



estudios energéticos consultores.
GRUPO MERCADOS ENERGÉTICOS CONSULTORES

INFORME DE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

Parque Eólico Alena



Noviembre 2021

M 2063

Tabla de contenido

REGISTRO DE COMUNICACIONES	5
SECCIÓN PRINCIPAL	6
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Marco normativo	6
1.2. Descripción de la planta	6
1.3. Antecedentes de unidades de similares características	10
1.4. Descripción de las pruebas	10
2. RESULTADOS OBTENIDOS	11
2.1. Registros	11
2.2. CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR	12
2.3. Pérdidas y consumos propios.....	12
3. CONCLUSIONES	16

Índice de tablas y gráficos

Tabla 1. Resumen de pérdidas y consumos propios.....	15
Tabla 2. Parámetros de potencia máxima obtenidos.....	16
Gráfico 1. Esquema Unilineal de interconexión del sistema.	7
Gráfico 2. Esquema unilineal de la zona de influencia del PE Alena.....	8
Gráfico 3. Esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.....	9
Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Nordex N149 4.8 MW.....	9
Gráfico 5. Potencia activa en el punto de conexión (Potencia neta medida).....	11
Gráfico 6. Potencia activa suma de los 18 aerogeneradores (Potencia bruta medida).....	11
Gráfico 7. Velocidad de viento promedio en los aerogeneradores.....	12
Gráfico 8. Curva de potencia velocidad para un aerogenerador.....	12
Gráfico 9. Potencia de pérdidas en equipos de transformación, cables y consumos propios.....	13
Gráfico 10. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Alena.....	14
Gráfico 11. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Alena.	15

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	19/11/2021	Emisión original	V1	Preparó JL	FM

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Alena, durante el día 16 de Noviembre de 2021, en relación al proceso de determinación de los parámetros de potencia Máxima. 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 “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. Descripción de la planta

El PE Alena se ubica en la comuna de Los Ángeles, en la Región del Bio Bio, Chile. Está conformado por 18 aerogeneradores Nordex N149 4.8 MW de tecnología DFIG, totalizando una potencia instalada de 86.4 MW (4.8 MW x 18) y una potencia comprometida en el punto de conexión de 84 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 33 kV formado por 5 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada aerogenerador cuenta con su transformador de bloque de 0.69/33 kV de una potencia de 5.35 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 154/33 kV 100 MVA (ONAF), de la ET Alena.

El PE Alena, se conecta al SEN, mediante una línea en 154 kV de 949 m, que une la ET Alena y el y el tap existente Coyanco en el paño A1.

En el Gráfico 1 se muestra un esquema unilineal de la conexión del parque con el sistema, 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.

