

Informe Técnico: Determinación de Mínimo Técnico Parque Eólico Sarco



Doc.-No.: CHL-3.XM-GRID-107-B2

Fecha: 12-03-2020

SENVION
wind energy solutions

Historial de versiones

Versión	Descripción	Preparó	Revisó	Aprobó	Fecha
A	Coord. Interna	D.Herrera	D.Herrera		23.05.2019
B1	Para revisión	D.Herrera	S.Fautrat	J.Jaramillo	19.07.2019
B2	Publicación	D. Wending	D. Wending	J.Rathje	12.03.2019

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 Sarco	5
2.2	Transformador de Poder	7
2.3	Aerogenerador Senvion 3.4M114	7
2.3.1	Transformador de Unidad	9
2.3.2	Curva de Potencia	10
2.4	Red de Media Tensión	11
2.5	Servicios Auxiliares de la Subestación	13
3	Determinación del mínimo técnico Parque Eólico Sarco	14
3.1	Potencia Mínima Aerogenerador 3.4M114	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 Utilizada y Cálculo Mínimo Técnico Parque Eólico Sarco	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 Sarco 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 Sarco

La subestación del Parque Eólico Sarco 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 siete celdas: Una destinada a servicios auxiliares, cinco destinadas a circuitos de aerogeneradores y una celda de salida al transformador de poder
 - Barra de 33kV - sección 2 con seis celdas: Cinco 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/]:

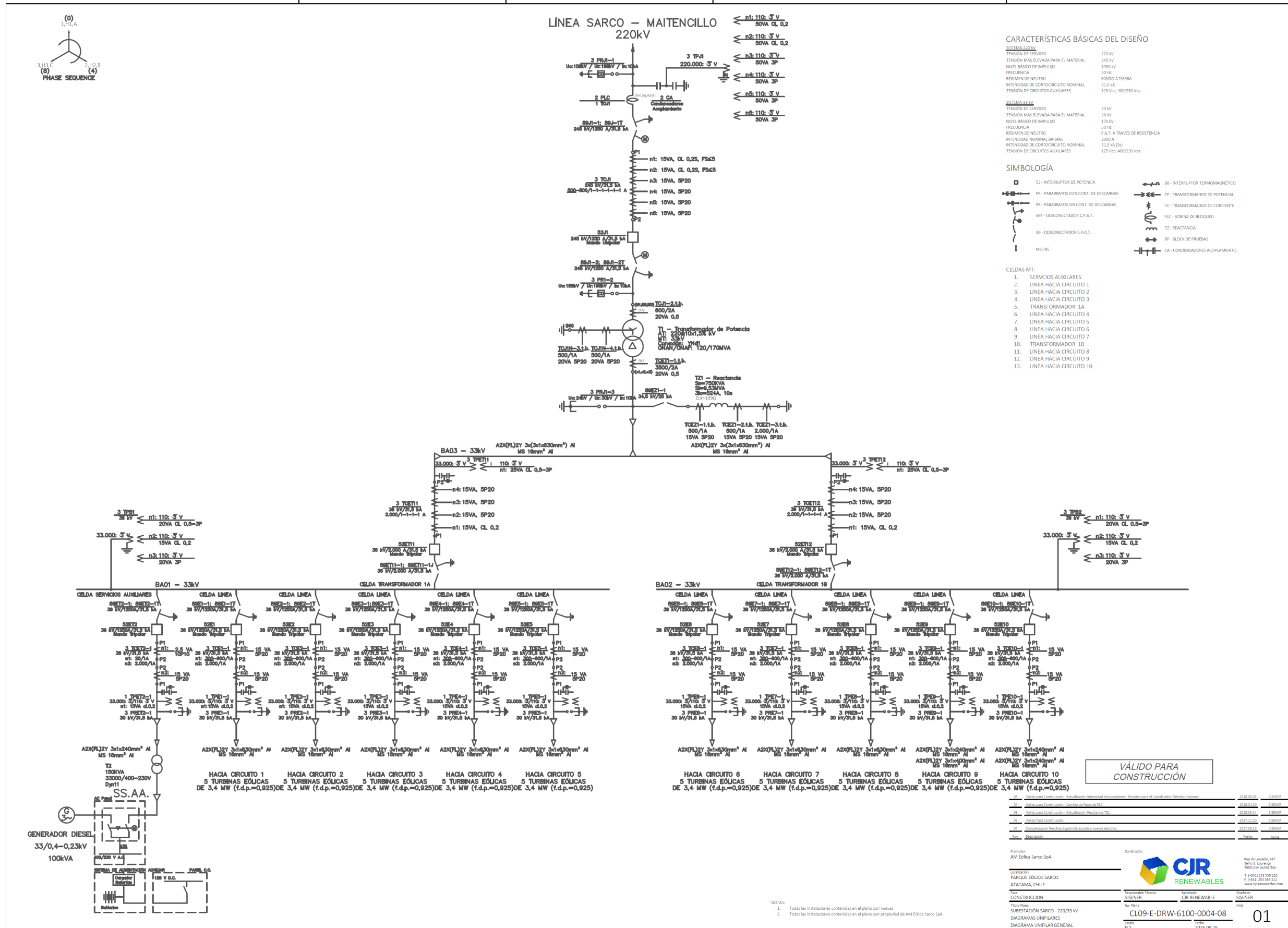


Figura 1 - Diagrama Unilineal Subestación Sarco

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 [%]	12,87
Impedancia de secuencia cero [%]	12,35
Pérdidas en carga [kW]	461,16
Corriente de vacío [%]	0,06516
Pérdidas en vacío [kW]	59,2

Tabla 1 - Parámetros del transformador de poder - SE Sarco

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

2.3 Aerogenerador Senvion 3.4M114

El Parque Eólico Sarco está compuesto por 50 aerogeneradores Senvion modelo 3.4M114, de 3400 [kW] de potencia activa nominal, totalizando una potencia total de 170 [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 10 circuitos.

Las características principales se indican a continuación:

Parámetro	Valor
Fabricante	Senvion
Modelo	3.4M114
Diámetro de aspas	114[m]
Altura de buje	93 [m]
Tensión nominal	33.000/950/660 [V]
Potencia Nominal	3400 [kVA] (en Baja Tensión) 3370 [kW] (en Media Tensión)

Tabla 2 - Resumen características aerogeneradores del Parque Eólico

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

2.3.1 Transformador de Unidad

Cada aerogenerador cuenta con un transformador de unidad de tres devanados, con los siguientes características [4/], [5/]:

Parámetro	Transformador WTG 3.4M114
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 3.4M114

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/]:

Power curve applicable at the medium-voltage side of the transformer (includes transformer losses)

Wind speed (at hub height) v [m/s]	Electrical power P [kW]										
	1.225 kg/m ³	1.00 kg/m ³	1.03 kg/m ³	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	14	0	2	4	6	7	9	11	13	15	17
4	132	96	101	106	110	115	120	125	130	135	140
5	319	247	257	266	276	286	295	305	314	324	333
6	593	468	484	501	518	534	551	568	585	602	618
7	979	781	807	833	860	887	914	940	966	993	1019
8	1491	1200	1239	1278	1317	1356	1395	1433	1472	1510	1548
9	2090	1703	1755	1807	1858	1910	1961	2013	2064	2116	2167
10	2701	2201	2267	2334	2401	2469	2536	2602	2668	2733	2795
11	3182	2671	2751	2832	2907	2979	3045	3104	3158	3204	3243
12	3370	3071	3145	3205	3254	3293	3323	3345	3362	3370	3370
13	3370	3310	3340	3363	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370
14 - 22	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370	3370

Tabla 4 - Potencia activa en función de la velocidad y densidad de viento. 3.4M114

