



CL120220116 Rev. 1 16-01-2022

The background features a large green triangle on the left side, a dark blue diagonal band crossing the page, and a faint, light blue silhouette of a wind turbine in the lower right quadrant.

**Informe Determinación de Parámetros  
para los Procesos de Partida y Detección  
de Unidades Generadoras  
Parque Eólico Cabo Leones I**

**Fase 2**

## Contenido

1	Introducción.....	4
1.1	Objetivo.....	4
1.2	Alcance.....	4
2	Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Cabo Leones I.....	6
2.1	Unifilar Subestación Parque Eólico.....	6
2.2	Unifilar red de Media Tensión.....	7
2.3	Servicios Auxiliares de la subestación.....	9
2.4	Transformador de Poder.....	11
2.5	Aerogenerador.....	11
2.5.1	Datos del Generador.....	15
2.5.2	Datos del Convertidor.....	15
2.5.3	Transformador de aerogenerador.....	16
2.5.4	Curva de potencia.....	17
2.5.1	Curva de Generación de Potencia Reactiva.....	18
2.5.2	Funcionamiento a Q a P=0 (QwP0).....	20
2.5.3	Estados del aerogenerador.....	21
2.5.4	Control de Potencia Reactiva en Mínimo Técnico bajo presencia de recurso eólico. 22	
2.5.5	Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso eólico.....	22
3	Regulación de Potencia Activa y Reactiva del Parque Eólico Cabo Leones I.....	23
4	Determinación de Parámetros del Proceso de Partida.....	25
2.6	Energía consumida durante el proceso de partida.....	25
2.7	Tiempos Requeridos.....	25
5	Determinación de Parámetros Operación Normal.....	25
2.8	Energía consumida.....	25
2.9	Tiempos requeridos.....	26
6	Determinación de Parámetros del Proceso de Detención.....	27
2.10	Energía consumida.....	27
2.11	Tiempos requeridos.....	27
7	Resumen de los parámetros.....	28
2.12	Resumen Parque Eólico Cabo Leones I.....	28
2.13	Resumen Aerogenerador.....	29

8	Conclusiones .....	30
9	Referencias.....	31

# 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 I 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 junio 2018 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 Objetivo

El presente documento tiene como propósito establecer los parámetros de partida y detención de las unidades generadoras del Parque Eólico Cabo Leones I Fase 1 y 2 y proporcionar la información técnica de los 12 aerogeneradores SG-5.0-145, siendo este el instalado en la fase 2, mientras que la información correspondientes a la fase 1 están informados al Coordinador Eléctrico Nacional como anexo al Estudio de Parametrización de Partida-Detención de la Fase 1 [15], el cual se informó mediante DE05878-20 y posteriormente aceptados por el organismo, mediante DE04704-20; dicha información fue utilizada para la justificación de los valores obtenidos para el parque completo, como es requerido por lo anexos técnicos de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad del Servicio (NTSyCS). En cuanto a la Fase 1 del proyecto consta de 55 aerogeneradores SG-114 2.1, dicha información técnica fue presentada el 24 de noviembre de 2020 en conjunto con el Informe Técnico Parámetro de Mínimo Técnico [17].

## 1.2 Alcance

La información y documentación proporcionada se limita únicamente a información técnica del Parque Eólico Cabo Leones I y el aerogenerador SG-5.0-145 de acuerdo con los apartados aplicables establecidos en el documento "**ANEXO TÉCNICO: Determinación de Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de Unidades Generadoras**" el cual solicita la siguiente información:

***"Artículo 10 Informe Técnico de parámetros de Partida y Detención.***

*El Informe Técnico de parámetros de Partida y Detención consistirá en un documento que describa los registros de operación, supuestos, metodologías, alcances de la aplicación de estas metodologías y conclusiones, bajo los cuales se determinó el valor de los parámetros de Partida y Detención informados.*

*Este informe deberá contener, al menos, la siguiente información:*

- a) Información técnica, recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.*
- b) Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.*

- c) *Antecedentes técnicos que respalden y explique el comportamiento esperado o desempeño registrado. Para el caso de unidades generadoras que puedan operar con combustible alternativo, y cuyos parámetros sean distinto al del combustible principal, deberán entregar los mismos antecedentes requeridos en el presente Anexo para el combustible principal.”*

Con respecto a los parámetros a medir el mismo anexo técnico menciona en el artículo 6 los siguientes periodos de tiempo:

*“I. Desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización.*

*II. Desde la sincronización hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico.*

*III. Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la operación a potencia nominal.*

*IV. Desde la operación a potencia nominal hasta la desconexión.*

*V. Desde la desconexión de la unidad hasta el término del proceso de detención.”*

Estos parámetros son típicos de la generación convencional y no son directamente aplicables a la generación eólica. Considerando lo anterior, para medir estos parámetros se utilizarán los estados de los aerogeneradores que sean comparables con los estados de operación requeridos. A su vez se diferenciará entre la respuesta a nivel de aerogenerador y de parque eólico.