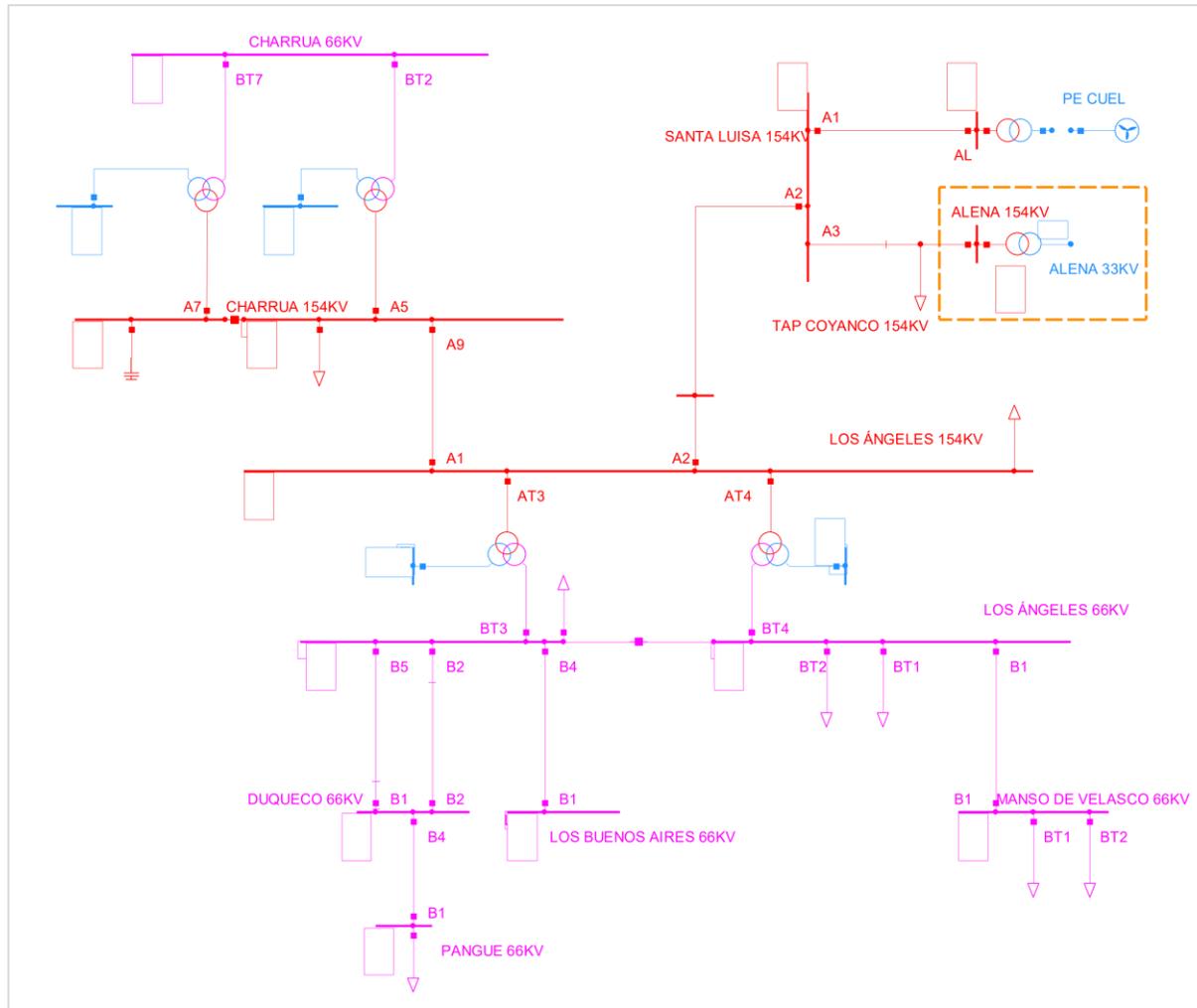


Gráfico 2. Esquema unilíneal de la zona de influencia del PE Alena.