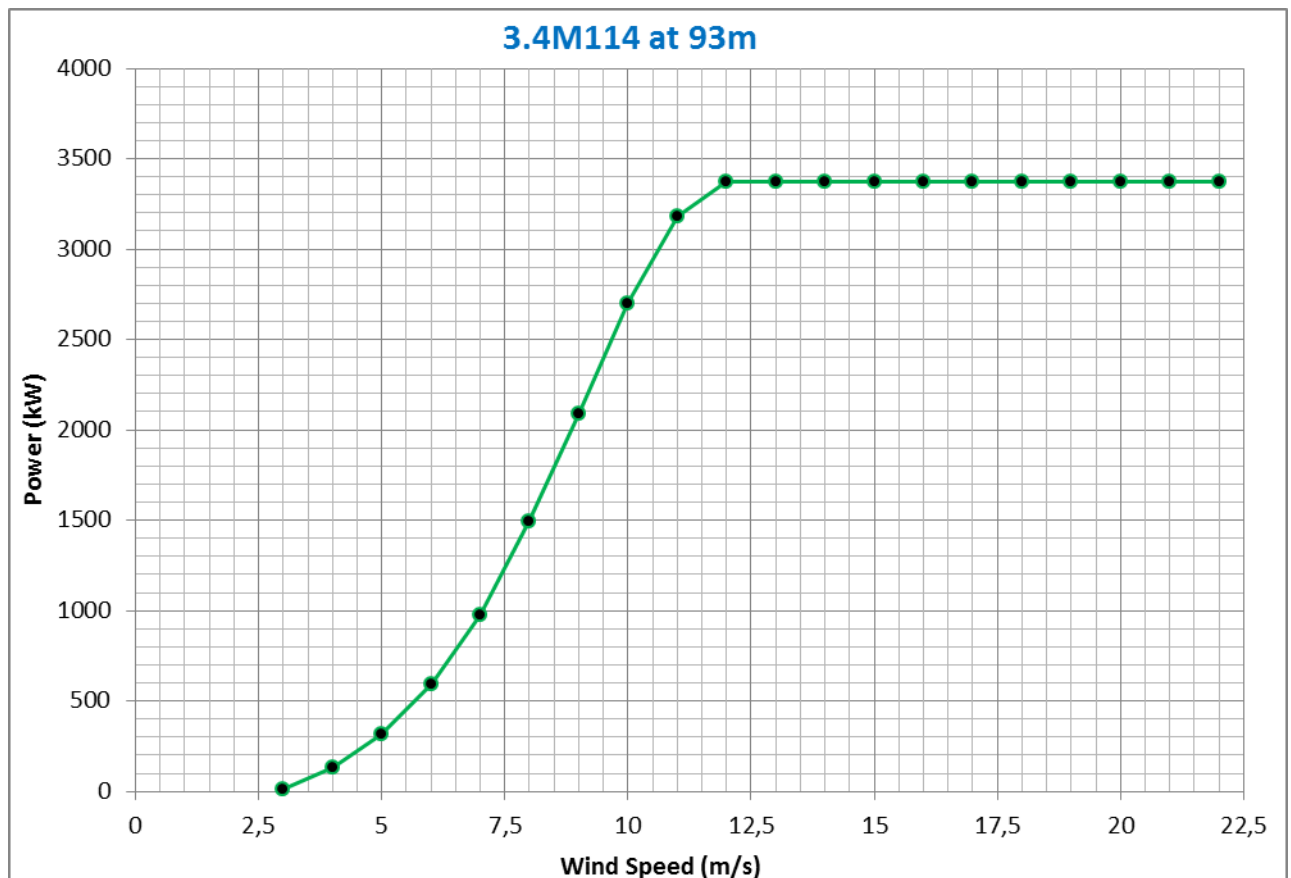


Figura 3- Curva de Potencia para Aerogenerador 3.4M114 - PE Sarco

2.4 Red de Media Tensión

Los aerogeneradores se distribuyen en una red de 33kV compuesta de 10 circuitos como se ilustra en Figura 4 y Figura 5 [1/13]:

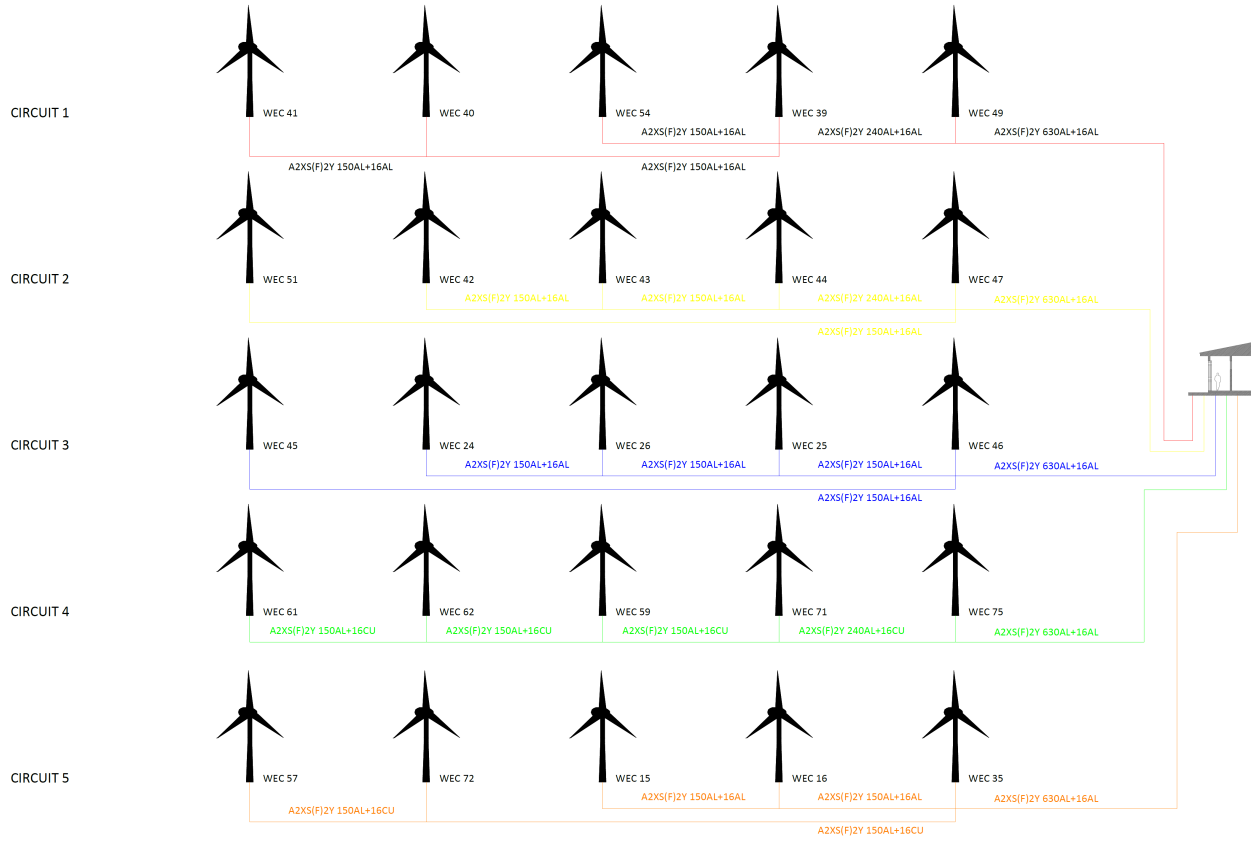


Figura 4: Diagrama Unilineal PE Sarco - Circuitos 1 al 5



Figura 5: Diagrama Unilineal PE Sarco - Circuitos 6 al 10

A partir del modelo del parque eólico utilizado en los estudios de impacto sistémico [14] 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 [16].

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en Anexo [14], 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 mm ² A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1841	0,1181	1,1069	0,7010	55,2294	55,2294
3x185 mm ² A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1412	0,1133	1,0408	0,6481	60,6195	60,6195
3x240 mm ² A2X(FL)2Y 19/33kV	0,1130	0,1096	0,9904	0,6031	65,7016	65,7016
3x400 mm ² A2X(FL)2Y 19/33kV	0,0670	0,1017	0,8810	0,4961	80,2704	80,2704
3x500 mm ² A2X(FL)2Y 19/33kV	0,0513	0,0957	0,8282	0,4417	89,4677	89,4677
3x630 mm ² 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 Sarco

Las pérdidas en la red colectora se determinaron en 2000,0 [kW]

2.5 Servicios Auxiliares de la Subestación

Los servicios auxiliares [/17/] se alimentan desde un transformador de 150kVA 33/0,4 kV. El consumo máximo se estimó, en base a criterios conservativos y estimaciones de diseño, en un 80% de la capacidad máxima, es decir 120 [kVA].

