



# **Informe Técnico: Determinación de Mínimo Técnico: Proyecto Parque Eólico La Flor.**

**Historial de versiones-**

<b>Versión</b>	<b>Descripción</b>	<b>Preparó</b>	<b>Revisó</b>	<b>Aprobó</b>	<b>Fecha</b>
A	Coord. Interna	AZ	DC	MC	10-03-2020
B.rev1	Publicación PGP	AZ	DC	MC	13-03-2020
B.rev2	Incluye OBS DE 02023-20	AZ	DC	MC	08-05-2020

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO</b> .....	<b>4</b>
2.1	AMPLIACIÓN SUBESTACIÓN NAHUEL BUTA 66/23 kV. ....	4
2.2	TRANSFORMADOR DE PODER. ....	6
2.3	AEROGENERADOR VESTA V136-3.45 PO1. ....	6
2.1	SERVICIOS AUXILIARES DE LA SUBESTACIÓN. ....	11
<b>3</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO PARQUE LA FLOR</b> .....	<b>11</b>
3.1	POTENCIA MÍNIMA AEROGENERADOR V136 – 3.6MW PO1. ....	11
3.2	CONTROL DE POTENCIA REACTIVA EN MÍNIMO TÉCNICO CON PRESENCIA DE RECURSO PRIMARIO. ....	12
3.3	CONTROL DE POTENCIA REACTIVA SIN PRESENCIA DE RECURSO PRIMARIO. ....	13
3.4	POTENCIA MÍNIMA DESDE CONTROL CONJUNTO PARQUE EÓLICO. ....	13
3.5	METODOLOGÍA Y CÁLCULO MÍNIMO TÉCNICO PARQUE EÓLICO LA FLOR. ....	14
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS Y ANEXOS</b> .....	<b>17</b>

## 1 Introducción y Objetivos.

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

El valor de Mínimo Técnico será obtenido en función de los **antecedentes técnicos del proyecto asociados al NUP del Proyecto N°318**, registrado en la plataforma PGP del Coordinador Eléctrico Nacional, recomendaciones del fabricante, registros de operación y pruebas y ensayos en terreno junto con otras consideraciones relevantes para la presente declaración.

## 2 Antecedentes técnicos de diseño.

### 2.1 Ampliación Subestación Nahuelbuta 66/23 kV.

El Parque Eólico La Flor se conecta en un nuevo paño de transformación en la subestación Nahuelbuta, el cual se compone de los siguientes elementos principales:

Instalaciones de 66 kV:

- Paño de transformación, BT2.
- Transformador de poder 69/24 kV, Dyn1, 30/40 MVA ONAN/ONAF.

Punto de conexión definido por el Coordinador Eléctrico Nacional Instalaciones de 23 kV:

- Barra principal de 23 kV.
  - Destinada a la llegada de 2 circuitos de aerogeneradores del Parque Eólico La Flor.

El diagrama unilineal de la subestación se muestra a continuación [/4/].

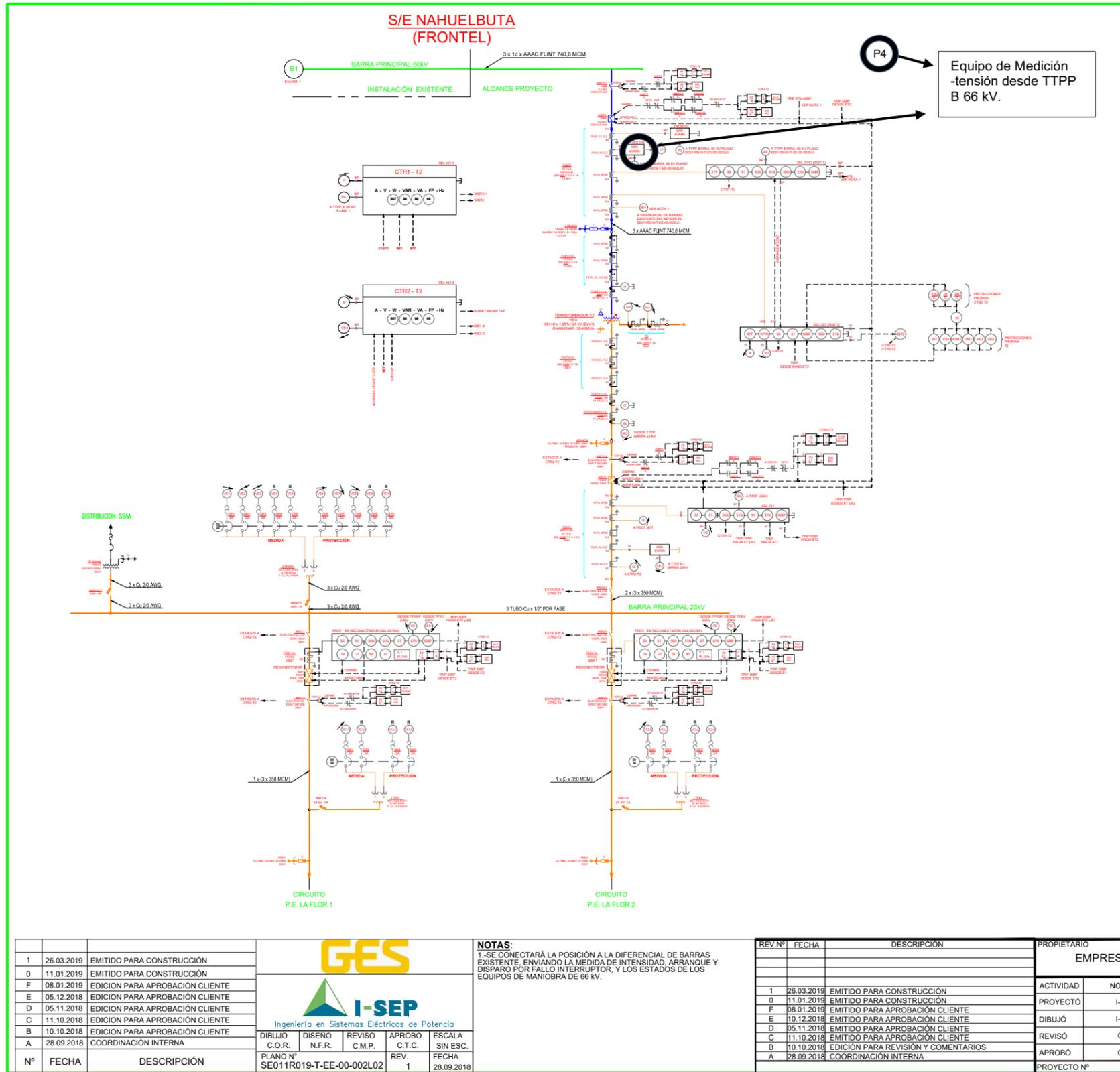


Figura 1: Diagrama unilineal de la Subestación Nahuelbuta.

## 2.2 Transformador de Poder.

Se considerarán los datos de placa del transformador para considerar las pérdidas de potencia activa asociadas:

Parámetro	Transformador
Potencia nominal [MVA]	30/40
Régimen de refrigeración	ONAN/ONAF
Voltaje nominal [kV]	69/24
Cambiador de tap (lado AT)	$\pm 8 \times 1,25$ %
Corriente nominal baja tensión [A]	721,7/962,3
Conexión	Dynd1
Impedancia de secuencia positiva, tap central [%]	12,12
Impedancia de secuencia cero, tap central [%]	12,00
Pérdidas en carga [kW]	243,28
Corriente de vacío [%]	0,046
Pérdidas en vacío [kW]	14,63

Tabla 1: Parámetros del transformador de poder T2, Subestación Nahuelbuta.

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

## 2.3 Aerogenerador Vesta V136-3.45 PO1.

El Parque Eólico La Flor, está compuesto por 9 aerogeneradores Vesta modelo V136-3.45 PO1, de 3600 [kW] de potencia activa nominal, totalizando una potencia total de 32,4 [MW].

Todos los aerogeneradores del proyecto son de idénticas características, siendo de tecnología máquina asíncrona de con rotor de jaula, un transformador de unidad de 23/0,65 kV 4.000kVA, distribuidos en 2 circuitos de media tensión al interior del parque.

Las características principales se indican a continuación:

Parámetro	Valor
Fabricante	Vesta
Modelo	V136-3.6 MW Power Optimized Mode (PO1)
Diámetro de aspas	136 [m]
Altura de buje	82 [m]
Tensión nominal	650 [V]
Potencia Nominal	3.600 [kW]

Tabla 2: Resumen características aerogeneradores parque Eólico La Flor.

La disposición de los aerogeneradores en el Parque Eólico es la siguiente [/6/].

### Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor



Figura 2: Disposición de aerogeneradores Parque Eólico La Flor.

## Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

La potencia nominal garantizada es de 3.600 [kW] en los terminales de baja tensión de la unidad.

### 2.3.1 Transformador de Unidad.

Cada aerogenerador cuenta con un transformador de unidad de dos devanados, con las siguientes características [7//8/]:

Parámetro	Transformador
Potencia nominal [kVA]	4000
Régimen de refrigeración	AF
Voltaje nominal [kV]	23/0,65
Cambiador de tap (lado AT)	$\pm 2 \times 2.5\%$
Corriente nominal AT/BT [A]	100,4/3553
Conexión	Dyn5
Impedancia de secuencia positiva [%]	8,79
Impedancia de secuencia cero [%]	7,92
Pérdidas en carga [kW]	31,45
Corriente de vacío [%]	0,33
Pérdidas en vacío [kW]	6,82

Tabla 3: Parámetros del transformador de unidad V136 – 3.6 MWPO1.

### 2.3.2 Curva de Potencia.

La curva de potencia del aerogenerador entrega valores garantizados de generación (en terminales BT) para una densidad promedio anual de 1,200 kg/m<sup>3</sup> [9/]

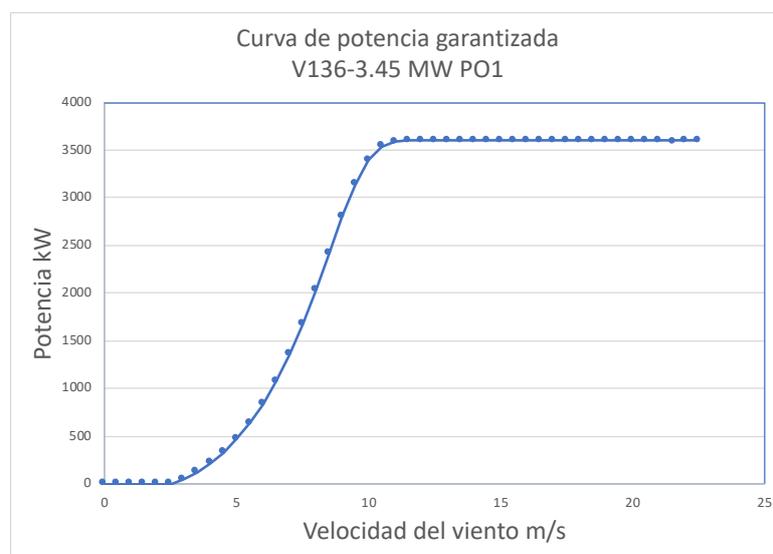


Figura 3: Curva de potencia para aerogenerador V136 – 3.6MW PO1 La Flor.

### 2.3.3 Red de Media Tensión.

Los aerogeneradores se distribuyen en una red de 23 kV compuesta de 2 circuitos, el primero está compuesto por 4 aerogeneradores y el segundo por 5, como se ilustra en Figura 4 [10/]:

### Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

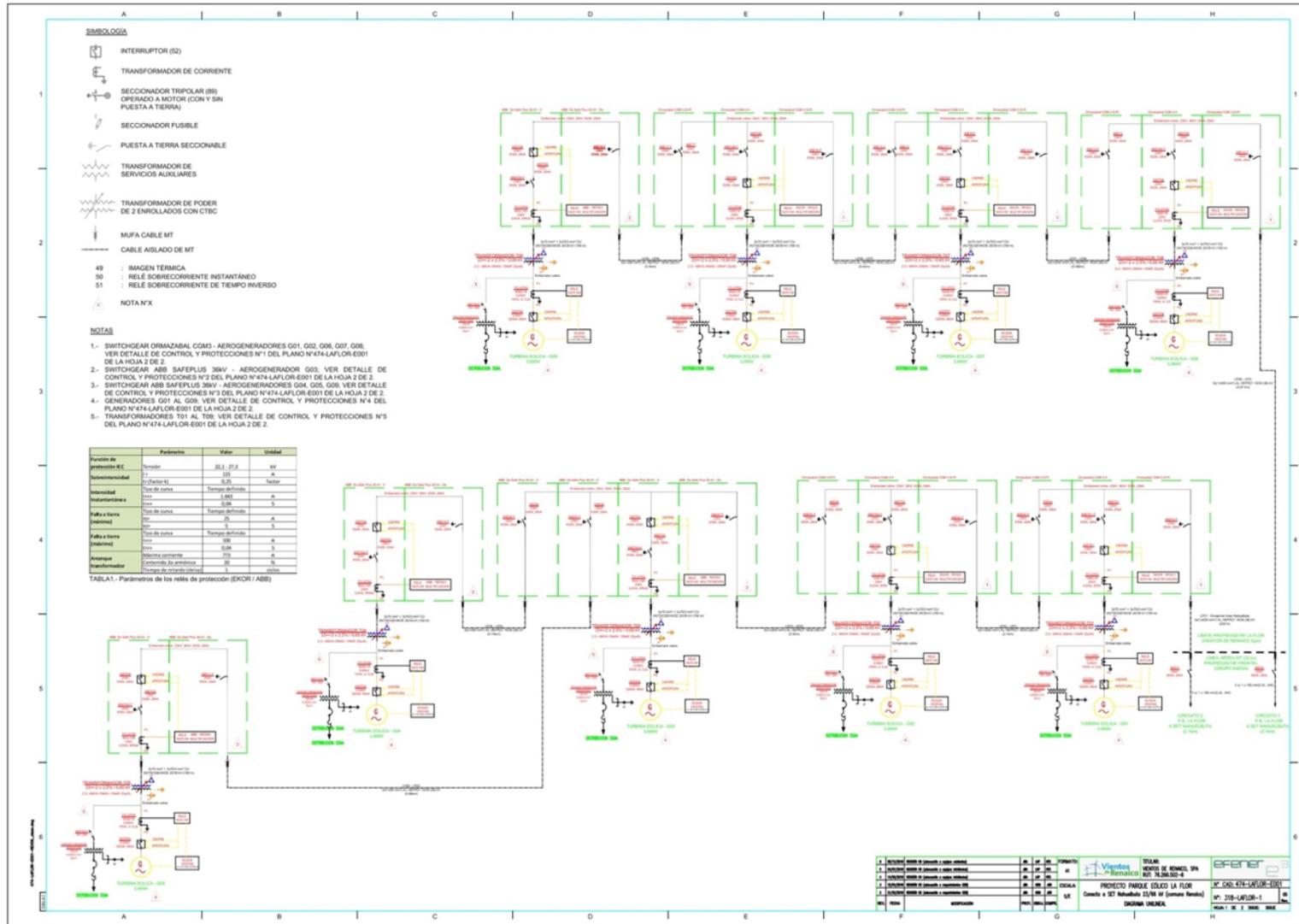


Figura 4: Diagrama unilínea PE La Flor.

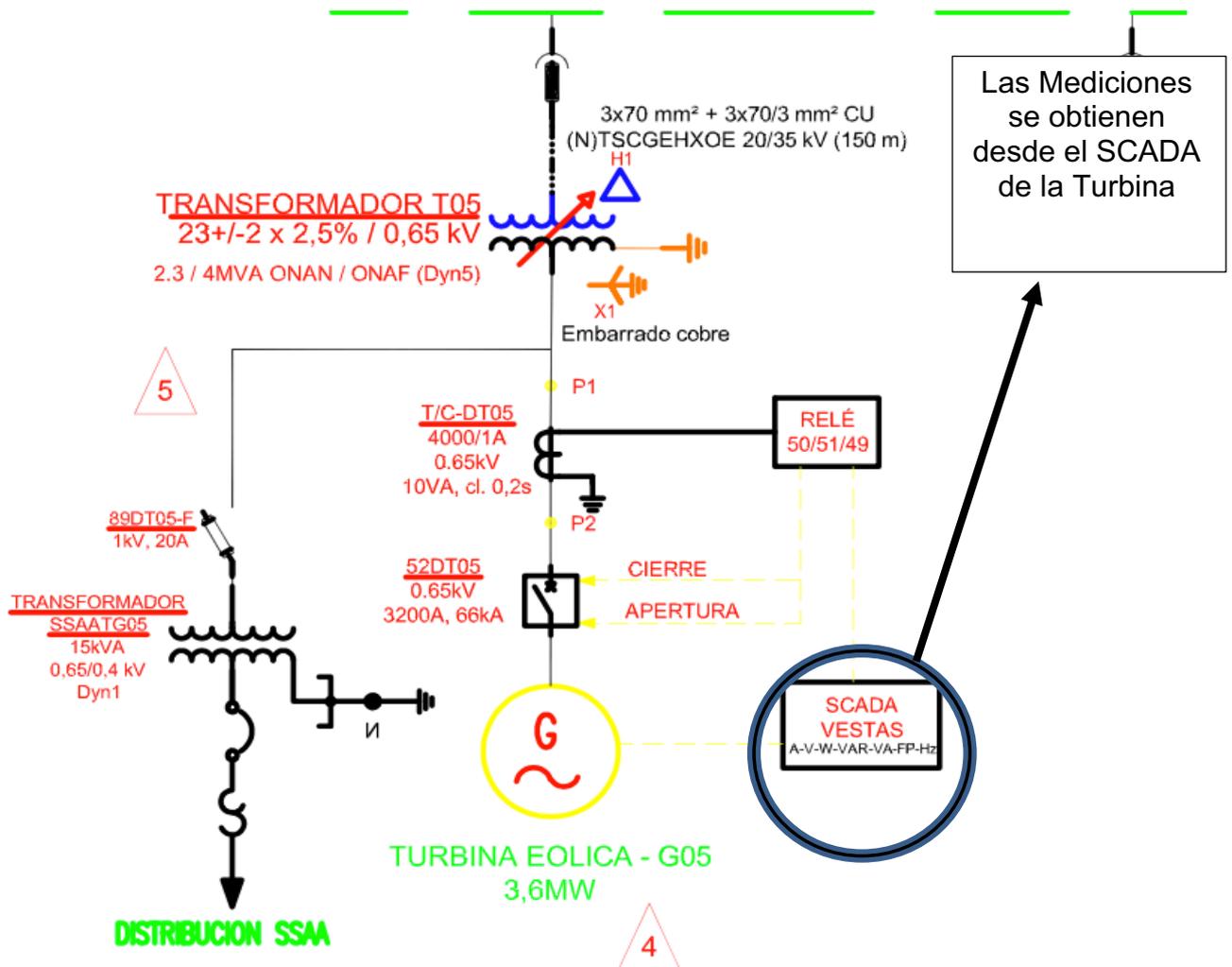
Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

El detalle de los conductores utilizados en cada circuito se encuentra en Anexo [10/] mientras que el set de conductores utilizados se resume en Tabla 4:

Línea	distancia km	Resistencia ohm/km	R ohm
3x(1x95mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,4	0,32	0,128
3x(1x120mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,4	0,206	0,0824
3x(1x240mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,48	0,125	0,06
3x(1x500mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	4,57	0,0605	0,276485
3x(1x185mm <sup>2</sup> ) AAC	2,1	0,1579	0,33159
3x(1x95mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,74	0,32	0,2368
3x(1x95mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,86	0,32	0,2752
3x(1x400mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	0,5	0,0778	0,0389
3x(1x500mm <sup>2</sup> ) AL HEPRZ1 18/30 (36) kV	2,1	0,0605	0,12705
3x(1x185mm <sup>2</sup> ) AAC	2,1	0,1579	0,33159

Tabla 4: Parámetros conductores en red MT PE La Flor.

Las pérdidas en la red colectora, en condiciones de mínima generación, se determinaron en 63,17 [kW].



Las mediciones de generación de cada turbina se obtienen del sistema SCADA de cada una de ellas.

### 2.1 Servicios Auxiliares de la Subestación.

Los servicios auxiliares correspondientes a la ampliación de la subestación Nahuelbuta [4/] se alimentan desde un transformador de 45 kVA 33/0,4 -0,231 kV. El consumo máximo se estima en función del dimensionamiento de la instalación, el cual considera un máximo de 38,25 kVA.

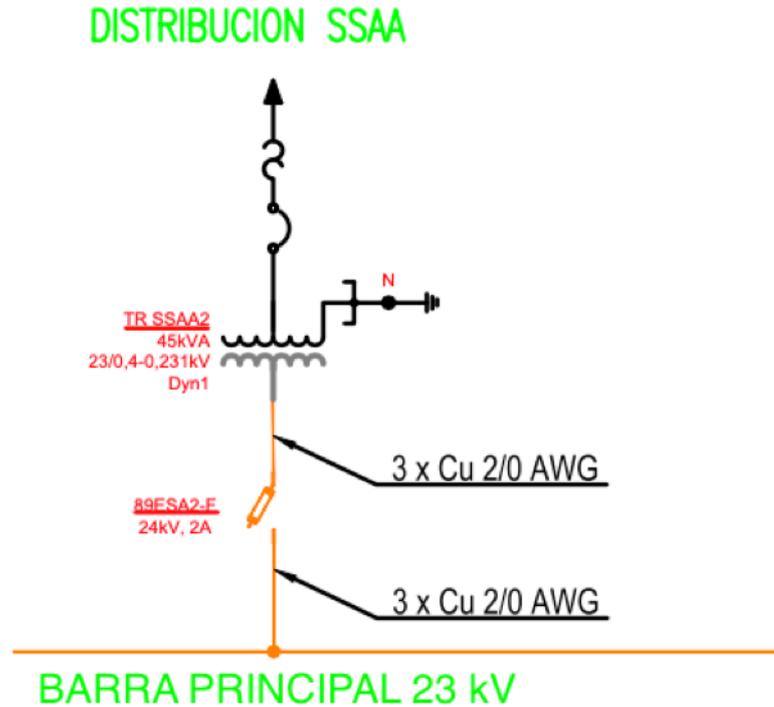


Figura 5: Transformador correspondiente a la ampliación de SSAA de la S/E Nahuelbuta.

## 3 Determinación del mínimo técnico Parque La Flor.

### 3.1 Potencia Mínima Aerogenerador V136 – 3.6MW PO1.

La potencia mínima de funcionamiento en régimen permanente establecida por el fabricante es del 10% de la potencia nominal de cada unidad. Setpoint inferiores en régimen permanente y en condiciones de alto recurso primario, no son permitidos ya que significarían un esfuerzo por sobre las consideraciones de diseño en los sistemas de engranajes, ejes de transmisión de potencia y palas. Para el caso de un aerogenerador V136 – 3.6MW PO1 del parque eólico La Flor corresponde a:

Parámetro	V136 – 3.6 MW PO1
Potencia Mínima en lado LV	360 kW
Potencia Mínima en lado MT	253 kW

Tabla 5: Potencia mínima aerogenerador V136-3.6MW PO1

La potencia mínima en lado MT se estima restando las pérdidas en vacío del transformador de unidad, dada la baja carga a la potencia mínima en lado LV.

La generación a mínimo técnico no presenta limitaciones de tiempo de operación.

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

La capacidad de control de reactivos en mínimo técnico, es decir en 10% de la potencia nominal se describe en el documento [11], para cada aerogenerador los rangos máximos son los siguientes:

- Capacidad de absorción de reactivos, por cada aerogenerador: -2200 [kvar].
- Capacidad de entrega de reactivos, por cada aerogenerador: +2200 [kvar].

Lo anterior se ilustra en el siguiente gráfico:

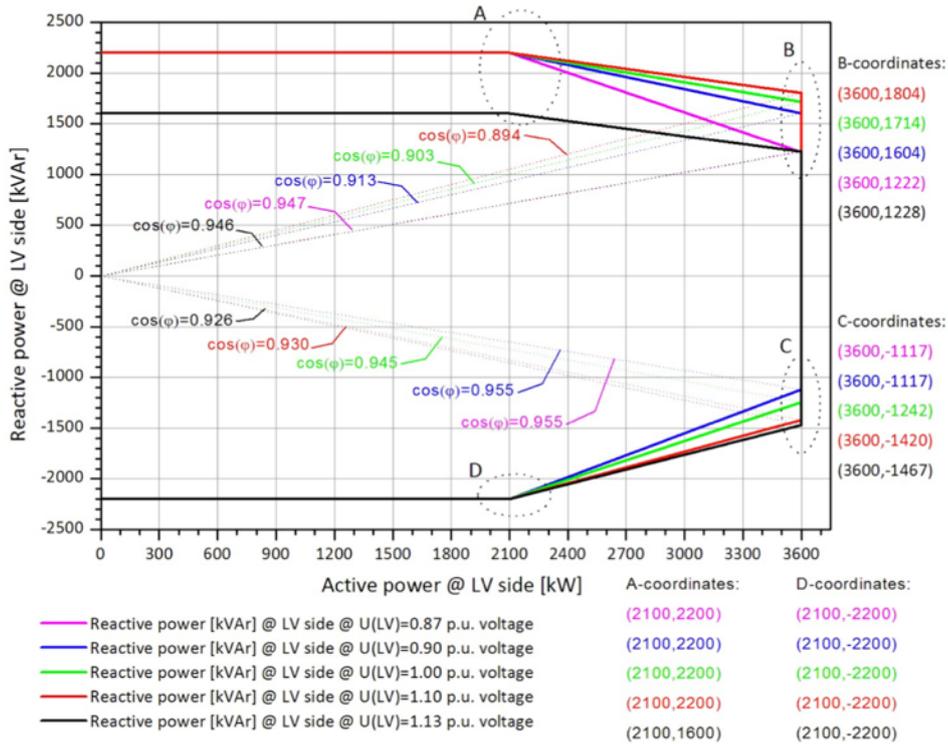


Figura 6: Curva PQ de aerogenerador V136-3.6MW PO1 La Flor.

## Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

A nivel de parque eólico, la capacidad total de las 9 unidades del parque eólico es la siguiente:

- Capacidad de absorción de reactivos, nivel parque: -19,8 [Mvar].
- Capacidad de entrega de reactivos, nivel parque +19,8 [Mvar].

Los consumos internos de cada unidad son variables en función de las condiciones ambientales y viento disponible, y se pueden estimar en un valor medio de 12.75 [kW]. Los valores anteriores de potencia activa y reactiva ya consideran estos valores, ya que la curva se informa en terminales de baja tensión del transformador del aerogenerador.

### 3.3 Control de Potencia Reactiva sin presencia de recurso primario.

Las unidades del Parque Eólico La Flor están técnicamente habilitadas para entregar o absorber potencia reactiva en condiciones de ausencia de recurso primario. El consumo interno de cada unidad estará en torno a 12,75 [kW], lo que a nivel parque de 9 unidades es un consumo total de 114,75 [kW], sin embargo, el diseño del sistema de control indica que, bajo condiciones sin viento, se limitará la inyección a 0 kVAr [12/].

### 3.4 Potencia Mínima desde Control Conjunto Parque Eólico.

El controlador a nivel de parque eólico permite controlar a todos los aerogeneradores en las variables de potencia activa y reactiva.

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

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

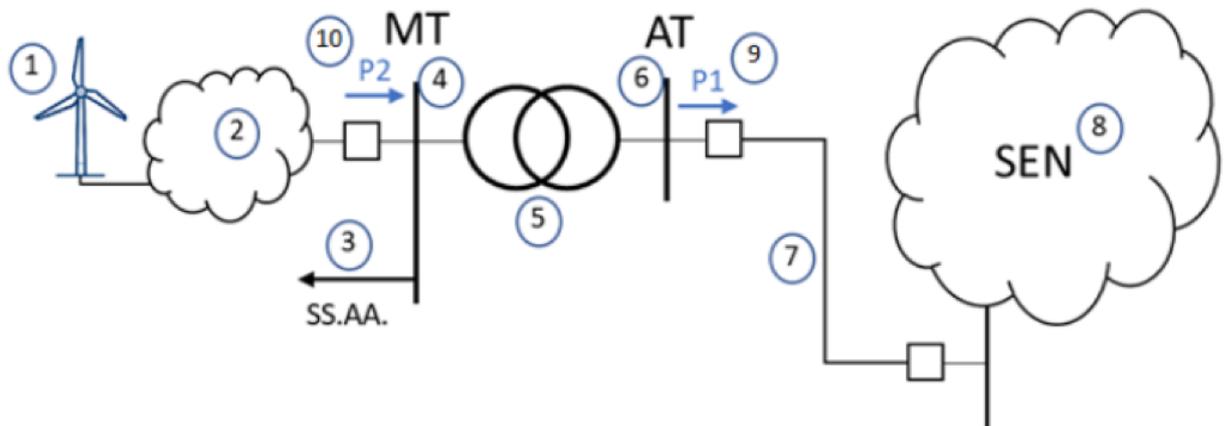
Rango del Setpoint	Valor procesado en PMU para consigna a aerogeneradores	Estado de Operación Aerogeneradores
Entre 0 y 4,99%	0%	Se desconectarán todos los aerogeneradores. La desconexión de aerogeneradores es secuencial y progresiva cada 30 [s]
Entre 5.00 y 9,99%	10%	Se apagarán algunos aerogeneradores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

El mínimo técnico del parque eólico corresponde a 3,24 [MW], ya que, es la consigna con el cual el parque en su conjunto puede operar en forma permanente, segura y estable, e inyectando energía al sistema de forma continua.

### 3.5 Metodología y Cálculo Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor.

Se utilizará la metodología descrita en el documento del CEN “Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos”

Se considerará el siguiente sistema equivalente:



En donde los componentes se identifican como:

1. Parque Eólico equivalente: Corresponde a la suma de los aportes distribuidos de potencia activa alterna de cada inversor del parque ERNC.
2. Pérdidas en sistema colector del parque: Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico principalmente en cables de baja y media tensión.
3. Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.
4. Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder de la central.
5. Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque ERNC.
6. Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder de la central.
7. Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque ERNC con el sistema eléctrico.
8. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
9.  $P_1$ : Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de alta tensión de su subestación de salida.
10.  $P_2$ : Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida.

Posteriormente se definen las siguientes variables:

- a)  $P_1$ : Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) de la central [MW].
- b)  $P_2$ : Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) de la central [MW].
- c)  $P_{trafo}$ : Pérdidas activas en el transformador de poder de la central [kW].
- d) SS.AA.: Servicios Auxiliares de la central [kW].
- e)  $P_{colector}$ : Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC [kW].

### Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

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

$$MT(23kV) = P_2 + SS.AA. + P_{colector} \quad MW$$

1.	Mínimo Técnico Aerogeneradores	3,24 [MW]
2.	$P_{colector}$ : Pérdidas en el sistema colector	63,17 [kW]
3.	$SS.AA.$ : Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	$P_2$ : Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	3,13 [MW]
5.	$P_{trafo}$ : Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	- [kW]
6.	$P_1$ : Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	- [MW]
<b>MT: Mínimo Técnico de la central</b>		<b>3,13 [MW]</b>

Por otro lado, el mínimo técnico (MT) de la central referido a las instalaciones en 66kV quedará definido por:

$$MT(66kV) = P_1 + P_{trafo} + SS.AA. + P_{colector} \quad MW$$

1.	Mínimo Técnico Aerogeneradores	3,24 [MW]
2.	$P_{colector}$ : Pérdidas en el sistema colector	63,17 [kW]
3.	$SS.AA.$ : Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	$P_2$ : Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	3,13 [MW]
5.	$P_{trafo}$ : Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	14,63 [kW]
6.	$P_1$ : Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	3,16 [MW]
<b>MT: Mínimo Técnico de la central</b>		<b>3,12 [MW]</b>

A continuación, se informan la capacidad de generación del parque con un solo aerogenerador en funcionamiento:

1.	Mínimo Técnico Aerogenerador	360 [kW]
2.	$P_{colector}$ : Pérdidas en el sistema colector	7,02 [kW]
3.	$SS.AA.$ : Servicios Auxiliares de la central	38,25 [kW]
4.	$P_2$ : Potencia Activa inyectada en la barra MT de la central	314,73 [kW]
5.	$P_{trafo}$ : Pérdidas activas en Trans. de Poder de la central	14,63 [kW]
6.	$P_1$ : Potencia Activa inyectada en la barra AT de la central	300 [kW]
<b>MT: Mínimo Técnico de la unidad</b>		<b>0,3 [MW]</b>

## 4 Conclusiones.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al **“ANEXO TÉCNICO: DETERMINACIÓN DE MÍNIMOS TÉCNICOS EN UNIDADES GENERADORAS”**, datos técnicos se establecen las siguientes conclusiones respecto al Mínimo Técnico del Parque Eólico La Flor para el punto de conexión de 23kV especificado por el Coordinador Eléctrico Nacional bajo el número de proyecto NUP 318:

- **La potencia activa bruta mínima que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor de forma permanente es de 3,24 [MW].**
- **La potencia activa neta mínima que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor de forma permanente es de 3,12 [MW].**
- **La potencia activa neta mínima que es capaz de inyectar una unidad del Parque Eólico La Flor de forma permanente es de 0,3 [MW].**

Por otro lado, de forma equivalente en base a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas correspondientes al **“ANEXO TÉCNICO: DETERMINACIÓN DE MÍNIMOS TÉCNICOS EN UNIDADES GENERADORAS”**, con apoyo de los datos técnicos de la Subestación Nahuelbuta 66kV y equipos asociados en el nivel de tensión de 66kV, se establecen las siguientes conclusiones:

- La potencia activa bruta mínima que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor de forma permanente es de 3,24 [MW].
- La potencia activa neta mínima que es capaz de inyectar el Parque Eólico La Flor de forma permanente es de 3,12 [MW].

## 5 Referencias y Anexos

	Descripción	Documento	Ver.	Fecha
/1/	Norma Técnica de Seguridad y Calidad De Servicio	<a href="https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/NTSyCS-Dic2019.pdf">https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/NTSyCS-Dic2019.pdf</a>	N/A	Enero 2020
/2/	Anexo Técnico Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras	<a href="https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/Anexo-NT-Determinaci%C3%B3n-de-M%C3%ADnimos-T%C3%A9cnicos-en-Unidades-Generadoras.pdf">https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/Anexo-NT-Determinaci%C3%B3n-de-M%C3%ADnimos-T%C3%A9cnicos-en-Unidades-Generadoras.pdf</a>	N/A	N/A
/3/	Puesta en Servicio de Unidades Generadoras – Aplicación de Anexos Técnicos	<a href="https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/03/PES-de-UUGG-Aplicaci%C3%B3n-de-Anexos-T%C3%A9cnicos.pdf">https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2019/03/PES-de-UUGG-Aplicaci%C3%B3n-de-Anexos-T%C3%A9cnicos.pdf</a>	1	14/02/19
/4/	Diagrama Unilineal SE Nahuelbuta	SE011R019-T-EE-00-002L2-v1 – SE Nahuelbuta - DUL	01	26/03/19
/5/	Datos Transformador de Poder	3022_Datos de placa	N/A	N/A
/6/	Disposición de aerogeneradores PE La Flor	VdR - La Flor - PES - Anexo #04 - 474.01.01.03_Planta General ver 09 aero - 2017-07-12.pdf	01	01/07/17
/7/	Datos transformador de unidad	COOR-611-318-TEST T1	N/A	N/A
/8/	Certificado pruebas transformador de unidad	COOR-611-318-TEST T1	N/A	N/A
/9/	Curva de Potencia V136-3.6MW PO1	COOR-611-318-Garantía de curva de potencia	N/A	N/A
/10/	Diagrama Unilineal Red MT PE La Flor	474-LAFLORE001-REV06_clean	6	05/12/19
/11/	Diagrama PQ aerogenerador	Diagrama P-Q V136-3.6MW PO1	N/A	N/A
/12/	Sistema de control PE La FLor	FDS_La Flor_grid interface control_CL_r04	4	24/04/19

Determinación Mínimo Técnico Parque Eólico La Flor

Observación	Respuesta
<p>Se solicita indicar en el diagrama unifilar los puntos de medida. Específicamente debe indicar los puntos en que se efectuó la medición de la potencia neta y SS.AA. Considerar que los puntos de medición de potencia, energía y SS.AA. deben ser iguales a los considerados en el establecimiento de la potencia máxima y los parámetros de partida y detención del parque.</p>	<p>Se indican en los Diagramas unilineales</p>
<p>Se solicita informar si existe alguna limitación en cuanto al tiempo que el aerogenerador podría mantenerse en mínimo técnico, de ser así, se debe incluir esta información en forma detallada en la nueva versión del informe.</p>	<p>Se Indica en 3.1</p>
<p>Respecto del punto 3.5 y las conclusiones del documento de la referencia [1], donde se entregan los datos del central operando en su totalidad, se solicita sean revisados de manera que estos sean consistentes con los valores conforme al calculo del esquema equivalente de la figura 1.</p>	<p>Se corrige en 3.5 y 4</p>
<p>Se solicita informar los datos de la misma manera, considerando <b>solo un aerogenerador operando y todos los demás en pausa o detenidos</b>. Se solicita informar los datos solicitados conforme al MT informado de un aerogenerador del 10 % (360 KW), o el valor que le permita operar en forma continua, segura y estable.</p>	<p>Se indica en 3.5</p>