



**Informe Técnico: Pruebas de Potencia Máxima
en Unidades Generadoras:
Proyecto: Parque Eólico La Flor.**

Historial de versiones

Versión	Descripción	Preparó	Revisó	Aprobó	Fecha
A	Coord. Interna	AZ	DC	MC	10-03-2020
B1.rev1	Publicación PGP	AZ	DC	MC	13-03-2020
B2.rev2	Incluye OBS DE 02022-20	AZ	DC	MC	08-05-2020
B3.rev3	Incluye OBS	AZ	DC	MC	21-05-2020

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.	4
2	ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO.	4
2.1	AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN NAHUEL BUTA 66/23 kV.	4
2.2	TRANSFORMADOR DE PODER.	6
2.3	AEROGENERADOR VESTAS V136-3.45 PO1.	6
2.4	RED DE MEDIA TENSIÓN.	8
2.5	SERVICIOS AUXILIARES DE LA SUBESTACIÓN.	11
3	DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA MÁXIMA PARQUE EÓLICO LA FLOR.	11
3.1	POTENCIA MÁXIMA AEROGENERADOR V136 – 3.6MW PO1.	11
3.2	METODOLOGÍA UTILIZADA.	12
4	CONCLUSIONES.	15
5	REFERENCIAS Y ANEXOS.	16

1 Introducción y Objetivos.

El objetivo de este informe es determinar la potencia máxima del Parque Eólico La Flor de acuerdo al ANEXO PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA EN UNIDADES GENERADORAS y sus documentos asociados [/1//2//3/], asociado a su punto de conexión definido para el proceso de conexión NUP 318.

El valor de potencia máxima será obtenido en función de registros de operación durante las pruebas de las unidades generadoras, registros de consumos auxiliares, datos técnicos de las instalaciones relacionadas y datos de recurso primario.

En los siguientes puntos se describirán los registros de operación, supuestos utilizados, metodologías, alcances de la aplicación de estas metodologías y conclusiones bajo las cuales se establece el valor de potencia máxima para el PE La Flor.

2 Antecedentes técnicos de diseño.

2.1 Ampliación Subestación Nahuelbuta 66/23 kV.

El Parque Eólico La Flor se conecta en un nuevo paño de transformación en la subestación Nahuelbuta, el cual se compone de los siguientes elementos principales:

Instalaciones de 66 kV:

- Paño de transformación, BT2.
- Transformador de poder 69/24 kV, Dyn1, 30/40 MVA ONAN/ONAF.

Punto de conexión definido por el Coordinador Electrico Nacional, instalaciones de 23 kV:

- Barra principal de 23 kV.
 - Destinada a la llegada de 2 circuitos de aerogeneradores del Parque Eólico La Flor.

El diagrama unilineal de la subestación se muestra a continuación [/4/].

