



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

# **INFORME DE DETERMINACIÓN DE MINIMO TÉCNICO**

## **Parque Eólico Negrete**



Abril 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
1.3. Descripción de las pruebas .....	12
<b>2. RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	<b>12</b>
2.1. Registros .....	12
2.2. Pérdidas y consumos propios.....	16
<b>3. CONCLUSIONES</b> .....	<b>18</b>
<b>4. REFERENCIAS</b> .....	<b>18</b>

## Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Pérdidas y consumos propios del PE Negrete.....	18
Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión del sistema. ....	7
Gráfico 2. Esquema unilineal de la zona de influencia del PE Negrete.....	8
Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector en 23 kV.....	9
Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW.....	10
Gráfico 5. Característica control potencia-frecuencia.....	11
Gráfico 6. Configuración de modo de control potencia-frecuencia.....	11
Gráfico 7. Potencia activa en el punto de conexión. ....	12
Gráfico 8. Potencia reactiva en el punto de conexión.....	13
Gráfico 9. Tensión en el punto de conexión. ....	13
Gráfico 10. Potencia Activa en bornes de WTG1.....	14
Gráfico 11. Velocidad de Viento registrada en WTG1.....	14
Gráfico 12. Potencia Activa en bornes de WTG9.....	15
Gráfico 13. Velocidad de Viento en WTG9.....	15
Gráfico 14. Potencia bruta y potencia neta durante la prueba de mínimo técnico. ....	16
Gráfico 15. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Negrete.....	17
Gráfico 16. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Negrete.....	17



## 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
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	30/04/2021	Emisión original	V1	Preparó FG	FM
2	10/09/2021	Correcciones en función de las observaciones del CEN (COR-GO-DCO-PMIN _Negrete)	V2	Preparó FG	FM
3	15/10/2021	Corrección menor de informe de mínimo técnico	V3	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 Negrete, durante los días 9 y 12 de abril de 2021, en relación al proceso de determinación del mínimo técnico de la planta. Los ensayos fueron realizados encontrándose en servicio la totalidad de los inversores que conforman el parque.

### 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 los inversores, 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 parque eólico Negrete se ubica a 3 km de la ciudad de Negrete provincia del Bío Bío, Chile. Está conformado por 10 aerogeneradores pertenecientes a la marca Vestas modelo V136 CP3.6MW-50Hz|Power Optimizer Mode (PO1) del tipo Full-Scale Converter Induction Generator, totalizando una potencia instalada de 36 MW. En el Gráfico 4 se muestra la curva de capacidad PQ de los aerogeneradores.

La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector en 23 kV formado por 3 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada aerogenerador cuenta con su transformador de bloque de 0,69/23 kV de una potencia de 4 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 23 kV del transformador de potencia TR2 de 66/23 kV 50 MVA (ONAF), ubicado en la SE Negrete.

El punto de conexión del parque es en barra de la subestación Negrete de 66 kV.

En el Gráfico 1 se muestra un esquema unilineal de la conexión del parque en la subestación Negrete y en el Gráfico 3 se muestra un esquema unilineal del sistema colector en 23 kV.

