

Informe Técnico: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras



Parque eólico
Aurora

Doc.-No.: CHL-3.XM-AUR-109-B1

Fecha: 10-10-2019

SENVION
wind energy solutions

Historial de versiones

Versión	Descripción	Preparó	Revisó	Aprobó	Fecha
A	Coord. Interna	D.Herrera	D.Herrera		30.09.2019
B1	Publicación	D.Herrera	D.Herrera	J.Rathje	10.10.2019

Cambios están marcados en gris dentro del documento.

Índice

1	Introducción y Objetivos	4
2	Antecedentes técnicos de diseño	5
2.1	Subestación 220/33 kV Aurora	5
2.2	Transformador de Poder	7
2.3	Aerogenerador Senvion 3.0M122	7
2.3.1	Transformador de Unidad	9
2.3.2	Curva de Potencia	10
2.1	Red de Media Tensión	11
2.2	Servicios Auxiliares de la Subestación	13
3	Determinación de la Potencia Máxima Parque Eólico Aurora	14
3.1	Potencia Máxima Aerogeneradores 3.0M122	14
3.2	Metodología Utilizada	16
4	Conclusiones	18
5	Referencias y Anexos	19

1 Introducción y Objetivos

El objetivo de este informe es determinar la Potencia Máxima del Parque Eólico Aurora de acuerdo al Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras y sus documentos asociados [1//2//3].

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

En los puntos siguientes se describirán los registros de operación, supuestos utilizados, metodologías, alcances de la aplicación de estas metodologías y conclusiones bajo los cuales se estableció el valor de Potencia Máxima.

2 Antecedentes técnicos de diseño

2.1 Subestación 220/33 kV Aurora

La subestación del Parque Eólico Aurora se compone de los siguientes elementos principales:

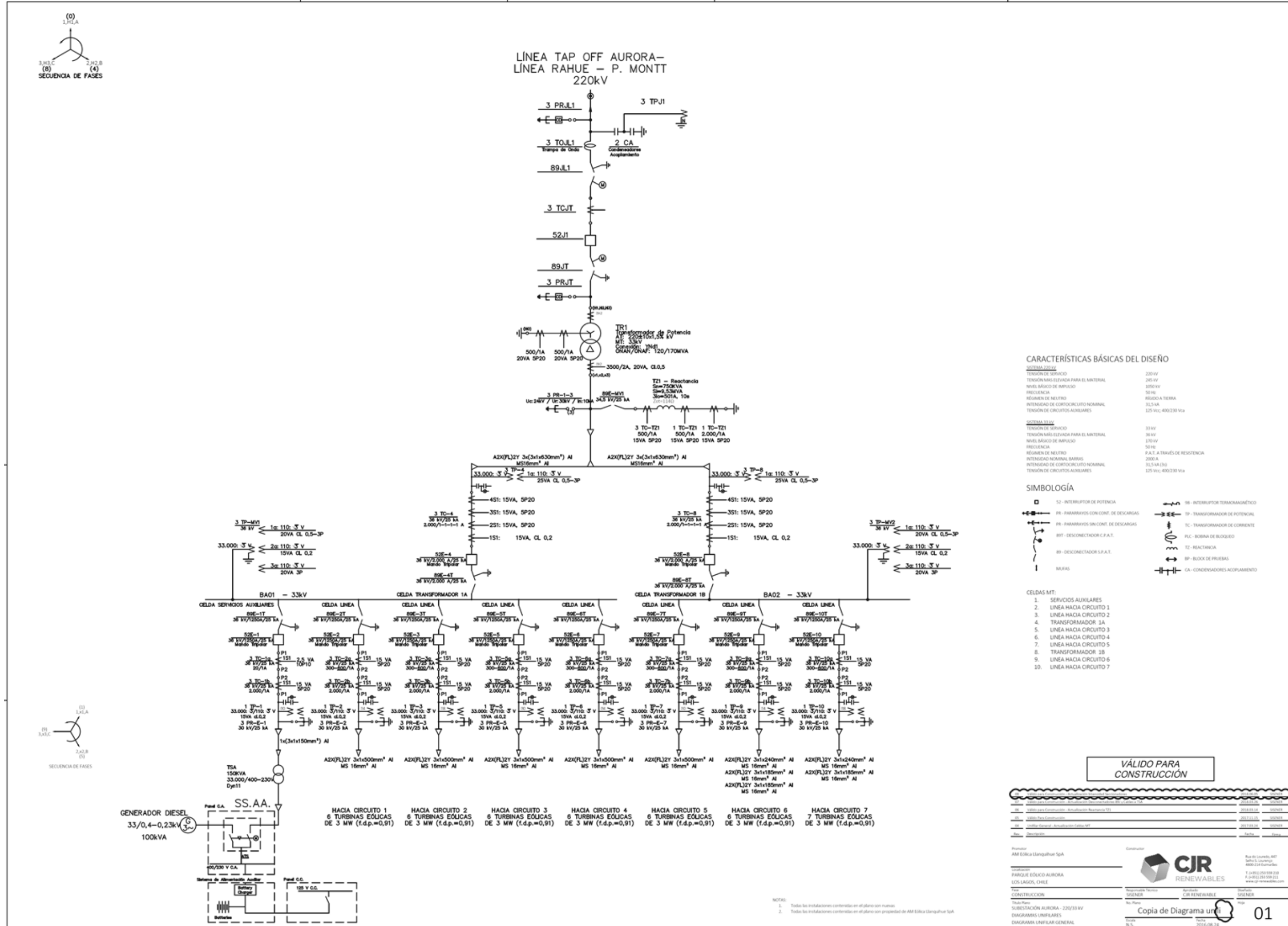
Instalaciones de 220kV:

- Paño de Línea, J1
- Transformador de poder 220/33kV conexión YNd1, potencia de 120/170 MVA ONAN/ONAF

Instalaciones de 33kV:

- Barra principal de 33kV de dos secciones sin acoplamiento:
 - Barra de 33kV - sección 1 con seis celdas: Una destinada a servicios auxiliares, cuatro destinadas a circuitos de aerogeneradores y una celda de salida al transformador de poder
 - Barra de 33kV - sección 2 con cuatro celdas: Tres para circuitos de aerogeneradores y una celda de salida al transformador de poder
- Transformador de puesta a tierra de 750 kVA, conexión Zig-Zag
- Servicios Auxiliares: Alimentados desde transformador auxiliar de 150kVA 33/0,4kV, conexión DYn11

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



CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL DISEÑO

SISTEMA 220kV	SISTEMA 33kV	
TENSIÓN DE SERVICIO	220 kV	33 kV
TENSIÓN MÁX. ELEVADA PARA EL MATERIAL	240 kV	36 kV
NIVEL BÁSICO DE IMPULSO	350 kV	170 kV
FRECUENCIA	50 Hz	50 Hz
REGÍMEN DE NEUTRO	RESIST. A TIERRA	P.A.T. A TRAVÉS DE RESISTENCIA
INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO NOMINAL	200 kA	31,5 kA (L3)
TENSIÓN DE CIRCUITOS AUXILIARES	125 VCL 400/230 Vca	125 VCL 400/230 Vca

SIMBOLOGÍA

- CELDA M.T.:**
- SERVICIOS AUXILIARES
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 1
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 2
 - TRANSFORMADOR 1A
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 3
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 4
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 5
 - TRANSFORMADOR 1B
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 6
 - LÍNEA HACIA CIRCUITO 7

VÁLIDO PARA CONSTRUCCIÓN

AM Eólica Clamphour SpA

CJR RENEWABLES

PARQUE EÓLICO AURORA
SCL LAGOS, CHILE

CONSTRUCCIÓN
SISENER

Copia de Diagrama unilí

01

Figura 1 - Diagrama Unilíneal Subestación Aurora

2.2 Transformador de Poder

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

Parámetro	Transformador ABB
Potencia nominal [MVA]	120/170
Régimen de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje nominal [kV]	220/33
Cambiador de tap (lado AT)	±10x1,5 %
Corriente nominal [A]	446,13/2974,2
Conexión	YNd1
Impedancia de secuencia positiva [%]	12,95
Impedancia de secuencia cero [%]	12,43
Pérdidas en carga [kW]	464,23
Corriente de vacío [%]	0,06516
Pérdidas en vacío [kW]	59,16

Tabla 1 - Parámetros del transformador de poder - SE Aurora

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

2.3 Aerogenerador Senvion 3.0M122

El Parque Eólico Aurora está compuesto por 43 aerogeneradores Senvion modelo 3.0M122, de 3000 [kW] de potencia activa nominal, totalizando una potencia total de 129[MW].

Todos los aerogeneradores del proyecto son de idénticas características, siendo de tecnología DFIG con un transformador de unidad de tres devanados con tensiones de 33/0,69/0,4 [kV], distribuidos en 7 circuitos de media tensión al interior del parque.

Las características principales se indican a continuación:

Parámetro	Valor
Fabricante	Senvion
Modelo	3.0M122
Diámetro de aspas	122[m]
Altura de buje	93 [m]
Tensión nominal	33.000/950/660 [V]
Potencia Nominal	3000 [kVA] (en Baja Tensión) 2970 [kW] (en Media Tensión)

Tabla 2 - Resumen características aerogeneradores del Parque Eólico

El diagrama unilineal del aerogenerador es el siguiente [/6/]:

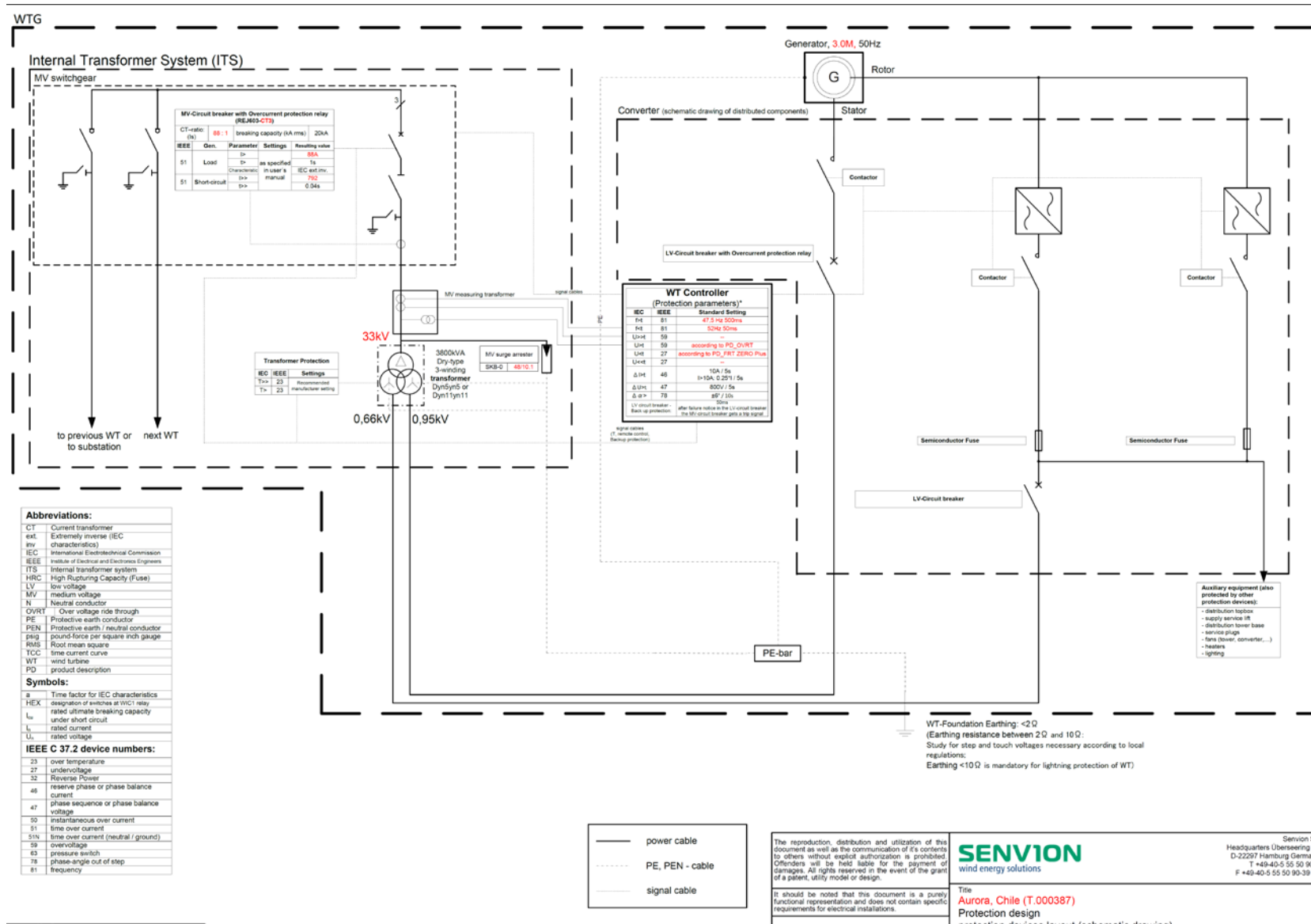


Figura 2 - Diagrama Unilineal Aerogenerador 3.0M122

La medición de potencia se realiza en el lado de media tensión del aerogenerador, en la salida del transformador de unidad. La potencia nominal garantizada es de 2970 [kVA] en los terminales de media tensión de la unidad, la que considera las pérdidas en el transformador.

2.3.1 Transformador de Unidad

Cada aerogenerador cuenta con un transformador de unidad de tres devanados, con los siguientes características [7/,/8/]

Parámetro	Transformador WTG 3.40M122
Potencia nominal [kVA]	3300/3800
Régimen de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje nominal [kV]	33/0,95/0,66
Cambiador de tap (lado AT)	±2x2.5%
Corriente nominal [A]	66,5/2022,6/651,1
Conexión	Dyn5yn5
Impedancia de secuencia positiva [%]	7,92
Impedancia de secuencia cero [%]	7,92
Pérdidas en carga [kW]	25,282
Corriente de vacío [%]	0,159
Pérdidas en vacío [kW]	5,155

Tabla 3 - Parámetros del transformador de unidad 3.0M122

2.3.2 Curva de Potencia

La curva de potencia del aerogenerador entrega valores garantizados de generación (en terminales MT) en función de la densidad del aire [/9]:

Wind speed (at hub height) v [m/s]	Electrical power P [kW]							
	1.06 kg/m ³	1.09 kg/m ³	1.12 kg/m ³	1.15 kg/m ³	1.18 kg/m ³	1.21 kg/m ³	1.24 kg/m ³	1.27 kg/m ³
3	18	20	21	23	25	26	29	33
4	128	133	139	144	149	154	161	169
5	305	316	327	337	348	358	371	386
6	570	590	609	628	647	666	688	714
7	945	979	1011	1043	1075	1106	1139	1175
8	1412	1457	1501	1544	1587	1629	1673	1718
9	1937	1992	2047	2101	2153	2205	2254	2299
10	2458	2513	2567	2620	2672	2724	2759	2778
11	2825	2848	2871	2893	2915	2937	2950	2955
11.5	2919	2943	2952	2957	2962	2968	2970	2970
12	2962	2968	2970	2970	2970	2970	2970	2970
13 - 22	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970	2970

Tabla 4 - Potencia activa en función de la velocidad y densidad de viento. 3.0M122

