



I-O&M-COG.

---

## **Informe Técnico Determinación de Mínimo Técnico del Parque Eólico Totoral.**

Versión 4	Periodo de medición	Aprueba: C. Gutierrez
Área O&M-COG	Enero 2017 – Agosto 2020	Fecha: Septiembre-2020

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO. ....	5
2.1. Parque Eólico Totoral. ....	5
2.2. Torres. ....	5
2.3. Rotor.....	5
2.4. Góndola.....	6
2.5. Distribución del Parque Eólico. ....	6
3. ALCANCES.....	9
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	9
4.1. Especificaciones de las unidades generadoras. ....	9
4.2. Generador eléctrico. ....	11
4.3. Convertidor. ....	12
4.4. Transformador elevador HV del generador. ....	12
4.5. Cables de potencia HV.....	14
4.6. Interruptor de potencia HV (Switchgear).....	14
4.7. Sistemas auxiliares. ....	14
4.8. Fuente de poder ininterrumpible UPS .....	15
4.9. Sistema de supervisión y control. ....	15
4.10. Servicios auxiliares parque eólico Totoral.....	20
4.11. Transformadores de poder S/E Totoral N°1 y N°2. ....	21
4.12. Diagrama unifilar General parque eólico Totoral y S/E N°1 y N°2. ....	21
5. DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO EN FUNCIÓN A LA CURVA DE POTENCIA.....	23
5.1. Curva de referencia Potencia vs Viento proporcionada Vestas. ....	23
5.2. Datos de referencia de Potencia vs Viento proporcionados por Vestas.....	24
5.3. Curva de Potencia vs Viento aerogeneradores WTG 1 al 5. ....	25
5.4. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 1 al 5.....	25
5.5. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 6 al 10.....	26
5.6. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 6 al 10.....	26
5.7. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 11 al 15.....	27

5.8.	Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 11 al 15.....	27
5.9.	Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 16 al 20.....	28
5.10.	Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 16 al 20.....	28
5.11.	Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 21 al 23.....	29
5.12.	Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 21 al 23.....	29
5.13.	Análisis de curva Potencia vs Viento proporcionadas con respecto a las curvas Potencia vs Viento en tiempo real de todos los aerogeneradores. ....	30
5.14.	Determinación de Mínimo Técnico del parque eólico Totoral con alto recurso disponible. 30	
5.15.	Determinación de Mínimo Técnico del parque eólico Totoral ingresando la menor consigna posible en el sistema de control. ....	31
6.	CONTROL DE POTENCIA REACTIVA. ....	33
6.1.	Análisis de control de potencia reactiva. ....	34
6.2.	Resultado de pruebas del control de potencia reactiva. ....	35
6.3.	Parámetros requeridos de potencia activa y pérdidas en Parques ERNC.....	35
7.	CONCLUSIÓN.....	37
8.	ANEXO.....	39

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe técnico tiene como objetivo determinar el valor de mínimo técnico de operación del parque eólico Totoral, para lo cual nos fundamentaremos en el documento “ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”, específicamente lo expuesto en el artículo 4 de su Título I “ASPECTOS GENERALES” donde se define como Mínimo Técnico la potencia activa bruta mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable inyectando energía al SI en forma continua, así como lo expuesto también en el artículo 6 de su Título II “PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO” el cual establece que la comprobación del Mínimo Técnico de todas las unidades generadoras del sistema se realizará en función de los registros de la operación real disponibles en el Centro de Despacho y Control.

El parque eólico Totoral, es propiedad de la empresa de generación eléctrica Latin America Power y está ubicado en la comuna de Canela, provincia de Choapa, Región de Coquimbo, aproximadamente a 70 [Km] al norte de la ciudad de los Vilos, el mismo cuenta con una capacidad instalada de 46 [MW], la generación del Parque llega con cuatro líneas hasta la Subestación N°1 elevando la tensión de 23/66 [kV] y posteriormente a través de la línea Totoral 1 - Totoral 2 de un largo de 7 [Km] se conecta a la Subestación N°2 para elevar tensión de 66/220 [kV] y conectarse al Sistema Eléctrico Nacional por medio de la Línea 220 [kV] Las Palmas – Subestación N°2.

La operación del parque se realiza remotamente desde el centro de despacho COG LAP a través de la herramienta Scada Vestas Online Bussines (VOB) donde se pueden supervisar todos los parámetros de operación del parque y ejecutar comandos de control sobre cada aerogenerador, adicionalmente se cuenta con la supervisión y control de la S/E N°1 23/66 [kV] y la S/E N°2 66/220 [kV] a través de una herramienta Scada eléctrico SIMPLICITY, por lo que la operación de la línea y transformadores se realiza también remotamente desde el centro de despacho COG LAP.

## **2. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO.**

### **2.1. Parque Eólico Totoral.**

Latin America Power en pro de contribuir a mejorar la matriz energética de Chile a través de fuentes renovables, de mantener una estrecha relación con las comunidades y con la finalidad de proteger el medio ambiente adquiere el proyecto parque eólico Totoral en el año 2013.

Actualmente el parque cuenta con la operación de 23 aerogeneradores marca Vestas modelo V90-2,0 [MW], cada uno compuesto por una torre de 80 [Mts] de altura que sirve de soporte a la góndola (Nacelle) que a su vez está unida a un rotor con 3 palas de 90 [Mts] de diámetro. Cada aerogenerador tiene una capacidad nominal de 2,0 [MW], para una capacidad de generación total del parque de 46 [MW].

### **2.2. Torres.**

Las Torres son de acero tubular con conexiones de brida y con la mayoría de las conexiones internas soldadas, reemplazables por soportes magnéticos para crear una torre predominantemente de pared lisa. Los imanes proporcionan soporte de carga en una dirección horizontal y los elementos internos de la torre, como plataformas, escaleras, etc., son soportados verticalmente (es decir, en la dirección gravitacional) mediante una conexión mecánica. El diseño liso de la torre reduce el espesor de acero requerido, haciendo que la torre sea más ligera en comparación con todas las piezas internas soldadas a las cubiertas de la torre. Las alturas de cubo enumeradas incluyen una distancia desde la sección de cimentación hasta el nivel del suelo de aproximadamente 0,2 [Mts], dependiendo del grosor de la brida inferior y una distancia desde la brida superior de la torre hasta el centro del cubo de 2,2 [Mts]. Adicionalmente en la parte inferior de la torre se encuentra el interruptor de alta tensión (HV Switchgear) que se conecta al transformador elevador (HV Transformer) del generador por medio de un cable de potencia HV (Cables HV), así como el control de este interruptor. Además de las plataformas y escaleras dentro de la torre se encuentra también el ascensor o elevador de mantenimiento que permite a los operarios subir sin dificultad a la góndola (Nacelle).

### **2.3. Rotor.**

El rotor consiste en un buje o cubo de hierro fundido al cual se encuentran unidas las tres palas de Fibras de epoxy y carbono reforzadas con fibra de vidrio, las cuales tienen una longitud de 44 [Mts] de largo y que giran cada una en su eje longitudinal. El rotor tiene un diámetro total de 90 [Mts]. El cubo aparte de servir para unir y soportar las tres palas transfiere las fuerzas de reacción al rodamiento principal y el par de torsión a la caja de cambios. El sistema hidráulico para el ajuste de las palas se encuentra dentro del cubo o buje del rotor.

## **2.4. Góndola.**

La góndola (Nacelle) de la turbina Vestas V90-2.0 MK5 consiste en una placa base y una cubierta de fibra de vidrio que encapsula a todos los equipos. La placa base de la góndola tiene dos partes: una parte delantera de hierro fundido y una parte trasera de viga de acero estructural. La parte frontal o delantera de la base de la góndola es la base del tren de transmisión y transmite fuerzas desde el rotor a la torre a través del sistema de orientación. La superficie inferior está mecanizada y conectada a la corona de orientación y los engranajes de orientación están atornillados a la placa de la parte delantera de la góndola. En la góndola se encuentran la mayor parte de los componentes del aerogenerador como son: el tren con fuerza de rodamiento, eje y caja multiplicadora, el generador, el convertidor, el UPS, el transformador HV, el transformador de servicios auxiliares, el sistema de enfriamiento, el sistema hidráulico, las unidades motrices del sistema del mecanismo de orientación de la góndola (Yaw System) y el gabinete de control. Finalmente, en la parte trasera externa de la góndola, específicamente sobre el techo, se encuentran los sensores de viento ultrasónicos. La góndola puede girar en la cabeza de la torre con la finalidad de alinear el rotor a favor de la dirección del viento más favorable que produzca el movimiento de las palas.

## **2.5. Distribución del Parque Eólico.**

El Parque está ubicado en la comuna de Canela, provincia de Choapa, Región de Coquimbo y está dispuesto según como se muestra en las siguientes figuras:



**Figura 2.5.1. Vista general de la distribución del Parque Eólico Totoral.**



Figura 2.5.2. Vista satelital del Parque Eólico Totoral.

### 3. ALCANCES.

De acuerdo con lo señalado en el documento “ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”, cada coordinador propietario de unidades generadoras debe enviar un informe técnico donde se justifiquen el valor del mínimo técnico.

### 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

#### 4.1. Especificaciones de las unidades generadoras.

Las unidades generadoras del Parque Eólico Totoral son unidades marca Vesta modelo V90-2.0 MK5 y está equipado con un rotor de 90 [Mts] que consta de tres palas unidas al centro de un buje o cubo centro. Las palas están controladas por un sistema de control de inclinación a través de un microprocesador. En función de las condiciones del viento predominantes, las palas se posicionan continuamente para optimizar el ángulo de inclinación. La turbina eólica puede hacer funcionar el rotor a velocidad variable y por lo tanto mantener la potencia de salida a la potencia nominal o cerca de ella, incluso a alta velocidad del viento. A baja velocidad del viento, el sistema optimizador y el sistema de control de potencia trabajan en conjunto para maximizar la potencia de salida, manteniendo la operación del rotor a la velocidad y ángulo de inclinación óptimos. La turbina está equipada con un sensor ultrasónico anemómetro de viento. El sensor tiene calentador incorporado para minimizar la interferencia del hielo y la nieve. Cada aerogenerador posee un mecanismo de orientación (Yaw System) que es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. El sistema de orientación es un sistema activo basado en un robusto concepto de rodamientos simples y pretensados con PETP como material de fricción. Los engranajes del sistema de orientación tienen un torque limitador. A continuación, se muestran las especificaciones más importantes de las unidades generadoras:

- Capacidad Nominal: 2.0 MW.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Área de barrido del rotor: 6362 mts cuadrados.
- Diámetro del rotor: 90 mts.
- Altura de la torre: 80 mts.
- Largo de la pala: 44 mts.
- Rango de velocidad de giro del rotor: 9,6 - 17 RPM.
- Velocidad de giro nominal del rotor: 14.9 RPM.
- Dirección rotacional del rotor: En sentido horario (vista frontal).
- Orientación del rotor: Contra el viento.
- Inclinación del rotor: 6°.
- Numero de palas: 3
- Inclinación cónica de las palas del rotor: 2°.
- Rango del sistema de inclinación de las palas: DE -5° a 90°.
- Frenos aerodinámicos: Desvanecimiento completo.
- Velocidad de giro del sistema de orientación del rotor: 0.5°/s.