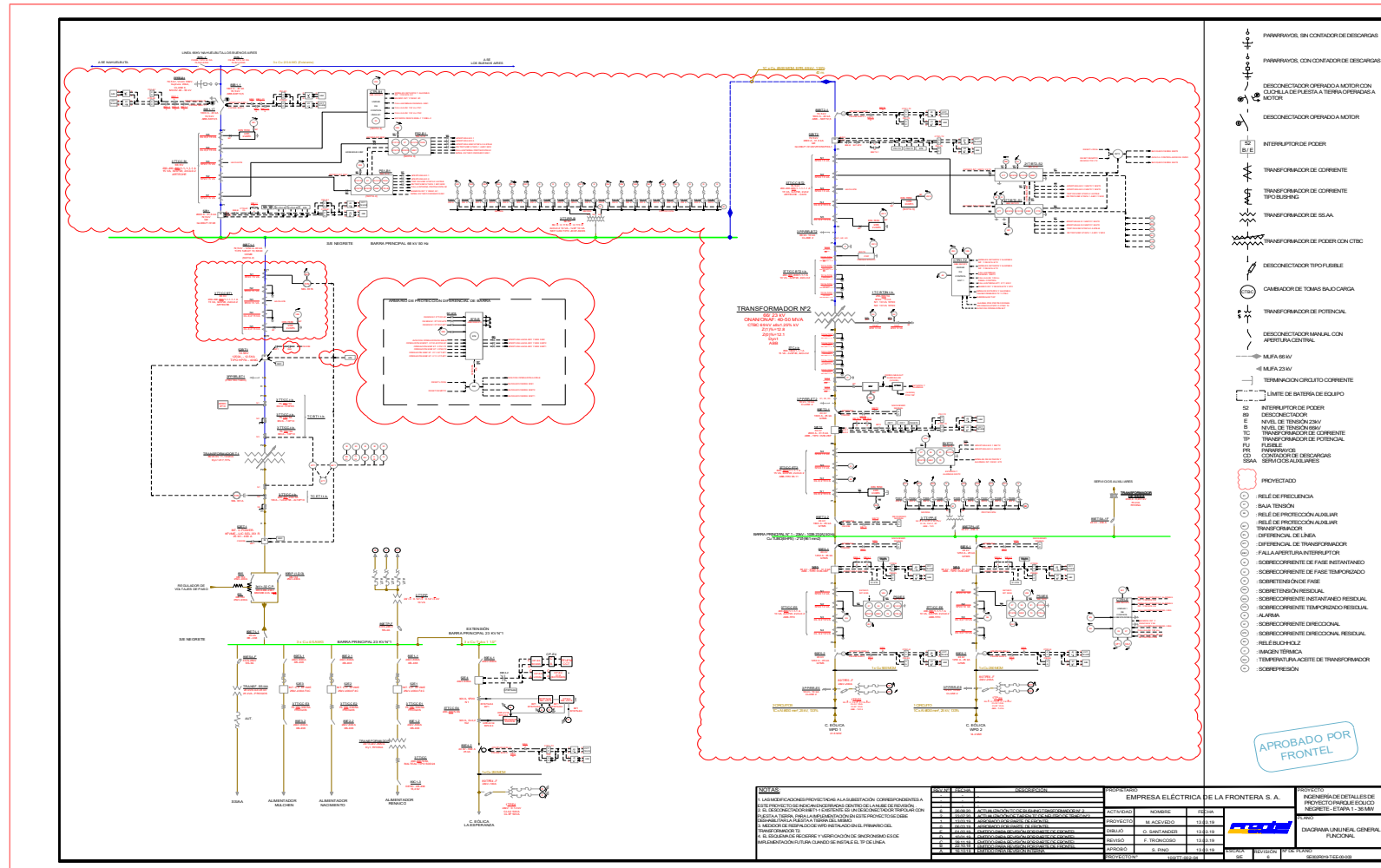


Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión del sistema.



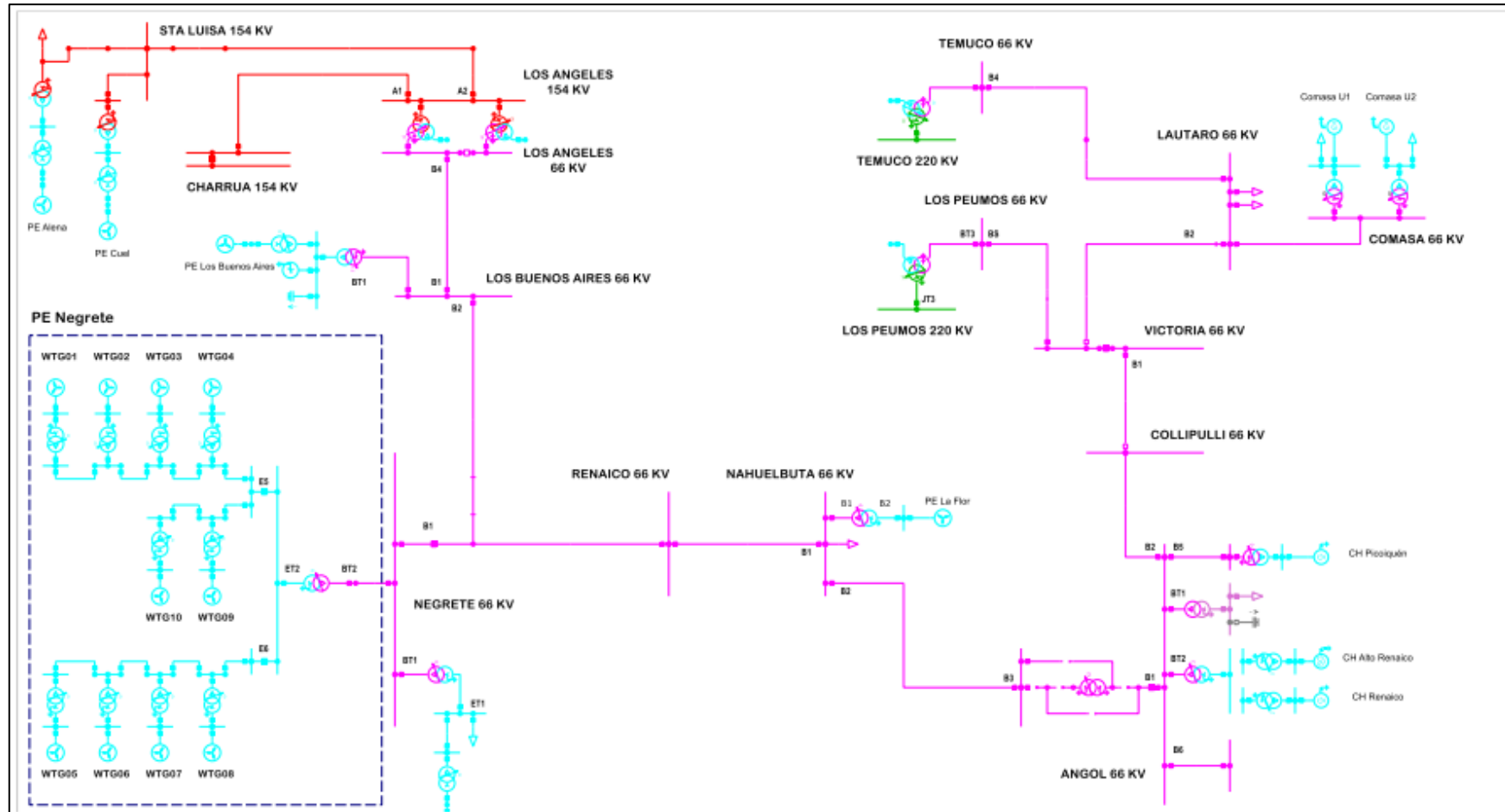


Gráfico 2. Esquema unilineal de la zona de influencia del PE Negrete.



