



CL320211110 Rev. 0 10-11-2021

The background of the cover features a dark blue field with two stylized wind turbines in a lighter blue shade. A bright green triangle is positioned in the upper left corner, partially overlapping a diagonal line that runs from the top left towards the center. The text is centered in the lower half of the image.

Informe Determinación de Potencia
Máxima

Parque Eólico Cabo Leones III
Fase 2

Contenidos

Contenidos	2
1.1. Objetivos	3
1.2. Alcance	3
2. Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Cabo Leones III.....	5
2.1. Unifilar Subestación Parque Eólico	5
2.2. Unifilar red de Media Tensión.....	6
2.3. Servicios Auxiliares de la subestación	10
2.4. Transformador de Poder	11
2.5. Aerogenerador	11
2.5.1. Datos del Generador	14
2.5.2. Datos del Convertidor	15
2.5.3. Transformador de aerogenerador	15
2.5.4. Curva de potencia	16
2.5.5. Curva de Generación de Potencia Reactiva	18
2.5.6. Estados del aerogenerador	20
3. Determinación de la Potencia Máxima.....	21
3.2. Potencia Máxima por unidades generadoras.	21
3.3. Potencia Máxima Bruta y Potencia Máxima Neta.....	22
4. Conclusiones	24
5. Referencias.....	25

1. Introducción

El presente estudio esta realizado en función a lo indicado por el Coordinador Eléctrico Nacional y la normativa vigente para la entrada en operación del Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Dicho estudio, contempla los análisis y cálculos para la fase 1, la cual se encuentra en operación desde diciembre 2020 y no ha sufrido modificaciones, este estudio contempla ambas fases del parque eólico.

En el transcurso del estudio se abordarán los aspectos fundamentales del funcionamiento del parque y los parámetros indicados por el fabricante y que han sido utilizados, finalmente se concluye con los valores determinados en el estudio.

1.1. Objetivos

El propósito de este informe es determinar la potencia máxima de operación del Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 compuesto por 22 aerogeneradores SG-5.0-145, según lo establecido por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio [1], el Anexo Técnico Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras [2] y según lo indicado en el documento de Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos [3]

En cuanto a la Fase 1 del proyecto consta de 22 aerogeneradores SG-132 3,465/3,55, la información técnica fue presentada el 24 de noviembre de 2020 en conjunto con el Informe de Potencia Máxima [18] y declarado admisible mediante DE06783-20. Dicho informe finalmente fue aceptado por el Coordinador el 22 de enero de 2021 mediante DE00290-21. En relación con esto, y como la Fase 1 no ha sufrido modificaciones técnicas, dichos documentos se utilizarán para el desarrollo del presente informe en lo que concierne a dicha fase.

Para obtener el valor de potencia máxima será mediante el presente estudio de los datos obtenidos en las pruebas operacionales realizadas al parque en su conjunto, datos del recurso eólico, así como los registros de los consumos auxiliares y parámetros de fabricante de los aerogeneradores SG 5.0-145 y las instalaciones.

1.2. Alcance

La información y documentación proporcionada se limita únicamente a información técnica del Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 y el aerogenerador Siemens-Gamesa SG 5.0-145 de acuerdo con los apartados aplicables establecidos en el documento ***“ANEXO TÉCNICO: Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”***.

Para la determinación de la potencia máxima del Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 se utilizarán los registros de operación disponibles hasta la fecha de acuerdo con lo establecido en el artículo 39 del título VIII del anexo técnico [3]:

“Artículo 39 Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación.

Para las unidades generadoras que no tengan capacidad de regulación, y que por lo tanto no sea aplicable lo establecido en el Artículo 16 del presente Anexo, 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.”

Las restricciones operativas y consideraciones serán descritas y justificadas en los apartados correspondientes de este documento.

2. Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Cabo Leones III

2.1. Unifilar Subestación Parque Eólico

A continuación, se presenta el unifilar de la S/E Central Parque Eólico Cabo Leones I, donde se conecta el Parque Eólico Cabo Leones III en su Fase 1 y 2, estando claramente identificado que circuito corresponde a cada una de las fases del proyecto. En el mismo se pueden apreciar las protecciones a nivel de parque eólico y la potencia instalada por circuito.

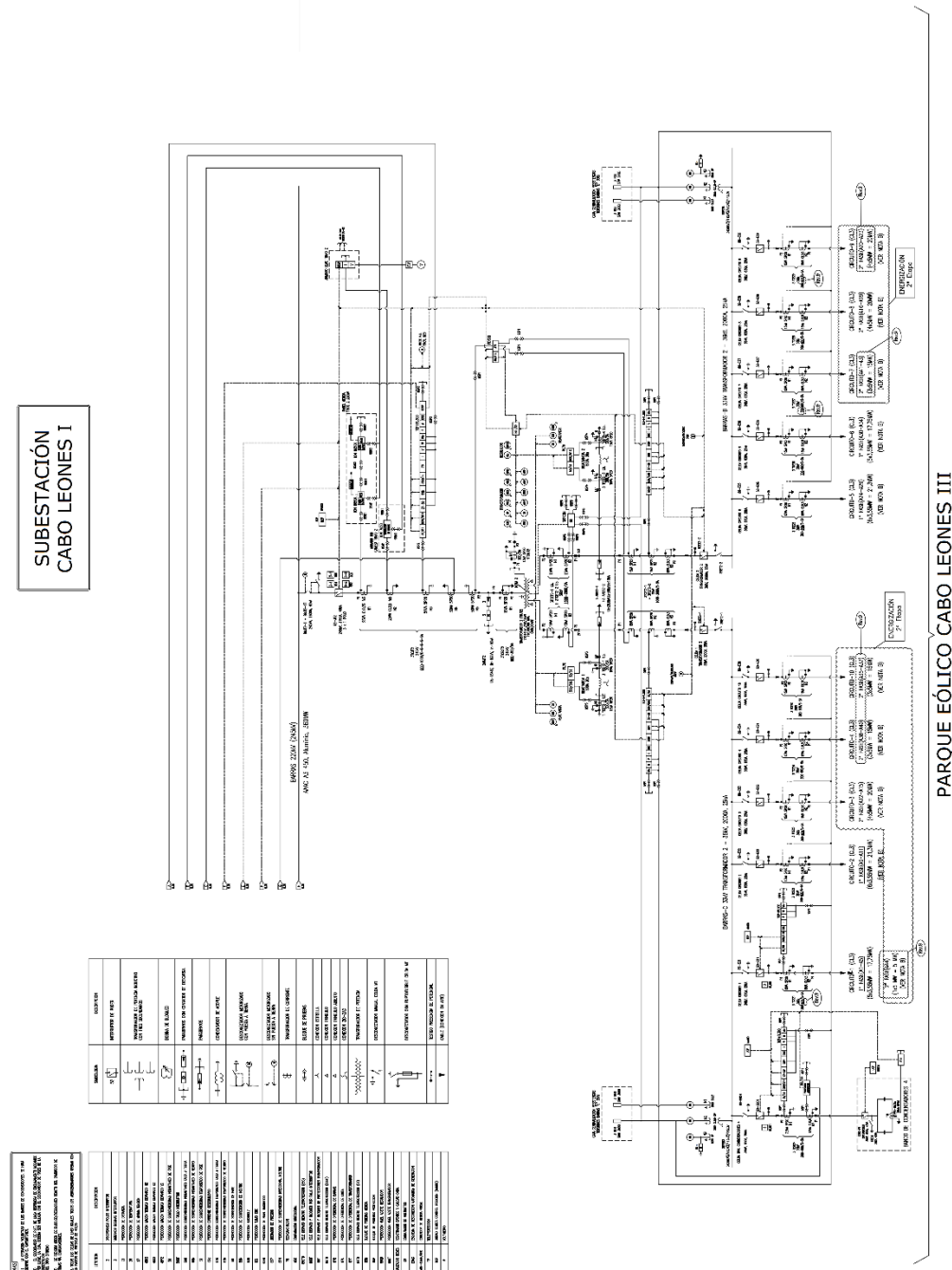


Figura 1. Esquema Unifilar Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 - Hoja 2.