- Velocidad nominal de viento: 13 m/s.
- Velocidad de corte inferior: 4 m/s.
- Velocidad de corte superior: 25 m/s.

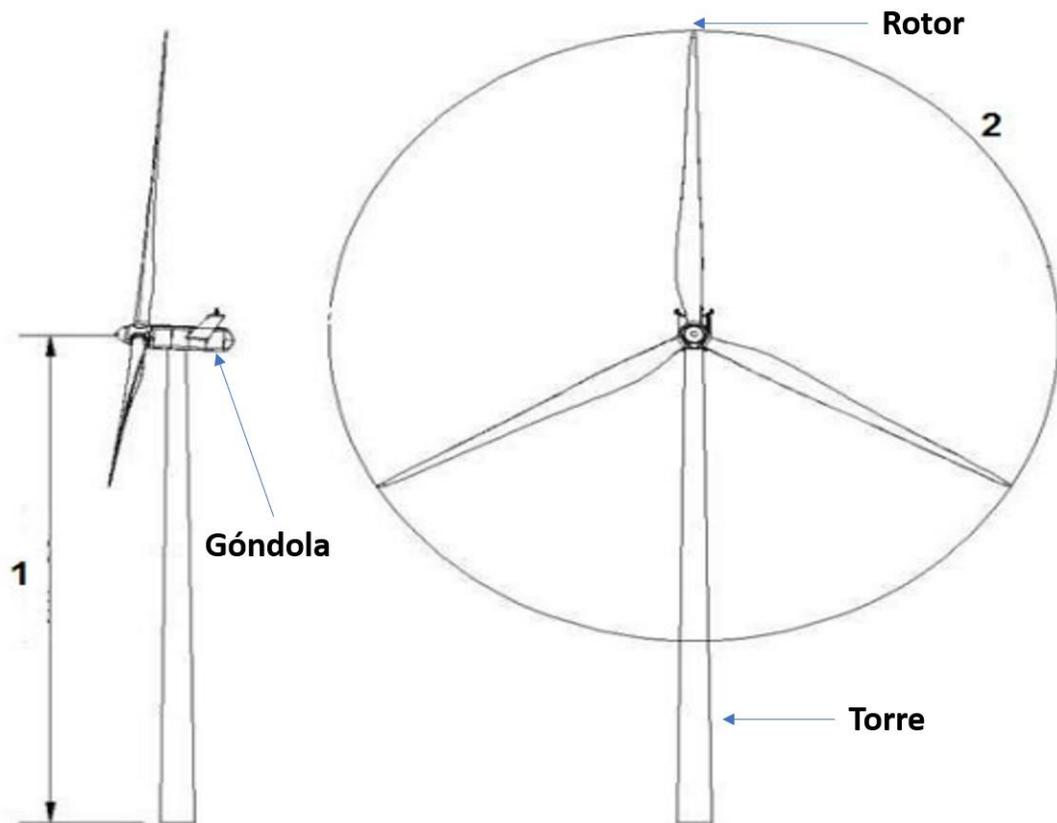


Figura 4.1.1. Vista general del aerogenerador Vestas V90-2.0 MW.

### Technical specifications



- |                   |                                     |                             |                             |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 Hub controller  | 6 Gearbox                           | 11 High voltage transformer | 16 Machine foundation       |
| 2 Pitch cylinders | 7 Mechanical disc brake             | 12 Blade                    | 17 Yaw gears                |
| 3 Blade hub       | 8 Service crane                     | 13 Blade bearing            | 18 Composite disc coupling  |
| 4 Main shaft      | 9 VMP-Top controller with converter | 14 Rotor lock system        | 19 OptiSpeed® generator     |
| 5 Oil cooler      | 10 Ultrasonic wind sensors          | 15 Hydraulic unit           | 20 Air cooler for generator |

Figura 4.1.2. Vista lateral del aerogenerador Vestas V90-2.0 MW.

#### 4.2. Generador eléctrico.

El Generador es de tipo asíncrono trifásico con rotor bobinado el cual es conectado al VCS (Vestas Converter System) a través de un sistema de anillos rozantes. El generador consta de cuatro polos y es enfriado por aire. El rotor está conectado en estrella y está aislado del eje.

GENERADOR ELÉCTRICO V90-2.0 MW	
Descripción	Generador asíncrono de rotor bobinado
Potencia nominal	2.0 MW
Potencia aparente nominal	2.08 MVA (Cos fi =0.96)
Frecuencia	50 HZ
Voltaje generador	690 Vac
Voltaje convertidor	480 Vac
Números de polos	4
Tipo de bobinado ( Estator / Rotor)	Aleatorio / Forma
Conexión de bobina estator	Estrella / Delta
Eficiencia nominal ( solo generador)	> 97 %
Factor de Potencia ( Cos )	0.96 inductivo - 0.98 capacitivo
Límite de exceso de velocidad de acuerdo con IEC ( 2 minutos )	2900 RPM

Nivel de vibración	$\leq 1.8$ mm/s
Peso	7.5 Ton aproximadamente
Cojinete del generador - Temperatura	2 PT100 sensores
Devanados del estator del generador - Temperatura	3 PT100 sensores colocados en puntos calientes y 3 como respaldo

#### 4.3. Convertidor.

El sistema convertidor es de escala completa que controla tanto el generador, como la calidad de potencia entregada a la red, se compone de unidades convertidoras múltiples que funcionan en paralelo con un controlador común. La función del convertidor es controlar la conversión de potencia de C.A. de frecuencia oscilante que genera el alternador a una potencia de C.A. pero de frecuencia fija, con los niveles de potencia activa y reactiva deseados (y otros parámetros de conexión de red) adecuados para la red. El convertidor está ubicado en la góndola y se conecta eléctricamente entre el generador y transformador elevador HV del mismo. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones del convertidor:

CONVERTIDOR ELÉCTRICO	
Deslizamiento nominal	12%
RPM nominal	1680 RPM
Potencia nominal del rotor	214 KW
Corriente bruta nominal (deslizamiento, FP = 1 y 480 V)	258 A
Corriente nominal rotor (deslizamiento nominal y FP = 1)	636 A

#### 4.4. Transformador elevador HV del generador.

El transformador elevador está ubicado en un compartimiento cerrado y separada en la parte posterior de la góndola, el mismo es trifásico, de dos devanados, de tipo seco, y es auto extingible. Los devanados están conectados en triángulo en el lado de alta tensión a menos que se especifique lo contrario. En la siguiente tabla se muestran sus especificaciones:

TRANSFORMADOR ELEVADOR HV DEL GENERADOR	
Tipo	Transformador de resina de yeso tipo en Seco
Diseño básico	Transformador de 3 fases y 2 devanados con Taps en baja tensión
Standards aplicado	IEC 60076-11, IEC 60076-16, Cenelec HD 637:S1
Método de refrigeración	Aire Forzado
Potencia nominal HV / LV1/ LV2	2100/1900/200 KVA
Voltaje nominal, lado turbina LV1 / LV2	
Vm 1.1 KV	0.69/0.480 KV
<b>Voltaje nominal, lado Grid</b>	
Vm 12.0 KV	6-11 KV

Vm 24.0 KV	11.1-22 KV
Vm 36.0 KV	22.1-33 KV
Vm 41.5 KV	33.1-35 KV
<b>Nivel de aislamiento AC /LI / LIC</b>	
Vm 1.1 KV	3 KV
Vm 12.0 KV	28/75/75 KV
Vm 24.0 KV	50/125/125 KV
Vm 36.0 KV	70/170/170 KV
Vm 41.5 KV	80/170/170 KV
Tap	±2 x 2.5 %
Grupo de conexión	Dyn5 / YNyn0
Perdida sin carga	4.0 KW
Perdida reactiva sin carga	16 KVAR
Potencia reactiva a plena carga	220 KVAR
<b>Secuencia positiva de impedancia de corto circuito</b>	
Vm 12-36 KV	7,80%
Vm 41.5 KV	9%
<b>Secuencia positiva de resistencia de corto circuito</b>	
Vm 12-36 KV	0,80%
Vm 41.5 KV	0,90%
<b>Secuencia cero de impedancia de corto circuito</b>	
Vm 12-36 KV	7,30%
Vm 41.5 KV	8,50%
<b>Secuencia cero de resistencia de corto circuito</b>	
Vm 12-36 KV	0,80%
Vm 41.5 KV	0,80%
<b>Corriente Inrush Peak</b>	
Dyn5	6-9 x In
YNyn0	8-12 x In
Nivel de potencia acústica	<= 83 DB (A)
Máxima Altitud	2100 m
Clase de aislación	155 (F)
Clase ambiental	E2
Clase Climática	C2
Clase de comportamiento	F1
Clase de corrosión	C4
Peso	5500 KG
Disipadores de sobretensión	En los terminales de alta tensión
Puesta a tierra temporal	3 x Ø20mm puntos de bola de puesta a tierra

#### 4.5. Cables de potencia HV.

El cable de alta tensión que se conecta a la salida del Transformador Elevador HV del Generador sale desde dicho transformador, ubicado en la góndola, recorriendo el trayecto vertical de la torre hasta llegar al interruptor (HV Switchgear) ubicado en la parte inferior de la misma. El cable de alta tensión es un cable de alto voltaje de cuatro núcleos, aislado de caucho y libre de halógenos. En la siguiente tabla se muestran sus especificaciones:

CABLES DE POTENCIA HV	
AISLAMIENTO DEL CABLE	Material basado en etileno-propileno (PE) mejorado-EPR o caucho de etileno-propileno de alto grado o grado duro-HEPR
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CONDUCTOR	3 x 70 / 70 mm <sup>2</sup>
VOLTAJE MÁXIMO DE OPERACIÓN	24 kV para tensión nominal de 12-20 kV 42 kV para voltaje nominal de 20-35 kV

#### 4.6. Interruptor de potencia HV (Switchgear)

El interruptor de alta tensión se encuentra en la parte inferior de la torre. En la tabla siguiente se muestran sus especificaciones:

INTERRUPTOR DE POTENCIA HV (Switchgear)		
TIPO	Sf6	
FRECUENCIA NOMINAL	50/60 Hz	
RANGO DE VOLTAJE NOMINAL	22.1–33 kV	33.1–35 kV
VOLTAJE MÁXIMO DE OPERACIÓN	36 kV	40.5 kV
CORRIENTE MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO	25 kA	25 kA

#### 4.7. Sistemas auxiliares.

Los sistemas auxiliares se alimentan desde un transformador separado de 690/400 V ubicado en la góndola. Todos los motores, bombas, ventiladores y calentadores se alimentan desde este sistema. Todos los servicios auxiliares de 230 V se alimentan desde un transformador de 400/230 V ubicado en la base de la torre.

