

Empresa: AES Andes

País: Chile

Proyecto: Parque Eólico Campo Lindo

Descripción: Informe de Mínimo Técnico

Código de Proyecto: EE-2020-099

Código de Informe: EE-EN-2022-1186

Revisión: B

*Development and Simulation of Mathematical Models
of Control System of Electricity Generation Plants
ISO9001:2015 Certified*



Este documento EE-EN-2022-1186-RB fue preparado para AES Andes por Estudios Eléctricos. Para consultas técnicas respecto del contenido del presente comunicarse con:

Ing. Claudio Celman

Sub-Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
claudio.celman@estudios-electricos.com

Ing. Andrés Capalbo

Sub-Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
andres.capalbo@estudios-electricos.com

Ing. Pablo Rifrani

Gerente del Departamento de Ensayos e Ingeniería
pablo.rifrani@estudios-electricos.com

www.estudios-electricos.com

Este documento contiene 30 páginas y ha sido guardado por última vez el 20/02/2023 por Iñaki Cubillos, sus versiones y firmantes digitales se indican a continuación:

Rev	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
A	20/02/2023	Para presentar.	IC	AC	PR
B	20/02/2023	Correcciones según observaciones de AES Andes.	IC	AC	PR

Todas las firmas digitales pueden ser validadas y autenticadas a través de la web de Estudios Eléctricos; <http://www.estudios-electricos.com/certificados>.



Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1	Fecha ensayo y personal auditor	4
1.2	Medidores utilizados.....	4
1.3	Definiciones y Nomenclatura	5
2	ASPECTOS NORMATIVOS	7
3	DESCRIPCIÓN DEL PARQUE	8
3.1	Unifilar de planta.....	8
3.2	Datos de los aerogeneradores	13
3.3	Datos de los transformadores de bloque.....	16
3.4	Datos del transformador de poder	17
3.5	Datos de consumos de SSAA de planta.....	18
4	DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO	19
4.1	Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio.....	20
4.1.1	Potencia Bruta.....	21
4.1.2	Potencia de Servicios Auxiliares	21
4.1.3	Potencia de Pérdidas en la central	21
4.1.4	Potencia Neta	23
4.1.5	Resultados	23
4.2	Mínimo Técnico con el parque completamente operativo.....	24
4.2.1	Potencia Bruta.....	25
4.2.2	Potencia de Servicios Auxiliares	25
4.2.3	Potencia de Pérdidas en la central	25
4.2.4	Potencia Neta	27
4.2.5	Resultados	27
5	CONCLUSIONES	28
6	ANEXOS	29
6.1	Certificado de calibración de medidor de potencia neta.....	29



1 INTRODUCCIÓN

El presente Informe Técnico documenta el procedimiento y los resultados obtenidos al determinar el Mínimo Técnico del Parque Eólico Campo Lindo de acuerdo con lo establecido en el “Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras”, cuyos aspectos más relevantes se destacan en la Sección 2.

El Parque Eólico Campo Lindo está constituido por 15 aerogeneradores Vestas modelo V150 tipo full-converter de 4.3 MW de potencia nominal y 720 V de tensión de operación nominal, totalizando una potencia instalada de 64.5 MW y se encuentra ubicado en la región del Biobío, emplazado en la comuna de Los Ángeles. El parque se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / (220 kV \pm 10 \times 1.25%) y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Campo Lindo. Luego, una línea de 20 km interconecta la S/E Campo Lindo en la seccionadora S/E Santa Clara 220 kV.

1.1 Fecha ensayo y personal auditor

Personal	Fecha de ensayo
Ing. Fernando Montecinos	3 y 7 de febrero de 2023

Tabla 1.1 - Nómina del personal participante durante los ensayos

1.2 Medidores utilizados

Denominación	Marca	Modelo	Precisión
Analizador de energía	Janitza	UMG 512	\pm 0.2%

Tabla 1.2 - Equipos utilizados

Además de lo mostrado en la Tabla 1.2, se cuenta con datos complementarios del sistema controlador de planta y medidas de todos los aerogeneradores adquiridos mediante el SCADA de la central el cual cuenta con una tasa de muestreo de 40 ms.