2.2. Unifilar red de Media Tensión

El Parque Eólico Cabo Leones III Fase 2 está compuesto por 22 aerogeneradores SG-5.0-145 sumando una potencia neta de 110 MW, adicional a ello, el parque cuenta con 22 aerogeneradores SG-135 3,5 MW de la Fase 1, para dar una potencia nominal completa de 188,1 MW. Estos aerogeneradores están distribuidos en 7 circuitos como se muestra en el diagrama unifilar de la red de media tensión. Para la conexión a la red de media tensión los aerogeneradores utilizan un transformador que eleva el voltaje de los 690 V a nivel de generador a los 33 kV a nivel de la red de media tensión. El conjunto del parque esta interconectado al Sistema Eléctrico Nacional por medio del transformador del parque eólico instalado en la subestación elevadora.

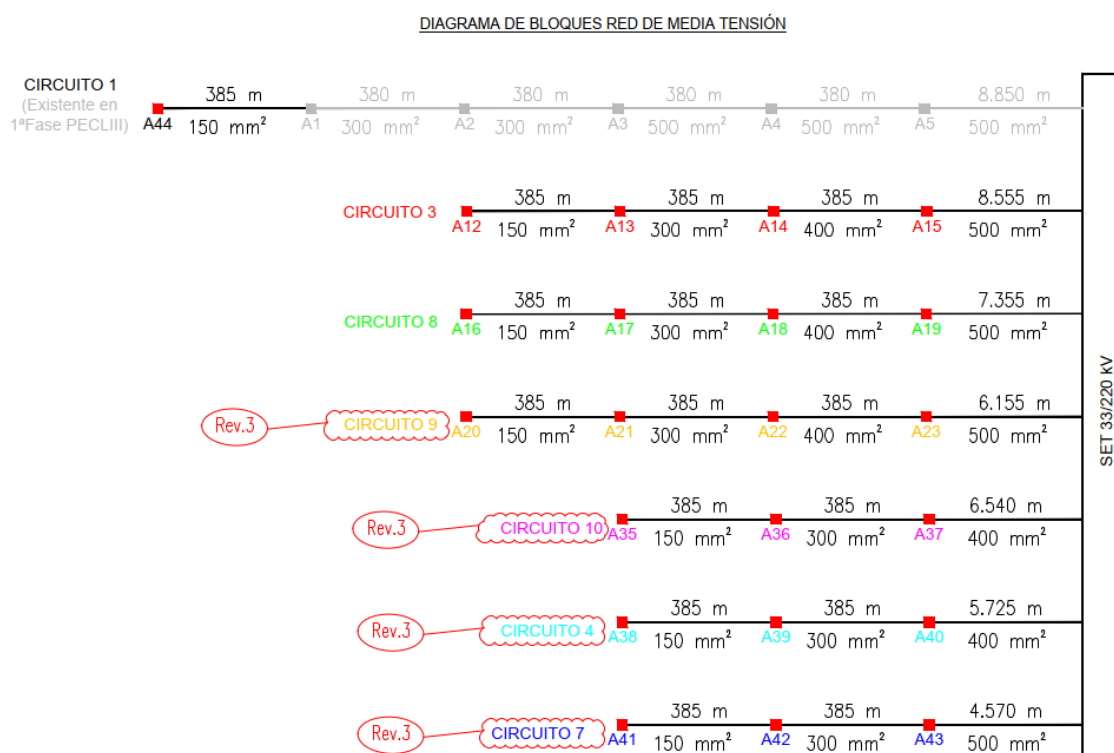


Figura 2. Esquema Sistema Colector Parque Eólico Cabo Leones III fase 2 [5].

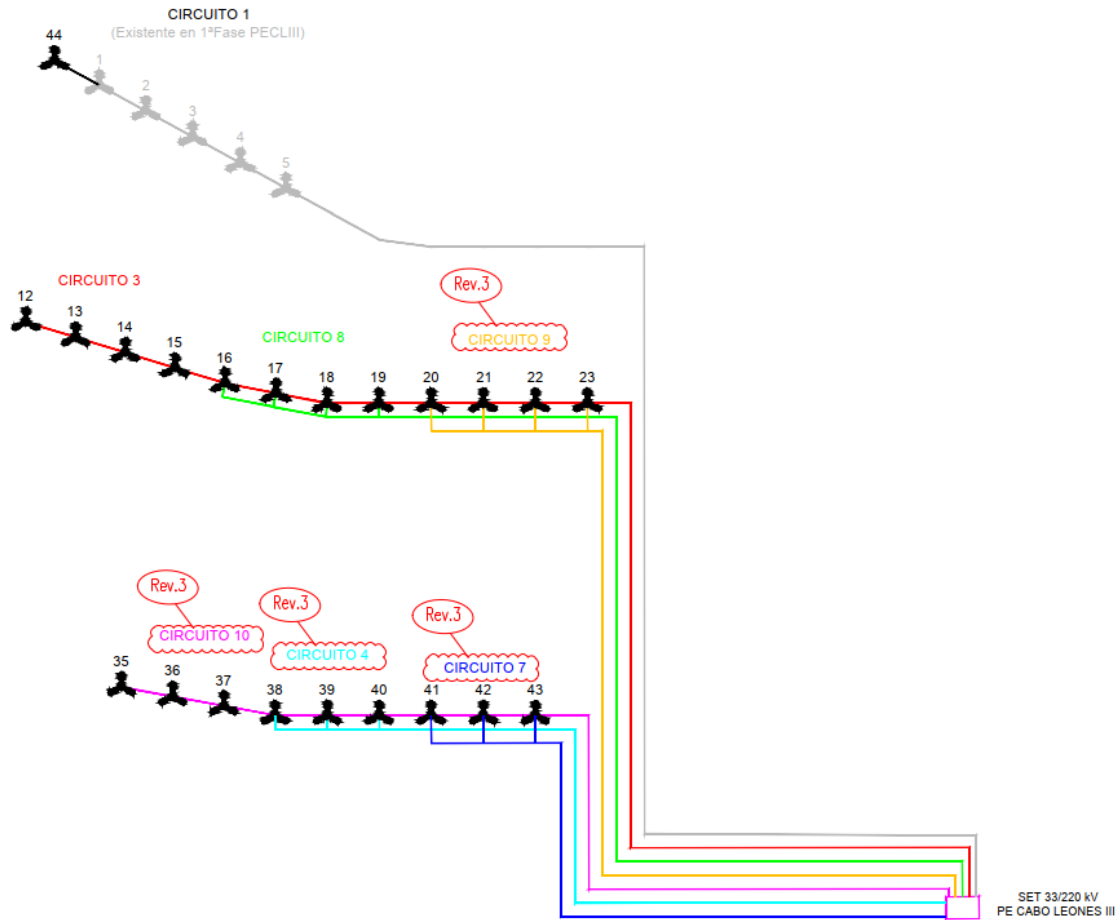


Figura 3. Implantación Sistema colector Parque Eólico Cabo Leones III fase 2.