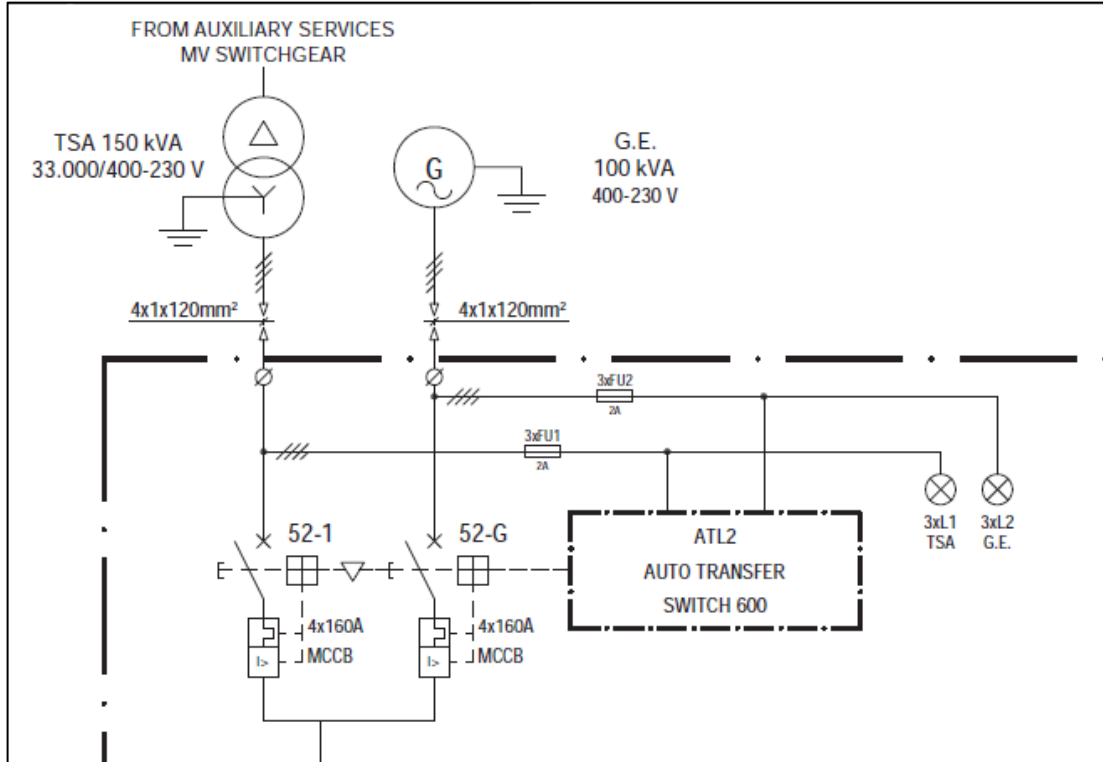


Figura 6 - SSAA Subestación 220/33kV PE Sarco

3 Determinación del mínimo técnico Parque Eólico Sarco

3.1 Potencia Mínima Aerogenerador 3.4M114

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 3.4M114 del parque eólico Sarco corresponde a

Parámetro	WTG 3.4M114
Potencia Mínima en lado LV	340 kW
Potencia Mínima en lado MT	337 kW

Tabla 6 - Potencia Mínima Aerogenerador 3.4M114

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[18], 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:

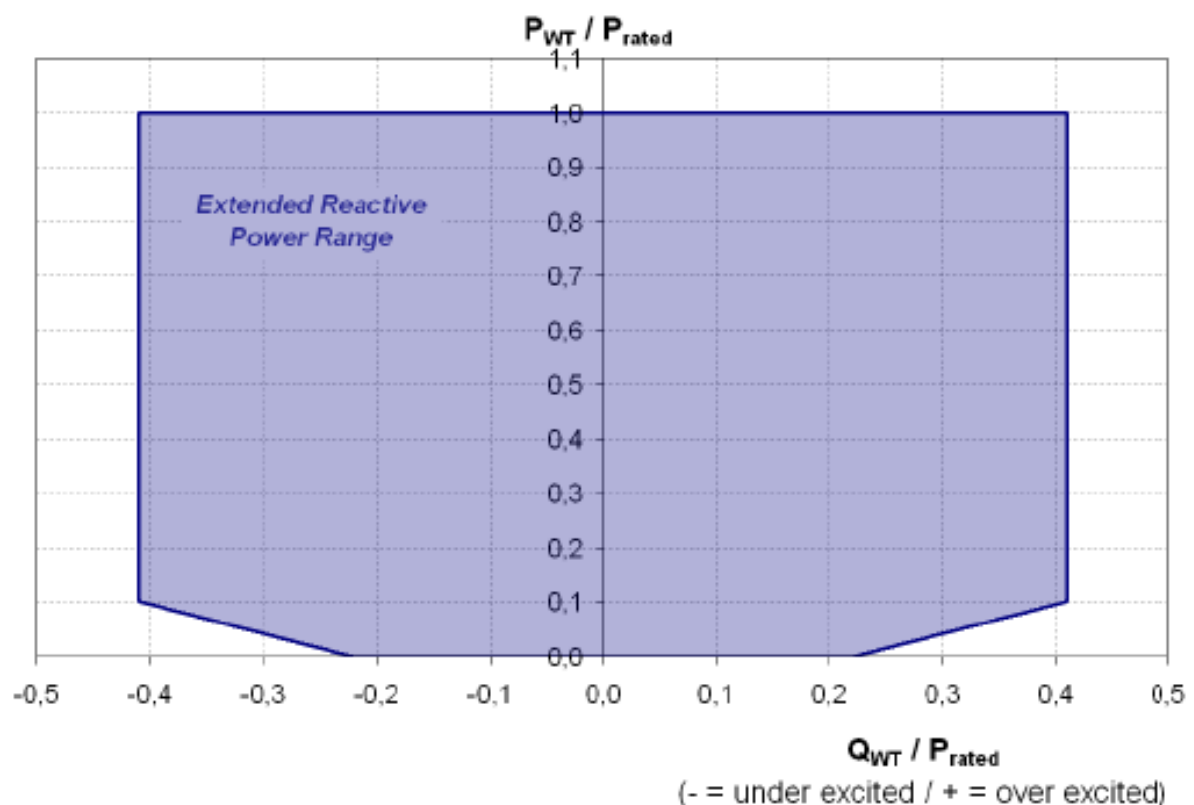


Figura 7 – Curva PQ de Aerogenerador 3. PE Sarco

A nivel de parque eólico, la capacidad total de las 50 unidades del parque eólico es la siguiente:

- Capacidad de absorción de reactivos, nivel parque: -69,3 [Mvar]
- Capacidad de entrega de reactivos, nivel parque +69,3 [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 Sarco 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 50 unidades es un consumo total de 2000 [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 los anexos se registra la prueba o ensayo de operación a mínimo técnico: Con el parque operando a un nivel de 40 [MW] (23,5% Pnom), se ingresa un setpoint de 10% de potencia activa y se registra el comportamiento. En azul corresponde a la potencia activa, en verde la velocidad del viento promedio del parque y en rojo la consigna ingresada.

El valor de 16,9 [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.

