



LEBU-TORO
PARQUE EÓLICO-CHILE

INFORME TÉCNICO

DETERMINACIÓN POTENCIA MÁXIMA

PARQUE EÓLICO LEBU - TORO

| | | | | |
|-----------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 04 | 2020-07-28 | FBC | OGV | DRS |
| REVISIÓN | FECHA | ELABORADO | REVISADO | APROBADO |

| | | | | |
|---|--|---|--------------------------|---------------|
| PROPIETARIO | | | TIPO DE DOCUMENTO | CÓDIGO |
|  | | | SIN PROCEDIMIENTO | F.B.001.03 |
| TIPO DE COPIA ORIGINAL | | TÍTULO. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MAXIMA (DDPM) | | |
| UNIDAD O ÁREA OPERACIONES | | DESCRIPTOR INFORME TURBINA HE WIND AN BONUS VESTAS | PÁGINAS 24 | |

| | | | |
|---|---|--|----------------------------|
|  | INFORME TÉCNICO DETERMINACIÓN POTENCIA MAXIMA PARQUE EÓLICO - LEBU | CÓDIGO F.B.001.03 | |
| | | REV. <input checked="" type="checkbox"/> | FECHA 02-08-2019 |
| | | Página 2 de 24 | |

TABLA DE CONTENIDOS.

INDICE

| | |
|---|----|
| TABLA DE CONTENIDOS..... | 2 |
| 1. RESUMEN EJECUTIVO | 3 |
| 2. NORMATIVA SOBRE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA..... | 3 |
| 3. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO PARQUE LEBU- TORO | 4 |
| 4. LOS AEROGENERADORES QUE CONFORMAN EL PARQUE EÓLICO LEBU TORO..... | 5 |
| 5. ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL DISEÑO DE LOS GENERADORES Y TRASFORMADORES EÓLICO LEBU-TORO. ... | 7 |
| TURBINAS AN BONUS 600 KW | 7 |
| HEWIND 50/780 KW | 9 |
| VESTAS V66/1750 KW | 10 |
| HEWIND HW 77/1500 KW | 12 |
| 6. DESCRIPCIÓN DE COMPORTAMIENTOS | 15 |
| 7. CONSIGNAS DE POTENCIA ACTIVA | 17 |
| 8. CÁLCULO DE POTENCIA NETA PARQUE EÓLICO LEBU TORO | 19 |
| 9. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA CONJUNTA DE PARQUE EÓLICO LEBU | 22 |
| 10. CONCLUSIÓN | 24 |



INFORME TÉCNICO
DETERMINACIÓN POTENCIA MAXIMA
PARQUE EÓLICO - LEBU

CÓDIGO

F.B.001.03

REV.

FECHA

02-08-2019

Página 3 de 24

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe tiene por finalidad establecer el valor de potencia máxima del Parque Eólico Lebu-Toro en función de la operación y mediciones de recursos eólicos de, acuerdos de criterios establecidos en los anexos técnicos: Pruebas de potencia máxima en las unidades generadoras establecidas.

Se determinó que el valor de potencia máxima total de la central, al considerar la potencia nominal de todas sus turbinas, es igual a 10.04 MW. Al comprobar este valor, de manera empírica, se llegaron a los resultados mostrados en la tabla a continuación, en donde se señala una potencia máxima bruta de 10.045 MW. Cabe señalar que estos resultados se obtuvieron con registros de promedios horarios.

| Central/Unidad | Potencia Máxima Bruta [MW] | SS.AA. ⁽¹⁾ [MW] | Pérdidas en la central ⁽²⁾ [MW] | Potencia Máxima Neta Leída ⁽³⁾ [MW] |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|--|
| Parque Eólico Lebu | 10.045 | 0.065 | 0.640 | 9.34 |

(1) Este valor corresponde 13,5 kW de consumos propios del parque y a 51.17 kW de S.S.A.A.

(2) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector (576,65 kW) y en el transformador de poder de la central (63,6 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.

2. NORMATIVA SOBRE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

El Anexo Técnico de Pruebas de Potencia Máxima en unidades generadoras, establece en su Título VIII, Artículo 39, que las unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación, el valor de Potencia Máxima debe ser obtenido en función de registros de operaciones y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de esas tecnologías.

El Informe Técnico que respalda el valor de Potencia Máxima, consiste en un documento que debe especificar las metodologías, cálculos utilizados y todos los antecedentes y aspectos técnicos que fueron utilizados para el valor de Potencia Máxima informado.



INFORME TÉCNICO
DETERMINACIÓN POTENCIA MAXIMA
PARQUE EÓLICO - LEBU

CÓDIGO

F.B.001.03

REV.

FECHA

02-08-2019

Página 4 de 24

3. ANTECEDENTES TÉCNICOS DE DISEÑO PARQUE LEBU- TORO

El Parque Eólico Lebu- Toro Este está compuesto por 2 aerogeneradores modelo HE-WIND de 1500 [kW] de potencia nominal, 3 aerogeneradores modelo HE-WIND 780 [KW] potencia nominal, 2 aerogeneradores modelo AN-BONUS 600[KW] potencia nominal, 2 aerogeneradores modelo VESTAS v66 1750 [KW] potencia nominal. Los que totalizan una potencia bruta declarada en planta de 10.040 [KW]. Estos aerogeneradores se vinculan a la red interna del parque de 13,2 [kV] a través de transformadores de 0,69/13,2 [kV] instalados en cada aerogenerador. La red interna del Parque Eólico Lebu-Toro está compuesto por 1 circuito troncal en 13,2 [kV] con dirección a subestación Lebu donde se eleva desde 13,2/66 KV y así evacuando finalmente su energía hacia las empresas de transmisión y distribución de energías correspondiente. El diagrama unilineal, adjunto a este informe, da a conocer la distribución de las turbinas aerogeneradoras eólicas y su respectiva ubicación distribución.

4. LOS AEROGENERADORES QUE CONFORMAN EL PARQUE EÓLICO LEBU TORO

Son del tipo asincrónico, doblemente alimentado (DFIG) de 4 polos, de rotor bobinado y anillos rozantes. Además, se cuenta con un equipo convertidor de potencia. El estator se conecta directamente a la red y el rotor a uno de los lados del convertidor (inversor), estando el otro lado (rectificador) conectado a la red. Mediante esta configuración se logra que no existan corrientes peak al momento de la conexión a la red del aerogenerador, existe un control de potencia activa y reactiva continua y el rango de velocidad de funcionamiento es muy amplio, desde velocidades por debajo de la velocidad de sincronismo hasta velocidades por sobre la velocidad de sincronismo.

Con respecto al convertidor electrónico de potencia, éste garantiza en todo momento un modo de funcionamiento síncrono con respecto a la red. La tensión y frecuencia inducida en el estator coinciden en todo momento con las mismas variables de la red. Si la tensión o frecuencia de línea varían, las del estator del generador lo hacen en el mismo sentido y proporción con el comportamiento del convertidor en su conexión con la red.

También contamos con 5 generadores con motores síncronos que su principal funcionamiento, es crear tensión inducida en el circuito del estator, debemos crear un campo magnético en el rotor o circuito de campo, esto lo lograremos alimentando el rotor, este campo magnético inducirá una tensión en el devanado de armadura por lo que tendremos una corriente fluyendo a través de él, en nuestro caso es suministrada por la aplicación de un torque y por la rotación del eje de la misma, una fuente de energía mecánica en la turbina eólica.