1.3 Definiciones y Nomenclatura

La Figura 1.1, muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

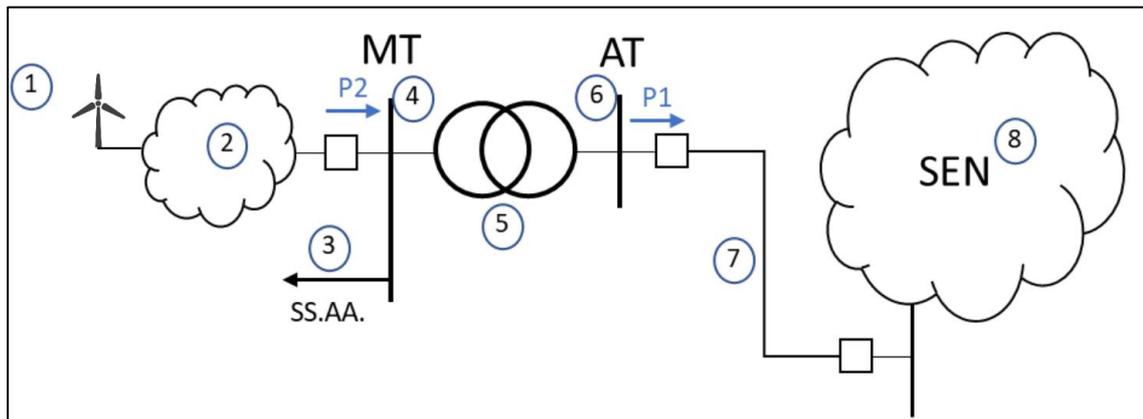


Figura 1.1 – Sistema equivalente parque eólico

- 1) **Generador equivalente:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del parque eólico.
- 2) **Pérdidas en 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 colectores que elevan de baja a media tensión.
- 3) **Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.).**
- 4) **Barra de media tensión (MT):** Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque eólico.
- 5) **Transformador de Poder:** Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque eólico.
- 6) **Barra de alta tensión (AT):** Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque eólico.
- 7) **Línea dedicada de la central:** Línea de alta tensión que vincula el parque eólico con el sistema eléctrico.
- 8) **Sistema Eléctrico Nacional (SEN).**



A partir de las definiciones anteriores, el presente informe considera la siguiente nomenclatura:

- ✓ **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] (ver número "1" en Figura 1.1).
- ✓ **Pperd:** Pérdidas de potencia activa en línea de transmisión [kW] (ver número "7" en Figura 1.1).
- ✓ **Ptrafo:** Pérdidas activas en el transformador de poder del parque [kW].
- ✓ **Pssaa:** Potencia de Servicios Auxiliares del parque [kW].
- ✓ **Pcolector:** Pérdidas en el sistema colector del parque [kW] (ver número "2" en Figura 1.1).



2 ASPECTOS NORMATIVOS

El “**Anexo Técnico: Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras**” establece cómo determinar e informar la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al sistema. Este mínimo deberá obedecer sólo a restricciones técnicas de operación de la unidad.

Se determinan valores de Mínimo Técnico, considerando distintas condiciones operativas del Parque Eólico Campo Lindo, entre las que se distinguen los siguientes escenarios:

- **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo:** valor de potencia activa bruta mínima con la cual el parque puede operar considerando todos los aerogeneradores y elementos de la red colectora en servicio y en condiciones de operación estables.
- **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio:** valor de potencia activa bruta mínima entregada por un **único aerogenerador** que permite tener el menor valor posible de potencia activa neta según las condiciones técnicas de los equipos.



3 DESCRIPCIÓN DEL PARQUE

El Parque Eólico Campo Lindo cuenta con una potencia instalada de 64.5 MW y se encuentra ubicado en la región del Biobío, emplazado en la comuna de Los Ángeles. El parque se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / (220 kV \pm 10 \times 1.25%) y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), ubicado en la S/E Campo Lindo. Luego, una línea de 20 km interconecta la S/E Campo Lindo con el SEN en la seccionadora S/E Santa Clara 220 kV.

El parque está constituido por 15 aerogeneradores marca Vestas modelo V150, de 4.3 MW de capacidad nominal y 720 V de tensión nominal. Cada uno de estos equipos cuenta con un transformador elevador de relación 0.72 kV / (33 kV \pm 2 \times 2.5%) que permite la inyección de su producción en la red de media tensión. La red colectora de media tensión está constituida por cables subterráneos y dividida en 3 circuitos colectores. En el primer colector se conectan 6 aerogeneradores, en el segundo se conectan 5 y en el restante se conectan 4 aerogeneradores.

3.1 Unifilar de planta

La red interna de media tensión (MT) del parque se encuentra compuesta por 3 circuitos alimentadores en MT. La disposición de los aerogeneradores dentro de dichos circuitos es la siguiente:

- Circuito N°1: Aerogeneradores CPL-01, CPL-03, CPL-05, CPL-07, CPL-08 y CPL-11.
- Circuito N°2: Aerogeneradores CPL-10, CPL-16, CPL-18, CPL-20 y CPL-24.
- Circuito N°3: Aerogeneradores CPL-39, CPL-41, CPL-42 y CPL-44.

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama unilineal de la S/E Campo Lindo. En tanto en la Figura 3.2 se muestra la barra principal de 33 kV del parque. Finalmente, en las Figura 3.3 y Figura 3.4, se presenta el detalle de cada alimentador de 33 kV.