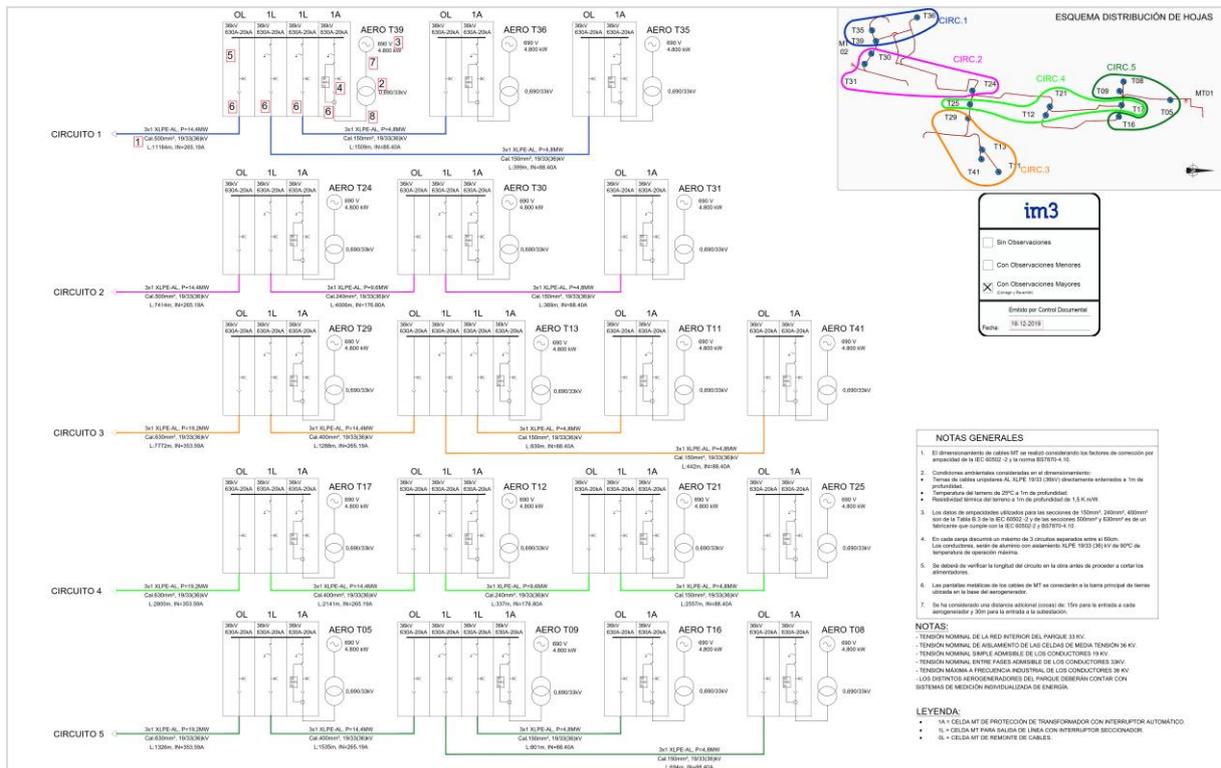


Gráfico 3. Esquema unilínea del sistema colector en 33 kV.

