

# CABO LEONES I

CL1180301 Rev. 3 15.04.2020



## [Informe Determinación de Mínimo Técnico en Unidades Generadoras: PARQUE EÓLICO CABO LEONES I]

## Contenido

1	Objetivo.....	3
2	Alcance.....	3
3	Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Cabo Leones I.....	4
3.1	Unifilar Subestación PE .....	4
3.2	Unifilar red de MT .....	5
3.3	Aerogenerador .....	6
3.3.1	Generador .....	9
3.3.2	Convertidor .....	11
3.3.3	Transformador de aerogenerador .....	12
3.3.4	Curva de potencia .....	13
3.3.5	Curva de Generación de Potencia Reactiva .....	15
3.3.6	Estados del aerogenerador .....	16
4	Regulación de Potencia Activa y Reactiva del Parque Eólico Cabo Leones I. ....	17
5	Regulación de Potencia Activa y Reactiva del Parque Eólico Cabo Leones I. ....	18
6	DETERMINACION DEL MINIMO TECNICO DEL PARQUE EÓLICO CABO LEONES I .....	20
6.1	Potencia Mínima Bruta y Potencia Mínima Neta.....	25
7	ANTECEDENTES DE OPERACIÓN DE PARQUE EÓLICO CABO LEONES I.....	27
8	JUSTIFICACIONES QUE DESCRIBEN FUENTES DE INESTABILIDAD DEL PARQUE EÓLICO CABO LEONES I.....	27
9	CONCLUSIONES.....	28
	ANEXO I – Datos Consumo Parque Eólico.....	29
	ANEXO II – Consumo Servicios Auxiliares.....	30

## 1 Objetivo

El presente documento tiene como propósito determinar el mínimo técnico de operación del parque eólico Cabo Leones I y proporcionar la información técnica de los aerogeneradores G114 2,1 MW y del Parque Eólico Cabo Leones I para la justificación de los valores obtenidos, como se requerido por lo anexos técnicos de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad del Servicio (NTSyCS).

## 2 Alcance

La información y documentación proporcionada se limita únicamente a información técnica del Parque Eólico Cabo Leones I y el aerogenerador Gamesa G114 2,1 MW de acuerdo a los apartados aplicables establecidos en el documento **“ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”** el cual solicita la siguiente información:

- a) *Antecedentes técnicos de diseño.*
- b) *Recomendaciones del fabricante y antecedentes nacionales o internacionales de unidades de similares características.*
- c) *Antecedentes de operación de la unidad generadora, incluyendo los registros y descripción de los análisis y pruebas efectuadas.*
- d) *Justificaciones que describan las eventuales fuentes de inestabilidad en la operación de la unidad generadora, que impidan que la unidad pueda operar en un valor menor de potencia activa.*
- e) *Antecedentes técnicos que respalden y expliquen el comportamiento esperado o desempeño registrado.*

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

### 3 Diseño e Información Técnica del Parque Eólico Cabo Leones I

#### 3.1 Unifilar Subestación PE

A continuación, se presenta el unifilar de la subestación del Parque Eólico Cabo Leones I. En el mismo se pueden apreciar las protecciones a nivel de parque eólico y la potencia instalada por circuito.

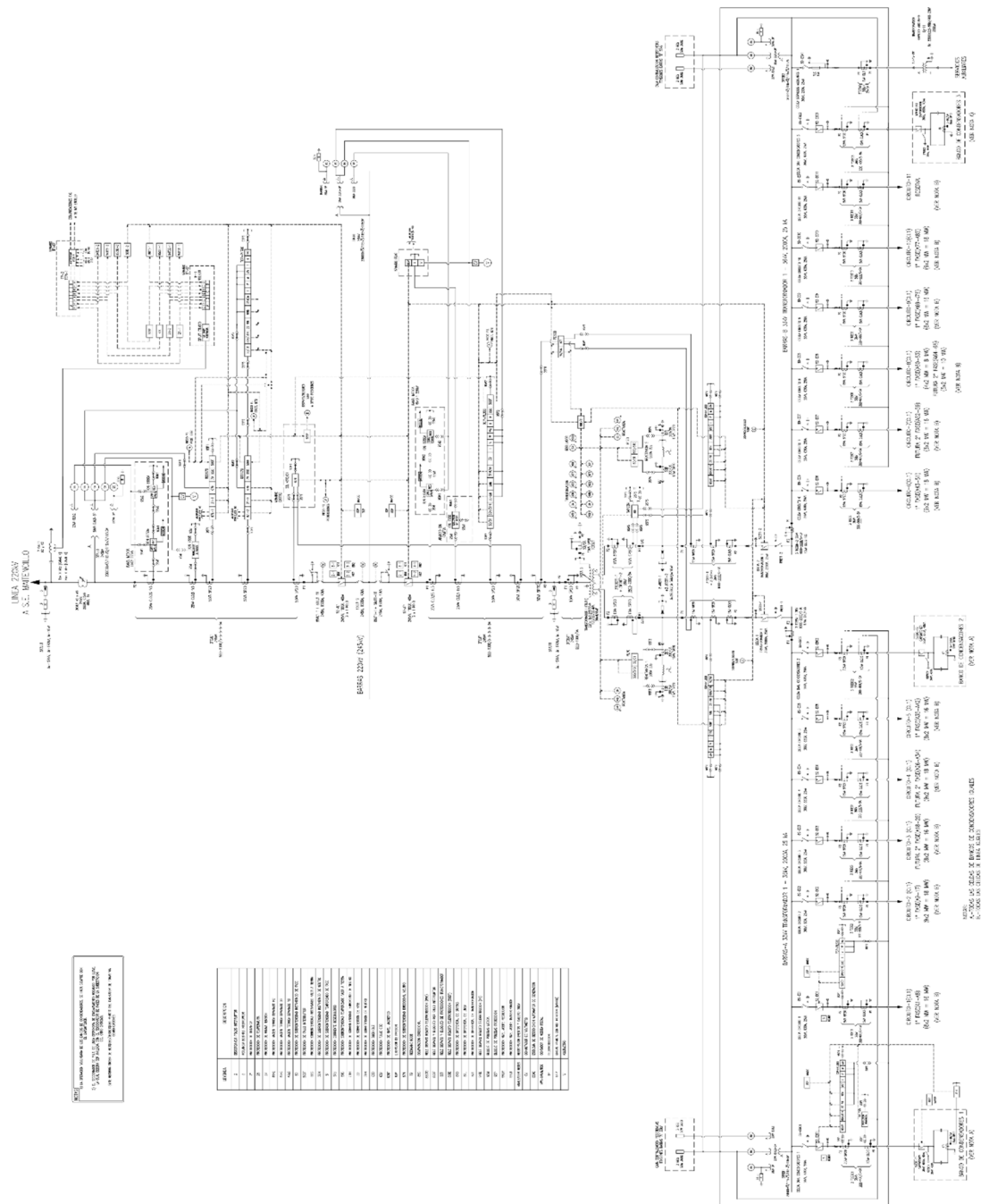


Figura 1. Esquema Unifilar Parque Eólico Cabo Leones I.