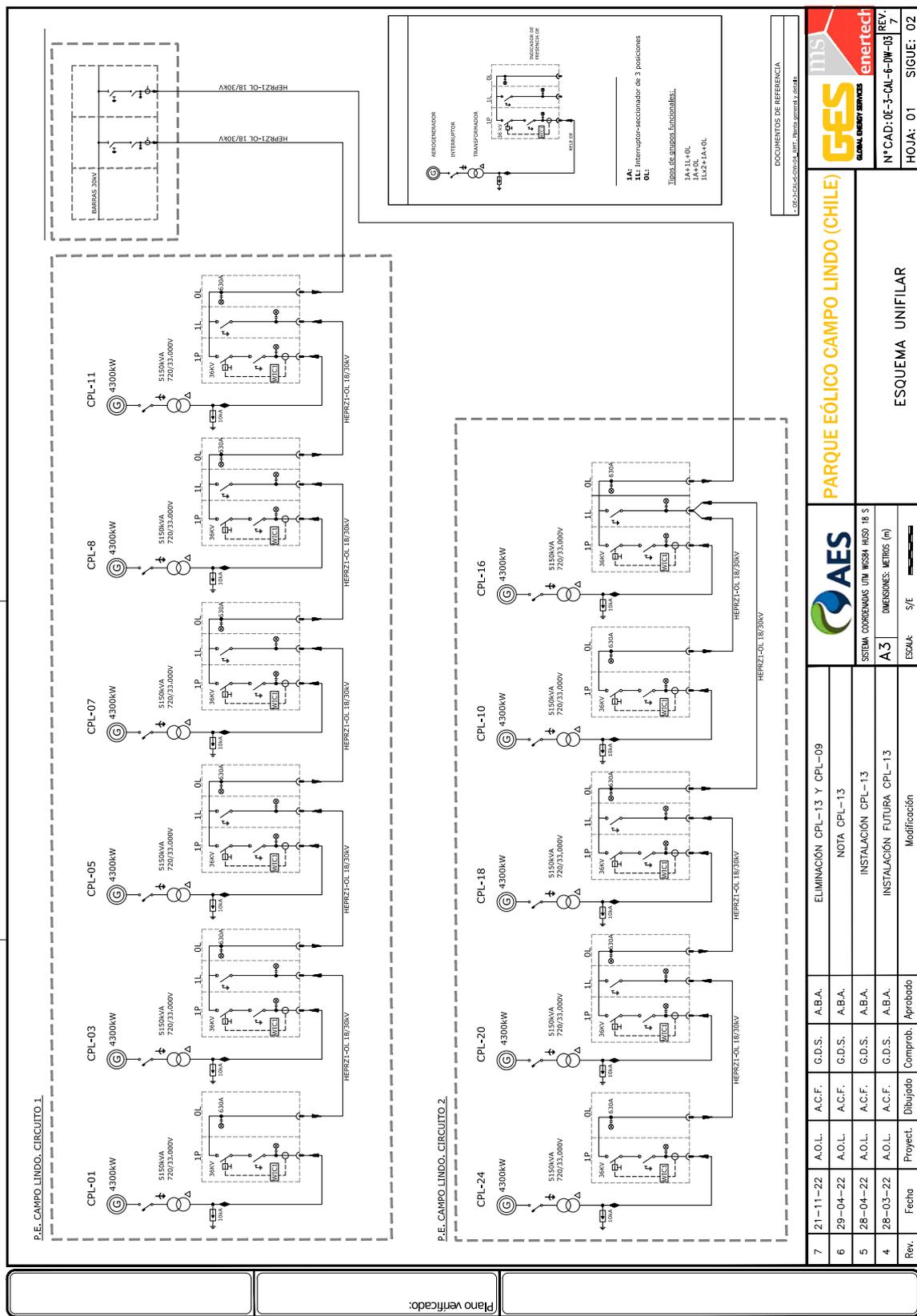


Figura 3.3 – Diagrama unilineal circuitos colectores 1 y 2

DOCUMENTOS DE REFERENCIA					
PARQUE EÓLICO CAMPO LINDO (CHILE)		SISTEMA CORRIENTES UNIFILARES HEDS 18 S		N° CAD: 0E-3-COL-6-0W-03	
ESQUEMA UNIFILAR		DIMENSIONES: METROS (m)		HOJA: 01 SIGUE: 02	
ESCALA: S/E		Modificación		REV. 7	
7	21-11-22	A.O.L.	A.C.F.	A.B.A.	G.D.S.
6	29-04-22	A.O.L.	A.C.F.	A.B.A.	G.D.S.
5	28-04-22	A.O.L.	A.C.F.	A.B.A.	G.D.S.
4	28-03-22	A.O.L.	A.C.F.	A.B.A.	G.D.S.
Rev.	Fecha	Proyect.	Dibujado	Comprob.	Aprobado
ELIMINACIÓN CPL-13 Y CPL-09		NOTA CPL-13		INSTALACIÓN FUTURA CPL-13	
INSTALACIÓN FUTURA CPL-13		INSTALACIÓN FUTURA CPL-13		INSTALACIÓN FUTURA CPL-13	

Plano verificado:



3.2 Datos de los aerogeneradores

El Parque Eólico Campo Lindo, está constituido por 15 aerogeneradores Vestas modelo V150 tipo full-converter de 4.3 MW de potencia nominal y 720 V de tensión de operación nominal. Los parámetros nominales del generador se presentan en la Figura 3.5, mientras que los datos del conversor asociado se presentan en la Figura 3.6.