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 I

### 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 I 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.

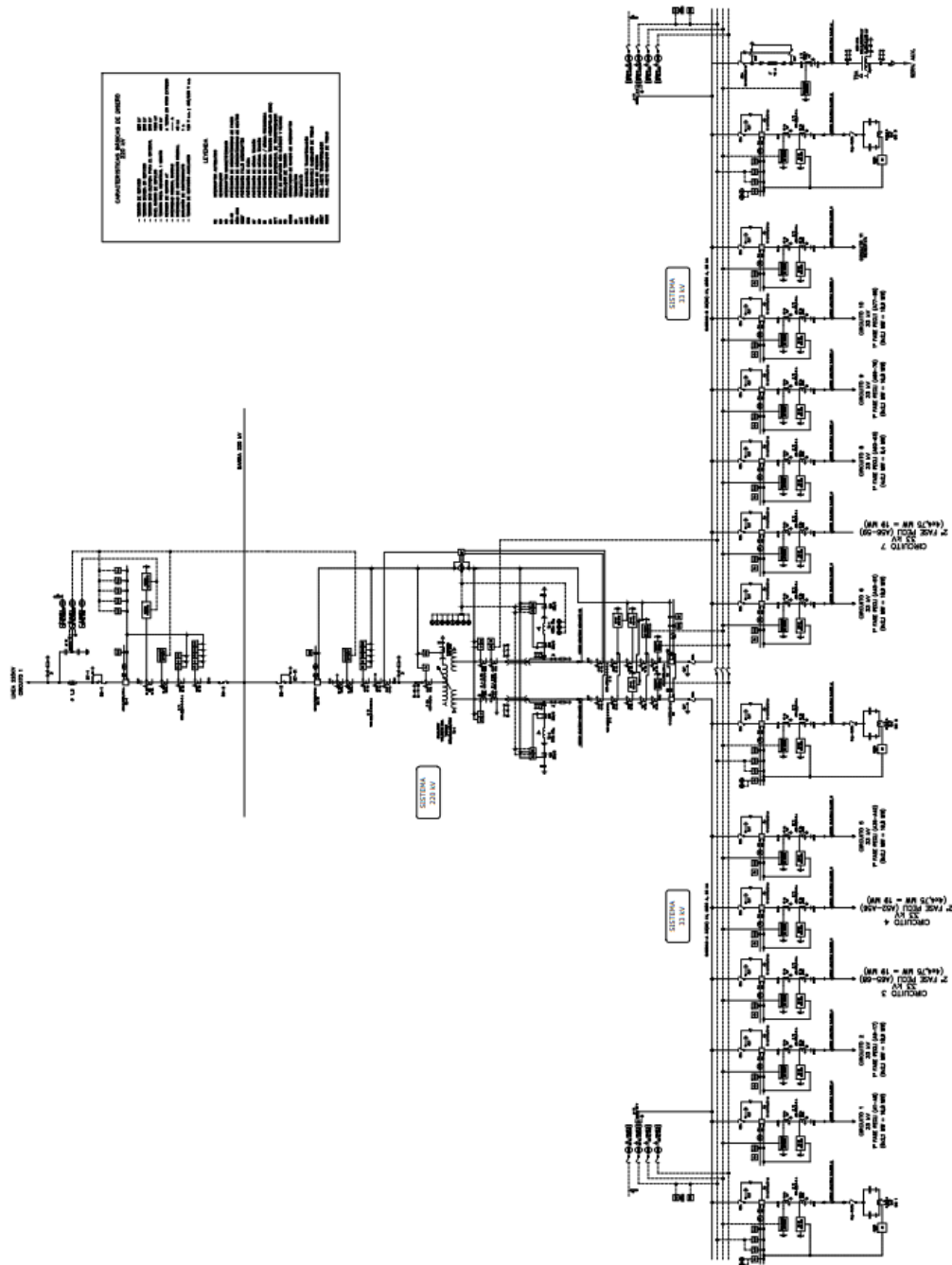


Figura 1. Esquema Unifilar Parque Eólico Cabo Leones I Fase 2 - Hoja 2. [4]

## 2.2 Unifilar red de Media Tensión

El Parque Eólico Cabo Leones I Fase 2 está compuesto por 12 aerogeneradores SG-5.0-145 sumando una potencia neta de 60 MW, adicional a ello, el parque cuenta con 12 aerogeneradores G-114 2,1 MW de la Fase 1, para dar una potencia nominal completa de 115,5 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.

### DIAGRAMA DE BLOQUES RED DE MEDIA TENSIÓN

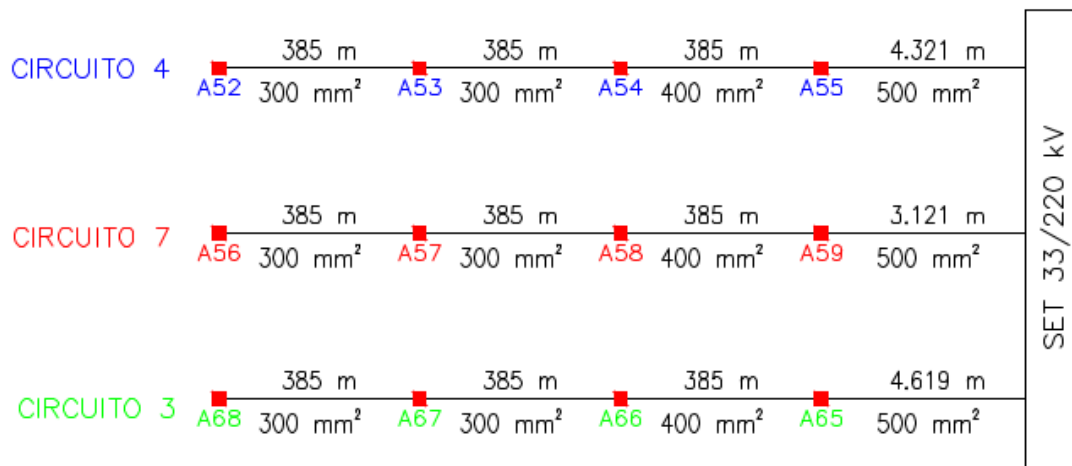


Figura 2. Esquema Sistema Colector del Parque Eólico Cabo Leones I fase 2 [5].