TOMAS DE CORRIENTE	
MONOFASICAS (PLATAFORMA DE LA TORRE Y GONDOLA)	230 V (16 A) /110 V (16 A) / 2 x 55 V (16 A)
TRIFASICAS (BASE DE LA TORRE Y GONDOLA)	3 x 400 V (16 A)

#### 4.8. Fuente de poder ininterrumpible UPS

El UPS está equipado con un convertidor AC / DC, DC / AC (doble conversión) y celdas de baterías colocadas en el mismo gabinete que el convertidor. Durante la interrupción de la red, el UPS alimentará componentes específicos con 230 V AC. El tiempo de respaldo para el sistema UPS es proporcional al consumo de energía. El tiempo de copia de seguridad real puede variar.

UPS	
TIPO DE BATERÍAS	Ácido de plomo regulado por válvula (VRLA)
VOLTAJE NOMINAL DE LAS BATERÍAS	2 x 8 x 12 V (192 V)
TIPO DE CONVERTIDOR	Doble conversión en línea
TENSIÓN DE ENTRADA DEL CONVERTIDOR	230 V +/-20%
TENSIÓN DE SALIDA DEL CONVERTIDOR	230 VAC
TIEMPO DE RESPALDO	Sistema Control 30 segundos – Sistema Seguridad 35 minutos
TIEMPO DE CARGA	2.5 Horas

#### 4.9. Sistema de supervisión y control.

La supervisión y control del Parque Eólico se realiza desde el COG LAP a través del SCADA VESTAS. Cada aerogenerador opera de manera independiente y puede arrancarse y detenerse de forma automática si existe disponibilidad de recurso eólico y recepción adecuada de las consignas del sistema EDAG/ERAG, igualmente los mismo pueden detenerse automáticamente si el sistema de supervisión y control detecta alguna anomalía que ponga en riesgo la operación de la unidad. Adicionalmente cada aerogenerador puede arrancarse o detenerse por comandos manuales a través del SCADA. El punto del parque eólico respecto al cual se controla e ingresan las consignas de potencia activa corresponde al PRM (Power Regulation Module) el cual se encuentra integrado/habilitado en el servidor Vestas VOB que a su vez se conecta al VGM (Vestas Grid Panel). El GRID se encuentra a nivel de 220 kV [kV] en S/E Totoral N°2 conectado al medidor de facturación ION 8600 y toma las medidas desde el núcleo 1 de los TT/CC's y TT/PP's del paño JT2.

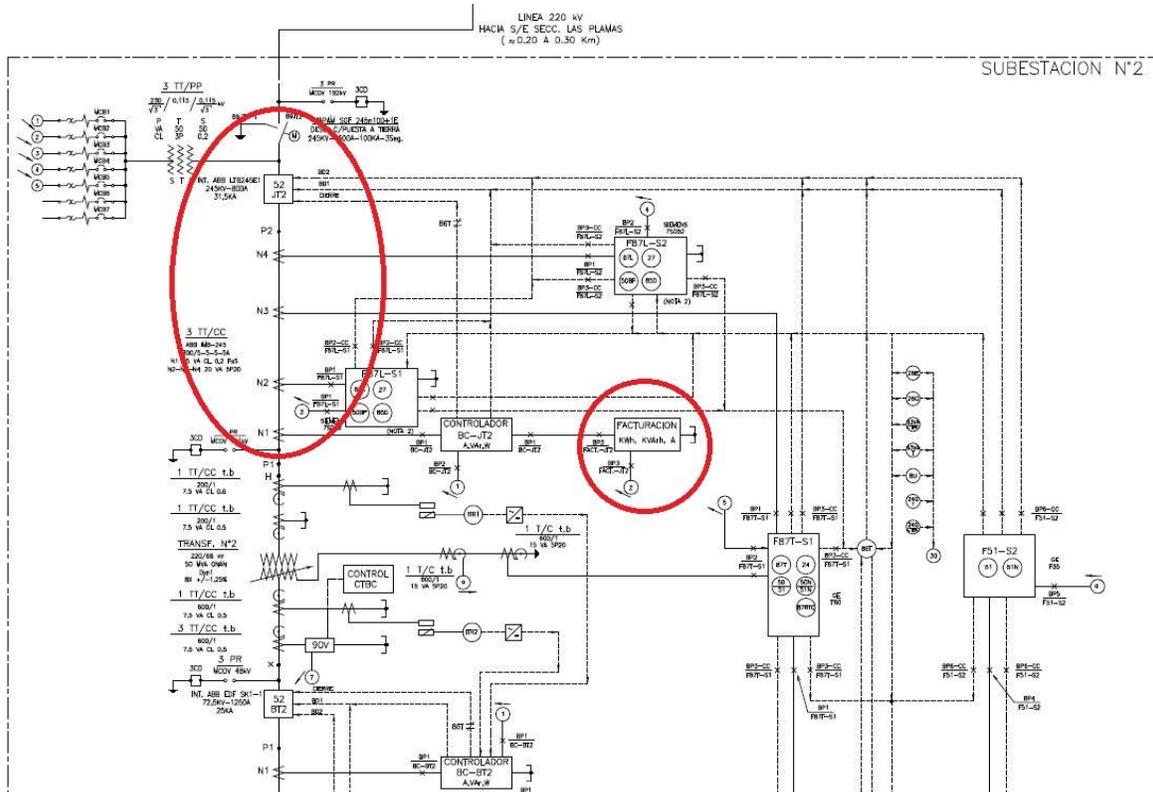


Figura 4.9.1. Diagrama unilíneal puntos de medida y control medidor ION 8600 S/E Totoral N°2.







Figura 4.9.4. Vestas Grid Panel.

Cabe resaltar que el sistema de control permite el pausar o detener unidades, así como su arranque desde dicho sistema de supervisión cuando se cuenta con recurso favorable. No obstante, las consignas de potencia introducidas en “Active Power Control VESTAS” se realizan de manera automática sobre el 100 % de unidades disponibles con recurso eólico en parque. Este automatismo reparte de manera automática la consigna de potencia introducida sobre las unidades que cuentan con recurso primario.

#### 4.10. Servicios auxiliares parque eólico Totoral.

Los servicios auxiliares que abastecen a parque eólico Totoral son alimentados por el transformador dedicado para esta función de relación 23/0,4 [kV] conexión Dy1 de 150 [kVA] el cual se conecta a la celda de 23 [kV] a través del interruptor 52D6.

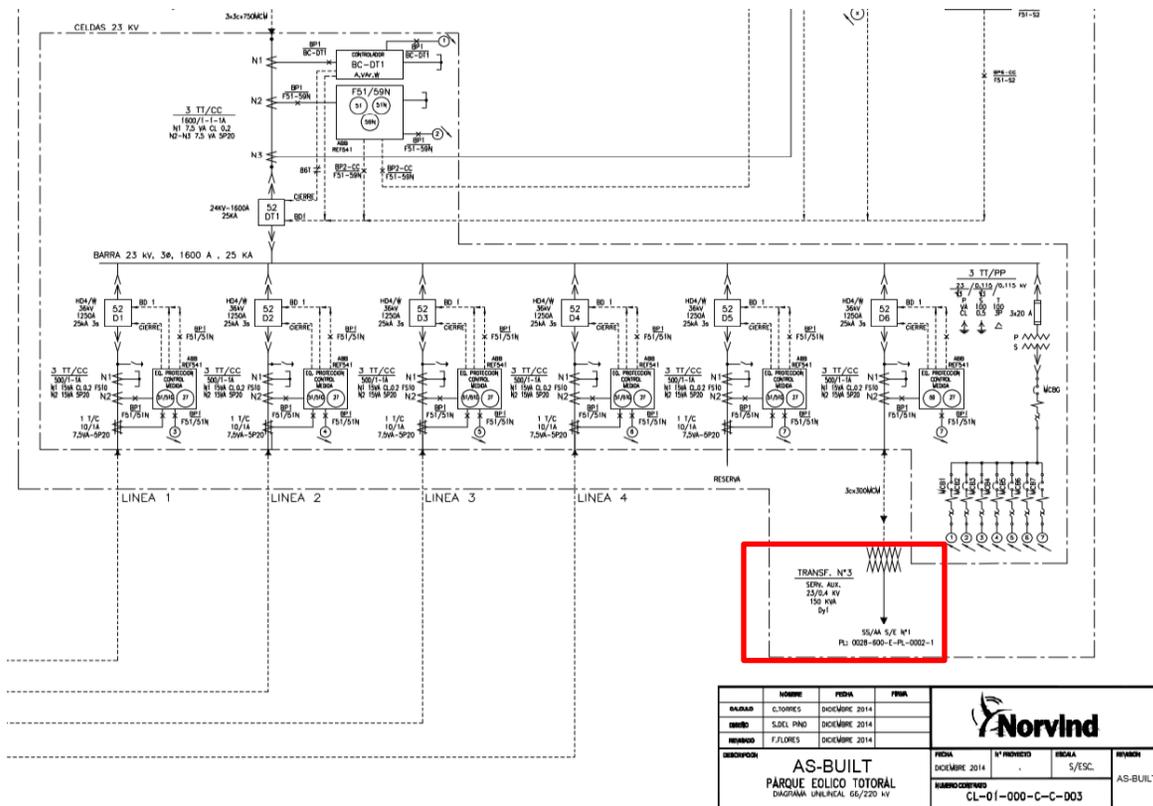


Figura 4.10.1. Diagrama unilineal celdas media tensión 23 [kV] S/E Totoral N°1, donde se aprecia transformador de SS.AA.