4.1 Generator	
<p>The generator is a three-phase asynchronous induction generator with cage rotor that is connected to the grid through a full-scale converter. The generator housing allows the circulation of cooling air within the stator and rotor.</p> <p>The air-to-water heat exchange occurs in an external heat exchanger.</p>	
Generator	
Type	Asynchronous with cage rotor
Rated Power [P _N]	4250 / 4450 kW
Frequency [f _N]	0-100 Hz
Voltage, Stator [U _{Ns}]	3 x 800 V (at rated speed)
Number of Poles	6
Winding Type	Form with VPI (Vacuum Pressurized Impregnation)
Winding Connection	Delta
Rated rpm	1450-1550 rpm
Overspeed Limit Acc. to IEC (2 minutes)	2400 rpm
Generator Bearing	Hybrid/ceramic

Figura 3.5 – Datos nominales de aerogeneradores

4.2 Converter	
<p>The converter is a full-scale converter system controlling both the generator and the power quality delivered to the grid. The converter consists of 3 machine-side converter units and 3 line-side converter units operating in parallel with a common controller.</p> <p>The converter controls conversion of variable frequency AC power from the generator into fixed frequency AC power with desired active and reactive power levels (and other grid connection parameters) suitable for the grid.</p> <p>The converter is located in the nacelle and has a grid side voltage rating of 720 V. The generator side voltage rating is up to 800 V dependent on generator speed.</p>	
Converter	
Rated Apparent Power [S _N]	5100 kVA
Rated Grid Voltage	3 x 720 V
Rated Generator Voltage	3 x 800 V
Rated Grid Current	4100 A (≤30°C ambient) / 4150 (≤20°C ambient)
Rated Generator Current	3600 A (≤30°C ambient) / 3650 (≤20°C ambient)
Enclosure	IP54

Figura 3.6 – Datos nominales del conversor aerogeneradores



La curva de capacidad de los aerogeneradores se presenta en la Figura 3.7.

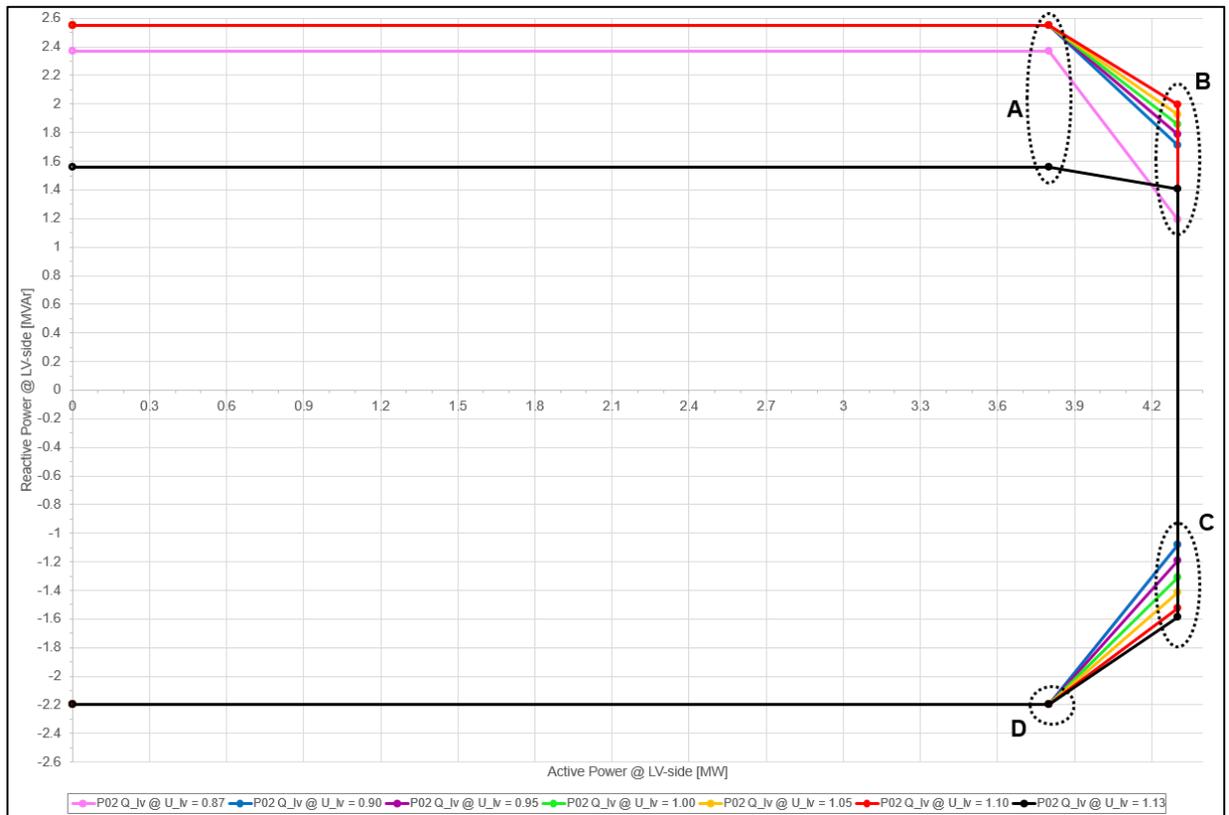


Figura 3.7 – Curva de capacidad del aerogenerador



Se presenta en la Figura 3.8 la curva de potencia según viento del aerogenerador.