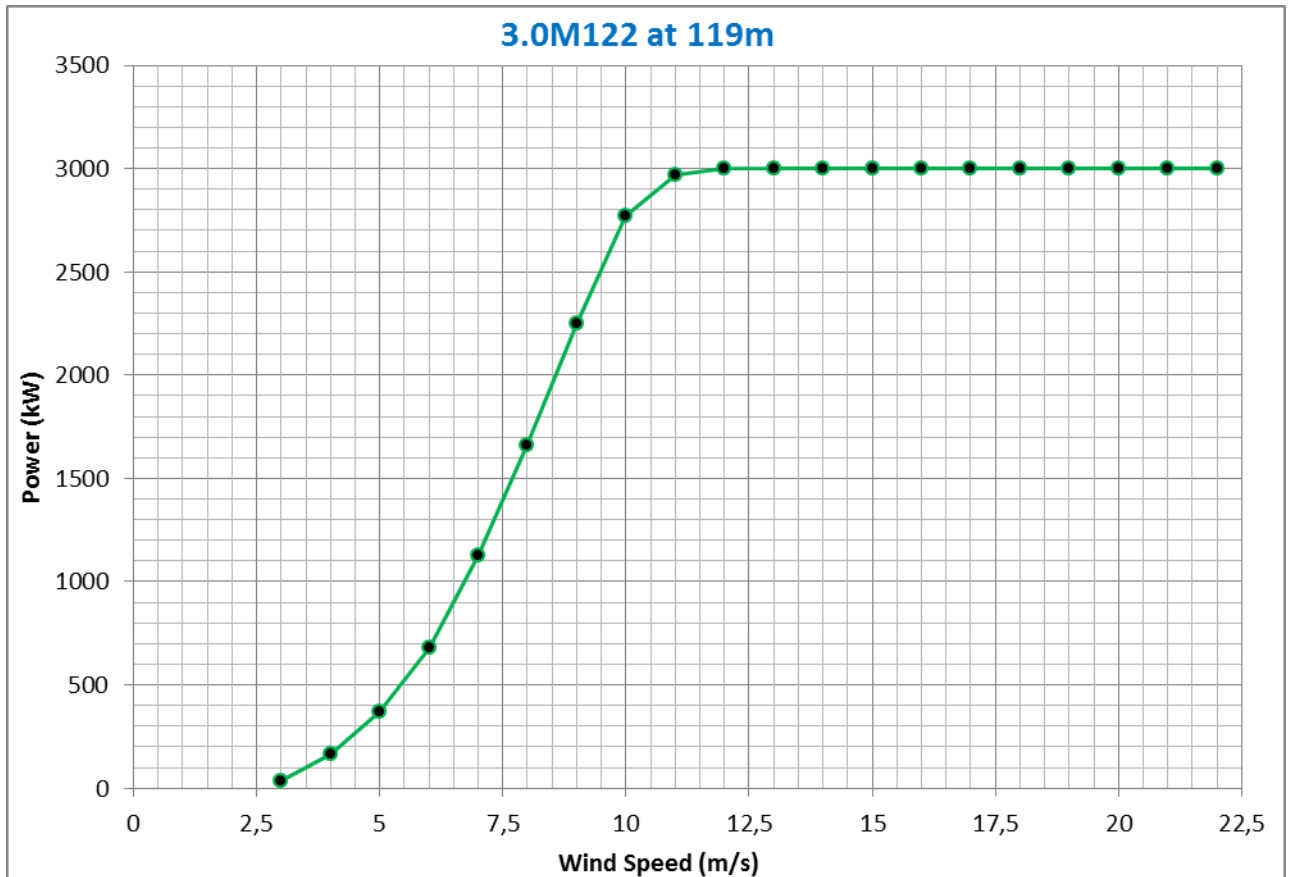


Figura 3- Curva de Potencia para Aerogenerador 3.0M122 - PE Aurora

2.1 Red de Media Tensión

Los aerogeneradores se distribuyen en una red de 33kV compuesta de 7 circuitos como se ilustra en Figura 4 y Figura 5 [10/]:

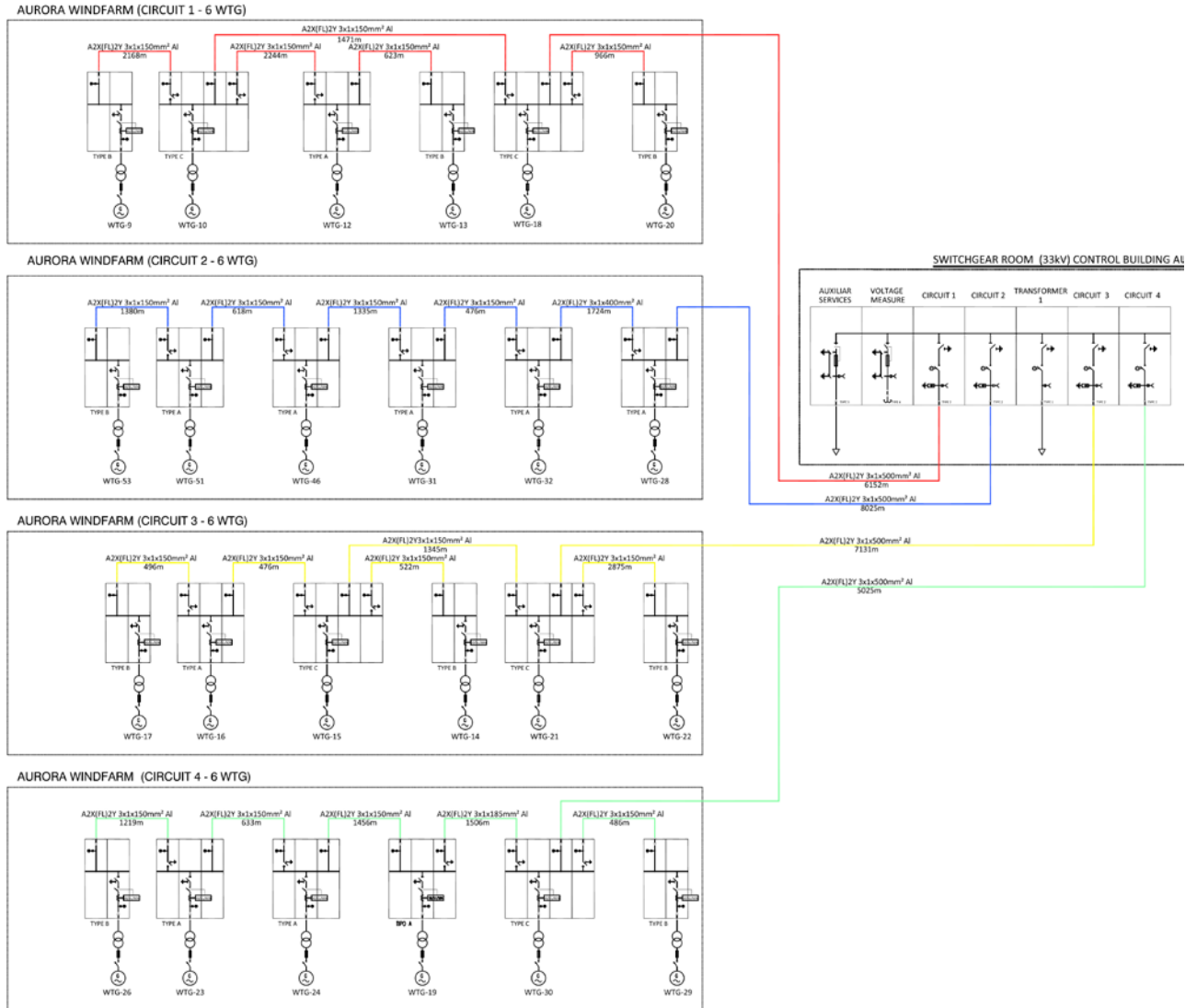


Figura 4: Diagrama Unilineal PE Aurora - Circuitos 1 al 4

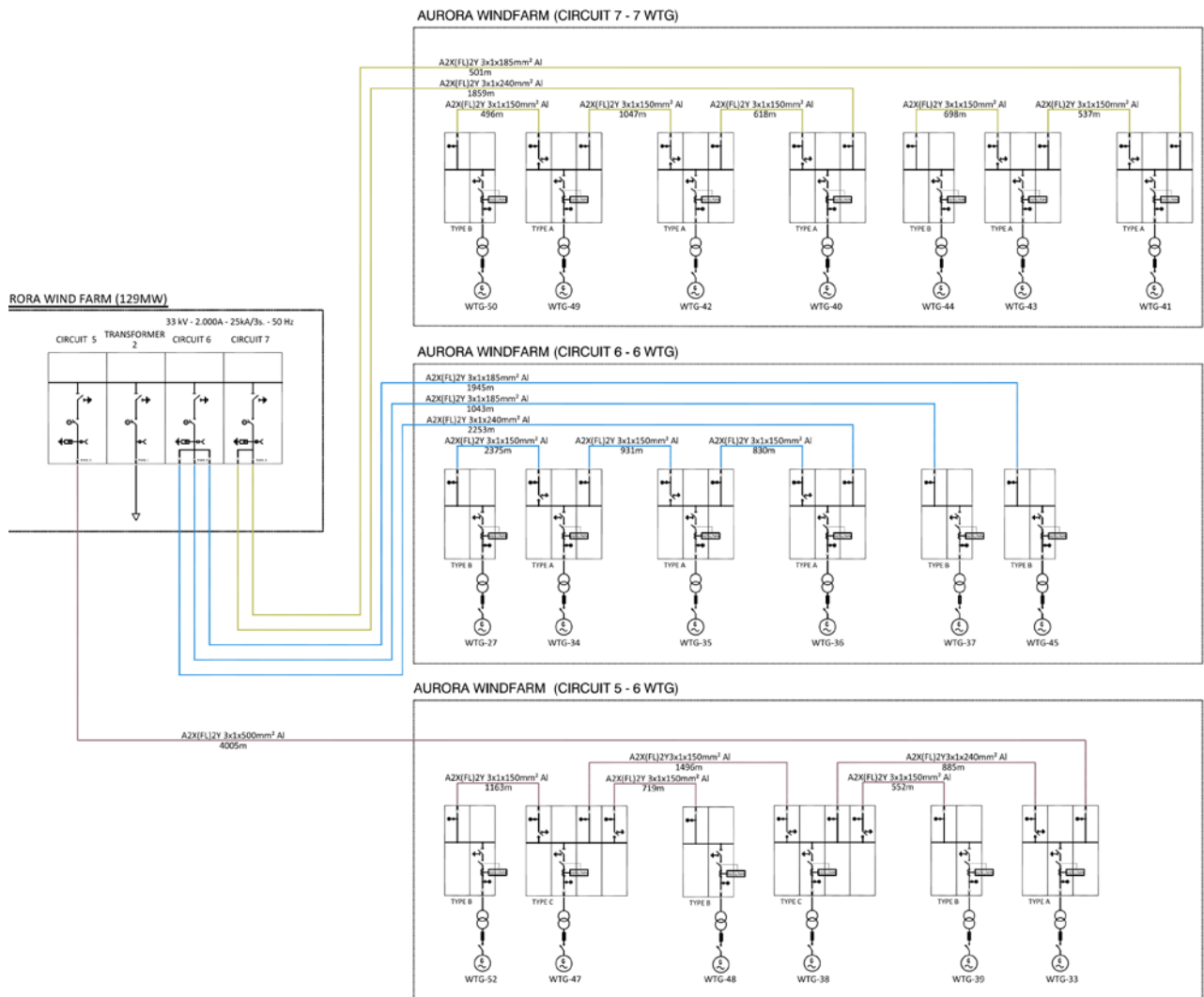


Figura 5: Diagrama Unilineal PE Aurora - Circuitos 5 al 7

A partir del modelo del parque eólico utilizado en los estudios de impacto sistémico [11/] se actualizaron los datos de potencia máxima y pérdidas, se incluyeron los consumos de SSAA y se ejecutó un flujo de potencia en condiciones de máxima generación para determinar las pérdidas en la red media tensión[13/].