Teniendo en cuenta que este documento contempla la totalidad del proyecto, se han considerado la totalidad de los circuitos de las dos etapas.

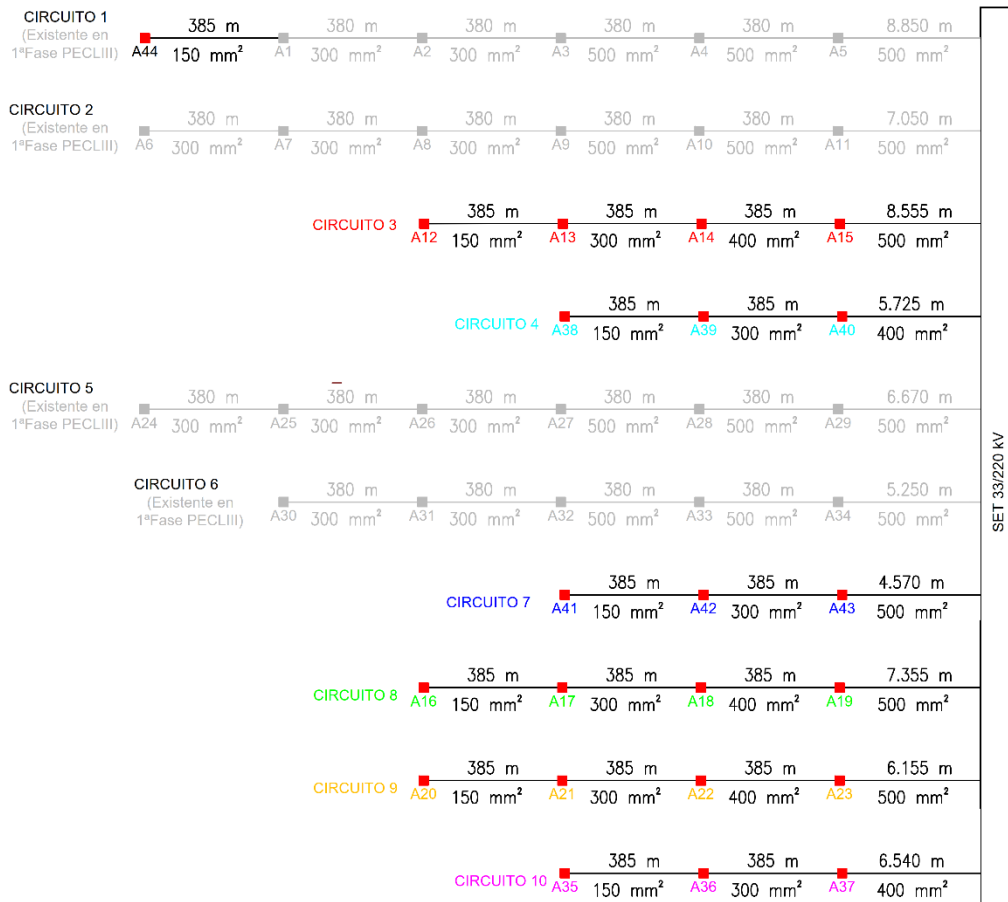


Figura 4. Esquema Sistema colector Parque Eólico Cabo Leones III fase 1 y fase 2.

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito, el cual se resume a continuación:

Circuitos	Conductores por circuito	Distancia [m]	R [Ω /m]
Circuito 1	3x(1x 150 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0000605
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0000605
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	8850	0,0000605
Circuito 2	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0000605
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0000605
	3x(1x 500 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	7050	0,0000605
Circuito 3	3x(1x 150 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm²) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000

	3x(1x 400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0000778
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	8555	0,0000605
Circuito 4	3x(1x 150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	5725	0,0000778
Circuito 5	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0000605
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0000605
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	6670	0,0000605
Circuito 6	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0001000
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	380	0,0000605
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	5250	0,0000605
Circuito 7	3x(1x 150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	4570	0,0000605
Circuito 8	3x(1x 150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0000778
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	7355	0,0000605
Circuito 9	3x(1x 150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0000778
	3x(1x 500 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	6155	0,0000605
Circuito 10	3x(1x 150 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0002060
	3x(1x 300 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	385	0,0001000
	3x(1x 400 mm2) HEPRZ1 20/35 kV	6540	0,0000778

Tabla 1: Parámetros del Sistema Colector

Las pérdidas en el sistema colector, en condiciones de máxima potencia de generación, se determinó en 1561 [kW]

2.3. Servicios Auxiliares de la subestación

Los servicios auxiliares correspondientes a la barra de media tensión de la S/E Central Parque Eólico Cabo Leones I se alimentan desde un transformador de 250 kVA 33000+/-2,5+5%kV/400-230 V.

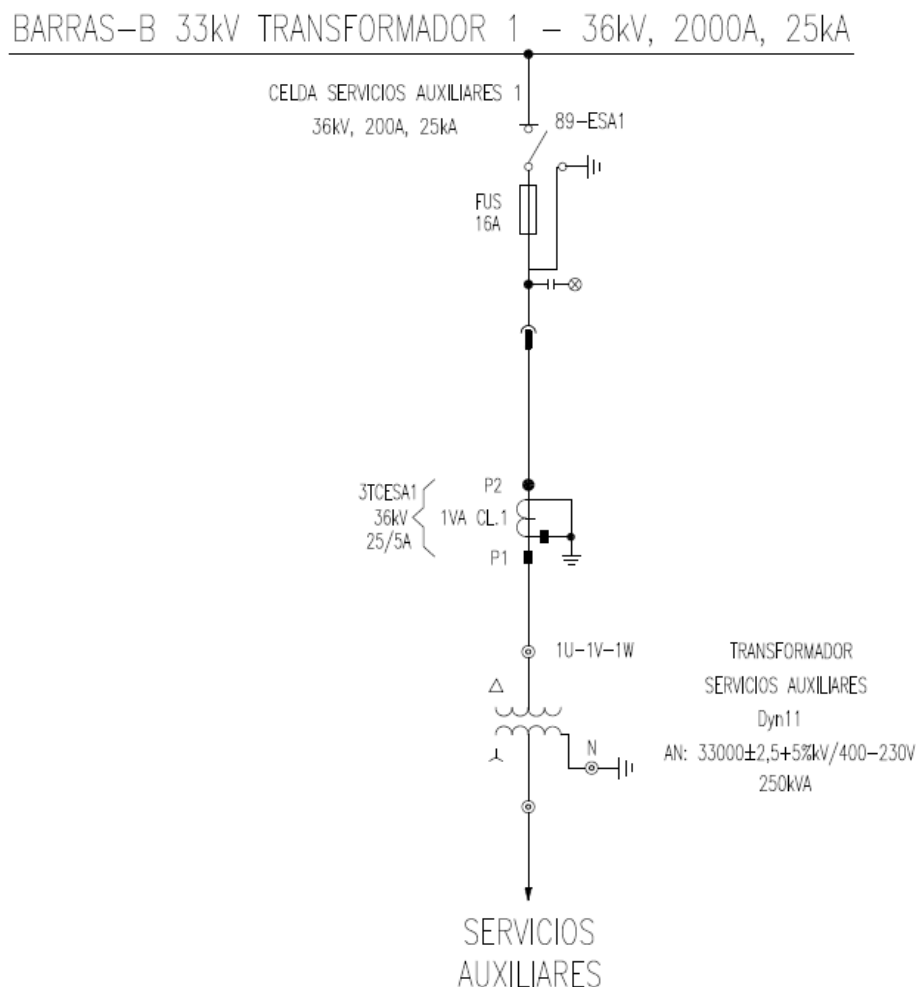


Figura 5. Transformador de SSAA de la subestación.