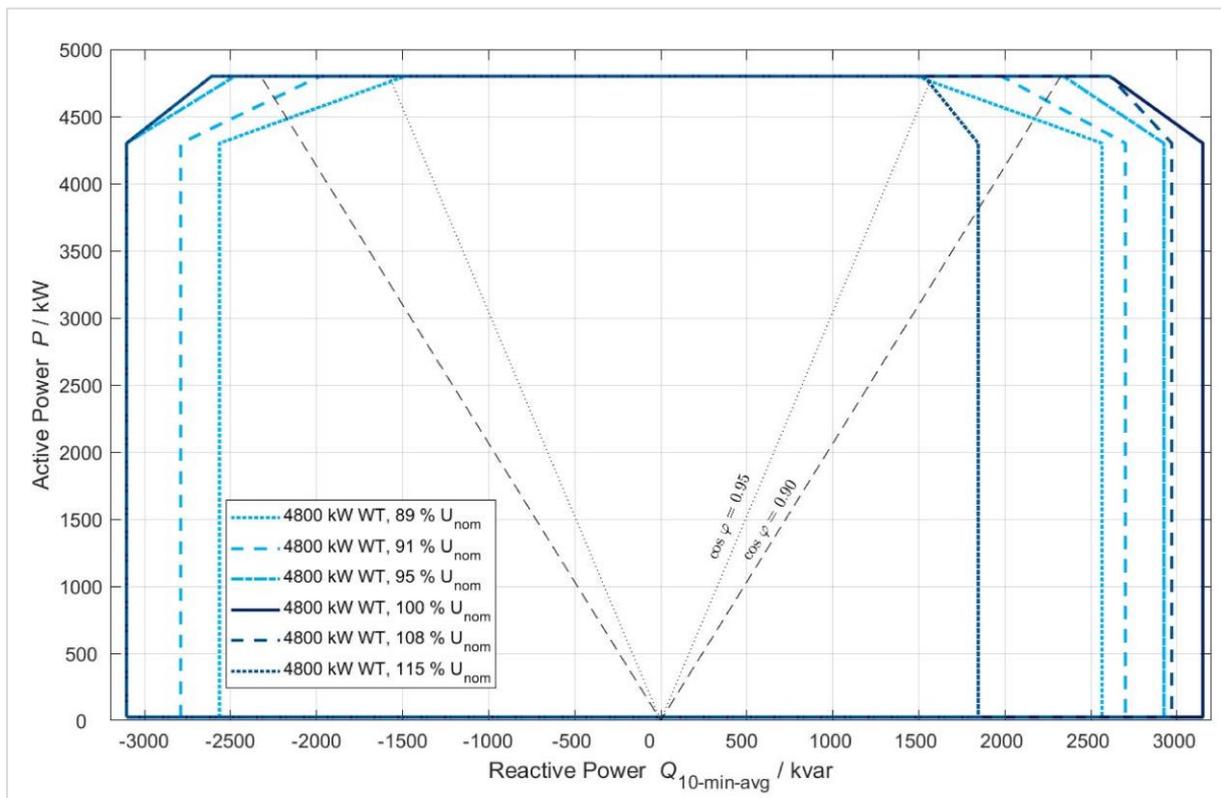


Gráfico 4. Curva de capacidad WTG Nordex N149 4.8 MW.

El control del PE Alena se realiza a través de un único PPC (Power Plant Controller) de Nordex, mediante el sistema SCADA, siendo la barra de control del parque la situada eléctricamente en la barra de 154 kV de la ET Alena.

El PPC puede operar los siguientes modos de control:

- **Control de potencia activa de 0-100%:** Permite ajustar la consigna de potencia activa a un valor determinado, el cual es distribuido entre todos los aerogeneradores. 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). Para el caso del PE Alena esta tasa estaba configurada en 16 % /min, la cual cumplen con la máxima tasa de toma de carga exigida en la norma técnica NTSyCS.
- **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. Para el caso particular del PE Alena este posee una banda muerta configurada en ± 200 mHz, con un droop de 3.63 %.
- **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 Alena 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.
 - **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. Antecedentes de unidades de similares características

El parque eólico presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques eólicos de similares características tecnológicas, como, por ejemplo¹:

- Parque Eólico TOLPAN SUR (Capacidad Máxima, P neta efectiva: 80,9 MW)

1.4. 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

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

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 día Martes 16/11/2021, incluyendo los antecedentes técnicos y los cálculos usados para obtener el valor. En el Anexo1 (adjunto con este informe) se detallan los valores registrados.

2. RESULTADOS OBTENIDOS

2.1. Registros

Se obtuvieron registros de potencia activa en el punto de conexión de la planta (barra de 154 kV de la SE Alena, Gráfico 5), potencia activa en cada uno de los 18 aerogeneradores del parque y su suma (Gráfico 6), velocidad de viento en los aerogeneradores Gráfico 7) durante 4 horas del día Martes 16 de Noviembre.

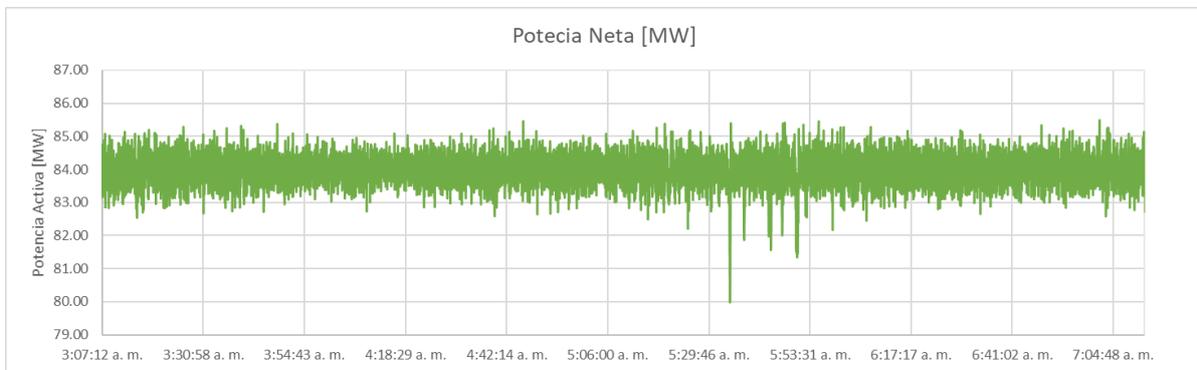


Gráfico 5. Potencia activa en el punto de conexión (Potencia neta medida).