#### 4.11. Transformadores de poder S/E Totoral N°1 y N°2.

Las principales características de los transformadores de poder de las subestaciones anteriormente mencionadas se disponen a continuación.

**Transformador de poder S/E Totoral N°1**

Ítem	Detalle
Fabricante	ABB
Tipo	Trifásico
Potencia nominal	50 [MVA]
Tensión	66/23 [kV]
Intensidad nominal	437,39/1255,1 [A]
BIL	325/125 [kV]
Frecuencia	50 [HZ]
Conexión	Yo/d
Grupo conexión	YNd1
Refrigeración	ONAN
Calentamiento Max. Del aceite	60° [C]
Calentamiento medio del cobre	65° [C]
Pérdidas en vacío	23 [kW]
Pérdidas en carga	208 [kW]

**Transformador de poder S/E Totoral N°2**

Ítem	Detalle
Fabricante	ABB
Tipo	Trifásico
Potencia nominal	50 [MVA]
Tensión	220+7-9*3,371/66 [kV]
Intensidad nominal	131,22/437,39 [A]
BIL	1050/325 [kV]
Frecuencia	50 [HZ]
Conexión	D/yo
Grupo conexión	Dyn1
Refrigeración	ONAN
Calentamiento Max. Del aceite	65° [C]
Calentamiento medio del cobre	65° [C]
Pérdidas en vacío	34 [kW]
Pérdidas en carga	250 [kW]

#### 4.12. Diagrama unifilar General parque eólico Totoral y S/E N°1 y N°2.

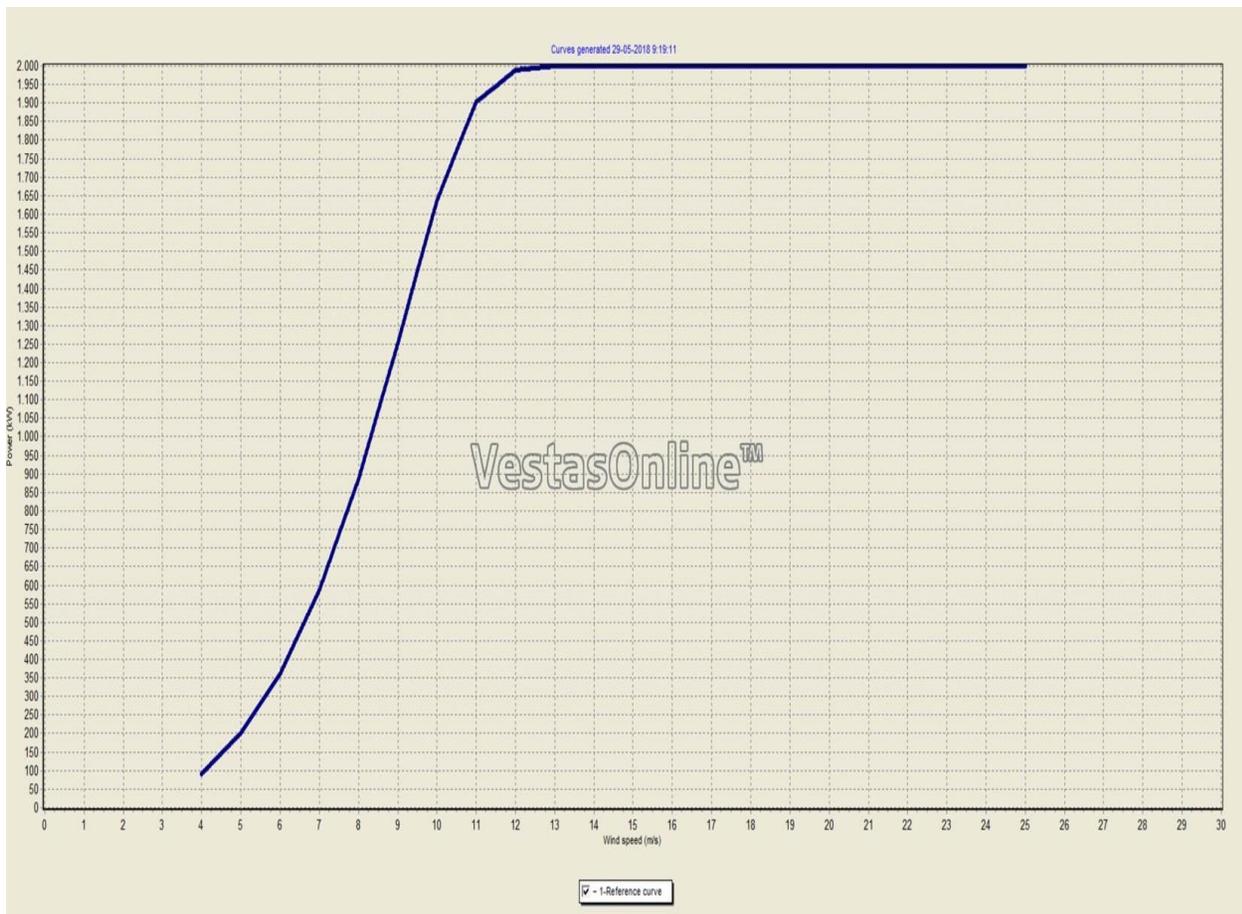
Se muestra diagrama unilineal donde se observan todos los elementos anteriormente descritos.



## 5. DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO EN FUNCIÓN A LA CURVA DE POTENCIA.

Los equipos que tienen incidencia directa sobre la determinación del Mínimo Técnico de este tipo de máquinas, en cuanto a su limitación y variación, son el conjunto aerogenerador y el convertidor del generador, es por ello que nos enfocaremos en la curva de referencia de Potencia vs Viento del aerogenerador VESTAS modelo V90-2.0 MW que proporciona el fabricante y que se levantó en función de los parámetros de operación de dichos equipos. Adicionalmente y en congruencia a lo indicado en la norma “ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras”, específicamente lo expuesto el artículo 6 de su Título II “PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÍNIMO TÉCNICO” nos apoyaremos en las curvas de Potencia vs Viento que se levantaron en cada uno de los aerogeneradores en base a registros en tiempo real durante la operación de estos.

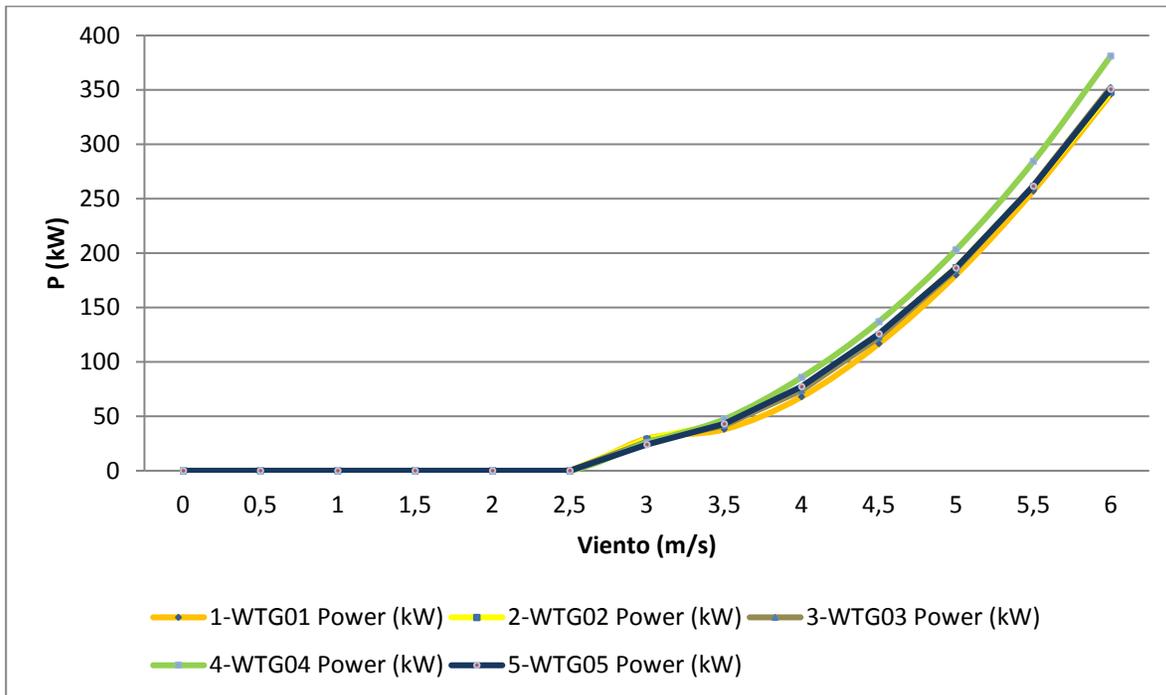
### 5.1. Curva de referencia Potencia vs Viento proporcionada Vestas.