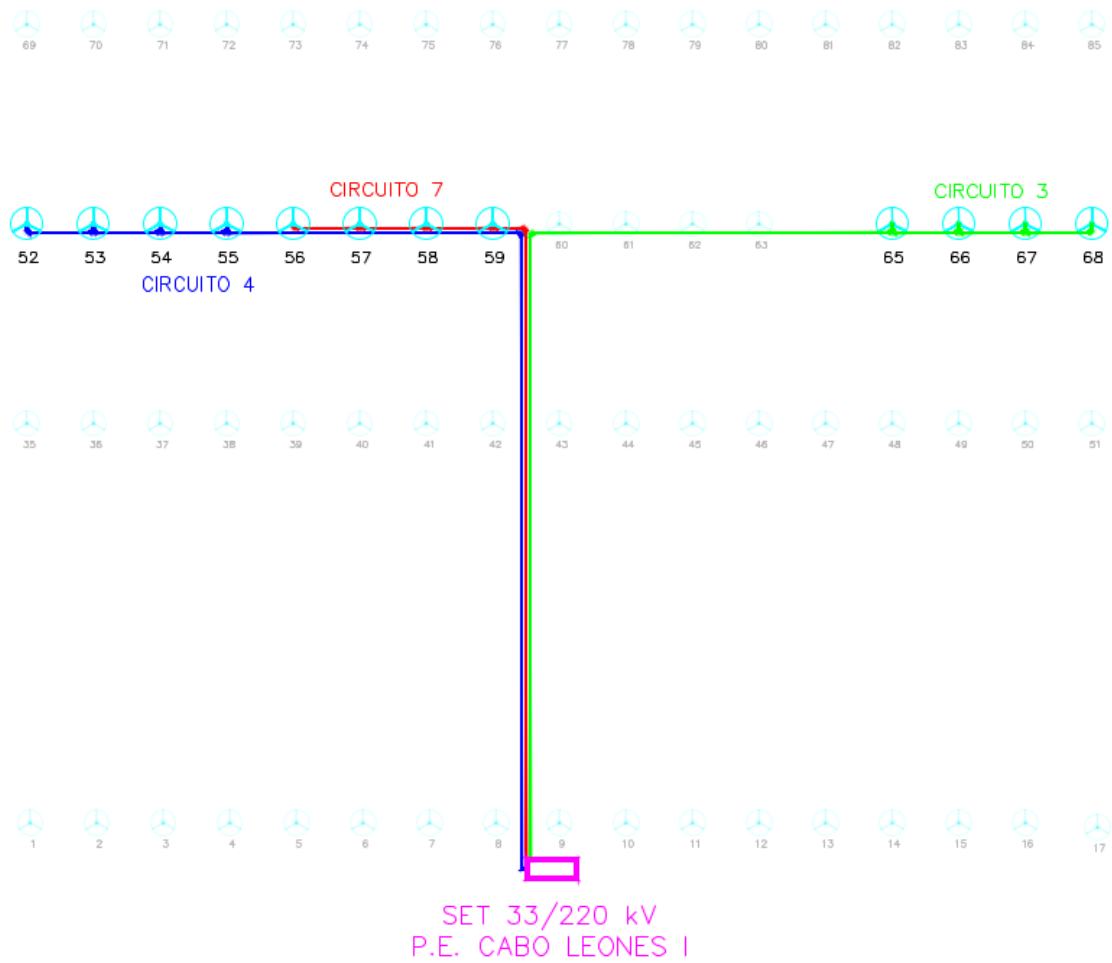


Figura 3. Implantación Sistema colector Parque Eólico Cabo Leones I fase 2.

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



DIAGRAMA DE BLOQUES RED DE MEDIA TENSIÓN

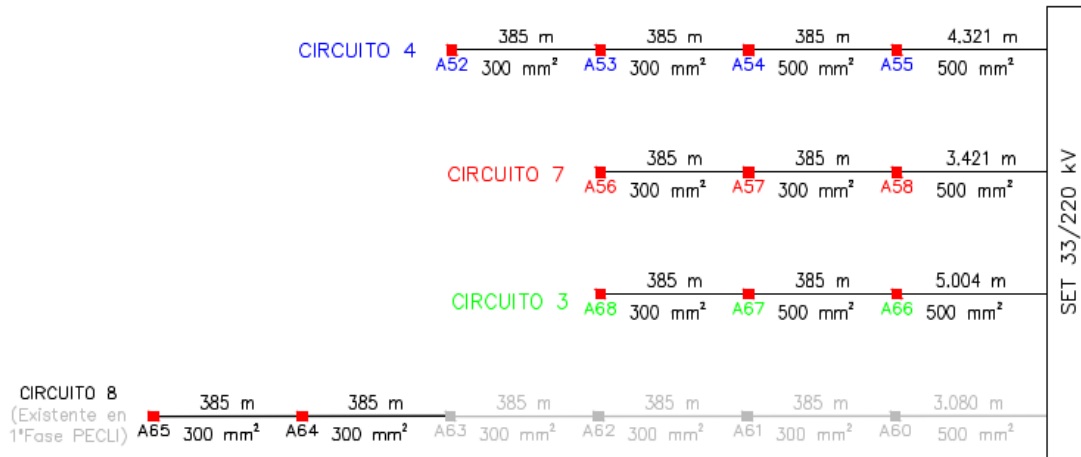


DIAGRAMA DE BLOQUES RED DE FIBRA ÓPTICA

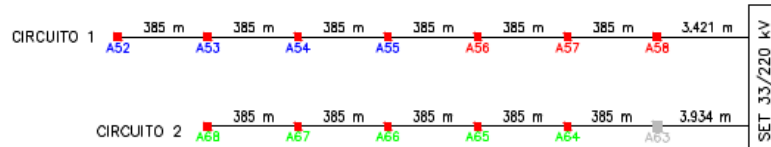


Figura 4. Esquema Sistema colector Parque Eólico Cabo Leones I fase 1 y 2.

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en [6].

### 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.

BARRAS-B 33kV TRANSFORMADOR 1 – 36kV, 2000A, 25kA

CELDA SERVICIOS AUXILIARES 1  
36kV, 200A, 25kA

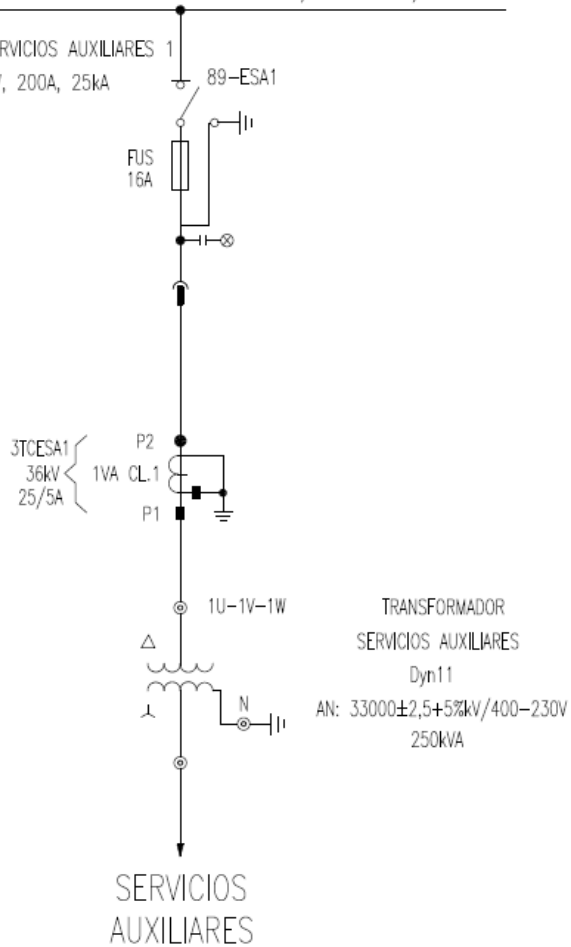


Figura 4. Transformador de SSAA de la subestación.

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.

## 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 1: 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/DC/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:

No existe pico de corriente en el momento de conexión a la red, a diferencia de los generadores asíncronos convencionales.

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.