Uno de los generadores eólicos de velocidad variable es utilizado es el generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). Más adelante se presenta un esquema de control del DFIG. El convertidor de potencia del lado de la red es modelado y controlado usando el vector de tensión orientado a los ejes, lo que garantiza que con la componente del eje de la corriente se pueda controlar la potencia activa y, por consiguiente, la tensión del bus DC. La componente del eje "q" es forzada a cero para mantener un factor de potencia unitario. En el convertidor del lado del rotor se utiliza un control orientado al flujo del estator. Para la sincronización con la red se utiliza un método novedoso basado en el método GDSC-PLL.

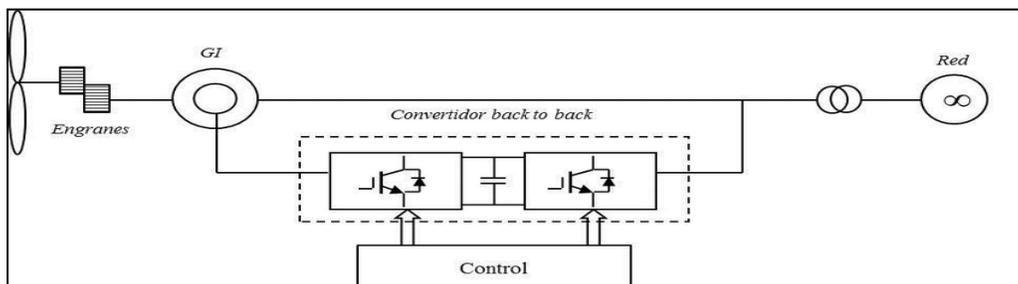


Figura N° 1: Método GDSC-PLL

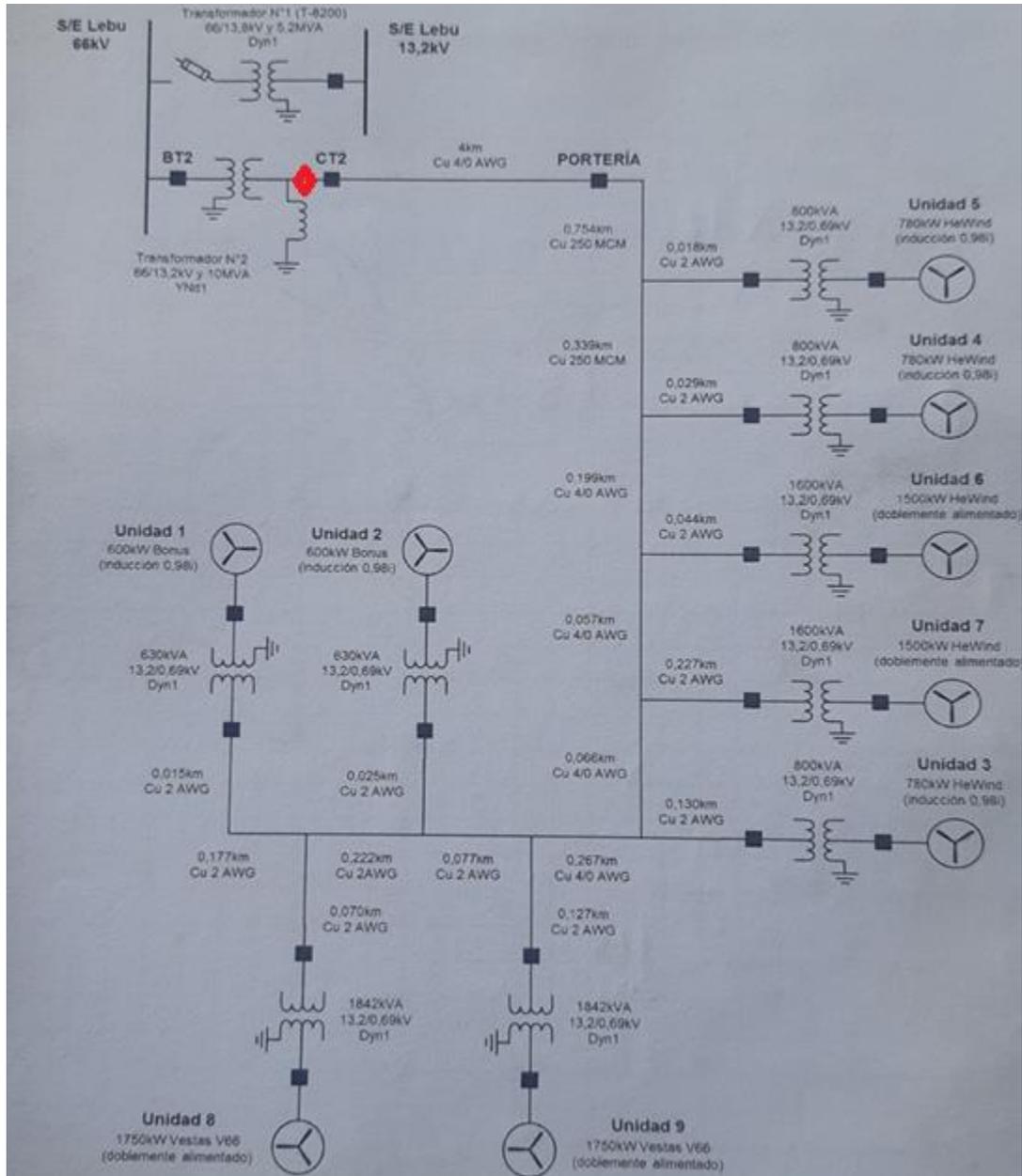


Figura N° 2: Diagrama unilineal de la distribución final de Parque Eólico Lebu

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

5. ANTECEDENTES TÉCNICOS DEL DISEÑO DE LOS GENERADORES Y TRASFORMADORES EÓLICO LEBU-TORO.

TURBINAS AN BONUS 600 KW

El parque eólico Lebu-Toro está compuesto por 2 aerogeneradores AN BONUS 600 KW, con una inducción de 0,988 (i) y un transformador individual de 630KVA 13,2/0,69KV Dyn1

Es un generador asíncrono de tipo jaula de ardilla con doble bobinado, con buena estabilidad en generación tanto en vientos bajos como en vientos altos en su nominal en corriente 124/557 A.

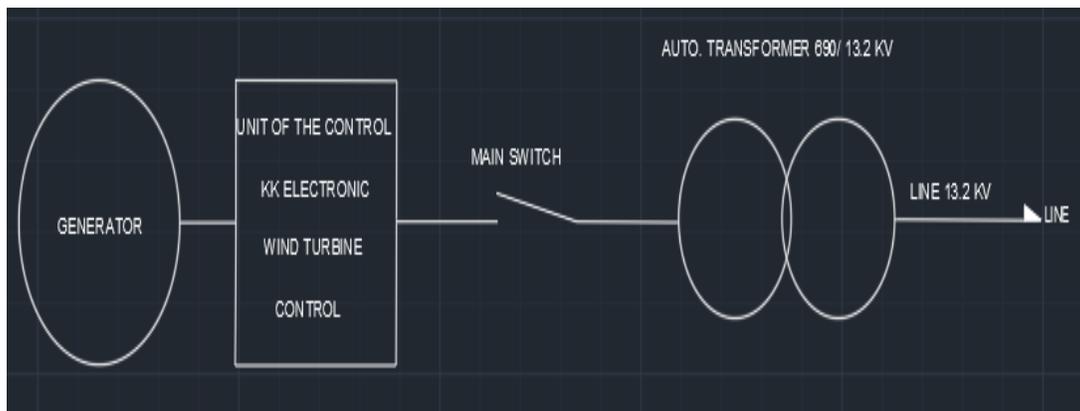


Figura N° 3: Esquema de generación AN BONUS.