## 5.2. Datos de referencia de Potencia vs Viento proporcionados por Vestas.

Viento (m/s)	P (kW)
0	0
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0
2,5	0
3	0
3,5	0
4	84
4,5	140,5
5	197
5,5	276,5
6	356
6,5	467
7	578
7,5	723
8	868
8,5	1032,5
9	1197
9,5	1365,5
10	1534
10,5	1679,5
11	1825
11,5	1894
12	1963
12,5	1979,5
13	1996
13,5	1998
14	2000
14,5	2000
15-25	2000

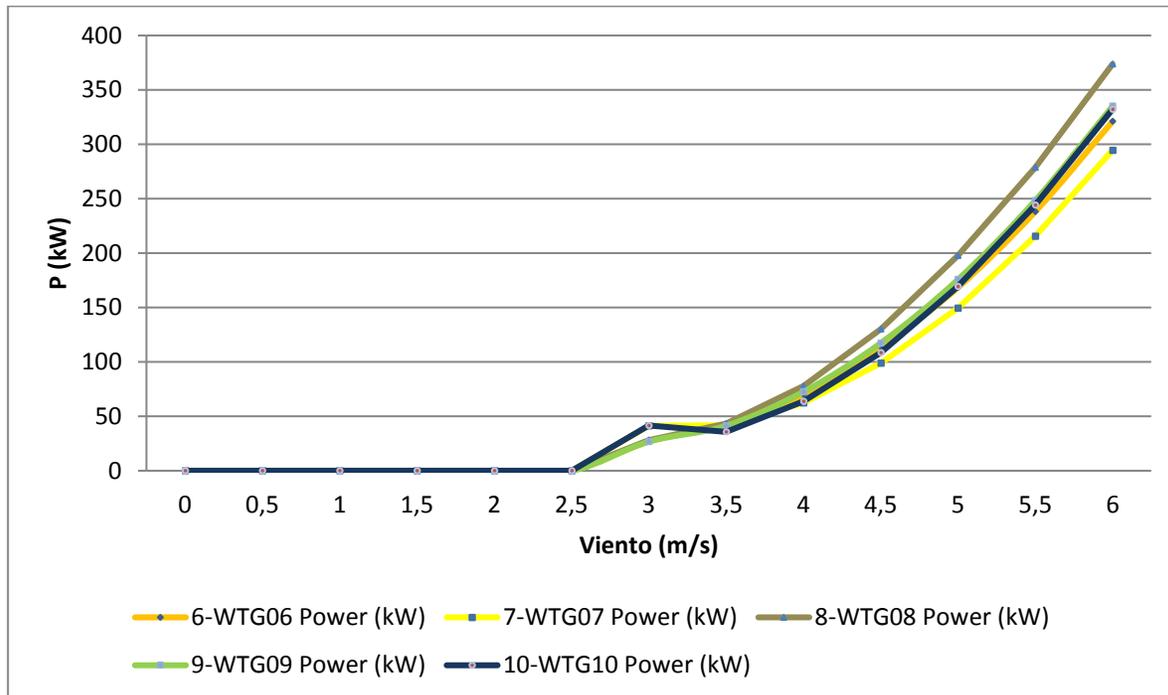
### 5.3. Curva de Potencia vs Viento aerogeneradores WTG 1 al 5.



### 5.4. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 1 al 5.

Viento (m/s)	WTG 1	WTG 2	WTG 3	WTG 4	WTG 5
0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0
3	26,9	41,3	28	26,7	41,5
3,5	41,8	41,8	43,2	41,4	35,8
4	69,8	62,3	77,7	72,5	63,8
4,5	113,9	98,8	130,3	117,3	108,6
5	168,4	149,4	197,6	175,7	169,4
5,5	238,1	215,4	278,6	248,3	244,1
6	321	294,5	373,7	335	332,2

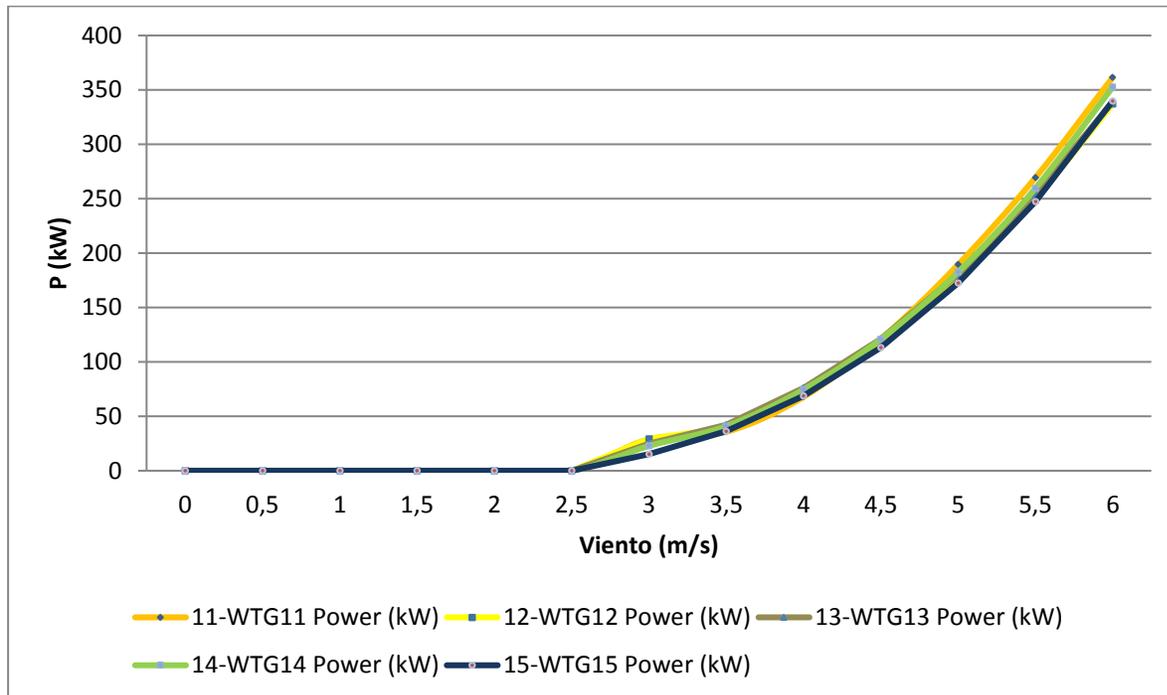
### 5.5. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 6 al 10.



### 5.6. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 6 al 10.

Viento (m/s)	WTG 6	WTG 7	WTG 8	WTG 9	WTG 10
0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0
3	26,9	41,3	28	26,7	41,5
3,5	41,8	41,8	43,2	41,4	35,8
4	69,8	62,3	77,7	72,5	63,8
4,5	113,9	98,8	130,3	117,3	108,6
5	168,4	149,4	197,6	175,7	169,4
5,5	238,1	215,4	278,6	248,3	244,1
6	321	294,5	373,7	335	332,2

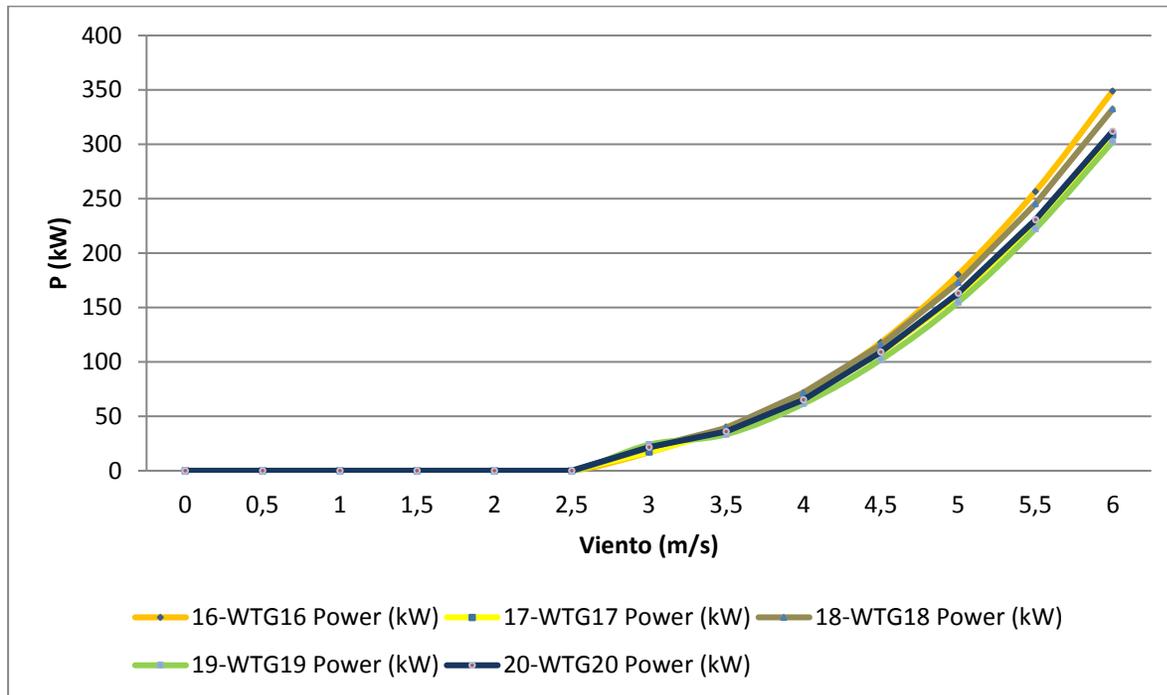
### 5.7. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 11 al 15.



### 5.8. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 11 al 15.

Viento (m/s)	WTG 11	WTG 12	WTG 13	WTG 14	WTG 15
0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0
3	28,9	29,2	24,8	22,8	15,4
3,5	35,8	39,3	42,2	41	36,4
4	67,8	71,4	76	74,6	68,7
4,5	121	115,9	121,1	120,9	113,3
5	189,4	175	180,5	182,5	172,7
5,5	269,3	249	253,8	259,5	247,5
6	361,4	337,1	339	352,6	339,8

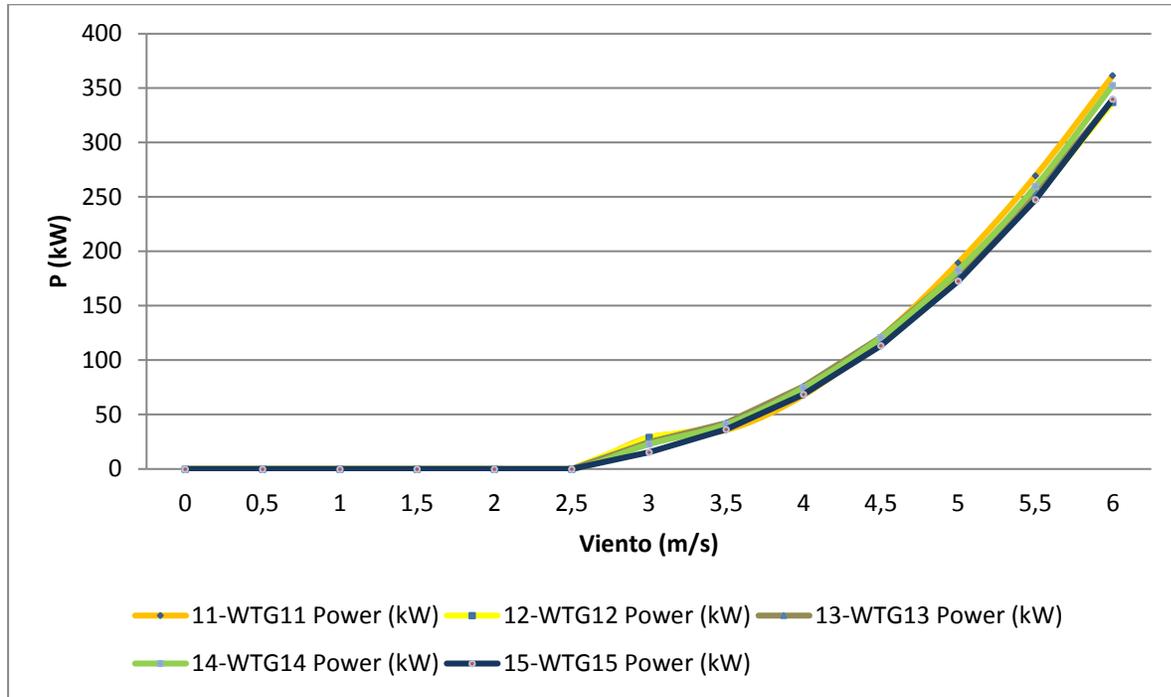
### 5.9. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 16 al 20.