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en Anexo [12/], mientras que el set de conductores utilizados se resume en Tabla 5:

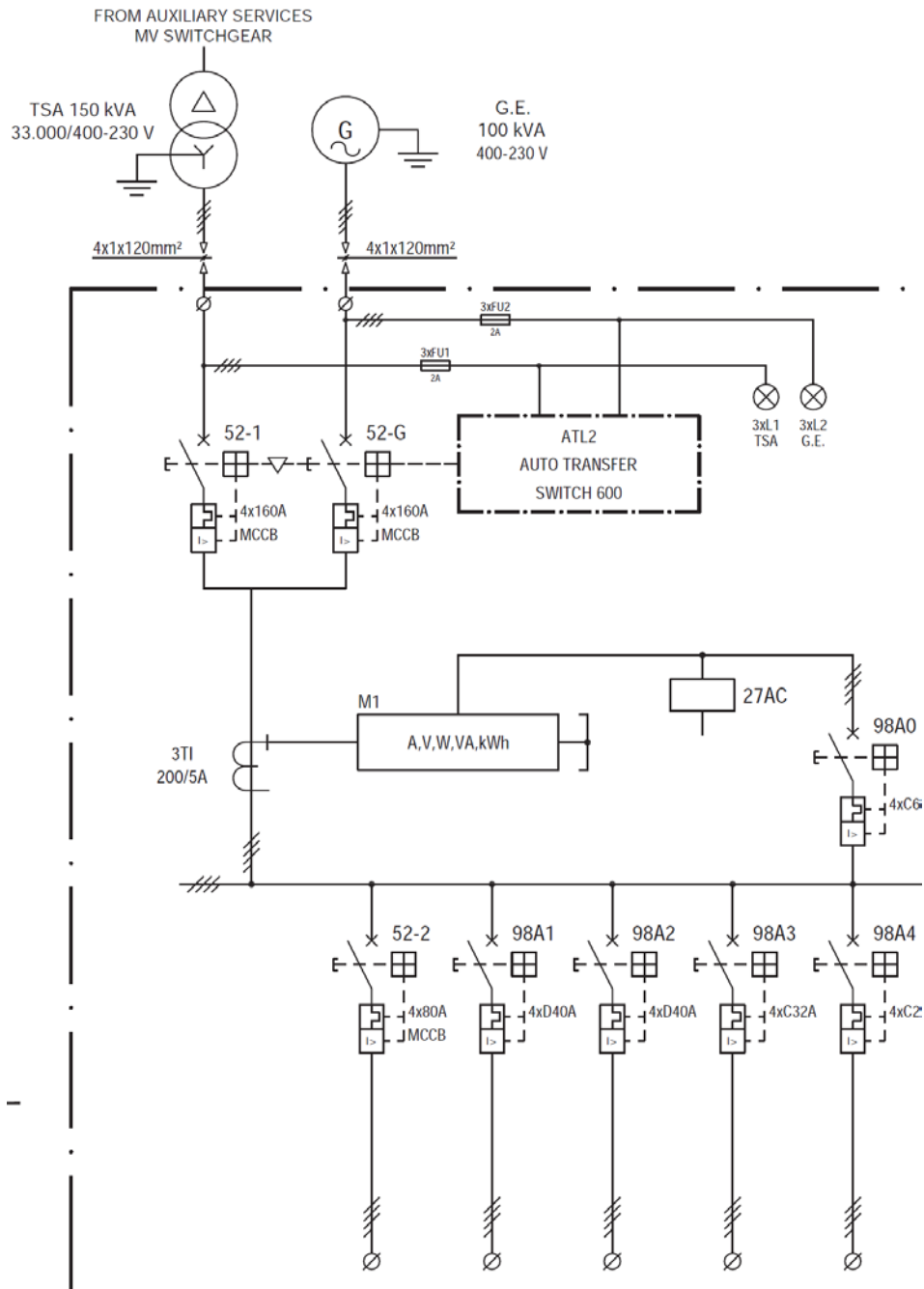
Líneas	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	B1 [uS/km]	B0 [uS/km]
3x150 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1841	0,1181	1,1069	0,7010	55,2294	55,2294
3x185 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1412	0,1133	1,0408	0,6481	60,6195	60,6195
3x240 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1130	0,1096	0,9904	0,6031	65,7016	65,7016
3x400 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,0670	0,1017	0,8810	0,4961	80,2704	80,2704
3x500 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,0513	0,0957	0,8282	0,4417	89,4677	89,4677
3x630 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,0444	0,0957	0,7976	0,4125	95,2288	95,2288

Tabla 5 - Parámetros conductores en Red MT PE Aurora

Las pérdidas en la red colectora se determinaron en 1900,0 [kW]

2.2 Servicios Auxiliares de la Subestación

Los servicios auxiliares [/14/] se alimentan desde un transformador de 150kVA 33/0,4 kV. El consumo máximo se estima en función del dimensionamiento de la instalación, el cual considera un máximo de 96 kVA.



FUNCTION	SUPPLY	O & M BUILDING	BATTERY CHARGER 1 125Vdc	BATTERY CHARGER 2 125Vdc	CONTROL CABINET TR1 & OLTC	SPARE
POWER (VA)	< 96,000	< 45,000	7,200	7,200	6,000	0
T.BLOCK (mm)	120	50	10	10	10	4
WIRES (mm)	4x(1x120)	4x(1x50)	4x10	4x10	4x10	--

Figura 6 - SSAA Subestación 220/33kV PE Aurora

3 Determinación de la Potencia Máxima Parque Eólico Aurora

3.1 Potencia Máxima Aerogeneradores 3.0M122

Si bien la potencia nominal garantizada es de 2970 [kVA] en terminales de salida en media tensión, el aerogenerador es capaz de entregar una potencia máxima levemente mayor y que varía en función del tiempo de muestra.

En generadores eólicos, la práctica de la industria es medir los valores de generación cada 10 minutos, en este caso de acuerdo a las especificaciones del fabricante, se establecen los siguientes valores máximos [15/]:

Measurement and assessment of power quality characteristics of the grid connected Wind Turbine of the type 3.0M122 according to parts of the IEC 61400-21 Edition 2.0

Type:	3.0M122	Manufacture's specification:	
Manufacturer:	Senvion SE Überseering 10 22297 Hamburg Germany T +49-40-5 55 50 90-0 F +49-40-5 55 50 90-39-99 www.senvion.com	Generic type of installation:	Pitch, double fed asynchronous
		Rated frequency [Hz]:	50
		Rated Power P_n [kW]:	2970
		Rated wind speed v_n [m/s]:	11,5
		Rated apparent power S_n [kVA]:	2970
		Rated current I_n [A]: (*)	86
		Rated voltage U_n [V]: (*)	20000

(*) Values apply for the standard power factor $\cos \varphi = 1$. The value of the rated voltage may vary within a range from 10 kV to 36 kV. The rated current depends on the rated voltage.

Maximum measured power (**)

P_{600} [kW]	3008,3	P_{60} [kW]	3038,7	$P_{0,2}$ [kW]	3239,0
$p_{600} = P_{600}/P_n$	1,01	$p_{60} = P_{60}/P_n$	1,02	$p_{0,2} = P_{0,2}/P_n$	1,09

(**) Values apply for the standard power factor $\cos \varphi = 1$.

Tabla 6 - Valores Máximos Garantizados en Aerogenerador 3.0M122

Para el caso de 10 minutos, la potencia P_{600} para una unidad corresponde a 3008,3 [kW].

Por otra parte para determinar la potencia máxima efectiva de las unidades instaladas en el parque eólico se considerarán los registros históricos de generación de las 43 turbinas. En anexo [16/] se encuentra el detalle de mediciones diezminutales desde el 1 de Agosto hasta el 09 de Octubre de 2019. En Tabla 7 de indican los valores máximos registrados para cada unidad, que representan el valor medio de la potencia activa generada, durante un lapso de 10 minutos.

En conclusión, el valor máximo de potencia activa de cada aerogenerador, medido en sus terminales de media tensión oscila entre 3004,15[kW] y 2999,24 [kW], mientras que la potencia activa máxima que todos los aerogeneradores pueden entregar, considerando las pérdidas del transformador interno es de 129,07 [MW] en terminales de media tensión.

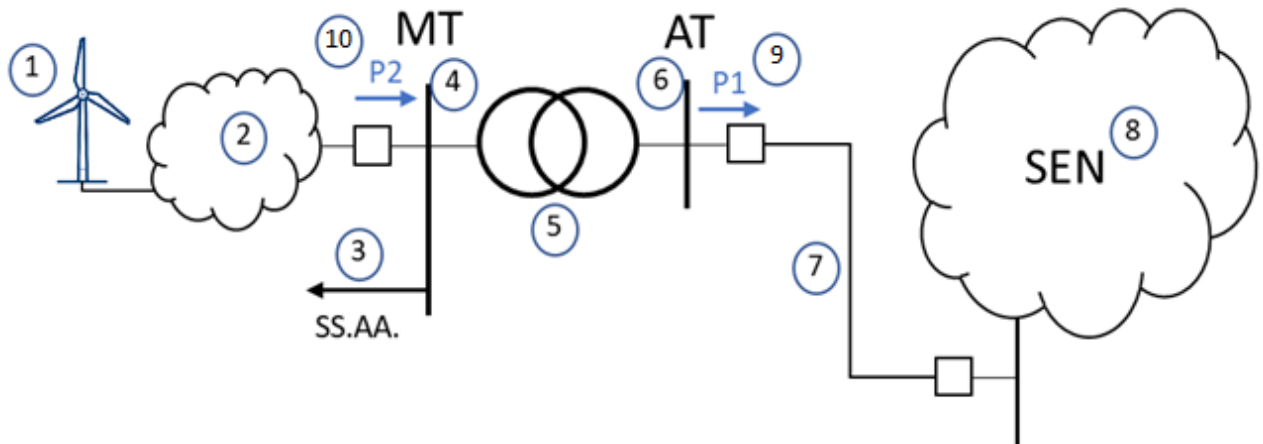
N°	WTG	Pmáx [kW]
1	Aurora WEC 21	3001,88
2	Aurora WEC 22	3001,45
3	Aurora WEC 12	3002,09
4	Aurora WEC 13	3002,03
5	Aurora WEC 35	3001,87
6	Aurora WEC 46	3001,37
7	Aurora WEC 16	3001,05
8	Aurora WEC 53	3001,98
9	Aurora WEC 18	3001,57
10	Aurora WEC 19	3001,40
11	Aurora WEC 49	3002,13
12	Aurora WEC 17	3001,03
13	Aurora WEC 15	3002,03
14	Aurora WEC 23	3001,70
15	Aurora WEC 24	3001,46
16	Aurora WEC 26	3001,03
17	Aurora WEC 27	3000,28
18	Aurora WEC 28	3000,93
19	Aurora WEC 29	3000,84
20	Aurora WEC 30	3001,95
21	Aurora WEC 31	3001,52
22	Aurora WEC 32	2999,24
23	Aurora WEC 14	2999,61
24	Aurora WEC 34	3002,49
25	Aurora WEC 51	3001,43
26	Aurora WEC 37	3001,19
27	Aurora WEC 38	3002,46
28	Aurora WEC 39	3001,38
29	Aurora WEC 41	3001,72
30	Aurora WEC 40	3002,21
31	Aurora WEC 36	3001,26
32	Aurora WEC 42	3001,40
33	Aurora WEC 43	3004,15
34	Aurora WEC 44	3001,22
35	Aurora WEC 45	3003,01
36	Aurora WEC 10	3002,00
37	Aurora WEC 47	3001,39
38	Aurora WEC 48	3001,79
39	Aurora WEC 20	3002,32
40	Aurora WEC 50	3002,95
41	Aurora WEC 09	3000,28
42	Aurora WEC 52	3001,08
43	Aurora WEC 33	3001,11
Total AURORA [MW]		129,07