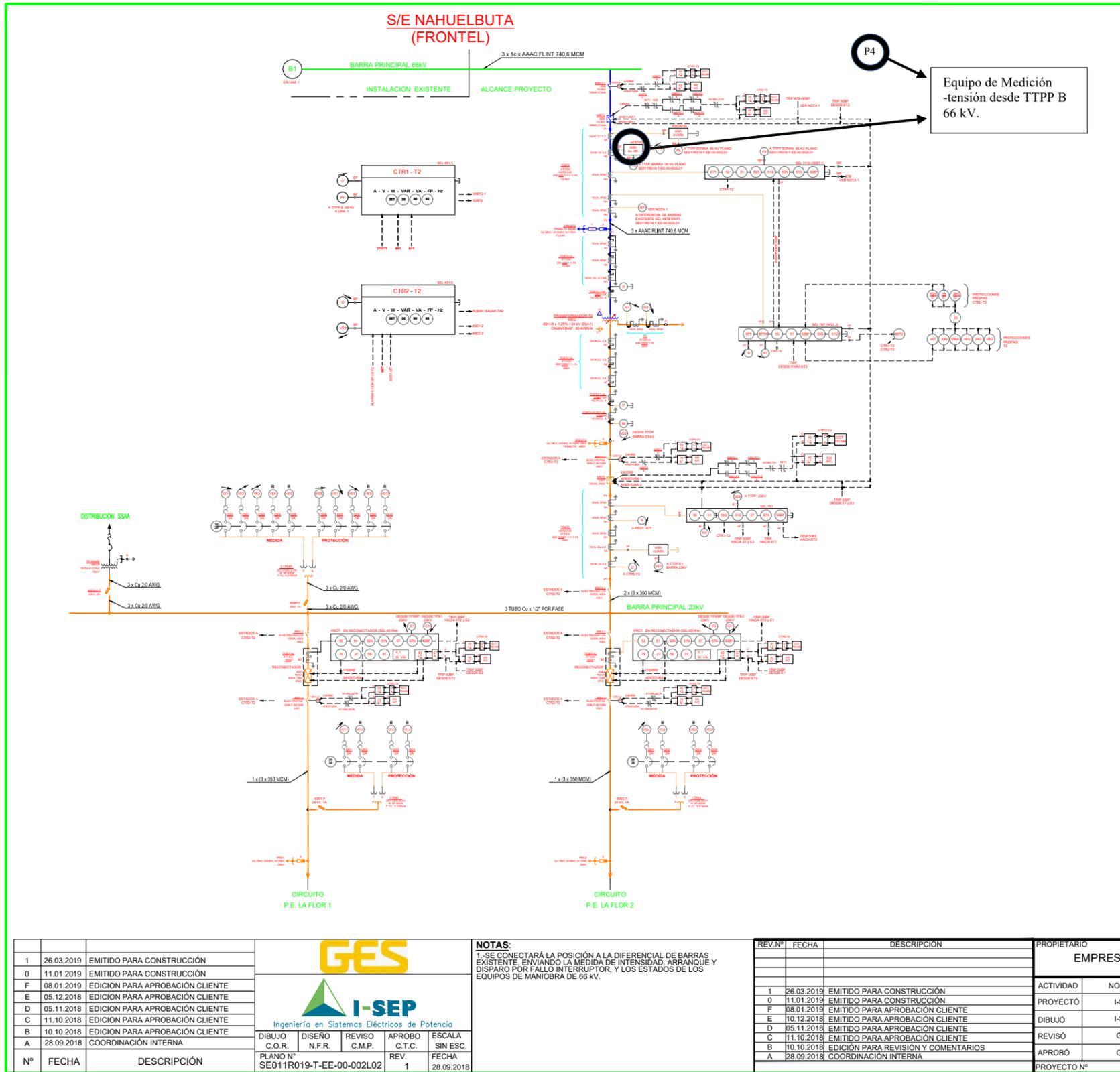


Figura 1: Diagrama unilineal de la Subestación Nahuelbuta.

2.2 Transformador de Poder.

Se considerarán los datos de placa del transformador para considerar las pérdidas de potencia activa asociadas:

Parámetro	Transformador
Potencia nominal [MVA]	30/40
Régimen de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje nominal [kV]	69/24
Cambiador de tap (lado AT)	$\pm 8 \times 1,25$ %
Corriente nominal baja tensión [A]	721,7/962,3
Conexión	Dyndl
Impedancia de secuencia positiva, tap central [%]	12,12
Impedancia de secuencia cero, tap central [%]	12,00
Pérdidas en carga [kW]	243,28
Corriente de vacío [%]	0,046
Pérdidas en vacío [kW]	14,63

Tabla 1: Parámetros del transformador de poder T2, Subestación Nahuelbuta.

Los datos de placa y pruebas se detallan en anexo [/5/].

2.3 Aerogenerador Vestas V136-3.45 PO1.

El Parque Eólico La Flor está compuesto por 9 aerogeneradores Vestas modelo V136-3.45 PO1, de 3.600 [kW] de potencia activa nominal, totalizando una potencia total de 32,4 [MW].

Todos los aerogeneradores del proyecto son de idénticas características, siendo de tecnología máquina asincrónica de con rotor de jaula, un transformador de unidad de 23/0,65 kV 4.000kVA, distribuidos en 2 circuitos de media tensión al interior del parque.

Las características principales se indican a continuación:

Parámetro	Valor
Fabricante	Vestas
Modelo	V136-3.6 MW Power Optimized Mode (PO1)
Diámetro de aspas	136 [m]
Altura de buje	82 [m]
Tensión nominal	650 [V]
Potencia Nominal	3.600 [kW]

Tabla 2: Resumen características aerogeneradores Parque Eólico La Flor.

La disposición de los aerogeneradores en el parque eólico es la siguiente [/6/].

La potencia nominal garantizada es de 3.600 [kW] en los terminales de baja tensión de la unidad.