### 5.10. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 16 al 20.

Viento (m/s)	WTG 16	WTG 17	WTG 18	WTG 19	WTG 20
0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0
3	16,9	17,3	21,2	23,9	21,6
3,5	40	37,1	39,1	33,5	36,1
4	71,7	66,5	71,7	61,7	65,3
4,5	117,8	108,1	115,6	102,1	109,1
5	180,2	160,9	172,8	154,8	163,2
5,5	256,6	228,2	245,3	222,3	230,8
6	349	308,1	332,5	302,4	312,1

### 5.11. Curva de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 21 al 23.



### 5.12. Datos de Potencia vs Viento en tiempo real aerogeneradores WTG 21 al 23.

Viento (m/s)	WTG 21	WTG 22	WTG 23
0	0	0	0
0,5	0	0	0
1	0	0	0
1,5	0	0	0
2	0	0	0
2,5	0	0	0
3	20,4	29,4	35,2
3,5	35,9	43,2	46,5
4	64,7	75,1	81,3
4,5	106,1	120,7	131,2
5	159,8	180	195,4
5,5	227,4	251,8	272,3
6	307	337,4	366,4

### **5.13. Análisis de curva Potencia vs Viento proporcionadas con respecto a las curvas Potencia vs Viento en tiempo real de todos los aerogeneradores.**

De acuerdo a la curva de Potencia v/s Viento referencial de parte del fabricante Vestas los aerogeneradores comienzan a generar potencia a partir de 84 [kW], esto cuando la velocidad del viento alcance un valor de 4 [m/s], sin embargo y de acuerdo a las curvas de Potencia v/s Viento levantadas con datos en tiempo real, los aerogeneradores presentan un comportamiento que varía con un valor de potencia entre 15,4 [kW] y 41,5 [kW], esto dependiendo de la ubicación del rotor de la turbina con respecto a la dirección del viento. Debido a esto y a la variación de medidas en base al recurso primario, con el fin de garantizar una operación permanente con viento de 4 [m/s], segura y estable inyectando energía al SEN, se establece el valor de Mínimo Técnico como el promedio de las mediciones expuestas anteriormente, este valor está determinado en función de dicha curva.

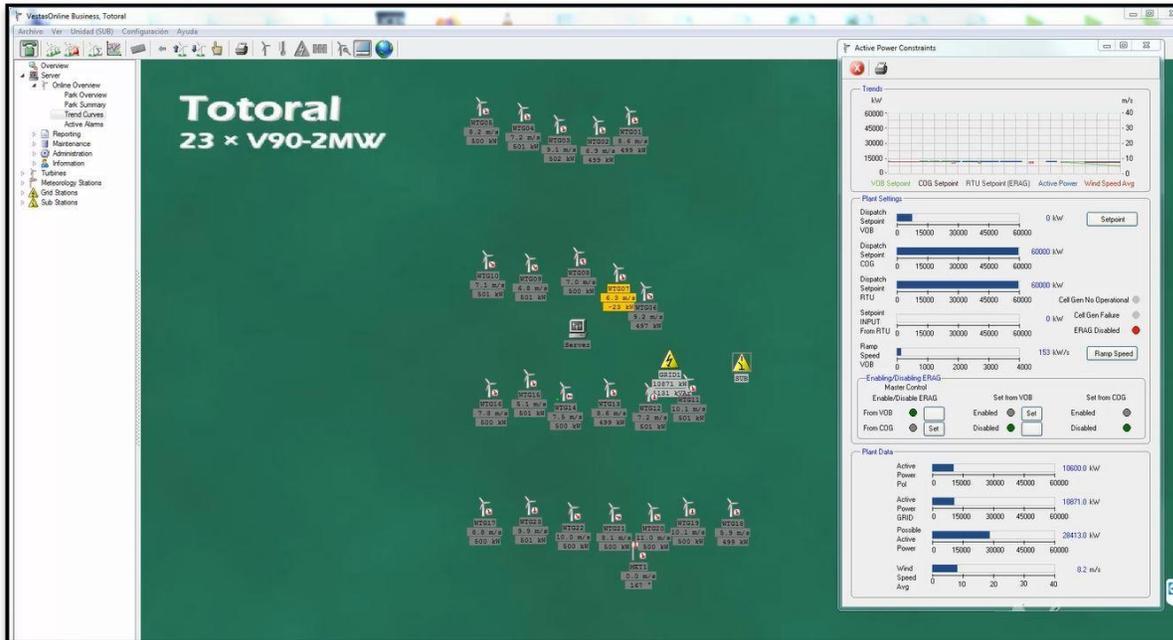
### **5.14. Determinación de Mínimo Técnico del parque eólico Total con alto recurso disponible.**

Como primera prueba, se determinó el valor de mínimo técnico que los aerogeneradores pueden producir sin entrar en estado de pausa con alto nivel de recurso eólico disponible, durante las pruebas dicho valor se ubicó en un rango de 500 [kW] y 520 [kW] entre todas las turbinas involucradas, por lo que se establece el valor promedio de 510 [kW] como mínimo técnico que la turbina puede generar sin pausarse dando un total de parque de 11,73 [MW] para el 100% del parque eólico, esta condición se da por razones de seguridad con el fin de evitar posibles daños que pueden ocurrir en componentes mecánicos de los aerogeneradores y también asociado a mantener la estabilidad de conexión a la red. La explicación técnica es que estos mínimos están relacionados a la vida útil de los componentes: multiplicadora y rodamientos principales del aerogenerador. Para valores menores, aumenta el comportamiento dinámico de potencia/torque lo que se traduce en mayor probabilidad de riesgo de inversiones de torque debido a las variaciones del viento. Operar bajo la recomendación del fabricante, se traduce en efectos negativos de los componentes antes mencionados por cambio de dirección en las cargas de los rodamientos principales y por contragolpe (Backlash) en los engranajes de la caja multiplicadora. Por lo anteriormente expuesto, se determina que un aerogenerador puede entregar el 25% de su capacidad nominal de forma controlada con altos regímenes de viento, pasada una velocidad de 16 m/s hasta los 24 m/s este valor aumenta proporcionalmente al 40% de su capacidad nominal teniendo que entregar hasta 800 [kW]. Esta información se respalda en el apartado **9.8 Performance – Active and Reactive Power Control** del manual de Especificaciones Generales del Aerogenerador V90-2.0 entregado como anexo técnico.

El día 03 de Septiembre de 2020 se realizan las pruebas adicionales solicitadas para la determinación de mínimo técnico.

En la prueba se ingresaron consignas hasta reducir la potencia activa a 11,73 [MW], para validar que los aerogeneradores seguían generando sin detenerse ninguno. Al llegar a la consigna las unidades se mantuvieron efectivamente generando una potencia promedio de 520 [kW] cada una. Posterior se ingresó una consigna de 0 [MW] y al poco tiempo la lógica de control del parque detuvo inicialmente el

aerogenerador 07, al pasar por 500 [kW] como potencia activa mínima que puede generar. Esto reafirma que una unidad puede entregar como mínimo el 25% de su Potencia nominal de forma estable y segura.



**Figura 5.14.1. Unidad WTG07 detenida. Al ingresar consigna menor al mínimo Técnico con alto recurso.**

Parámetros	Valores
Mínimo Técnico con todas las unidades Generando y velocidad de viento entre 4 m/s y 16 m/seg	11,73 [MW]
Mínimo Técnico con todas las unidades Generando y velocidad de viento mayor 16 m/seg	18,40 [MW]

### 5.15. Determinación de Mínimo Técnico del parque eólico Totoral ingresando la menor consigna posible en el sistema de control.

La última prueba realizada fue asignar la consigna más baja al punto de solo mantener un aerogenerador en servicio y el resto pausados, para ello se estableció una consigna de potencia activa de 1 [kW] en Scada del parque, con lo que la lógica de control hizo un balance de todos los consumos vs generación y entrego una potencia promedio en el punto de alta tensión de 40 [kW]. Al aplicar esta consigna quedó una turbina (WTG16) generando un total de 580 [kW], las veintidós restantes quedaron en modo pausa con un consumo promedio de 18 [kW] por unidad. De los resultados obtenidos se determina las siguientes

perdidas, 20 [kW] en el circuito colector, 435 [kW] en consumos auxiliares considerando 400 [kW] de servicios auxiliares de los aerogeneradores pausados y 35 [kW] SS.AA de la central.

Parámetros	Valores
Consigna Ingresada en Scada VOB	1 [kW]
Potencia Activa inyectada en Barra Alta Tensión (Promedio)	40 [kW]
Perdida línea 66 [kV] Totoral 1 - Totoral 2	10 [kW]
Potencia Activa inyectada en Barra Media Tensión	125 [kW]
Perdida Transformador de Potencia S/E Totoral N°1 y Totoral N°2 sin carga	75 [kW]
Perdida Colectores	20 [kW]
Servicio Auxiliares de la central + Aerogeneradores	35 [kW]
Servicio Auxiliares Aerogeneradores	400 [kW]
Potencia Activa Generada	580 [KW]

El PRM ejerce control a través del Vestas Grid Panel y puede controlar a 1 [kW] la consigna de potencia activa para suplir los consumos propios y dejar en el punto inyección una potencia muy cercana a cero, si se coloca como consigna de potencia activa 0 [kW], el control automáticamente pausa todas las unidades y la central pasa a consumir 620 [KW] promedio de potencia activa de la red, al igual que si se da comando de pausa sobre todas las unidades. Es por ello, que la mínima consigna posible de ingresar en el sistema para que el parque pueda cubrir sus consumos propios y tener un valor muy cercano a cero en su punto de inyección va entre 1 [kW] y 100 [kW], si se considera un margen de seguridad para que el parque se mantenga en forma estable supliendo los consumos propios.

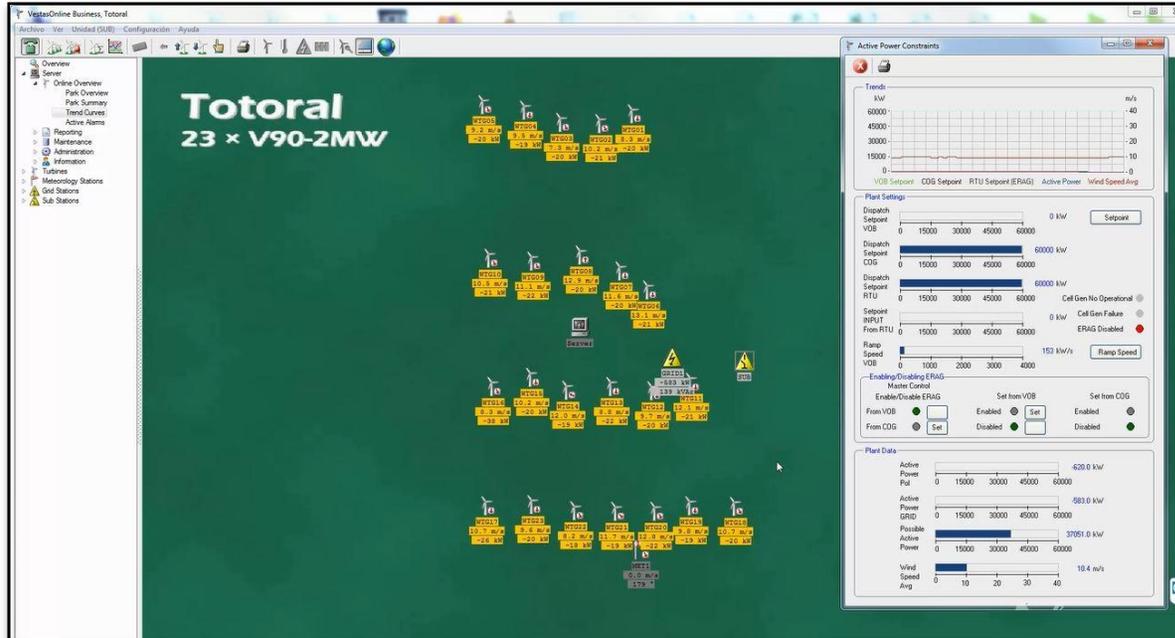
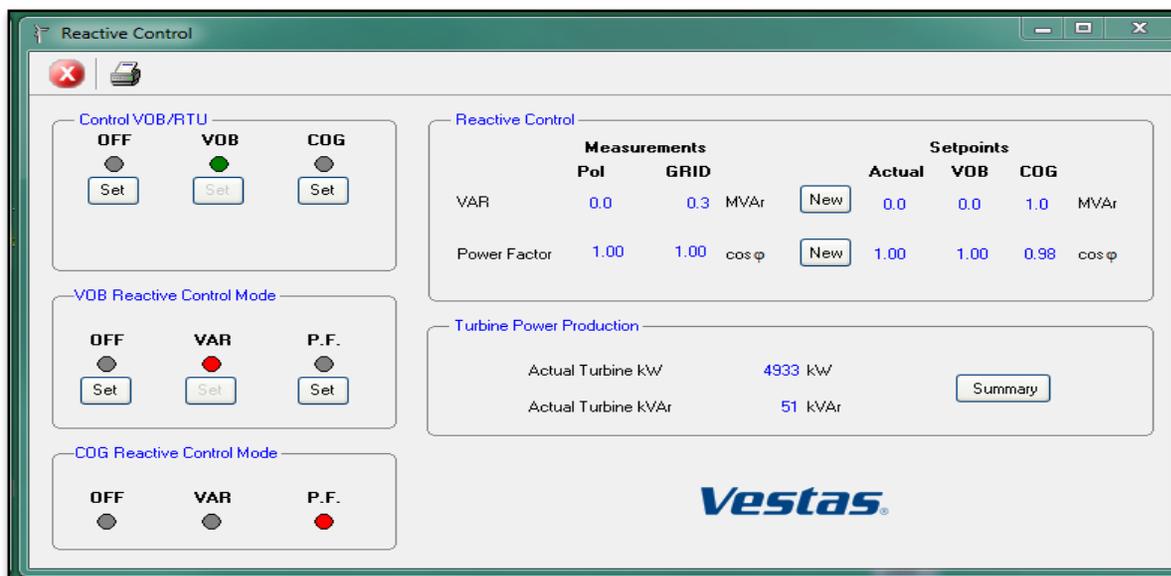


Figura 5.14.1. Parque Consigna 0 MW. Control VOB. Scada Vestas.

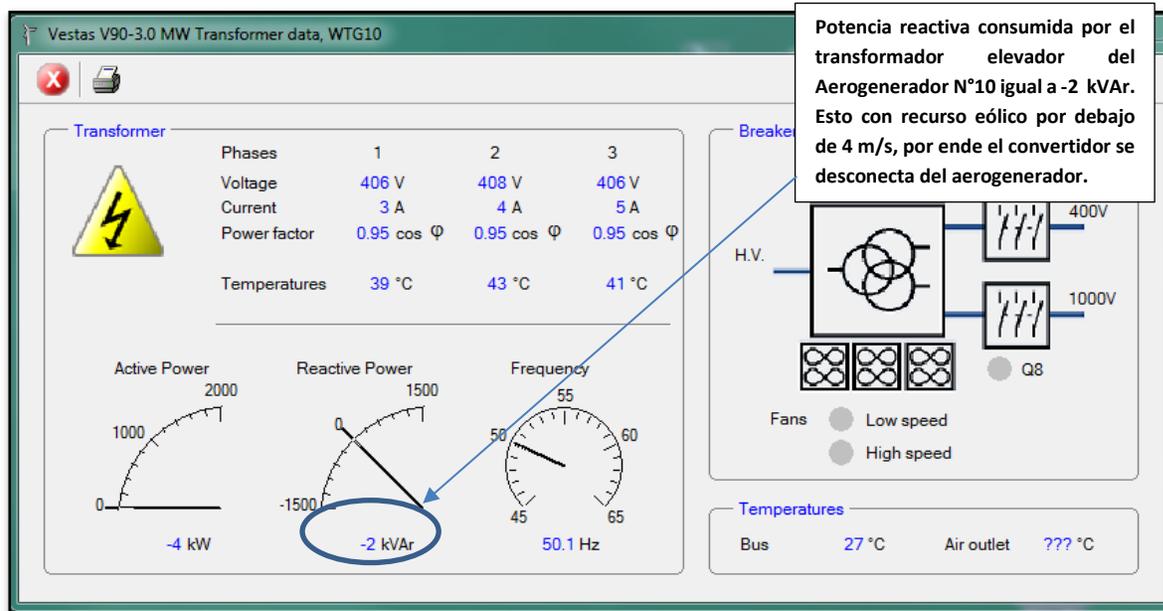
## 6. CONTROL DE POTENCIA REACTIVA.

Las consignas de potencia reactiva se asignan desde COG a través del módulo “Reactive Power Control” de Scada Vestas en coordinación con el despacho del CEN e informando en todo momento a personal de parque. Se operará en base a las consignas que autorice el CEN o bien hasta donde el controlador responda efectivamente a las consignas dadas sin que esto suponga variaciones bruscas o saltos donde el parque no sea capaz de mantener el Setpoint de potencia reactiva.



## 6.1. Análisis de control de potencia reactiva.

El parque eólico Totoral en la configuración actual del sistema de control de los aerogeneradores, cuando estos no están aportando potencia activa, es decir, hay bajo recurso eólico (velocidades por debajo de 4 m/s), presenta una lógica donde el convertidor se desconecta y deja de ejercer control sobre la absorción o inyección de la potencia reactiva, para ello hay una histéresis la cual evita que los interruptores del convertidor se abran y cierren frecuentemente, con la finalidad de evitar el desgaste de los mismos (la histéresis es de 120 minutos, información consultada al Fabricante Vestas), en este caso la única potencia reactiva consumida por el circuito aerogenerador es la asociada al transformador elevador que está a la salida del convertidor del generador, la cual tiene una magnitud pequeña del orden de los -2 [KVAR], tal como muestra la figura siguiente del aerogenerador 10:



Por otro lado, bajo estas condiciones de bajo recurso eólico se inyecta una potencia reactiva de 0,3 [MVar] por el efecto capacitivo de la línea de Totoral – Las Palmas (7 Km) el cual predomina sobre el efecto inductivo de los transformadores de 23/66 kV de la S/E N° 1 de Totoral. Cabe resaltar que el consumo de los servicios auxiliares es de 0,8 [MW] aproximadamente. En las siguientes figuras del Reactive Power Control y Active Power Control, se muestra como aún ajustado la potencia reactiva en el Setpoint de control de potencia reactiva Vestas a 0 [MVar] este no ejerce control, además se aprecia que se inyecta potencia reactiva de 0,3 [MVar] por el efecto capacitivo de la línea, todo esto para una velocidad del viento de 4 m/s y el parque consumiendo de la red externa 0,8 [MW] para alimentar los consumos propios del parque:

Reactive Control								
	Measurements				Setpoints			
	Pol	GRID			Actual	VOB	COG	
VAR	0.0	0.3	MVar	<input type="button" value="New"/>	0.0	0.0	1.0	MVar
Power Factor	-1.00	1.00	cos $\varphi$	<input type="button" value="New"/>	1.00	1.00	0.98	cos $\varphi$

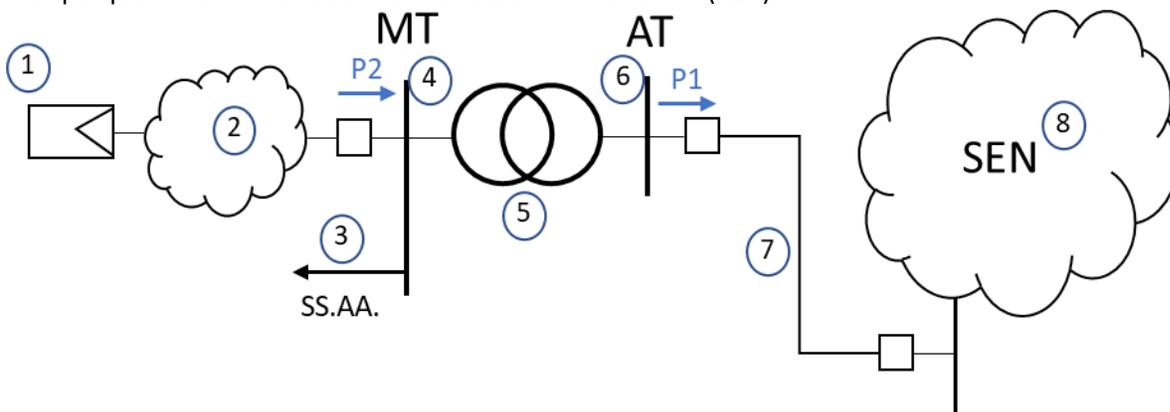
## 6.2. Resultado de pruebas del control de potencia reactiva.