Tabla 7 - Valores medidos de Potencia Activa máxima

3.2 Metodología Utilizada

Se utilizarán los registros operacionales para determinar la potencia máxima histórica de cada unidad generadora, luego 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:



En donde los componentes se identifican como:

1. Parque Eólico equivalente: Corresponderá al aporte máximo histórico de cada unidad de aerogenerador que compone el parque.
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 de la central.
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 de la central.
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. P1: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de alta tensión de su subestación de salida.
10. P2: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida.

Posteriormente se definen las siguientes variables:

- a) P1: Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) de la central [MW].
- b) P2: Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) de la central [MW].
- c) Ptrafo: Pérdidas activas en el transformador de poder de la central [kW].
- d) SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central [kW].
- e) Pcolector: Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC [kW].

Finalmente, la Potencia Máxima Activa Bruta (PMax bruta) de la central quedará definida por:

$$PMax\ bruta = P1 + Ptrafo + SS.AA. + Pcolector \text{ ó}$$

$$PMax\ bruta = P2 + Pcolector$$

Y la Potencia Máxima Activa Neta (PMax neta) de la central quedará definida por:

$$PMax\ neta = P1 + o PMax\ neta = P2 - SS.AA. - Ptrafo$$

Máxima Potencia Aerogeneradores	129,07	[MW]
Pcolector: Pérdidas en el sistema colector	1900,0	[kW]
SS.AA: Servicios Auxiliares de la central	96	[kW]
P2: Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	127,17	[MW]
Ptrafo: Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	523,39	[kW]
P1: Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	126,55	[MW]
PMax bruta: Potencia Activa Máxima Bruta	129,07	[MW]
PMax neta: Potencia Activa Máxima Neta	126,55	[MW]

4 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”, los registros de operación de los aerogeneradores 3.0M122, datos técnicos de la subestación y equipos asociados, se establecen las siguientes conclusiones respecto a la potencia máxima del Parque Eólico Aurora:

- La potencia máxima activa bruta es de 129,07 [MW]
- La potencia máxima activa neta que es capaz de inyectar el Parque Eólico Aurora es de 126,55[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/2015/06/NTSyCS_May18.pdf		Mayo 2018
/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		
/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	1	14/02/19
/4/	Diagrama Unilineal SE Aurora	CL18-E-DRW-6100-0004-06_Diagrama Unilineal PE Aurora	01	05/06/18
/5/	Datos Transformador de Poder	Datos Transformador de Poder - PE Aurora		
/6/	D.Unilineal Aerogenerador 3.40M122	CL_Aurora_GCE_ProtD_3xM_50Hz	01	31/08/16
/7/	Descripción del sistema de transformación interna WTG 3.XM	PD-3.1-EC.TS.01-A-E-EN-Internal Transformer System [3.XM_50Hz]		31/03/15
/8/	Certificado pruebas transformador de unidad	Test Certificate - 3 Phase cast resin transformer		6/09/16
/9/	Curva de Potencia 3.0M122	GI-3.5-WT.PC.00-A-C-EN Power Curve at Different Air Densities 3.0M122		28/05/15
/10/	Diagrama Unilineal Red MT PE Aurora	CL18-E-DRW-4000-0007-02		10/10/17
/11/	Estudios de Interconexión PE Aurora – Flujos de Potencia	https://pgp.coordinador.cl/irequests/5ab11b9736d9ef58cd78d81e4/EI/ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA EE-2018-IT-016-B.pdf EE-2018-IT-016-B-BD_201800502_1643.pfd	B	2/5/18
/12/	Red MT PE Aurora	Datos Red MT DIgSILENT - PE Aurora		
/13/	Determinación de pérdidas en red MT	13 - Flujo Potencia -DIgSILENT PE Aurora P.max		
/14/	Diagrama Unilineal SSAA SE Aurora	Diagrama unilineal SSAA CA - SSEE Aurora		19/01/17
/15/	Propiedades Eléctricas según IEC61400-21 Ed.2 para 3.0M122	D-3.5-GP.EL.06-A-A Electrical Properties IEC [3.0M122_50Hz]		03/04/14
/16/	Datos diezminutales Potencia Activa WTGs PE Aurora	16 - Historico Potencia Activa 43 WTGs Aurora.xls		