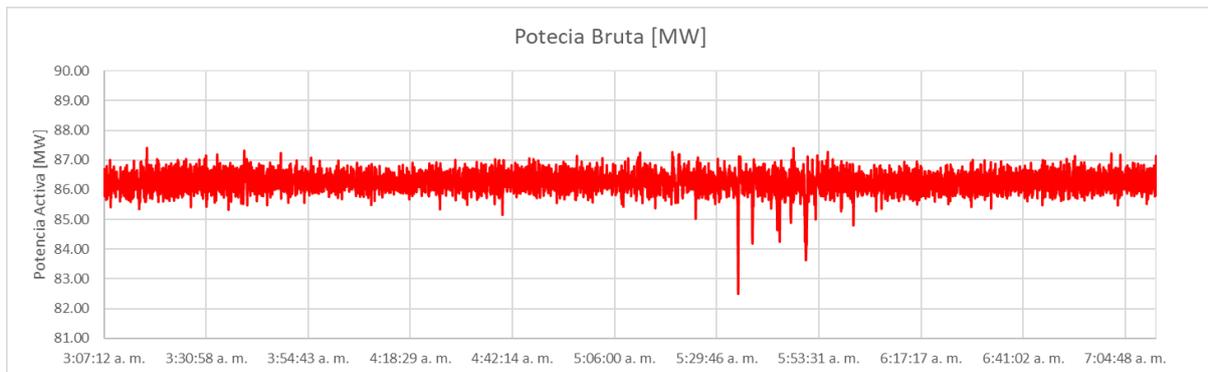


Gráfico 6. Potencia activa suma de los 18 aerogeneradores (Potencia bruta medida).

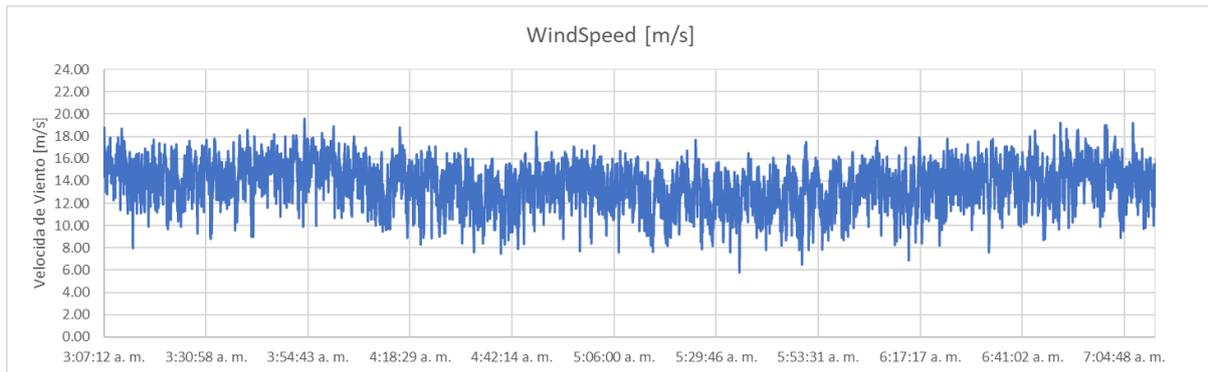


Gráfico 7. Velocidad de viento promedio en los aerogeneradores.

Del registro se observa que la máxima potencia se da entre las 03:00 y las 07:00 hs, registrándose una potencia neta promedio de 83,98 MW y una potencia bruta promedio de 86,26 MW para una velocidad de viento promedio de 13,19 m/s.

2.2. CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR

A partir de los registros de velocidad y potencia individuales de un aerogenerador, se determinó la curva de potencia velocidad, contrastándola con la curva teórica del aerogenerador ². El resultado se muestra en el siguiente gráfico:

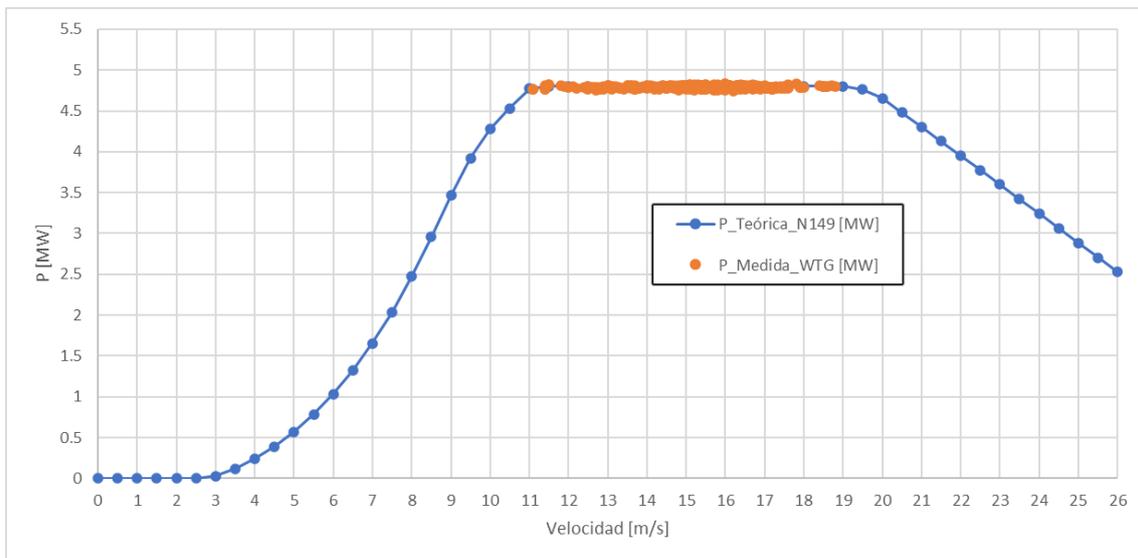


Gráfico 8. Curva de potencia velocidad para un aerogenerador.

Del gráfico se ve un resultado esperado en la potencia bruta para el aerogenerador seleccionado.

2.3. Pérdidas y consumos propios

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

² Annex A_Nordex N149 4.0-4.5_Visible Power Curve Modes

- 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.

En el Gráfico 9 se observa la diferencia entre la potencia medida en el punto de conexión de la planta (Potencia Neta Medida) y la potencia generada por los aerogeneradores (Potencia Bruta Medida). Esta diferencia corresponde a la potencia de pérdidas en el transformador de potencia del parque, los transformadores de cada aerogenerador, los cables de MT que conforman el sistema colector y los consumos propios de la planta.

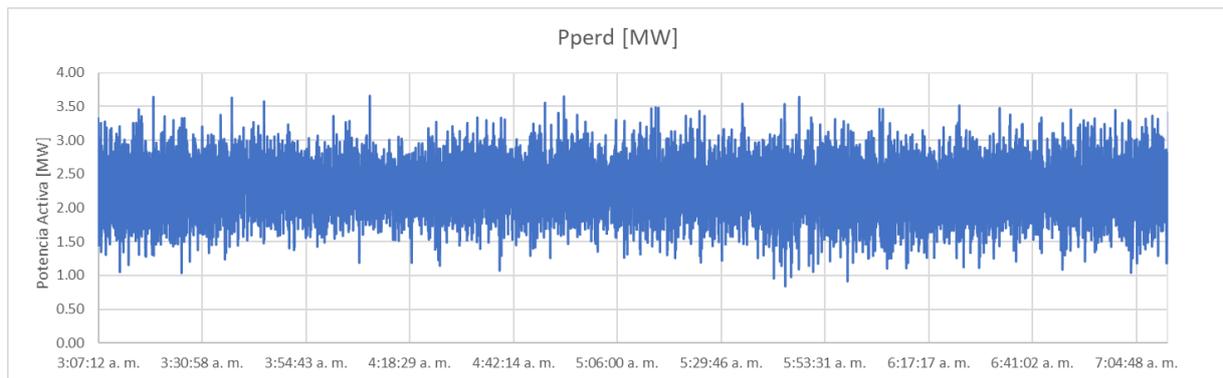


Gráfico 9. Potencia de pérdidas en equipos de transformación, cables y consumos propios.