Respecto a los datos del consumo de SSAA de la central, distinguimos entre el consumo de los aerogeneradores en modo pausa o seguimiento y los consumos propios de la subestación, ya que hay una gran diferencia entre ambos valores. La subestación dispone de un transformador de servicios auxiliares alimentado de media tensión de 250 kW, sin medición, como se puede ver en la siguiente imagen. Pero disponemos de una indicación visual en el cuadro de Baja tensión y sin posibilidad de extracción de datos, cuyo valor es de 4 [kW][16]

2.4. Transformador de Poder

Según los datos presentados por el fabricante y garantizados mediante ensayos directos al equipo [7][8] y [9], el Transformador de Poder presenta los parámetros siguientes:

Ítem	Parámetro
Potencia nominal [MVA]	128/170
Clase de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje Nominal [kV]	33/220
Cambiador de Derivación (lado AT)	21x1,25%
Grupo Vectorial	YNd11d11
Perdidas en carga [kW]	333
Corriente en Vacío [%]	89,6
Perdidas en Vacío [kW]	53
Perdidas Garantizadas Totales [kW]	386

Tabla 2: Parámetros del Transformador de Poder

2.5. Aerogenerador

La Máquina de Inducción Doblemente Alimentada (DFIM) es el sistema de conversión de energía mecánica en energía eléctrica, encargado de regular la potencia entregada a la red eléctrica y proporcionar funciones de protección y vigilancia.

El sistema DFIM está formado por un generador asíncrono trifásico con rotor bobinado accesible a través de anillos rozantes y de un convertidor de potencia (AC/AC). El estator se conecta directamente a la red y el rotor a uno de los lados del convertidor (MSC), estando el otro lado conectado a la red (GSC). Este sistema consigue que el comportamiento del aerogenerador ante la red de distribución eléctrica sea similar al de un generador síncrono, más favorable para la red que un generador asíncrono convencional debido a que:

1. No existe pico de corriente en el momento de conexión a la red, a diferencia de los generadores asíncronos convencionales.
2. Existe un control de potencia reactiva continuo y regulable, a diferencia de los generadores asíncronos convencionales que consumen potencia reactiva lo que hace necesario el uso de bancos de condensadores para compensar. El controlador del convertidor de potencia (CCU) controla la potencia activa y reactiva permitiendo al usuario elegir el factor de potencia deseado de forma fija o dinámica a través de un controlador externo.
3. El rango de velocidad de funcionamiento es mucho mayor que en los generadores asíncronos convencionales, lo cual permite un mejor comportamiento tanto eléctrico como mecánico.

El sistema DFIM es capaz de trabajar con una velocidad de giro del rotor del generador superior a la velocidad de sincronismo. Asimismo, para optimizar la producción de energía con bajos vientos, el sistema es capaz de producir energía con una velocidad de giro del rotor por debajo de la velocidad de sincronismo. Este amplio rango dinámico de velocidad permite reducir las cargas que soporta el aerogenerador, así como mejorar la calidad de la energía inyectada a la red.

En la configuración de conexión utilizada en el aerogenerador SG-5.0-145, el estator se conecta al secundario del transformador (690Vac) por medio de un interruptor de estator. Se instala un estator principal automático del circuito como elemento de protección contra episodios de sobrecorriente. La conexión de los bobinados del estator del generador se conecta en triángulo. El rotor se conecta al inversor del convertidor, mientras que el rectificador del convertidor se conecta al secundario del transformador de potencia (690Vac) mediante un contactor protegido por un interruptor principal.

Pese a que la tecnología del generador es de tipo asíncrono, el acoplamiento o conexión del aerogenerador a la red se realiza de forma suave, sin intercambio de energía activa o reactiva entre la instalación y la red.

Esto se debe a que el circuito magnético del generador ha sido previamente energizado, de forma controlada, desde el rotor por medio del convertidor. La perturbación de la tensión de la línea provocada por el acoplamiento a la red del aerogenerador es nula.

El convertidor electrónico de potencia garantiza un modo de funcionamiento síncrono con respecto a la red. La tensión y la frecuencia inducidas en el estator coinciden, en todo momento, con las mismas variables de la red. Si la tensión o frecuencia de línea varían, las del estator del generador lo hacen en el mismo sentido y proporción.

El comportamiento del convertidor en su conexión con la red es idéntico, ajustando la frecuencia de conmutación para que la forma de onda de la tensión resultante coincida en todo instante con la de la línea.

El esquema hardware del sistema es:

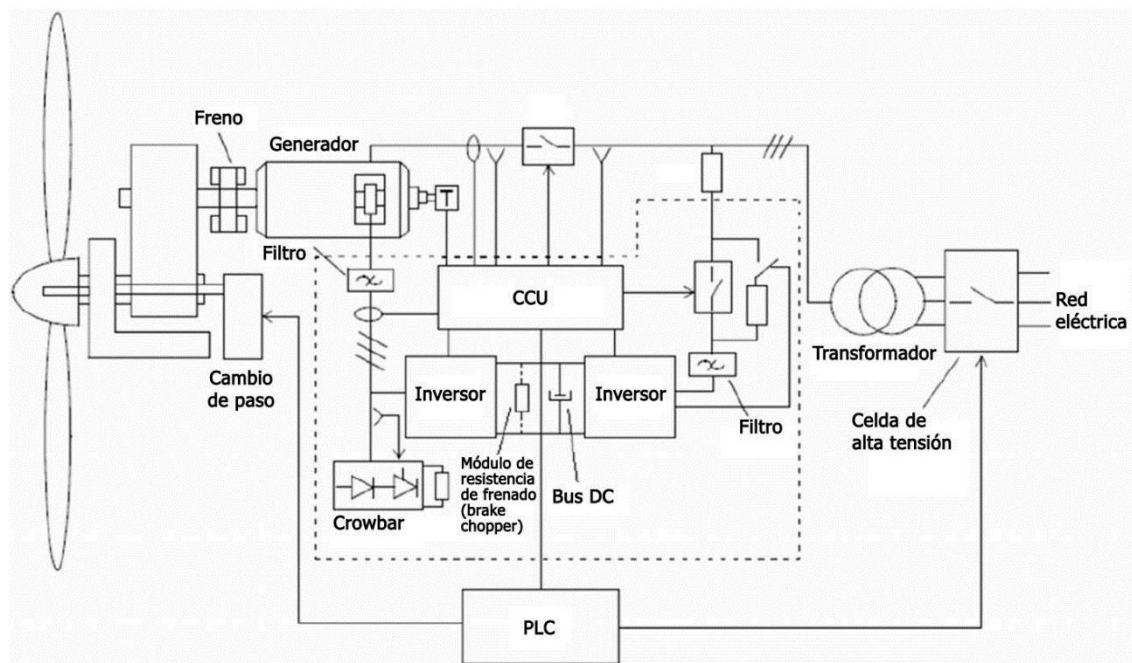


Figura 6. Esquema de hardware del aerogenerador SG-5.0-145

El convertidor de potencia se compone de unos componentes principales y una serie de protecciones que se describen brevemente a continuación:

Principales particiones:

- **Inversor (conectado al rotor).** Este convertidor DC/AC inyecta o extrae corriente en el rotor con frecuencia variable. Esta frecuencia es la necesaria para que en el estator se obtenga una tensión generada a 50 o 60Hz. Independiente de la velocidad de giro del rotor. Las consignas de corriente están gobernadas por la CCU, comunicándose vía bus de campo con el controlador PLC.
- **Rectificador (conectado a la red).** Este convertidor AC/DC regula la tensión del bus de continua para alimentar al inversor, además de transferir la potencia necesaria entre la red y el rotor del generador.
- **Bus de continua.** Estos son los condensadores que filtran la tensión obtenida por el rectificador para obtener una tensión continua sin fluctuaciones que alimente el inversor.
- **CCU.** Unidad de control del convertidor. Monitoriza los parámetros de la red y es la responsable de las alarmas.

Protección del convertidor ante fallos del aerogenerador:

Ante fallos que provoquen el paso a emergencia, la CCU abre todas las protecciones que conectan el convertidor con la red. Si el aerogenerador estaba vertiendo energía a la red, este corte provocaría que la energía que se encuentra en el rotor del generador cause una brusca subida de la tensión que llevaría a la destrucción de los condensadores e IGBTs del convertidor.

Para evitar este problema el sistema dispone de un equipo denominado crowbar. Este sistema, ante una brusca subida de tensión en el bus de continua, cortocircuita los devanados del rotor para que la energía sobrante se disipe en ellos.

Protección del convertidor ante incrementos de temperatura:

Durante el funcionamiento se producen aumentos de temperatura en los distintos componentes. El sistema mide las temperaturas en los devanados y anillos rozantes del generador, en los disipadores de calor de los IGBTs del convertidor, en el embarrado, en el transformador y en la tarjeta de control de los convertidores. Cuando la temperatura supera los parámetros preestablecidos, el aerogenerador pasará a un estado de operación que salvaguarde la integridad de este.

Protección ante cortocircuitos:

El convertidor está protegido ante cortocircuitos, fallos de red y otros con interruptores automáticos y térmicos, tanto en el circuito de estator como en el del rotor.

Emisión de armónicos:

El convertidor utiliza IGBTs que conmutan a una frecuencia muy superior a la de la red (50/60Hz), lo que, unido a los filtros empleados, consigue que la potencia que se vierte a la red eléctrica tenga un contenido armónico que cumple con la normativa vigente de Calidad de Energía. [10][11]

La información técnica más relevantes del aerogenerador se muestra en las siguientes tablas:

2.5.1. Datos del Generador

Los datos que se presentan a continuación para el Generador Eléctrico de 6 polos son obtenidos de la información entregada por el fabricante [10]

ítem	Valor
Potencia Nominal [kW]	5150
Tipo Generador	Generador Asíncrono Doblemente Alimentado
Conexión Estator	Delta
Conexión Rotor	Estrella
Número de Polos	6
Sentido de Giro	En sentido agujas del reloj visto desde el eje del lado acoplamiento
Temperatura Ambiente [°C]	-20 a +45
Altitud sobre Nivel del Mar [m]	0 a 1000
Frecuencia Nominal [Hz]	50 / 60
Velocidad Nominal [rpm]	1120
Rango de Velocidad [rpm]	700/1332
Tensión Nominal [V]	690
Factor de Potencia	0,968 subxcitada – 0,973 sobreexcitada
Grado de Protección (IEC 60034)	IP54 Máquina – IP23**** Cuerpo de anillos
Aislamiento Estator / Rotor	H
Peso [kg]	13800

Tabla 3: Parámetros del Generador Eléctrico [10][11]

2.5.2. Datos del Convertidor

Los datos que se presentan a continuación para la unidad convertidora son obtenidos de la información entregada por el fabricante [12]:

ítem	Valor
Tecnología	Back to Back basado en IGBTs
Tipo de Refrigeración	Agua/Glicol 50%
Temperatura Máxima Aire Refrigeración [°C]	50
Temperatura Máxima Líquido Refrigerante [°C]	55
Frecuencia Nominal [Hz]	50Hz (±6%)
Tensión Nominal [V]	690 (±10%)
Potencia nominal [kW]	5150

Tabla 4: Parámetros del Convertidor

2.5.3. Transformador de aerogenerador

Los datos que se presentan a continuación para la unidad convertidora son obtenidos de la información entregada por el fabricante [13]:

ítem	Valor
Potencia [kVA]	5500
Tipo Transformador	Transformador Trifásico, devanado encapsulado seco
Condición de Servicio	Interior
Tipo de Ventilación*	AF (Forzada)
Clase Ambiental (IEC 60076-11)	E2
Clase Climática (IEC 60076-11)	C2
Comportamiento frente al Fuego (IEC 60076-11)	F1
Altitud sobre Nivel del Mar [m]**	0 a 1000
Clase de Aislamiento/Térmico	F o H
Tensión Devanados de Baja Tensión [V]	3x690
Conexión Devanados de Baja Tensión	Estrella, neutro conectado directamente a tierra
Tensión Devanados de Media Tensión [kV]	Dependiente de la tensión de la red o subestación (por ejemplo, 3x20-3x30-3x33-3x34.5-3x35kV)
Conexión Devanados de Media Tensión	Triángulo
Tomas intermedias Media Tensión	+/-2,5% +/-5%
Grupo de Conexión	Dyn11
Frecuencia de Red [Hz]	50/60
Tensión más Elevada para el Material, Um, en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	Dependiente de la tensión de la red o subestación (por ejemplo, 3x33kV ⇒ 36kV valor eficaz)

Nivel de Aislamiento Asignado de Corta Duración a Frecuencia Industrial en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	Dependiente de la tensión más elevada del material (por ejemplo, 36kV $\Rightarrow$ 70kV valor eficaz)
Nivel de Aislamiento Asignado a Impulsos Tipo Rayo en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	Dependiente de la tensión más elevada del material. Columna 2 (por ejemplo, 36kV $\Rightarrow$ 170kV valor cresta)
Sondas Pt-100	2 por fase en cada devanado de baja, en puntos calientes
Dimensiones Máximas (L*W*H) [mm]	2400*1200*2400 (valores aproximados)
Peso [kg]	< 7500

Tabla 5: Parámetros del Transformador del aerogenerador

2.5.4. Curva de potencia

La siguiente tabla muestra la potencia eléctrica [kW] como función de la velocidad del viento [m/s] horizontal referida a la altura del buje, ponderada en diez minutos, para diferentes densidades de aire [kg/m³]. La curva de potencia no incluye las pérdidas del transformador ni de los cables de alta tensión. La curva de potencia corresponde a la clase S del aerogenerador.