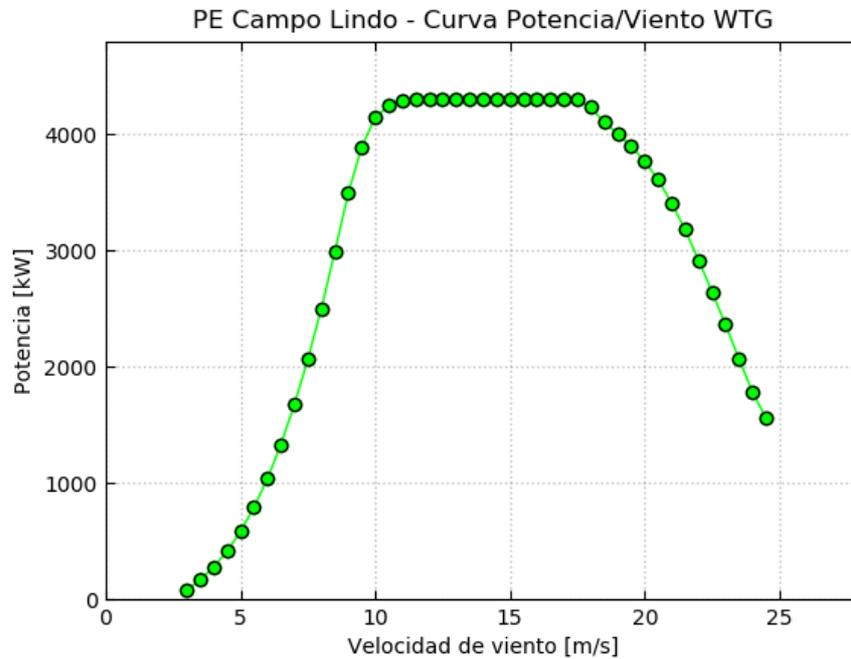


Figura 3.8 – Curva Viento/Potencia para los grupos de aerogeneradores

Finalmente, se presentan en la Figura 3.9 antecedentes relacionados al consumo de potencia para alimentar los servicios auxiliares propios de la unidad. Se observa que el consumo total de potencia en concepto de servicios auxiliares propios de la unidad tiene un valor máximo de 80.6 kW. Este valor es considerado en los cálculos de la sección 4.

Main contributors to Own Consumption	
Hydraulic Motor	2 x 15 (V117) / 18.5 kW (V136 + V150) (master-slave)
Yaw Motors	Maximum 21 kW in total
Water Heating	10 kW
Water Pumps	2.2 + 5.5 kW
Oil Heating	7.9 kW
Oil Pump for Gearbox Lubrication	12.5 kW
Controller Including Heating Elements for the Hydraulics and all Controllers	Approximately 3 kW
HV Transformer No-load Loss	See section 4.3 HV Transformer, p. 12

Figura 3.9 – Consumos internos de aerogeneradores



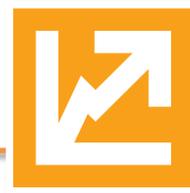
3.3 Datos de los transformadores de bloque

Cada aerogenerador se vincula a la red colectora de 33 kV mediante un transformador de 5.15 MVA de capacidad nominal, y de relación de transformación de 0.72/33 kV.

Los datos característicos de los transformadores de bloque se muestran en la Tabla 3.1.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	5.15 MVA
Refrigeración	AF
Tensión nominal lado HV	33 kV
Tensión nominal lado LV	0.72 kV
Grupo de conexión	Dyn5
Impedancia	9.9 %
Pérdidas en carga	35.7 kW
Pérdidas en vacío	7.253 kW
Posiciones de TAP	$\pm 2 \times 2.5 \%$

Tabla 3.1 – Datos de los transformadores de bloque



3.4 Datos del transformador de poder

El Parque Eólico Campo Lindo se interconecta al SEN por medio de uno de los devanados de 33 kV del transformador de poder de 3 devanados de relación 33 kV / 33 kV / (220 kV \pm 10 \times 1.25%) y de capacidad 240/300 MVA (ONAN/ONAF), de potencia aparente nominal (120/150 MVA por devanado). Este equipo posee cambiador de tomas bajo carga.

Los datos característicos del transformador principal se muestran en la Tabla 3.2.

Parámetro	Valor
Potencia Nominal	120/150 MVA
Refrigeración	ONAN/ONAF
Tensión nominal lado HV	220.0 kV
Tensión nominal lado LV	33.0 kV
Grupo de conexión	YNd11d11
Impedancia	15.91 %
Pérdidas en carga	384 kW
Pérdidas en vacío	138 kW
Posiciones de TAP	\pm 10 \times 1.25 %

Tabla 3.2 - Datos del transformador principal



3.5 Datos de consumos de SSAA de planta

El Parque Eólico Campo Lindo cuenta con un transformador de poder para alimentar sus servicios auxiliares de 300 kVA de potencia aparente nominal. Este transformador cuenta con un devanado de baja tensión de 0.38 kV y un arrollamiento de alta tensión de 33 kV.

En el documento “213009 A ECL CE 006 - B _ MC dimensionamiento de SSAA” se realiza el dimensionamiento de los consumos asociados a las instalaciones de 220 kV y 33 kV de la S/E Campo Lindo considerando servicios auxiliares en 380/220 Vca.

