

Informe Técnico: Determinación de Mínimo Técnico Parque Eólico Aurora



Parque eólico
Aurora

Doc.-No.: CHL-3.XM-AUR-107-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 del mínimo técnico Parque Eólico Aurora	14
3.1	Potencia Mínima Aerogenerador 3.0M122	14
3.2	Control de Potencia Reactiva en mínimo técnico con presencia de recurso primario	14
3.3	Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso primario	15
3.4	Potencia Mínima desde Control Conjunto Parque Eólico	15
3.5	Metodología y Cálculo Mínimo Técnico Parque Eólico Aurora	17
4	Conclusiones	19
5	Referencias y Anexos	20

1 Introducción y Objetivos

El objetivo de este informe es determinar el mínimo técnico del Parque Eólico Aurora de acuerdo al Anexo Técnico Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras y sus documentos asociados [1//2//3].

El valor de mínimo técnico será obtenido en función de los antecedentes técnicos del proyecto, recomendaciones del fabricante, registros de operación y otras consideraciones relevantes.

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/]

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/]

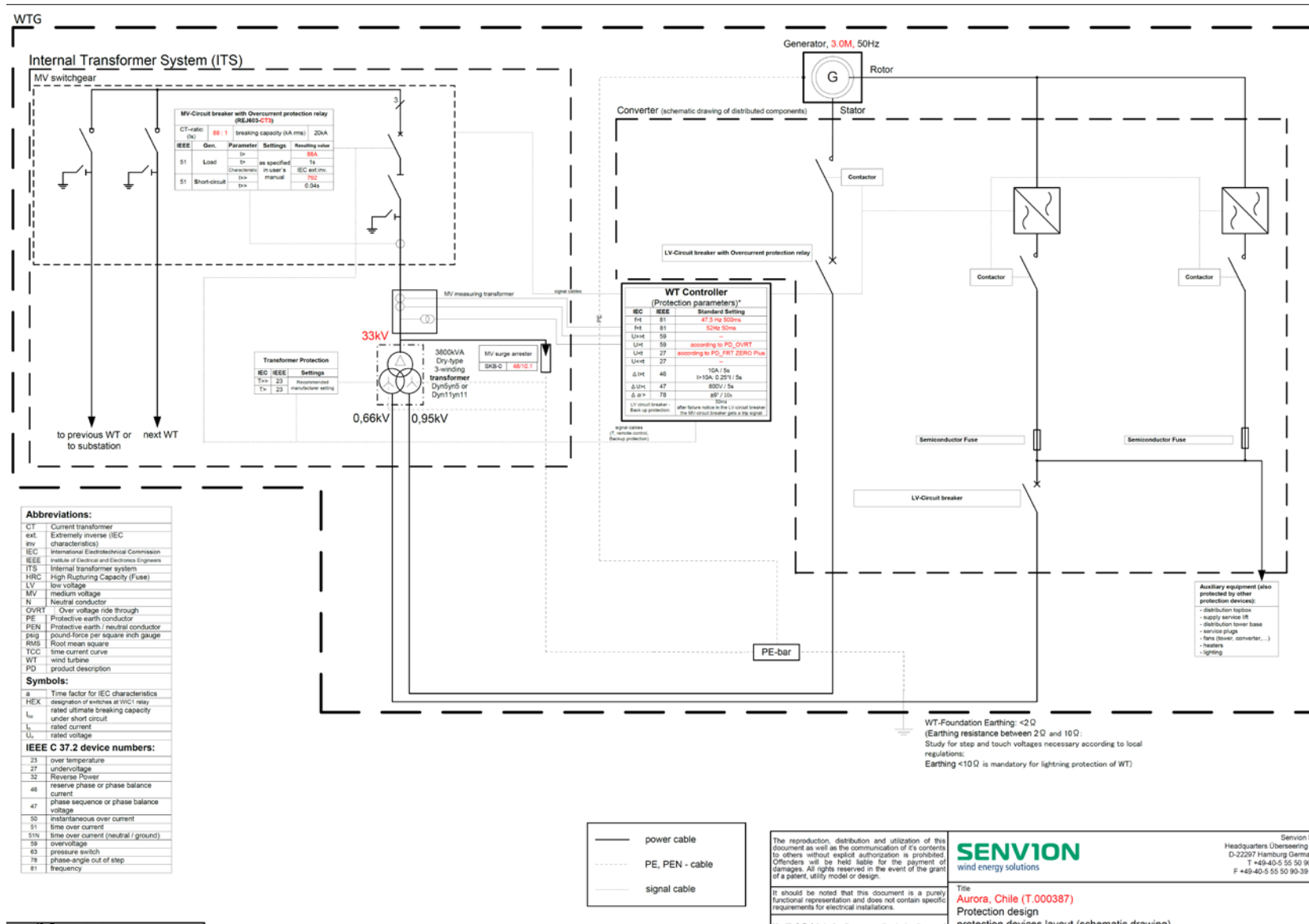


Figura 2 - Diagrama Unilineal Aerogenerador 3.0M122

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

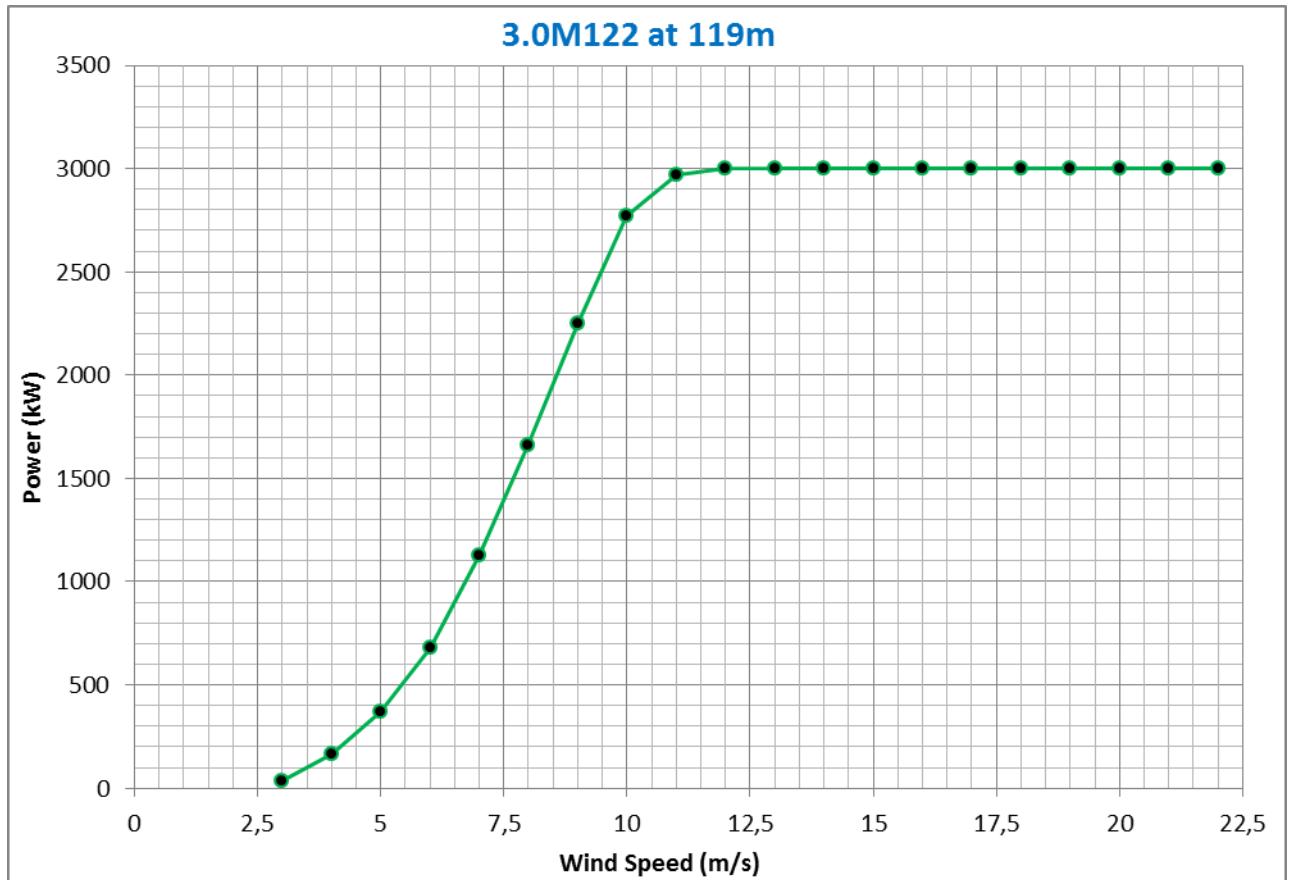


Figura 3- Curva de Potencia para Aerogenerador 3.0M122 - PE Aurora

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/]:

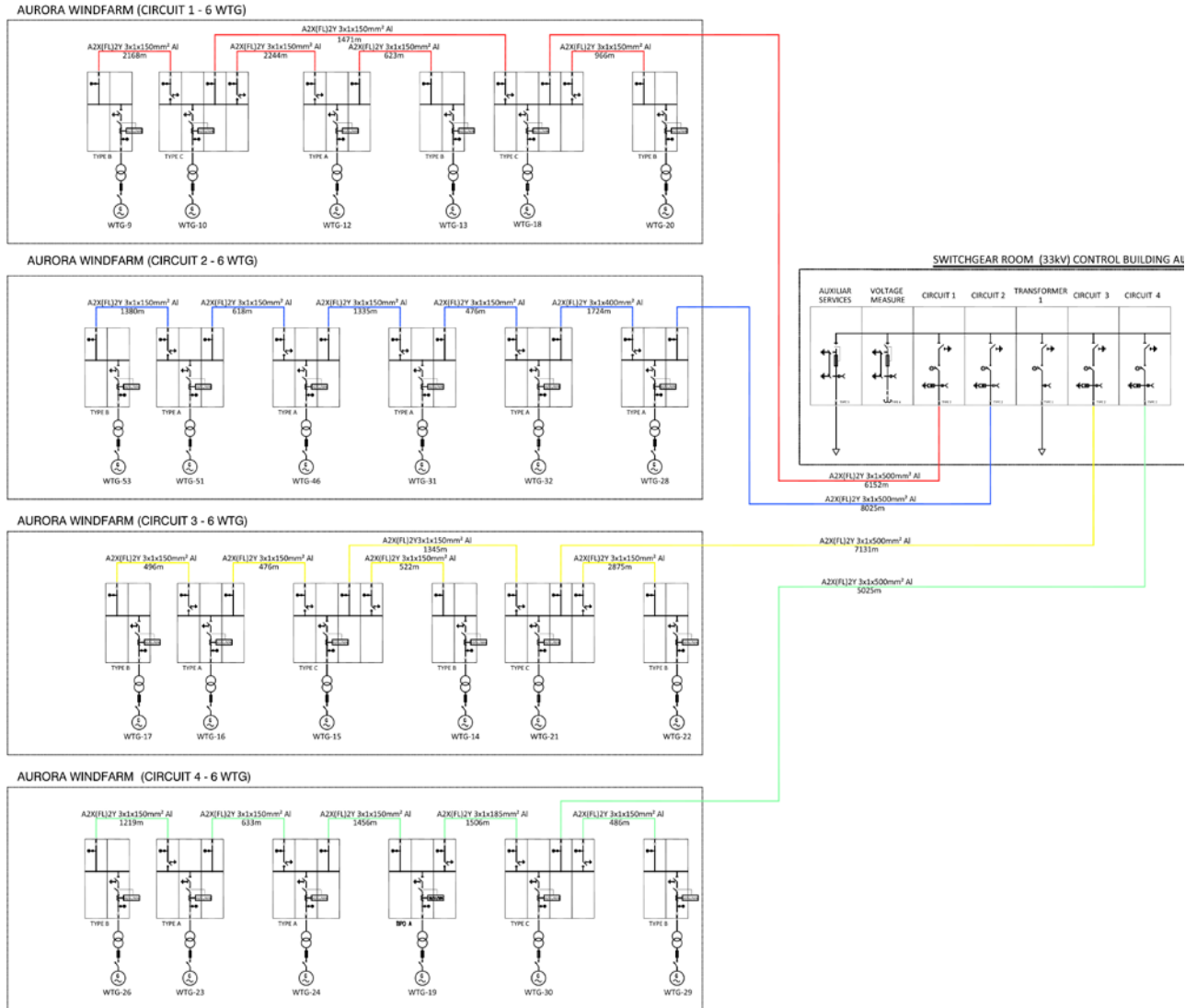


Figura 4: Diagrama Unilineal PE Aurora - Circuitos 1 al 4

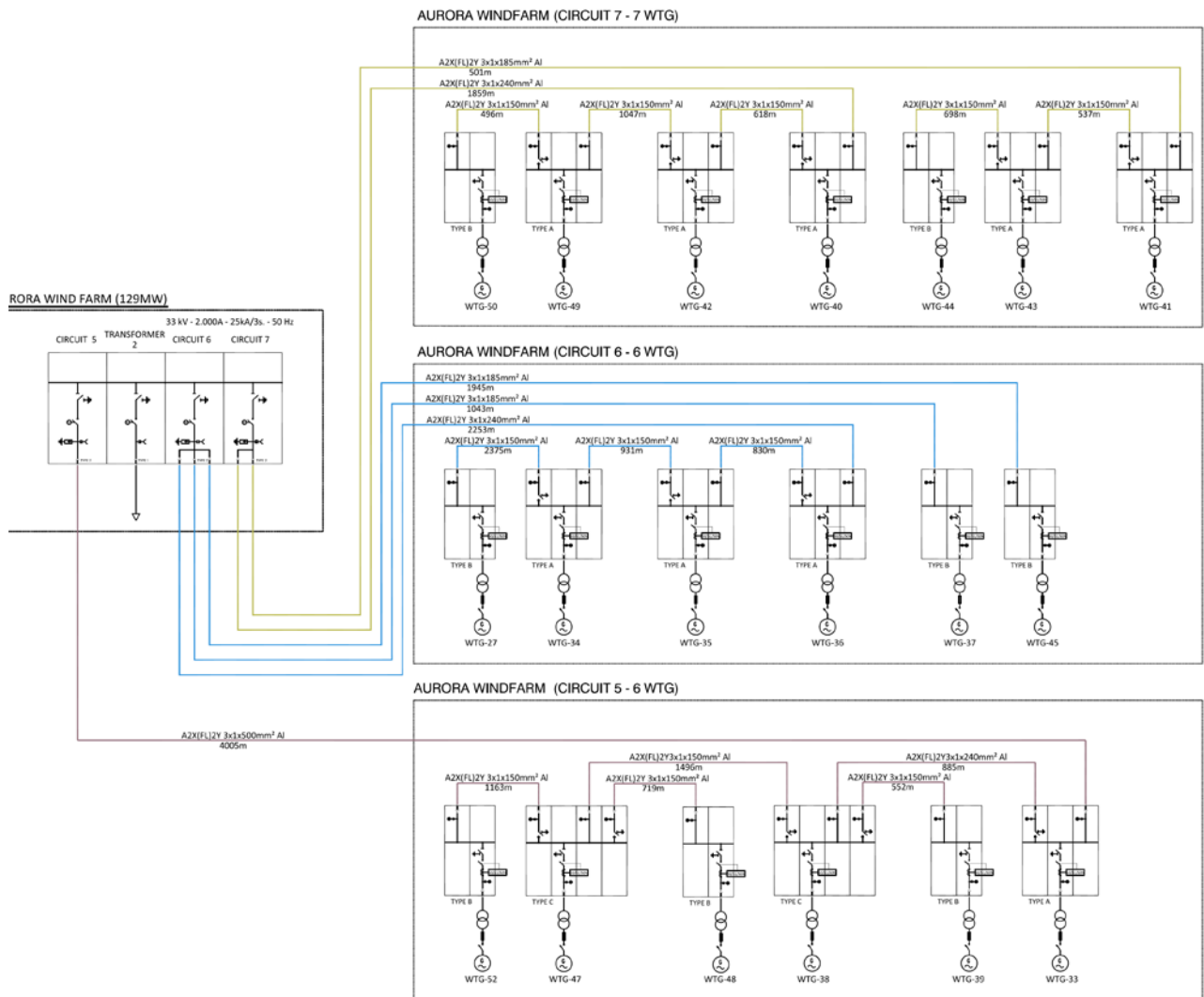


Figura 5: Diagrama Unilineal PE Aurora - Circuitos 5 al 7

A partir del modelo del parque eólico utilizado en los estudios de impacto sistémico [11/] se ejecutó un flujo de potencia en condiciones de mínima generación para determinar las pérdidas en la red media tensión [12/].

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en Anexo [13/] mientras que el set de conductores utilizados se resume en Tabla 5:

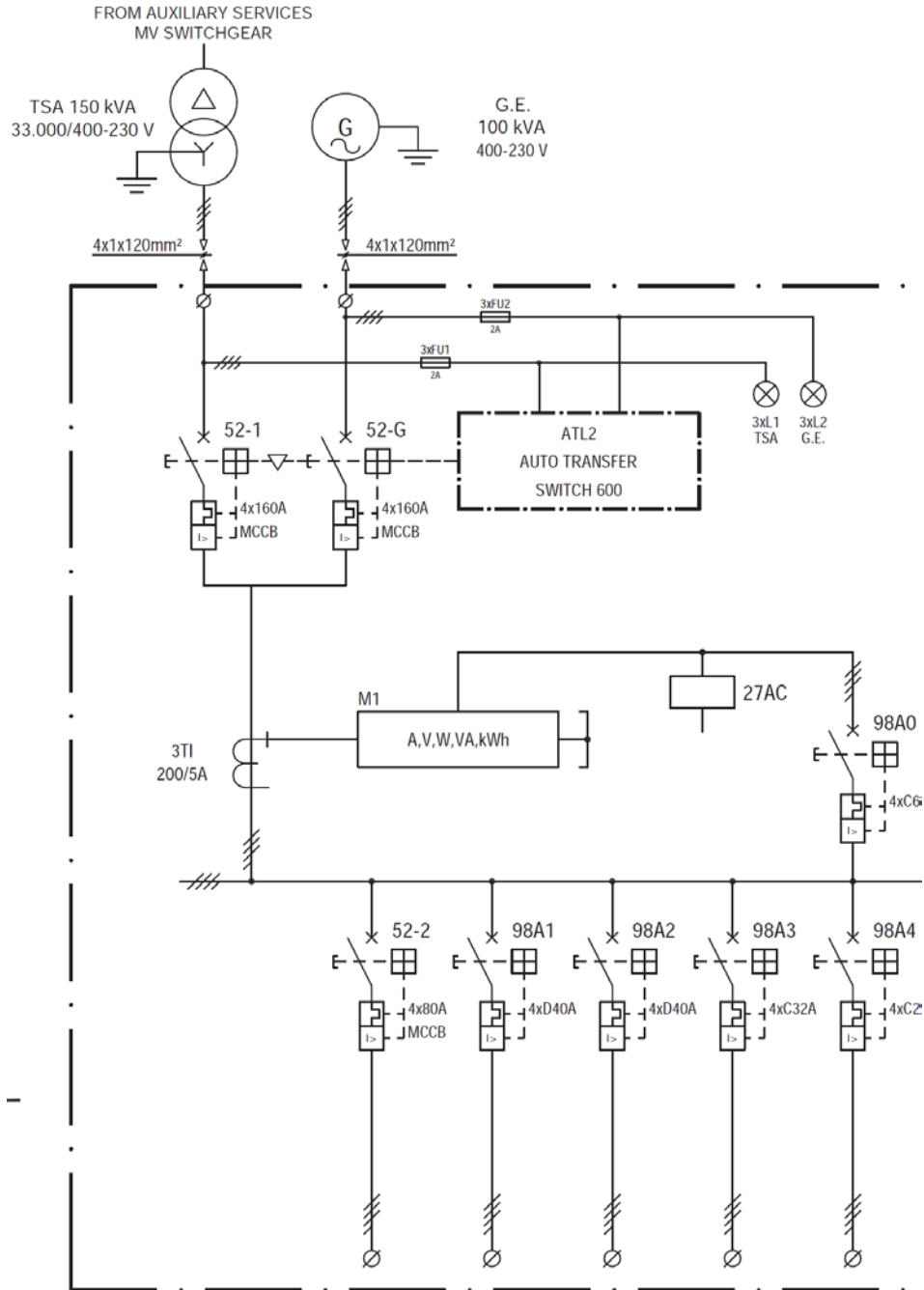
Líneas	R1 [Ω/km]	X1 [Ω/km]	R0 [Ω/km]	X0 [Ω/km]	B1 [uS/km]	B0 [uS/km]
3x150 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1841	0,1181	1,1069	0,7010	55,2294	55,2294
3x185 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1412	0,1133	1,0408	0,6481	60,6195	60,6195
3x240 mm2 A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1130	0,1096	0,9904	0,6031	65,7016	65,7016
3x400 mm2 A2X(FL)2Y 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, en condiciones de mínima generación, se determinaron en 300 [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 del mínimo técnico Parque Eólico Aurora

3.1 Potencia Mínima Aerogenerador 3.0M122

La potencia mínima de funcionamiento en régimen permanente establecida por el fabricante es del 10% de la potencia nominal de cada unidad. Setpoint inferiores en régimen permanente y en condiciones de alto recurso primario, no son permitidos ya que significarían un esfuerzo por sobre las consideraciones de diseño en los sistemas de engranajes, ejes de transmisión de potencia y palas. Para el caso de la unidad 3.0M122 del parque eólico Aurora corresponde a

Parámetro	WTG 3.0M122
Potencia Mínima en lado LV	300 kW
Potencia Mínima en lado MT	297 kW

Tabla 6 - Potencia Mínima Aerogenerador 3.0M122

3.2 Control de Potencia Reactiva en mínimo técnico con presencia de recurso primario

La capacidad de control de reactivos en mínimo técnico, es decir en 10% de la potencia nominal se describe en el documento [15/], para cada aerogenerador los rangos máximos son los siguientes:

- Capacidad de absorción de reactivos, por cada aerogenerador: -1385 [kvar]
- Capacidad de entrega de reactivos, por cada aerogenerador: +1385 [kvar]

Lo anterior se ilustra en el siguiente gráfico:

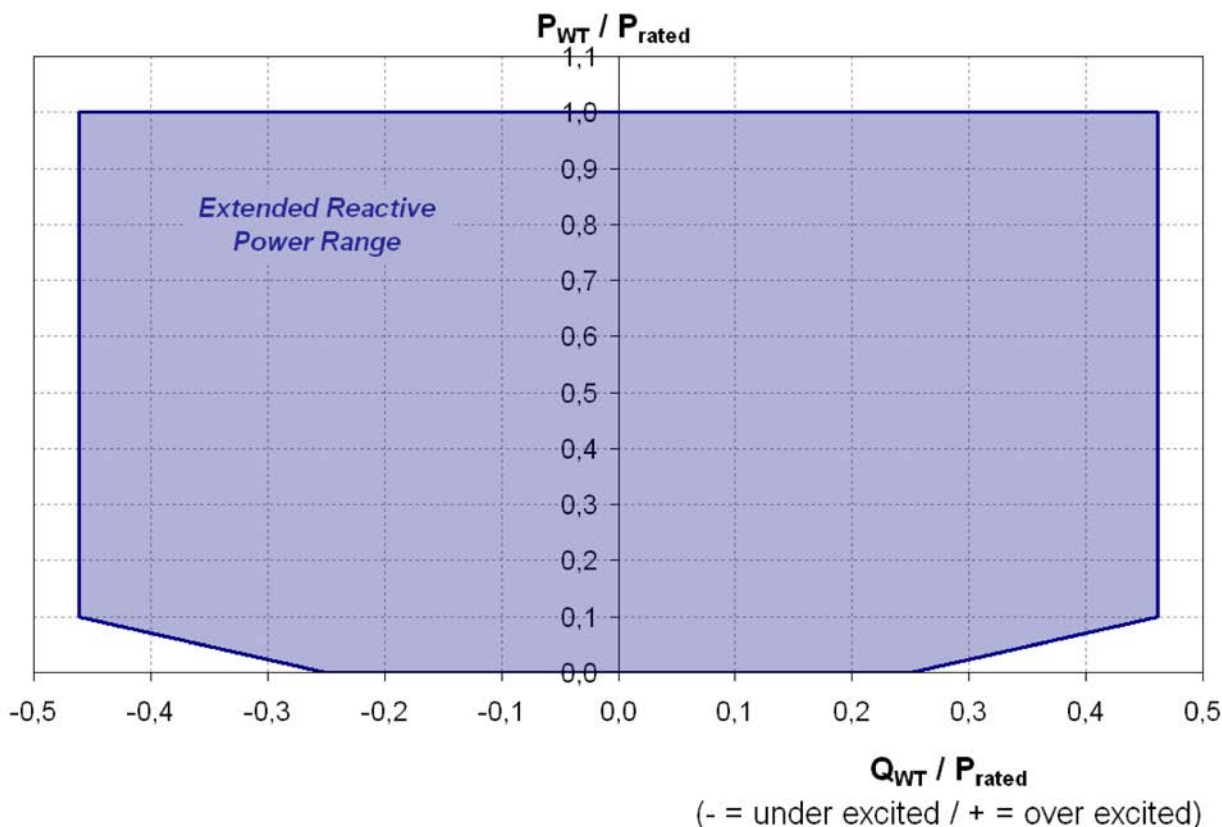


Figura 7 - Curva PQ de Aerogenerador 3.0M122 PE Aurora

A nivel de parque eólico, la capacidad total de las 43 unidades del parque eólico es la siguiente:

- Capacidad de absorción de reactivos, nivel parque: -59,6 [Mvar]
- Capacidad de entrega de reactivos, nivel parque +59,6 [Mvar]

Los consumos internos de cada unidad son variables en función de las condiciones ambientales y viento disponible, y se pueden estimar en un valor medio de 40[kW]. Los valores anteriores de potencia activa y reactiva ya consideran estos valores, ya que la curva se informa en terminales de media tensión del aerogenerador.

3.3 Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso primario

Las unidades del Parque Eólico Aurora no están habilitadas para entregar o absorber potencia reactiva en condiciones de ausencia de recurso primario (*standstill*). El consumo interno de cada unidad estará en torno a 40 [kW], lo que a nivel parque de 43 unidades es un consumo total de 1720 [kW]

3.4 Potencia Mínima desde Control Conjunto Parque Eólico

El controlador a nivel de parque eólico corresponde al equipo PMU (*Power Management Unit*), el cual permite controlar a todos los aerogeneradores en las variables de potencia activa y reactiva.