P [kW]	Densidad [kg/m³]										
Ws [m/s]	1,225	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,2	1,21	1,22	1,24	1,27
3,0	56	49	50	51	52	53	54	54	55	57	60
3,5	130	118	120	121	123	124	126	127	129	132	137
4,0	241	222	225	227	230	232	235	237	240	245	252
4,5	383	355	359	362	366	370	373	377	381	388	399
5,0	555	517	522	527	532	537	542	547	552	563	578
5,5	762	711	718	725	732	738	745	752	759	772	792
6,0	1009	943	952	961	969	978	987	996	1004	1022	1048
6,5	1300	1216	1227	1238	1250	1261	1272	1283	1294	1316	1350
7,0	1638	1534	1548	1562	1576	1590	1603	1617	1631	1659	1700
7,5	2026	1898	1916	1933	1950	1967	1984	2001	2018	2052	2103
8,0	2462	2308	2329	2349	2370	2390	2411	2431	2452	2493	2554
8,5	2934	2753	2777	2801	2826	2850	2874	2898	2922	2971	3043
9,0	3421	3214	3242	3270	3297	3325	3352	3380	3407	3461	3541
9,5	3887	3668	3698	3728	3757	3787	3816	3844	3873	3928	4009
10,0	4294	4085	4115	4144	4173	4201	4228	4255	4281	4332	4403
10,5	4611	4437	4463	4488	4512	4535	4558	4580	4601	4641	4695
11,0	4829	4702	4722	4741	4759	4776	4792	4808	4822	4848	4881
11,5	4942	4877	4889	4900	4910	4918	4925	4932	4939	4949	4961
12,0	4978	4958	4962	4965	4969	4971	4973	4975	4977	4980	4984
12,5	4990	4982	4984	4985	4986	4987	4988	4989	4989	4991	4992
13,0	4995	4991	4992	4992	4993	4993	4994	4994	4995	4995	4996
13,5	4998	4996	4996	4996	4997	4997	4997	4997	4998	4998	4998

14,0	4999	4998	4998	4998	4998	4998	4998	4999	4999	4999	4999
14,5	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	5000
15,0	5000	4999	4999	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
15,5	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
16,0	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
16,5	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
17,0	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
17,5	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
18,0	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999
18,5	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996
19,0	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990
19,5	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978
20,0	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956
20,5	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920
21,0	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869
21,5	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802
22,0	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720
22,5	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628
23,0	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531
23,5	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432
24,0	4338	4337	4338	4338	4338	4338	4337	4338	4337	4338	4338
24,5	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247
25,0	4169	4168	4168	4168	4168	4169	4168	4168	4168	4168	4168
25,5	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096
26,0	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031
26,5	3978	3977	3977	3977	3977	3978	3977	3977	3977	3977	3977
27,0	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930

Tabla 6: Potencia calculada en función de la velocidad del viento a la altura del eje W_s del aerogenerador SG-145 5.0 MW, para diferentes densidades

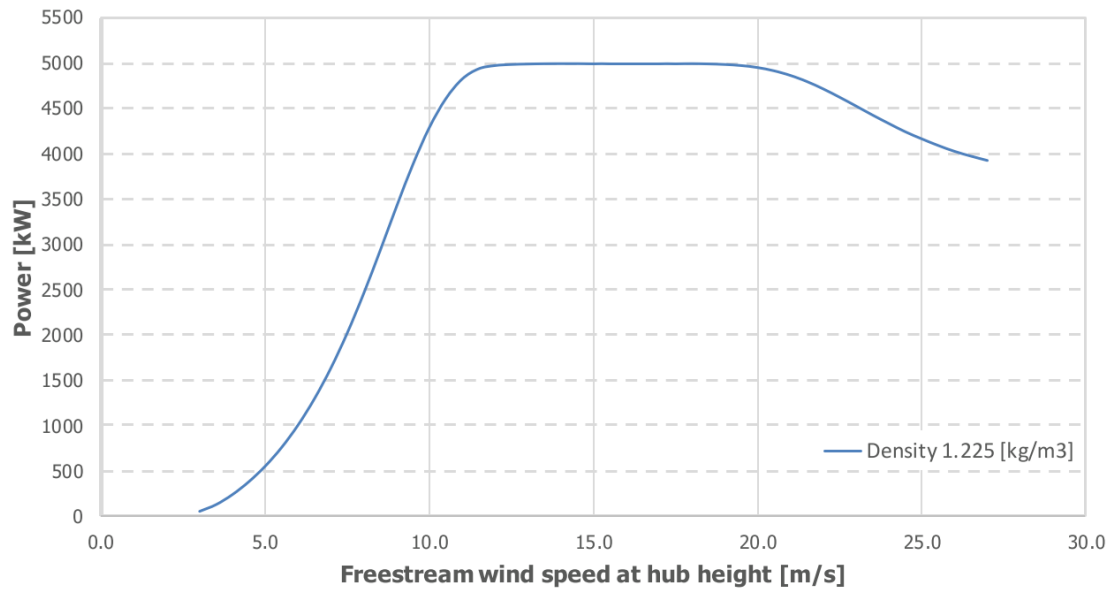


Figura 7. Curva de Potencia del aerogenerador SG-145 5.0 MW a 1.225 [kg/m³]

2.5.5. Curva de Generación de Potencia Reactiva

Los límites de la producción de potencia reactiva son 2422 kVAr, considerando siempre como referencia el lado de BT del transformador principal. En la envolvente siguiente se muestra la curva de reactiva del aerogenerador SG-5.0-145. Estos aerogeneradores son capaces de generar o consumir hasta 2422 kVAr de potencia reactiva respectivamente. Estas capacidades de producción/consumo de reactiva se pueden mantener en un rango de 5 a 100% de la producción de potencia activa en las terminales de bajo voltaje del aerogenerador como se muestra en la Figura 6. Al llegar a la potencia activa de 5% hasta llegar al 0% la capacidad de potencia reactiva disminuye linealmente hasta llegar a cero.

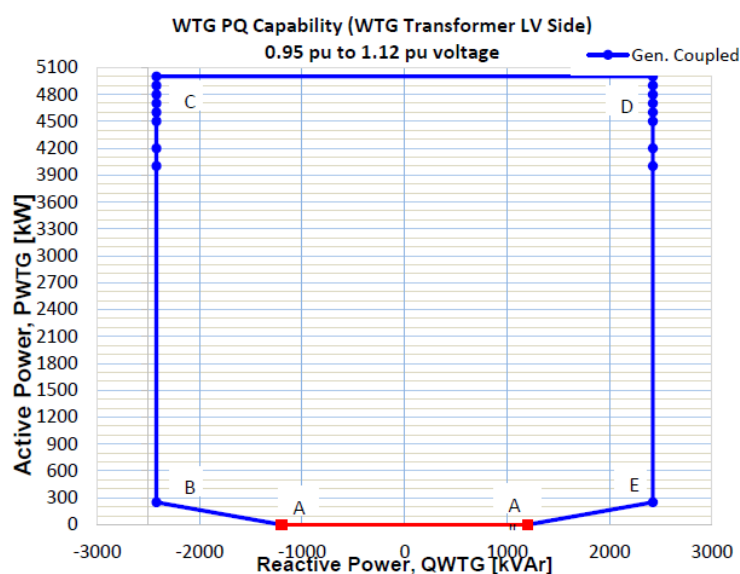


Figura 8. Curva generación de potencia reactiva aerogenerador SG-145

WTG PQ Capability (WTG Transformer LV Side) 0.95 pu to 1.12 pu voltage		
PWTG: 5.0 MW $\cos \phi = \pm 0.90$ $t_a \text{ ext} \leq 25^\circ\text{C}$ $F = \pm 3\%$ $U = -5\%/+12\%$		
	Q (kVAr)	P (kW)
A' / "	Figure 4	0
B	2422	250
C	2422	5000
D	-2422	5000
E	-2422	250