2.3.1 Transformador de Unidad.

Cada aerogenerador cuenta con un transformador de unidad de dos devanados, con las siguientes características [/7//8/]:

Parámetro	Transformador
Potencia nominal [kVA]	4.000
Régimen de refrigeración	AF
Voltaje nominal [kV]	23/0,65
Cambiador de tap (lado AT)	$\pm 2 \times 2.5\%$
Corriente nominal AT/BT [A]	100,4/3553
Conexión	Dyn5
Impedancia de secuencia positiva [%]	8,79
Impedancia de secuencia cero [%]	7,92
Pérdidas en carga [kW]	31,45
Corriente de vacío [%]	0,33
Pérdidas en vacío [kW]	6,82

Tabla 3: Parámetros del transformador de unidad V136 – 3.6 MWPO1.

2.3.2 Curva de Potencia.

La curva de potencia del aerogenerador entrega valores garantizados de generación (en terminales BT) para una densidad promedio anual de 1,200 kg/m³ [/9/].

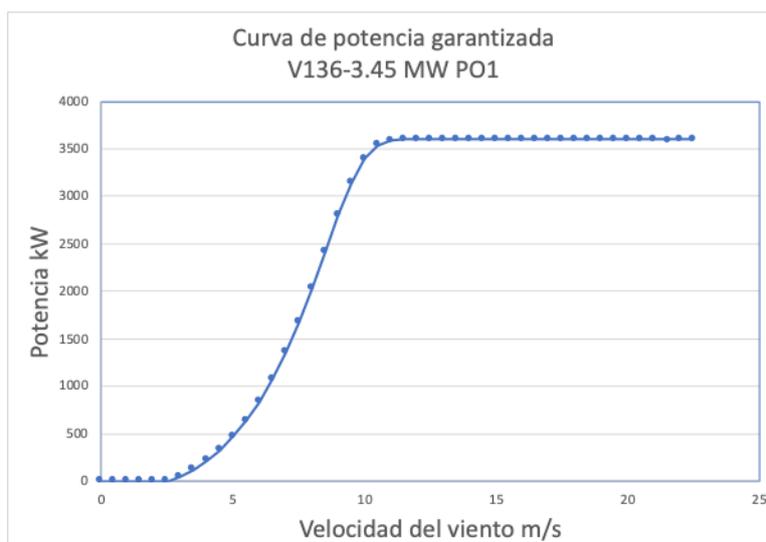


Figura 3: Curva de potencia para aerogenerador V136 – 3.6MW PO1 La Flor.

2.4 Red de Media Tensión.

Los aerogeneradores se distribuyen en una red de 23 kV compuesta de 2 circuitos, el primero está compuesto por 4 aerogeneradores y el segundo por 5, como se ilustra en Figura 4 [/10/]:

Informe Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras

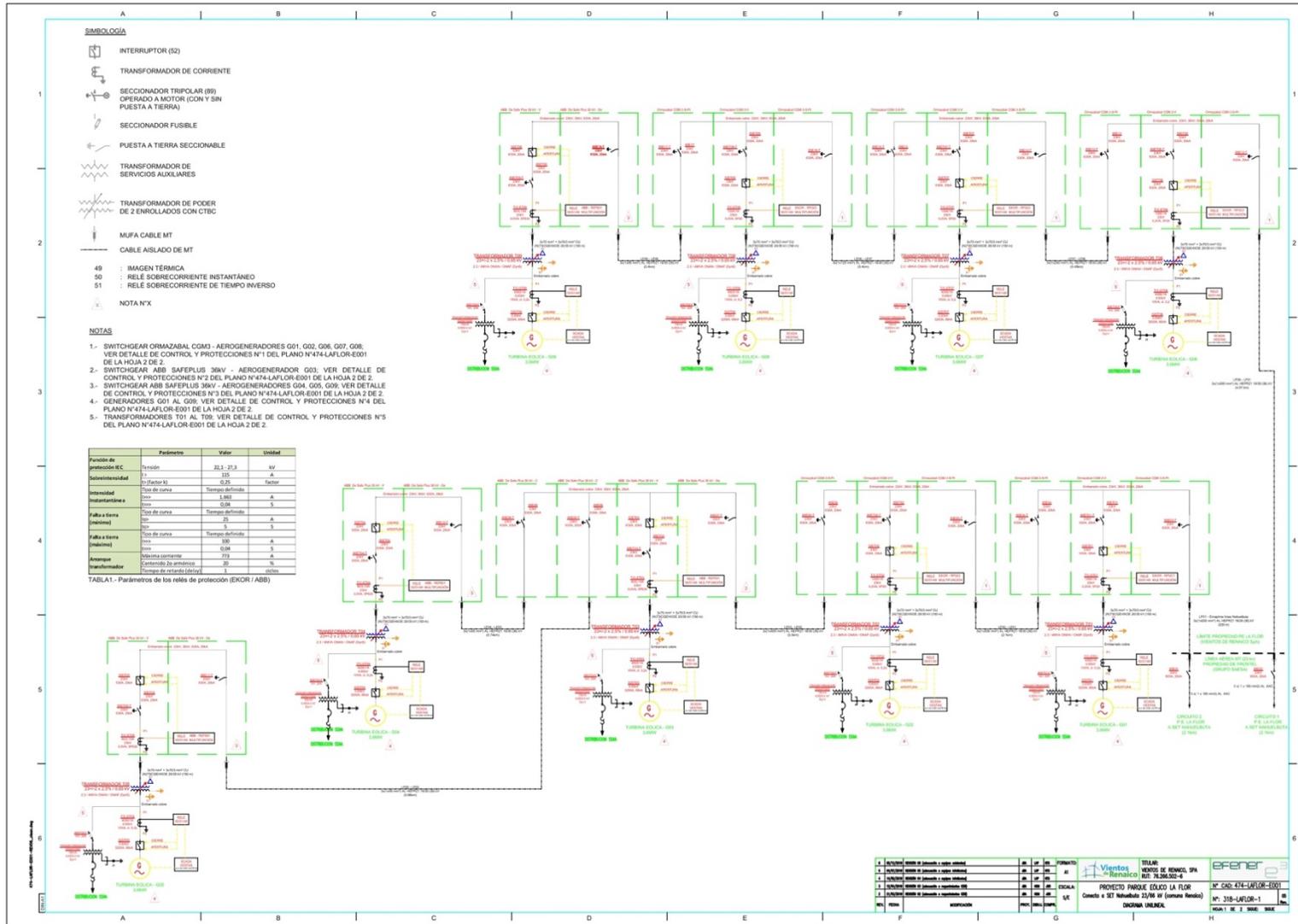


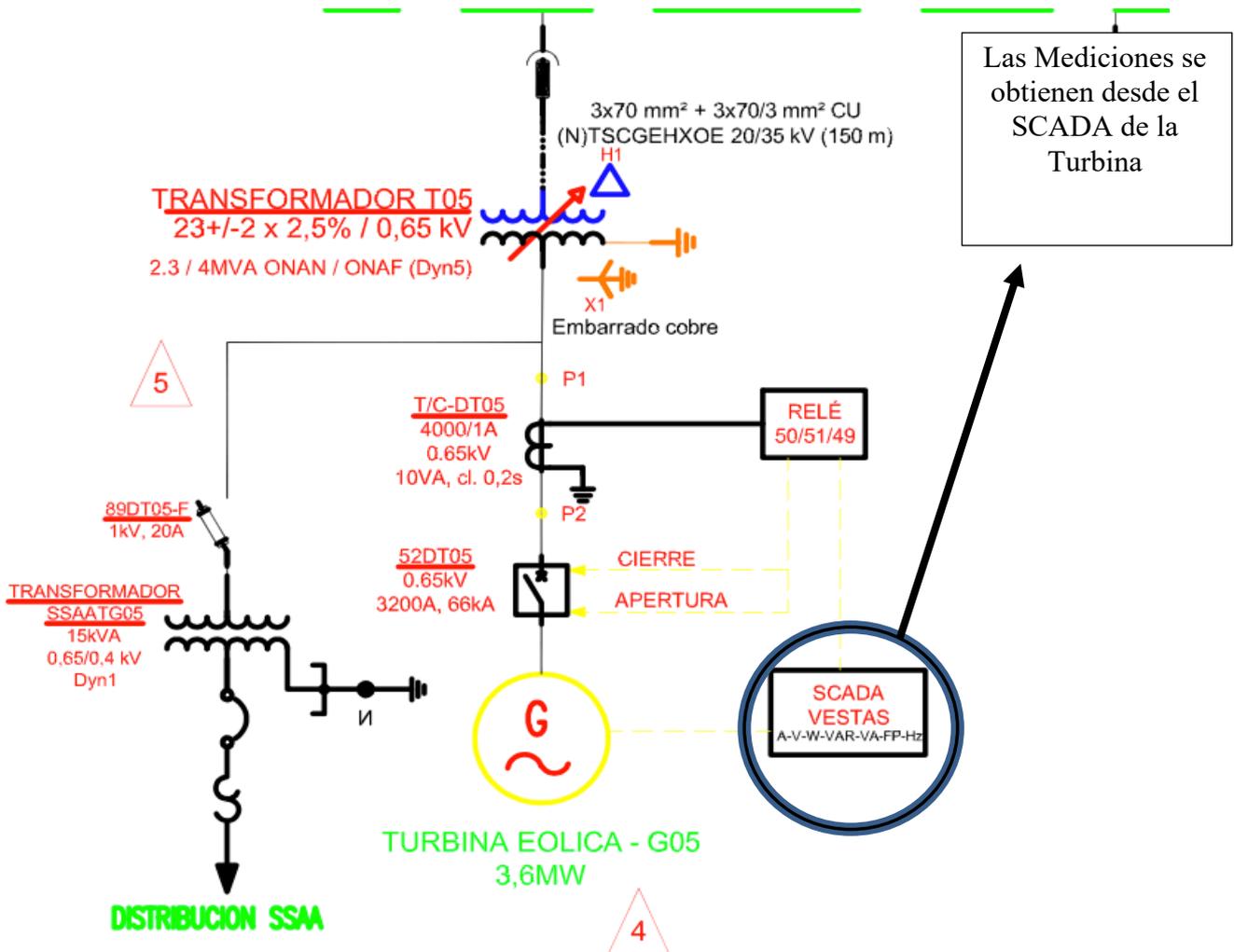
Figura 4: Diagrama unilineal PE La Flor.