Se consideró entonces la potencia de pérdida promedio en el intervalo de máxima generación registrado obteniéndose:

$$P_{perd} = 2,28 \text{ MW}$$

Esta potencia de pérdidas corresponde a la potencia bruta generada en el periodo de medición, por lo cual se ajustó a la potencia bruta máxima (86,2 MW) que puede obtenerse de los aerogeneradores informada por el fabricante y verificada en el punto 2.2, obteniéndose así:

$$P_{per_{pn}} = P_{perd} (86.2 \text{ MW} / P_{bruta_prom})$$

$$P_{per_{pn}} = 2,278 \text{ MW}$$

De lo anterior la máxima potencia neta en el punto de conexión será:

$$P_{neta_max} = P_{bruta_max} - P_{per_{pn}}$$

$$P_{neta_max} = 86.2 \text{ MW} - 2.278 \text{ MW} = 83,92 \text{ MW}$$

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.

2.3.1. Cálculo de pérdidas asociadas al transformador de potencia de la subestación

Considerando la simulación de flujo de potencia anteriormente se pueden determinar las pérdidas de potencia asociadas al transformador elevador de la subestación Alena. Para el estado de potencia máxima se tiene:

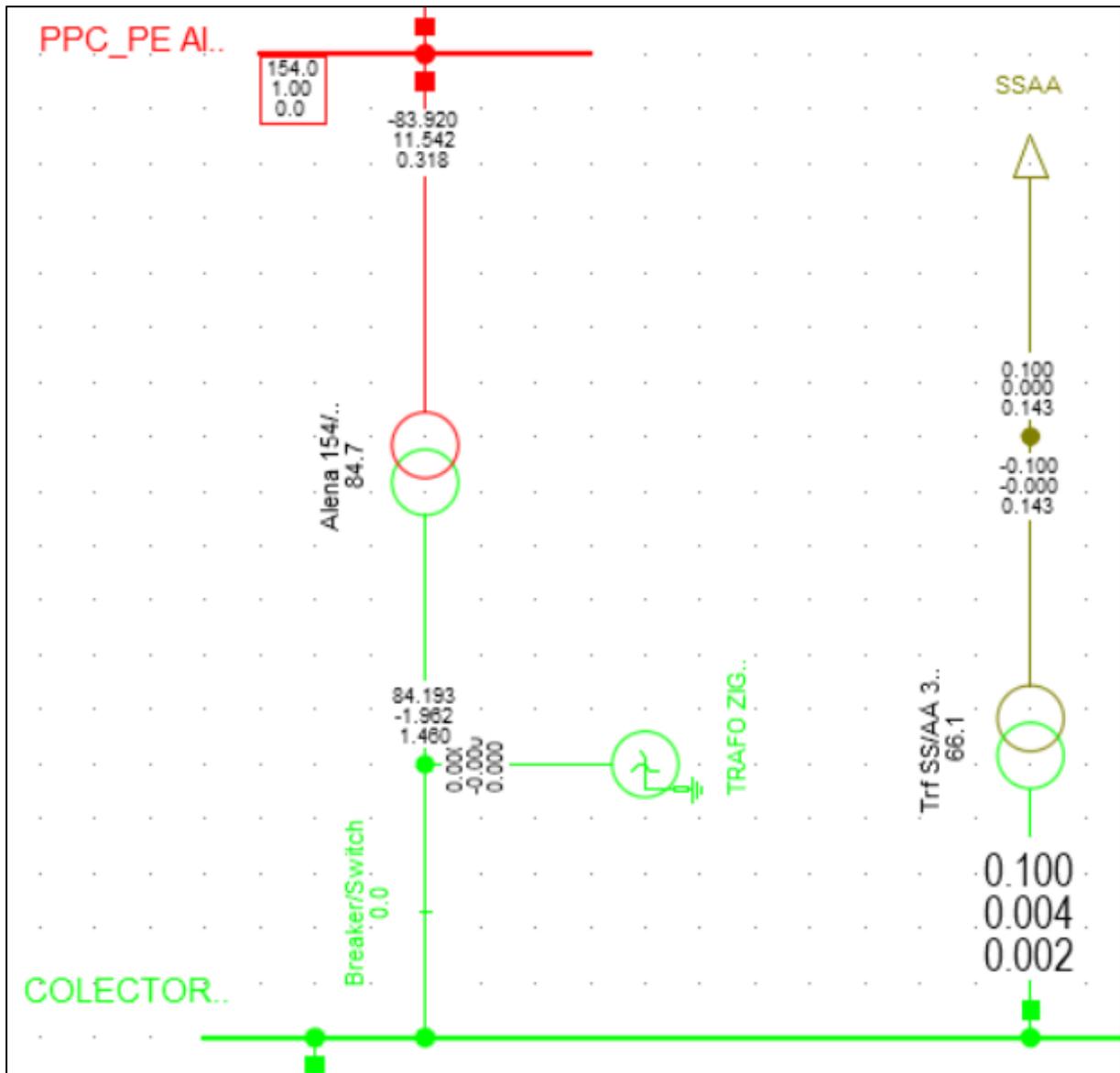


Gráfico 10. Cálculo de flujo de potencia en el transformador de potencia de la SE Alena.

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

$$P_{trafo} = 84,193 \text{ MW} - 83,92 \text{ MW} = 273 \text{ kW}$$