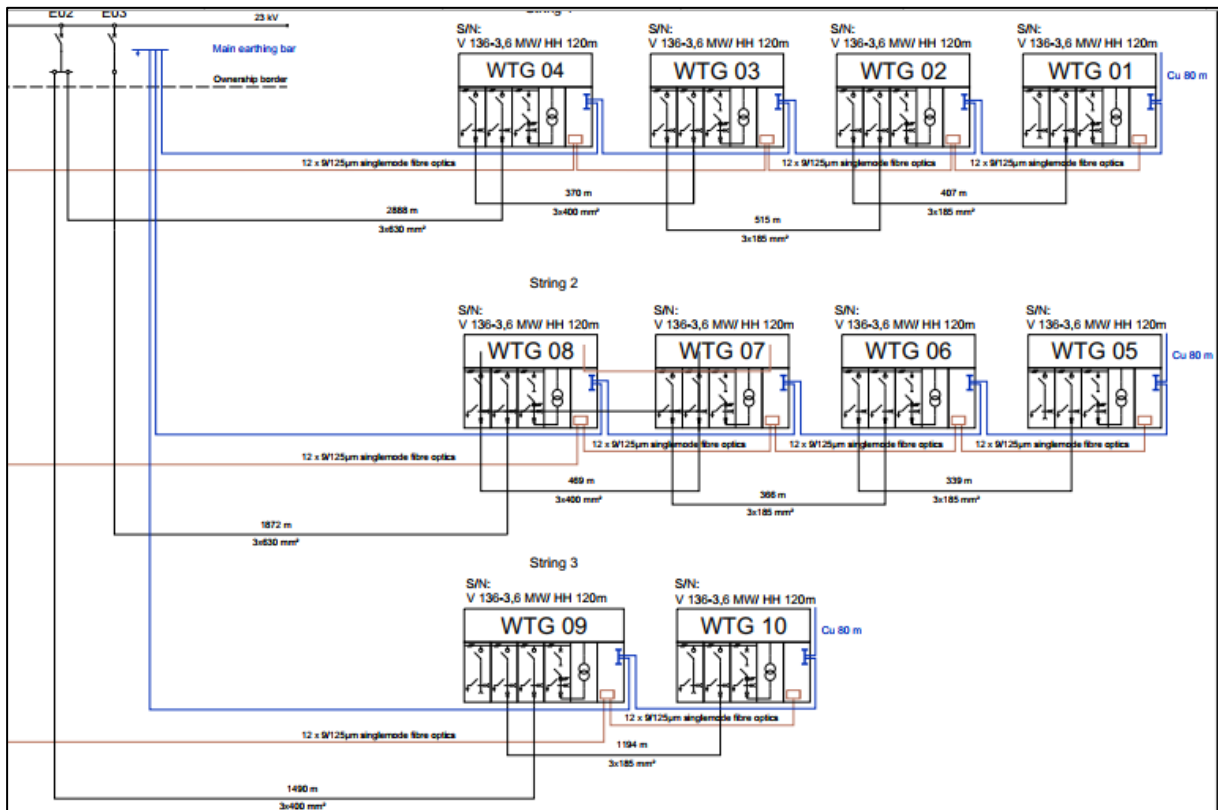


Gráfico 3. Esquema unilínea del sistema colector en 23 kV.

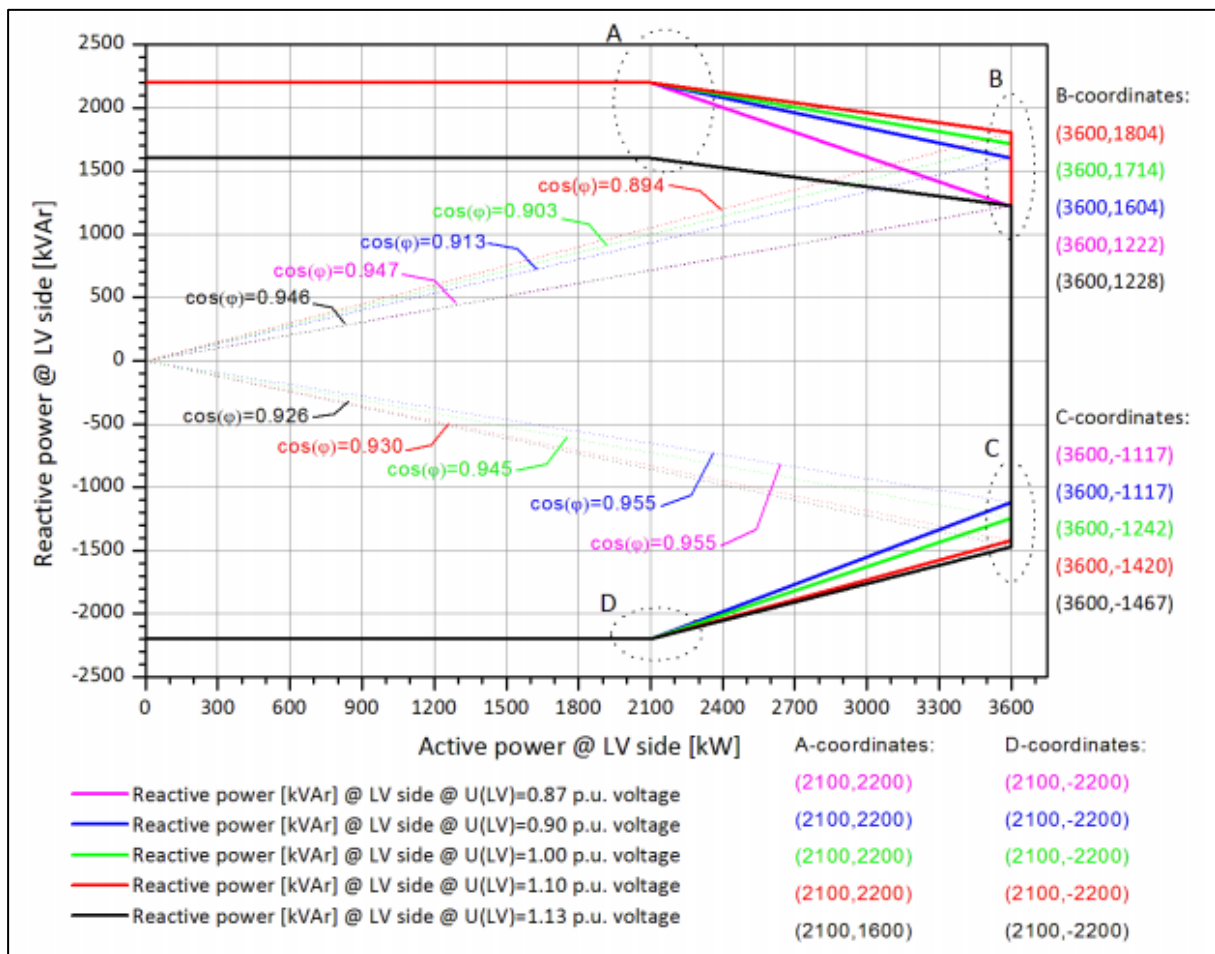


Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Vestas V136-3.6 MW.

El control del PE Negrete 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 subestación Negrete.

El control de planta posee las siguientes funcionalidades:

- **Funciones de control de potencia activa.** El PPC podrá operar en 2 modos diferentes de control:
  - **Control de potencia activa 0-100%.** Permite ajustar la consigna de potencia activa. Las rampas de subida y bajada están limitadas a la velocidad de respuesta máxima de las turbinas. La velocidad mínima configurable resulta de 0,02 pu/s.
  - **Control de potencia por sobrefrecuencia (LFSM-O).** Permite la reducción de potencia activa ante eventos de sobrefrecuencia. El control se encuentra ajustado con los mismos parámetros para todos los aerogeneradores de acuerdo a la característica potencia-frecuencia indicada en el Gráfico 5, a continuación y que se corresponde con la configuración mostrada en el Gráfico 6.

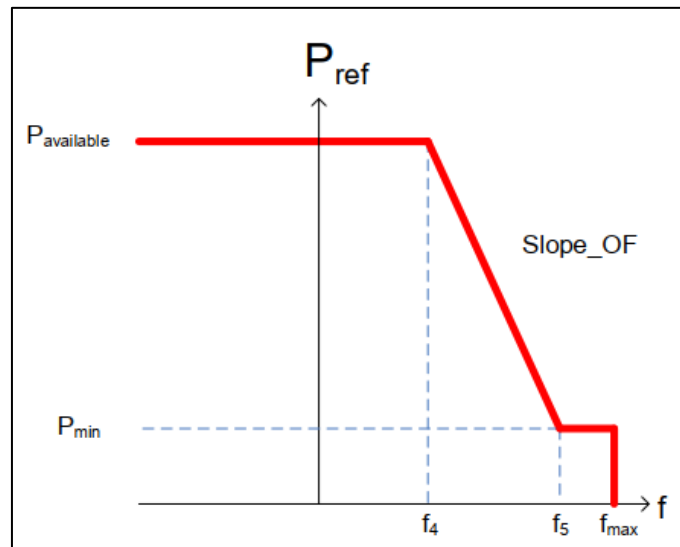


Gráfico 5. Característica control potencia-frecuencia.

$f_4$	50.2 Hz
$f_{max}$	52Hz
$f_5$	51.5 Hz
$P_{min}$	28.5% of Pavailable
SLOPE_OF	3.64%
P ramp rate limit (default)	0.025pu/s

Gráfico 6. Configuración de modo de control potencia-frecuencia.

- **Funciones de control de potencia reactiva.** En este caso el PPC podrá operar en 3 modos diferentes de control:
  - **Control de tensión PI.** Permite definir un valor de consigna de tensión en el punto de conexión. Mediante un controlador de tipo proporcional-integral (PI) envía consignas de potencia reactiva a los aerogeneradores para mantener la tensión en el valor definido.
  - **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.
  - **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.

### 1.3. 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”.

El mínimo valor de referencia configurable en el punto de conexión desde el control de planta (PPC) según se informó es de 3,6 MW (Potencia mínima de un aerogenerador), el cual está validado en la sección 7.2.1 (“Technical minimum production”) del documento del fabricante VESTAS [1]. 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 (3,6 MW). 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.

## 2. RESULTADOS OBTENIDOS

### 2.1. Registros

Se obtuvieron los registros de potencia activa **P1** (Gráfico 7), potencia reactiva (Gráfico 8) y tensión en el punto de conexión (Gráfico 9), para un valor mínimo de potencia activa configurable en 3,6 MW desde el control de planta. En este estado de carga se realizó un escalón en la potencia reactiva de +5 MVar (capacitivo) y - 2,5 MVar (inductivo).

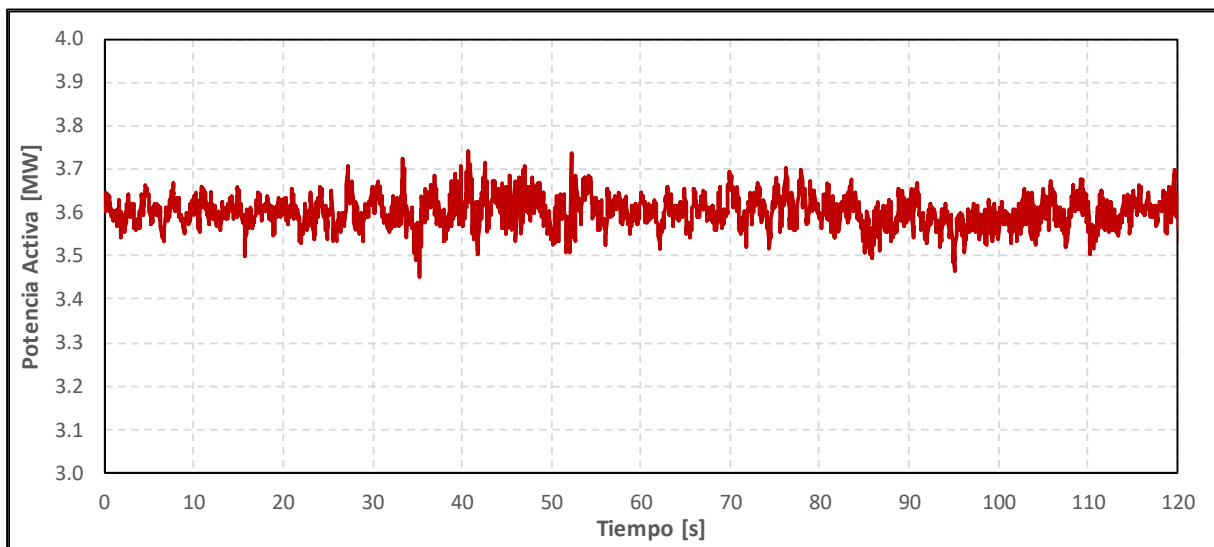


Gráfico 7. Potencia activa en el punto de conexión.

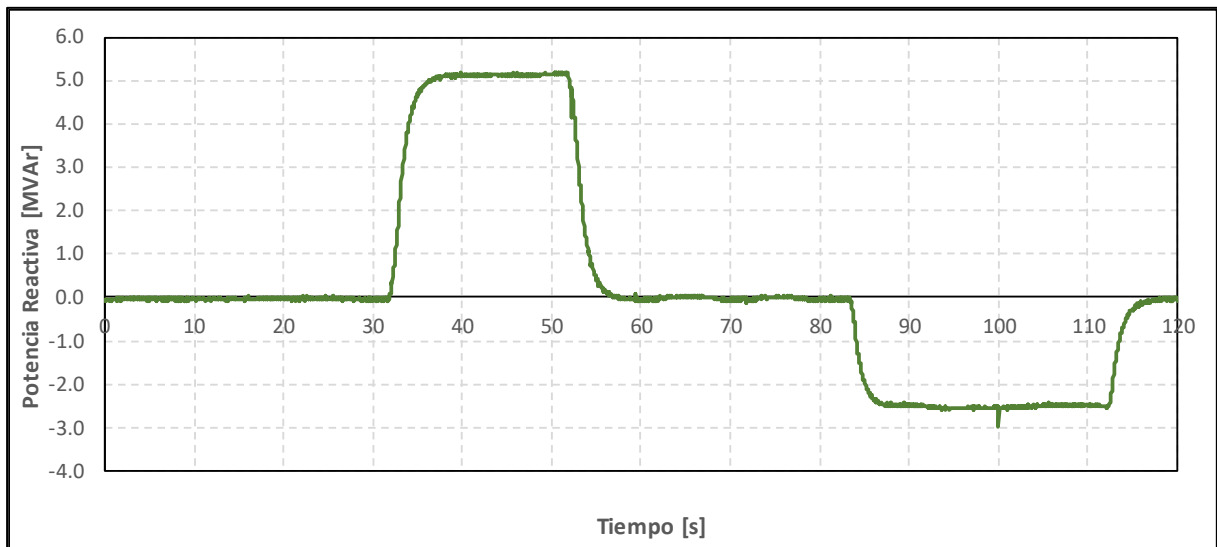


Gráfico 8. Potencia reactiva en el punto de conexión.

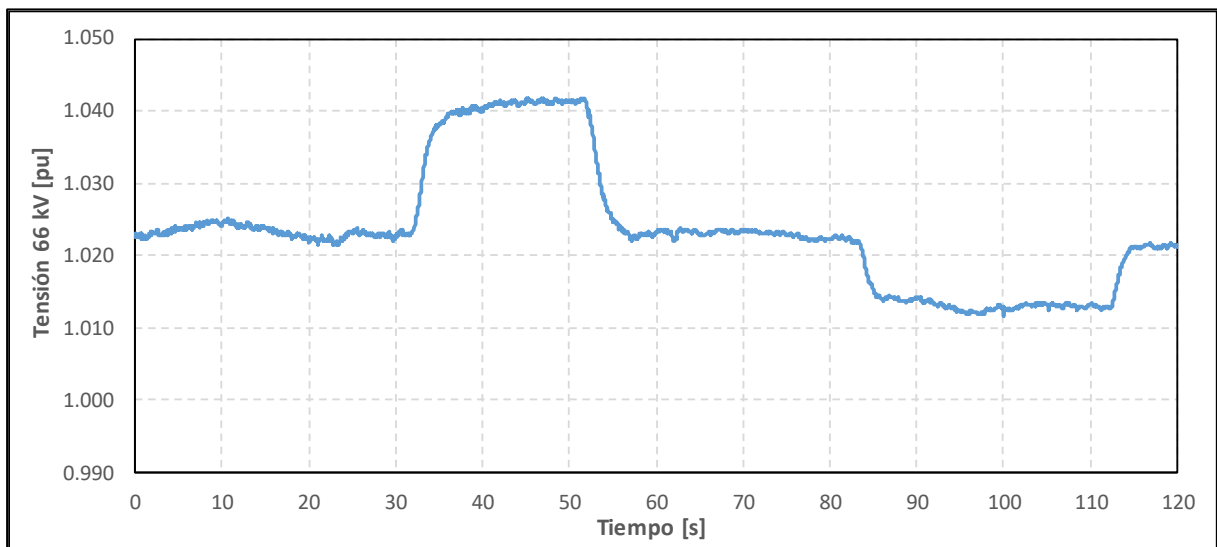


Gráfico 9. Tensión en el punto de conexión.

El parque operó satisfactoriamente sin presentar inestabilidades y manteniendo el soporte de potencia reactiva y tensión a la red sin desconexión de aerogeneradores. De lo anterior se determinó que la potencia neta en el punto de conexión es de  **$P_{\text{neto}} = 3,6 \text{ MW}$** .

En los siguientes gráficos se muestra la potencia activa en bornes de los aerogeneradores WTG1 y WTG9 en la condición de mínimo técnico.

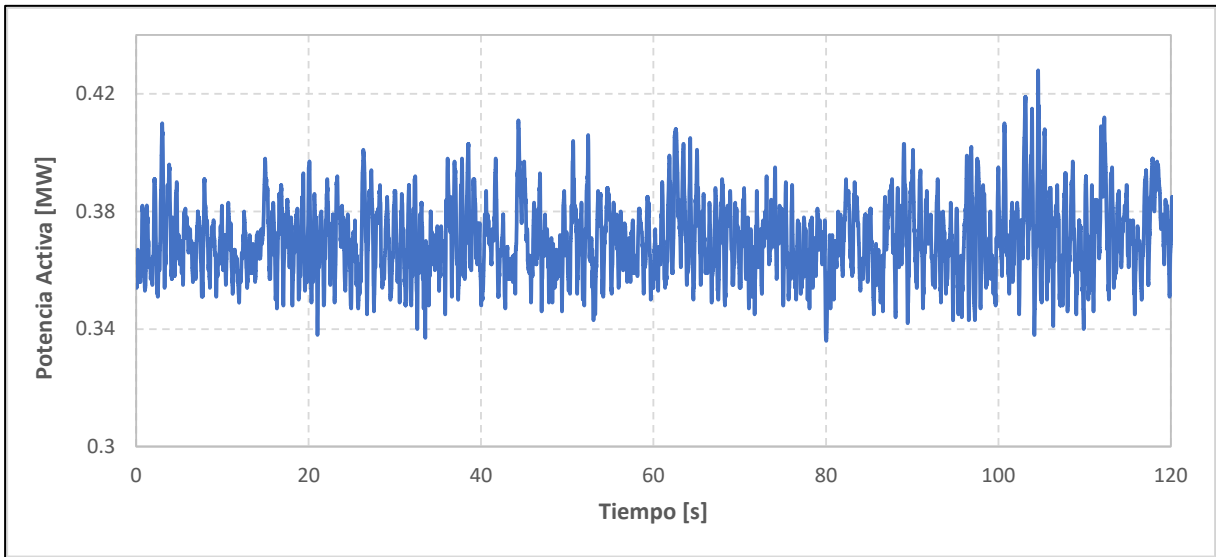


Gráfico 10. Potencia Activa en bornes de WTG1.

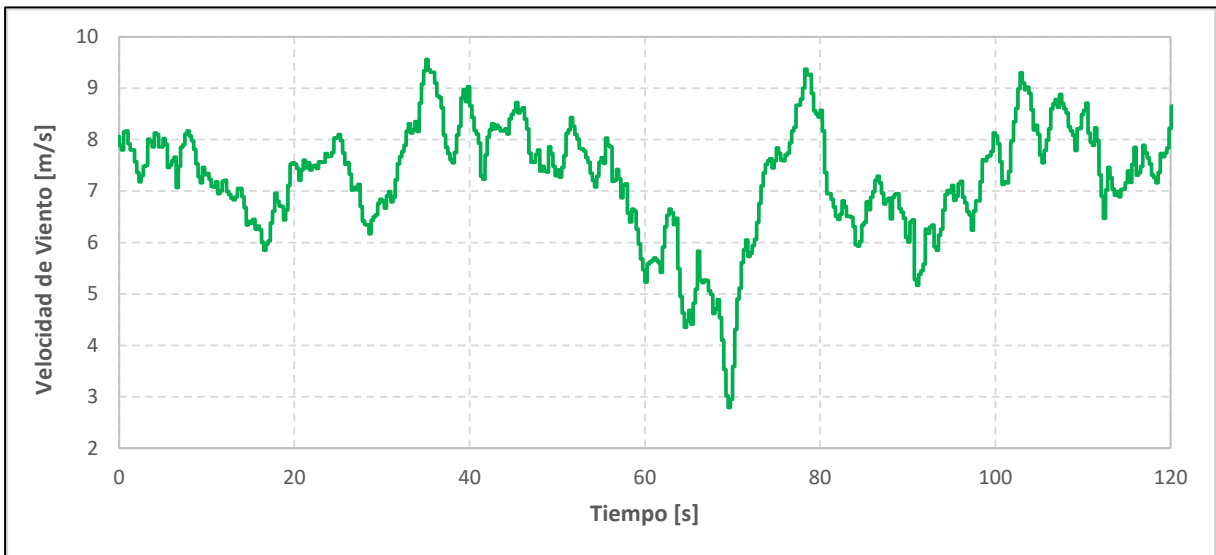


Gráfico 11. Velocidad de Viento registrada en WTG1.

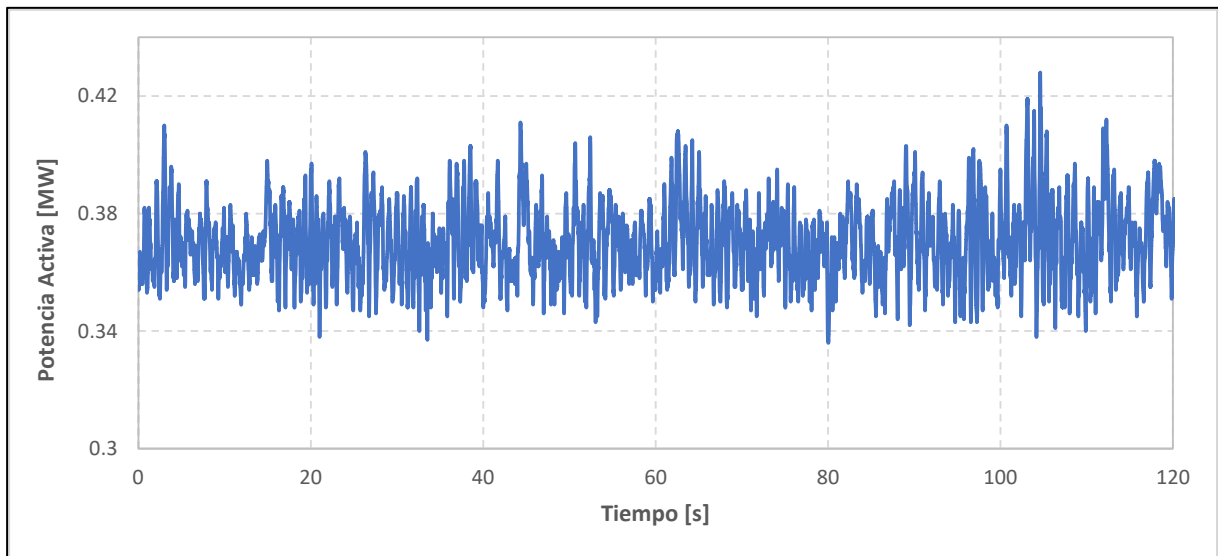


Gráfico 12. Potencia Activa en bornes de WTG9.

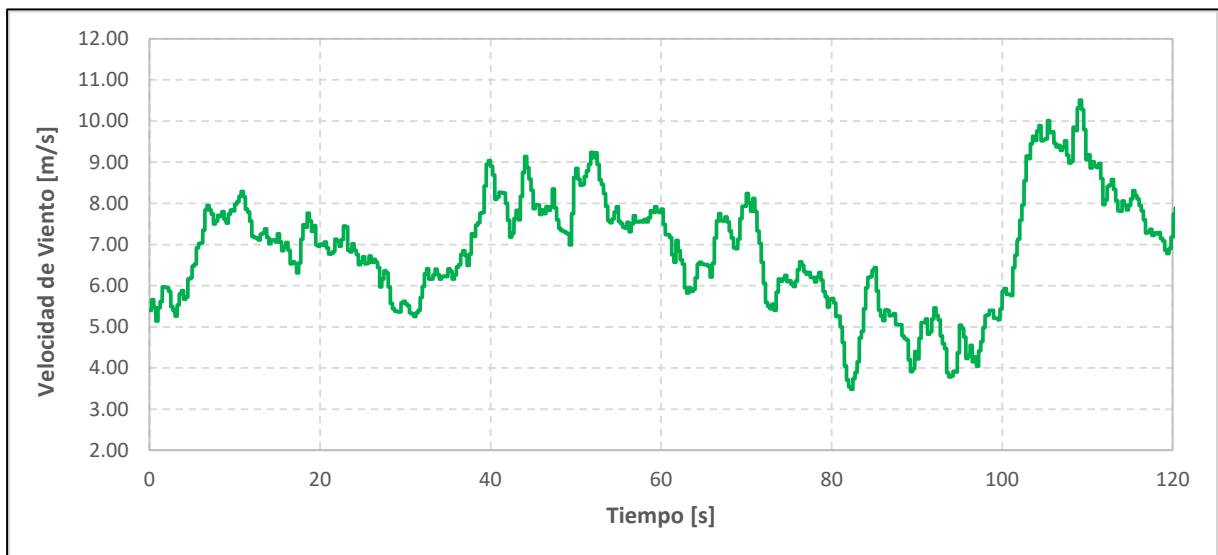


Gráfico 13. Velocidad de Viento en WTG9.

En el Gráfico 14 se observa la comparación entre la potencia bruta generada, que se obtuvo como la sumatoria de los registros de potencia activa en bornes de cada aerogenerador que compone el parque, y la potencia neta inyectada en el punto de conexión.



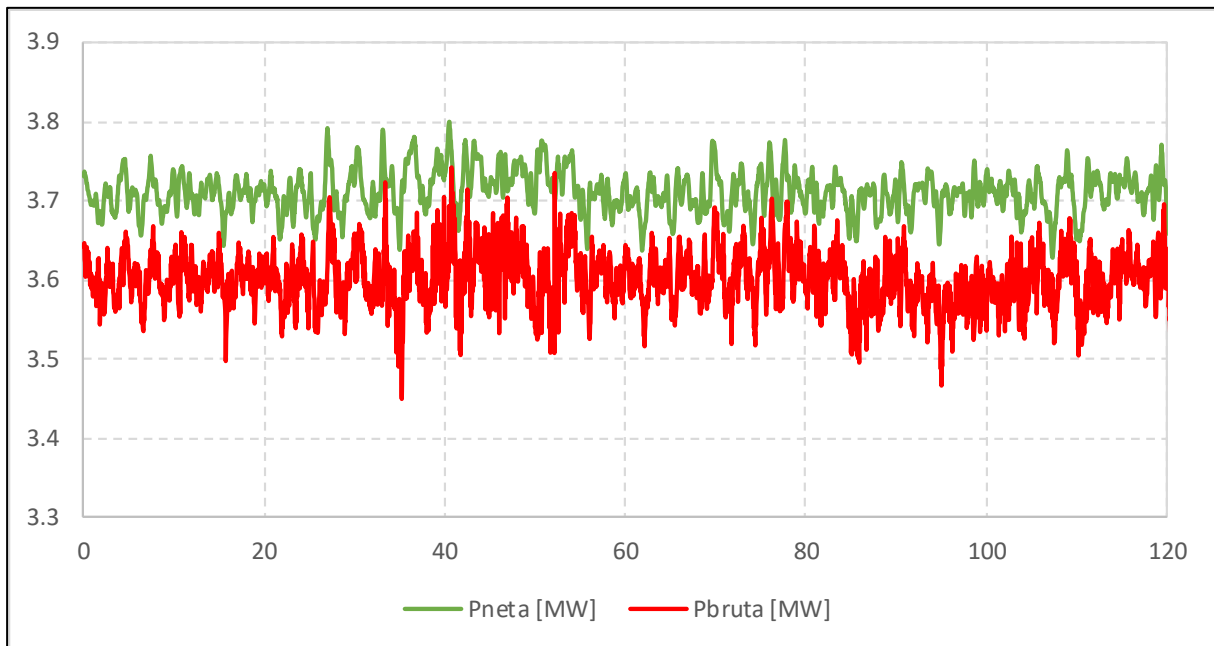


Gráfico 14. Potencia bruta y potencia neta durante la prueba de mínimo técnico.

De lo anterior la potencia Bruta se obtiene como un promedio de la medición de Pbruta del Gráfico 14, resultando el siguiente valor:

$$P_{bruta} = 3,71 MW$$

En esta condición operativa las pérdidas activas totales resultan de la diferencia entre la potencia bruta y la potencia neta en el punto de conexión:

$$P_{ptot} = 3,71 MW - 3,6 MW = 110 kW$$

Esta pérdida incluye a las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Negrete, el circuito colector y los consumos propios de los servicios auxiliares (SSAA).

## 2.2. Pérdidas y consumos propios

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

- Pérdidas activas en el transformador de potencia de la central.
- Pérdidas en la red de media tensión del PE (incluye sistema colector y transformadores del aerogenerador).
- Consumo de servicios auxiliares de la planta.

Para poder desagregar las pérdidas anteriores se realiza una simulación estática (flujo de potencia) en el software PowerFactory, tomando el modelo empleado en el estudio de validación.

### 2.2.1. Cálculo de pérdidas asociadas al transformador de potencia de la subestación

Considerando la simulación de flujo de potencia mencionada anteriormente se pueden determinar las pérdidas activas de potencia asociadas al transformador elevador de la SE Negrete. Para el estado de mínimo técnico se tiene:

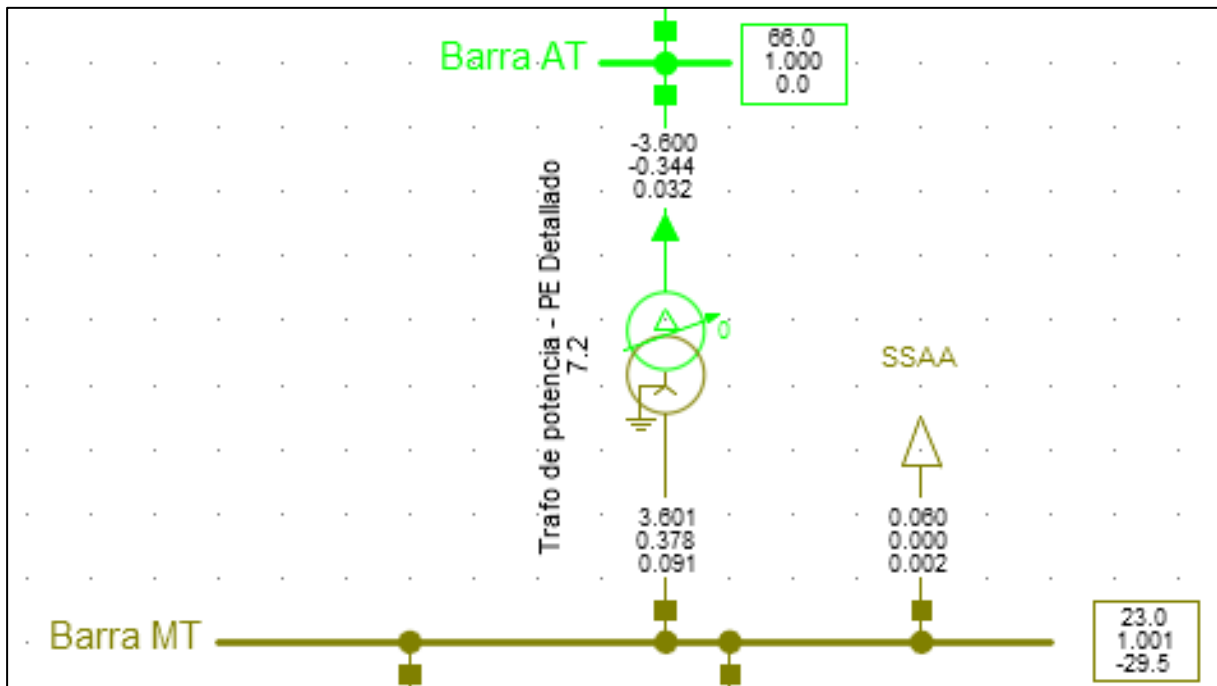


Gráfico 15. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Negrete.

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

$$P_{trafo} = 3,601 \text{ MW} - 3,6 \text{ MW} = 1 \text{ kW}$$

Los datos del modelo del transformador se muestran a continuación:

Name	Trafo potencia PE Negrete
Technology	Three Phase Transformer
Rated Power	50. MVA
Nominal Frequency	50. Hz
Rated Voltage	
HV-Side	66. kV
LV-Side	23. kV
Vector Group	
HV-Side	D
LV-Side	YN
Positive Sequence Impedance	
Short-Circuit Voltage uk	12.8 %
Copper Losses	229.07 kW
Phase Shift	11. *30deg
Name	Dyn11
Zero Sequence Impedance	
Short-Circuit Voltage uk0	12.1 %
SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %

Gráfico 16. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Negrete.

### 2.2.2. Consumo de servicios auxiliares

El consumo de servicios auxiliares en la SE Negrete fue informado en un valor de 60 kW.

Por lo tanto, la potencia inyectada en MT (P2) para esta condición operativa se puede determinar cómo:

$$P2 = 3,601 \text{ MW} + 0,06 \text{ MW} = 3,607 \text{ MW}$$

### 2.2.3. Pérdidas en el sistema colector

Las pérdidas en el sistema colector pueden determinarse como:

$$P_{\text{colector}} = P_{\text{ptot}} - P_{\text{trafo}} - SSAA$$

$$P_{\text{colector}} = 110 \text{ kW} - 1 \text{ kW} - 60 \text{ kW} = 49 \text{ kW}$$

En la siguiente tabla se resumen las pérdidas y consumo propios del PE Negrete:

Tabla 1. Pérdidas y consumos propios del PE Negrete.

Parámetro	Valor
Pérdidas en el transformador de potencia de la SE Negrete	1 kW
Pérdidas en el circuito colector (Sist colector + Tr de los aerogeneradores)	49 kW
Consumos de SSAA	60 kW
Pérdidas y consumos propios totales ( $P_{\text{ptot}}$ )	110 kW

## 3. CONCLUSIONES

Dada la mínima consigna operable del parque eólico de 3,6 MW (potencia mínima neta) en el punto de conexión (Barra de 66 kV de la ET Negrete), y considerando una pérdida promedio de 110,8 kW en ese estado de carga, se determinó una **potencia mínima bruta de 3,71 MW** para Parque Eólico Negrete.

## 4. REFERENCIAS

[1] "Power Plant Controller Functional Design Specification", VESTAS.