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en Anexo [10/] mientras que el set de conductores utilizados se resume en Tabla 4:

Línea	distancia km	Resistencia ohm/km	R ohm
3x(1x95mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,4	0,32	0,128
3x(1x120mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,4	0,206	0,0824
3x(1x240mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,48	0,125	0,06
3x(1x500mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	4,57	0,0605	0,276485
3x(1x185mm ²) AAC	2,1	0,1579	0,33159
3x(1x95mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,74	0,32	0,2368
3x(1x95mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,86	0,32	0,2752
3x(1x400mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,5	0,0778	0,0389
3x(1x500mm ²) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	2,1	0,0605	0,12705
3x(1x185mm ²) AAC	2,1	0,1579	0,33159

Tabla 4: Parámetros conductores en red MT PE La Flor.

Las pérdidas en la red colectora, en condiciones de máxima generación, se determinaron en 618,45 [kW].



Las mediciones de generación de cada turbina se obtienen del sistema SCADA de cada una de ellas, sistema en el cual se realiza el control de las turbinas.

2.5 Servicios Auxiliares de la Subestación.

Los servicios auxiliares correspondientes a la ampliación de la subestación Nahuelbuta [4/] se alimentan desde un transformador de 45 kVA 33/0,4 -0,231 kV. El consumo máximo se estima en función del dimensionamiento de la instalación, el cual considera un máximo de 38,25 kVA.