El valor de potencia mínima del parque en su conjunto corresponderá al 10% de la potencia nominal. La justificación es debido a que cada unidad puede operar a un mínimo de 10% de su potencia nominal.

En función del setpoint o consigna ingresada al controlador del parque, se tendrán tres estados de operación:

Rango del Setpoint	Valor procesado en PMU para consigna a aerogeneradores	Estado de Operación Aerogeneradores
Entre 0 y 4,99%	0%	Se desconectarán todos los aerogeneradores. La desconexión de aerogeneradores es secuencial y progresiva cada 30 [s]
Entre 5.00 y 9,99%	10%	Se apagarán algunos aerogeneradores para controlar el parque en 10% de la potencia nominal
Sobre o igual a 10,00%	Mismo valor que consigna	Todos los aerogeneradores permanecen conectados y disponibles. El setpoint de 10% corresponde al mínimo técnico.

En Figura 8 [16/, /17/]se registra la operación a mínimo técnico: Con el parque operando a un nivel de 30 [MW] (23% Pnom), se ingresa un setpoint de 10% de potencia activa y se registra el comportamiento. En rojo corresponde a la potencia activa, en cian la velocidad del viento promedio del parque y en azul la consigna ingresada.

El valor de 12,9 [MW] corresponde al mínimo técnico ya que corresponde a la consigna con el cual el parque en su conjunto puede operar en forma permanente, segura y estable, e inyectando energía al sistema de forma continua.

Snapshot

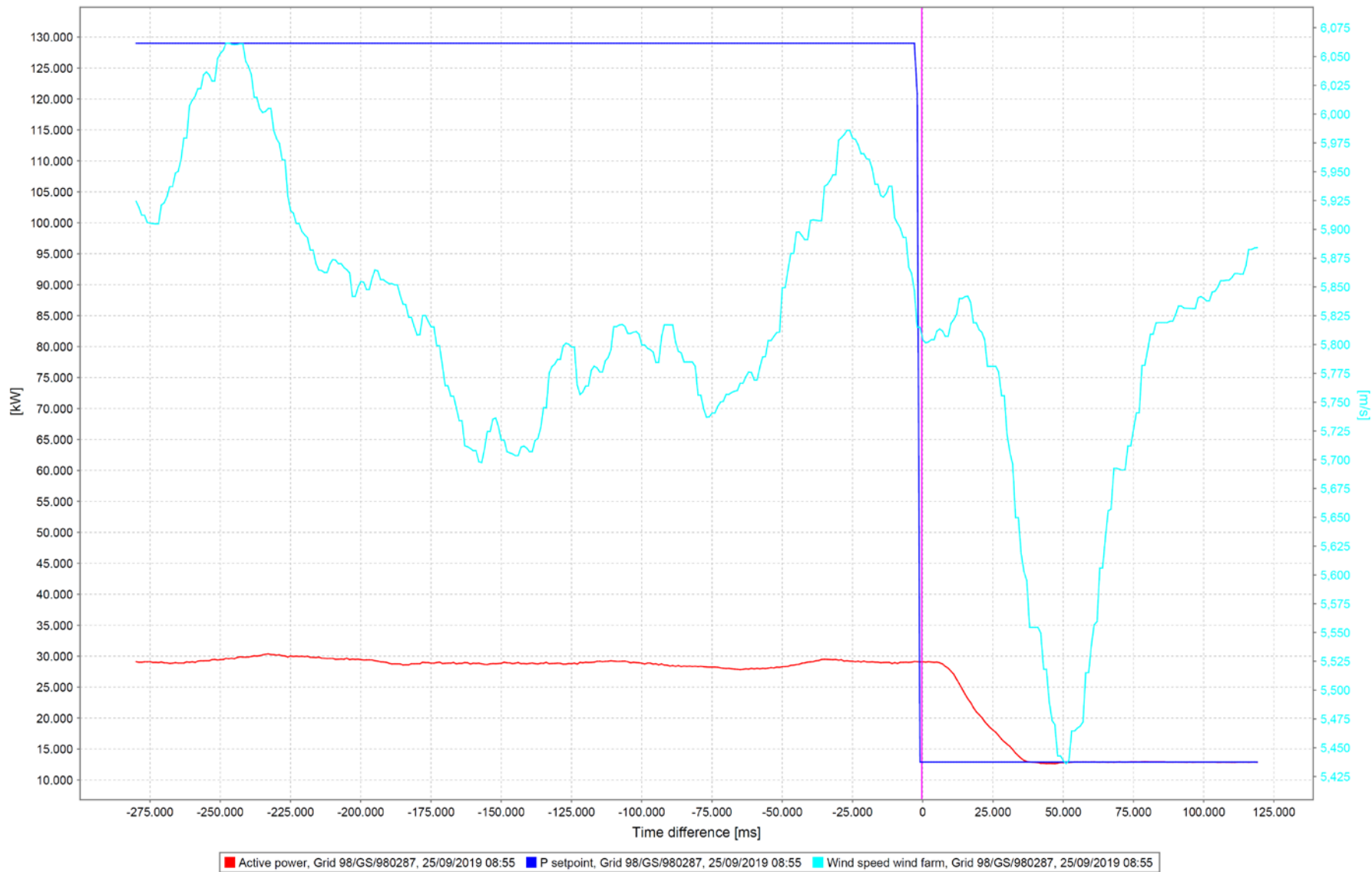
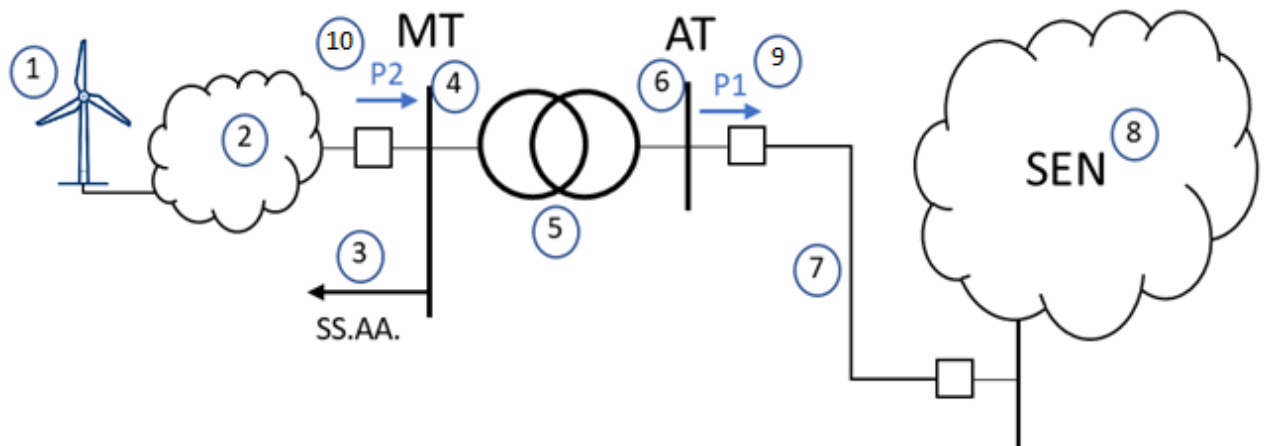