Fuera del rango de tensión de -5 % / +10 % la potencia reactiva está limitada conforme a la tensión de la red eléctrica en el lado de BT del transformador. El límite viene impuesto por la máxima clasificación de intensidad y tensión del aerogenerador. Por tanto, el límite de potencia reactiva, en función de la tensión de la red, se define en la siguiente figura. [14][15]

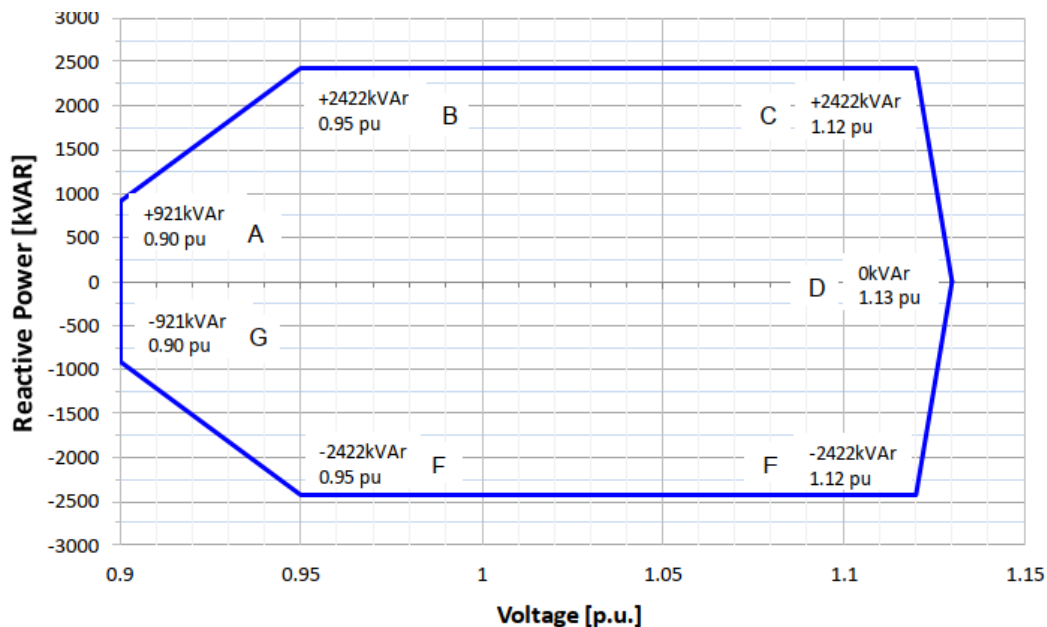


Figura 9. Curva Generación de potencia reactiva aerogenerador SG-145 en función de la tensión.

2.5.6. Funcionamiento a Q a P=0 (QwP0)

La turbina eólica es capaz de proporcionar Q en P = 0 (cuando el aerogenerador no está produciendo potencia activa por baja potencia de viento). Esto se llama estrategia Q en P = 0 (QwP0). Este hecho se muestra en la figura siguiente.

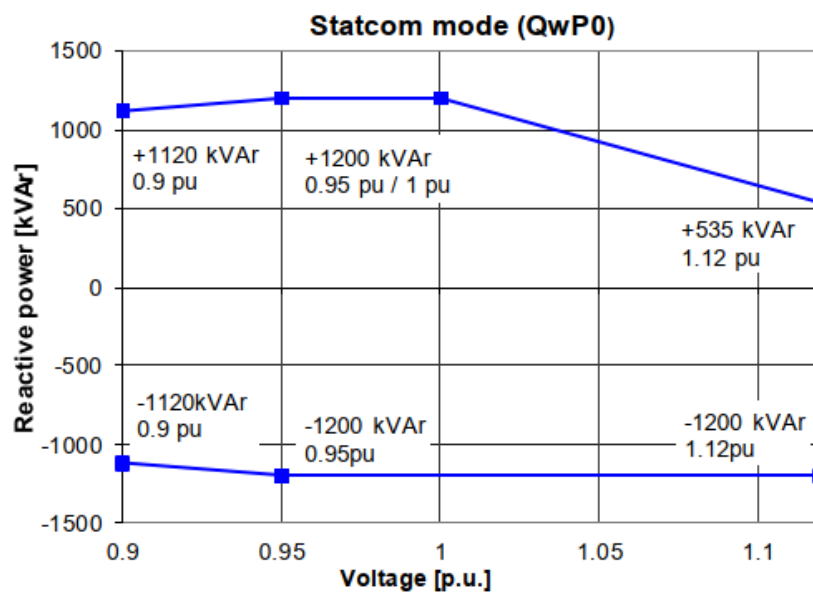


Figura 10: Q a P=0

2.5.7. Estados del aerogenerador

Para propósito de este documento el aerogenerador para su operación puede estar dentro de cualquiera de los siguientes estados de operación:

RUN CONNECTED (5)

Una vez que la velocidad del generador excede la velocidad de referencia del acoplamiento, el generador puede conectarse y comenzar a funcionar. Después de esto, la referencia de velocidad del generador se incrementa de nuevo para obtener el valor de referencia nominal. Al mismo tiempo, la producción máxima permisible de energía total aumenta de 0 al valor nominal si no se aplica ninguna limitación.

RUN (4)

El control de velocidad del generador está habilitado y su referencia aumenta de 0 a un valor ligeramente superior a la velocidad de referencia del acoplamiento. Al mismo tiempo, el valor de paso mínimo se reduce dinámicamente a medida que aumenta la velocidad del rotor.

PAUSE (3)

La posición de pitch de todas las cuchillas se incrementa con una tasa fija al valor de referencia de pitch de pausa. De esta forma, el par aerodinámico, la producción de potencia y la velocidad del generador disminuyen lentamente. Al final, el generador se desconecta de la red y la velocidad del rotor disminuye a un valor mínimo.

STOP (2)

El grupo hidráulico de emergencia incrementa la posición de pitch de todas las cuchillas con una velocidad constante hasta el valor de posición de pitch máximo.

Al mismo tiempo, la producción de potencia total máxima permitida se incrementa desde el valor actual a cero a una velocidad constante.

EMERGENCY (1)

El grupo hidráulico de emergencia incrementa la posición de paso de todas las cuchillas con una velocidad constante hasta el valor de posición de pitch máximo. El generador se desconecta inmediatamente desde el momento en que se solicita el estado operativo de emergencia.

La acción del freno hidráulico solo se nota a baja velocidad del generador.

3. Determinación de la Potencia Máxima

3.2. Potencia Máxima por unidades generadoras.

Para determinar la Potencia Máxima, se seleccionó un día representativo en cuanto a la generación en la cual se dispusiera del máximo recurso eólico disponible según las condiciones climatológicas de la zona, las cuales están sujetas a la variabilidad del viento, cuya particularidad del sector de emplazamiento están sometidas a fenómenos estocásticos que presentan estacionalidad y periodicidad. Siendo los meses de mejor meteorología los correspondientes a los meses de menor recurso eólico. Ello con la finalidad de obtener el valor empírico de la generación del parque, este se resume en el siguiente gráfico:



Gráfico 11: Potencia Activa Inyectada según hora del día en por unidad

Luego de analizar los valores del SCADA del Coordinador Eléctrico Nacional [18], se estima que el valor máximo observado y autorizado por aerogenerador de la fase 1 es de 3,667 [MW], siendo esté un valor superior a los 3,550 [MW] teóricos. Mientras que los datos del SCADA del Coordinador Eléctrico Nacional [17] de la fase 2, se estima que el valor máximo observado por aerogenerador es de 5128 [MW], siendo este superior a 5 [MW] teóricos.

Por otra parte, a nivel de parque eólico de los datos se observa que el valor promedio máximo bruto del parque es de 190.225,5 [kW] y el de potencia neta promedio es de 188.274,4 [kW].

3.3. Potencia Máxima Bruta y Potencia Máxima Neta

Dentro de este punto mostraremos los valores de acuerdo con lo solicitado en el Anexo Técnico “Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras”. Para ello primero se obtendrán las pérdidas de M.T. del parque, que se adjunta como anexo, obteniendo los siguientes resultados:

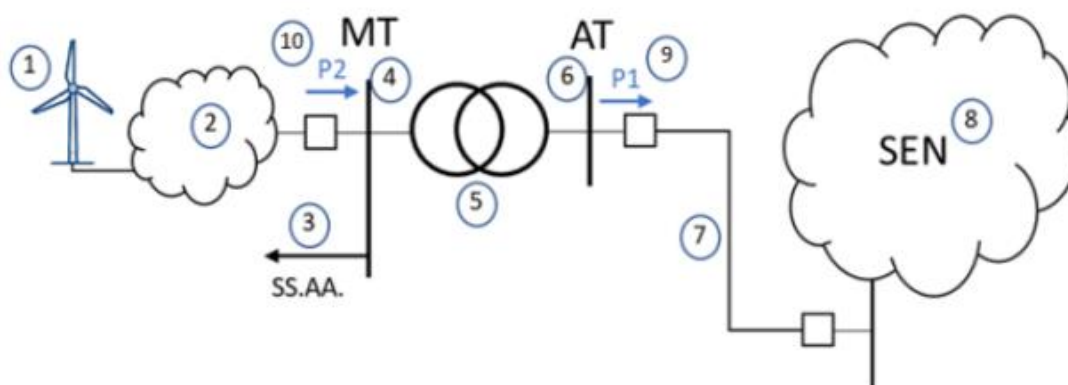


ILUSTRACIÓN 2

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. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de 33kV de tensión.
10. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida 220kV.

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. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de 33kV de tensión.
10. Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida 220kV.

Posteriormente se definen las siguientes variables:

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

La potencia máxima activa bruta ($P_{Max-Bruta}$) en 220 [kV] de la central quedará definido por:

$$P_{Max-Bruta} = P_1 + P_{trafo} + SS.AA + P_{colector}$$

1.	Máxima potencia aerogeneradores	190.225 [kW]
2.	Pérdidas en el sistema colector	1.561 [kW]
3.	Servicios Auxiliares de la central	4 [kW]
5.	Pérdidas activas en Trans. de Poder	386 [kW]
6.	Potencia Activa inyectada en la barra AT 220 kV	188.274,4 [kW]
Potencia Máxima Activa Bruta (Pmaxbruta)		190.225,5 [MW]
Potencia Máxima Activa Neta (Pmaxneta)		188.274,4 [MW]

Tabla 7 Tabla de Resultados

4. Conclusiones

De acuerdo con lo expuesto en el presente informe, se concluye que el parámetro de potencia máxima neta de Parque Eólico Cabo Leones III es de 188.274,4 [MW], mientras que la potencia máxima Bruta del parque es de 190.225,5 [MW].

5. Referencias

- [1] Comisión Nacional de Energía (2020). Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. Recuperado de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/09/NTSyCS-Sept20.pdf>
- [2] Comisión Nacional de Energía. Anexo Técnico: Determinación de Parámetros para los procesos de Partida y detención de Unidades Generadoras. Recuperado de <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/12/DETERMINACI%C3%93N-DE-PAR%C3%81METROS-PARA-LOS-PROCESOS-DE-PARTIDA-Y-DETENCI%C3%93N-DE-UNIDADES-GENERADORAS.pdf>
- [3] Coordinador Eléctrico Nacional (2019). Puesta en Servicio de Unidades Generadoras– Aplicación de Anexos Técnicos– Recuperado de <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/03/PES-de-UUGG-Aplicaci%C3%B3n-de-Anexos-T%C3%A9cnicos.pdf>
- [4] SIEMSA, Grupo Ibereólica Renovables (2021). SET PE CABO LEONES I/III 33/220 kV. Cod.: 1CBL2UNX0 R8
- [5] PE Cabo Leones III SpA (2021). Sistema Colector, Diagrama de Bloques, y Fibra Óptica. Cod.: PECLIII (2ª FASE) - 05
- [6] Prysmian. Cables tipo EPROTENAX COMPACT (aislamiento de HEPR).
- [7] ABB (2017). Protocolo de Ensayos Placa de Características. Cod.: 1ZBR61691
- [8] ABB (2018). Protocolo de Ensayos. Cod.: 1ZBR61952
- [9] ABB (2019). Hoja de Características Garantizadas Transformador de Poder 128/64/64 MVA; 170/85/85 MVA
- [10] Siemens Gamesa (2019). CR50 50HZ C1 Technical datasheet. Cod.: GD413804
- [11] Siemens Gamesa (2018). Soluciones de conexión a red SGRE DFIG AEG. Cod.: GD314947-ES R3
- [12] Siemens Gamesa (2019). AA2401 Características Eléctricas del Convertidor SG 5MW. Cod.: GD413804
- [13] Siemens Gamesa (2020). Características Generales del Transformador. Cod.: GD313752-ES R3
- [14] Siemens Gamesa (2020). SG 5.0-145 WTG CAPAB.FOR GRID CONNECTION. Cod.: GD414141-en
- [15] Siemens Gamesa (2019). SG 5.0-145 MW Power Curve. Cod.: GD411360
- [16] Cabo Leones III. Analizador instalado en el cuadro principal de Baja tensión.



Ilustración 3 Dato empírico de los Consumos Auxiliares

El valor promedio de los consumos de auxiliares es de **4,02KW**. Sin consumo de ventiladores transformador.

[17] (2021). Datos Anexos.

[18] PE Cabo Leones III SpA (2020) Informe Técnico de Potencia Máxima Parque Eólico Cabo Leones III Fase 1. Recuperado de: <https://www.coordinador.cl/parametros-operacionales/documentos/potencia-maxima/pruebas-de-potencia-maxima/pe-cabo-leones-iii-pruebas-de-potencia-maxima/>