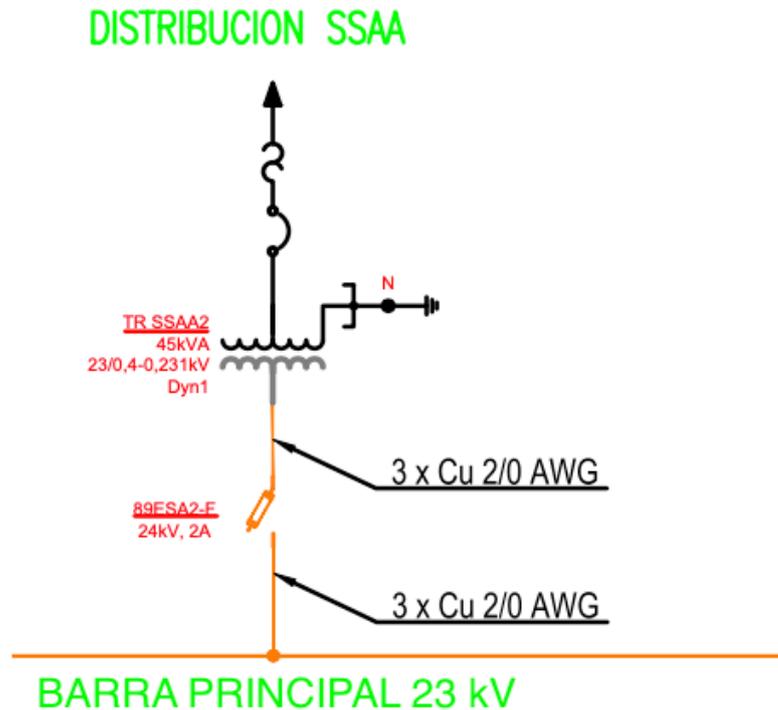


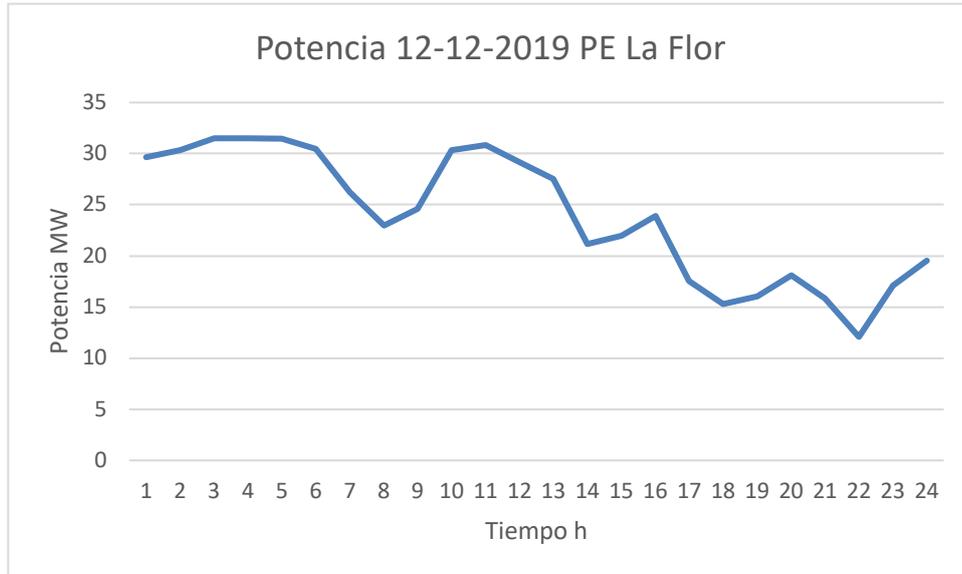
Figura 5: Transformador correspondiente a la ampliación de SSAA de la S/E Nahuelbuta.

3 Determinación de la potencia máxima Parque Eólico La Flor.

3.1 Potencia Máxima Aerogenerador V136 – 3.6MW PO1.

Para determinar la potencia máxima efectiva de las unidades, se observa según los registros históricos durante las pruebas de comisionamiento y puesta en marcha de la central, donde la generación real máxima medida se registro el día 12 de diciembre de 2019, siendo de 31,5 MW en una ventana de dos horas, según [11/], tal como se muestra en el siguiente gráfico:

Informe Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras

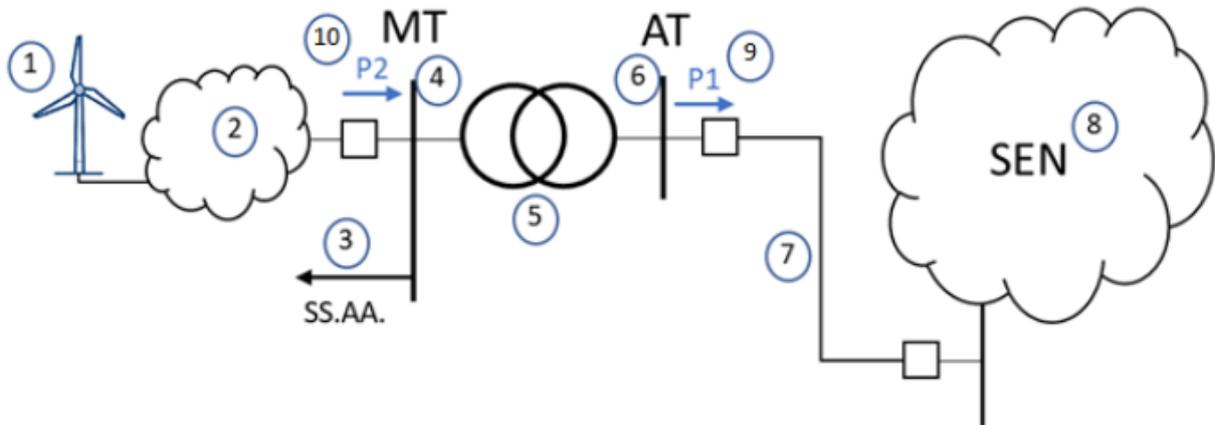


En conclusión, el valor máximo de potencia activa que los generadores pueden entregar, considerando las pérdidas del transformador, el sistema colector y los consumos de SS.AA. es de 31,5 MW en la barra de AT de la Subestación Nahuelbuta.

3.2 Metodología Utilizada.

Se utilizará la metodología descrita en el documento del CEN “Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos”.

Se considerará el siguiente sistema equivalente:



Informe Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras

En donde los componentes se identifican como:

1. Parque Eólico equivalente: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque ERNC.
2. Pérdidas en sistema colector del parque: Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico principalmente en cables de baja y media tensión.
3. Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.
4. Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder.
5. Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque ERNC.
6. Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder.
7. Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque ERNC con el Sistema Eléctrico.
8. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
9. P_1 : Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de 23kV de tensión.
10. P_2 : Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida 66kV.

Posteriormente se definen las siguientes variables:

- a) P_1 : Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) de la central [MW].
- b) P_2 : Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) de la central [MW].
- c) P_{trafo} : Pérdidas activas en el transformador de poder [kW].
- d) SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central [kW].
- e) $P_{colector}$: Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC [kW].

La potencia máxima activa bruta ($P_{maxbruta}$) de la central en 23kV, quedará definido por:

$$P_{maxbruta} = P_1 + SS.AA. + P_{colector} \quad MW$$

Y la potencia máxima activa neta ($P_{maxneta}$) de la central quedará definida por:

$$P_{maxneta} = P_2$$

1.	Máxima potencia aerogeneradores	32,4 [MW]
2.	$P_{colector}$: Pérdidas en el sistema colector	618,45 [kW]
3.	SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	P_2 : Potencia Activa inyectada en la barra 23kV	31,74 [MW]
5.	P_{trafo} : Pérdidas activas en Trans. de Poder	- [kW]
6.	P_1 : Potencia Activa inyectada en la barra 66kV	- [MW]
	$P_{maxbruta}$	32,4 [MW]
	$P_{maxneta}$	31,74 [MW]

Informe Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras

Por otro la potencia máxima activa bruta ($P_{maxbruta}$) en 66kV de la central quedará definido por:

$$P_{maxbruta\ 66kV} = P_1 + P_{trafo} + SS.AA. + P_{colector} \quad MW$$

Y la potencia máxima activa neta ($P_{maxneta}$) de la central quedará definida por:

$$P_{maxneta} = P_1$$

1.	Máxima potencia aerogeneradores	32,4 [MW]
2.	$P_{colector}$: Pérdidas en el sistema colector	618,45 [kW]
3.	SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	P_2 : Potencia Activa inyectada en la barra 23kV	31,74 [MW]
5.	P_{trafo} : Pérdidas activas en Trans. de Poder	243,3 [kW]
6.	P_1 : Potencia Activa inyectada en la barra AT 66kV	31,5 [MW]
	$P_{maxbruta}$	32,4 [MW]
	$P_{maxneta}$	31,5 [MW]

A continuación, se informan la capacidad de generación del parque con un solo aerogenerador en funcionamiento:

1.	Máximo Técnico Aerogenerador	3.600 [kW]
2.	$P_{colector}$: Pérdidas en el sistema colector	68,7 [kW]
3.	SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	P_2 : Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	3.493 [kW]
5.	P_{trafo} : Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	243,3 [kW]
6.	P_1 : Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	3.250 [kW]
	Máximo Técnico de la unidad	3,25 [MW]

4 Conclusiones.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “ANEXO TÉCNICO: PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA EN UNIDADES GENERADORAS”, datos técnicos de la **ensayos de equipos asociados, se establecen las siguientes conclusiones para el punto de conexión en 23kV del proyecto bajo NUP 318**, respecto a la potencia máxima del Parque Eólico La Flor:

- **La potencia máxima activa bruta es de 32,4 [MW].**
- **La potencia máxima activa neta que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor es de 31,74 [MW].**
- **Para el caso del máximo técnico de una única unidad 3,25 [MW].**

Por otro lado en base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “ANEXO TÉCNICO: PRUEBAS DE POTENCIA MÁXIMA EN UNIDADES GENERADORAS”, datos técnicos de la subestación y equipos asociados, se establecen las siguientes conclusiones en 66kV:

- La potencia máxima activa bruta es de **32,4 [MW].**
- La potencia máxima activa neta que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor es de **31,5 [MW].**

5 Referencias y Anexos.

	Descripción	Documento	Ver	Fecha
/1/	Norma Técnica de Seguridad y Calidad De Servicio	https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/NTSyCS-Dic2019.pdf	- N/A	Enero 2020.
/2/	Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras	https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/Anexo-NT-Pruebas-de-Potencia-M%C3%A1xima-en-Unidades-Generadoras.pdf	N/A	N/A
/3/	Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos	https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/03/PES-de-UUGG-Aplicaci%C3%B3n-de-Anexos-T%C3%A9cnicos.pdf	N/A	14/02/19
/4/	Diagrama Unilineal SE Nahuelbuta	SE011R019-T-EE-00-002L2-v1 – SE Nahuelbuta - DUL	01	26/03/19
/5/	Datos Transformador de Poder	3022_Datos de placa	N/A	N/A
/6/	Disposición de aerogeneradores PE La Flor	VdR - La Flor - PES - Anexo #04 - 474.01.01.03_Planta General ver 09 aero - 2017-07-12.pdf	01	01/07/17
/7/	Datos transformador de unidad	COOR-611-318-TEST T1	N/A	N/A
/8/	Certificado pruebas transformador de unidad	COOR-611-318-TEST T1	N/A	N/A
/9/	Curva de Potencia V136-3.6MW PO1	COOR-611-318-Garantía de curva de potencia	N/A	N/A
/10/	Diagrama Unilineal Red MT PE La Flor	474-LAFLOR-E001-REV06_clean	6	05/12/19
/11/	Generación real del sistema	Planilla generacion real	N/A	N/A

Informe Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras

Observación DE 02022-20	Modificación
En el documento de la Ref. [1], se indica el valor de potencia bruta teórica 32,4 MW, en base a la potencia nominal de las 9 unidades aerogeneradoras Vestas de 3,6 MW y no el valor correspondiente a los datos de las pruebas efectuadas. Dado lo anterior, se solicita actualizar el informe, considerando los datos de las pruebas entregadas de manera que los datos sean consistentes, de acuerdo a la siguiente expresión.....	Se modifica en 3,2
Se solicita indicar los puntos de medida en un diagrama unifilar del parque. Específicamente se deben identificar los puntos donde se efectúa la medición de la potencia neta y de SS.AA. Considerar que los puntos de medición de potencia, energía y SS.AA. deben ser iguales a los considerados en el establecimiento del mínimo técnico y la partida y detención del parque.	Se indica en Diagramas unilineales
Incluir registros de datos y gráficos de la operación donde se verifique el comportamiento de los aerogeneradores ya que, como se indica en el artículo 39 del anexo técnico "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras", se requiere que el valor de Potencia Máxima deberá ser obtenido en función de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías.	Se indica en 3,1 se incluyen en el anexo 11
Se solicita incorporar el punto donde se controlan e ingresan las consignas de potencia activa del parque.	Se indica en 2,4
Adicionalmente, se solicita entregar la información respecto de la operación de solo un aerogenerador en servicio.	Se incluye en 3,2

Observación	Modificación
<p data-bbox="81 1435 804 1536">En página 14 del informe, se presenta una dualidad en cuando al valor de $P_{maxbruta}$ del parque, de acuerdo a imagen adjunta:</p> <p data-bbox="81 1570 804 1682">En punto 1. se indica 34,2 MW como potencia máxima de aerogeneradores, y al final se observa el $P_{maxbruta}$ 32,74 MW. Favor corregir.</p>	Se corrige en 3.2
En página 15, Conclusiones: corregir de acuerdo a lo indicado en punto anterior.	Se actualiza de acuerdo a 3.2