

INFORME MÍNIMO TÉCNICO PARQUE EÓLICO LEBU-TORO.

*Informe de prueba
de potencia mínima
de Parque Eólico
Lebu-Toro].*

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 1 de 42	

1. Contenido

1.	Contenido	1
2.	RESUMEN EJECUTIVO.	4
3.	INTRODUCCIÓN.....	5
4.	DISEÑO DE LOS EQUIPOS	6
4.1.	BONUS 600 [KW].....	6
4.2.	HEWIND HW50 780[KW].....	7
4.1.	HEWIND HW77 1500[KW].....	8
4.1.	VESTAS V66 1750[KW].....	9
5.	DISTRIBUCION DE LA CENTRAL.	10
5.1.	Alcances	11
5.2.	Estimación de los consumos por Servicios Auxiliares.	11
5.3.	Estimación de las pérdidas del Parque.....	12
6.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	13
6.1.	BONUS 600 [KW].....	13
I.	Diseño.	13
II.	Especificaciones de la unidad generadora.....	13
III.	Diagrama simplificado de la turbina.	13
6.2.	HEWIND HW50 780[KW].....	14
I.	Diseño.	14
II.	Especificaciones de la unidad generadora.....	14
III.	Diagrama simplificado de la turbina.	14
6.3.	HEWIND HW77 1500[KW].....	15
I.	Diseño.	15
II.	Especificaciones de la unidad generadora.....	15
III.	Diagrama simplificado de la turbina.	15
6.4.	VESTAS V66 1750[KW].....	16
I.	Diseño.	16
II.	Especificaciones de la unidad generadora.....	16
III.	Diagrama simplificado de la turbina.	17
7.	ANTECEDENTES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL MÍNIMO TÉCNICO DE LA TURBINA.....	17
8.	CONSIGNAS DE POTENCIA ACTIVA	18
9.	LIMITACIONES TÉCNICAS OPERACIONALES RECOMENDADAS POR EL FABRICANTE.....	20

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV.	FECHA
		<input checked="" type="checkbox"/>	29-07-2019
Página 2 de 42			

9.1.	Valores garantizados por el fabricante BONUS 600.....	20
9.2.	Valores garantizados por el fabricante HW 50	20
9.3.	Valores garantizados por el fabricante HW 77	20
9.4.	Valores garantizados por el fabricante VESTAS V66.....	21
10.	PRUEBA DE MÍNIMO TÉCNICO.....	22
10.1.	BONUS 600 [KW].....	22
I.	Metodología de la prueba.....	22
II.	Condiciones previas a la prueba.	22
III.	Verificación de comportamiento estable con 125[kW] en función del viento en m/s.....	23
IV.	Análisis de los resultados.....	23
10.2.	HEWIND HW50 780[KW].....	24
I.	Metodología de la prueba.....	24
II.	Condiciones previas a la prueba.	24
III.	Verificación de comportamiento estable con 350[kW] en función del viento en m/s.....	25
IV.	Análisis de los resultados.....	25
10.3.	HEWIND HW77 1500[KW].....	25
I.	Metodología de la prueba.....	25
II.	Condiciones previas a la prueba.	26
III.	Verificación de comportamiento estable con 800[kW] en función del viento en m/s.....	27
IV.	Análisis de los resultados.....	27
10.4.	VESTAS V66 1750[KW].....	28
I.	Metodología de la prueba.....	28
II.	Condiciones previas a la prueba.	28
III.	Verificación de comportamiento	29
IV.	Análisis de los resultados.....	30
10.1.	MÍNIMO TÉCNICO CENTRAL PARQUE EÓLICO LEBU	31
11.	Conclusión.....	33
11.1.	Mínimos turbina BONUS 600 kW.....	33
11.2.	Mínimos turbina HW 780 kW	33
11.3.	Mínimos turbina HW 77 1500 kW	33
11.4.	Mínimos garantizados turbina VESTAS V66 1750 kW	33
11.5.	Resumen Mínimos Técnicos de las turbinas de Parque Eólico Lebu.....	34
11.6.	Mínimos Técnicos de la central Parque Eólico Lebu	34

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL:	
		Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV.	FECHA
<input checked="" type="checkbox"/>	29-07-2019	Página 3 de 42	

12. Datos anexados.....	35
12.1. BONUS 600KW.....	35
12.2. HEWIND HW50 780KW.....	37
12.3. HEWIND HW77 1500KW.....	39
12.4. VESTASV66 1750KW.....	41

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 4 de 42	

2. RESUMEN EJECUTIVO.

Basándonos en las pruebas y análisis se obtiene que el mínimo técnico de la central Parque Eólico Lebu-Toro, al disponer de velocidades de vientos iguales o superiores a los 10 m/s, es de 1 MW. Este valor se obtiene considerando la operación de sólo una turbina VESTAS V66, configurando su setpoint a mínima potencia. A continuación se muestra el valor de Mínimo Técnico de la central y la Potencia Mínima Neta inyectada al Sistema Interconectado, en la barra de 66 kV de la S/E Lebu.

Parque Eólico	Mín Téc [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Mínima Neta [MW]
Lebu	1.00 ⁽¹⁾	0.051	0.022 ⁽²⁾	0.927 ⁽³⁾

(1) Mínimo valor de potencia activa de un aerogenerador (asociado a la turbina VESTAS V66) con disponibilidad de viento cercana a la nominal del aerogenerador según especificaciones del fabricante. El resto de los aerogeneradores detenidos (son 9 aerogeneradores en total).

Cabe destacar que las unidades VESTAS 66 son las únicas unidades que tienen controlador de potencia y pueden ajustar el setpoint solo a nivel local desde el gabinete de control del aerogenerador; el resto de los aerogeneradores entregan la máxima potencia posible de acuerdo a la disponibilidad instantánea del recurso eólico.

(2) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector (8 kW) y en el transformador de poder de la central (14 kW).

(3) Corresponde a la potencia inyectada en el lado de alta tensión del transformador de poder de la central, que corresponde a la barra 66 KV de S/E Lebu.

Por otro lado, la mínima potencia garantizada que pueden generar de manera estable las turbinas BONUS 600, HEWIND 50 y HEWIND77 es variable, ya que no es posible ingresar parámetros de [set, point] o punto fijo de generación, aquí demostraremos que nuestro mínimo técnico en [KW] para estas turbinas se relaciona con la velocidad de viento, que suele ser variable.

El rol fundamental, de la central Parque Eólico Lebu-Toro, será el de un despachador de energía y operará conforme a las normas generales de operación del CEN (Coordinador Eléctrico Nacional), entidad que tiene a cargo la coordinación de la operación de las instalaciones eléctricas de los concesionarios que operen interconectados entre sí, con el fin de preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico y garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema.

Para la inyección de potencia y energía al Sistema Interconectado, la Central se conectará a la subestación Lebu, en el tramo ubicado entre el camino Chimpe Bajo y Santa Rosa, la cual posee las características técnicas necesarias para la transmisión de la energía y potencia que se incorpora al Sistema Interconectado.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 5 de 42	

3. INTRODUCCIÓN.

El proyecto Parque Eólico Lebu-Toro es un parque en que inyectamos a la subestación Lebu 13,2/66kV. La finalidad de dicha subestación es poder conectar el Parque Eólico Lebu-Toro, con una capacidad instalada de 10.04 MW.

El Parque Eólico está compuesto por 9 aerogeneradores de distintas tecnologías y diferentes potencias: 2 turbinas marca BONUS de 600 [KW] de potencia nominal; 3 turbinas marca HEWIND HW50 de 780 [KW] de potencia nominal, 2 turbinas marca HEWIND HW77 de 1500 [KW] de potencia nominal y especificaremos 2 turbinas marca VESTAS V66 de 1750 [KW] de potencia nominal. Cada una con tensión nominal de 13.2 [kV]. Para ello se conectó el Parque Eólico mediante un transformador elevador 690/13,200 [V] a la subestación seccionadora Lebu 13,2/66 [kV].

Las obras se desarrollaron en la costa de la VIII Región del Biobío, Lebu capital de la provincia de Arauco.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 6 de 42	

4. DISEÑO DE LOS EQUIPOS

4.1. BONUS 600 [KW]

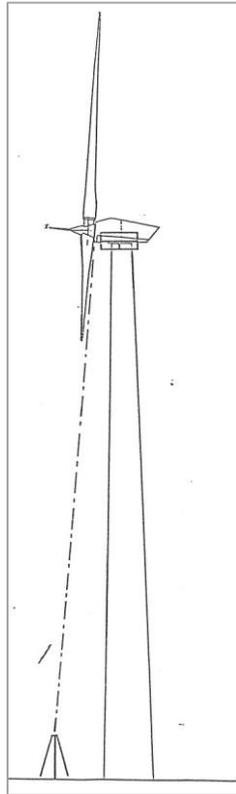


Figura N° 1: diseño de distribución de la turbina BONUS 600.

NUMERO.	DESCRIPCIÓN.
1	3 PALAS.
2	RODAMIENTO PRINCIPAL Y SECUNDARIO.
3	GEAR BOX.
4	GENERADOR 600KW ASINCRONO.
5	GABINETE DE CONTROL EN NACELLE.
6	MOTORES DE YAW.
7	TUBO.
8	MOTORES DE VENTILACION NACELLE.

Tabla 1: Detalle turbina BONUS 600.

4.2. HEWIND HW50 780[KW]

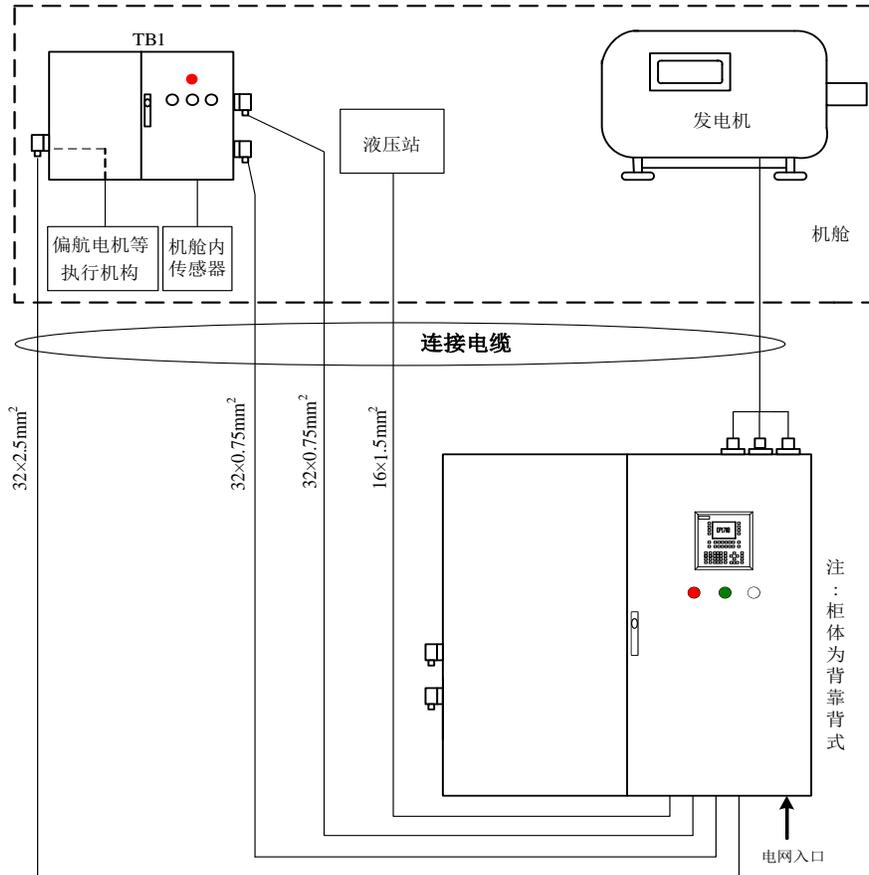


Figura N° 2: diseño de distribución de la turbina HW 50.

NUMERO.	DESCRIPCIÓN.
1	3 PALAS.
2	RODAMIENTO PRINCIPAL Y SECUNDARIO.
3	GEAR BOX.
4	GENERADOR 780KW ASINCRONO.
5	GABINETE DE CONTROL.
6	MOTORES DE YAW.
7	TUBO.
8	MOTORES DE VENTILACION NACELLE.

Tabla 2: Detalle turbina HW50.

4.1. HEWIND HW77 1500[KW]

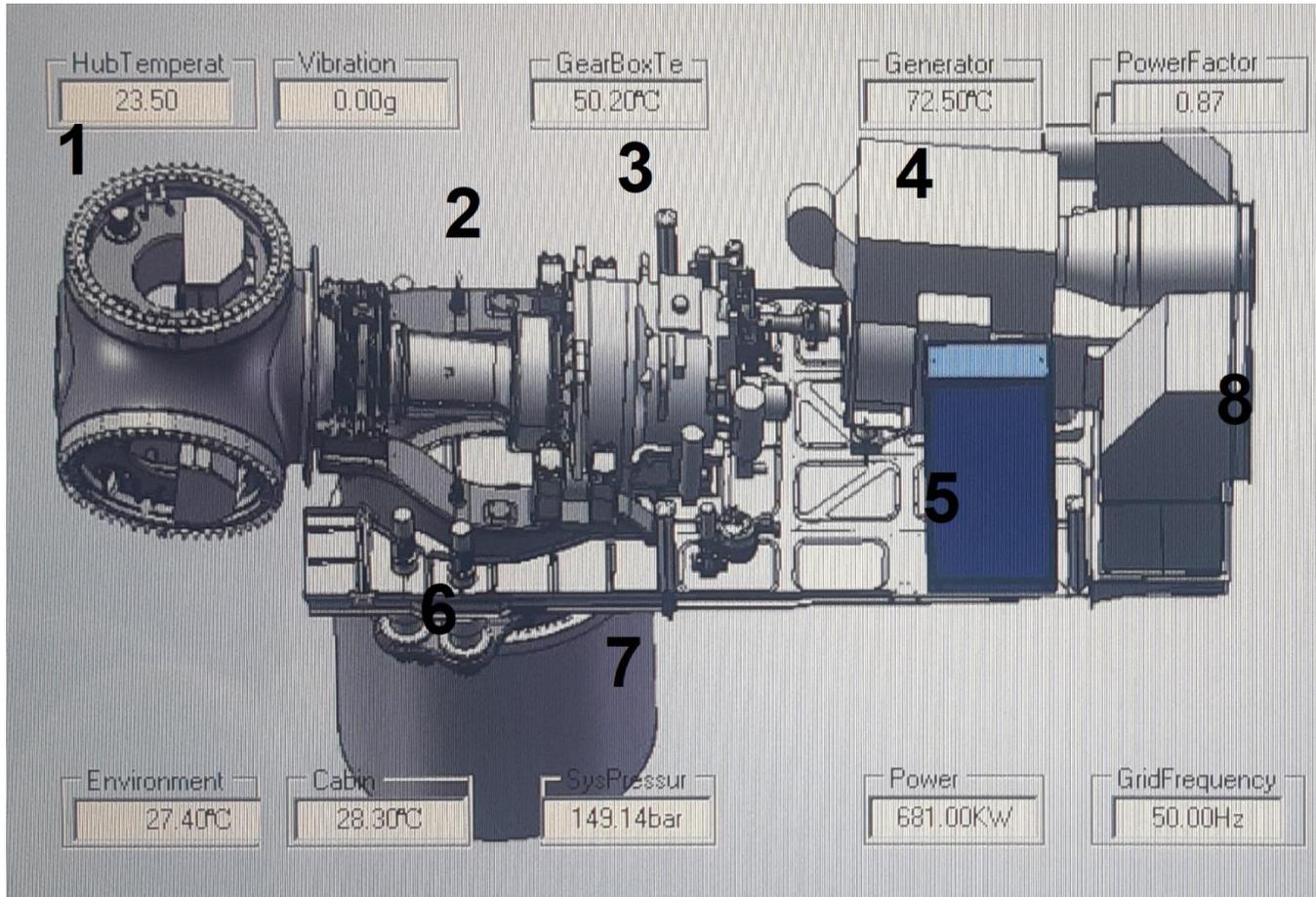


Figura N° 3: diseño de distribución de la turbina HW77.

NUMERO.	DESCRIPCIÓN.
1	PITCH BLADE.
2	RODAMIENTO PRINCIPAL Y SECUNDARIO.
3	GEAR BOX.
4	GENERADOR 1500KW.
5	GABINETE DE CONTROL.
6	MOTORES DE YAW.
7	TUBO.
8	MOTORES DE VENTILACION NACELLE.

Tabla 3: Detalle turbina HW77.

4.1. VESTAS V66 1750[KW]

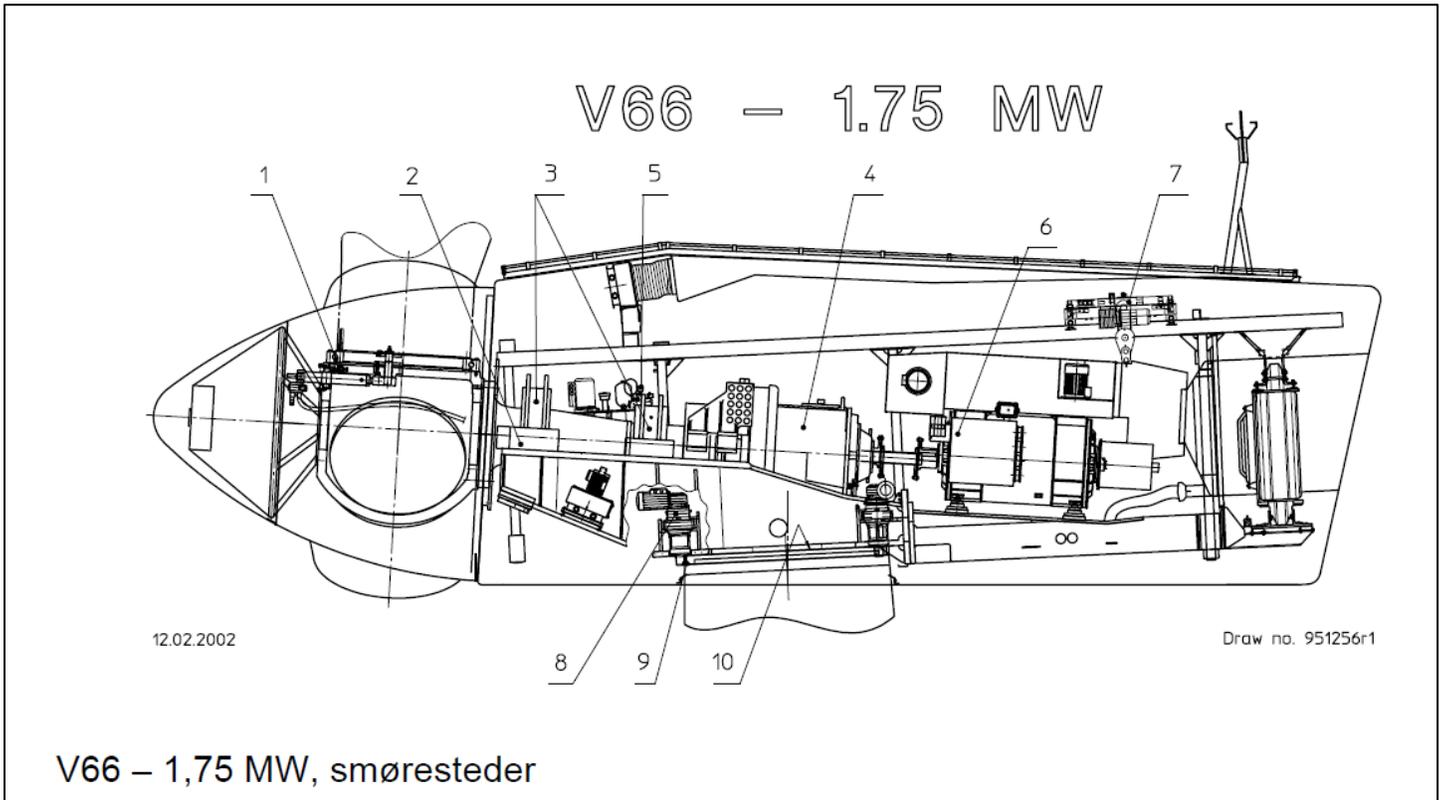


Figura N° 4: diseño del aerogenerador VESTAS V66.

NUMERO.	DESCRIPCIÓN.
1	PITCH BLADE.
2	PIN DE BLOQUEO BUJE.
3	RODAMIENTO PRINCIPAL Y SECUNDARIO.
4	GEAR BOX.
5	MOTORES DE VENTILACION NACELLE.
6	GENERADOR 1750KW.
7	TECLE.
8	MOTORES DE YAW.
9	ENGRANAJE DE YAW.
10	ACOPLE DE TUBO-NACELLE.

Tabla 4: Detalle turbina VESTAS V66.

5. DISTRIBUCION DE LA CENTRAL.

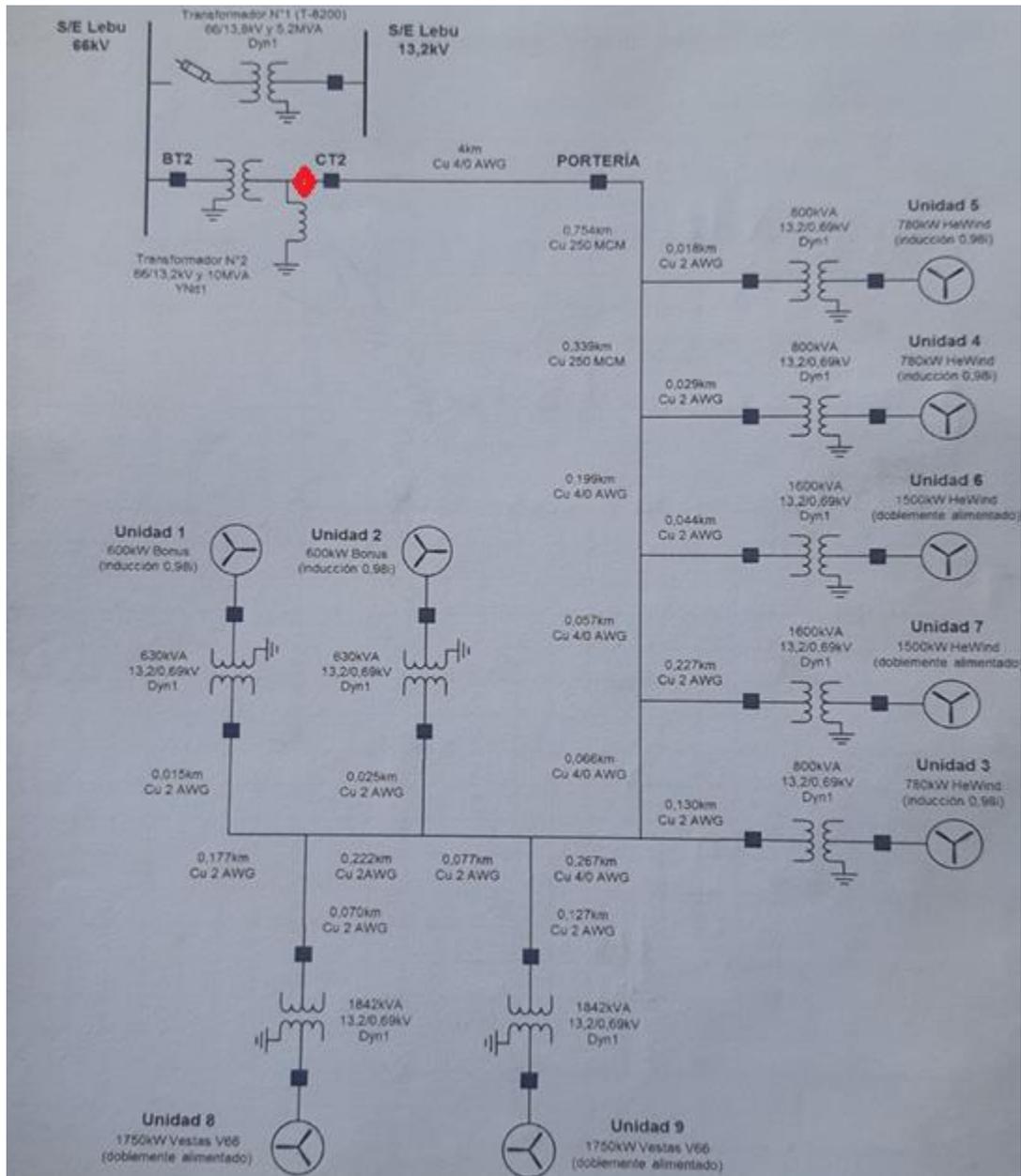


Figura N° 5: Diagrama unilineal, disposición final del Parque Eólico Lebu-Toro

- ◆ : Punto de conexión del medidor del parque. En este punto se realizaron las mediciones para el análisis de mínimo técnico.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 11 de 42	

Modelo Turbina	N° Gen
BONUS 600 kW	1 y 2
HW 50 780 kW	3, 4 y 5
HW 77 1500 kW	6 y 7
VESTAS V66	8 y 9

Tabla 5: N° de turbinas, Parque Eólico Lebu.

5.1. Alcances.

Según lo establecido en los anexos técnicos “Determinación de Mínimos Técnicos y Tiempos de Partida y Detención”, cada coordinador propietario de unidades generadoras debe enviar un informe técnico donde respalde el valor solicitado.

5.2. Estimación de los consumos por Servicios Auxiliares.

La estimación de los consumos por SSAA de la central Parque Eólico Lebu se realiza utilizando los elementos de medición existentes al interior del parque. Primero se determinó un periodo en el cual las turbinas estuviesen completamente detenidas, luego se procedió a recopilar los registros de los consumos de energía totales del parque, esto se realiza en el punto de medición en el lado de BT del transformador 66/13.8 kV, el cual es indicado en la Figura N° 5. Con esta información se estima cuáles son los consumos por Servicios Auxiliares totales del parque. Una vez realizada la estimación, esta se prorroga en función de la potencia instalada de cada una de las turbinas de la central.

El día 11 de octubre de 2019 las turbinas estuvieron prácticamente todo el día detenidas por la falta del recurso eólico. La tabla a continuación muestra las lecturas registradas.

Hora	Energía Inyectada kWh	Energía Consumida kWh
1	18.428	39.516
2	1.971	46.788
3	72.91	22.986
4	0.738	50.515
5	0	56.427
6	0	52.682
7	0	51.698
8	0	53.566
9	0	54.598
10	0	49.784
11	0	47.16
12	0	48.446
13	0	50.61
14	0	45.536
15	0	46.027
16	0.106	24.784
17	1.041	39.509
18	0	51.261
19	0	49.083

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 12 de 42	

20	0	48.803
21	0	51.231
22	0	52.654
23	0	56.868
24	0	54.692

Tabla 6: Generación 11 de octubre de 2019.

En la tabla anterior se observa que, en 18 de las 24 horas del 11 de octubre de 2019, las unidades de la Central Parque Eólico Lebu-Toro no generaron energía. El promedio de energía consumida en estas horas fue de 51.17 kWh.

Tal como se mencionó en la Sección 3, Parque Eólico Lebu-Toro consta con una capacidad instalada de 10,04 MW, los cuales se conforman por sus 10 turbinas instaladas. Los consumos auxiliares de la central se prorratean por la potencia instalada de cada tipo de turbina, tal como se muestra en la tabla a continuación.

Tipo de turbina	Cantidad de turbinas	Potencia instalada Total kW	Energía total por SSAA kWh	Energía SSAA por turbina kWh
BONUS 600 kW	2	1,200	6.116	3.058
HW 50 780 kW	3	2,340	11.926	3.975
HW 77 1500 kW	2	3,000	15.290	7.645
VESTAS V66	2	3,500	17.838	8.919
Total	10	10,040	51.17	-

Tabla 7: Estimación de los SSAA por turbina.

5.3. Estimación de las pérdidas del Parque.

La medición de potencia y energía en la central PEL se efectúa en el lado de baja tensión del transformador 66/13.9 kV, de 10 MVA. No se poseen otros puntos de medida al interior del parque. Debido a esta razón las pérdidas se estiman a partir de los parámetros de los elementos del parque.

Para calcular las pérdidas entre el punto de medición, observado en la Figura N° 5, y el punto de inyección, en el lado AT del transformador se utiliza la información disponible del transformador, la cual se muestra en la tabla a continuación.

Parámetro	Valor kW
Perdida en Vacío sec(+)	8.2
Pérdida bajo carga	55.9

Tabla 8: Parámetros Transformador SE Lebu.

Se sabe que las pérdidas del transformador se determinan según la siguiente expresión:

Ecuación 1: Cálculo de pérdidas, transformador de potencia.

$$Perdidas = \left(\frac{Pot_{3\phi}}{Pot_{3\phi} \text{ nominal}} \right)^2 * \text{Pérdida bajo carga} + \text{Pérdida en Vacío}$$

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL:	
		Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV.	FECHA
	<input checked="" type="checkbox"/>	29-07-2019	
			Página 13 de 42

6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

6.1. BONUS 600 [KW]

I. Diseño.

El Parque Eólico Lebu-Toro, está constituido por 9 aerogeneradores de distintas procedencias, dos de las cuales son modelos BONUS de 600[KW] de procedencia Alemana. Que en conjunto son capaces de generar 1200[KW] con vientos sobre 15m/s.

Estos aerogeneradores no cuentan con un sistema de control de potencia, por lo cual no es posible seleccionar un valor fijo de generación.

II. Especificaciones de la unidad generadora.

Características.	Datos.
Capacidad nominal.	600[KW].
Frecuencia.	50[Hz].
Altura del rotor.	50m.
Diámetro del rotor.	20m.
Control de capacidad.	Aerodinámico por control mecánico TIP.
Velocidad de viento de inicio.	4m/s.
Velocidad de viento nominal.	15m/s.
Velocidad de viento de desconexión.	25m/s.

Tabla 9: Especificaciones Bonus600.

III. Diagrama simplificado de la turbina.

El Aerogenerador AN BONUS de 600 [kW] de potencia nominal. Su sistema de generación consiste en un generador de jaula de ardilla con doble bobinado, para viento bajo y viento alto. Las características principales del aerogenerador se resumen en los siguientes diagramas.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 14 de 42	

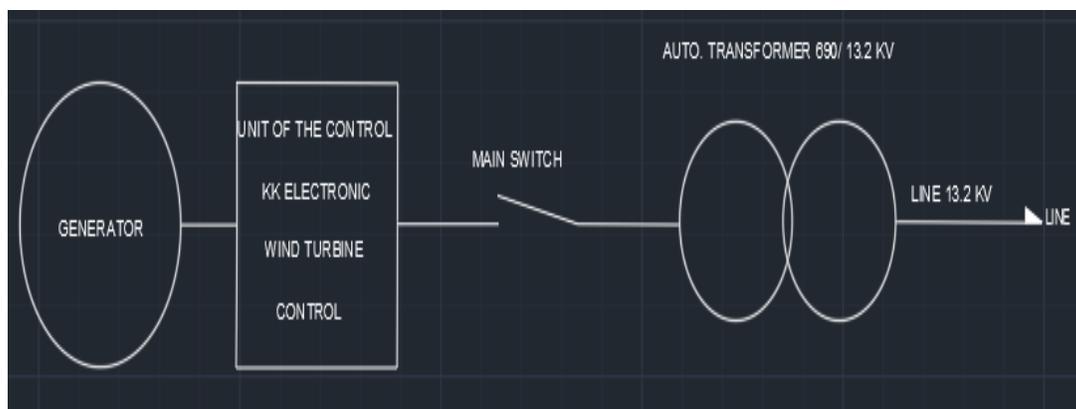


Figura N° 6: Diagrama simplificado Turbinas BONUS 600 [KW].

6.2. HEWIND HW50 780[KW]

I. Diseño.

El Parque Eólico Lebu-Toro, está constituido por 9 aerogeneradores de distintas procedencias, en este caso especificaremos el mínimo técnico de 3 turbinas HEWIND HW50 de 780[KW] de procedencia China. Que en conjunto son capaces de generar 2340[KW] con vientos sobre 15m/s.

Estos aerogeneradores no cuentan con un sistema de control de potencia, por lo cual no es posible seleccionar un valor fijo de generación.

II. Especificaciones de la unidad generadora.

Características.	Datos.
Capacidad nominal.	780[KW].
Frecuencia.	50[Hz].
Altura del rotor.	50m.
Diámetro del rotor.	23m.
Control de capacidad.	Aerodinámico por control mecánico TIP.
Velocidad de viento de inicio.	4m/s.
Velocidad de viento nominal.	15m/s.
Velocidad de viento de desconexión.	25m/s.

Tabla 10: Especificaciones HW50.

III. Diagrama simplificado de la turbina.

El Aerogenerador HEWIND MODELO HW50 DE 780[kW] de potencia nominal. Su sistema de generación consiste en un generador de jaula de ardilla con doble bobinado, para viento bajo y viento alto. Las características principales del aerogenerador se resumen en los siguientes diagramas.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 15 de 42	

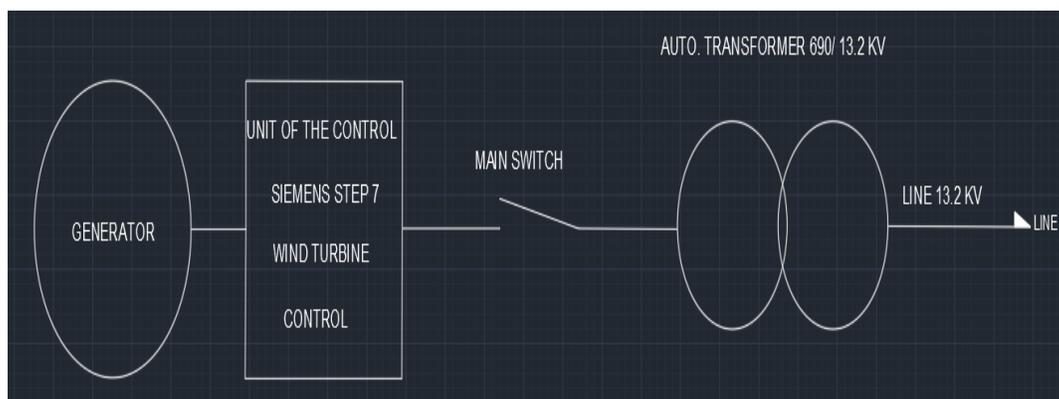


Figura N° 7: Diagrama simplificado Turbinas HEWIND HW50 780 [KW].

6.3. HEWIND HW77 1500[KW]

I. Diseño.

El Parque Eólico Lebu-Toro, está constituido por 9 aerogeneradores de distintas procedencias, en este caso especificaremos el mínimo técnico de 2 turbinas HEWIND HW77 de 1500[KW] de procedencia China. Que en conjunto son capaces de generar 3000[KW] con vientos sobre 14m/s.

Estos aerogeneradores no cuentan con un sistema de control de potencia, por lo cual no es posible seleccionar un valor fijo de generación.

II. Especificaciones de la unidad generadora.

Características.	Datos.
Capacidad nominal.	1500[KW].
Frecuencia.	50[Hz].
Altura del rotor.	80m.
Diámetro del rotor.	77m.
Control de capacidad.	Angulo de pala pitch.
Velocidad de viento de inicio.	3m/s.
Velocidad de viento nominal.	14m/s.
Velocidad de viento de desconexión.	25m/s.

Tabla 11: Especificaciones HW77.

III. Diagrama simplificado de la turbina.

El Aerogeneradores marca HEWIND modelo HW77 de 1500 [kW] de potencia nominal. Su sistema de generación está basado en una máquina de inducción de rotor bobinado con conexión a la red tanto del

estator como del rotor (Generador de Inducción doblemente alimentado). Las principales características del aerogenerador HEWIND HW77 se resumen en los siguientes diagramas:

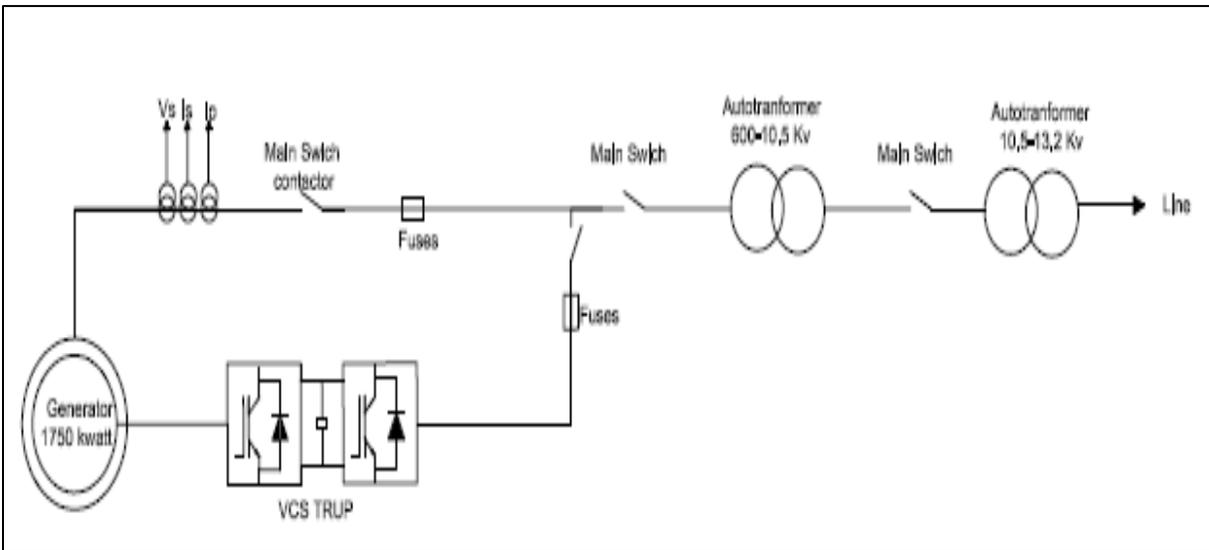


Figura N° 8: Diagrama simplificado Turbinas HEWIND HW77 1500 [KW].

6.4. VESTAS V66 1750[KW]

I. Diseño.

El Parque Eólico Lebu-Toro, está constituido por 9 aerogeneradores de distintas procedencias, en este caso especificaremos el mínimo técnico de 2 turbinas VESTAS V66 de 1750[KW] de procedencia Danesa. Que en conjunto son capaces de generar 3500[KW] con vientos sobre 14m/s.

II. Especificaciones de la unidad generadora.

Características.	Datos.
Capacidad nominal.	1750[KW].
Frecuencia.	50[Hz].
Altura del rotor.	68m.
Diámetro del rotor.	66.
Control de capacidad.	Angulo de pala pitch.
Velocidad de viento de inicio.	3m/s.
Velocidad de viento nominal.	14m/s.
Velocidad de viento de desconexión.	25m/s.

Tabla 12: Especificaciones Vestas V66.

III. Diagrama simplificado de la turbina.

El Aerogeneradores marca VESTAS modelo V66 de 1750 [kW] de potencia nominal. Su sistema de generación está basado en una máquina de inducción de rotor bobinado con conexión a la red tanto del estator como del rotor (Generador de Inducción doblemente alimentado). Las principales características del aerogenerador VESTAS V66 se resumen en los siguientes diagramas:

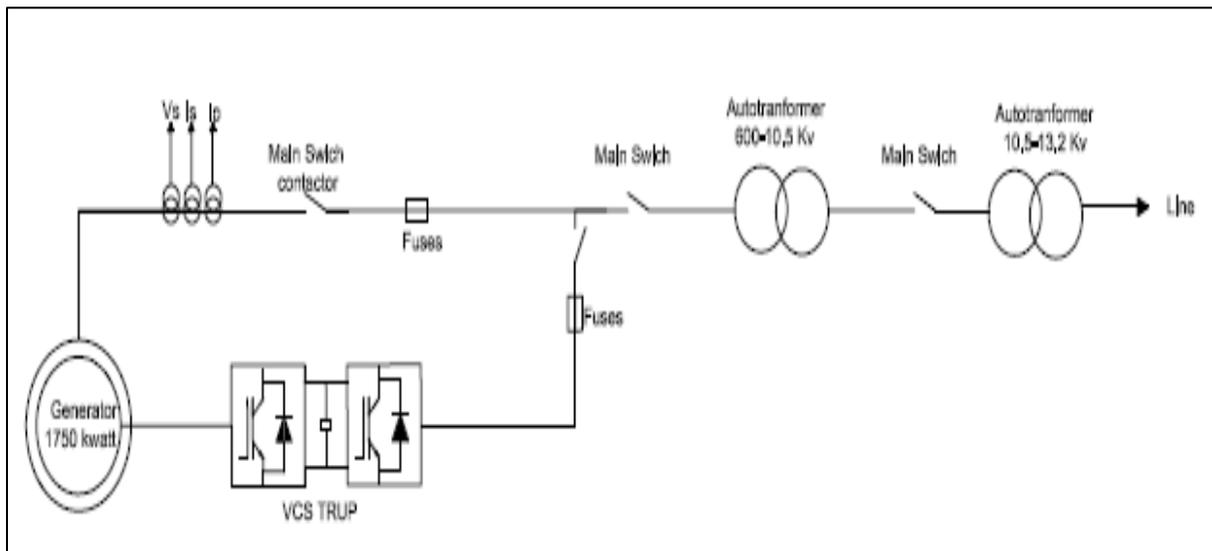


Figura N° 9: Diagrama simplificado Turbinas VESTAS V66 1750 [KW].

7. ANTECEDENTES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL MÍNIMO TÉCNICO DE LA TURBINA.

En esta sección se presentaran la información recopilada de manuales y recomendaciones del fabricante, pruebas de funcionalidad, datos operacionales, para la validación del mínimo técnico establecido por el Coordinado Eléctrico Nacional (CEN).

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 18 de 42	

8. CONSIGNAS DE POTENCIA ACTIVA

Las turbinas VESTAS V66 son las únicas, al interior de la central Parque Eólico Lebu, que cuentan con la capacidad de controlar su potencia activa. Todas las funciones de la turbina eólica VESTAS son monitoreadas y controladas por un controlador basado en microprocesador, el controlador VMP (Vestas Multi Processor Controller). Este sistema de control se encuentra en la góndola.

Las consignas de potencia activa, de las turbinas VESTAS, se controlan e ingresan directamente en dicha turbina, desde la base de esta. No existe la posibilidad de ingresar el parámetro a través del sistema ESCADA.

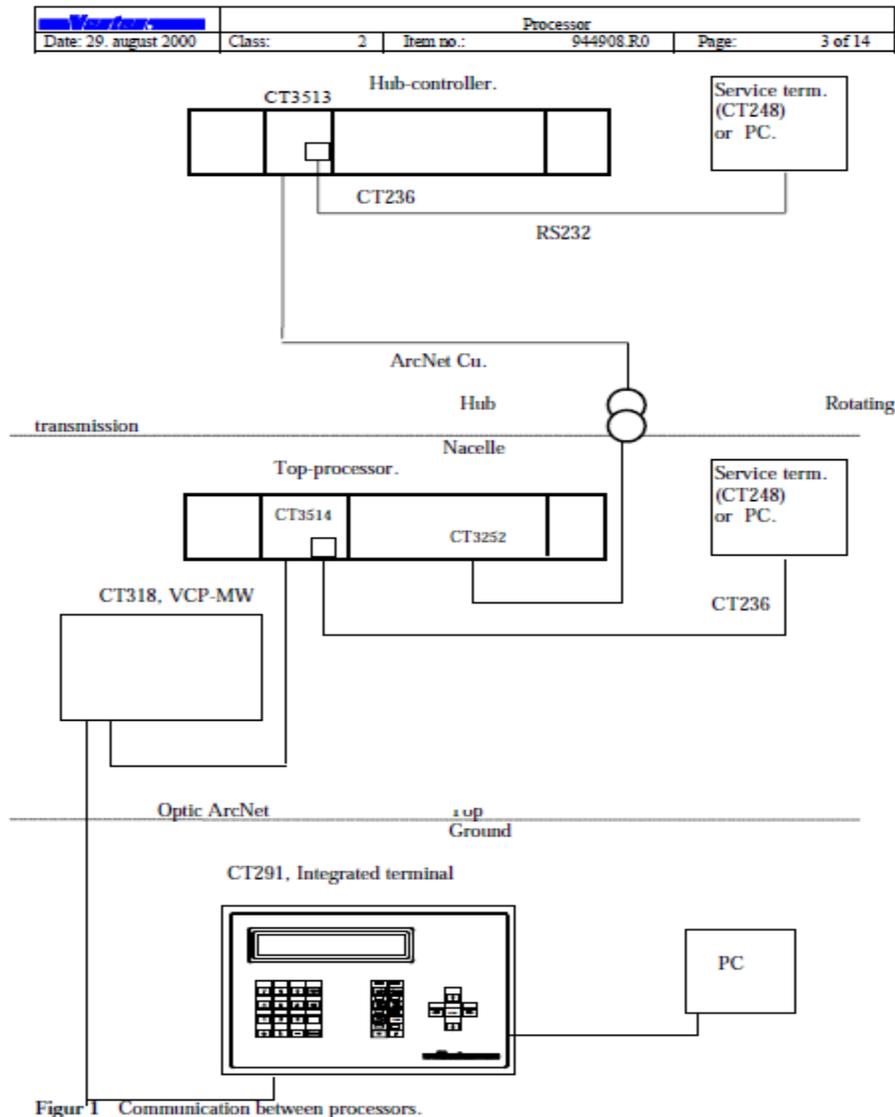
- **Controlador**

El controlador de las turbinas VESTAS se llama controlador VMP, que es la abreviatura de controlador Vestas Multi Processor. Se encarga de monitorear y controlar todas las funciones de la turbina para garantizar que su rendimiento sea óptimo a cualquier velocidad del viento. En caso de algún error, el controlador detendrá automáticamente la turbina.

- **Panel de control para ingresar las consignas de potencia activa (desde la base)**

Cuando un operador requiere datos de la turbina, o si desea arrancar o detener la turbina, puede utilizar el panel de operación en el controlador de tierra, o un panel de servicio conectado al controlador superior. Ambos paneles visualizan la misma información, sin embargo no pueden utilizarse de forma conjunta.

La Figura N° 10 a continuación muestra el esquema de control de las turbinas VESTAS. En el panel CT291 se ingresa la consigna de potencia activa de la turbina, y esta es la encargada de conectar los demás controladores.



Figur 1. Communication between processors.

Figura N° 10: Esquema de control Turbinas VESTAS

- **Software del controlador**

El software para el sistema de controlador VMP fue diseñado para controlar la operación de la turbina y establecer los parámetros de control.

Ejemplos de estos parámetros son la referencia de potencia, límites de alarma, valores de calibración del anemómetro, entre otros.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 20 de 42	

9. LIMITACIONES TÉCNICAS OPERACIONALES RECOMENDADAS POR EL FABRICANTE.

En Virtud de lo descrito en el artículo 4 del ANEXO TÉCNICO: Determinación de Mínimos Técnicos en Unidades Generadoras, el mínimo técnico, se entiende por la Potencia mínima con la cual una unidad puede operar en forma permanente, segura y estable, inyectando energía al Sistema Interconectado en forma continua. Las garantías de los fabricantes por modelo de turbina, las cuales se adjuntan en el anexo “Anexos Informe de Mín Téc”, son las siguientes.

9.1. Valores garantizados por el fabricante BONUS 600.

Los valores que el aerogenerador pueda entregar varían según las condiciones de viento, por tanto tenemos una tabla de valores garantizados. Estos valores garantizados son valores promedio en un tiempo determinado de muestras. En función de estos valores se obtiene directamente la potencia de la turbina, la cual no tiene posibilidad de ser ajustada por los operadores del Parque. Los mínimos y máximos de potencia garantizados para el aerogenerador son.

- Máximo 600 KW desde 14 m/s.
- Mínimo 20 (KW) a 4m/s.

Este valor mínimo no es muy recomendable por el fabricante ya que la conexión del equipo a la red se vuelve inestable, el valor mínimo a considerar de acuerdo al recurso disponible que es el viento en las pruebas que se realizaron es de ± 125 (KW) a ± 8 m/s de viento que fue el recurso que teníamos disponible para realizar las pruebas.

9.2. Valores garantizados por el fabricante HW 50

Los valores que el aerogenerador pueda entregar varían según las condiciones de viento, por tanto tenemos una tabla de valores garantizados. Estos valores garantizados son valores promedio en un tiempo determinado de muestras. En función de estos valores se obtiene directamente la potencia de la turbina, la cual no tiene posibilidad de ser ajustada por los operadores del Parque. Los mínimos y máximos de potencia garantizados para el aerogenerador son.

- Máximo 780 KW desde 14 m/s.
- Mínimo 100 (KW) a 4m/s.

Este valor mínimo no es muy recomendable por el fabricante ya que la conexión del equipo a la red se vuelve inestable, el valor mínimo a considerar de acuerdo al recurso disponible que es el viento en las pruebas que se realizaron es de ± 350 (KW) a ± 10 m/s de viento que fue el recurso que teníamos disponible para realizar las pruebas.

9.3. Valores garantizados por el fabricante HW 77

Los valores que el aerogenerador pueda entregar varían según las condiciones de viento, por tanto tenemos una tabla de valores garantizados. Estos valores garantizados son valores promedio en un tiempo determinado de muestras. En función de estos valores se obtiene directamente la potencia de la turbina, la cual no tiene

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 21 de 42	

posibilidad de ser ajustada por los operadores del Parque. Los mínimos y máximos de potencia garantizados para el aerogenerador son.

- Máximo 1500 KW desde 14 m/s.
- Mínimo 80 (KW) a 3m/s.

Este valor mínimo no es muy recomendable por el fabricante ya que la conexión del equipo a la red se vuelve inestable, el valor mínimo a considerar de acuerdo al recurso disponible que es el viento en las pruebas que se realizaron es de 800(KW) [±] A 9m/s de viento que fue el recurso que teníamos disponible para realizar las pruebas.

9.4. Valores garantizados por el fabricante VESTAS V66

Los valores que el aerogenerador pueda entregar varían según las condiciones de viento, por tanto tenemos una tabla de valores garantizados. Estos valores garantizados son valores promedio en un tiempo determinado de muestras. Es en base a estos valores que están considerados el set point máximo y set point mínimo. Los mínimos y máximos de potencia garantizados para el aerogenerador son.

- Máximo 1000 KW desde 13 m/s.
- Mínimo 80 (KW) a 3m/s.

Este valor mínimo no es muy recomendable por el fabricante ya que la conexión del equipo a la red se vuelve inestable, el valor mínimo a considerar es de 150(KW) A 5m/s de viento.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 22 de 42	

10. PRUEBA DE MÍNIMO TÉCNICO.

10.1. BONUS 600 [KW]

I. Metodología de la prueba.

Durante la época en que fue realizado el análisis se presentan condiciones óptimas de viento y los momentos de mínimo constante durante un día son difíciles de lograr. Por ende se realizaron las mediciones con la turbina cuando estas inyectaban una potencia promedio de 125 [KW], debida directamente a la velocidad de viento existente durante el análisis. Se especificó esta potencia ya que en el ítem antes mencionado (valores garantizados por el fabricante), se estableció que el mínimo técnico depende solamente del viento, ya que **no es posible ajustar la potencia de la unidad**. La prueba consistió en monitorear la potencia mínima generada mediante los sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) que cuenta el Parque Eólico Lebu-Toro realizando mediciones para una turbina de viento en particular, de manera de contrastar los valores esperados con los obtenidos durante las pruebas. La medición de potencia se realizó en la barra 13.8 kV, en el punto de medida indicado en la Figura N° 5. Como resultado de estas pruebas será posible determinar la potencia mínima y estable con vientos promedio de 8m/s a inyectar por el Parque Eólico Lebu-Toro.

II. Condiciones previas a la prueba.

Con fecha 29 de julio del 2019 se realizaron pruebas para la determinación del mínimo técnico para el Parque Eólico Lebu-Toro. Al momento de realizar las pruebas el Parque Eólico se encontraba con sus 2 aerogeneradores en funcionamiento sin presentar detenciones ni averías durante la prueba. Durante el tiempo que duro el test las condiciones climáticas promedio fueron de 9 °C temperatura ambiente y de aproximadamente 8m/s de velocidad del viento. El punto de operación, al no existir control, dependió directamente del viento. La potencia promedio fue de 125[KW] en promedio para la prueba en un aerogenerador.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA



29-07-2019

Página 23 de 42

III. Verificación de comportamiento estable con 125[kW] en función del viento en m/s.

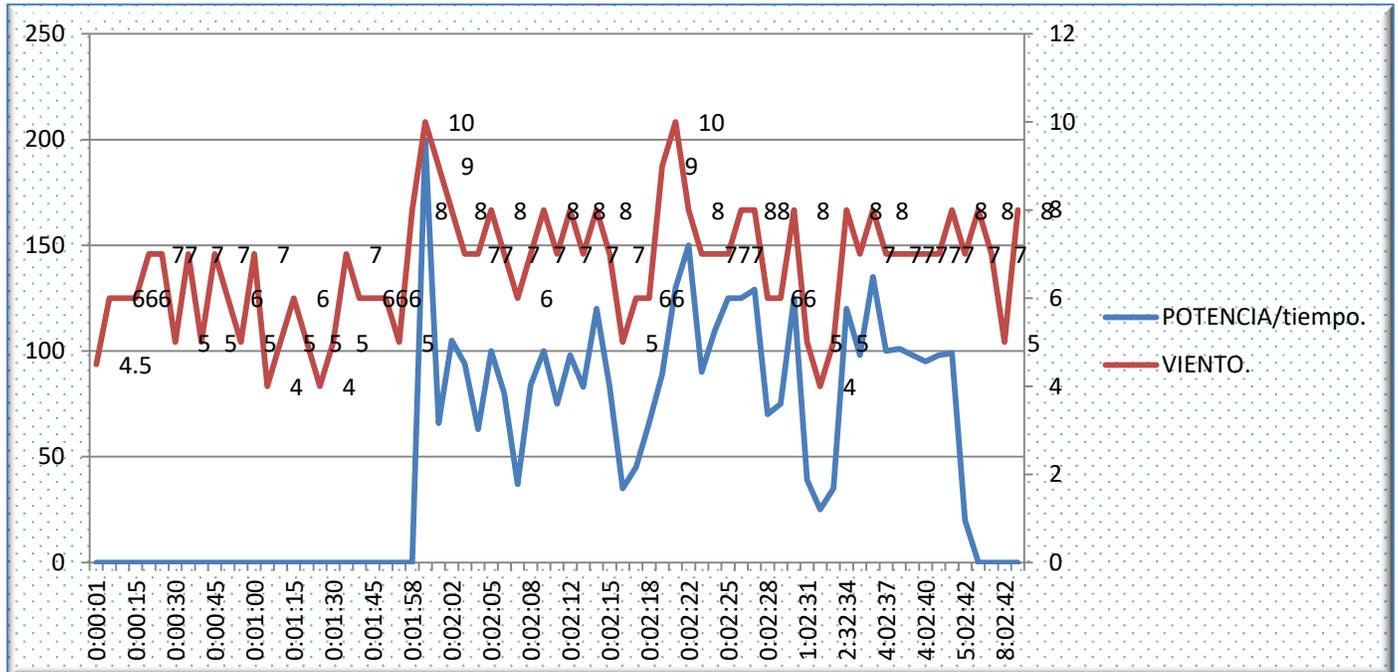


Figura N° 11: Grafica de mínimo técnico.

Gráfica de potencia durante la prueba el día 29 de julio. En azul es la potencia generada por la turbina y rojo es la velocidad del viento medida en m/s.

IV. Análisis de los resultados.

La turbina se comportó acorde a lo esperado, trabajando de forma no continua de acuerdo al viento estimado tal velocidad mantenía la turbina en valores cercanos a 125 [KW]. De acuerdo a lo mencionado podemos apreciar que para valores cercanos a los 9 m/s la turbina produjo valores por sobre los 125 [KW], valor determinado por diseño. (Se registraron valores menores pero fueron en pasos previos a la variación de la velocidad del viento). Cabe descartar que la turbina se vuelve inestable bajo los 4 m/s por lo cual se desconecta y queda a la espera de recurso eólico.

El mínimo valor que se logró identificar dentro de su rango de trabajo en la potencia nominal con respecto al viento fue 25 [kW] a los 4 m/s de viento, y una vez que el viento llegaba a los 8m/s el equipo inyectaba aproximadamente 125 [KW]. Los cuales eran completamente asignados por el viento y no por un sistema de control.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 24 de 42	

10.2. HEWIND HW50 780[KW]

I. Metodología de la prueba.

Durante la época en que fue realizado el análisis se presentan condiciones óptimas de viento y los momentos de mínimo constante durante un día son difíciles de lograr. Por ende se realizaron las mediciones con la turbina cuando estas inyectaban una potencia promedio de 350 [KW], dados directamente por la velocidad de viento. Se especificó esta potencia ya que en el ítem antes mencionado (valores garantizados por el fabricante), se estableció que el mínimo técnico depende solamente del viento, ya que **no es posible ajustar la potencia de la unidad**. La prueba consistió en monitorear la potencia mínima generada mediante los sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) que cuenta el Parque Eólico Lebu-Toro realizando mediciones para una turbina de viento en particular, de manera de contrastar los valores esperados con los obtenidos durante las pruebas. La medición de potencia se realizó en la barra 13.8 kV, en el punto de medida indicado en la Figura N° 5. Como resultado de estas pruebas será posible determinar la potencia mínima y estable con vientos de alrededor de 10m/s a inyectar por el Parque Eólico Lebu-Toro.

II. Condiciones previas a la prueba.

Con fecha 29 de julio del 2019 se realizaron pruebas para la determinación del mínimo técnico para el Parque Eólico Lebu-Toro. Al momento de realizar las pruebas el Parque Eólico se encontraba con sus 3 aerogeneradores en funcionamiento sin presentar detenciones ni averías durante la prueba. Durante el tiempo que duro el test las condiciones climáticas promedio fueron de 9 ° C temperatura ambiente y 10m/s promedio como la velocidad del viento promedio. El punto de operación, al no existir control, dependió directamente del viento. La potencia promedio fue de 350[KW] para la prueba en un aerogenerador.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 25 de 42

III. Verificación de comportamiento estable con 350[kW] en función del viento en m/s.

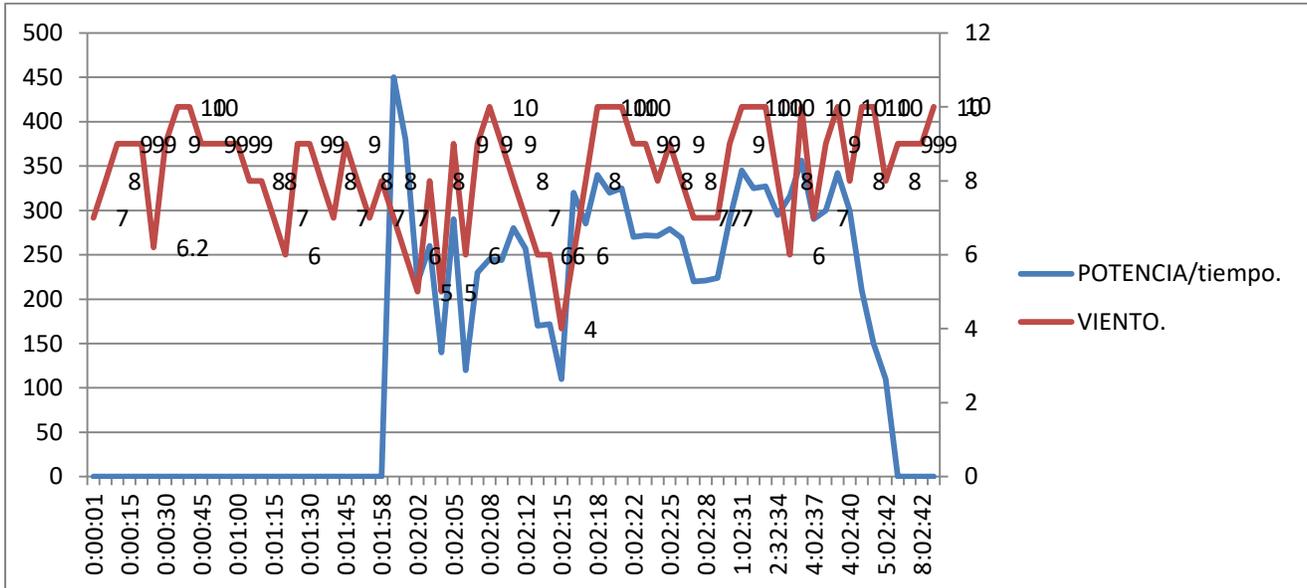


Figura N° 12: Gráfica de mínimo técnico.

Gráfica de potencia durante la prueba el día 29 de julio. En azul es la potencia generada por la turbina y rojo es la velocidad del viento medida en m/s.

IV. Análisis de los resultados.

La turbina se comportó acorde a lo esperado, trabajando de forma no continua de acuerdo al viento estimado tal velocidad mantenía la turbina en aproximadamente 350 [KW]. De acuerdo a lo mencionado podemos apreciar que para valores cercanos a los 10 m/s la turbina produjo valores por sobre los 350 [KW], valor determinado por diseño. (Se registraron valores menores pero fueron en pasos previos a la variación de la velocidad del viento). Cabe descartar que la turbina se vuelve inestable bajo los 4 m/s por lo cual se desconecta y queda a la espera de recurso eólico.

El mínimo valor que se logró identificar dentro de su rango de trabajo en la potencia nominal con respecto al viento fueron 110 KW a los 4 m/s de viento, y una vez que el viento llegaba a los 10m/s el equipo se mantenía en el valor aproximado de 350 [KW], definidos directamente por el viento y no por un sistema de control.

10.3. HEWIND HW77 1500[KW]

I. Metodología de la prueba.

Durante la época en que fue realizado el análisis se presentan condiciones óptimas de viento y los momentos de mínimo constante durante un día son difíciles de lograr. Por ende se realizaron las

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 26 de 42	

mediciones con la turbina cuando estas inyectaban una potencia promedio de 800 [KW], dados directamente por la velocidad de viento existente. Se especificó esta potencia ya que en el ítem antes mencionado (valores garantizados por el fabricante), se estableció que el mínimo técnico depende solamente del viento, ya que **no es posible ajustar la potencia de la unidad**. La prueba consistió en monitorear la potencia mínima generada mediante los sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) que cuenta el Parque Eólico Lebu-Toro realizando mediciones para una turbina de viento en particular, de manera de contrastar los valores esperados con los obtenidos durante las pruebas. La medición de potencia se realizó en la barra 13.8 kV, en el punto de medida indicado en la Figura N° 5. Como resultado de estas pruebas será posible determinar la potencia mínima y estable con vientos de aproximadamente 9m/s a inyectar por el Parque Eólico Lebu-Toro.

II. Condiciones previas a la prueba.

Con fecha 29 de julio del 2019 se realizaron pruebas para la determinación del mínimo técnico para el Parque Eólico Lebu-Toro. Al momento de realizar las pruebas el Parque Eólico se encontraba con sus 2 aerogeneradores en funcionamiento sin presentar detenciones ni averías durante la prueba. Durante el tiempo que duro el test las condiciones climáticas promedio fueron de 12 ° C temperatura ambiente y aproximadamente 9m/s la velocidad del viento promedio. El punto de operación, al no existir control, dependió directamente del viento. La potencia promedio fue de 800[KW] para la prueba en un aerogenerador.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 27 de 42

III. Verificación de comportamiento estable con 800[kW] en función del viento en m/s.

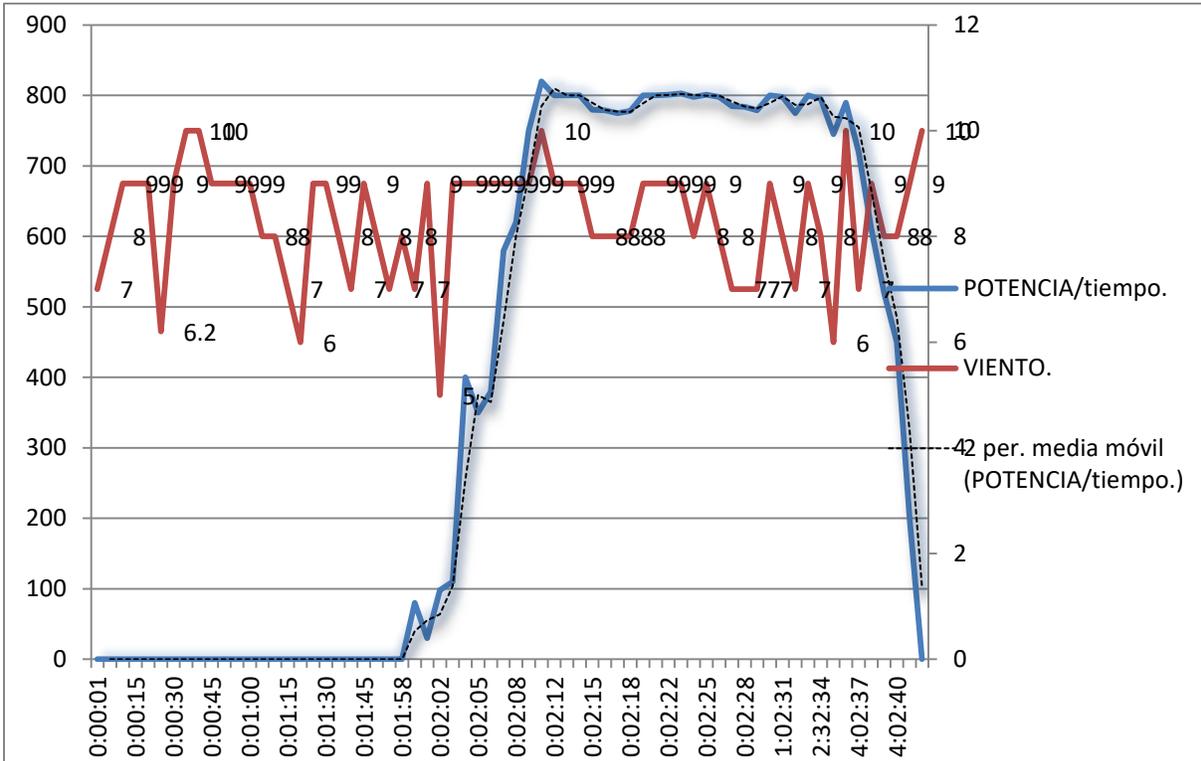


Figura N° 13: Grafica de mínimo técnico.

Gráfica de potencia durante la prueba el día 29 de julio. En azul es la potencia generada por la turbina y rojo es la velocidad del viento medida en m/s.

IV. Análisis de los resultados.

La turbina se comportó acorde a lo esperado, trabajando de forma no continua de acuerdo al viento estimado tal velocidad mantenía la turbina en aproximadamente 800 [KW]. De acuerdo a lo mencionado podemos apreciar que para valores cercanos a los 9 m/s la turbina produjo valores por sobre los 800 [KW], valor determinado por diseño. (Se registraron valores menores pero fueron en pasos previos a la variación de la velocidad del viento). Cabe descartar que la turbina se vuelve inestable bajo los 3 m/s por lo cual se desconecta y queda a la espera de recurso eólico.

El mínimo valor que se logró identificar dentro de su rango de trabajo en la potencia nominal con respecto al viento fueron 745 KW a los 6 m/s de viento, y una vez que el viento llegaba a los 9m/s el equipo se mantenía en aproximadamente 800 [KW] asignado por el viento y no por un sistema de control.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 28 de 42	

10.4. VESTAS V66 1750[KW]

I. Metodología de la prueba.

Durante esta época se presentan condiciones óptimas de viento y los momentos de mínimo constante durante un día son difíciles de lograr. Por ende, se configuró el set point mínimo controlable y estable del parque eólico. Se condicionó la turbina a un máximo de 150[KW] durante un tiempo determinado. Se especificó esta potencia ya que es el mínimo técnico indicado por el fabricante para vientos entre 5 y 7m/s. Para vientos entre 7 y 10 m/s el min técnico se estable en 600 kW y para vientos mayores a 10 m/s el Mínimo Técnico se considera igual a 1000 kW. La prueba consistió en monitorear la potencia mínima generada mediante los sistemas de control y adquisición de datos (SCADA) que cuenta el Parque Eólico Lebu-Toro realizando mediciones para una turbina de viento en particular, de manera de contrastar los valores esperados con los obtenidos durante las pruebas. La medición de potencia se realizó en la barra 13.8 kV, en el punto de medida indicado en la Figura N° 5. Como resultado de estas pruebas será posible determinar la potencia mínima y estable a inyectar por el Parque Eólico Lebu-Toro.

II. Condiciones previas a la prueba.

Con fecha 19 de julio del 2019 se realizaron pruebas para la determinación del mínimo técnico para el Parque Eólico Lebu-Toro. Al momento de realizar las pruebas el Parque Eólico se encontraba con sus 2 aerogeneradores en funcionamiento sin presentar detenciones ni averías durante la prueba. Durante el tiempo que duro el test las condiciones climáticas promedio fueron de 8,6 ° C temperatura ambiente y 7.06 m/s la velocidad del viento promedio. El set point fue de manera local desde el gabinete de control del equipo y se consideró un valor de 150[KW] para la prueba en un aerogenerador.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 29 de 42

III. Verificación de comportamiento

Comportamiento estable con set point 150kW en función del viento en m/s.

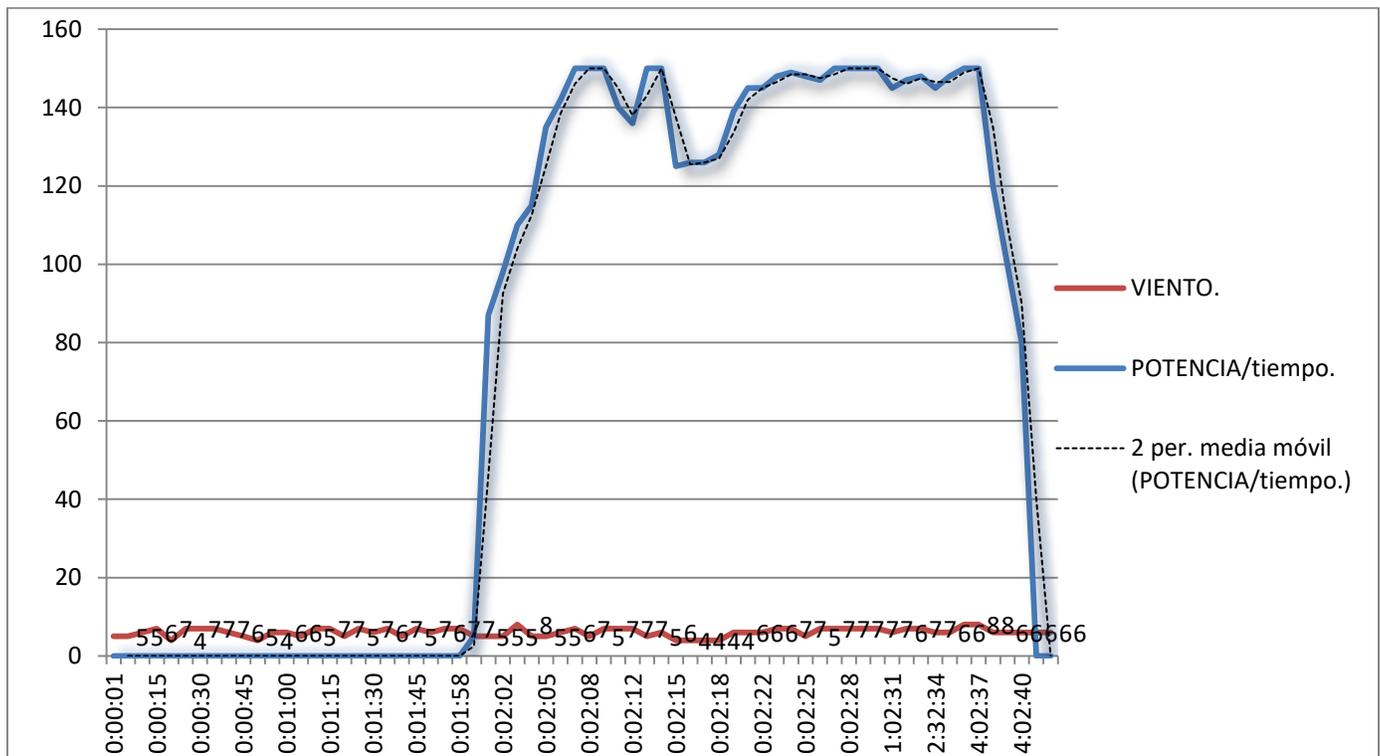


Figura N° 14: Grafica de mínimo técnico 5-7 m/s.

Gráfica de potencia durante la prueba el día 29 de julio. En azul es la potencia generada por la turbina y rojo es la velocidad del viento medida en m/s.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 30 de 42	

Comportamiento estable en función de del viento.

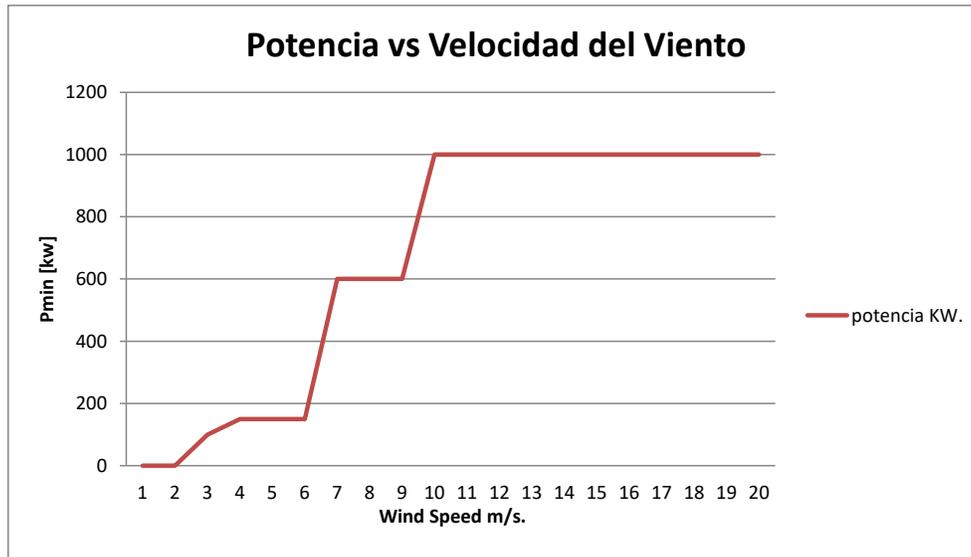


Figura N° 15: Grafica Potencia vs Velocidad del viento.

Como se observa en la Figura N° 15, el Mínimo Técnico de la unidad VESTAS V66 varía en función de la velocidad del viento.

IV. Análisis de los resultados.

La turbina se comportó acorde a lo esperado, trabajando de forma continua de acuerdo al set point ingresado de 150 KW. De acuerdo a lo mencionado podemos apreciar que para valores cercanos a los 4 m/s la turbina produjo valores muy cercanos a los 120 KW, valor determinado por diseño. (Se registraron valores menores pero fueron en pasos previos a la variación de la velocidad del viento). Cabe descartar que la turbina se vuelve inestable bajo los 3 m/s por lo cual se desconecta y queda a la espera de recurso eólico.

El mínimo valor que se logró identificar fueron 120 KW a los 4 m/s de viento, y una vez que el viento superaba los 6 m/s el equipo se mantenía en el valor de mínimo técnico 150 KW asignado por el operador.

Para vientos acordes a la potencia nominal de la turbina, el Mínimo Técnico de operación de esta es de 1000 kW.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 31 de 42	

10.1. MÍNIMO TÉCNICO CENTRAL PARQUE EÓLICO LEBU

El Mínimo Técnico de la central Parque Eólico Lebu se determina al considerar una única unidad generadora en operación, configurada a su mínimo técnico de operación. Debido a que las únicas unidades de la central que cuentan con capacidad de ajuste en su nivel de potencia son las VESTAS V66, el Mínimo Técnico de la central es igual al de dicha turbina.

Para realizar la estimación de Potencia Mínima Neta inyectada en la barra de 66 kV de la S/E Lebu Los consumos de servicios auxiliares de la central se estiman en 51.17 kW, tal como se determinó en la sección 5.2. Considerando este valor, y una única turbina VESTAS V66 operando en su mínima potencia, cuando la velocidad del viento es igual o superior a la nominal, se obtiene:

Parque Eólico	Mín Téc [MW]	SS.AA. [kW]	Potencia Mínima en MT S/E Lebu [MW]
Lebu	1.00	51.17	0.949

Pérdidas del transformador de potencia.

Por su parte, las pérdidas del transformador de potencia se estiman utilizando la Ecuación 1, indicada en la sección 5.3. Considerando una potencia de 0.949 MW se obtiene:

$$Perdidas\ Trafo\ Pot = \left(\frac{0.949}{10}\right)^2 * 55.9 + 8.2 = 13.51 [kW]$$

Pérdidas del sistema colector

El sistema colector de las turbinas VESTAS se divide en dos, el transformador elevador de 13.2/1.075kV (2.1 MVA) y los conductores que transportan la energía generada al exterior de la central.

Las pérdidas del transformador es estiman considerando una operación a Mínimo Técnico de 1MW, y utilizando los parámetros indicados por el fabricante. Con esta información se obtiene:

$$Perdidas\ Trafo\ Colector = \left(\frac{1}{2.1}\right)^2 * 0.972 + 5.545 = 5.76 [kW]$$

La pérdida de los conductores se estima utilizando el diagrama de la central (disponible en la documentación adjunta) y los parámetros eléctricos de los conductores. A continuación se muestra una tabla resumen, en la que se indica que la resistencia eléctrica, desde el punto de inyección de la turbina VESTAS hasta el exterior del parque, es de aproximadamente 0.458 ohms por conductor.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL:	
		Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV.	FECHA
		<input checked="" type="checkbox"/>	29-07-2019
Página 32 de 42			

Tipo de cable	Resistencia DC (ohms/km)	Resistencia AC (ohms/km)	Longitud (m)	Resistencia total (ohms)
AWG4/0	0.266	0.319	454	0.1448
185 mm2 AAAC	0.181	0.217	250	0.0543
120 mm2 CU desnudo	0.153	0.183	1,415	0.2589
Total				0.458

Tabla 13: Resistencia de los conductores, turbina VESTAS V66 – Parque Eólico Lebu.

Las pérdidas por los conductores, a una potencia de operación trifásica de 1 MW, se estiman con la siguiente ecuación:

$$Perdidas\ Conductores = 3 * (43.74)^2 * 0.458 = 2,628.7 [W] = 2.629 kW$$

Al considerar estas pérdidas, la potencia mínima de Parque Eólico Lebu en la barra de 66kV de la S/E Lebu se establece como:

Parque Eólico	Mín Téc [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Mínima Neta [MW]
Lebu	1.00	51.17	21.9	0.926

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 33 de 42	

11. Conclusión.

Después de realizar esta prueba registrando los datos de vientos y potencia activa producida por tipo de aerogenerador de la central Parque Eólico Lebu, podemos concluir que la producción mínima para cada turbina en el parque eólico Lebu-Toro queda determinada por las condiciones del viento. Por tanto, si la condición de viento es menor a 3 m/s para el parque, las turbinas dejarán de producir, lo que implica un mínimo técnico de 0kW.

Por otro lado es importante destacar los diferentes mínimos de seguridad y garantía aclarados durante este informe:

Nota: Con respecto a los gráficos se encuentra adjunto en los anexos un Excel con las 4 turbinas, especificando sus valores estables e inestables de generación con respecto al viento en m/s.

11.1. Mínimos turbina BONUS 600 kW

Como se mencionó anteriormente, las turbinas Bonus 600 kW no poseen sistema de control que permita controlar la potencia entregada al sistema. Las mediciones observadas en el punto 10.1 dieron como resultados valores mínimos de potencia de 25 kW a 4 m/s.

11.2. Mínimos turbina HW 780 kW

Como se mencionó anteriormente, las turbinas HW 50 de 780 kW no poseen sistema de control que permita controlar la potencia entregada al sistema. Las mediciones observadas en el punto 10.2 dieron como resultados valores mínimos de potencia de 110 kW a 4 m/s.

11.3. Mínimos turbina HW 77 1500 kW

Como se mencionó anteriormente, las turbinas HW 77 de 1500 kW no poseen sistema de control que permita controlar la potencia entregada al sistema. Las mediciones observadas en el punto 10.3 dieron como resultados valores mínimos de potencia de 745 kW a 6 m/s.

11.4. Mínimos garantizados turbina VESTAS V66 1750 kW

Las turbinas VESTAS V66, al contrario que las demás, si cuenta con sistema de control que permita ajustar la potencia. En las mediciones realizadas en el punto 10.4 se determinó que el valor mínimo de potencia que esta turbina puede entregar de forma estable es de 150 kW (con disminuciones a 120 kW cuando los vientos eran menores a 6 m/s. Para vientos acordes a la potencia nominal, el Mínimo Técnico de estas unidades se estableció en 1000 kW.

	DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO, TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.	CENTRAL: Parque Eólico Lebu-Toro.	
		REV. <input checked="" type="checkbox"/>	FECHA 29-07-2019
		Página 34 de 42	

11.5. Resumen Mínimos Técnicos de las turbinas de Parque Eólico Lebu

La tabla a continuación muestra los mínimos técnicos de las 4 turbinas de Parque Eólico Lebu. Debido a que las turbinas Bonus 600, HW50 y HW 77 no poseen sistema de control, no es posible ajustar un valor de potencia mínima para las mismas. Por lo que el valor de mínimo técnico para estas turbinas sería el valor de potencia instantánea que estén generando estas unidades, debido directamente a la velocidad del viento del momento., dado a la vez, por la velocidad del viento instantánea. Por su parte, para la turbina VESTAS V66, que si cuenta con sistema de control, se estableció que su valor de mínimo técnico es variable, en función de la velocidad de viento existente.

Turbina	Mínima potencia medido kW	Mínima potencia garantizada por el fabricante kW	Mínimo Técnico determinado kW
Bonus 600 kW	25 a 4 m/s	80 (a 4 m/s)	No es posible ajustar la potencia
HW 50 780 kW	110 a 4 m/s	100 (a 3 m/s)	No es posible ajustar la potencia
HW 77 1500 kW	(no medido)	80 (a 3 m/s)	No es posible ajustar la potencia
VESTAS V66	120	120	150

Tabla 14: Mínimos técnicos Parque Eólico Lebu Velocidades de viento bajas.

Turbina	Mínima potencia garantizada por el fabricante kW	Mínimo Técnico determinado kW
VESTAS V66	1000	1000

Tabla 15: Mínimos técnicos Parque Eólico Lebu Velocidades Nominal.

11.6. Mínimos Técnicos de la central Parque Eólico Lebu

Debido a que la única turbina que posee sistema de control para regular su nivel de potencia es la VESTAS V66, se determina que el valor mínimo de generación de la central Parque Eólico Lebu-Toro se logra con solo una turbina VESTAS V66 en operación y los demás aerogeneradores del parque desconectados. Con esta configuración, el Mínimo Técnico de la central, con una cantidad de viento igual o superior al nominal, sería de **0.926 MW**.

Parque Eólico	Mín Téc [MW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Mínima Neta [MW]
Lebu	1.00	51.17	21.9	0.927

Así mismo, el MT de la central pasa a definirse como:

$$\text{Min Téc} = \text{Energía en barra AT} + \text{SS.AA} + \text{Pérdidas Trafo} + \text{Pérdidas Sistema Colector}$$

$$\text{Min Téc (1 turbina VESTAS operando)} = 0.927 + 0.0512 + 0.0135 + 0.0084 = 1 \text{ [MW]}$$



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 35 de 42

12. Datos anexados.

12.1. BONUS 600KW.

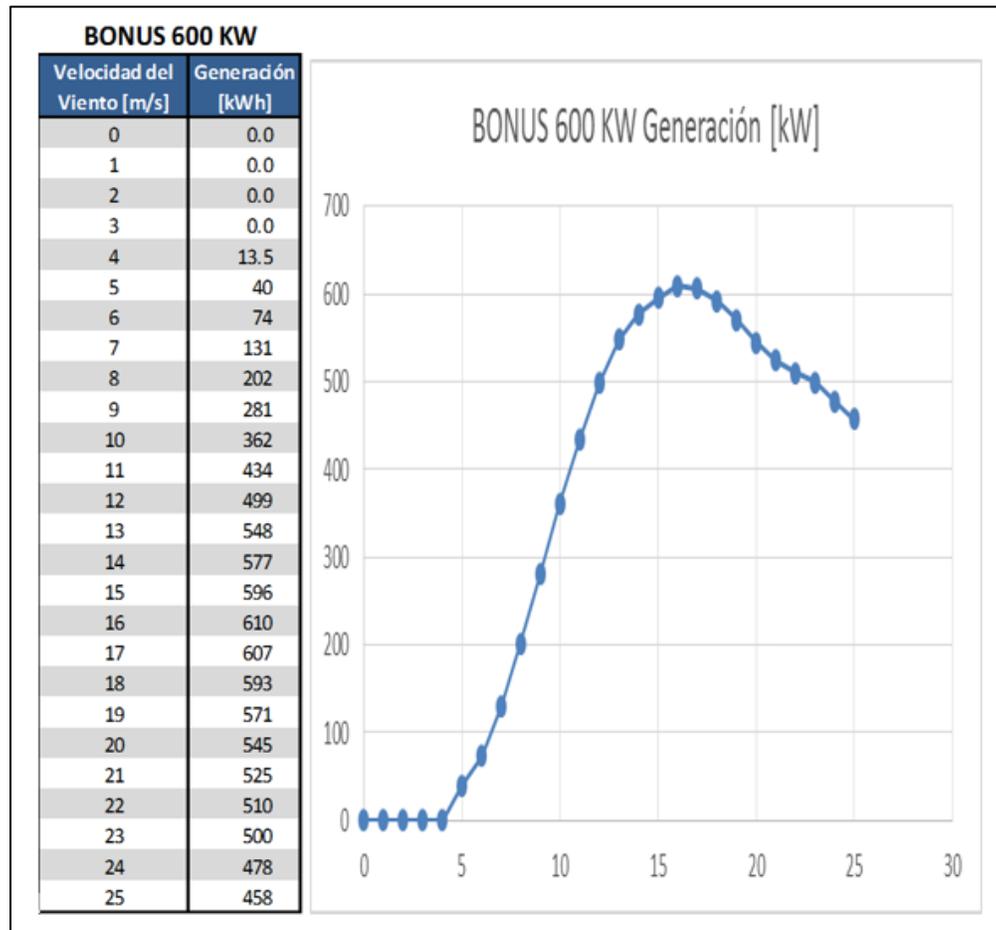


Figura N° 16: Curva viento-potencia y eficiencia del aerogenerador AN BONUS.

Nota: Este tipo de turbina, según lo estudiado, se vuelve estable sobre los 5 m/s de viento, en la gráfica de la Figura N° 17 podemos ver un comportamiento estable de 125 kW. Lo mencionado también se incluye en la plantilla adjunta "Gráficos turbinas PEL.", en la cual se incluye una gráfica con vientos inferiores a 5 m/s, niveles a los cuales se observa que la turbina es inestable y cuyos valores no acreditan un mínimo técnico establecido por el CEN.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 37 de 42

12.2. HEWIND HW50 780KW.

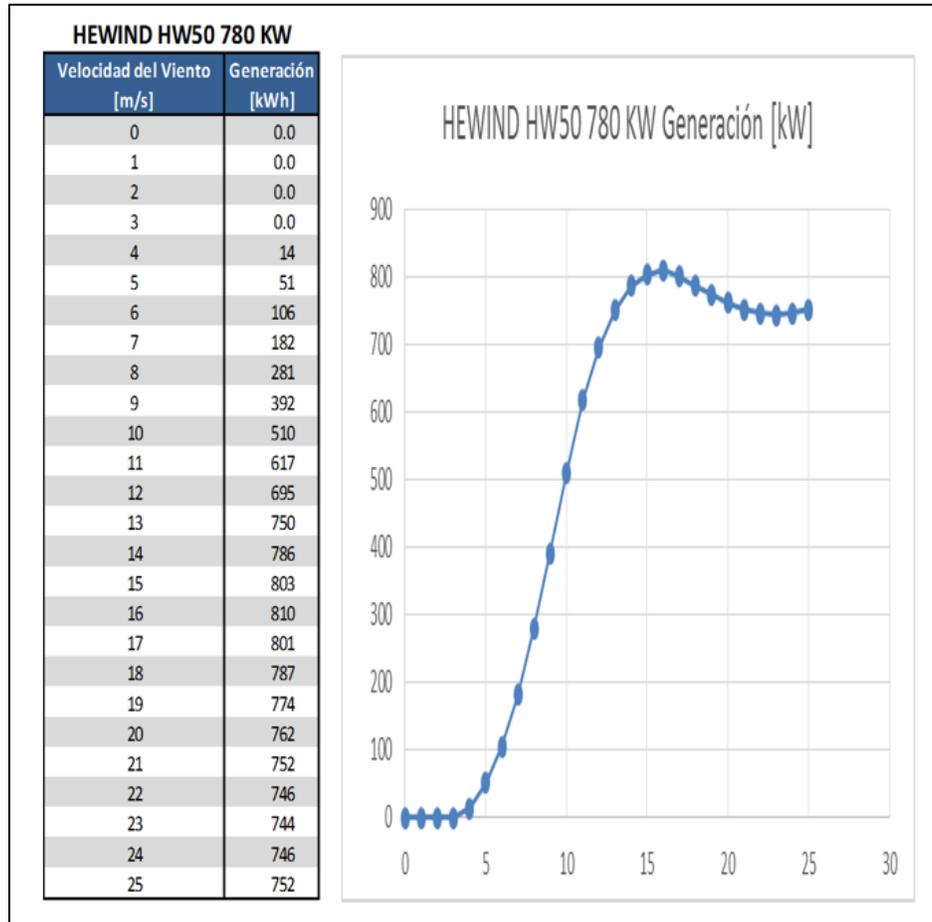


Figura N° 19: Curva viento-potencia y eficiencia del aerogenerador HEWIND HW50.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 38 de 42

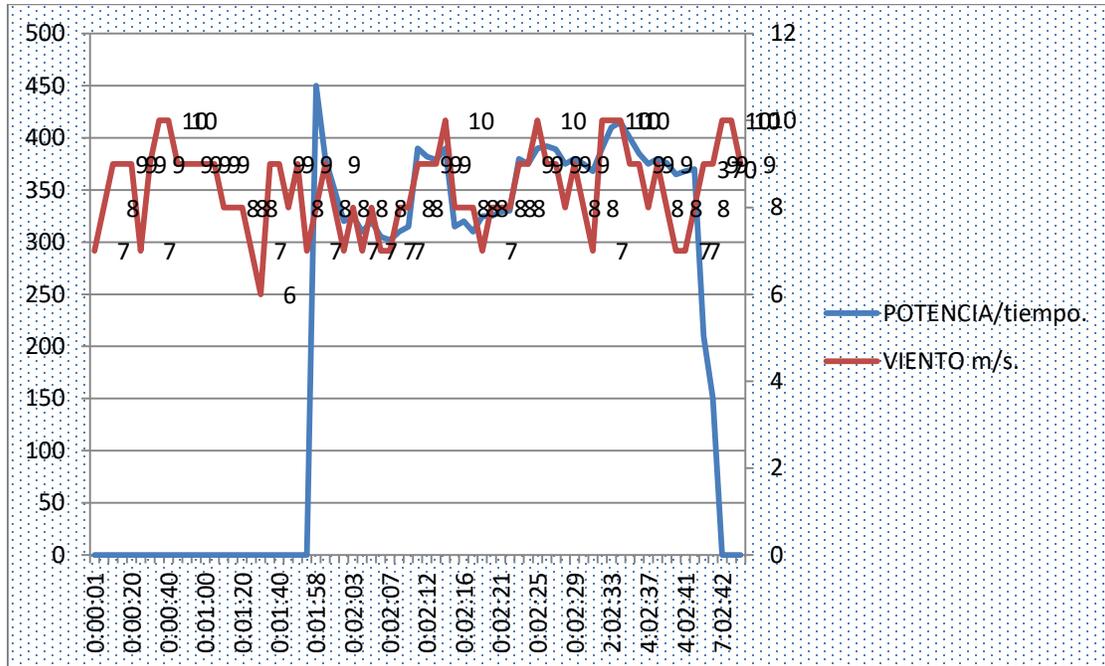


Figura N° 20: Gráfica aerogenerador HEWIND HW50 con valores estables de generación con respecto al viento en m/s.

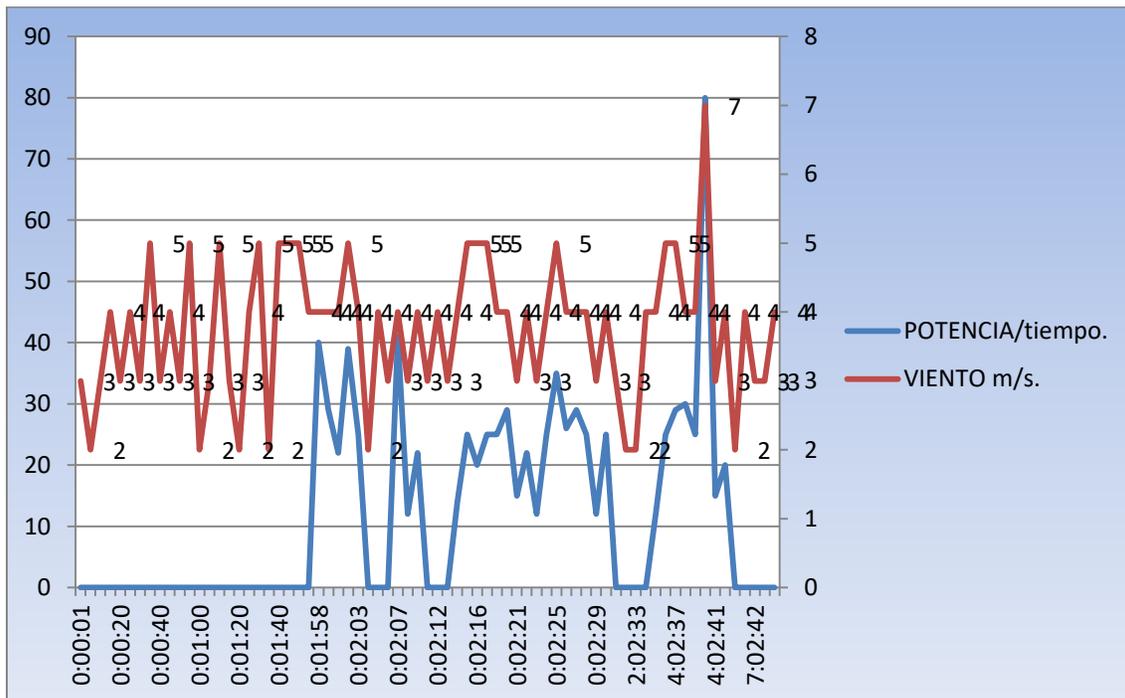


Figura N° 21: Gráfica aerogenerador HEWIND HW50 con valores inestables de generación con respecto al viento en m/s.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página **39** de **42**

12.3. HEWIND HW77 1500KW.

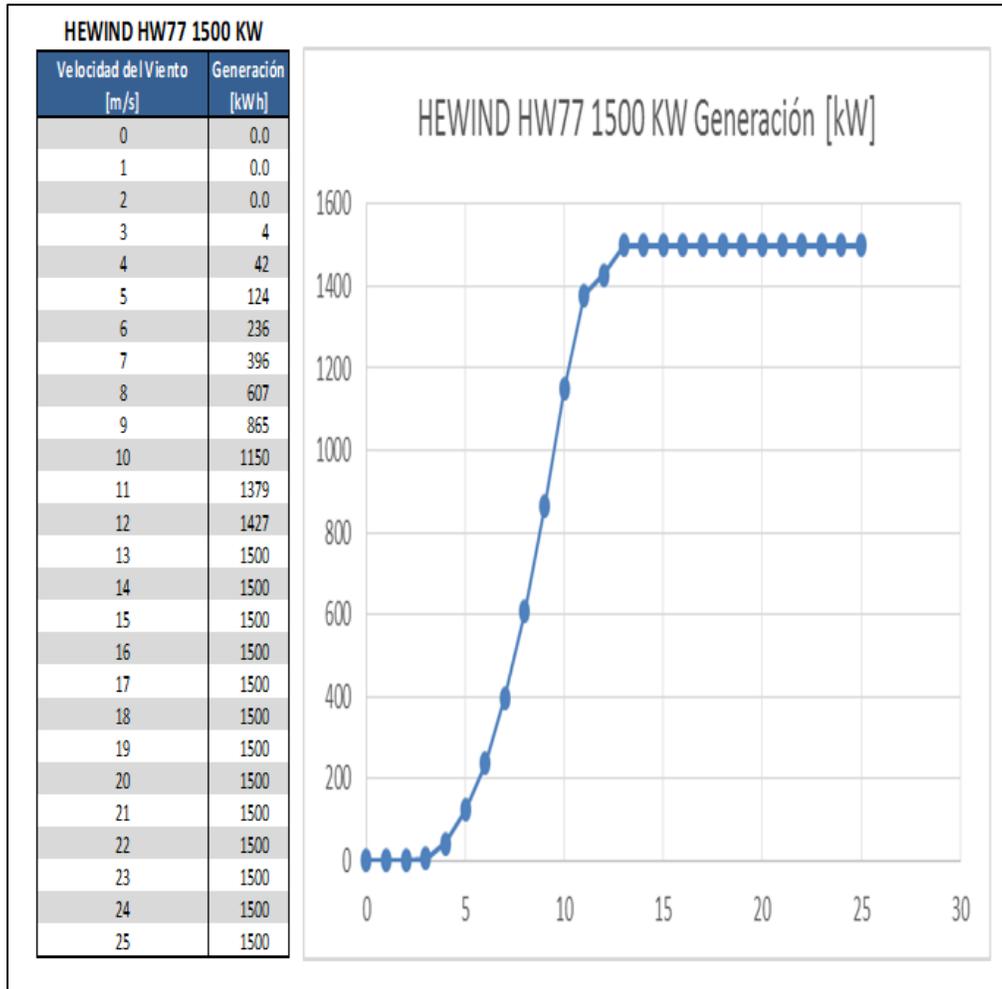


Figura N° 22: Curva viento-potencia y eficiencia del aerogenerador HEWIND HW77.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 40 de 42

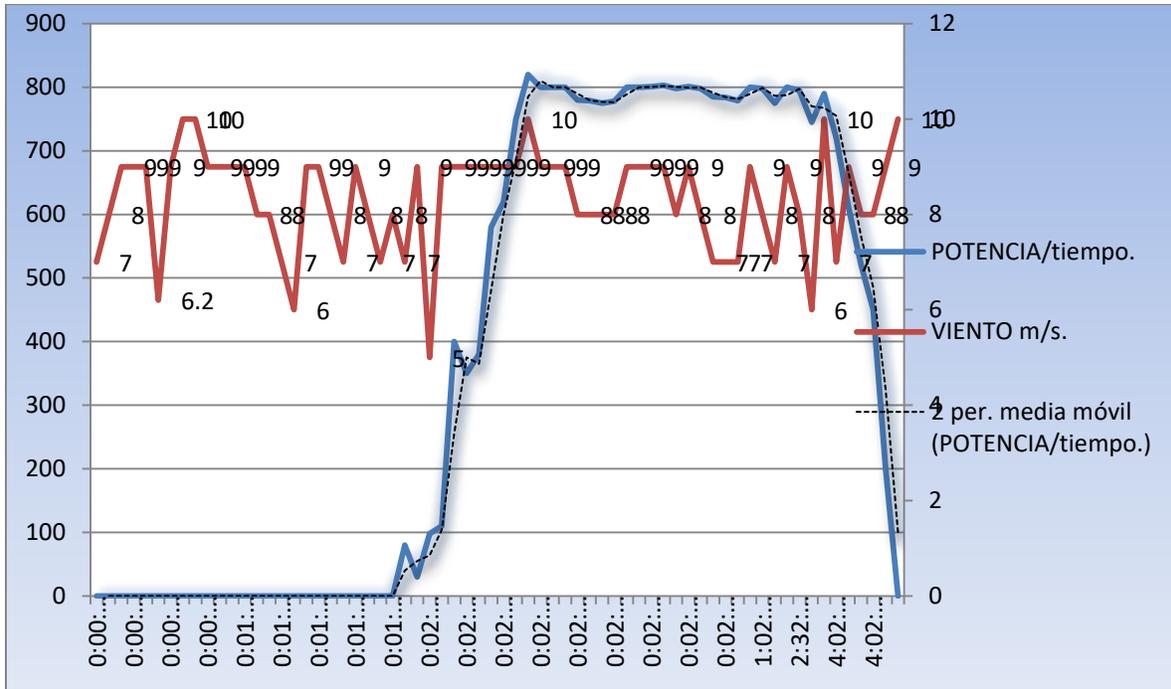


Figura N° 23: Gráfica aerogenerador HEWIND HW77 con valores estables de generación con respecto al viento en m/s.

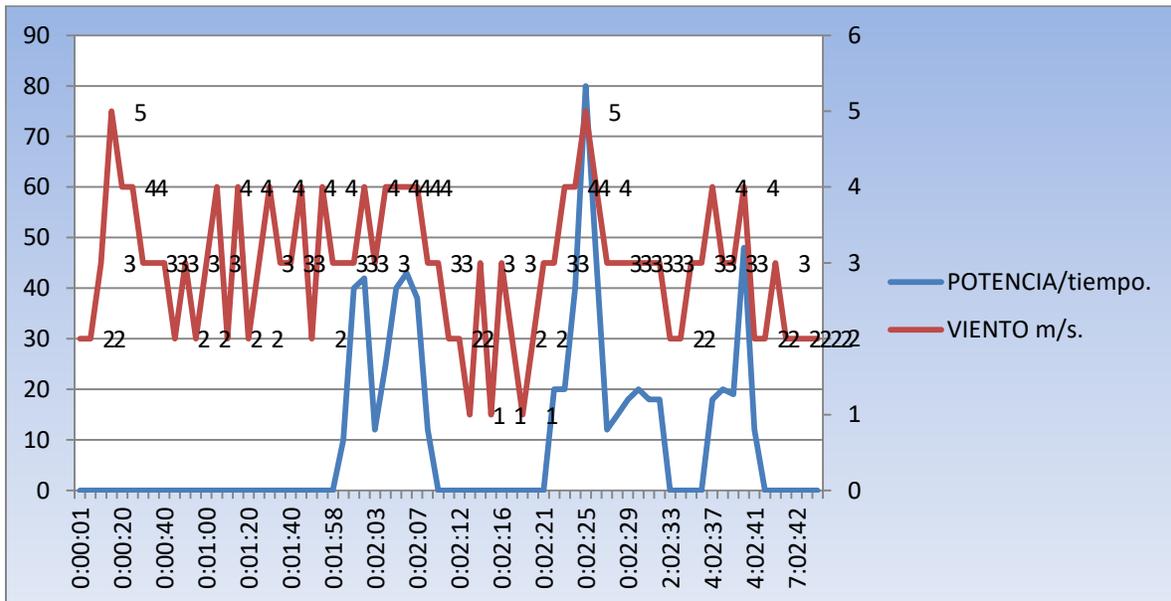


Figura N° 24: Gráfica aerogenerador HEWIND HW77 con valores inestables de generación con respecto al viento en m/s.



DETERMINACIÓN DE MÍNIMO TÉCNICO,
TIEMPOS DE PARTIDA Y DETENCIÓN.

CENTRAL:

Parque Eólico Lebu-Toro.

REV.

FECHA

29-07-2019

Página 41 de 42

12.4. VESTASV66 1750KW.

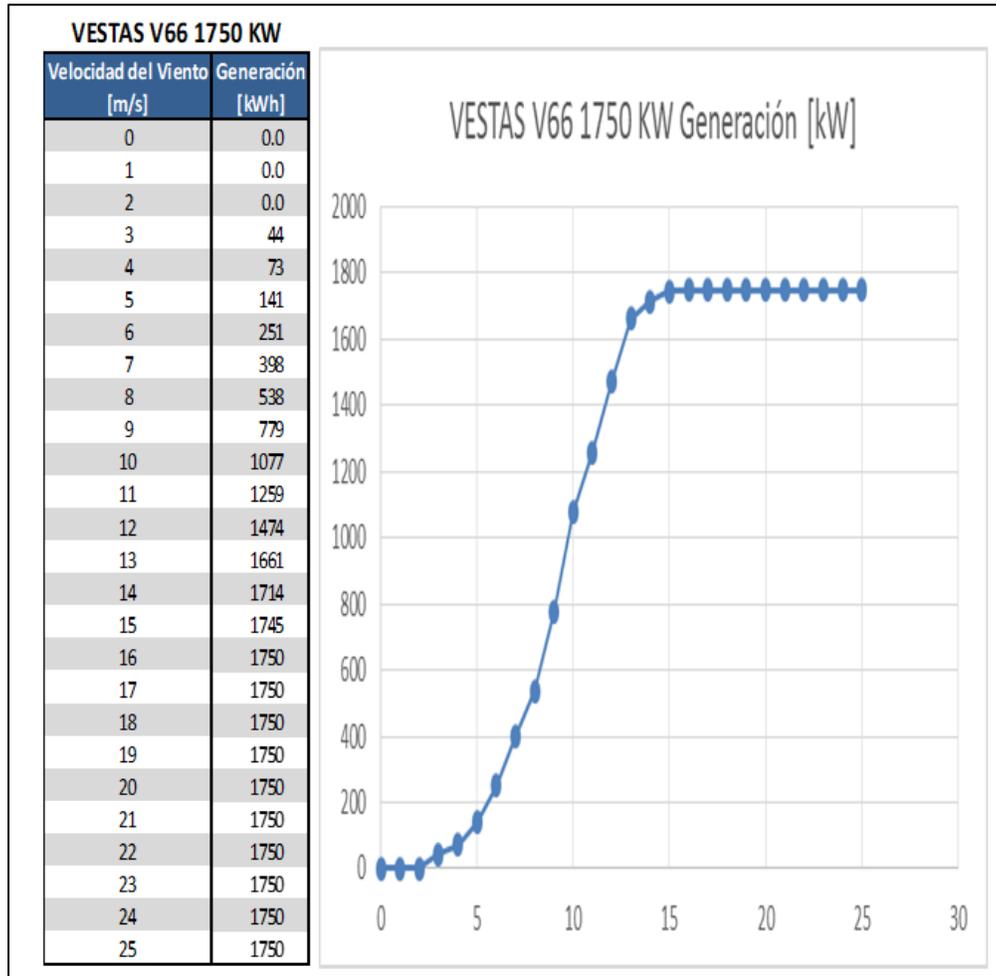


Figura N° 25: Curva viento-potencia y eficiencia del aerogenerador VESTAS V66.