Los datos del modelo del transformador se muestran a continuación:

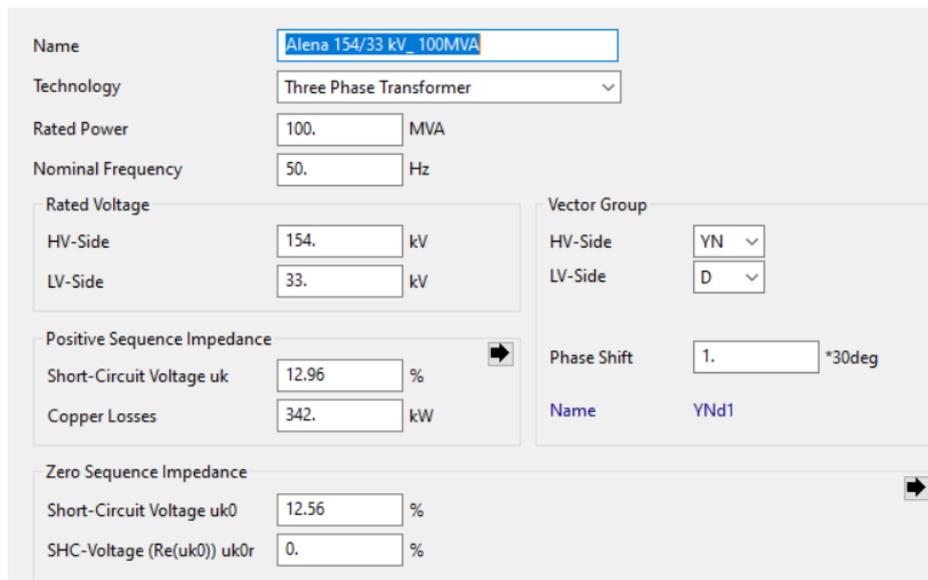


Gráfico 11. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Alena.

El consumo de los servicios auxiliares de la SE Alena fueron informadas en un valor de 100 kW. Por lo tanto, la potencia inyectada en COLECTOR (P2) se puede determinar cómo:

$$P_2 = 84.193 \text{ MW} + 0.10 \text{ MW} = 84,293 \text{ MW}$$

Por último, las pérdidas en el sistema colector pueden determinarse como:

$$P_{\text{colector}} = P_{\text{per}_{p_n}} - P_{\text{trafo}} - SSAA$$

$$P_{\text{colector}} = 2,278 \text{ MW} - 0,273 \text{ MW} - 0,1 \text{ MW} = 1,905 \text{ MW}$$

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

Tabla 1. Resumen de pérdidas y consumos propios.

Parámetro	Valor
Pérdidas en el transformador de potencia de la SE Alena	273 kW
Pérdidas en el circuito colector (Sist colector + Tr de los aerogeneradores)	1,903 MW
Consumos de SSAA	100 kW
Pérdidas y consumos propios totales ($P_{\text{per}_{p_n}}$)	2,278 MW

3. 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 2 :

Tabla 2. Parámetros de potencia máxima obtenidos.

Parámetro	Valor
Potencia máxima bruta medida	86,26 MW
Potencia máxima neta medida	83,98 MW
Potencia máxima bruta (en condiciones de recurso máximo)	86.2 MW
Potencia máxima neta	83,92MW