### 3.2 Unifilar red de MT

El Parque Eólico Cabo Leones I está compuesto por 55 aerogeneradores G114 de 2,17 MW sumando una potencia neta de 119,3 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. Este transformador tiene una potencia nominal de 170 MVA y sube el voltaje de 33 kV a 220 kV.



Figura 2. Esquema Sistema Colector Parque Eólico Cabo Leones I.

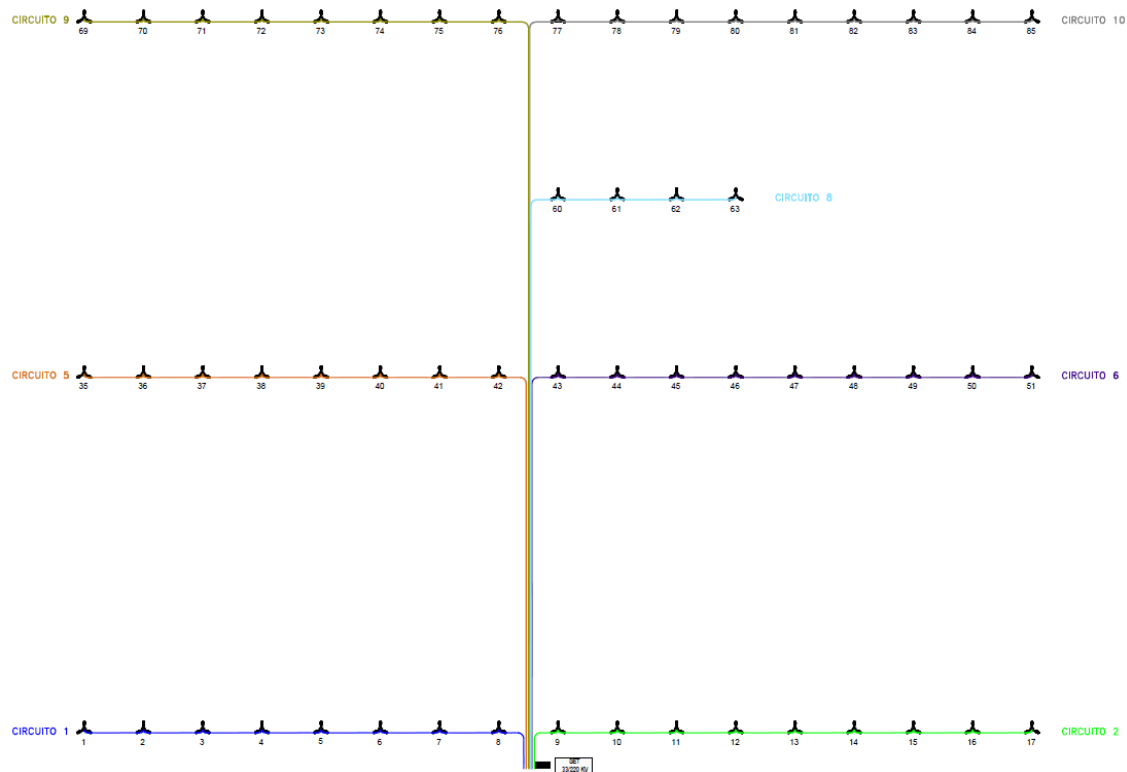


Figura 3. Implantación Sistema Colector Parque Eólico Cabo Leones I.

### 3.3 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 empleada en la familia de aerogeneradores Gamesa 2,0/2,1MW, el estator se conecta al secundario del transformador de media tensión (690Vac) a través de un interruptor automático (FG008), además de servir de elemento de protección contra posibles sobrecorrientes. Los bobinados del estator del generador se conectan en triángulo. El rotor se conecta al MSC, mientras que el GSC se conecta al secundario del transformador de media tensión (690Vac) mediante un contactor protegido por un interruptor automático (FG005) o fusibles, dependiendo de la tecnología empleada.

En la familia de generadores eólicos Gamesa 2,1MW existe una variante en la configuración de conexión y protección de la máquina a la red por medio del transformador de media tensión, que difiere levemente de las familias anteriormente mencionadas. El estator del generador sigue estando conectado al lado de baja tensión del transformador de media tensión a través del interruptor automático (FG008), mientras que los devanados del rotor lo hacen por medio de dos interruptores automáticos en serie (FG005 y FG005.2) en modo protección de acompañamiento o back-up.

Pese a que la tecnología del generador es de tipo asíncrono, el acoplamiento o conexión del aerogenerador a 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 excitado, de forma controlada desde el rotor, por medio del convertidor. La perturbación de la tensión de la línea provocada por el acoplamiento a red del aerogenerador eólico 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:

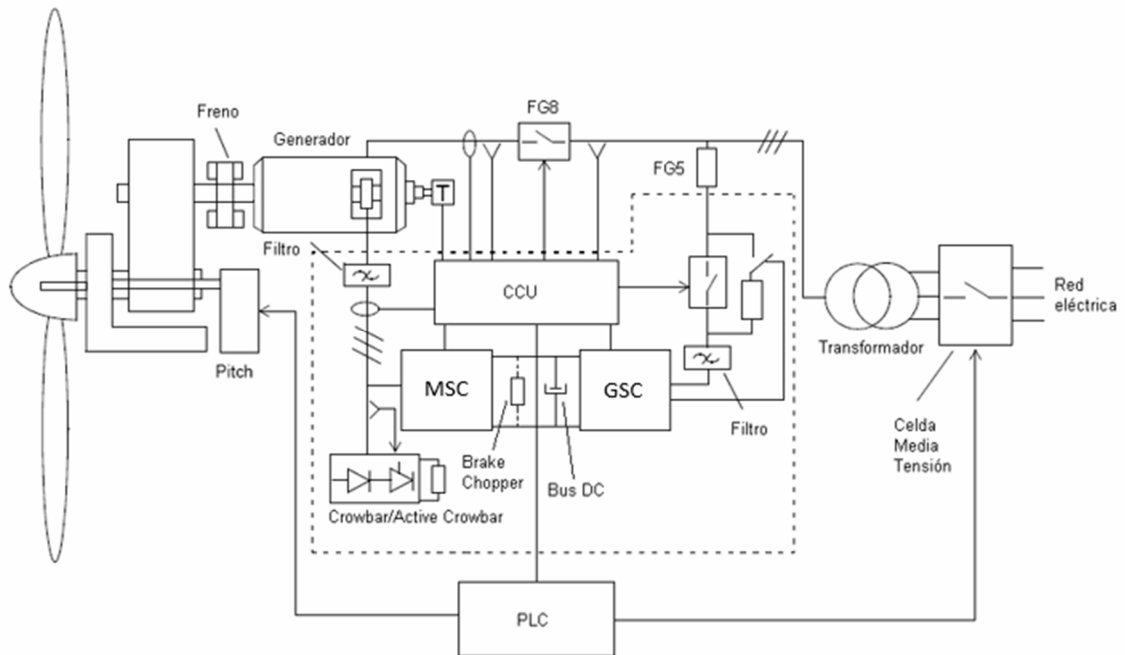


Figura 4. Esquema de hardware del aerogenerador Gamesa 2,0/2,1MW

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

### Principales particiones:

- **Convertidor lado máquina (MSC).** Este convertidor 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 50/60Hz 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.
- **Convertidor lado línea (GSC).** Este convertidor regula la tensión del bus de continua, además de transferir la potencia necesaria entre la red y el rotor del generador.
- **Bus de continua.** Serie de condensadores conectados entre el GSC y MSC, que sirven como fuente estable de energía para suministrarla cuando sea requerida.
- **CCU.** Unidad de control del convertidor. Monitoriza los parámetros de la red y es la responsable de las alarmas de generación.