Tabla 1: Tabla de datos Generador AN BONUS

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Tipo: | Asíncronos |
| Numero por generador: | 1 |
| Velocidad, máx.: | 1,500.0 U/min |
| Voltaje: | 690.0 V |
| Conexión a la red | Thyristor |
| Frecuencia de la red: | 50 Hz |
| Fabricante: | ABB M2BG 400 XL 4/6 |

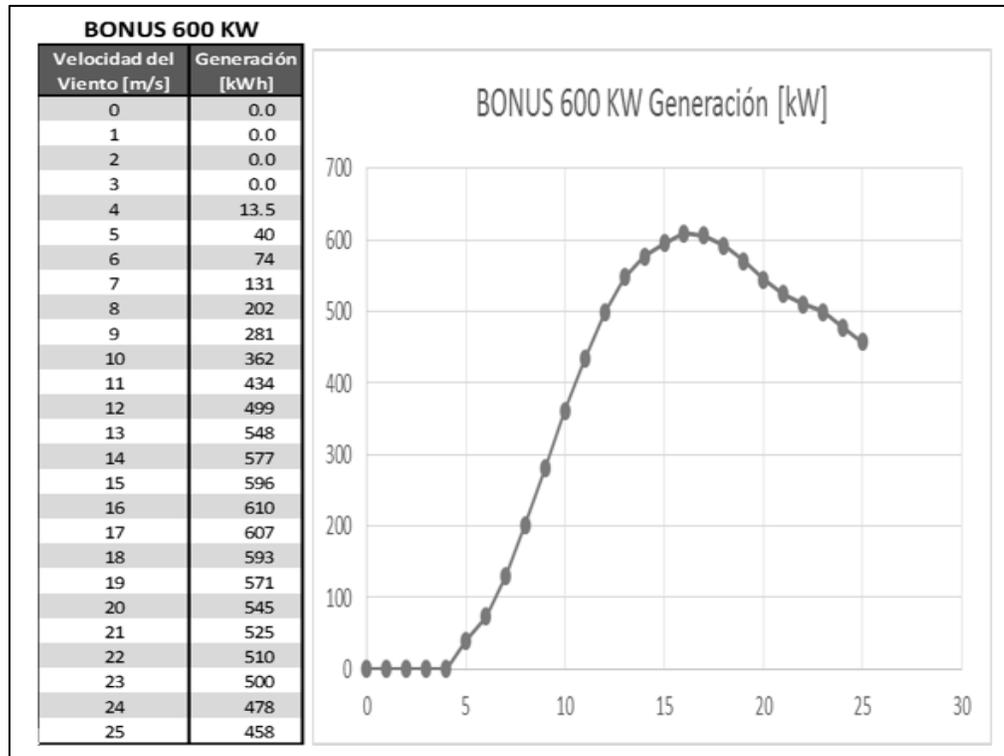


Figura N° 4: Gráfico de generación de AN BONUS

HEWIND 50/780 KW

El parque eólico Lebu-Toro está compuesto por 3 aerogeneradores HEWIND 50/ 780 KW, con una inducción de 0,98 (i) y un transformador individual de 800KVA 13,2/0,69KV Dyn1

Es un generador asíncrono de tipo jaula de ardilla con doble bobinado, con buena estabilidad en generación en vientos fijos.

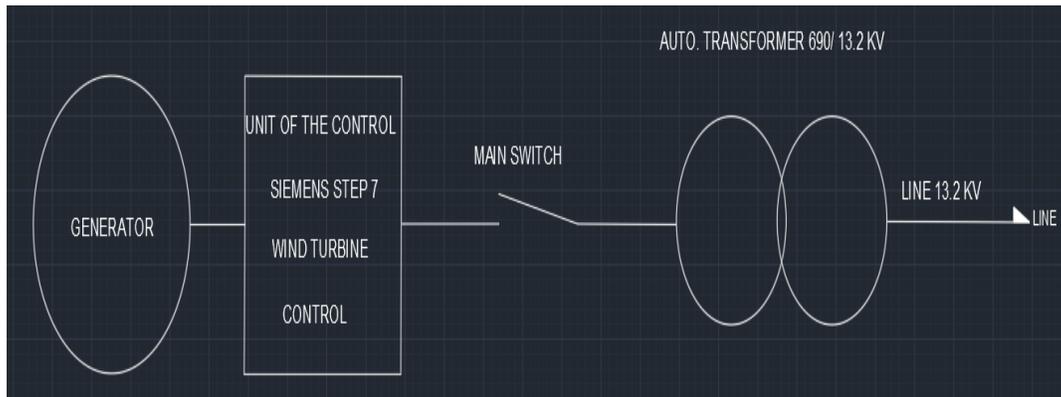


Figura N° 5: Esquema de generación HEWIND 50/780kw

Tabla 2: Tabla de datos Generador HE WIND 50/780 kW

| | |
|------------------------|--------------|
| Fabricación | HEWIND china |
| Turbina | Hw50780 KW |
| Potencia | 780 KW |
| Diámetro | 50m |
| Clase de viento | IEC Ia |
| Área de barrido | 1964 m2 |
| Densidad de potencia | 2,52 m2/W |
| Limitación de Potencia | Stall |

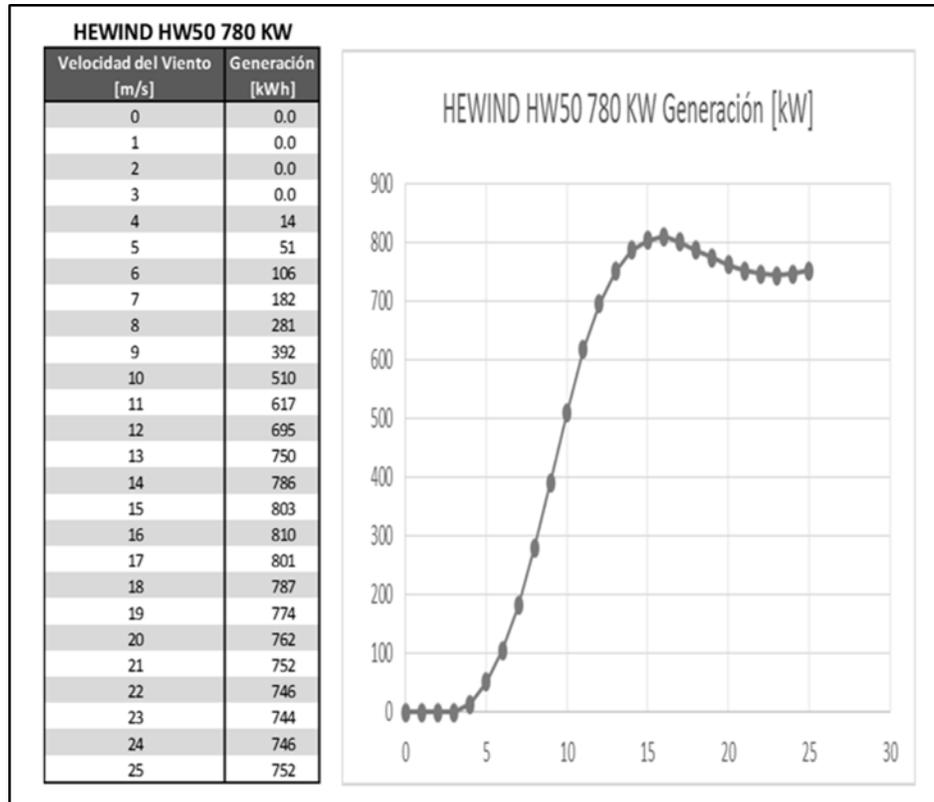
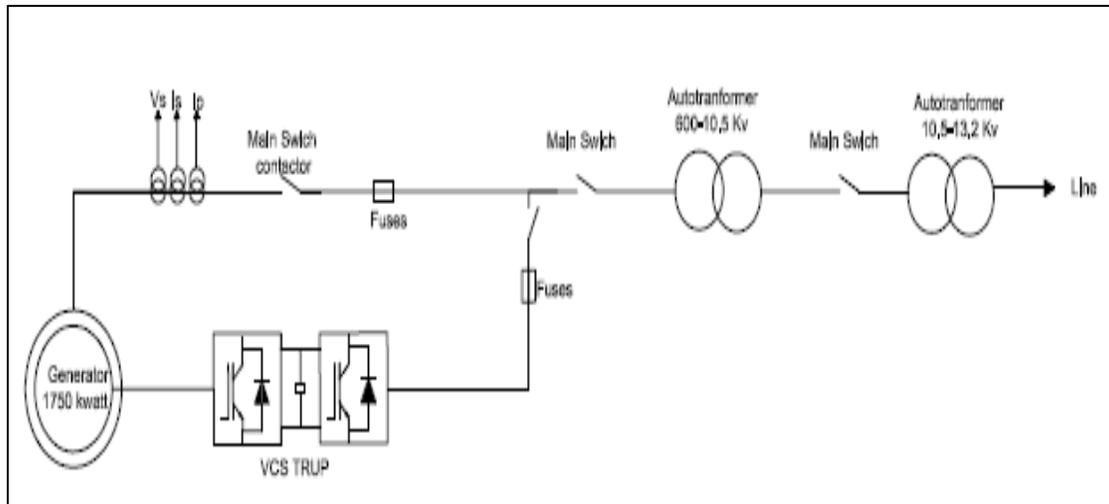


Figura N° 6: Gráfico de generación de HE WIND 50/780kw

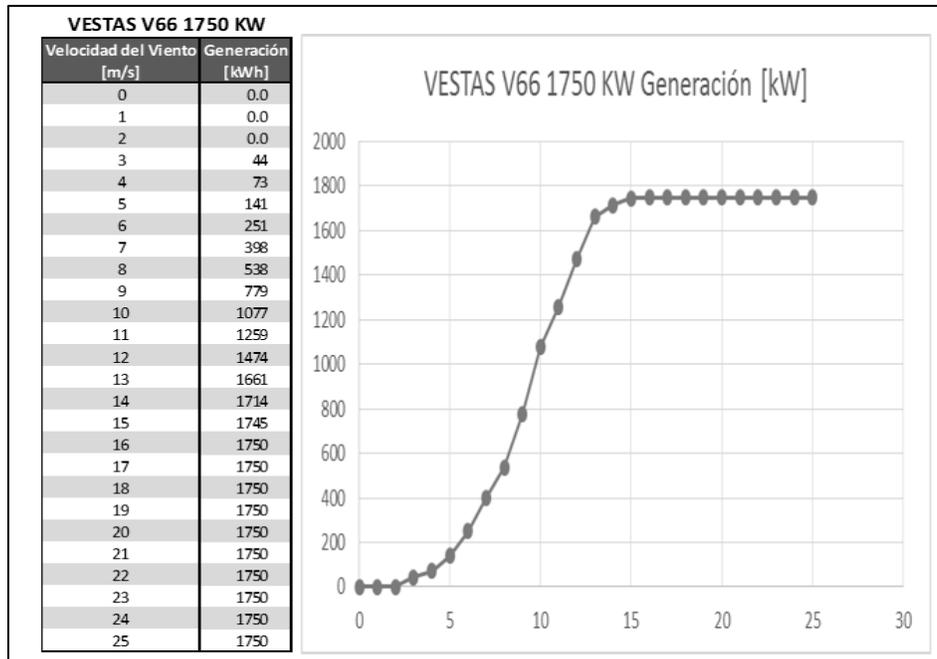
VESTAS V66/1750 KW

El parque eólico Lebu-Toro está compuesto por 2 aerogeneradores VESTAS V66 V66/1750 KW doblemente alimentado, con una inducción de 0,98 (i) y un transformador individual de 1842KVA 13,2/0,69KV Dyn1

Es un generador de inducción de rotor bobinado con conexión directa a la red, al igual así el estator con función de regulación de potencia por un sistema de ángulos regulables por pitch.

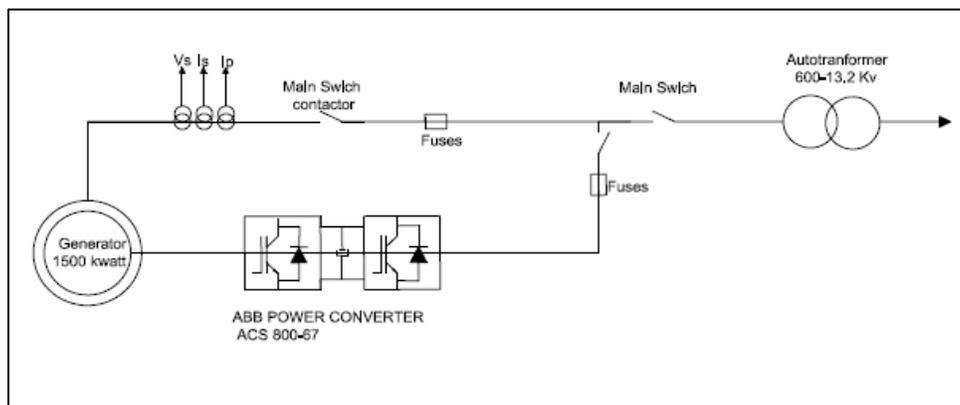

Figura N° 7: Esquema de generación VESTAS V66/1750 KW
Tabla 3: Tabla de datos Generador VESTAS V66/1750 KW

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Tipo generador Leroy Sommer | IND Tención 690 V |
| Diámetro | 66 m |
| Puesta en marcha | 1999 |
| Área barrida | 3421.2 m ² |
| Densidad de potencia | 1.95 m ² / kW |
| Velocidad máxima | 24,4 rd / min. |
| Potencia nominal | 1750 kW |


Figura N° 8: Gráfico de generación de VESTAS V66/1750 KW

HEWIND HW 77/1500 KW

El parque eólico Lebu-Toro está compuesto por 2 aerogeneradores HEWIND HW 77/1500 KW doblemente alimentado, con una inducción de 0,98 (i) y un transformador individual de 1842KVA 13,2/0,69KV Dyn1, con regulación de pitch variable.


Figura N° 9: Esquema de generación de HEWIND 1500 KW

| GENERADOR | |
|---|--|
| Type Description | Double fed asynchronous with wound rotor, slip rings and converter control |
| Rated Power (PN) | 1550 Kw |
| Frequency | 50 Hz |
| Voltage, Generator | 690 Vac |
| Voltage, Converter | 690 Vac |
| Number of Poles | 4 |
| Winding Type (Stator/Rotor) | Form/Form |
| Winding Connection, Stator | Star/Delta |
| Rated Efficiency (generator only) | 96.5 % |
| Power Factor, default (cos) | 1.0 |
| Weight | About 7400 kg |
| Generator Bearing - Temperature | 2 Pt100 sensors |
| Per phase in the hot spots of the stator | 2 Pt100 sensors |
| Cooling air outlet | 1 Pt100 sensors |
| Space heater | Yes |

Figura N° 10: Características de generador HE WIND 1500 KW

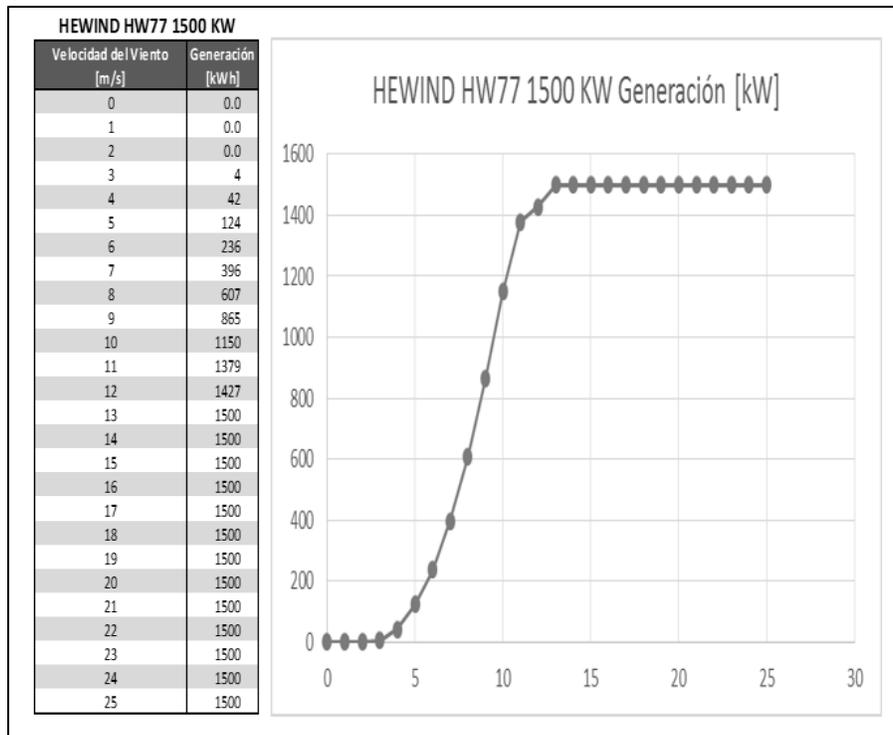
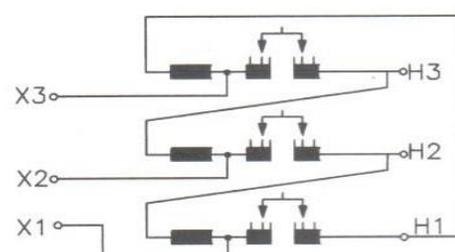
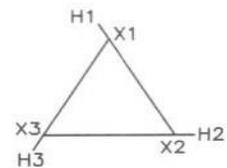


Figura N° 11: Gráfico de generación de HE WIND 1500 KW

TRANSFORMADOR

| | | | |
|--------------------|--|------------------------|--|
| N° DE SERIE | <input type="text" value="77796"/> | FRECUENCIA | <input type="text" value="50 HZ"/> |
| DISEÑO | <input type="text" value="3.2100.ATB1"/> | TENSION PRIMARIA | <input type="text" value="10750 V"/> |
| AÑO DE FABRICACION | <input type="text" value="2014"/> | TENSION SEC. EN VACIO | <input type="text" value="13200 V"/> |
| KVA | <input type="text" value="2100"/> | CORRIENTE PRIM. (ONAN) | <input type="text" value="112,8 A"/> |
| REFRIGERACION | <input type="text" value="ONAN"/> | CORRIENTE SEC. (ONAN) | <input type="text" value="91,9 A"/> |
| ELEV. TEMP. | <input type="text" value="65 °C"/> | CONEXION | <input type="text" value="DELTA EXTENDIDA"/> |
| ALTITUD (M.S.N.M.) | <input type="text" value="1000"/> | IMPEDANCIA A 75 °C | <input type="text" value=""/> |
| FASES | <input type="text" value="3"/> | BIL (MT/AT) | <input type="text" value="110/110 KVp"/> |
| AISLANTE | <input type="text" value="ACEITE"/> | | |





NOTA : _ENROLLADOS DE COBRE

| CAMB. POS. | SECUNDARIO VOLTS | 2100 KVA AMPERES |
|------------|------------------|------------------|
| 1 | 13860 | 87,5 |
| 2 | 13530 | 89,6 |
| 3 | 13200 | 91,9 |
| 4 | 12870 | 94,2 |
| 5 | 12540 | 96,7 |

| | |
|------------------------|---------------------------------------|
| PESO NUCLEO Y BOBINAS | <input type="text" value="1100 KG."/> |
| PESO ESTANQUE Y ACCES. | <input type="text" value="570 KG."/> |
| PESO ACEITE | <input type="text" value="530 KG."/> |
| VOLUMEN ACEITE | <input type="text" value="605 LTS."/> |
| PESO TOTAL | <input type="text" value="2200 KG."/> |

SCHAFFNER S.A.

SANTIAGO - CHILE

Figura N° 12: Placa especificaciones técnicas, transformadores implementados en cada unidad de aerogenerador.

6. DESCRIPCIÓN DE COMPORTAMIENTOS

Con respecto a la curva de viento potencia del aerogenerador AN - BONUS 600 y HEWIND 780, dado el emplazamiento del parque, se distinguen curvas viento potencia, dada una estacionalidad diferente entre la constancia de viento en que la densidad del aire varía ligeramente. Para el caso de condiciones, los aerogeneradores con sistema de *tips* función fija, la generación es más inestable considerando un valor de densidad de aire de 1,292 Kg/m³, mientras que en condiciones con el sistema *pitch controller*, en los diagramas se muestran las curvas de viento potencia de los aerogenerador VESTAS V66 / HE-WIND 1500, en los cuales el aerogenerador comienza a generar energía a partir de una velocidad de viento de 3 [m/s], lo cual corresponde a una potencia mínima de 24 [kW]. De 3 a 4 [m/s] llega a una mayor estabilidad de generación manteniéndose en sistema constante.



Figura N° 13: Gráfico viento m/s durante 24 hrs (Como ejemplo se toma el día 20-07-19)

En la Figura N° 14 a continuación se observa la generación en función de la velocidad del viento.

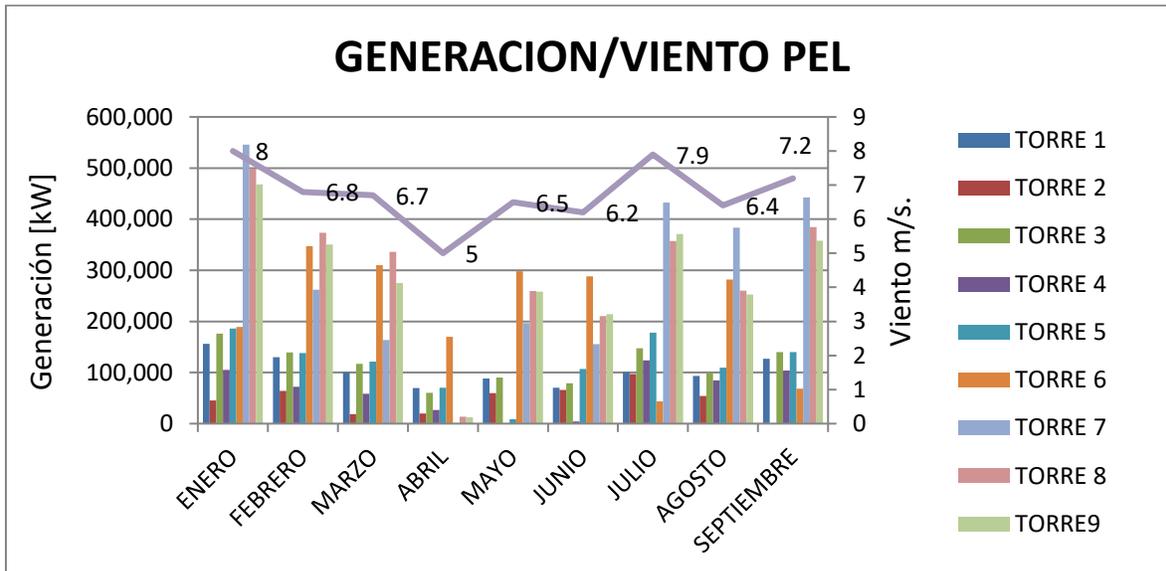


Figura N° 14: Gen Turbinas vs Velocidad de Viento (m/s), Parque Eólico Lebu

Con el fin de observar el comportamiento de la central en su totalidad (los 9 aerogeneradores operando), en la Figura N° 15 a continuación se muestra la potencia horaria medida, en función de la velocidad de viento (los datos se encuentra en el anexo "Velocidades de viento PEL 2017-abr2020 y generación.xlsx"). En el gráfico se observa la clara correlación de estos valores.

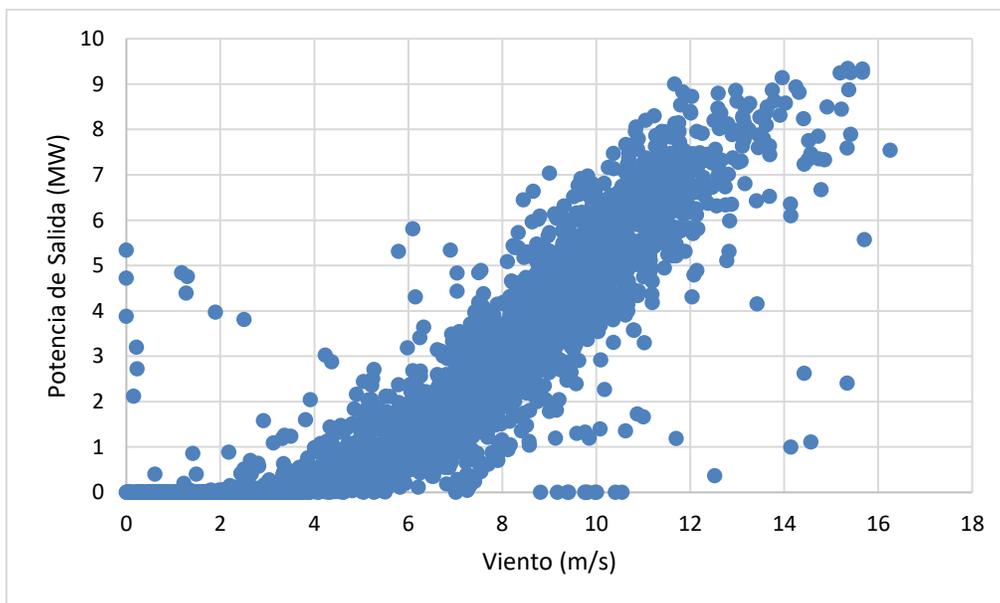


Figura N° 15: Gen Turbinas vs Velocidad de Viento (m/s), Parque Eólico Lebu

| | | | |
|---|--|---|---------------------|
|  | INFORME TÉCNICO DETERMINACIÓN POTENCIA MAXIMA PARQUE EÓLICO - LEBU | CÓDIGO F.B.001.03 | |
| | | REV. <input checked="" type="checkbox"/> | FECHA 02-08-2019 |
| | | Página 17 de 24 | |

7. 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° 16 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.

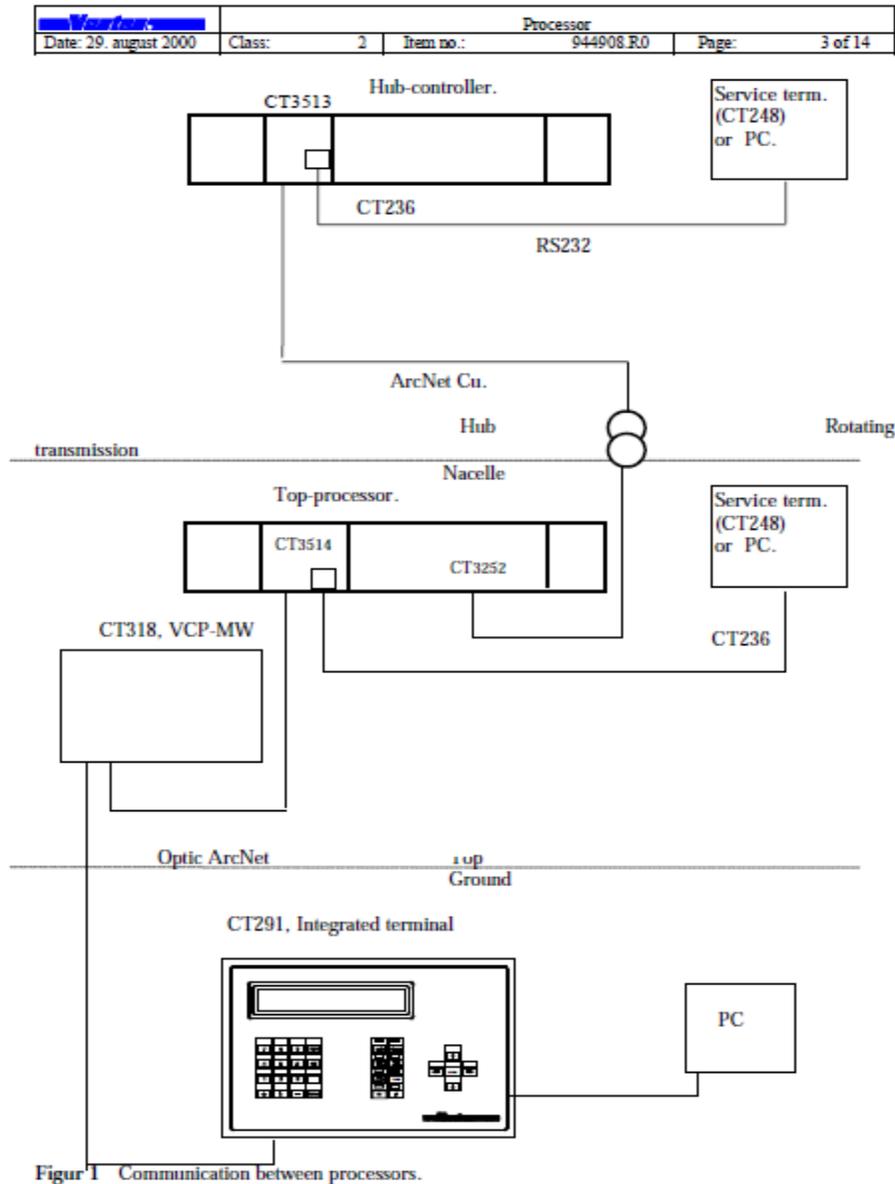


Figura N° 16: Esquema de control Turbinas VESTAS

- **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.



8. CÁLCULO DE POTENCIA NETA PARQUE EÓLICO LEBU TORO

Consumos propios de los aerogeneradores, considerando un factor de planta del 26%, se estima un promedio de 1,5 [kW] por aerogenerador, totalizando un consumo sistémico de 13,5 [kW], lo que representa el 0.04% de la potencia bruta de la planta. Por otro lado, la potencia activa total de consumos de S.S.A.A corresponden a 51.17 [kW], totalizando de esta manera un consumo propio de 64.67 [kW] lo que corresponde al 0.08% de la potencia bruta del parque. Adicionalmente, las pérdidas óhmicas en cables y transformadores del parque se estiman en aproximadamente 640.25 [kW]. De esta manera, la potencia neta máxima del parque eólico Lebu - Toro en el punto de conexión al sistema corresponde al siguiente valor:

- **Potencia bruta Máxima: 10.040 [kW]**

Esta es la potencia nominal máxima que generamos con las 9 turbinas por sobre los 15m/s de viento

Tabla 4: Potencia nominal de unidades PEL

| Unidad | Turbina | Potencia Máxima por turbina [kW] | Potencia Nominal por Turbina [kW] |
|-------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | VESTAS V66. | 1,750 + 5%. | 1,750 |
| 1 | VESTAS V66. | 1,750 + 5%. | 1,750 |
| 1 | HEWIND | 1,500 + 5%. | 1,500 |
| 1 | HEWIND | 1,500 + 5%. | 1,500 |
| 1 | HEWIND HW50 | 780 + 5%. | 780 |
| 1 | HEWIND HW50 | 780 + 5%. | 780 |
| 1 | HEWIND HW50 | 780 + 5%. | 780 |
| 1 | BONUS | 600 + 5%. | 600 |
| 1 | BONUS | 600 + 5%. | 600 |
| 9 turbinas | Total | 10,040 + 5%. | 10,040 |

La potencia nominal, es la potencia máxima que demanda una maquina o aparato en condiciones de uso normales; esto quiere decir que el aparato está diseñado para soportar esa cantidad de potencia, sin embargo debido a fluctuaciones en la corriente, al uso excesivo o continuo, o en situaciones de uso distintas a las del diseño, la potencia real puede diferir de la nominal, siendo más alta o más baja. La potencia máxima de las turbinas de Parque Eólico Lebu fluctúa debido a las ráfagas de vientos bruscos, sin embargo superan su potencia nominal en no más de un 5% de su potencia nominal.

- **Potencia total de consumo: 51.17 [kW]**

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° 2. 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.

Tabla 5: Registros de medida del 11 de octubre de 2019

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

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 anteriormente, PEL 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.

Tabla 6: Energía total por SSAA, central Parque Eólico Lebu

| 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 | - |



- **Pérdidas en el transformador de poder, 63.6 [kW]**

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° 2 , 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.

Tabla 7: Parámetros del transformador 66/13.8 kV, SE Lebu

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

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

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

Debido a que la potencia máxima del parque se estima en 9,955 [kW] (en el lado de BT del transformador), las pérdidas del transformador, en operación a potencia máxima, son equivalentes a 63.6 [kW].

- **Pérdidas en el sistema colector, 576.65 kW**

Para calcular las pérdidas del sistema colector se realizaron dos estimaciones, las pérdidas en los arranques de cada una de las turbinas, y las pérdidas óhmicas en los conductores entre los arranques y la subestación Lebu.

- 1) En la tabla Tabla 8 a continuación se muestran las longitudes de los arranques, la resistencia de estos, la potencia de las turbinas conectadas a cada uno de ellos, y las pérdidas estimadas considerando una operación a potencia nominal de estas.

Tabla 8: Pérdidas en el sistema colector, arranques

| N° Turbina | 1 | 8 | 2 | 9 | 3 | 7 | 6 | 4 | 5 |
|--------------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Largo arranques (m) | 15 | 70 | 15 | 95 | 130 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Resistencia 3x2 AWG(ohm) | 0.0102 | 0.0477 | 0.0102 | 0.0648 | 0.0886 | 0.0102 | 0.0102 | 0.0102 | 0.0102 |
| Potencia Turbina (kW) | 600 | 1750 | 600 | 1750 | 780 | 1500 | 1500 | 780 | 780 |
| Corriente (A) | 26.24 | 76.54 | 26.24 | 76.54 | 34.12 | 65.61 | 65.61 | 34.12 | 34.12 |
| Pérdidas (W) | 21.13 | 838.80 | 21.13 | 1,138.38 | 309.47 | 132.06 | 132.06 | 35.71 | 35.71 |

| | |
|------------|------|
| Total (kW) | 2.66 |
|------------|------|

- 2) Las pérdidas en los conductores al interior de la central sumaron un total de 573,98 kW, el cálculo de este valor se detalla en la planilla adjunta "Cálculo Pérdidas en la Central.xlsx". En la Figura N° 17 a continuación se muestran en rojo los elementos de la central que fueron considerados para el cálculo de estas pérdidas.

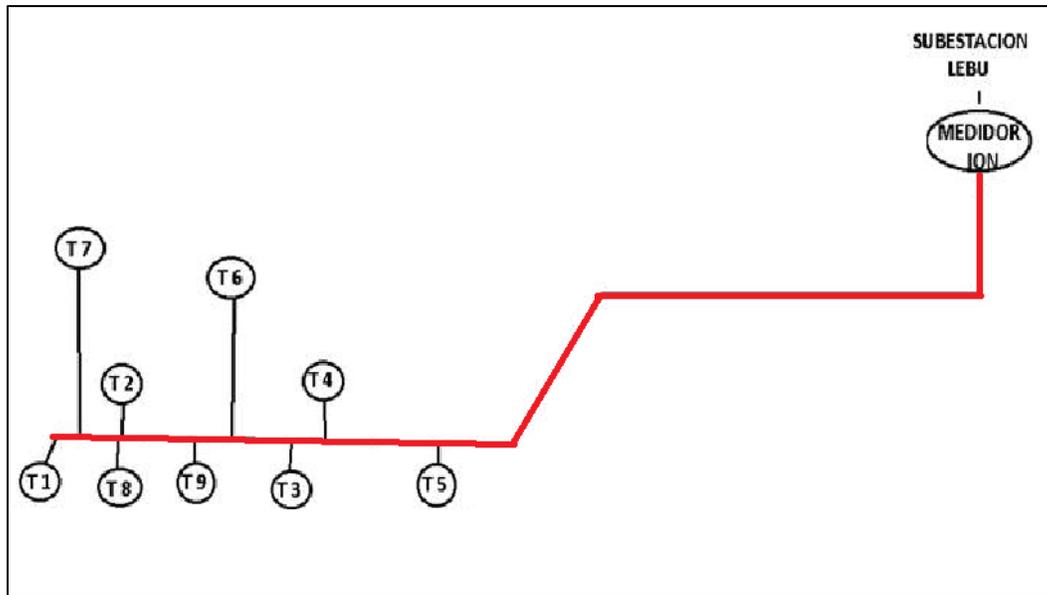


Figura N° 17: Esquema simplificado Central Lebu, conductores en la Central.

Al considerar en conjunto las pérdidas en los conductores de los arranques y las pérdidas de los conductores entre estos arranques y la SE Lebu, se obtiene un total de 576.65 kW. Para el cálculo se consideró a todas las turbinas de la central Parque Eólico Lebu operando a su potencia nominal.

9. DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA CONJUNTA DE PARQUE EÓLICO LEBU

Para obtener un valor empírico de la potencia máxima de la central Parque Eólico Lebu, se analizaron los registros de generación y velocidad de viento desde enero de 2017. Se observa que el máximo de generación (promedio horario) leído fue de 9.34 MW, el cual se obtuvo el 13 de marzo de 2017 a una velocidad de viento de 15.35 m/s. Se adjunta planilla (Velocidades de viento PEL 2017-abr2020 y generación.xlsx) con las velocidades de viento y la potencia horaria en la central Parque Eólico Lebu.

En la Figura N° 18 a continuación, se muestra un día de operación en donde se alcanzaron vientos por sobre los 15 m/s, la potencia registrada en el medidor, en estas condiciones de operación, fue de 9.33 MW. Cabe destacar que los registros de los cuales se dispone son promedios horarios, por lo que es de esperar que no se hayan registrado el máximo de potencia instantáneo alcanzable por la central.

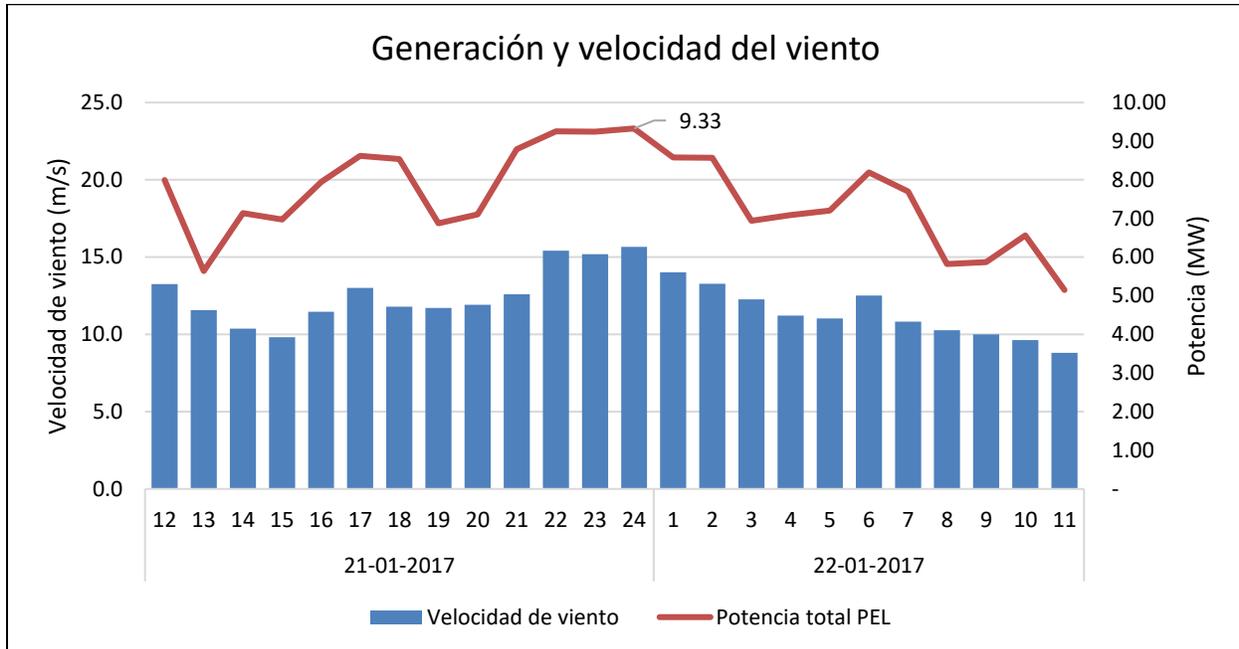


Figura N° 18: Potencia y viento en Central PEL, 21 y 22 de enero de 2017

Al considerar este punto de operación, y las pérdidas descritas en el punto 8 del presente informe, se obtiene la potencia máxima bruta de la central PEL de manera empírica, utilizando la siguiente expresión:

$$10,045 = 9,340 + 13.5 + 51.17 + 63.6 + 576.65 [kW]$$



INFORME TÉCNICO
DETERMINACIÓN POTENCIA MAXIMA
PARQUE EÓLICO - LEBU

CÓDIGO

F.B.001.03

REV.

FECHA

02-08-2019

Página 24 de 24

10. CONCLUSIÓN

De acuerdo a lo expuesto en el presente informe, se concluye que el parámetro de potencia máxima bruta del Parque Eólico Lebu Toro es de 10.040[kW], acorde a la potencia nominal conjunta de las 9 turbinas en operación.

Al comprobar este valor de manera empírica, se obtuvo un valor de potencia de 10.045 MW, lo que equivale a una potencia horaria registrada en el punto de medición de 9.34 MW. En la tabla a continuación se muestran Los principales resultados obtenidos en el presente informe:

| Central/Unidad | Potencia Máxima Bruta [MW] | SS.AA.(1) [MW] | Pérdidas en la central (2) [MW] | Potencia Máxima Neta Leída(3) [MW] |
|--------------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------------------|--|
| Parque Eólico Lebu | 10.045 | 0.065 | 0.640 | 9.34 |

(1) Este valor corresponde 13,5 kW de consumos propios del parque y a 51.17 kW de S.S.A.A.

(2) Este valor corresponde a las pérdidas en el sistema colector (576,65 kW) y en el transformador de poder de la central (63,6 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.

Cabe destacar que los registros de potencia y velocidad de viento fueron registrados como promedios horarios, por lo cual es factible que la central haya operado a una potencia instantánea mayor a la señalada en este informe. Además, se señala que Parque Eólico Lebu no consta con las pruebas de recepción de los aerogeneradores.