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 asincrónico, 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:

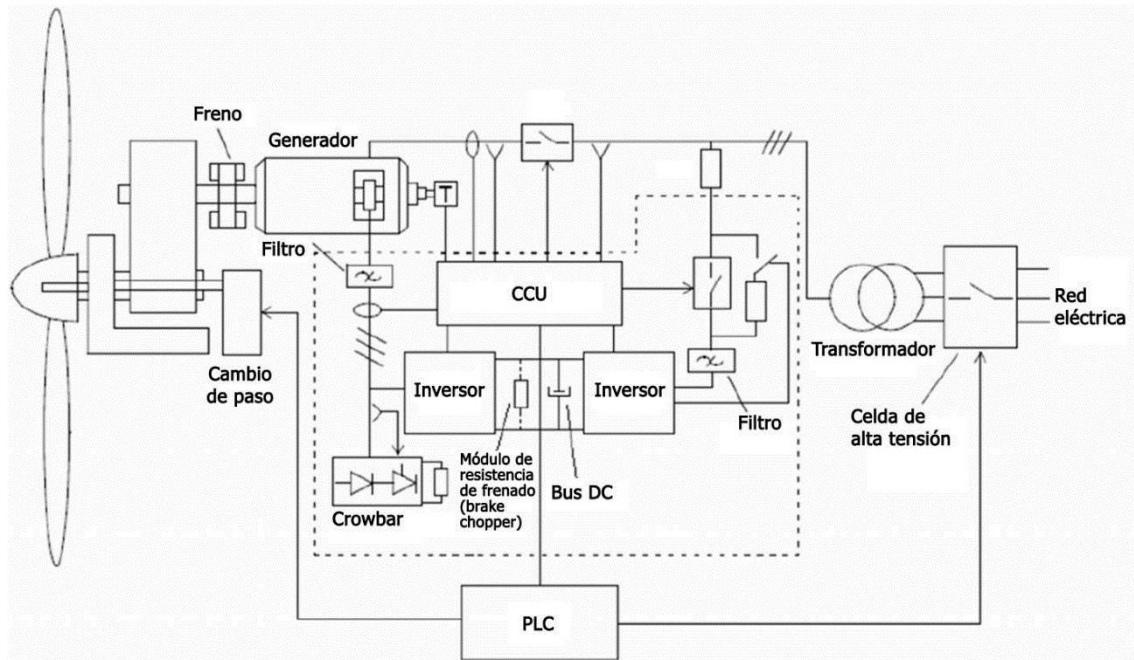


Figura 5. Esquema de hardware del aerogenerador SG-5.0-145

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:

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 2: 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 3: 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 ⇒ 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 ⇒ 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 4: 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/m<sup>3</sup>]. 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/m <sup>3</sup> ]											
	1,225	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,2	1,21	1,22	1,24	1,27	
Ws [m/s]												
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	4999	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 5: Potencia calculada en función de la velocidad del viento a la altura del eje Ws del aerogenerador SG-145 5.0 MW, para diferentes densidades

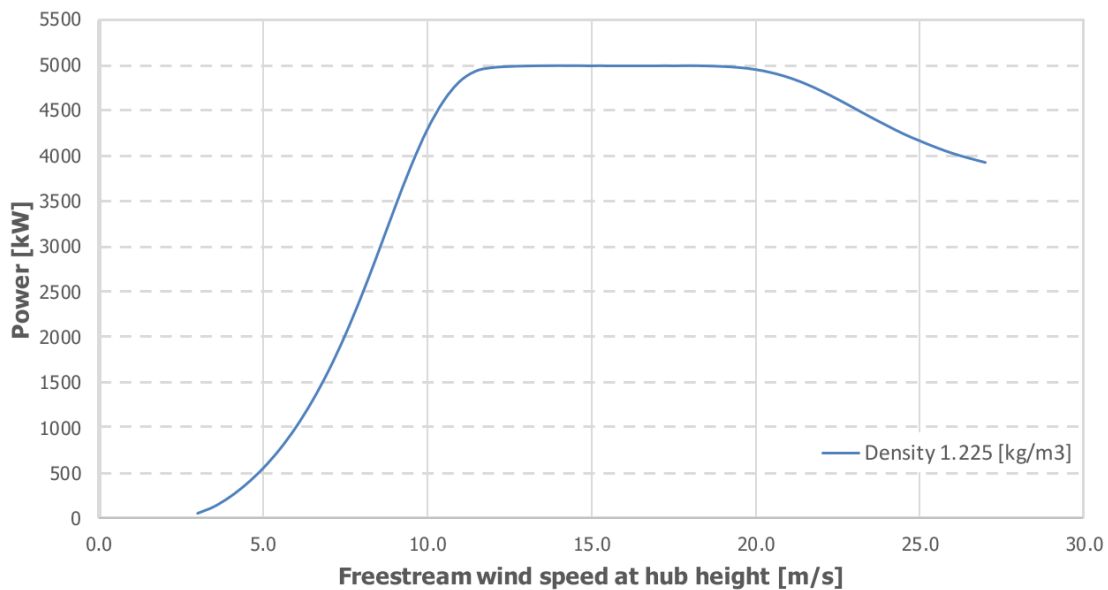


Figura 6. Curva de Potencia del aerogenerador SG-145 5.0 MW a 1.225 [kg/m<sup>3</sup>]

### 2.5.1 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.

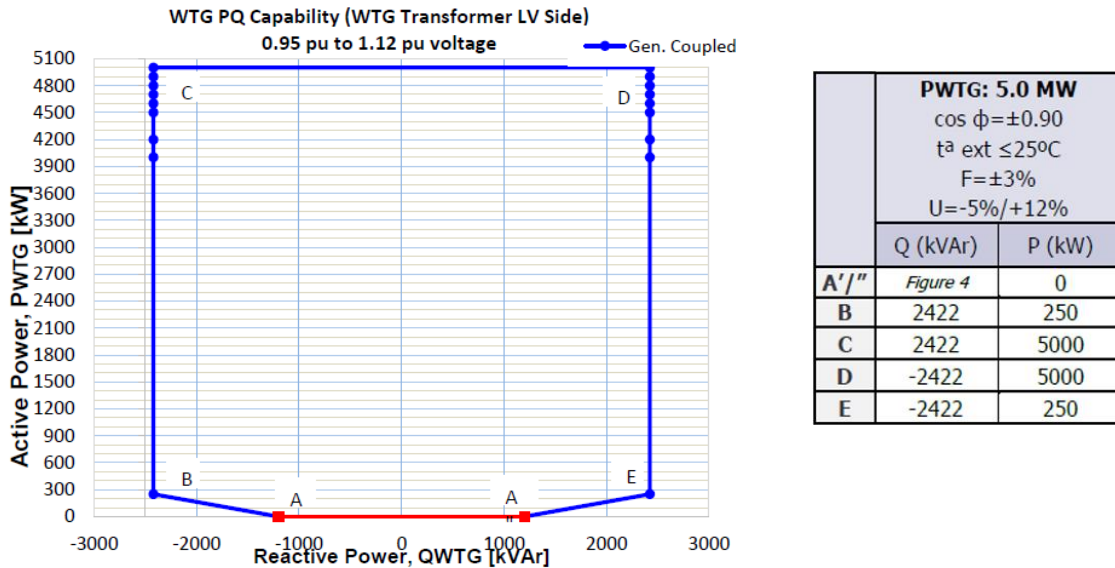


Figura 7. Curva generación de potencia reactiva aerogenerador SG-145

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]

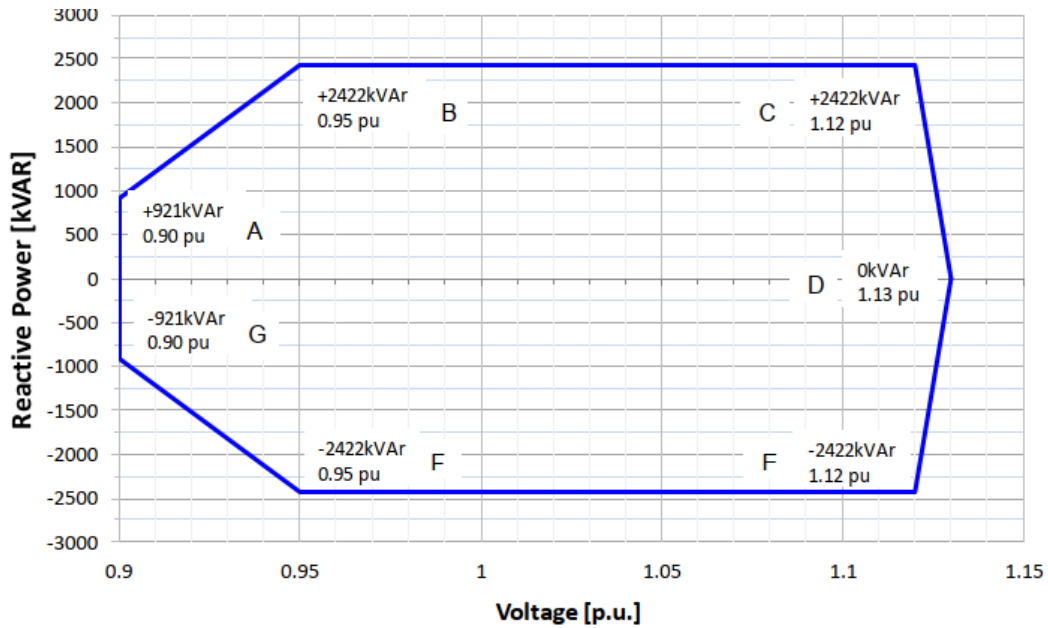


Figura 8. Curva Generación de potencia reactiva aerogenerador SG-145 en función de la tensión.

## 2.5.2 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.

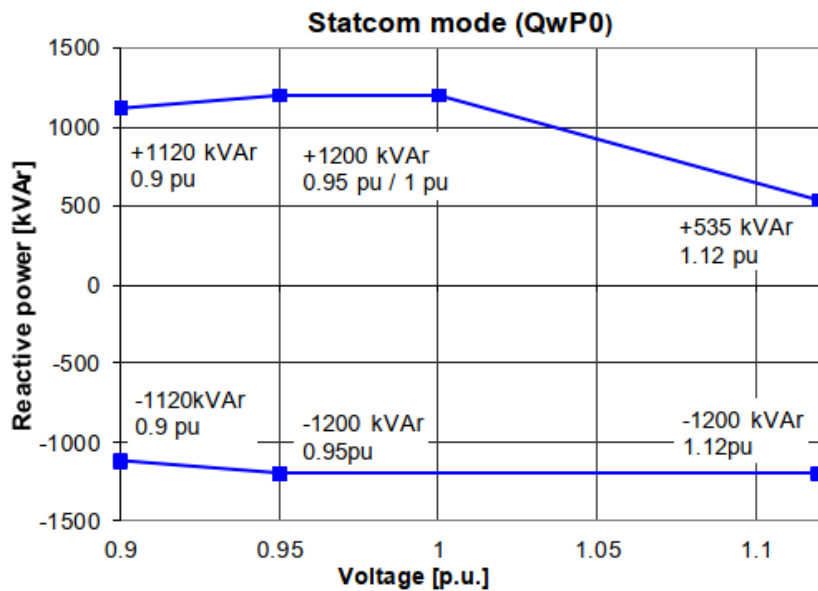


Figura 9: Q a P=0

## 2.5.3 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.

## 2.5.4 Control de Potencia Reactiva en Mínimo Técnico bajo presencia de recurso eólico.

Según lo indicado por el fabricante en el anexo [20], bajo mínimo técnico, cada aerogenerador de la primera etapa puede responder bajo los siguientes parámetros de diseño:

Para cada aerogenerador primera fase	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 1600 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	1600 [kVAR]

Tabla 6: Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador funcionando en mínimo técnico, según fabricante.

Teniendo en cuenta que la potencia de las unidades generadoras de la primera etapa es menor que los de la segunda etapa, el mínimo técnico es determinado por la primera etapa y los aerogeneradores de la segunda etapa al ser de mayor potencia pasan estar en modo PAUSE (3). Para la segunda etapa, según lo establecido en la Figura 7 y se resume a continuación:

Para cada aerogenerador segunda fase	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 1200 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	1200 [kVAR]

Tabla 7: Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador funcionando en mínimo técnico, según fabricante.

Para el caso del parque y bajo condiciones de mínimo técnico a 10% de la Potencia Nominal, los parámetros de diseño son los siguientes:

Para el parque	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 61600 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	61600 [kVAR]

Tabla 8: Potencia reactiva máxima por el parque funcionando en mínimo técnico, según criterio de diseño.

En ambos casos, el mínimo capaz de absorber o inyectar, tanto para los aerogeneradores como el parque es 0 [kVAR].

Cabe mencionar que el parque no posee ninguna limitación a la hora de funcionar a Mínimo Técnico.

## 2.5.5 Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso eólico.

Según lo indicado por el fabricante en el anexo [20], bajo mínimo técnico, cada aerogenerador de la primera etapa puede responder bajo los siguientes parámetros de diseño:

Para cada aerogenerador primera fase	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 700 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	700 [kVAR]

Tabla 9 Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador en ausencia de recurso, según fabricante.

Para la segunda etapa, según lo establecido en la Figura 7 y se resume a continuación:

Para cada aerogenerador segunda fase	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 1200 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	1200 [kVAR]

Tabla 10: Potencia reactiva máxima por cada aerogenerador funcionando en mínimo técnico, según fabricante.

Para el caso del parque y bajo condiciones de mínimo técnico a 5% de la Potencia Nominal, los parámetros de diseño son los siguientes:

Para el parque	Potencia Reactiva
Capacidad Máxima de Absorber reactivos	- 41800 [kVAR]
Capacidad Máxima de inyectar reactivos	41800 [kVAR]

Tabla 11 Potencia reactiva máxima por el parque en ausencia de recurso, según criterio de diseño.

En ambos casos, el mínimo capaz de absorber o inyectar, tanto para los aerogeneradores como el parque es 0 [kVAR].

### 3 Regulación de Potencia Activa y Reactiva del Parque Eólico Cabo Leones I.

El control del parque eólico es hecho por medio de la interfaz WindNet® PRO de Gamesa. En esta interfaz se encuentra el Gamesa Power Manager (PM) que es una herramienta que sirve para controlar la salida de potencial del parque eólico en el punto de conexión a la red.

Como norma general, PM permite la regulación de la potencia activa teniendo en cuenta una consigna externa (modo de equilibrio), una limitación administrativa fija (límite de potencia), un requisito de frecuencia (activa/frecuencia) y una función de rampa de viento (índice de rampa). Además, PM permite la regulación de la potencia reactiva.



Figura 10. Pantalla WindNet Pro.

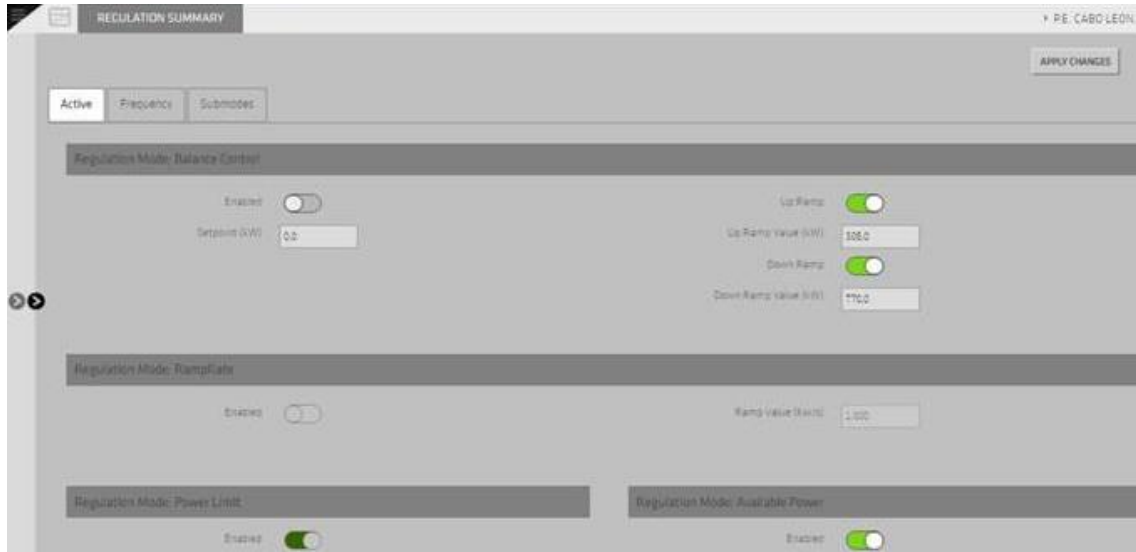


Figura 11. Pantalla WindNet Pro – Regulador de Activa.

Los aerogeneradores de Siemens-Gameasa reciben comandos de potencia activa o de marcha/pausa y usan su propia capacidad de modulación de potencia activa a fin de ejecutar las órdenes, respetando sus límites técnicos para garantizar la integridad de los componentes del aerogenerador. Los aerogeneradores de Siemens-Gameasa pueden modular su producción de potencia activa en un amplio rango de generación, desde el 100 % de su capacidad total hasta su límite de regulación.

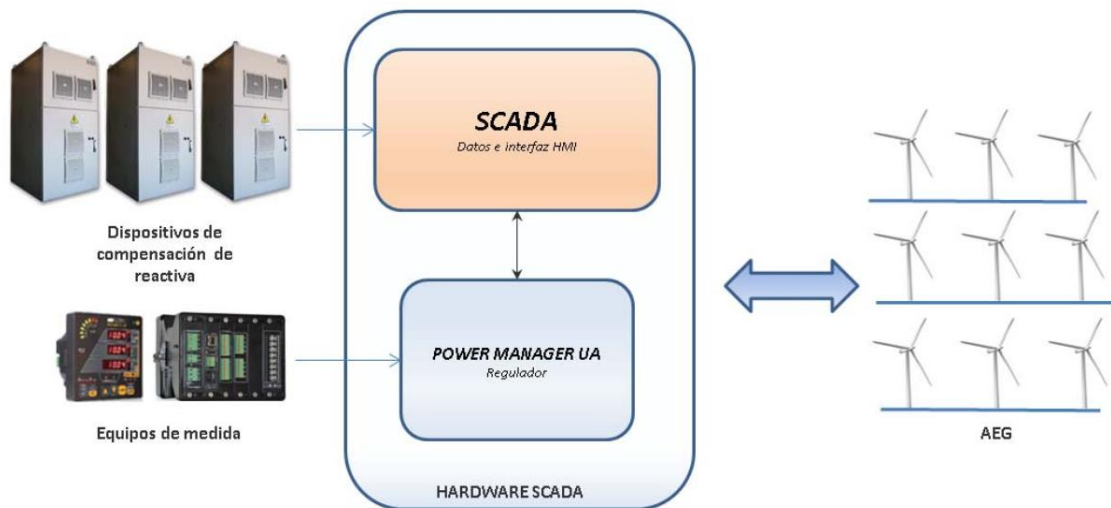


Figura 12. Esquema Funcional Parque Eólico Cabo Leones I.



## 4 Determinación de Parámetros del Proceso de Partida

### 2.6 Energía consumida durante el proceso de partida

Se estudiará la energía eléctrica consumida durante el proceso de partida, desde el inicio de la partida para el Parque Eólico Cabo Leones I y un aerogenerador.<sup>1</sup>

De los registros, el resumen es el siguiente:

Condición	Hora Registrada [hh:mm:ss]	Energía consumida [kWh]
Inicio	21:13:26	-
Sincronización	21:14:51	4,02

Tabla 12 Resultados para la energía consumida por el parque en el proceso de partida.

Condición	Hora Registrada [hh:mm:ss]	Energía consumida [kWh]
Inicio	21:13:26	-
Sincronización	21:14:51	0,68

Tabla 13 Resultados para la energía consumida por un aerogenerador en el proceso de partida.