### 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 del mismo.

### **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.

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

A continuación, se lista la información técnica más relevantes del aerogenerador que se muestra en las siguientes tablas:

#### **3.3.1 Generador**

<b>GENERADOR ELÉCTRICO</b>	
<b>4 polos (50/60Hz)</b>	
Potencia Nominal [kW]	2170
Tipo Generador	Generador Asíncrono Doblemente Alimentado
Conexión Estator	Triángulo
Conexión Rotor	Estrella
Número de Polos	4
Sentido de Giro	En sentido agujas del reloj visto desde el eje del lado acoplamiento

Sondas Pt100	6 en devanados del estator  1 en el rodamiento del lado acoplamiento  1 en el rodamiento del lado sin acoplamiento  1 en el cuerpo de anillos
Temperatura Ambiente [°C] *	-20 a +50
Altitud sobre Nivel del Mar [m]**	0 a 1000
Frecuencia Nominal [Hz]	50 / 60
Velocidad Nominal [rpm]	1680 / 2016
Rango de Velocidad [rpm]	1000-1950 / 1200-2340
Tensión Nominal [V]	690
Tensión Máxima del Rotor [V]	775
Factor de Potencia ***	0,95 cap – 1 – 0,95 ind
Grado de Protección (IEC 60034)	IP54 Máquina – IP23**** Cuerpo de anillos
Protección de la Corrosión (ISO 12944)*****	C3H Máquina – C4H Cuerpo de anillos - C5M Partes en contacto aire exterior
Sistema de Refrigeración	IC666 refrigeración por aire con intercambiador aire/aire
Aislamiento Estator / Rotor	F ó H / F ó H
Peso [kg]	≤ 9000
Pre-instalación Acelerómetros del Sistema Mantenimiento Predictivo	Incluido
Posibilidad Instalación Engrasador Automático	Sí

### 3.3.2 Convertidor

<b>CONVERTIDOR DE POTENCIA</b>	
Tecnología	Back to Back basado en IGBTs
Temperatura funcionamiento [°C]	-25 a 50
Altitud sobre Nivel del Mar [m]**	0 a 1000
Nivel de Protección Atmosférica (IEC 61439-1)	≥3
Tipo de Refrigeración	Aire - Agua/Glicol
Temperatura Máxima Aire Refrigeración [°C]	50
Temperatura Máxima Líquido Refrigerante [°C]	60
Grado de Protección	IP54
Nivel de Protección contra la Corrosión (ISO 12944)**	C3H
Frecuencia Nominal [Hz]	50Hz (±6%)
Tension Nominal [V]	690 (±10%)
Potencia nominal [kW]	2060 / 2170
Nivel de Armónicos (IEC 61400-21)	THC ≤ 2
Peso [kg]	< 2000

### 3.3.3 Transformador de aerogenerador

<b>TRANSFORMADOR DE MEDIA TENSIÓN</b>	
Potencia Asignada [kVA]	2350
Tipo Transformador	Transformador Trifásico, Seco Encapsulado
Condición de Servicio	Interior
Tipo de Ventilación*	AF (Forzada)
Rango de Temperatura Operación [°C]	-25 a +55
Clase Ambiental (IEC 60076-11)	E2
Clase Climática (IEC 60076-11)	C2
Comportamiento frente al Fuego (IEC 60076-11)	F1
Nivel de Protección contra la Corrosión (ISO 12944)	C4H
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 o Dyn1
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 $\Rightarrow$ 170kV valor cresta)
Tensión más Elevada para el Material, Um, en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	1.1
Nivel de Aislamiento Asignado de Corta Duración a Frecuencia Industrial en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV]	3
Nivel de Aislamiento Asignado a Impulsos Tipo Rayo en Devanado MT (IEC 60076-3) [kV cresta]	8
Impedancia Cortocircuito 690V [%]	$\leq 10.5$ (valor aproximado)
Corriente Cortocircuito Secundario 690V [kA]	25 (valor aproximado)
Nivel de Descargas Parciales [pC]	$\leq 10$
Corriente magnetizante de inserción (Inrush) [A] ***	$< 8 \times I_n$
Sondas Pt-100	2 por fase en cada devanado de baja, en puntos calientes
Dimensiones Máximas (L*W*H) [mm]	2200*820*2255 (valores aproximados)
Peso [kg]	$< 5700$

### 3.3.4 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]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]							
	1.225	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27
3	14	11	12	12	13	14	14	15
4	93	79	82	85	88	91	95	98
5	236	205	212	219	225	232	239	246
6	438	386	397	409	420	432	444	455
7	714	632	650	668	687	705	724	742
8	1085	960	988	1015	1043	1071	1099	1126
9	1524	1368	1403	1438	1472	1507	1542	1570
10	1872	1753	1781	1807	1833	1859	1885	1901
11	2035	1981	1995	2006	2018	2029	2041	2046
12	2085	2069	2073	2076	2080	2084	2087	2088
13	2097	2093	2094	2095	2096	2097	2097	2098
14	2099	2099	2099	2099	2099	2099	2100	2100
15	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
16	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
17	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
18	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
19	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
20	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
21	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
22	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
23	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
24	1676	1676	1676	1676	1676	1676	1676	1676
25	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230

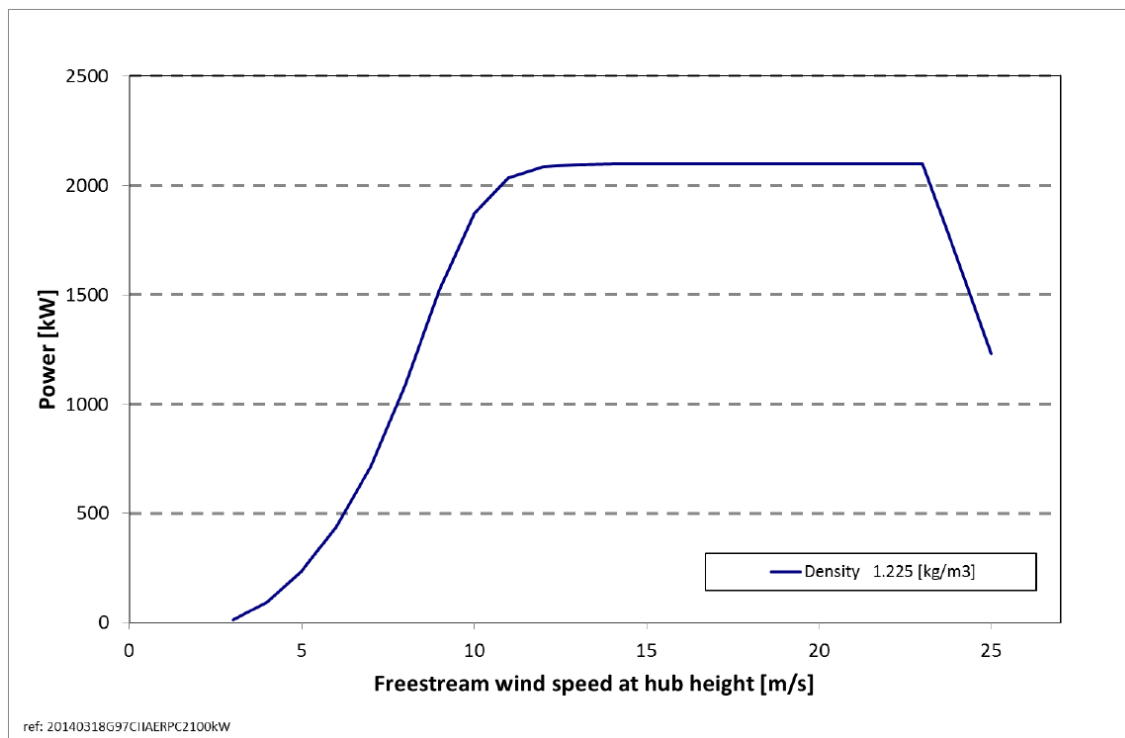
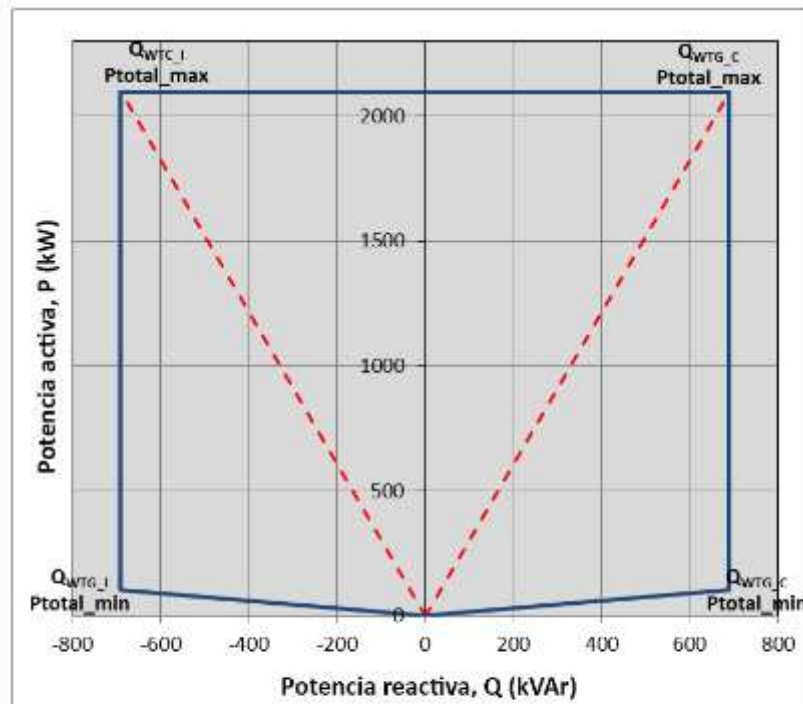


Figura 5. Curva de Potencia del aerogenerador Gamesa 2,0/2,1MW

### 3.3.5 Curva de Generación de Potencia Reactiva

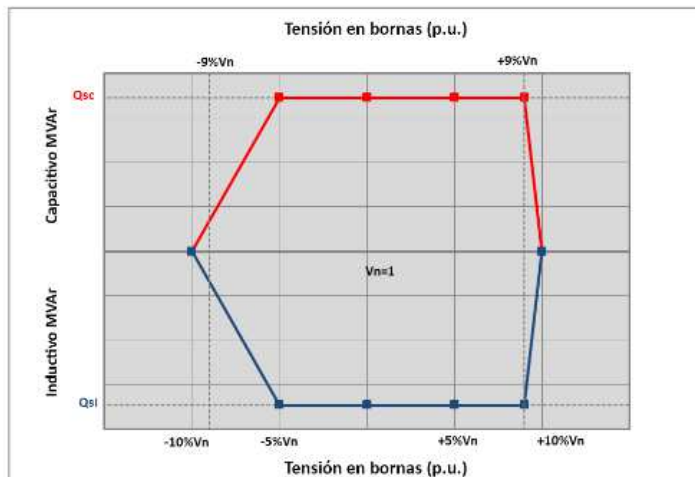
Los límites de la producción de potencia reactiva son 690 kVAr, considerando siempre como referencia el lado de BT del transformador principal. En la envolvente siguiente se muestra la curva de reactiva del aerogenerador G114 2,1 MW. Estos aerogeneradores son capaces de generar o consumir hasta 690 kVAr 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.



<b>G2.1MW</b>	
<b>Ptotal_máx</b>	2,1MW
<b>Q_AEG_I</b>	-690kVAr
<b>Q_AEG_C</b>	690kVAr
<b>Ptotal_mín</b>	105kW

Figura 6. Curva generación de potencia reactiva aerogenerador Gamesa 2,0/2,1MW

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.



	G2.0MW	G2.1MW
Q <sub>AEG_I</sub>	-655kVAr	-690kVAr
Q <sub>AEG_C</sub>	655kVAr	690kVAr

Figura 7. Curva Generación de potencia reactiva aerogenerador Gamesa 2,0/2,1MW en función de la tensión.

### 3.3.6 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.

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

El periodo de referencia utilizado en los mástiles Ibereólica y Torre Norte ha sido 01/01/12 - 31/12/13 y la disponibilidad en este periodo es del 97.0 y 99.9%, a 80 m y 60 m respectivamente. Los datos obtenidos durante el periodo de referencia se han utilizado para realizar los cálculos de este informe

Los siguientes gráficos muestran tanto la rosa de viento y energía, como el ajuste de la distribución de Weibull para cada mástil a altura de medida:

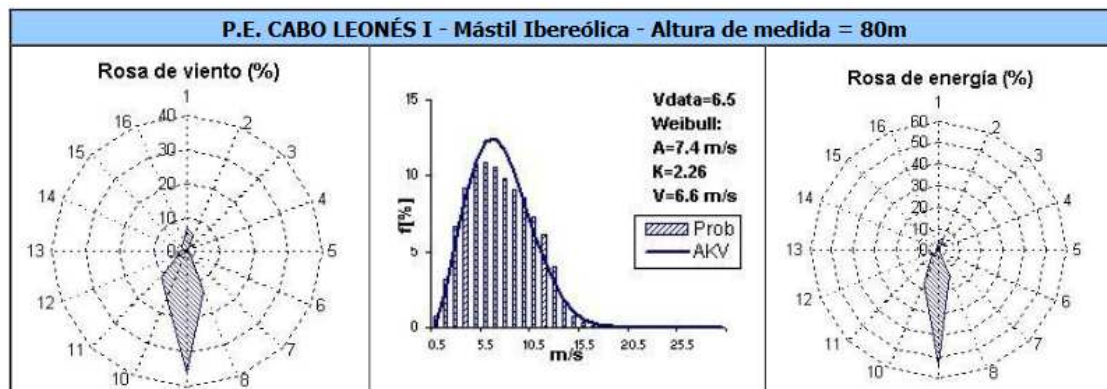


Figura 8. Datos Viento – Mástil Ibereolica.

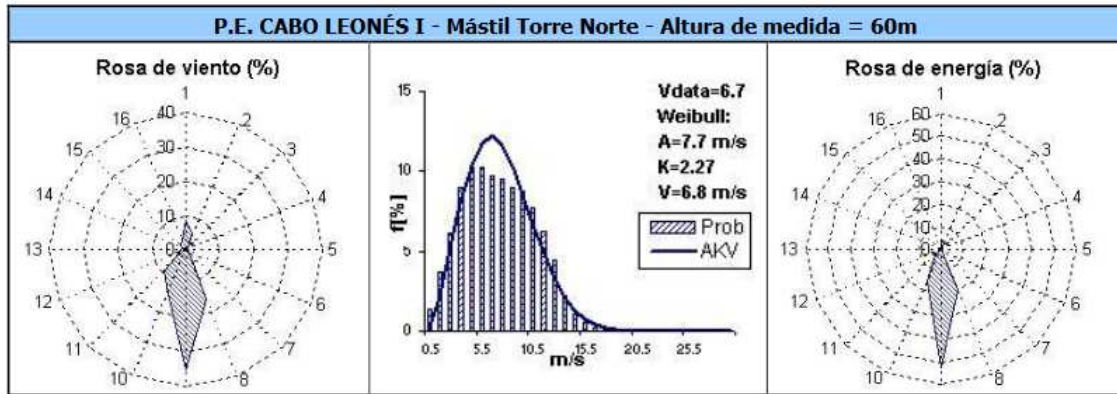


Figura 9. Datos Viento – Mástil Torre Norte.

Para mayor información por favor consultar las referencias proporcionadas junto con el documento.

## 5 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 potencia 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 Gamesa 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 Gamesa 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.

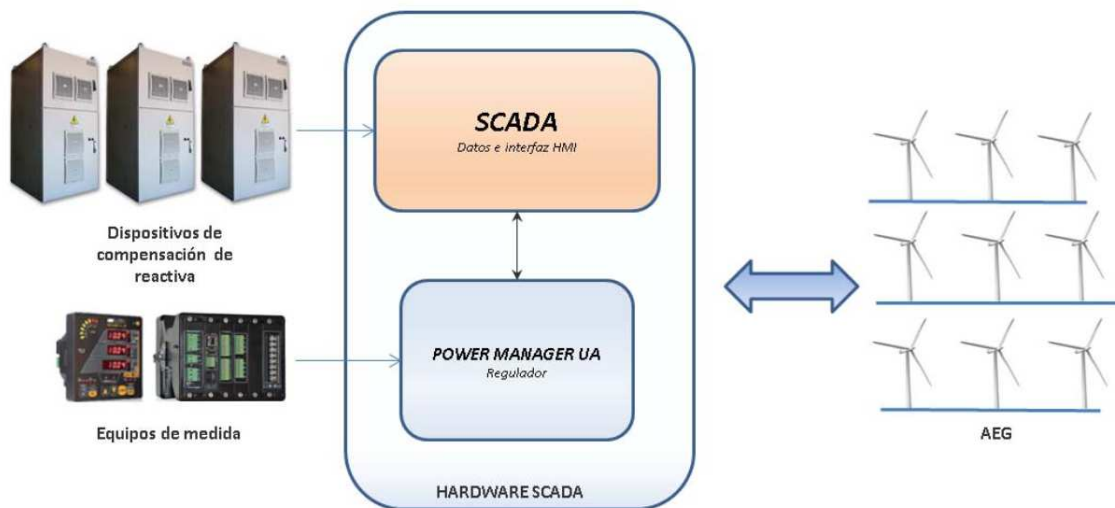


Figura 12. Esquema Funcional Parque Eólico Cabo Leones I.

## 6 DETERMINACION DEL MINIMO TECNICO DEL PARQUE EÓLICO CABO LEONES I

Para la determinación del mínimo técnico de operación del Parque Eólico Cabo Leones I se hicieron pruebas en campo en base al procedimiento de pruebas presentado al Coordinador Eléctrico Nacional con código P16007, así como a la información técnica descrita en este documento, la NTSyCS, las condiciones ambientales y los aerogeneradores disponibles.

Para la realización de las mediciones hemos utilizado el SCADA del parque eólico, con el objeto de registrar las variables durante las pruebas realizadas, que permitan analizar el comportamiento de los aerogeneradores y del parque eólico en su conjunto. Por otra parte, para la realización de las mediciones de parámetros eléctricos se ha utilizado el analizador de redes modelo ION-7650, instalado de forma permanente en el paño de transformador de 220 kV, en la subestación del parque eólico Cabo Leones I, siendo este el punto de conexión y medida fiscal del parque eólico.

Primero se esperó a que el parque estuviera operando a potencia activa nominal. Después considerando el límite de operación de los aerogeneradores (5% de la potencia activa nominal, como se menciona en la Figura 6) se fijó una consigna de potencia activa de 5% de la total del parque eólico (5.967 kW) y se mantuvo para verificar que ningún aerogenerador dejara de producir. Los resultados de esta prueba se muestran en la siguiente gráfica:

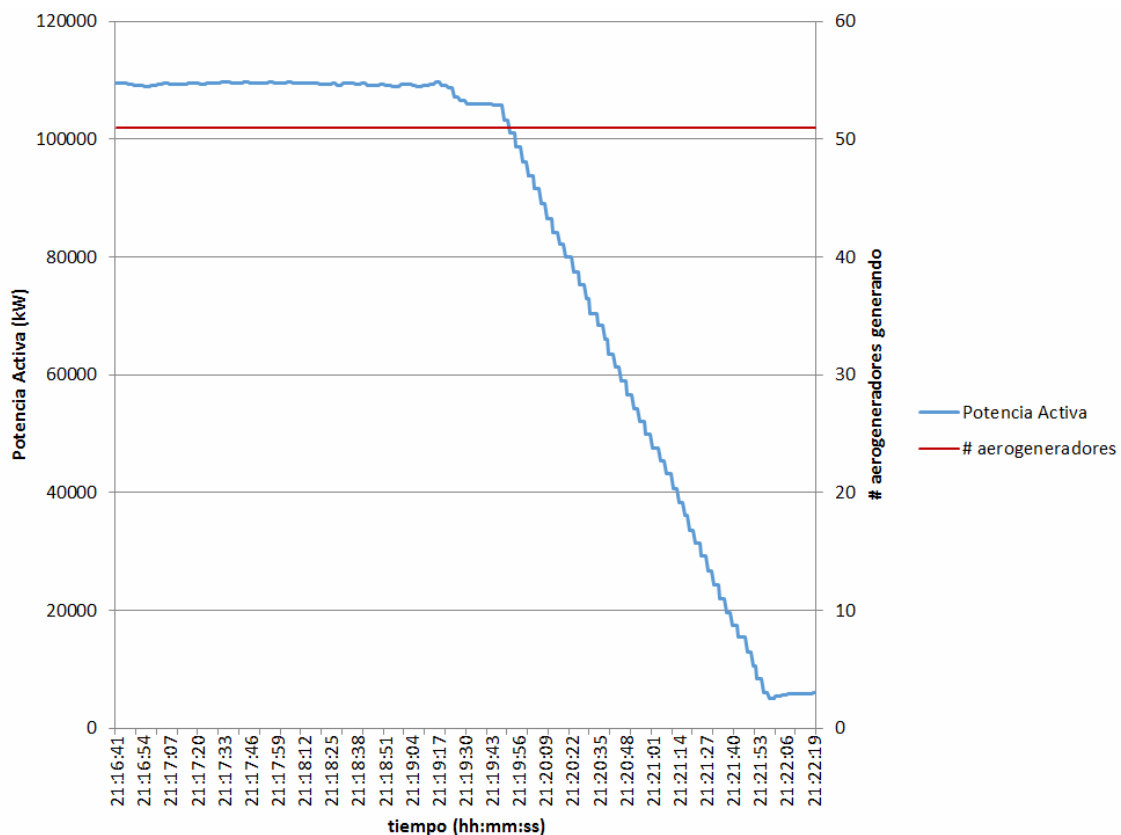


Figura 13. Grafica reducción de potencia activa a mínimo técnico.

Este comportamiento del parque se obtiene cuando el recurso eólico es abundante y constante, como se puede ver en la gráfica en el momento de la prueba se estaba generando prácticamente la potencia nominal del parque.

Para potencias inferiores al 5% de la potencia activa nominal, los aerogeneradores cambian de estado a "Pausa", tanto por límites operativos como por protección de los componentes de los propios aerogeneradores. Esto se debe a los esfuerzos presentes en la máquina y a los limitantes de control del torque, lo cual es especialmente notorio cuando se fija una consigna de potencia activa mucho menor a la potencia generable por los aerogeneradores por el recurso eólico disponible en ese instante. En el momento que la consigna aumente lo suficiente las maquinas desconectadas se volverán a conectar (estado "READY") a disponibilidad del recurso eólico.

De acuerdo a información provista por el fabricante, considerando alto recurso eólico y consignas de generación externas al PPC, por medidas de protección del aerogenerador, la potencia activa no puede ser controlada para valores de potencia bajo el 5% de la potencia nominal del aerogenerador, esto es 105 [kW] por aerogenerador, lo que a nivel de parque significa un valor mínimo de 5.775 kW.

Considerando lo anterior, durante las pruebas realizadas se registró la operación del parque a potencias inferiores al 5% de la potencia nominal, con el objetivo de observar cómo influye la operación a mínimo técnico sobre la cantidad de aerogeneradores que permanecen conectados y generando. Una vez que la potencia del parque eólico quedó por debajo del 5% de la potencia nominal, los aerogeneradores automáticamente se empezaron a cambiar al estado de "Pausa".

Para valores cercanos al 5% de la potencia nominal, la mayoría de los aerogeneradores se mantuvieron en marcha y no fue hasta aproximadamente 2.500 kW que se notó un incremento significativo en la cantidad de aerogeneradores que cambiaron a modo "Pausa". Esto continuó hasta que todos los aerogeneradores se desconectaron y el parque eólico empezó a consumir potencia activa (500 kW en promedio una vez que todos los aerogeneradores se pusieron en modo "Pausa"):

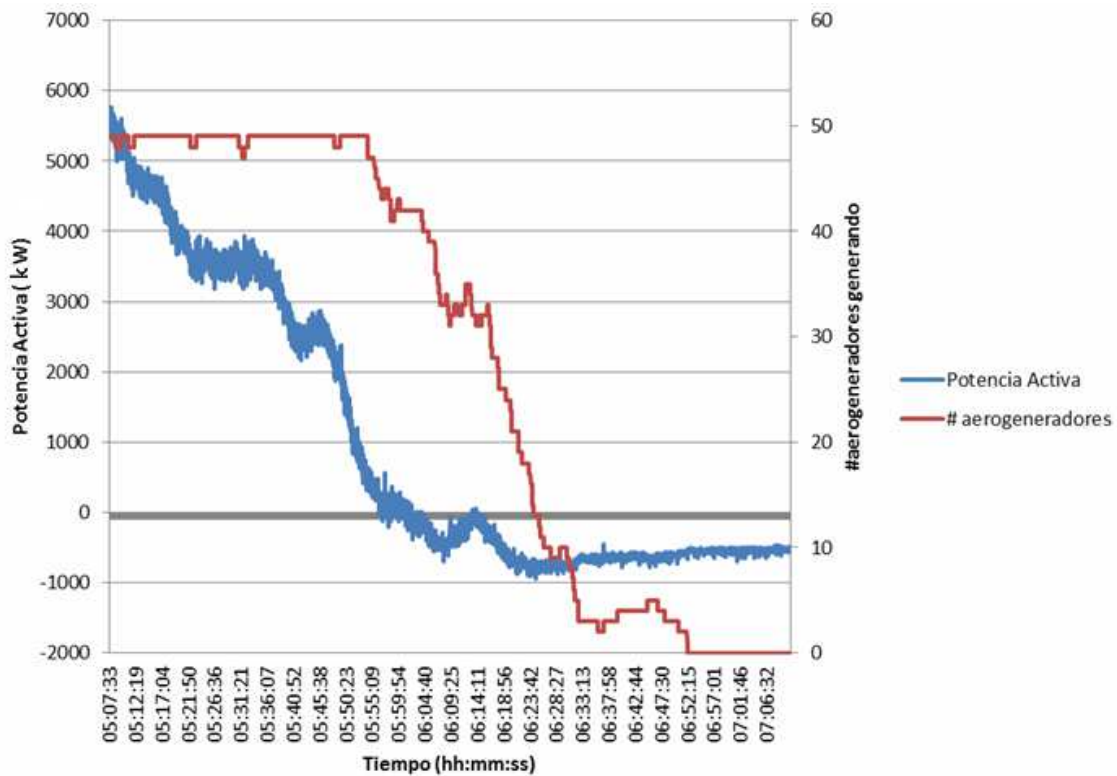


Figura 14. Gráfica aerogeneradores en servicio al reducir la potencia activa por debajo del mínimo técnico.

Como se puede observar en la gráfica, una consigna de generación menor al 5% para régimen de vientos elevados, implica la pausa de aerogeneradores por razones de seguridad de la turbina como se explica a continuación.

Hay que tener en cuenta que la regulación de potencia del parque eólico se realiza con un sistema de control, por lo que en el caso que el valor de consigna del parque eólico sea igual o inferior a cero, hace que todos los generadores del parque eólico se detengan, como se puede ver en la gráfica se llega a potencia cero con 12 aerogeneradores funcionando, por lo que para asegurar el funcionamiento permanente de una unidad, es necesario al menos el funcionamiento de 13 unidades de generación al mínimo técnico para asegurar el funcionamiento solicitado.

También se puede observar en la gráfica que se obtiene

En lo referente a la curva de potencia la variable fundamental que define el comportamiento del sistema es la velocidad de viento. Tres son los valores característicos:

- Velocidad de acople (vin): Velocidad de viento mínima de viento necesaria para que el generador acople y el aerogenerador empiece a producir. El dato exacto depende del rotor y de las condiciones ambientales específicas del emplazamiento. Valores típicos 3-4m/s.

- Velocidad nominal ( $v_r$ ): Velocidad de viento necesaria para alcanzar potencia nominal. El dato exacto depende del rotor y de las condiciones ambientales específicas del emplazamiento. Valores típicos 9-12m/s.
- Velocidad de corte ( $v_{out}$ ): Velocidad de viento por encima de la cual el aerogenerador deja de producir. El dato exacto depende del rotor y de la habilitación o no del derated mode por alto viento. Valores típicos 21-25m/s.

Con estos tres valores quedan definidos los dos rangos de operación del aerogenerador:

- Producción parcial (Zona 1, viento entre  $v_{in}$  y  $v_r$ ). La velocidad de viento es inferior a  $v_r$  y no entrega energía suficiente para producir la potencia nominal. Por tanto, el objetivo principal del aerogenerador es extraer la máxima potencia del viento. Para ello el sistema de control posiciona el pitch y demanda la potencia necesaria siguiendo los puntos de operación óptimos para maximizar la potencia extraída del viento.
  - Producción nominal (Zona 2, viento entre  $v_r$  y  $v_{out}$ ). A partir de  $v_r$ , la energía extraída del viento es suficiente para alcanzar la potencia nominal. El objetivo del sistema de control cambia a mantener la máquina estable para asegurar la producción (nominal) y minimizar las cargas mecánicas en la máquina, de acuerdo a las hipótesis de diseño.
- A continuación se representa la forma general de la curva de potencia de un aerogenerador, dicha curva sería modificada en el caso de aplicar la estrategia denominada 'Derated Mode por alto viento' (estrategia opcional), en cuyo caso, a partir de una determinada velocidad de viento la potencia producida deja de ser la potencia nominal y es limitada en función de la velocidad de viento.

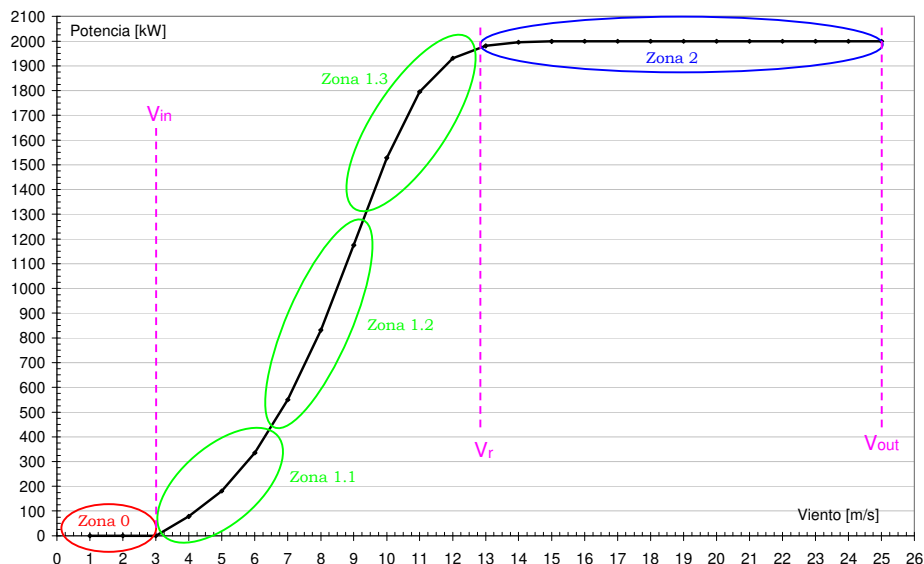


Figura 15. Gráfica Zonas de funcionamiento.

El sistema de control de un aerogenerador GAMESA se basa en el control de la velocidad de giro del rotor (a través del ángulo de pala) y de la potencia eléctrica. Este diseño implica que las referencias para ambos actuadores varían situándolos en los valores adecuados para controlar

esa velocidad maximizando la potencia producida y minimizando las cargas mecánicas soportadas por el aerogenerador. La máquina de estados controla estos algoritmos para asegurar en todo momento los objetivos anteriormente indicados.

Tras unos meses de operación del parque eólico, nos hemos dado cuenta que el funcionamiento observado en las pruebas realizadas para determinar el mínimo técnico, solo se obtiene estos resultados cuando el recurso es constante y abundante, en la práctica se ha observado que debido a la superficie que abarca el parque eólico, que tiene una separación entre los aerogeneradores más lejanos de:

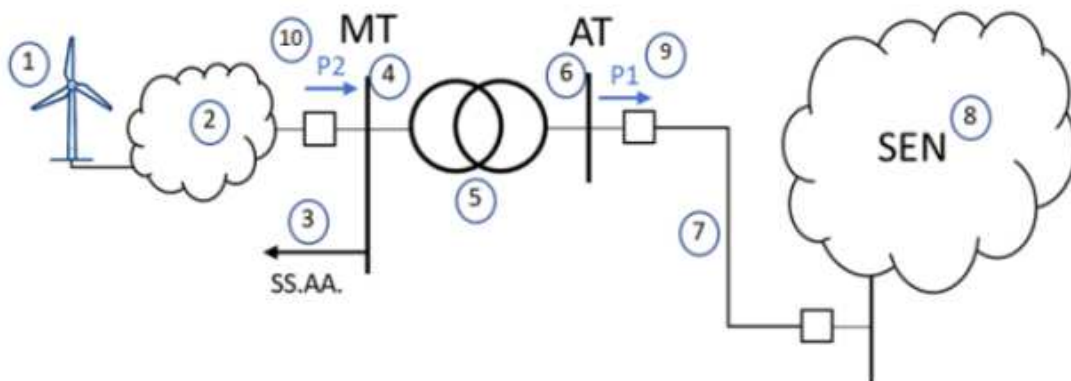
- 3.600 m en la dirección Norte-Sur
- 4.800 m en la dirección Este-Oeste

Esto hace que la variación del viento al repartirse entre una superficie tan amplia, el recurso que recibe cada uno de los aerogeneradores sea diferente, este fenómeno es especialmente acusado con velocidades de viento bajo, adicionalmente cuando el recurso es pequeño habitualmente es racheado, lo que hace que la generación de cada uno de los aerogeneradores fluctúe mucho, entrando en modos turbulentos de funcionamiento que ponen en riesgo la integridad de las máquinas.



## 6.1 Potencia Mínima Bruta y Potencia Mínima Neta

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



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

Las pérdidas del sistema colector entre los datos medidos en los aerogeneradores y la barra de media tensión es del 1,44% , tal y como se puede ver en documento anexo [PECLI-DOC Nº 2 - CÁLCULOS 119,5 MW.pdf].

Por lo tanto, si el mínimo técnico fuese un único aerogenerador, que como se solicita, la potencia generada sería de es de 105 kW y el resto de máquinas estuviesen paradas, las pérdidas del parque eólico hace como resultado se consuma energía en la barra de 220KV. Pero si a eso se le debe añadir el consumo del resto de las maquinas en pausa, mientras realizan el seguimiento de la orientación del recurso, hace como resultante se consuma hasta 900 kW energía en la barra de 220KV. Ver anexo I.

Hay que tener en cuenta que la regulación de potencia del parque eólico se realiza con un sistema de control, por lo que en el caso que el valor de consigna del parque eólico sea igual o inferior a cero, hace que todos los generadores del parque eólico se detengan, como se puede ver en la gráfica 14 se llega a potencia cero con 12 aerogeneradores funcionando, por lo que para asegurar el funcionamiento permanente de una unidad, es necesario al menos el funcionamiento de 13 unidades de generación al mínimo técnico para asegurar el funcionamiento solicitado,  $13 \times 105 = 1.365 \text{ KW}$ .

1.	Potencia Mínima aerogeneradores	1.365 [kW]
2.	Pcolector Pérdidas en el sistema colector (1,44%)	19,656 [kW]
3.	SSAA.: Servicios Auxiliares de la central	4 [kW]
5.	Ptransformador: Pérdidas activas en Trans. de Poder	334,36 [kW]
6.	P1: Potencia Activa inyectada en la barra AT 220kV	1,007 [MW]

<b>Mínimo Técnico</b>	<b>1,365 [MW]</b>
<b>P1: Potencia Activa inyectada en la barra AT 220kV</b>	<b>1,007 [MW]</b>

## **7 ANTECEDENTES DE OPERACIÓN DE PARQUE EÓLICO CABO LEONES I**

Los registros de operación utilizados para este documento están compuestos de las mediciones de potencia activa y los estados de operación de los aerogeneradores obtenidos los días 19 y 25 de Febrero del 2018. Dentro de estas mediciones se muestran diferentes niveles de generación de acuerdo a lo requerido por el anexo técnico. Por medio de estas evidencias se verifican las capacidades de generación de los aerogeneradores G114 2,17 MW y se determina el mínimo técnico del Parque Eólico Cabo Leones I. Para más información por favor consultar el registro de mediciones proporcionado junto con este documento.

Además, se agregó un Anexo con los datos de generación del 18 de agosto de 2019 donde se identifica el consumo mínimo de la planta cuando pasa de Energy Delivery a Energy Received.

## **8 JUSTIFICACIONES QUE DESCRIBEN FUENTES DE INESTABILIDAD DEL PARQUE EÓLICO CABO LEONES I**

Durante la realización de las pruebas no se registró ninguna inestabilidad en la operación del Parque Eólico Cabo Leones I en ninguno de los niveles de generación, de acuerdo a lo descrito en los puntos anteriores las maquinas cambiaron el modo de operación. Basado en lo anterior se confirma que los aerogeneradores G114 2,17 MW son capaces de operar dentro de los rangos descritos en este documento.

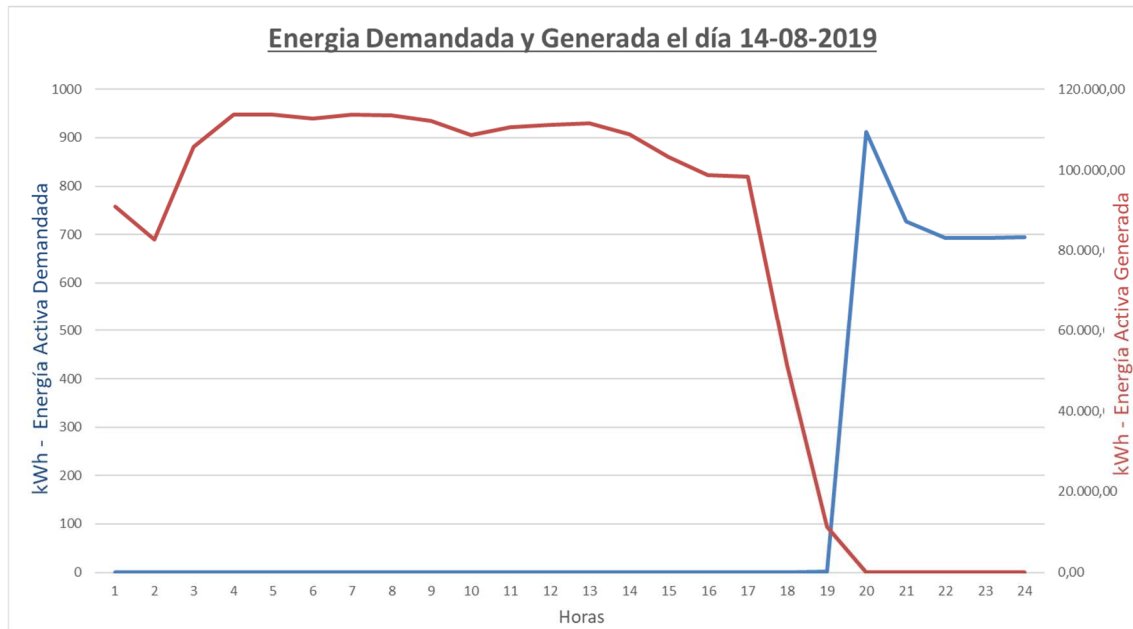
## 9 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al “**ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras**” y las características operativas de los aerogeneradores G114 2,17 MW se hacen las siguientes conclusiones al respecto de los mínimos técnicos del Parque Eólico Cabo Leones I:

- El Parque Eólico Cabo Leones I es capaz de operar hasta el 5% de su potencia activa nominal (5.775 MW), sin mandar a estado de “Pausa” a ningún aerogenerador.
- Por debajo del 5% de la Potencia activa nominal los aerogeneradores se empiezan a poner en modo “Pausa” hasta llegar a 0 MW.
- El mínimo técnico que garantice el funcionamiento permanente de una unidad generadora es de **1,365 MW**.

**ANEXO I - Datos Consumo Parque Eólico.**

					CPCBLENI_220_JT1_CU PE CABO LEONES I MW1706A95202_0100			
					energia_activa_D (kWh)	energia_activa_R (kWh)	energia_reactiva_D (kVarh)	energia_reactiva_R (kvarh)
AÑO	MES	DIA	HORA	HORA UTC				
2019	8	14	0	4	0	90.960,18	22.780,66	0
2019	8	14	1	5	0	82.812,22	20.737,90	0
2019	8	14	2	6	0	105.797,50	26.497,21	0
2019	8	14	3	7	0	113.815,99	28.505,53	0
2019	8	14	4	8	0	113.799,09	28.501,81	0
2019	8	14	5	9	0	112.848,51	28.263,28	0
2019	8	14	6	10	0	113.796,35	28.500,80	0
2019	8	14	7	11	0	113.585,80	28.447,07	0
2019	8	14	8	12	0	112.127,49	28.082,42	0
2019	8	14	9	13	0	108.711,02	27.225,28	0
2019	8	14	10	14	0	110.548,97	27.687,05	0
2019	8	14	11	15	0	111.281,59	27.870,04	0
2019	8	14	12	16	0	111.662,06	27.965,26	0
2019	8	14	13	17	0	108.778,90	27.242,80	0
2019	8	14	14	18	0	103.262,43	25.861,03	0
2019	8	14	15	19	0	98.831,48	24.749,59	0
2019	8	14	16	20	0	98.436,92	24.652,40	0
2019	8	14	17	21	0	51.440,88	12.886,03	0
2019	8	14	18	22	1,24	11.307,60	2.832,76	2,47
2019	8	14	19	23	<b>912,79</b>	0,62	6,09	3.031,19
2019	8	14	20	0	727,79	0	0	5.289,86
2019	8	14	21	1	693,68	0	0	5.506,03
2019	8	14	22	2	692,61	0	0	5.535,74
2019	8	14	23	3	694,59	0	0	5.527,69



## ANEXO II – Consumo Servicios Auxiliares.

Analizador instalado en el cuadro principal de Baja tensión.



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