Figura 8 - Potencia Mínima en PE Aurora

3.5 Metodología y Cálculo Mínimo Técnico Parque Eólico Aurora

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: 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 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 el mínimo técnico (MT) de la central quedará definido por:

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

$$MT = P2 + Pcolector$$

1.	Mínimo Técnico Aerogeneradores	12,90 [MW]
2.	Pcolector: Pérdidas en el sistema colector	300 [kW]
3.	SS.AA: Servicios Auxiliares de la central	96 [kW]
4.	P2: Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	12,60 [MW]
5.	Ptrafo: Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	523,39 [kW]
6.	P1: Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	11,98 [MW]
	MT: Mínimo Técnico de la central	12,90 [MW]

4 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos 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 al Mínimo Técnico del Parque Eólico Aurora:

- La potencia activa bruta mínima que es capaz de inyectar el parque eólico Aurora de forma permanente es de 12,9 [MW]
- La potencia activa neta mínima que es capaz de inyectar el parque eólico Aurora de forma permanente es de 11,98 [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 Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras	https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/Anexo-NT-Determinaci%C3%B3n-de-M%C3%ADnimos-T%C3%A9cnicos-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/	Determinación de pérdidas en red MT	12 - Flujo Potencia -DIgSILENT PE Aurora P.min		
/13/	Red MT PE Aurora	Datos Red MT DIgSILENT - PE Aurora		
/14/	Diagrama Unilineal SSAA SE Aurora	Diagrama unilineal SSAA CA - SSEE Aurora		19/01/17
/15/	Especificaciones de potencia reactiva, aerogenerador Senvion 3.0M122	PD-3.5-EC.GR.02-A-C-EN Extended Reactive Power Range 3.0M 50Hz	C	16/12/14
/16/	Gráfico mínimo técnico	16 - Snapshot Minimo Tecnico PE Aurora		
/17/	Datos registrados mínimo técnico	17 - Snapshot Minimo Tecnico PE Aurora.xls		