La energía consumida desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización es de 4,02 [kWh] para el Parque y de 0,68 [kWh] para un aerogenerador.

### 2.7 Tiempos Requeridos

El tiempo transcurrido entre el inicio del proceso de partida hasta la sincronización con la red, es de 1,42 minutos.

El Parque tiene la capacidad de sincronizarse con el Sistema Eléctrico Nacional de forma instantánea.

## 5 Determinación de Parámetros Operación Normal

### 2.8 Energía consumida

En operación normal, tanto operando a mínimo técnico como a potencia nominal, no hay absorción de energía de la red.

---

<sup>1</sup> Ver anexo de datos

## 2.9 Tiempos requeridos

En el gráfico siguiente se visualiza el registro de potencia activa, comenzando de la condición de mínimo técnico a la máxima potencia que se puede producir con el viento disponible en el momento del ensayo.

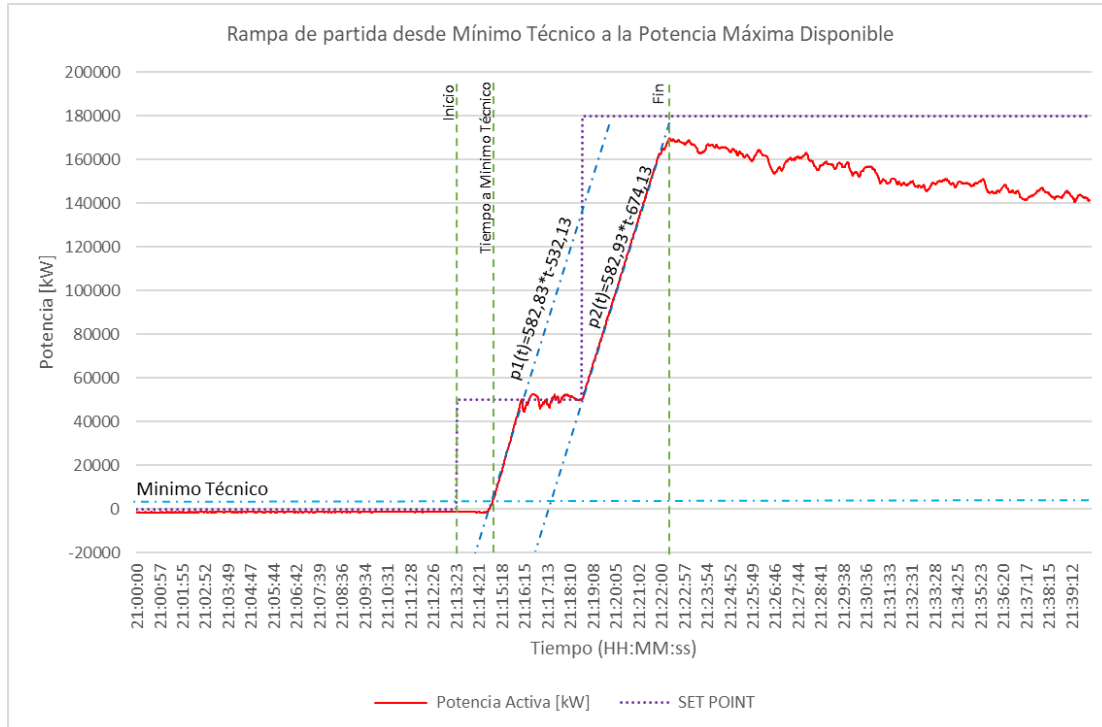


Gráfico 1 Rampa desde Mínimo Técnico a Potencia Máxima Disponible

Según demuestran empíricamente los ensayos de la central, la rampa de potencia de subida está ajustada a 35 [MW/min], lo cual corresponde al 20% de  $P_{nom}/min$ , cumpliendo con la normativa vigente, siendo la potencia nominal de 175,5 [MW], por lo que, partiendo desde el nivel de mínimo técnico de 1,365 [MW] hasta la potencia nominal, el tiempo requerido será de 1,42 minutos y para la rampa de bajada en 5,41 minutos.

Respecto de la discontinuidad presente en la curva, esto se debe a que mientras se realizaba la prueba, desde el Coordinador Eléctrico Nacional se solicitó mantener una consigna de 50 [MW] durante 5,22 minutos, los cuales interrumpieron el normal arranque del parque. No obstante, para demostrar que la parametrización es la misma en ambas secciones de la curva, se obtuvieron las ecuaciones en ambas curvas, y las pendientes para p1 y p2 son: 582,83 [kW/s] y 582,93 [kW/s], demostrando que ambas curvas son cuasiparalelas, esta diferencia decimal se debe al propio error aleatorio experimental. Con lo cual, se concluye que ambas curvas mantienen la misma parametrización, luego el parque responde a de igual forma independiente del instante en que se arranque.

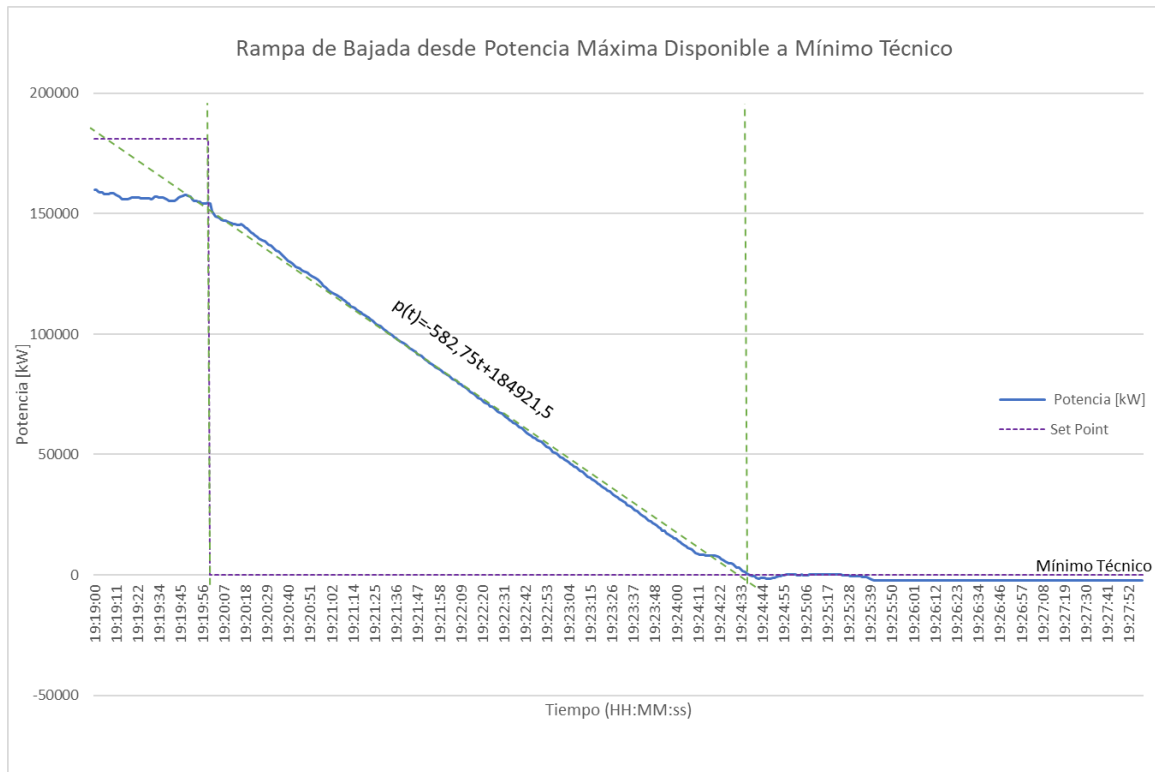


Gráfico 2 Rampa desde Potencia Máxima Disponible a Operación en Mínimo Técnico

Cabe mencionar que ambos estudios se realizan con la potencia máxima disponible según recurso eólico.

## 6 Determinación de Parámetros del Proceso de Detención

### 2.10 Energía consumida

En las unidades instaladas, el proceso de detención y pausa implica que los aerogeneradores se detendrán de forma inmediata.

Una vez en pausa, el consumo del sistema corresponderá únicamente a las pérdidas de vacío del transformador de poder en la subestación y a los servicios auxiliares. El consumo típico queda definido por lo indicado en el Capítulo 3, en 390 kW.

### 2.11 Tiempos requeridos

Según lo determinado por el ensayo de detención del Parque Eólico Cabo Leones I, desde la operación en mínimo técnico hasta la desconexión, transcurre 0,23 minutos.

Finalmente, se resume en la siguiente tabla los valores energéticos del proceso:

Condición	Energía Consumida [kWh]
Hasta la detención del parque	0,243

Hasta la detención de un aerogenerador | 0,006

Tabla 14 Resumen de prueba de Detención

## 7 Resumen de los parámetros

### 2.12 Resumen Parque Eólico Cabo Leones I

Parámetro Técnico	Unidad	Proceso de Partida		Operación Normal		Proceso de Detención		Desde Finalizado el proceso de partida hasta antes de poder detenerse
		Desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización	Desde la sincronización hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	Desde la Operación a Mínimo Técnico hasta la operación a potencia nominal	Desde la operación a potencia nominal hasta la operación a Mínimo Técnico	Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión	Desde la desconexión de la unidad hasta el término del proceso de detención (Proceso apagado)	
b) Energía eléctrica consumida durante el proceso de partida	[kWh]	4,02	0	0				
c) Tiempo requerido para el proceso de partida	[min]	1,42	0	7,17				
e) Energía eléctrica consumida durante el proceso de detención	[kWh]				0	0,37	0	
f) Tiempo requerido para el proceso de detención	[min]				5,42	0,04	0	
Tiempo mínimo de operación antes de poder detenerse, una vez concluido el proceso de partida	[min]							0

Tabla 15 Resumen Final para Parque Eólico Cabo Leones I

## 2.13 Resumen Aerogenerador

Parámetro Técnico	Unidad	Proceso de Partida		Operación Normal		Proceso de Detención		Desde Finalizado el proceso de partida hasta antes de poder detenerse
		Desde el inicio del proceso de partida hasta la sincronización	Desde la sincronización hasta alcanzar la operación a Mínimo Técnico	Desde la Operación a Mínimo Técnico hasta la operación a potencia nominal	Desde la operación a potencia nominal hasta la operación a Mínimo Técnico	Desde la operación a Mínimo Técnico hasta la desconexión	Desde la desconexión de la unidad hasta el término del proceso de detención (Proceso apagado)	
b) Energía eléctrica consumida durante el proceso de partida	[kWh]	38,9	0	0				
c) Tiempo requerido para el proceso de partida	[min]	1,42	0	7,17				
e) Energía eléctrica consumida durante el proceso de detención	[kWh]				0	0,006	0	
f) Tiempo requerido para el proceso de detención	[min]				5,42	0,04	0	
Tiempo mínimo de operación antes de poder detenerse, una vez concluido el proceso de partida	[min]							0

Tabla 16 Resumen Final para los Aerogeneradores

## 8 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “**ANEXO TÉCNICO: Determinación de Parámetros para los Procesos de Partida y Detención de Unidades Generadoras**” y las características operativas de los aerogeneradores SG-5.0-145 de la Fase 2, así como los SG-114 2.1 MW de la Fase 1, y para ello se presentan las siguientes conclusiones al respecto de los parámetros de partida y detención para el Parque Eólico Cabo Leones I considerando sus fases 1 y 2:

- Tiempo de partida desde inicio hasta sincronización: 1,42 [min].
- Tiempo de mínimo técnico a potencia nominal: 7,17 [min].
- Tiempo de potencia nominal a mínimo técnico: 5,42 [min].
- Tiempo de mínimo técnico a la desconexión: 0,04 [min].

Por otra parte, mencionar que el parque no cuenta con un tiempo mínimo de detención, por lo tanto, es posible iniciar inmediatamente un nuevo proceso de partida una vez concluida la detención.

## 9 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 Iberoólica Renovables (2021). ESQUEMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA 33/220 kV DEL P.E CABO LEONES I.
- [5] Parque Eólico Cabo Leones I (2021). Sistema Colector. Cod.: PECLI (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] Parque Eólico Cabo Leones I (2020). Informe Técnico Parámetros Partida y Detención Parque Eólico Cabo Leones I Fase 1. Recuperado de: [https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2020/09/CL1180303\\_R1\\_Informe\\_Partida\\_y\\_Detencion\\_de\\_Cabo\\_Leones\\_I.pdf](https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2020/09/CL1180303_R1_Informe_Partida_y_Detencion_de_Cabo_Leones_I.pdf)

[18] Parque Eólico Cabo Leones I (2020). Informe Técnico Parámetro de Mínimo Técnico Parque Eólico Cabo Leones I Fase 1. Recuperado de: <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2020/05/CL1180301-R3-informe-de-m%C3%ADnimo-t%C3%A9cnico-de-cabo-leones-I.pdf>

[19] (2021) Datos Anexos

[20] Siemens Gamesa (2018). SG 3.X WTG Capabilities for Grid Connection PQ. Cod.: GD357927-en