En la Figura 3.10 se presenta el resumen de cargas asociadas a los servicios auxiliares, se aprecia que el total de consumos esenciales es de 87.01 kW.

Categoría	Potencia [kW]
Total, Consumo Esenciales	87,01
Total, Consumo No esenciales	98,39
Total, Consumo C.A y C.C.	185,40

Figura 3.10 – Cargas permanentes de SSAA



4 DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO

El Mínimo Técnico corresponde al menor valor de potencia activa bruta que el parque es capaz de mantener de manera estable.

Tal como se ha mencionado en el capítulo 2 se determina el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio**.

Para cada una de las pruebas de Mínimo Técnico realizadas, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Campo Lindo	(1)	(2)	(3)	(4)

Tabla 4.1 – Tabla resumen de valores a presentar

- (1) **Potencia Bruta del Parque:** Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada aerogenerador del parque Parque Eólico Campo Lindo.
- (2) **Potencia de SS.AA.:** Corresponde a la suma de los consumos propios promedio de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores (considerando todos los aerogeneradores en servicio), más los SS.AA. de la central
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión (circuitos colectores y transformadores de bloque).
- (4) **Potencia Neta del parque:** Potencia inyectada en lado de 220 kV del transformador principal del parque.



4.1 Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio

El día 7 de febrero de 2023 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio. Para lograr esta condición se da orden de detención a todos los aerogeneradores del parque a excepción del aerogenerador 01 (CPL-01). En esta condición todos los circuitos colectores y transformadores de bloque se mantienen energizados.

En la Figura 4.1 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando únicamente la turbina CPL-01 en servicio con una consigna de 430 kW en el POI (mínima potencia consignable). En la gráfica se presenta la medición efectiva de potencia en bornes del CPL-01 ("P. AERO" en la figura) y la potencia inyectada en la barra principal de 220 kV del parque ("PNETA" en la figura).

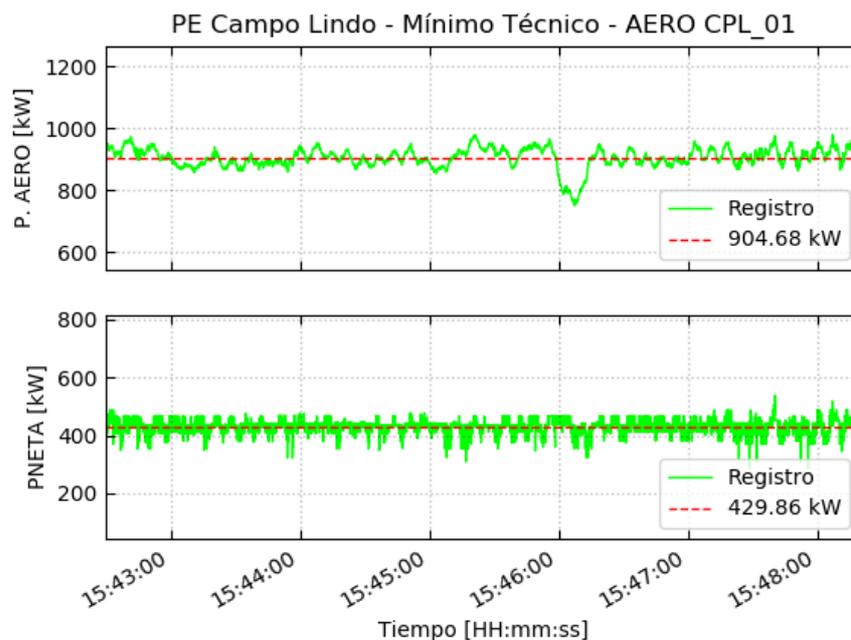


Figura 4.1 – Mínimo Técnico – Aero CPL-01

A continuación, se realiza el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.



4.1.1 Potencia Bruta

La medición de potencia del aerogenerador presentada en la Figura 4.1 se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del aerogenerador. Estos consumos se estiman en 80.6 kW, según se observa en la Figura 3.9. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta} = P_{AERO} + Consumos\ propios$$

$$P_{bruta} = 904.68\ kW + 80.6\ kW = 985.28\ kW$$

4.1.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.9, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 80.6 kW y debe considerarse el consumo del único aerogenerador en servicio. Adicionalmente, se han estimado los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) en 87.01 kW, según se presenta en la sección 3.5.

En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

$$P_{SSAA} = N^{\circ}\ AEROS \times Consumos\ Propios + P_{tr,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 1 \times 80.6\ kW + 87.01\ kW = 167.61\ kW$$

4.1.3 Potencia de Pérdidas en la central

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en el Aerogenerador CPL-01 y la **Potencia Neta Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.1).

Además, se debe considerar el valor de potencia del transformador de servicios auxiliares, estimados en 87.01 kW.



