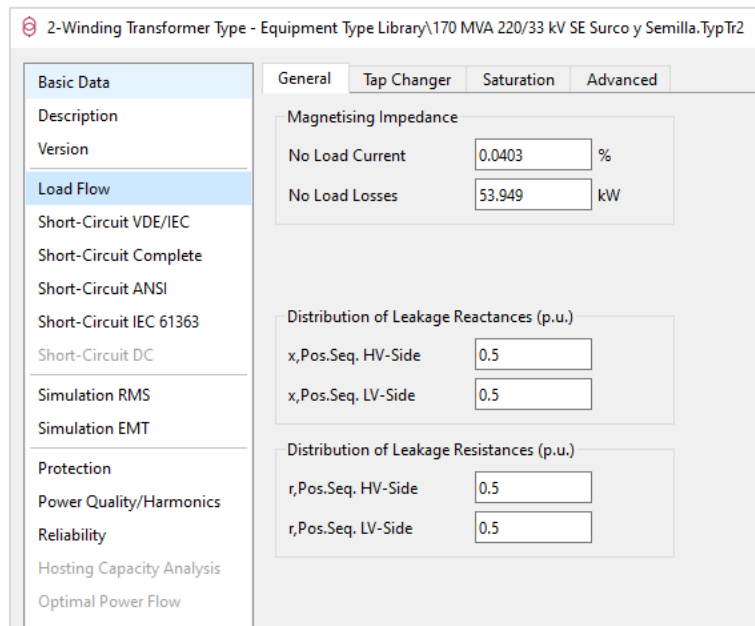


Gráfico 15. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Surco y Semilla.

### 3.2.2. Cálculo de pérdidas asociadas a la red colectora de media tensión

Como se mencionó en 1.2, el PE Malleco Sur está formado por 11 aerogeneradores de 3.45 MW y 27 aerogeneradores de 3.6 MW. El control de planta distribuye las consignas de potencia activa en todas las unidades de manera proporcional a su potencia nominal. Según esto para la consigna de mínimo técnico en el punto de conexión, a nivel aerogenerador obtenemos el siguiente resultado.

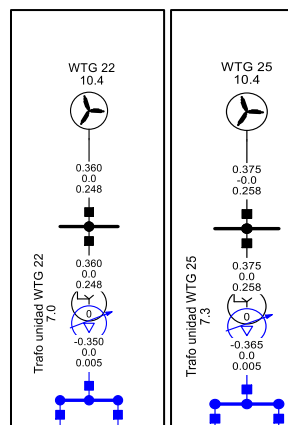


Gráfico 16. Potencia en mínimo técnico para aerogeneradores 3.45 MW y 3.6 MW.

De lo anterior la potencia bruta generada en media tensión ( $P_{col\ MT}$ ) puede calcularse como sigue:

$$P_{col\ MT} = 11 \times 0.35\ MW + 27 \times 0.365\ MW = 13.705\ MW$$

Así mismo en la barra de 33 kV de la SE Surco y Semilla se tiene:

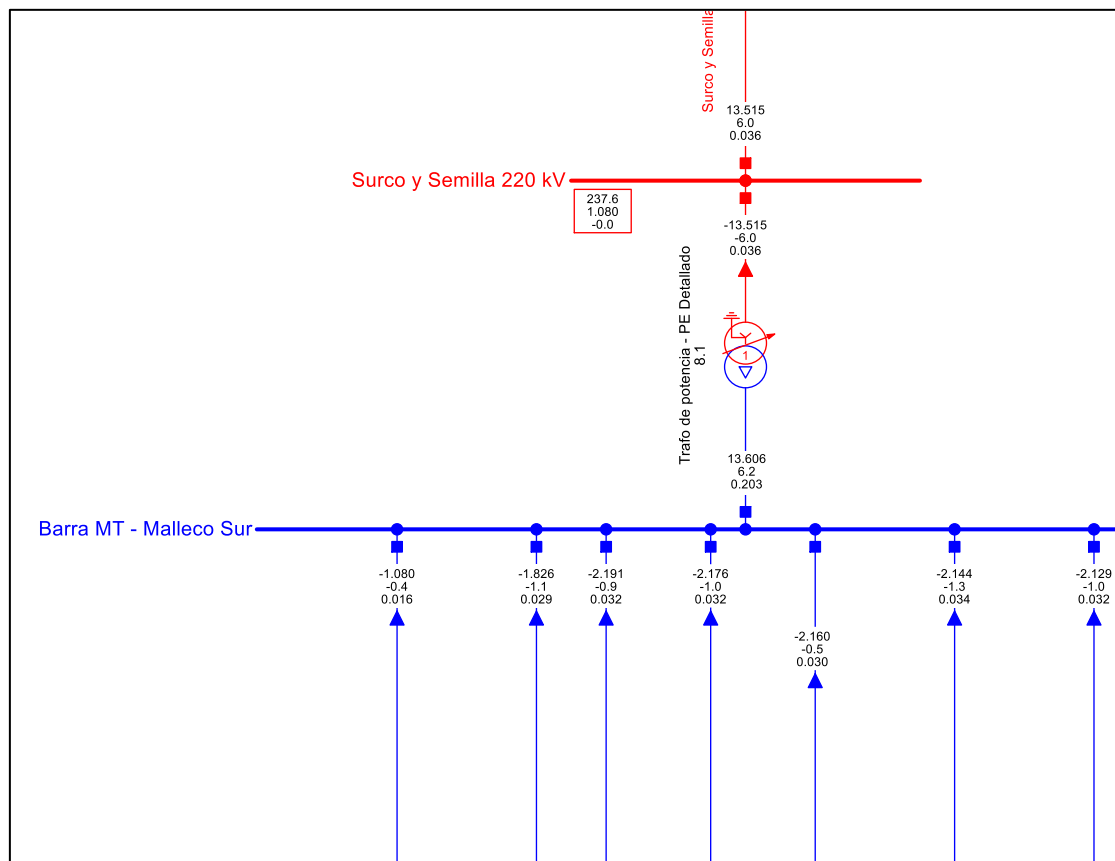


Gráfico 17. Aporte de potencia de los circuitos colectores en barra de MT de la SE Surco y Semilla.

De lo anterior, el aporte de los 7 circuitos colectores en la Barra de MT de la SE Surco y Semilla se puede calcular como.

$$P_{MT} = 1.08 \text{ MW} + 1.826 \text{ MW} + 2.191 \text{ MW} + 2.176 \text{ MW} + 2.160 \text{ MW} + 2.144 \text{ MW} + 2.129 \text{ MW} = 13.706 \text{ MW}$$

Por último, las pérdidas en el circuito colector resultan:

$$P_{p \text{ CC}} = P_{MT} - P_{col \text{ MT}} = 13.706 - 13.705 = 1 \text{ kW}$$

### 3.2.3. Cálculo de pérdidas en los transformadores de aerogenerador

Del Gráfico 16, las pérdidas en los transformadores de bloque totales para la condición de mínimo técnico se calculan como sigue:

$$P_{p \text{ Tr Aero}} = 11 \times (0.36 \text{ MW} - 0.35 \text{ MW}) + 27 \times (0.375 \text{ MW} - 0.365 \text{ MW}) = 380 \text{ kW}$$

Donde las pérdidas individuales por transformador son de 10 kW.

El modelo de los transformadores implementados en el software de simulación se muestra a continuación:

Name	Trafo de unidad Vestas 136	
Technology	Three Phase Transformer	
Rated Power	4.	MVA
Nominal Frequency	50.	Hz
Rated Voltage		
HV-Side	33.	kV
LV-Side	0.65	kV
Positive Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk	9.	%
Copper Losses	30.1	kW
Zero Sequence Impedance		
Short-Circuit Voltage uk0	8.2	%
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0.7	%
Vector Group		
HV-Side	D	
LV-Side	YN	
Phase Shift	5.	*30deg
Name	Dyn5	

General	Tap Changer	Saturation	Advanced
<b>Magnetising Impedance</b>			
No Load Current	0.5	%	
No Load Losses	6.	kW	
<b>Distribution of Leakage Reactances (p.u.)</b>			
x,Pos.Seq. HV-Side	0.5		
x,Pos.Seq. LV-Side	0.5		
<b>Distribution of Leakage Resistances (p.u.)</b>			
r,Pos.Seq. HV-Side	0.5		
r,Pos.Seq. LV-Side	0.5		

Gráfico 18. Modelo PowerFactory del transformador de bloque de aerogenerador.

### 3.2.4. Consumo de servicios auxiliares

El consumo de servicios auxiliares (SSAA) de cada aerogenerador se determinó de acuerdo con 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 teóricas máximas y adoptan un sentido conservador.

En cuanto al consumo de SSAA de la SE Surco y Semilla estos se reportó un valor de **100 kW**.

### 3.3. Cálculo de mínimo técnico Bruto

A partir de los resultados obtenidos en la siguiente tabla se muestra el resumen de los consumos y potencias en el PE Malleco Sur:

ELEMENTO	POTENCIA [MW]
Potencia Activa inyectada en la barra de 220 kV de la SE Surco y Semilla (punto de conexión del PE) – Potencia Neta Mínimo técnico	13.515
Potencia Activa inyectada en la barra de 33 kV de la SE Surco y Semilla	13.571
Pérdidas en el transformador de potencia del PE	0.056
Pérdidas totales del circuito colector	0.001
Pérdidas totales en los transformadores de bloque de aerogenerador	0.38
Consumo total de SSAA	3.5618
<b>Potencia Bruta Mínimo técnico</b>	<b>17.4138</b>

De lo anterior la potencia bruta en la condición de mínimo técnico resulta en 17.414 MW.



#### 4. CONCLUSIONES

- Dada la mínima consigna operable del parque eólico de **13.515 MW** (potencia neta mínimo técnico) en el punto de conexión (Barra de 220 kV de la SE Surco y Semilla), se determinó una **potencia mínima bruta de 17.414 MW** para Parque Eólico Malleco Sur.
- Se verificó que en la condición de mínimo técnico el parque operó satisfactoriamente sin presentar inestabilidades y manteniendo el soporte de potencia reactiva y tensión a la red sin desconexión de aerogeneradores.

#### 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 “Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”