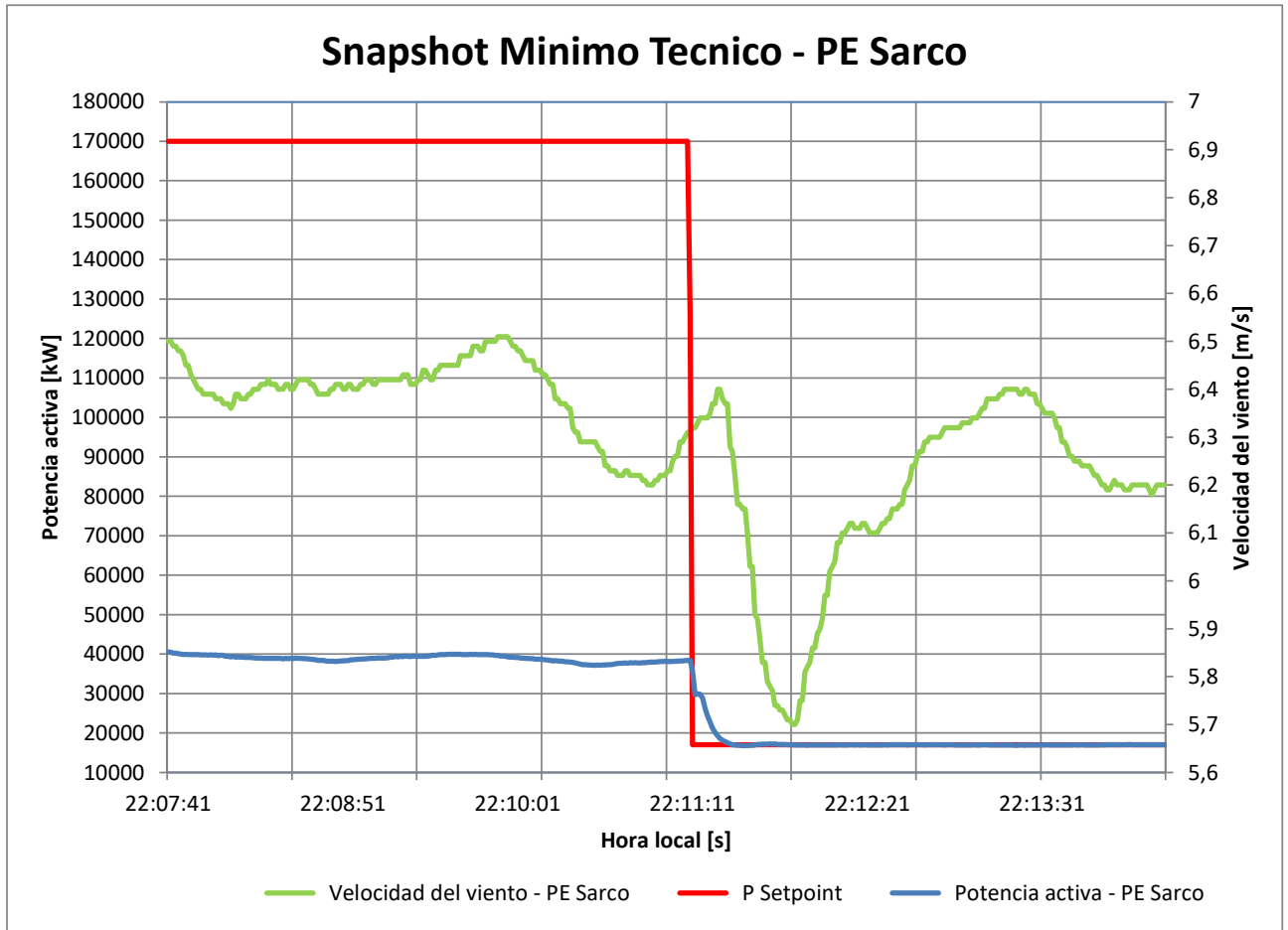
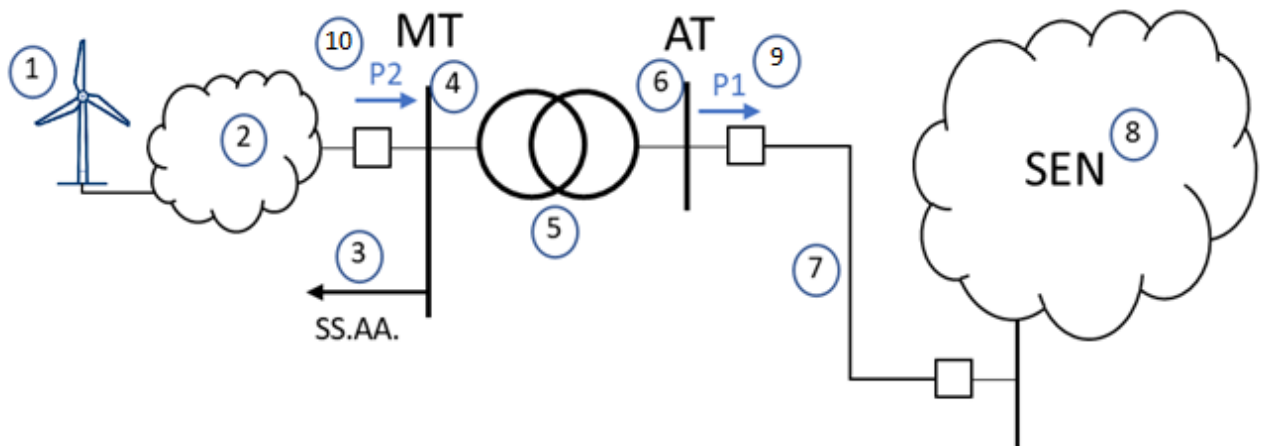


Figura 8 – Potencia Mínima en PE Sarco

3.5 Metodología Utilizada y Cálculo Mínimo Técnico Parque Eólico Sarco

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.	Máxima Potencia Aerogeneradores	16,90 [MW]
2.	Pcolector: Pérdidas en el sistema colector	2000 [kW]
3.	SS.AA: Servicios Auxiliares de la central	120 [kW]
4.	P2: Potencia Activa inyectada la barra MT de la central	14,90 [MW]
5.	Ptrafo: Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	520,37 [kW]
6.	P1: Potencia Activa inyectada la barra AT de la central	14,26 [MW]
	MT: Mínimo Técnico de la central	16,90 [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 3.4M114, datos técnicos de la subestación y equipos asociados, se establecen las siguientes conclusiones respecto al Mínimo Técnico del Parque Eólico Sarco:

- La potencia activa bruta mínima que es capaz de inyectar el parque eólico Sarco de forma permanente es de 16,9 [MW]
- La potencia activa neta mínima que es capaz de inyectar el parque eólico Sarco de forma permanente es de 14,62 [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 Sarco	CL09-E-DRW-6100-0004-08	01	05/06/18
/5/	Datos Transformador de Poder	Datos Transformador de Poder - PE Sarco		
/6/	D.Unilineal Aerogenerador 3.4M114	CL_Sarco_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 3.4M114	GI-3.2-WT.PC-02.A-A-EN Power Curve at Different Air Densities [3.4M114]		29/08/14
/10/	Informe de pruebas – Reliability Run Report WTG09	RRR_DataProcess_Sarco WEC 09		21/06/19
/11/	Informe de pruebas – Reliability Run Report WTG64	RRR_DataProcess_Sarco WEC 64		21/06/19
/12/	Propiedades Eléctricas según IEC61400-21 Ed.2 para 3.4M114	D-3.2-GP.EL.06-C-A Electrical properties IEC [3.4M114 50Hz]		04/09/14
/13/	Diagrama Unilineal Red MT PE Sarco	CL09-E-DRW-4000-0007-00		27/10/16
/14/	Estudios de Interconexión PE Sarco – Flujos de Potencia	https://pgp.coordinador.cl/irequests/5af312bc36d9ef416dc7f0b8ee-2018-it-025-c.pdf ee-2018-it-025-c-bd.pdf	C	24/12/18
/15/	Red MT PE Sarco	Datos Red MT DIgSILENT - PE Sarco		
/16/	Determinación de pérdidas en red MT	Flujo Potencia -DIgSILENT PE Sarco		12/07/19
/17/	Diagrama Unilineal SSAA SE Sarco	Diagrama unilineal SSAA CA - SSEE Sarco		26/01/16
/18/	Especificaciones de potencia reactiva, aerogenerador Senvion 3.4M114	PD-3.1-EC.GR.02-B-E-EN Extended Reactive Power Range 3.4M 50Hz		24/02/15
/19/	Datos registrados mínimo técnico con Grafico	19 - Snapshot Minimo Tecnico PE Sarco.xls		03/03/20