La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{AERO} - P_{tr,SSAA} - P_{neta,med}$$

$$P_{perd,central} = 904.68 \text{ kW} - 87.01 \text{ kW} - 429.86 \text{ kW} = 387.81 \text{ kW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal ($P_{Perd,tr_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{Perd,redMT}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición particular de carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{vacío}$$

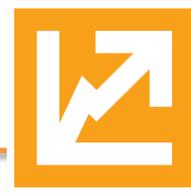
Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es menor a 1%. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{Perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 138 \text{ kW}$$

En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{Perd,redMT} = P_{Perd,central} - P_{Perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{Perd,redMT} = 387.81 \text{ kW} - 138 \text{ kW} = 249.81 \text{ kW}$$



4.1.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en lado de 220 kV del transformador principal. El valor de **Potencia Neta** (Ver Figura 4.1) es de 429.86 kW.

$$P_{neta} = 429.86 \text{ kW}$$

4.1.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Campo Lindo	985.28	167.61	387.81 ¹	429.86

Tabla 4.2 – Mínimo Técnico – Aero CPL-01 – Parque Eólico Campo Lindo

¹ Desglosado en 138 kW de pérdidas en el transformador principal y 249.81 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



4.2 Mínimo Técnico con el parque completamente operativo

El día 3 de febrero de 2023 se realizó el ensayo de Mínimo Técnico considerando el parque completamente operativo. Para lograr esta condición se debe buscar el valor mínimo de potencia que permite la operación estable y segura del parque con la totalidad de aerogeneradores en servicio.

Según informa el fabricante de los aerogeneradores, el valor mínimo de potencia activa que permite la operación estable de los aerogeneradores es de aproximadamente 430 kW. Cabe mencionar que la suma de potencia de los aerogeneradores de 6.6 MW (ver Figura 4.2) implica un despacho aproximado de 440 kW para cada unidad.

En la Figura 4.2 se muestra el ensayo de Mínimo Técnico considerando todos los aerogeneradores del parque en servicio. Se presentan las mediciones de potencia considerando el aporte de todos los aerogeneradores en servicio, y de potencia neta, registrada en el lado de 220 kV del transformador principal del Parque Eólico Campo Lindo. La diferencia registrada entre ambos valores es de 0.27 MW. Se presenta además la lectura de SCADA que identifica que los 15 aerogeneradores se encuentran en servicio de forma estable.

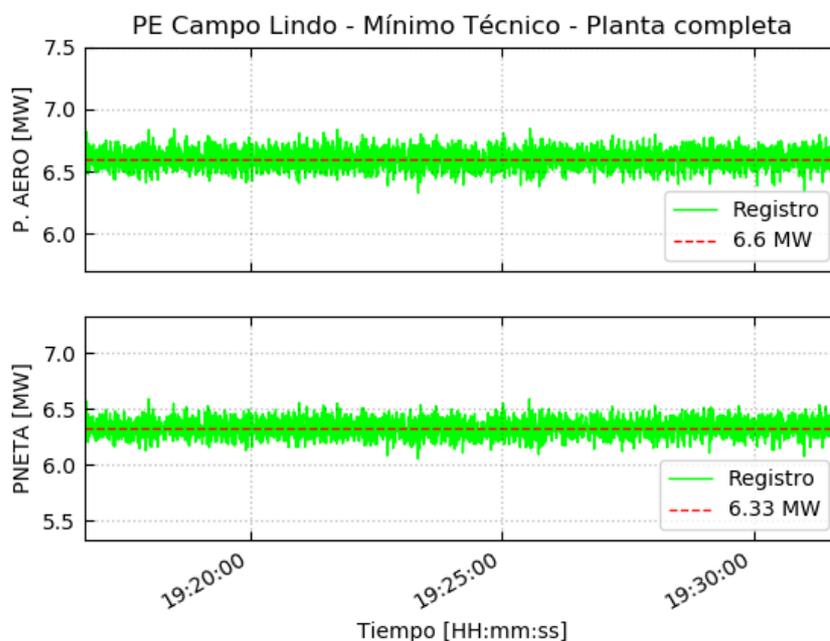


Figura 4.2 – Mínimo Técnico – Todos los aerogeneradores en servicio

A continuación, se realiza el cálculo de los valores de potencia según se desglosan en la Tabla 4.1.



4.2.1 Potencia Bruta

La medición de potencia de los aerogeneradores presentada en la Figura 4.2 se realiza en bornes del equipo y ya se encuentran descontados los consumos propios del aerogenerador. Estos consumos se estiman en 80.6 kW, según se observa en la Figura 3.9. El valor de **Potencia Bruta** se obtiene según la siguiente expresión.

$$P_{bruta,med} = P_{AERO} + N^{\circ} AEROS \times Consumos\ propios$$

$$P_{bruta,med} = 6.6\ MW + 15 \times 80.6\ kW = 7.81\ MW$$

4.2.2 Potencia de Servicios Auxiliares

La Potencia de Servicios Auxiliares corresponde a la suma de los consumos propios de cada aerogenerador estimados en kW x Cantidad de aerogeneradores más los Servicios Auxiliares de la central.

Según se observa en la Figura 3.9, el consumo interno de cada aerogenerador se estima en 80.6 kW y debe considerarse la totalidad de unidades en servicio. Adicionalmente, se han estimado los consumos del transformador de servicios auxiliares ($P_{tr,SSAA}$) en 87.01 kW, según se presenta en la sección 3.5.