El parque eólico Totoral es capaz de absorber y entregar potencia reactiva con velocidades promedio del viento superiores a 4 m/s, es decir con los generadores estando en su punto de partida o cerca del mismo, ya que la lógica de control hace que los convertidores permanezcan conectados y de este modo regulen el control de potencia reactiva a la salida del generador eléctrico.

El día 27-11-2018 se realizó la prueba de control de potencia reactiva con el documento SI – 2018077705 con el CEN para la determinación de los valores de inyección y absorción de potencia reactiva en escenario de mínimo técnico y con ausencia de recurso primario. En tal sentido y de acuerdo con pruebas funcionales realizadas se determinó que el mismo es capaz de absorber potencia reactiva con potencia activa en torno a los 0 [MW], manteniendo consignas de absorción de 0 [MVar], esto siempre y cuando la velocidad del viento sea superior a 3,5 m/s de lo contrario no será posible por la lógica de control del convertidor. En contraste, con generación de potencia activa entre 1 y 2 [MW], se estableció el valor máximo de absorción de potencia es de -3 [MVar]. Con consignas de potencia activa entre 1 y 2 [MW], el parque logra alcanzar una inyección de 3 [MVar] y para el caso de ausencia del recurso primario la capacidad de inyección del parque corresponde a 1 [MVar].

## 6.3. Parámetros requeridos de potencia activa y pérdidas en Parques ERNC

A continuación, se describe un sistema equivalente que representa un parque ERNC<sup>1</sup> solar fotovoltaico o un parque eólico conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN):



Los componentes del parque ERNC son los siguientes:

1. Generador 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 ERNC, principalmente en cables de baja y media tensión, y en los transformadores colectores que elevan de baja a media tensión.
3. Servicios Auxiliares (SS.AA.) de la central.
4. Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder de la central.
5. Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque ERNC.
6. Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder de la central.
7. Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque ERNC con el sistema eléctrico.
8. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
9. P1: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de alta tensión de su subestación de salida.
10. P2: Potencia inyectada por el parque ERNC en la barra de media tensión de su subestación de salida.

Considerando la descripción anterior:

- a) **P1**: Potencia activa inyectada en la barra de alta tensión (AT) de la central [MW].
- b) **P2**: Potencia activa inyectada en la barra de media tensión (MT) de la central [MW].
- c) **Ptrafo**: Pérdidas activas en el transformador de poder de la central [kW].
- d) **SS.AA.**: Servicios Auxiliares de la central [kW]. En el caso de parques eólicos se deberá indicar a su vez el consumo propio de los aerogeneradores (individual y total) de la central
- e) **Pcolector**: Pérdidas en el sistema colector del parque ERNC [kW].

Lo solicitado anteriormente se detalla a continuación:

Ítem	Detalle	Potencia
1	Potencia aerogeneradores	580 [kW]
2	Perdidas colector (valor más representativo)	20 [kW]
3	Servicios auxiliares	435 [kW]
4	P2: barra media tensión	125 [kW]
5	Perdida Transformadores de poder 1	35 [kW]
6	Perdida línea 66 [kV]	10 [kW]

7	Perdida Transformador de poder 2	40 [kW]
8	P1: barra de alta tensión	40 [kW]

$$MinTec = P1 + Ptrafo + SS. AA. + Pcolector, \acute{o}$$

$$MinTec = 40 [kW] + 85 [kW] + 435 [kW] + 20 [kW] = 580 [kW]$$

**Tabla parámetros de Mínimo Técnico del P.E Ttotal.**

Central	Min. Técnico [MW]	SS.AA [MW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia mínima neta [MW]
P.E. Ttotal	0,58	0,435	105	0,04

## 7. CONCLUSIÓN.

Según lo definido como Mínimo Técnico dentro del documento “ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras” y de acuerdo a lo mostrado en el desarrollo de este informe donde se realiza la revisión de los datos del fabricante y su comparación con los datos reales de operación de cada aerogenerador, se establece el valor Mínimo Técnico bajo distintas condiciones de operación, según lo requerido el anexo técnico y el CEN. Se resume lo siguiente

Parámetros	Valores
Mínimo Técnico con alto recurso disponible sin Aerogeneradores pausados y Velocidad viento mayor a 16 m/seg.	18,40 [MW]
Mínimo Técnico con alto recurso disponible y sin Aerogeneradores pausados con viento entre 6 y 16 m/seg.	11,73 [MW]

Parámetros	Valores
Mínimo Técnico con todos los Aerogeneradores pausados menos uno	<b>580 [kW]</b>
Mínimo Técnico con la menor consigna posible en el sistema de control (1 [kW])	580 [kW]
Mínimo Técnico con la potencia neta sea mayor o igual a 0 [MW])	580 [kW]
Mínimo Técnico con la menor consigna posible en el sistema de control (1 [kW])	580 [kW]
Perdida en Transformadores de Potencia S/E Totoral 1 y 2 bajo condición de mínima carga.	85 [kW]
Potencia en punto de alta tensión	40 [kW]
Potencia en punto de media tensión	125 [kW]
Perdidas en colectores	20 [kW]
Perdida en SS.AA (Central + Aerogeneradores)	435 [kW]

Se establece como mínimo técnico para el parque eólico Totoral un valor de **580 [kW]**, que se obtiene al ingresar la mínima consigna de potencia activa permitida por el Scada de 1 [kW], con este valor el parque eólico es capaz de auto suplir sus consumos y dejar en el punto de inyección un valor de 40 [kW], muy cercano a cero.

Adicionalmente, se puede concluir que la potencia reactiva máxima que se puede absorber operando a mínimo técnico es de -3 [MVAR]. Mientras que la potencia reactiva máxima que se puede absorber en torno a una potencia activa a cero es de 0 [MVAR], siempre que la velocidad promedio del viento sea superior a los 3,5 m/s ya que de lo contrario los convertidores se desconectarán de los generadores. Finalmente, la máxima potencia reactiva que se puede entregar operando en mínimo técnico, es de 3 [MVAR] y para el caso sin la presencia de recurso primario es de 1 [MVAR].

## 8. ANEXO.

### 9.8 Performance – Active and Reactive Power Control

The turbine is designed for control of active and reactive power via the VestasOnline™ SCADA system.

Maximum Ramp Rates for External Control	
Active Power	0.1 pu/s
Reactive Power	2.5 pu/s

Table 9-7: Maximum ramp rates for external control

To protect the turbine, active power cannot be controlled to values below the curve in Figure 9-5, p. 37.

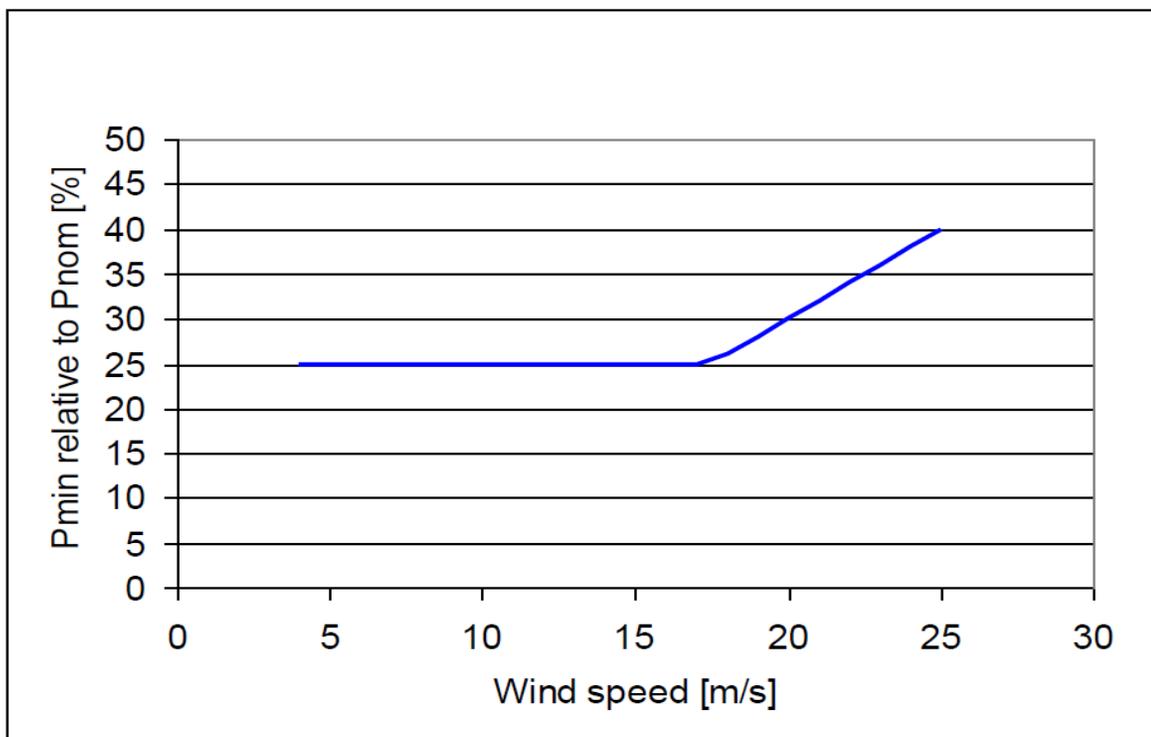


Figure 9-5: Minimum active power output dependent on wind speed