En base a estos datos se procede a calcular la **Potencia de Servicios Auxiliares**.

$$P_{SSAA} = N^{\circ} AEROS \times Consumos\ Propios + P_{tr,SSAA}$$

$$P_{SSAA} = 15 \times 80.6\ kW + 87.01\ kW = 1296.01\ kW$$

4.2.3 Potencia de Pérdidas en la central

La Potencia de Pérdidas en la central corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de poder de la central (kW) y de las pérdidas en el sistema colector de media tensión.

En base a las mediciones realizadas durante el ensayo de Mínimo Técnico, el cálculo de la Potencia de Pérdidas en la central se realiza considerando la diferencia entre la potencia medida en los



aerogeneradores y la **Potencia Neta Medida** (P_{neta} , ver Figura 4.2), además deben restarse los consumos del transformador de servicios auxiliares estimados en 87.01 kW.

La expresión para el cálculo de **Potencia de Pérdidas en la central** se presenta a continuación.

$$P_{perd,central} = P_{AERO} - P_{tr,SSAA} - P_{neta,med}$$

$$P_{perd,central} = 6.6 \text{ MW} - 87.01 \text{ kW} - 6.33 \text{ MW} = 182.99 \text{ kW}$$

El valor de **Potencia de Pérdidas en la central** debe ser desglosado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en transformador principal ($P_{perd,tr_{ppal}}$)
- Pérdidas en red colectora de media tensión ($P_{perd,redMT}$)

En la Tabla 3.2 se presentan los valores de pérdida en vacío y carga del transformador principal, cabe mencionar que el valor de pérdidas en carga está referido a la condición de potencia nominal del equipo y deben ser determinadas en la condición de carga particular del ensayo. La expresión de pérdidas del transformador principal es la siguiente.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = Pérdidas_{carga} + Pérdidas_{vacío}$$

Las pérdidas en carga en este escenario se pueden aproximar a 0.0 kW, ya que el nivel de carga del transformador principal es cercano al 3 %. Por lo tanto, las pérdidas en el transformador principal quedan dadas por la siguiente expresión.

$$P_{perd,tr_{ppal}} = 0.0 \text{ kW} + 138 \text{ kW} = 138 \text{ kW}$$

En tanto, el valor de pérdidas en la red colectora queda determinado por la siguiente ecuación.

$$P_{perd,redMT} = P_{perd,central} - P_{perd,tr_{ppal}}$$

$$P_{perd,redMT} = 182.99 \text{ kW} - 138 \text{ kW} = 44.99 \text{ kW}$$



4.2.4 Potencia Neta

La Potencia Neta corresponde a la potencia inyectada en lado de 220 kV del transformador principal. En este caso se obtiene un valor de **Potencia Neta** de 6.33 MW, considerando la operación estable de todos los aerogeneradores.

$$P_{neta} = 6.33 \text{ MW}$$

4.2.5 Resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, se muestra a continuación la tabla resumen de resultados.

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	7.81	1296.01	182.99 ²	6.33

Tabla 4.3 – Mínimo Técnico – Planta completa – Parque Eólico Campo Lindo

² Desglosado en 138 kW de pérdidas en el transformador principal y 44.99 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



5 CONCLUSIONES

Se determinó mediante ensayos el **Mínimo Técnico con el parque completamente operativo** y el **Mínimo Técnico considerando sólo un aerogenerador en servicio**. Los resultados se resumen a continuación.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
Campo Lindo	985.28	167.61	387.81 ³	429.86

Tabla 5.1 – Mínimo Técnico – CPL-01 – Parque Eólico Campo Lindo

Parque Eólico	Potencia Bruta [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [MW]
Campo Lindo	7.81	1296.01	182.99 ⁴	6.33

Tabla 5.2 – Mínimo Técnico – Planta completa – Parque Eólico Campo Lindo

³ Desglosado en 138 kW de pérdidas en el transformador principal y 249.81 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.

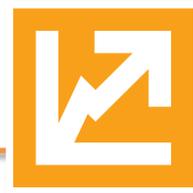
⁴ Desglosado en 138 kW de pérdidas en el transformador principal y 44.99 kW de pérdidas en la red colectora de media tensión.



6 ANEXOS

6.1 Certificado de calibración de medidor de potencia neta

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		
 ESTUDIOS ELECTRICOS		
Estudios Eléctricos declara que el instrumento:		
Instrumento	Número de Serie:	Última Calibración
JANITZA UMG 512 Pro	4201/5361	21/07/2022
Fue calibrado siguiendo los lineamientos establecidos en el procedimiento EE-MP-2009-156_05 Control de Equipos habiéndose encontrado conforme y quedando habilitado para su uso. Para la calibración se emplearon los siguientes instrumentos patrón:		
Instrumento	Número de Serie	Última Calibración
Valija de Inyección OMICRON CMC 256-6	JG677S	29/11/2021
Fecha de evaluación: 21/07/22	Nombre Inspector: Leiss, Jorge	
Certificado número: EE-CI-2022-1131	Firma:	
Power System Studies & Power Plant Field Testing and Electrical Commissioning		



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco.