



INFORME DE DETERMINACIÓN DE POTENCIA MÁXIMA

Informe Técnico

Preparado para:



Marzo - 2023

A 0777 | R 1097 - 22

TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	3
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	6
REGISTRO DE COMUNICACIONES.....	7
SECCIÓN PRINCIPAL.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Definiciones y nomenclatura.....	8
1.2. Marco Normativo.....	9
1.3. Descripción del parque eólico.....	10
2. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS.....	17
3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS.....	17
4. RESULTADOS OBTENIDOS.....	18
4.1. Ensayo de potencia máxima.....	18
4.1.1 Potencia Neta.....	41
4.1.2 Potencia Bruta.....	41
4.1.3 Potencia de los servicios auxiliares.....	42
4.1.4 Potencia de pérdidas de la central.....	42
4.1.5 Resumen de resultados.....	44
5. CONCLUSIONES.....	46
ANEXO.....	47
1. CURVA POTENCIA – VELOCIDAD DEL AEROGENERADOR.....	47

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Tabla resumen de valores a presentar.	17
Tabla 2. Resumen de resultados – Potencia Máxima, valores medidos.	45
Tabla 3. Resumen de resultados – Potencia Máxima, valores nominales.	45
Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico.	8
Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Llanos del Viento.	10
Gráfico 3. Esquema unilineal de conexión del PE Llanos del Viento.	11
Gráfico 4. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 1, 2 y 3.	12
Gráfico 5. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 4, 5 y 6.	13
Gráfico 6. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 7, 8 y 9.	14
Gráfico 7. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 10 y 11	15
Gráfico 8. Curva de capacidad SG 5.0 -145 de 5 MW.	16
Gráfico 9. Curva de potencia del aerogenerador SG 5.0 – 145 para una densidad del aire de 1.225 kg/m3.	16
Gráfico 10. Potencia máxima en el punto de conexión.	18
Gráfico 11. Diferencia de potencias durante la ventana registrada.	18
Gráfico 12. Velocidad de viento durante la ventana registrada.	19
Gráfico 13. Potencia bruta generada en WTG31.	19
Gráfico 14. Curva potencia velocidad WTG31.	20
Gráfico 15. Potencia bruta generada en WTG32.	20
Gráfico 16. Curva potencia velocidad WTG32.	20
Gráfico 17. Potencia bruta generada en WTG33.	21
Gráfico 18. Curva potencia velocidad WTG33.	21
Gráfico 19. Potencia bruta generada en WTG22.	21
Gráfico 20. Curva potencia velocidad WTG22.	22
Gráfico 21. Potencia bruta generada en WTG27.	22
Gráfico 22. Curva potencia velocidad WTG27.	22
Gráfico 23. Potencia bruta generada en WTG26.	23
Gráfico 24. Curva potencia velocidad WTG26.	23
Gráfico 25. Potencia bruta generada en WTG34.	23
Gráfico 26. Curva potencia velocidad WTG34.	24
Gráfico 27. Potencia bruta generada en WTG35.	24

Gráfico 28. Curva potencia velocidad WTG35.	24
Gráfico 29. Potencia bruta generada en WTG36.	25
Gráfico 30. Curva potencia velocidad WTG36.	25
Gráfico 31. Potencia bruta generada en WTG28.	25
Gráfico 32. Curva potencia velocidad WTG28.	26
Gráfico 33. Potencia bruta generada en WTG29.	26
Gráfico 34. Curva potencia velocidad WTG29.	26
Gráfico 35. Potencia bruta generada en WTG30.	27
Gráfico 36. Curva potencia velocidad WTG30.	27
Gráfico 37. Potencia bruta generada en WTG23.	27
Gráfico 38. Curva potencia velocidad WTG23.	28
Gráfico 39. Potencia bruta generada en WTG24.	28
Gráfico 40. Curva potencia velocidad WTG24.	28
Gráfico 41. Potencia bruta generada en WTG25.	29
Gráfico 42. Curva potencia velocidad WTG25.	29
Gráfico 43. Potencia bruta generada en WTG15.	29
Gráfico 44. Curva potencia velocidad WTG15.	30
Gráfico 45. Potencia bruta generada en WTG18.	30
Gráfico 46. Curva potencia velocidad WTG18.	30
Gráfico 47. Potencia bruta generada en WTG21.	31
Gráfico 48. Curva potencia velocidad WTG21.	31
Gráfico 49. Potencia bruta generada en WTG20.	31
Gráfico 50. Curva potencia velocidad WTG20.	32
Gráfico 51. Potencia bruta generada en WTG19.	32
Gráfico 52. Curva potencia velocidad WTG19.	32
Gráfico 53. Potencia bruta generada en WTG10.	33
Gráfico 54. Curva potencia velocidad WTG10.	33
Gráfico 55. Potencia bruta generada en WTG09.	33
Gráfico 56. Curva potencia velocidad WTG09.	34
Gráfico 57. Potencia bruta generada en WTG07.	34
Gráfico 58. Curva potencia velocidad WTG07.	34
Gráfico 59. Potencia bruta generada en WTG12.	35
Gráfico 60. Curva potencia velocidad WTG12.	35
Gráfico 61. Potencia bruta generada en WTG13.	35

Gráfico 62. Curva potencia velocidad WTG13.	36
Gráfico 63. Potencia bruta generada en WTG14.	36
Gráfico 64. Curva potencia velocidad WTG14.	36
Gráfico 65. Potencia bruta generada en WTG03.	37
Gráfico 66. Curva potencia velocidad WTG03.	37
Gráfico 67. Potencia bruta generada en WTG02.	37
Gráfico 68. Curva potencia velocidad WTG02.	38
Gráfico 69. Potencia bruta generada en WTG01.	38
Gráfico 70. Curva potencia velocidad en WTG01.	38
Gráfico 71. Potencia bruta generada en WTG04.	39
Gráfico 72. Curva potencia velocidad WTG04.	39
Gráfico 73. Potencia bruta generada en WTG05.	39
Gráfico 74. Curva potencia velocidad WTG05.	40
Gráfico 75. Potencia bruta generada en WTG06.	40
Gráfico 76. Curva potencia velocidad WTG06.	40
Gráfico 77. Determinación del consumo de SSAA.	42
Gráfico 78. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos del Viento.	43
Gráfico 79. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Llanos del Viento.	44
Gráfico 80. Despacho en condiciones nominales del PE Llanos del Viento.	45

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CNE	Comisión Nacional de Energía
ERNC	Energía Renovables No Convencional
NTSyCS	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio
NT SSMM	Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio para Sistemas Medianos
PE	Parque Eólico
SET	Subestación Eléctrica
AT	Alta tensión
MT	Media tensión
BT	Baja tensión
ONAN	Oil Natural Air Natural
ONAF	Oil Natural Air Forced
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
RCB	Regulador Bajo Carga
PMU	Power Management Unit

REGISTRO DE COMUNICACIONES

Registro de las actividades, comunicaciones y aprobación de informes.

N°	Fecha dd/mm/año	Preparó	Revisó	Aprobó	Observaciones
1	03/03/2023	FG	FM	FM	Emisión inicial

SECCIÓN PRINCIPAL

1. INTRODUCCIÓN

En el presente informe se exhiben los resultados obtenidos en los ensayos de campo realizados en el Parque Eólico Llanos del Viento, durante el día Jueves 09 de Febrero de 2023, en relación al proceso de determinación de potencia máxima de la planta.

1.1. Definiciones y nomenclatura

En el siguiente gráfico se muestra un sistema equivalente de conexión de un parque eólico, el cual nos permite identificar y definir los siguientes elementos:

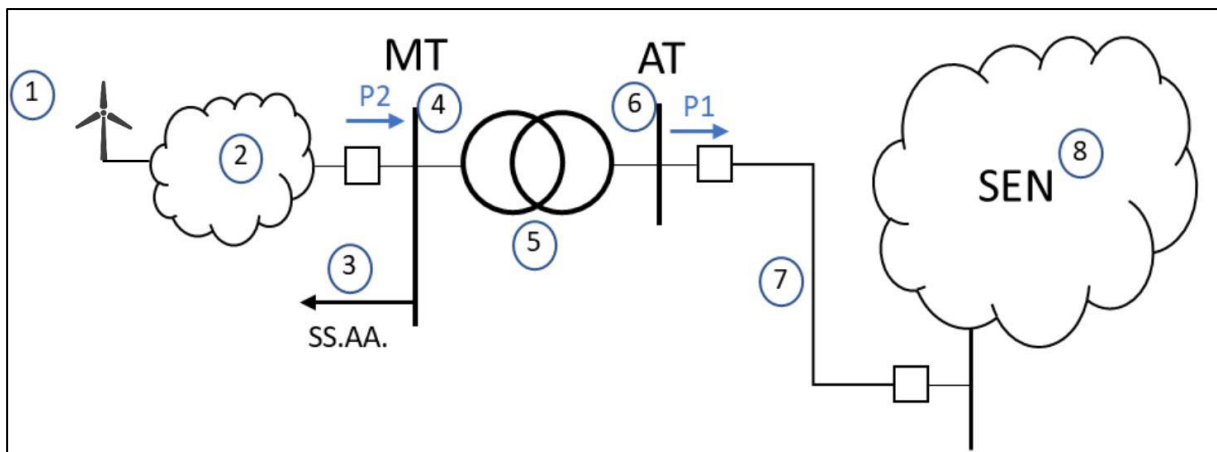


Gráfico 1. Sistema equivalente de un parque eólico.

1) Generador equivalente: Representa la suma de los aportes de potencia activa de los aerogeneradores individuales.

2) Pérdidas en sistema colector del parque (Pcolector): Corresponde a las pérdidas del sistema colector del parque eólico, principalmente en el circuito colector de media tensión, y en los transformadores de bloque de cada aerogenerador.

3) Servicios Auxiliares de la central (SS.AA.): Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la subestación eléctrica de la planta sumados a los servicios auxiliares de los aerogeneradores.

4) Barra de media tensión (MT): Corresponde a la tensión en el lado de baja tensión del transformador de poder del parque eólico.

5) Transformador de Poder: Equipo elevador presente en la subestación de salida del parque eólico.

6) Barra de alta tensión (AT): Corresponde a la tensión en el lado de alta tensión del transformador de poder del parque eólico.

7) Línea dedicada de la central: Línea de alta tensión que vincula el parque eólico con el sistema eléctrico.

8) Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

De acuerdo con las definiciones anteriores se considera la siguiente nomenclatura:

- P1: Potencia activa inyectada en la barra de AT del PE. Este valor corresponde a la Potencia Neta del Parque (P_{net}).
- P2: Potencia activa inyectada en el lado de media tensión del parque.
- P_{bruta}: Suma de los aportes de potencia activa de los aerogeneradores del parque en el lado baja tensión (BT) del parque (en correspondencia con el punto 1 del Gráfico 1).
- P_{perd}: Potencia de pérdidas en la línea de transmisión (ver punto 7 del Gráfico 1).
- P_{trafo}: Pérdidas activas en el transformador de potencia del parque.
- P_{ssa}: Potencia de servicios auxiliares del parque.
- P_{colector}: Pérdidas en el sistema colector del parque (ver punto 2 del Gráfico 1).

1.2. Marco Normativo

Las pruebas realizadas se programaron en base al ANEXO TÉCNICO de la NTSyCS "Pruebas de Potencia Máxima en Unidades Generadoras". En particular es de aplicación el Artículo 39 "Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación" del TÍTULO VIII – CENTRALES CUYA FUENTE ES RENOVABLE NO CONVENCIONAL" al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. En tal sentido, el valor de Potencia Máxima se obtiene a partir de registros de operación y mediciones de los recursos naturales que inciden en la operación de estas tecnologías, especificándose las metodologías, cálculos y todos los antecedentes y aspectos técnicos usados para la obtención de dicho valor.

1.3. Descripción del parque eólico

El PE Llanos del Viento está formado por 32 aerogeneradores marca SIEMENS Gamesa modelo SG 5.0 -145 de 5 MW cada uno, siendo la potencia instalada de 160 MW (32 x 5 MW). En el Gráfico 8 se muestra la curva de capacidad PQ de los aerogeneradores y el Gráfico 9 la curva de potencia en función del viento.

El punto de conexión del PE es en la barra de 220 kV de la SE Llanos del viento. El PE se conecta al sistema eléctrico a través de la SE O'Higgins 220 kV. Una línea de 220 kV y 24.4 km de longitud vincula la SE mencionada con la SE Llanos del Viento.

La distribución en media tensión se realiza mediante un sistema colector en 33 kV formado por 11 circuitos que recolectan la potencia de los aerogeneradores. Cada aerogenerador cuenta con su transformador de bloque de 0.69/33 kV de una potencia de 5.5 MVA.

Los circuitos colectores acometen a la barra de 33 kV del transformador de potencia de 220/33 kV, 120/170 MVA (ONAN/ONAF), de la SE Llanos del Viento.

En el Gráfico 2 se muestra la ubicación geográfica del parque, en el Gráfico 3 el esquema unilineal de conexión, en el Gráfico 4 al Gráfico 7 se muestra un esquema unilineal del sistema colector en 33 kV.



PE Llanos del Viento

Región de Antofagasta

Ubicación: Antofagasta

Capacidad Instalada: 160 MW

Cantidad de aerogeneradores: 32

Gráfico 2. Ubicación geográfica del PE Llanos del Viento.

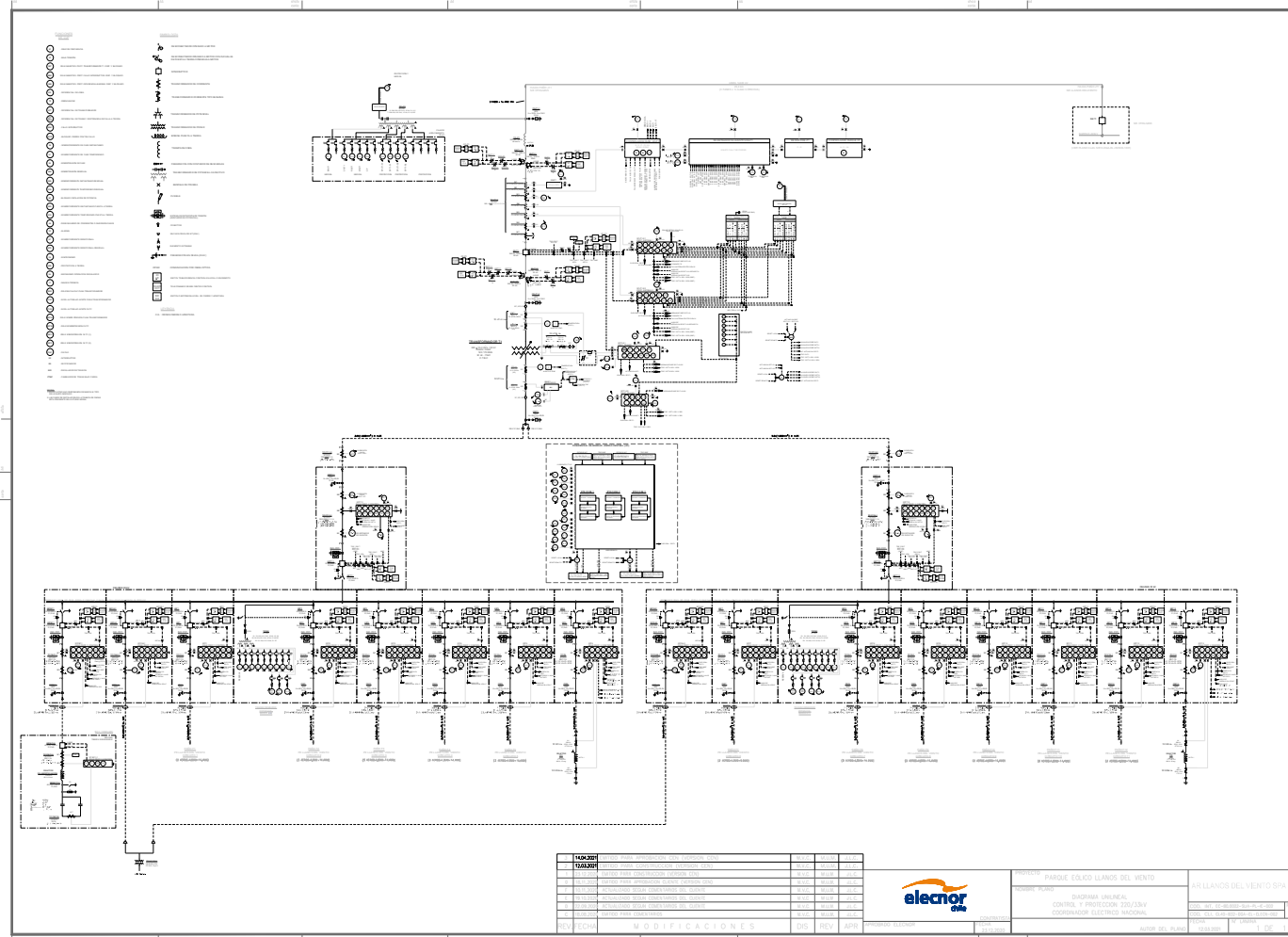


Gráfico 3. Esquema unilíneal de conexión del PE Llanos del Viento.

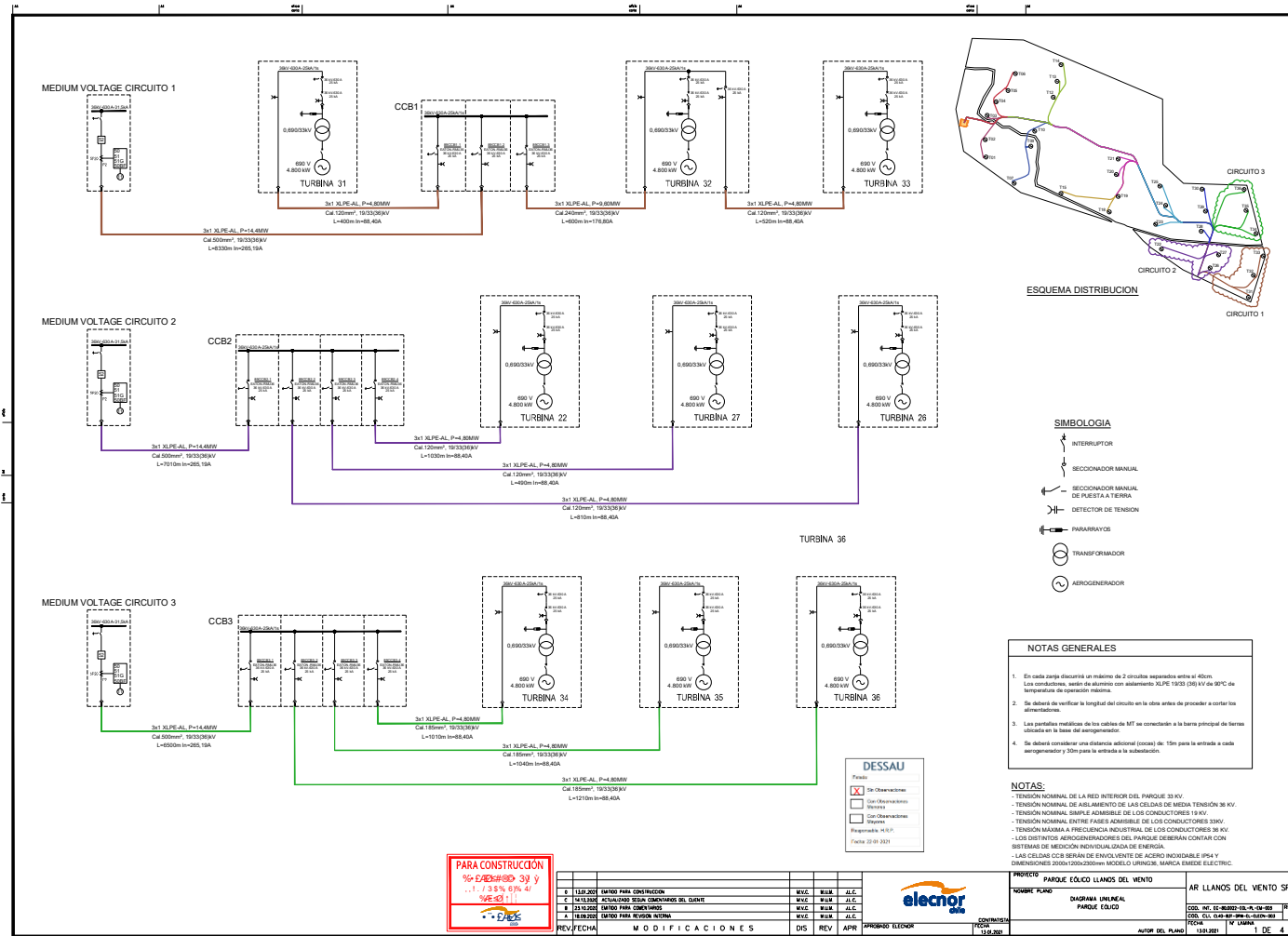


Gráfico 4. Esquema unilínea del sistema colector – circuitos 1, 2 y 3.

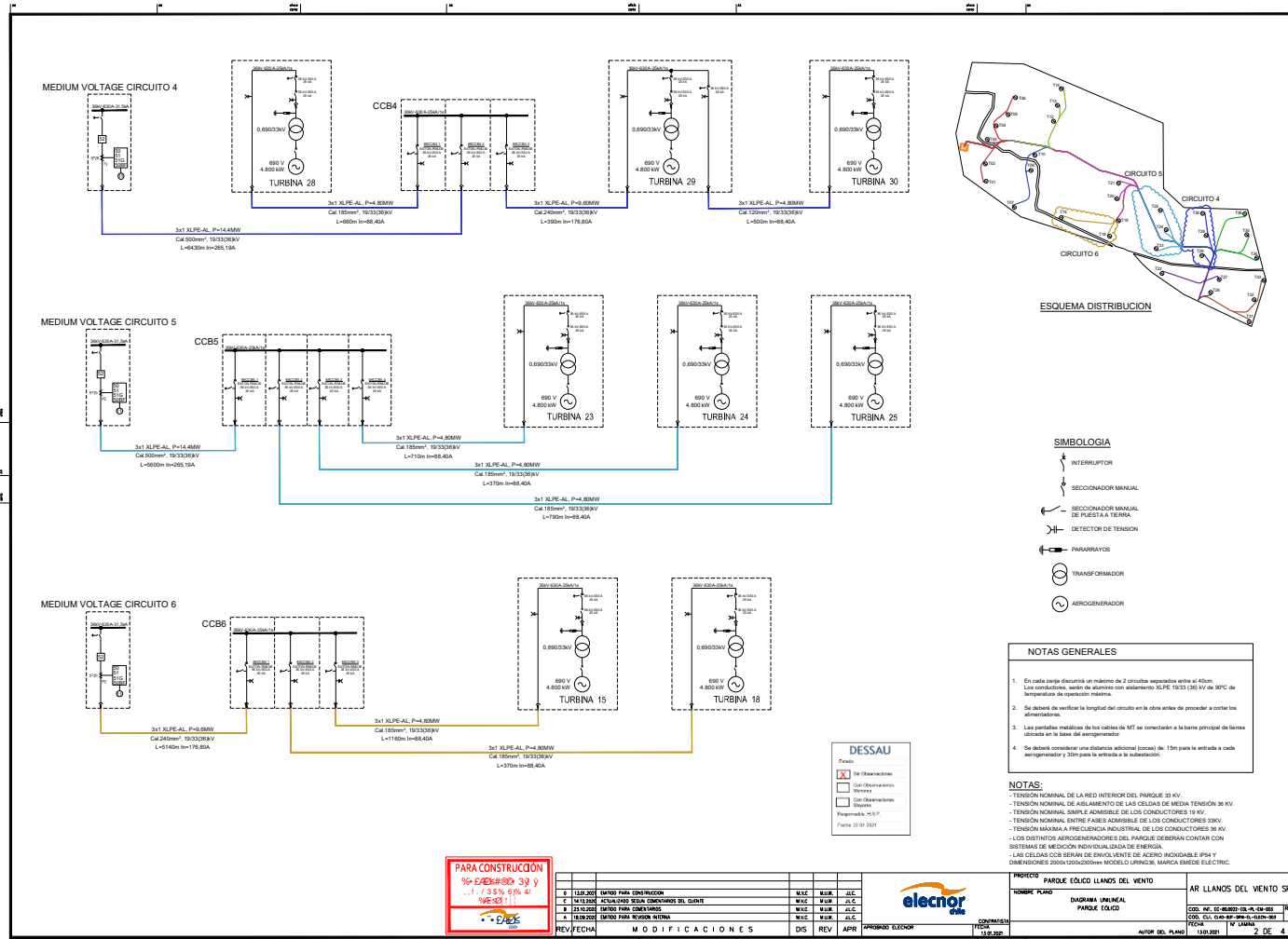


Gráfico 5. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 4, 5 y 6.

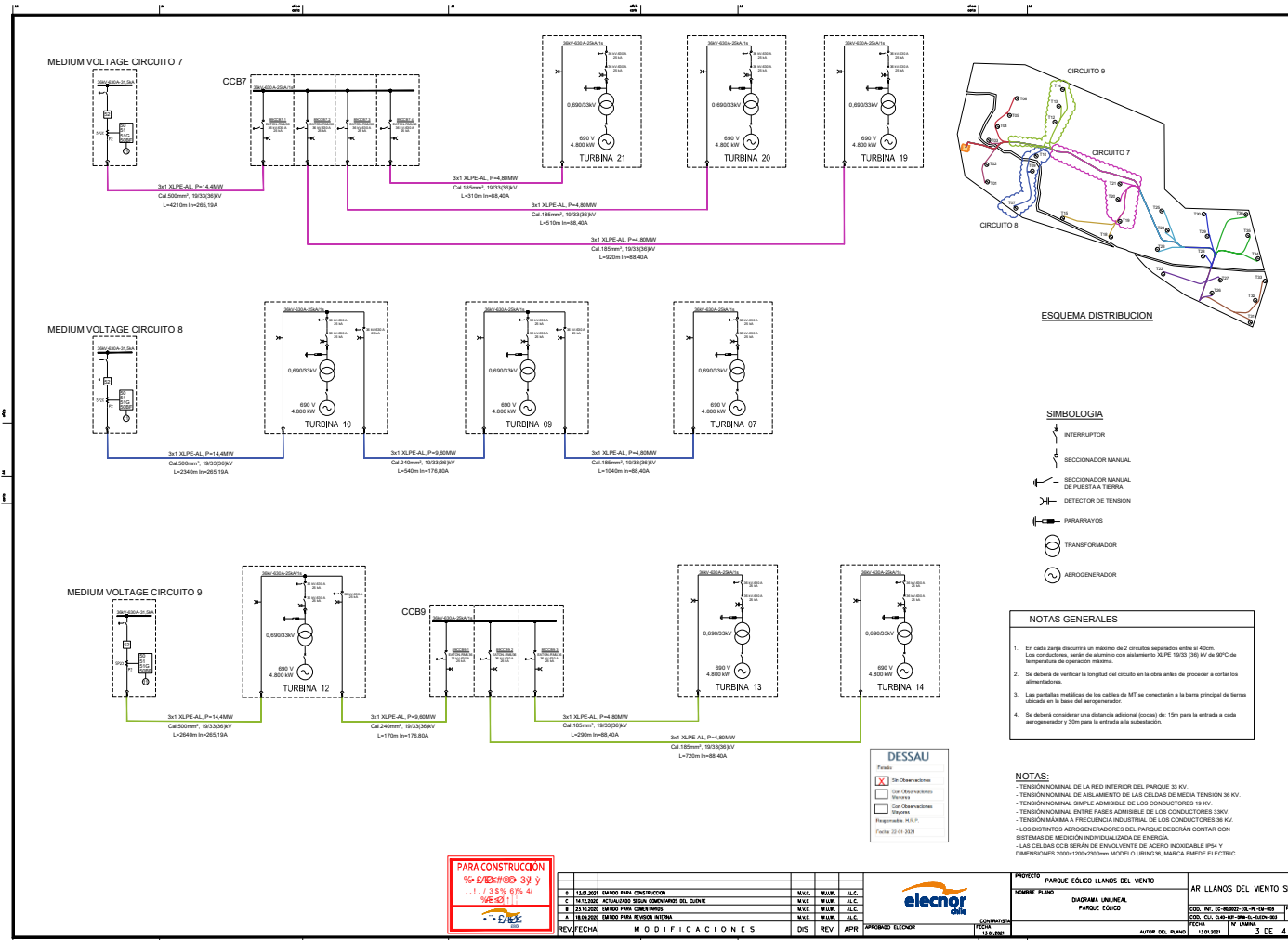


Gráfico 6. Esquema unilínea del sistema colector – circuitos 7, 8 y 9.

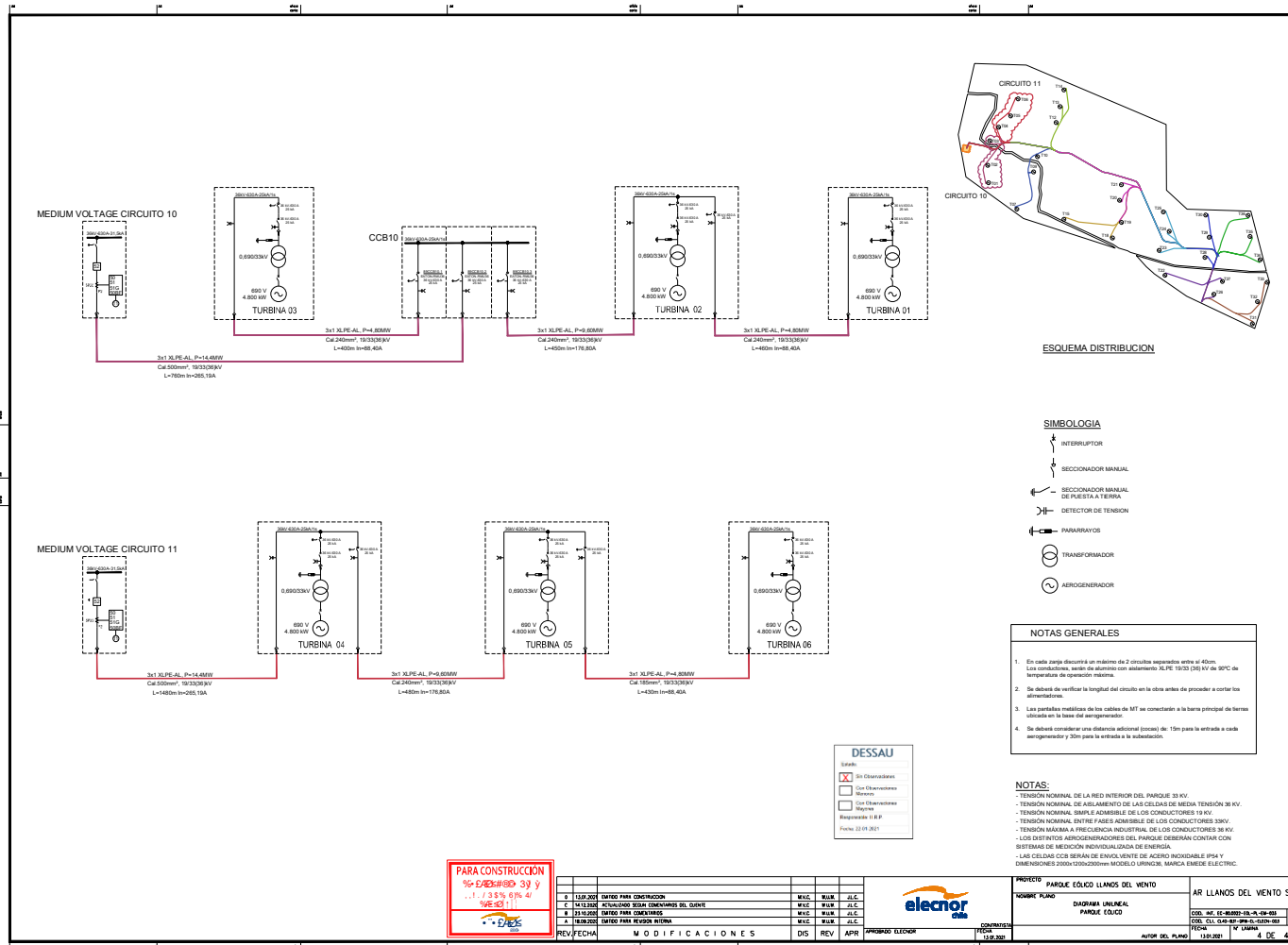


Gráfico 7. Esquema unilineal del sistema colector – circuitos 10 y 11

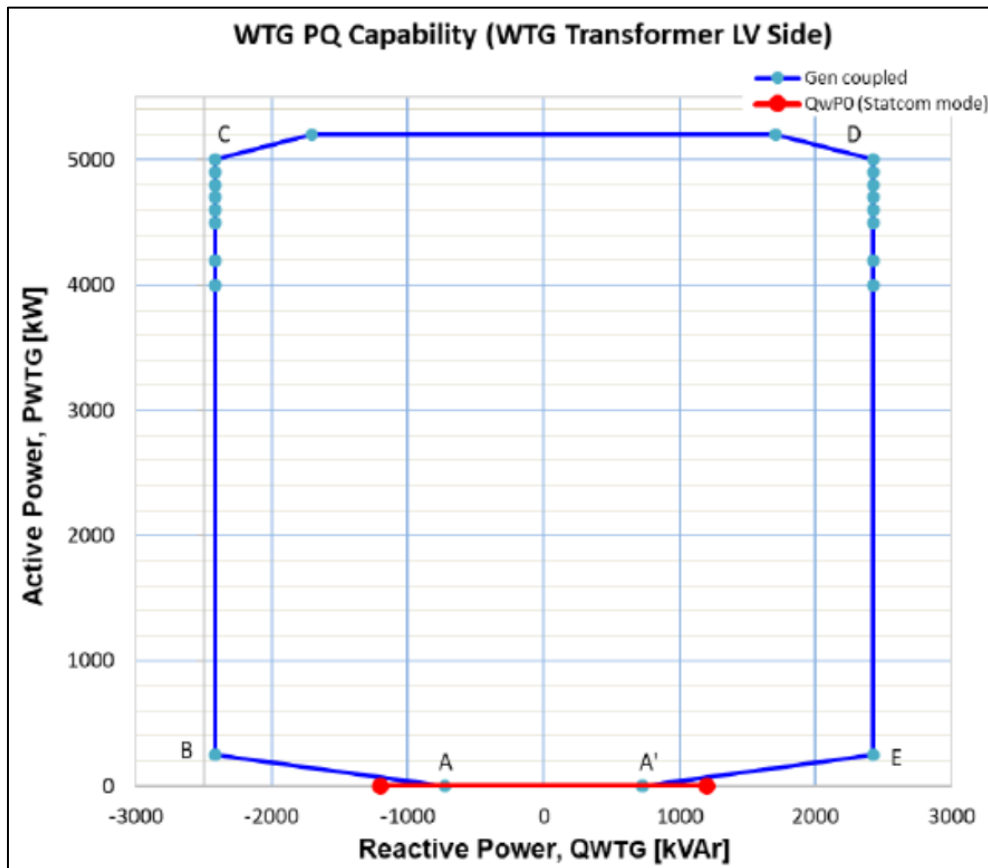


Gráfico 8. Curva de capacidad SG 5.0 -145 de 5 MW.

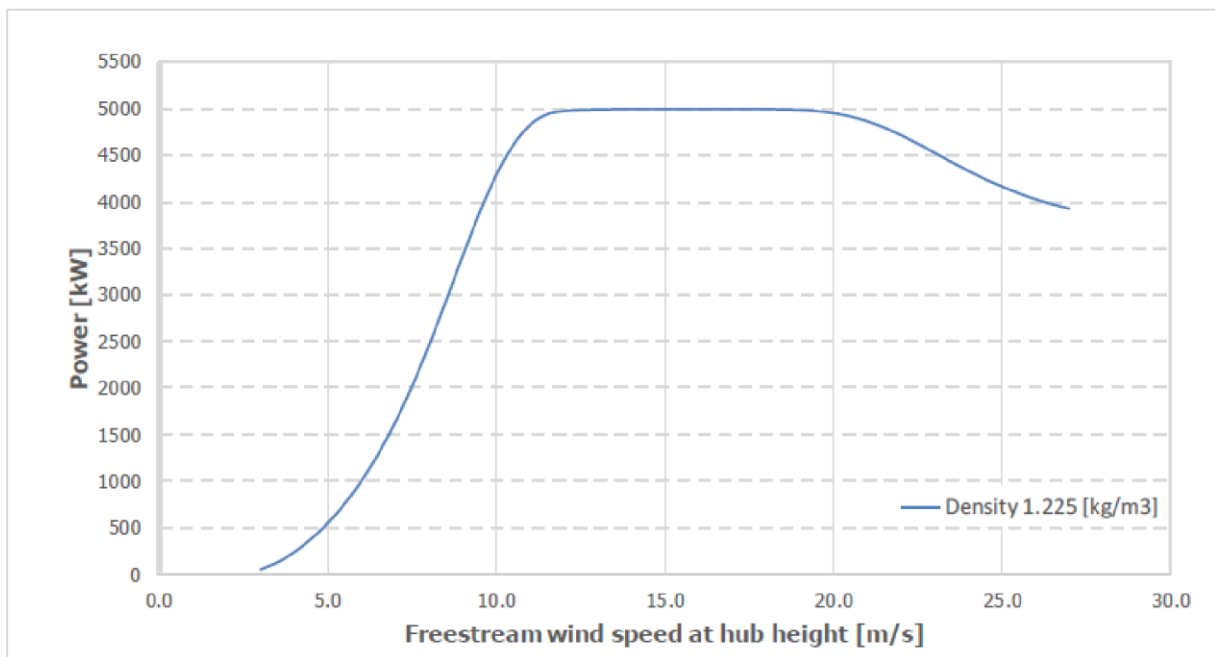


Gráfico 9. Curva de potencia del aerogenerador SG 5.0 – 145 para una densidad del aire de 1.225 kg/m³.

2. ANTECEDENTES DE UNIDADES DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS

El parque eólico presentó parámetros de desempeño equivalentes a parques eólicos de similares características, como los mencionados a continuación:

- Parque Eólico Malleco Norte (Potencia máxima neta medida = 135,507 MW y Potencia máxima bruta medida = 137.85 MW)¹
- Parque Eólico Alena (Potencia máxima neta medida = 83,98 MW y Potencia máxima bruta medida = 86.26 MW).

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

El ensayo se realizó en un lapso en el cual el recurso primario se mantuvo aproximadamente invariable, en las condiciones más cercanas a las nominales posibles, en cumplimiento con el Artículo 39 "Potencia Máxima en unidades generadoras cuya fuente es renovable no convencional sin capacidad de regulación" al tratarse de una planta de ERNC sin capacidad de almacenamiento de energía. La potencia máxima se obtuvo a partir de registros de operación y mediciones del recurso natural que incide en esta tecnología durante el día Jueves 09/02/2023, incluyendo los antecedentes técnicos y los cálculos usados para obtener el valor. Para la prueba de Potencia Máxima realizada, se reportan los valores de potencia según se desglosan en la siguiente tabla de resultados, las definiciones se encuentran a continuación.

Tabla 1. Tabla resumen de valores a presentar.

Parque Eólico	Potencia Bruta [kW]	SS.AA. [kW]	Pérdidas en la central [kW]	Potencia Neta [kW]
PE Llanos del Viento	(1)	(2)	(3)	(4)

- (1) **Potencia Bruta:** Corresponde a la suma del aporte de potencia activa de todos los aerogeneradores del PE Llanos del Viento en el lado de BT.
- (2) **SS.AA.:** Corresponde al consumo de servicios auxiliares de la central (aerogeneradores + SE Llanos del Viento 220 kV).
- (3) **Pérdidas en la central:** Corresponde a la suma de las pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos del Viento 220 kV y las pérdidas en el sistema colector de la central (transformadores de bloque de los aerogeneradores + circuito colector de MT).
- (4) **Potencia Neta:** Es la potencia neta inyectada en el punto de conexión del parque eólico, que para el caso del PE Llanos del viento es la barra de AT de la SE Llanos del Viento 220 kV.

¹ <https://infotecnica.coordinador.cl/instalaciones/unidades-generadoras>

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. Ensayo de potencia máxima

A continuación, se muestran los registros de potencia máxima obtenidos en el punto de conexión para el día jueves 09/02/2023. Se registraron 3 horas de generación.

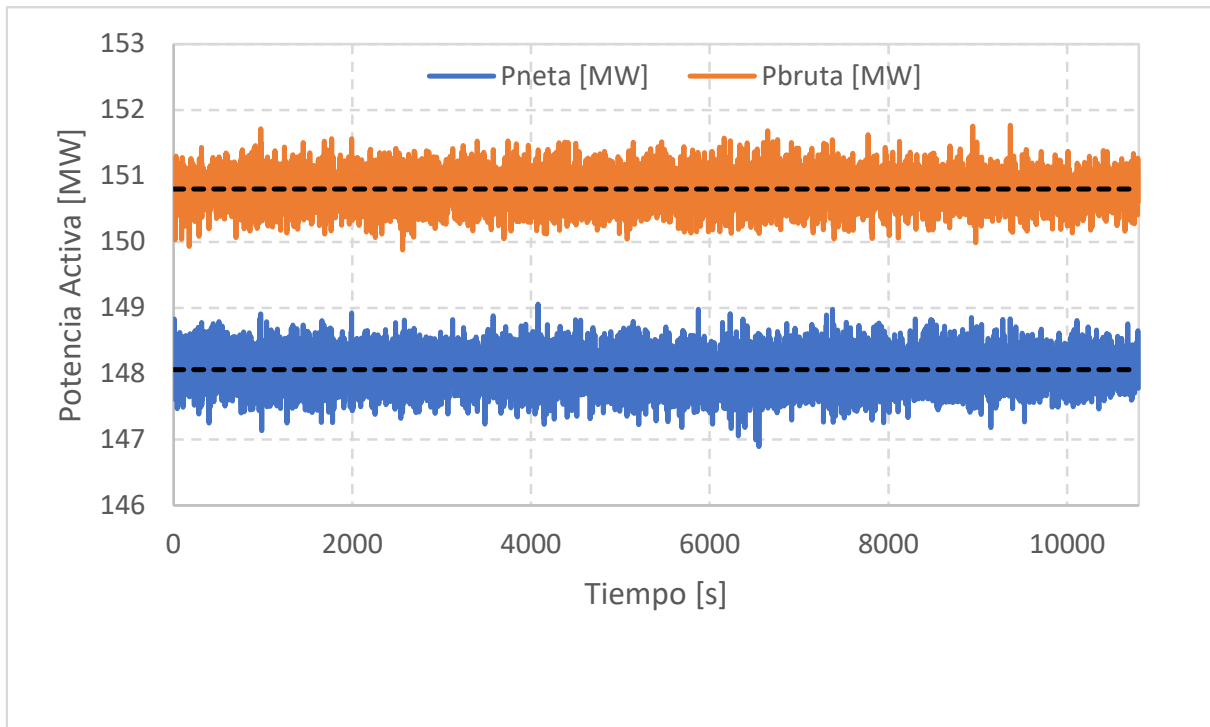


Gráfico 10. Potencia máxima en el punto de conexión.

Del gráfico anterior se observa que la potencia neta promedio fue de **Pneta = 148.062 MW** para una potencia bruta promedio de **Pbruta = 150.8 MW**. La diferencia entre ambas variables se muestra en el siguiente gráfico:

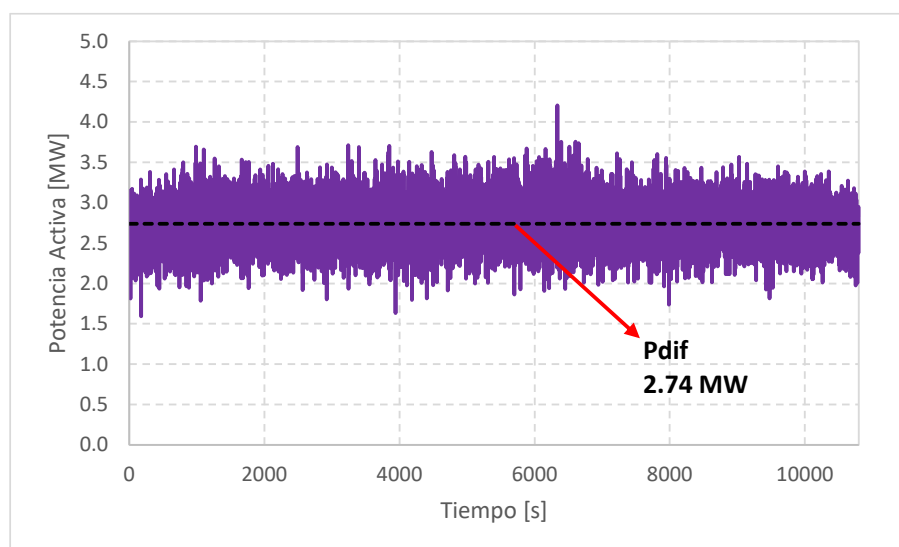


Gráfico 11. Diferencia de potencias durante la ventana registrada.

La velocidad de viento registrada se muestra en el siguiente gráfico:

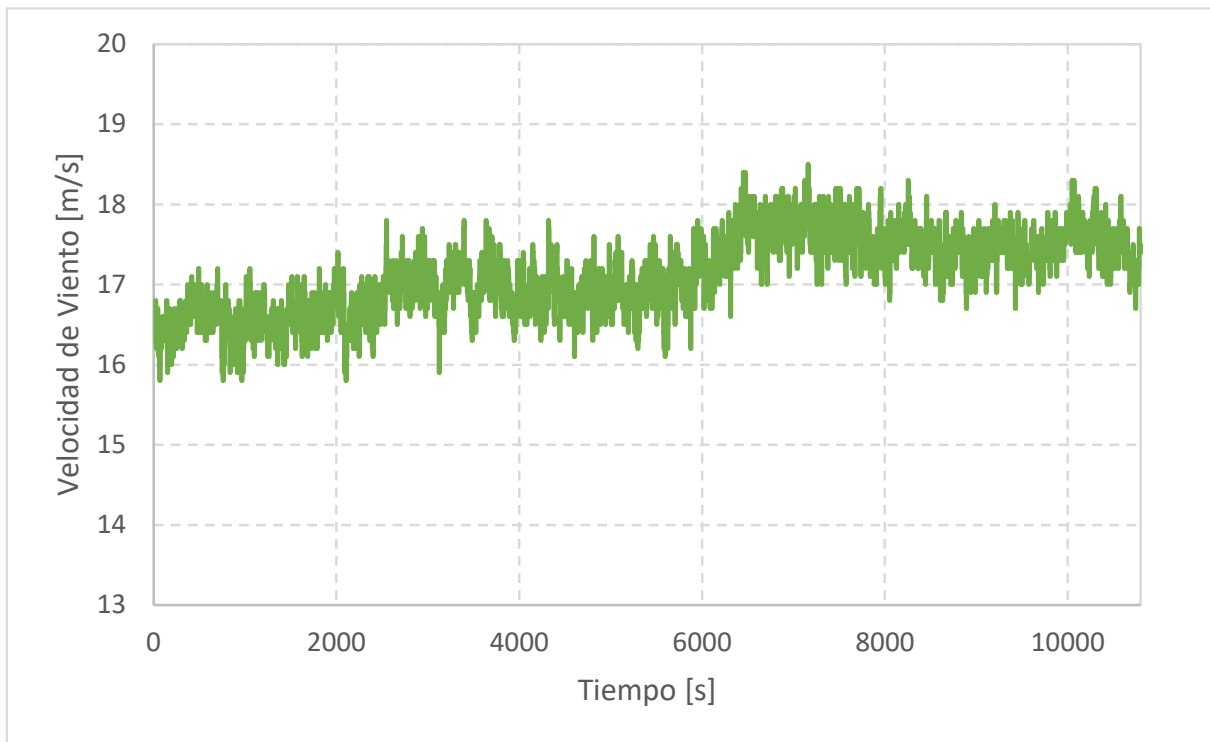


Gráfico 12. Velocidad de viento durante la ventana registrada.

En los siguientes gráficos se muestra la generación bruta para cada aerogenerador junto con la curva potencia velocidad:

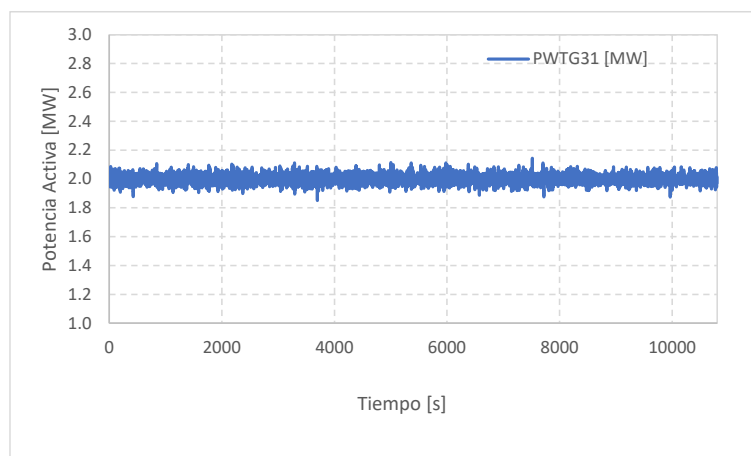


Gráfico 13. Potencia bruta generada en WTG31.

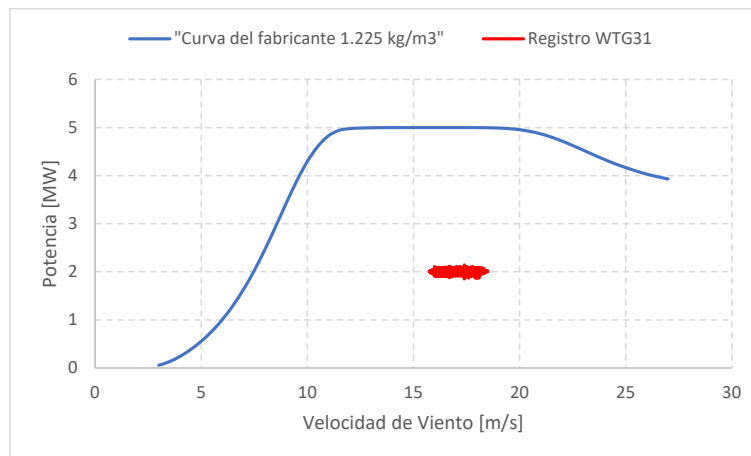


Gráfico 14. Curva potencia velocidad WTG31.

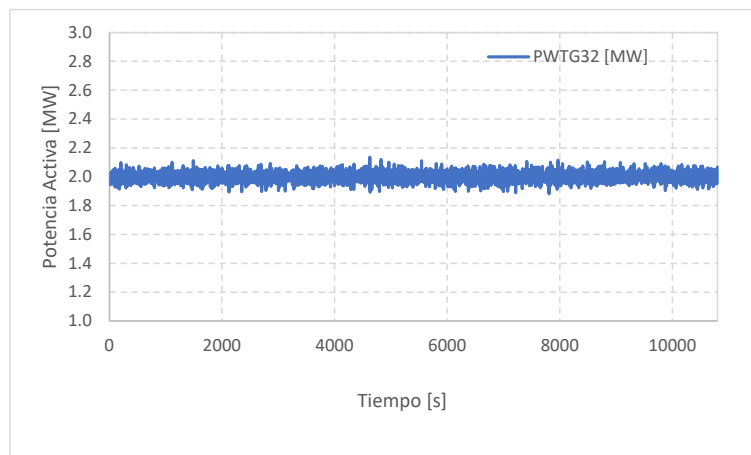


Gráfico 15. Potencia bruta generada en WTG32.

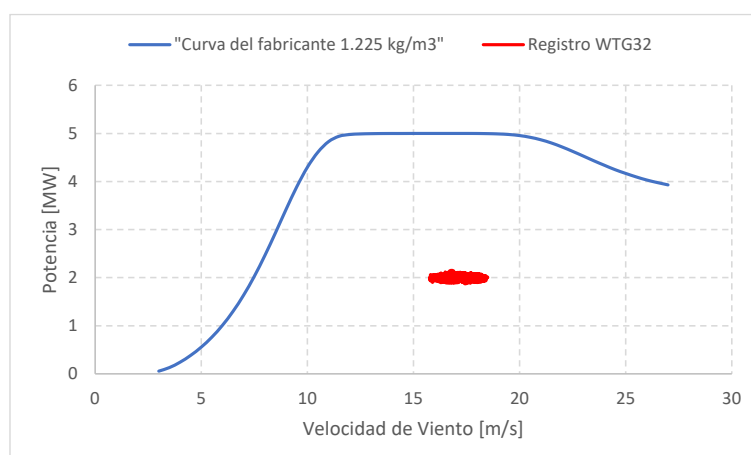


Gráfico 16. Curva potencia velocidad WTG32.

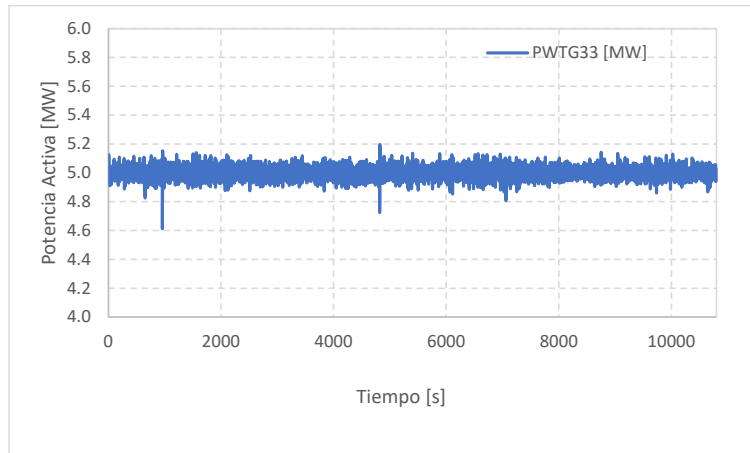


Gráfico 17. Potencia bruta generada en WTG33.

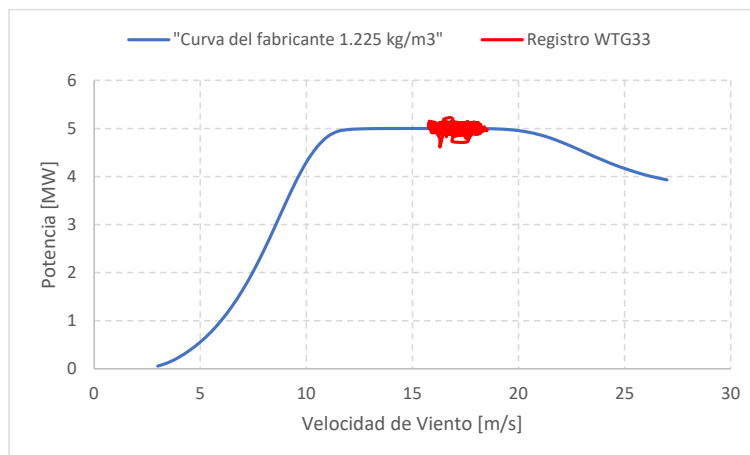


Gráfico 18. Curva potencia velocidad WTG33.

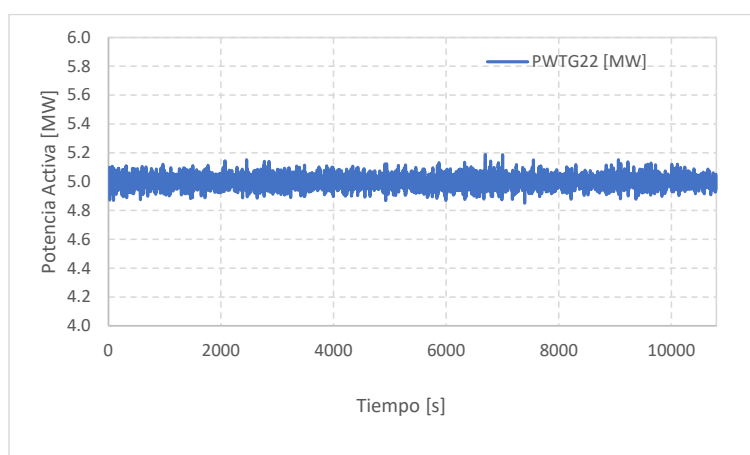


Gráfico 19. Potencia bruta generada en WTG22.

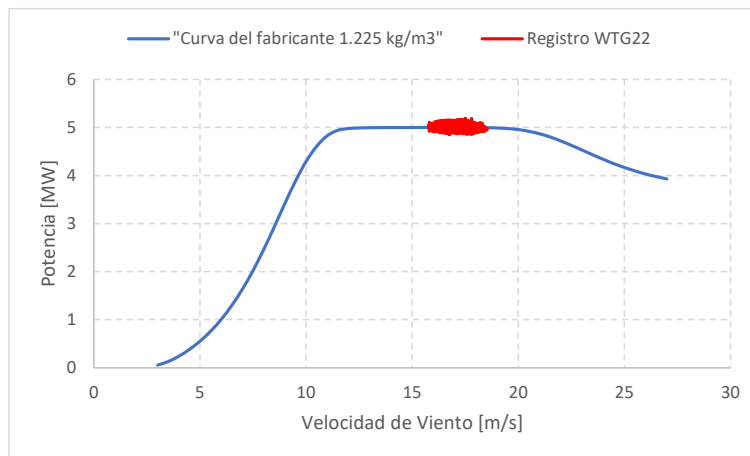


Gráfico 20. Curva potencia velocidad WTG22.

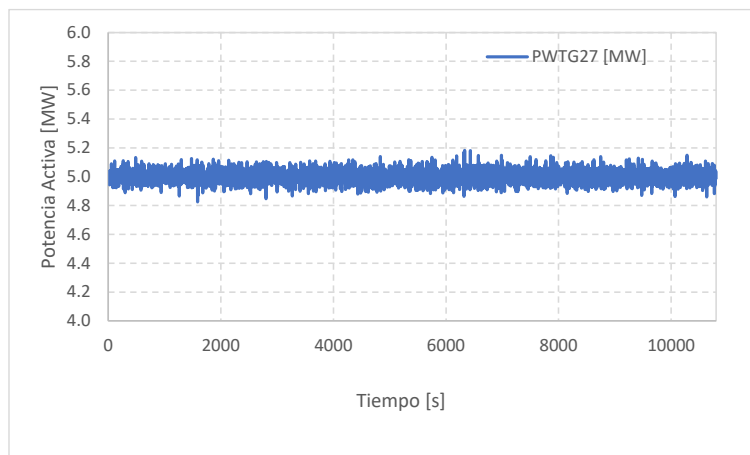


Gráfico 21. Potencia bruta generada en WTG27.

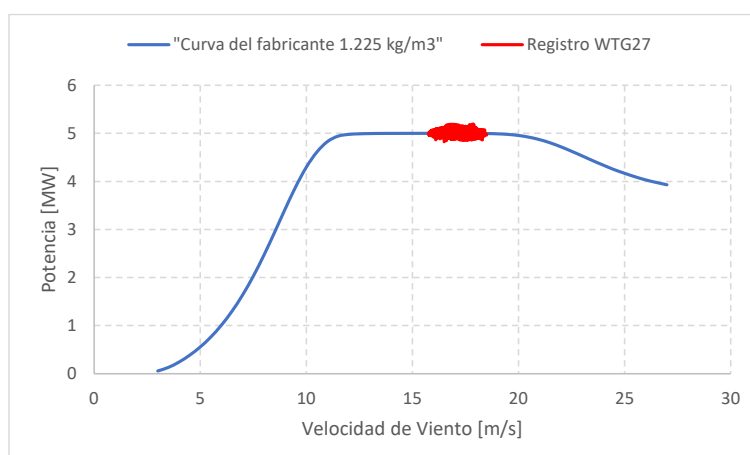


Gráfico 22. Curva potencia velocidad WTG27.

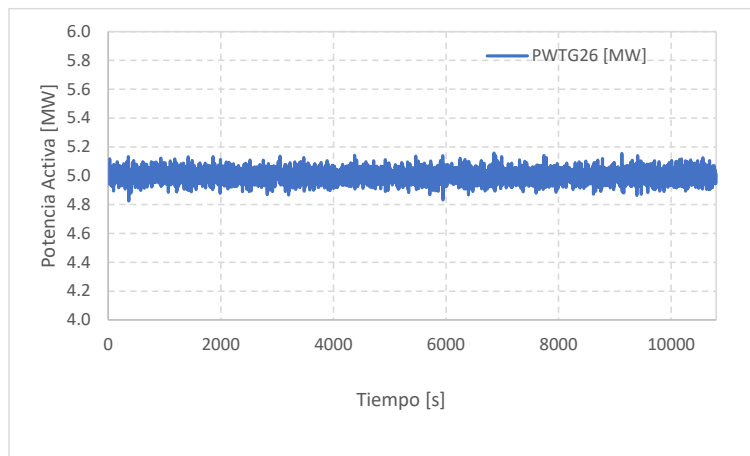


Gráfico 23. Potencia bruta generada en WTG26.

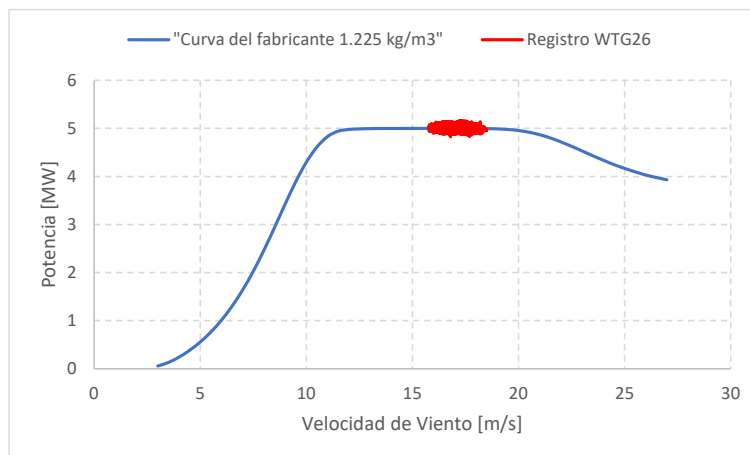


Gráfico 24. Curva potencia velocidad WTG26.

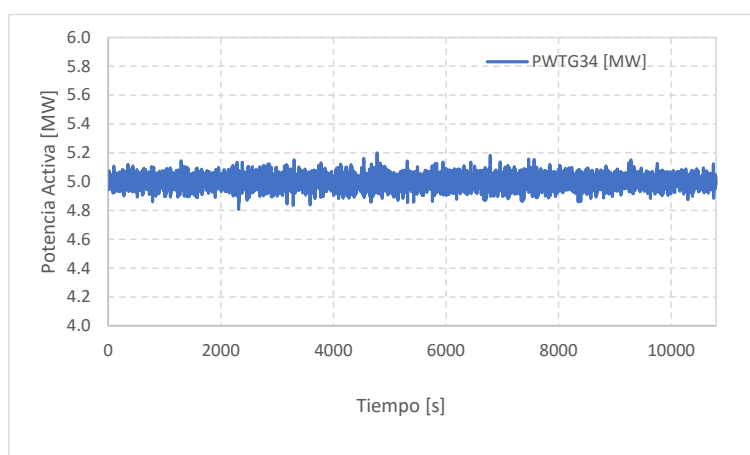


Gráfico 25. Potencia bruta generada en WTG34.

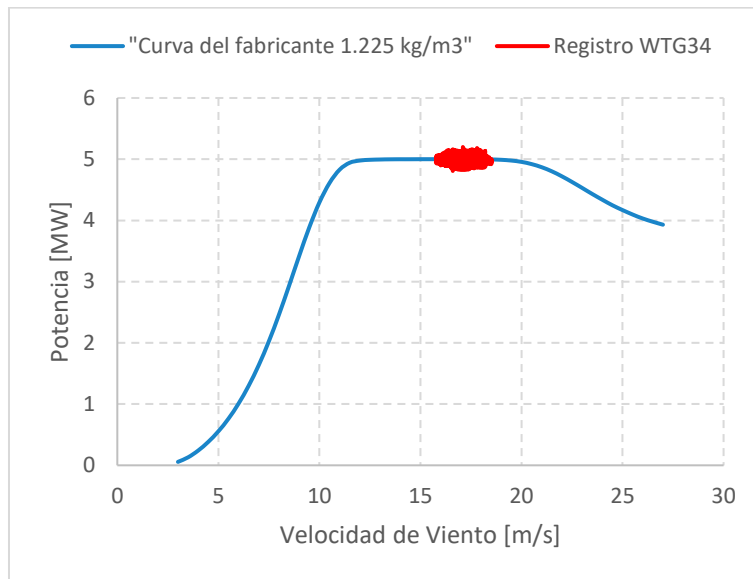


Gráfico 26. Curva potencia velocidad WTG34.

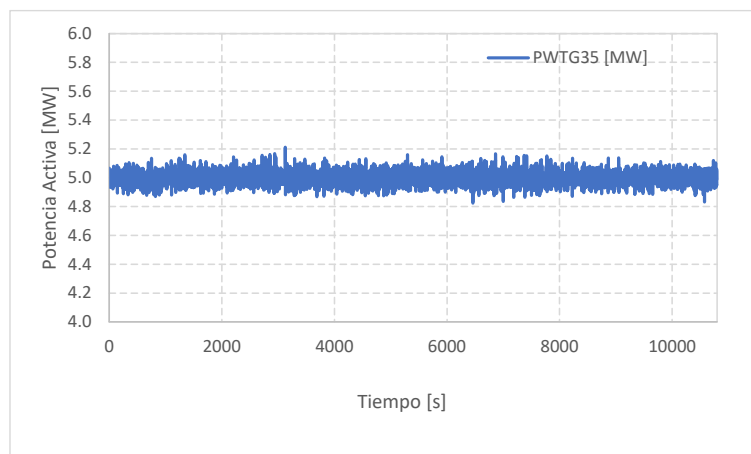


Gráfico 27. Potencia bruta generada en WTG35.

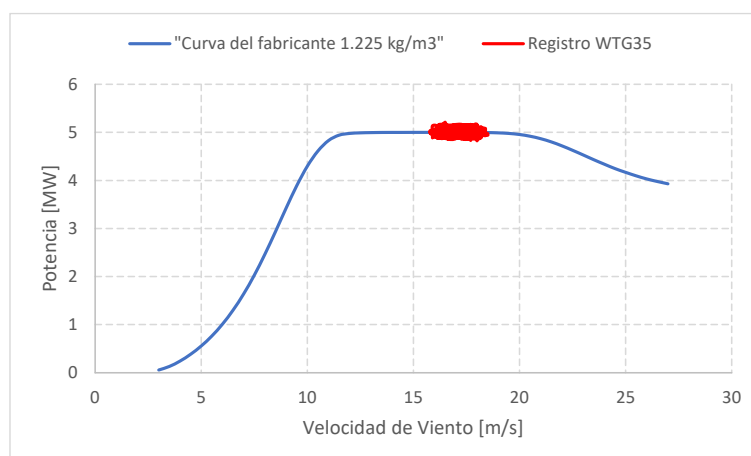


Gráfico 28. Curva potencia velocidad WTG35.

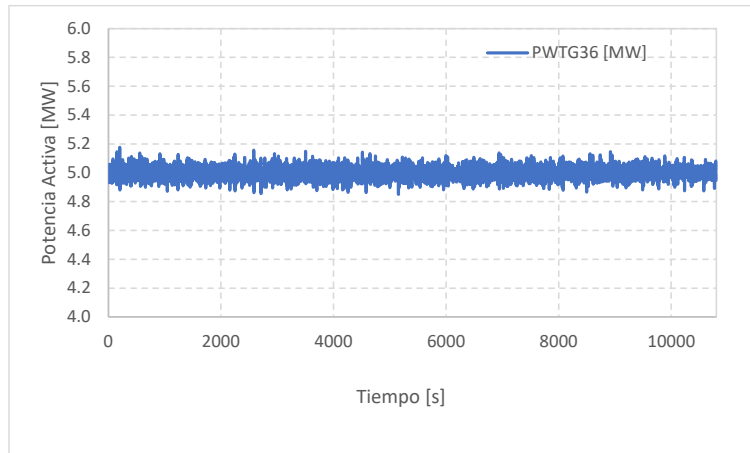


Gráfico 29. Potencia bruta generada en WTG36.

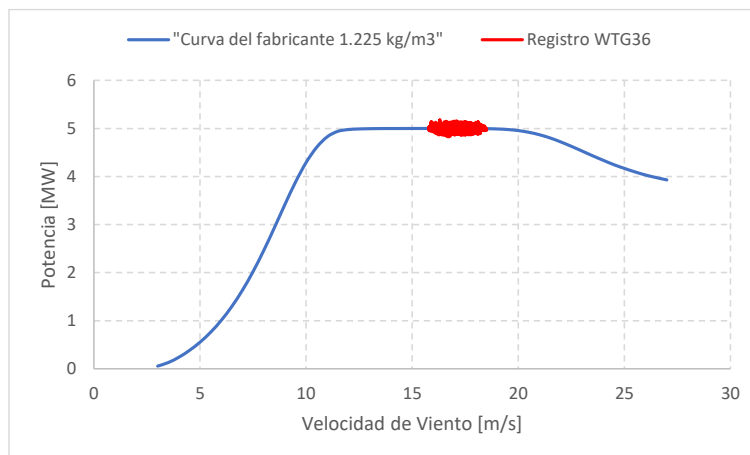


Gráfico 30. Curva potencia velocidad WTG36.

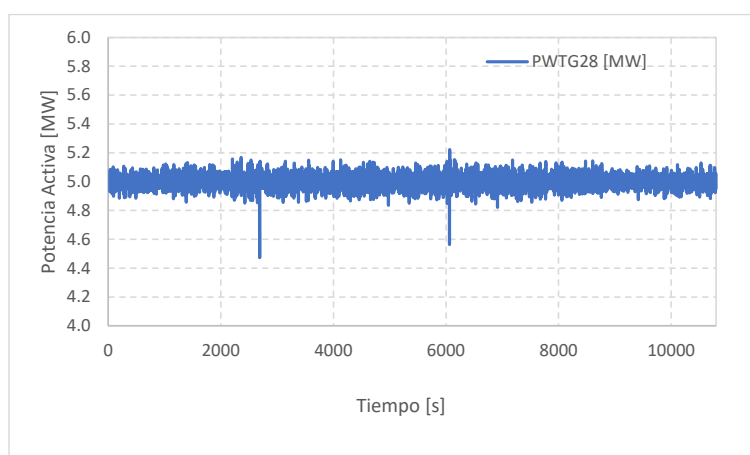


Gráfico 31. Potencia bruta generada en WTG28.

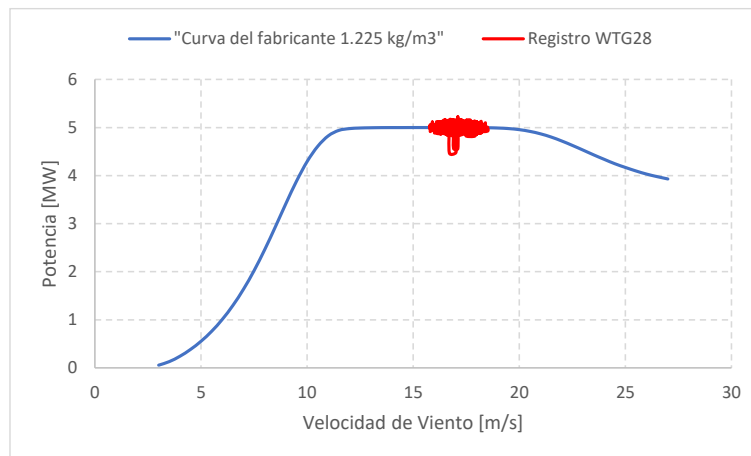


Gráfico 32. Curva potencia velocidad WTG28.

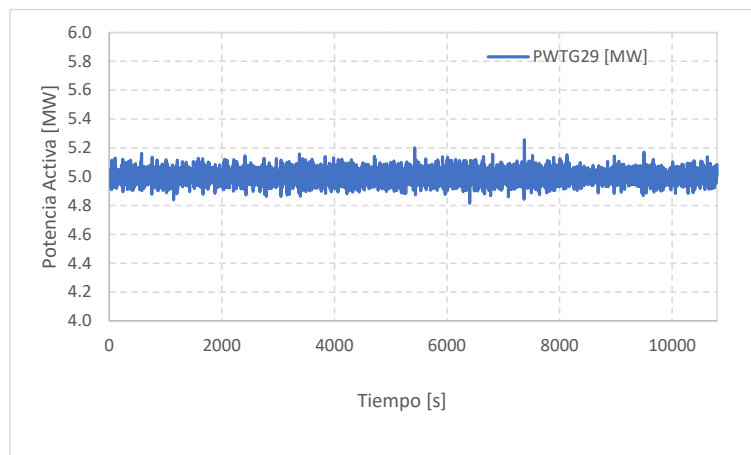


Gráfico 33. Potencia bruta generada en WTG29.

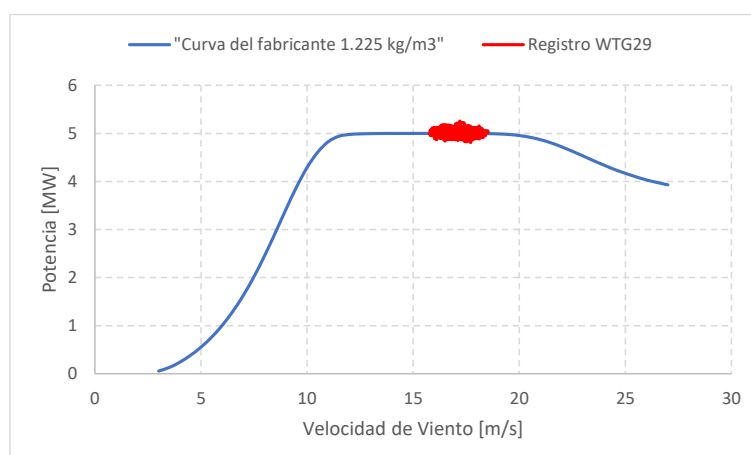


Gráfico 34. Curva potencia velocidad WTG29.

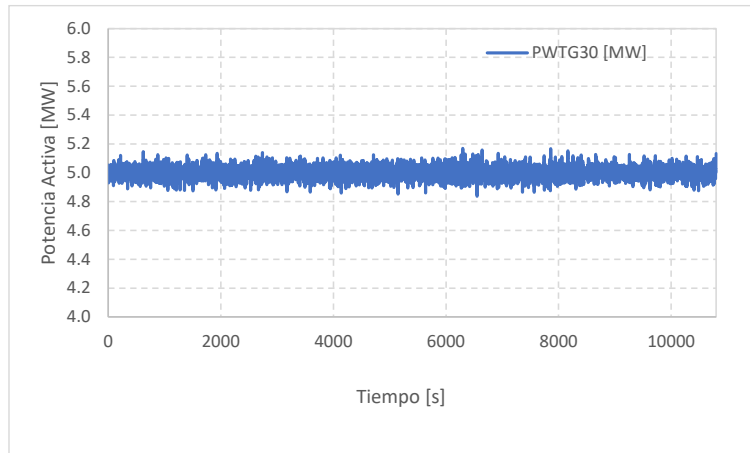


Gráfico 35. Potencia bruta generada en WTG30.

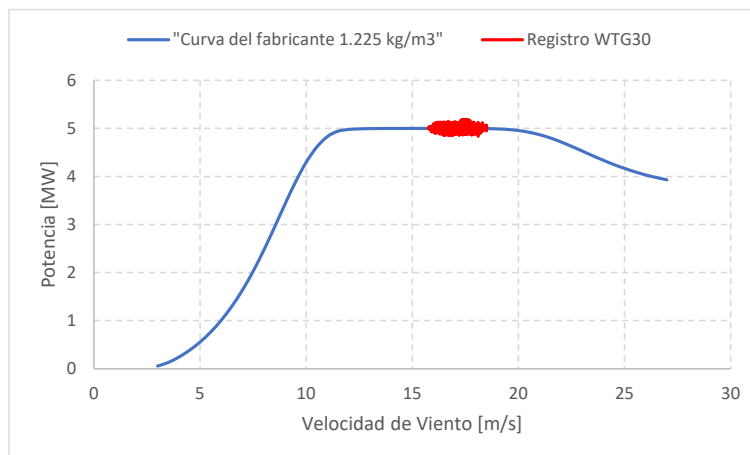


Gráfico 36. Curva potencia velocidad WTG30.

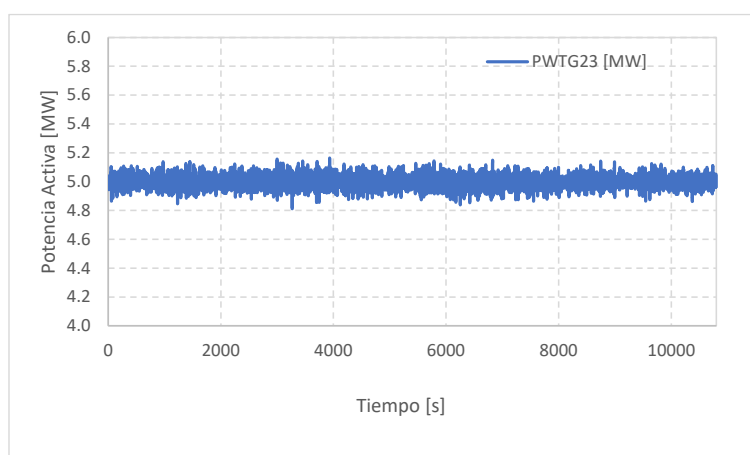


Gráfico 37. Potencia bruta generada en WTG23.

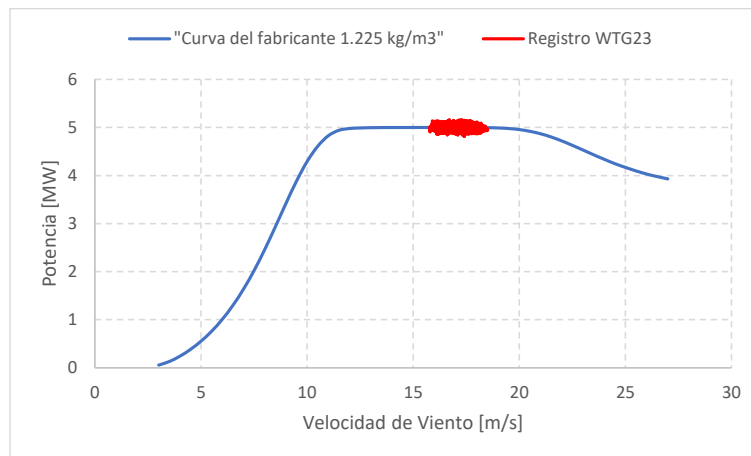


Gráfico 38. Curva potencia velocidad WTG23.

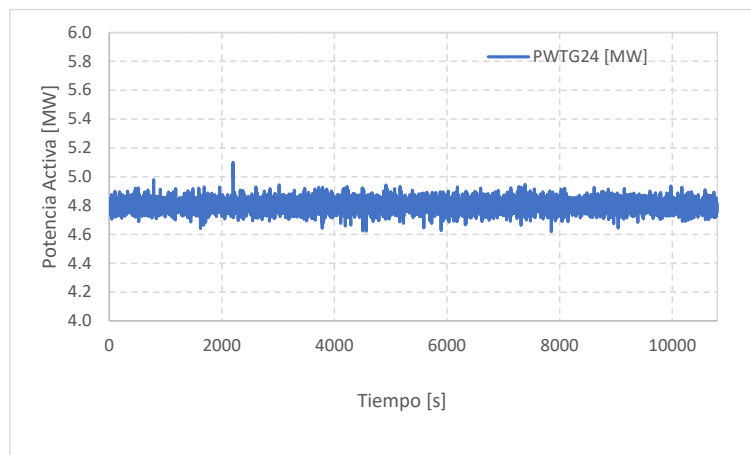


Gráfico 39. Potencia bruta generada en WTG24.

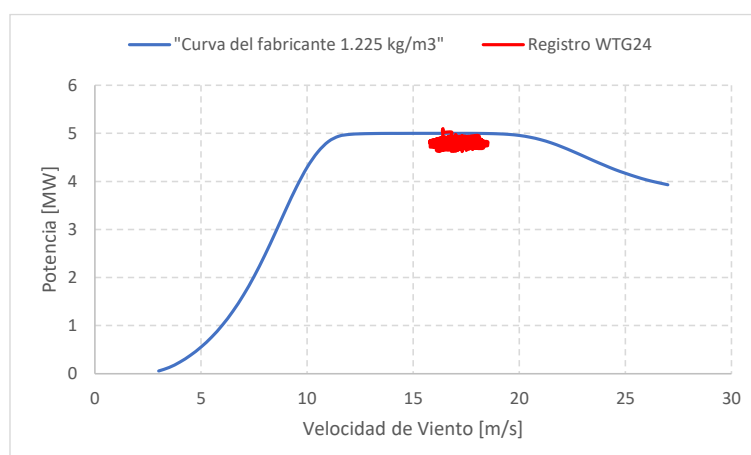


Gráfico 40. Curva potencia velocidad WTG24.

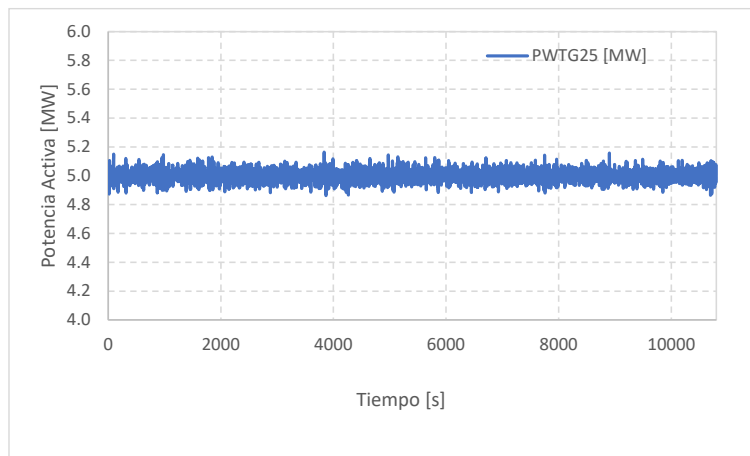


Gráfico 41. Potencia bruta generada en WTG25.

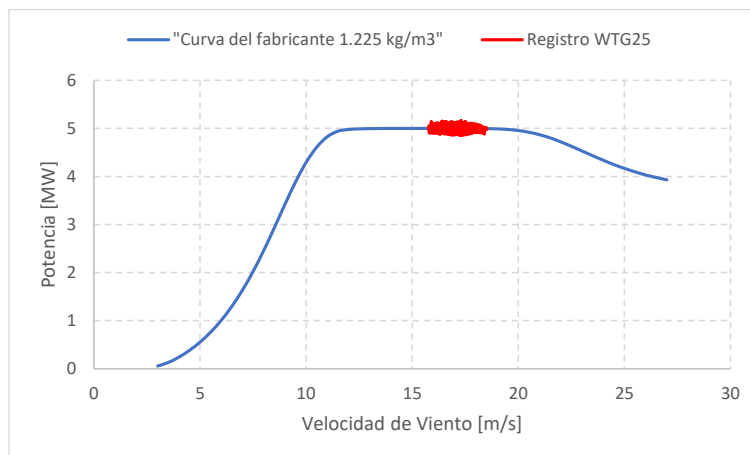


Gráfico 42. Curva potencia velocidad WTG25.

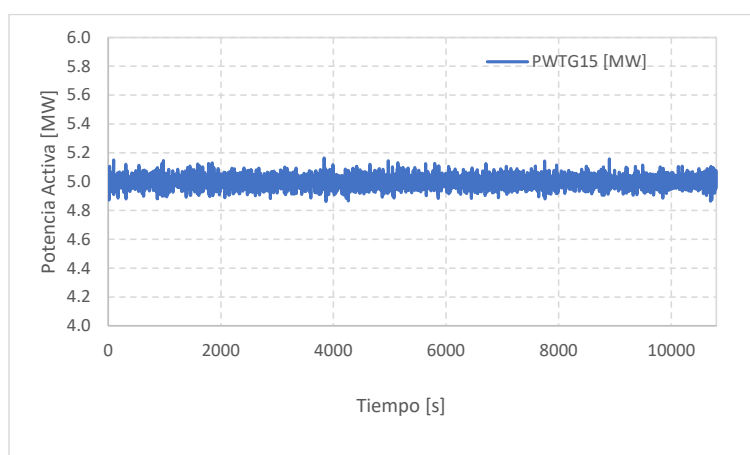


Gráfico 43. Potencia bruta generada en WTG15.

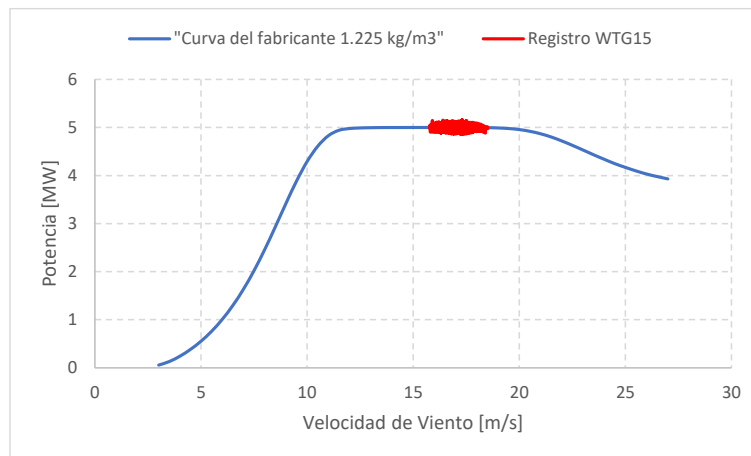


Gráfico 44. Curva potencia velocidad WTG15.

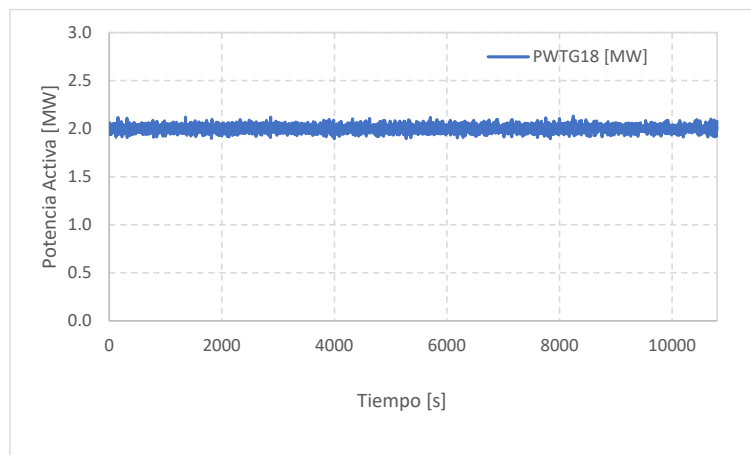


Gráfico 45. Potencia bruta generada en WTG18.

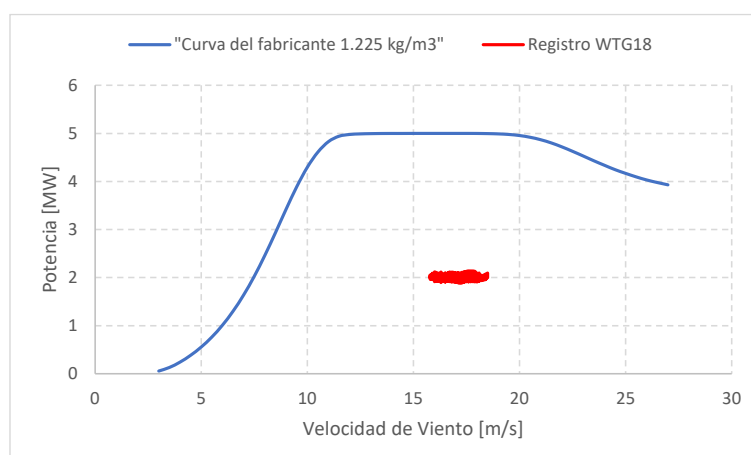


Gráfico 46. Curva potencia velocidad WTG18.

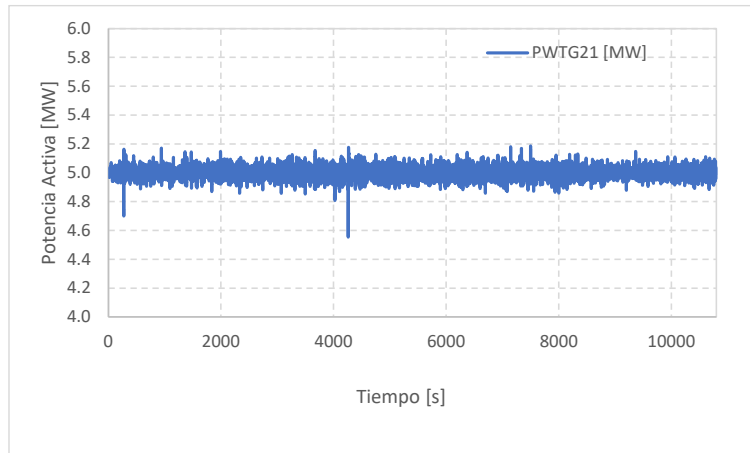


Gráfico 47. Potencia bruta generada en WTG21.

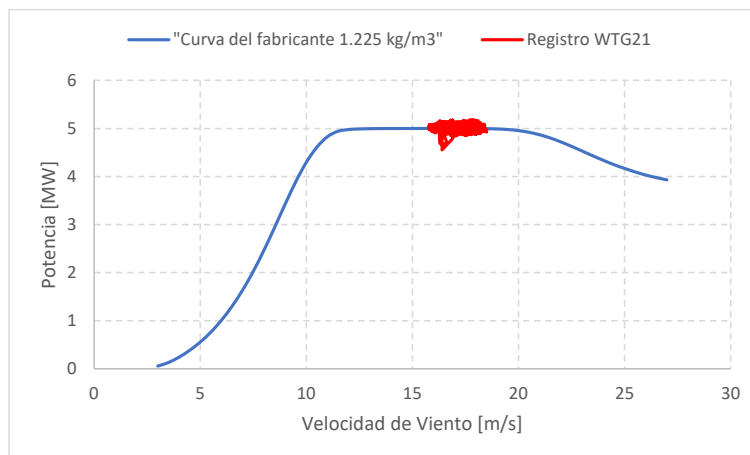


Gráfico 48. Curva potencia velocidad WTG21.

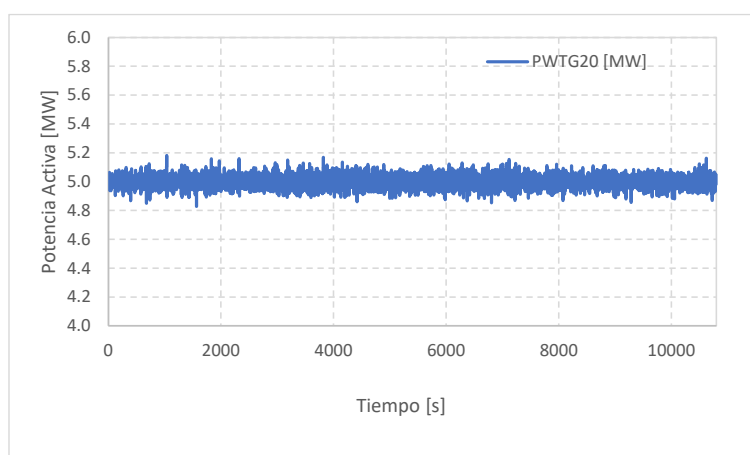


Gráfico 49. Potencia bruta generada en WTG20.

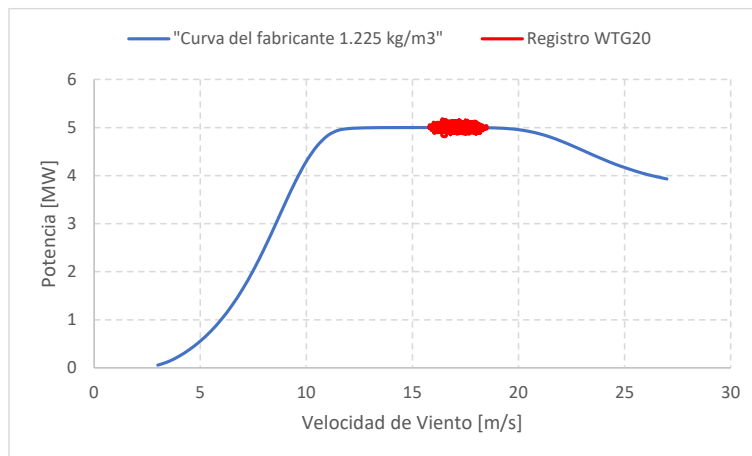


Gráfico 50. Curva potencia velocidad WTG20.

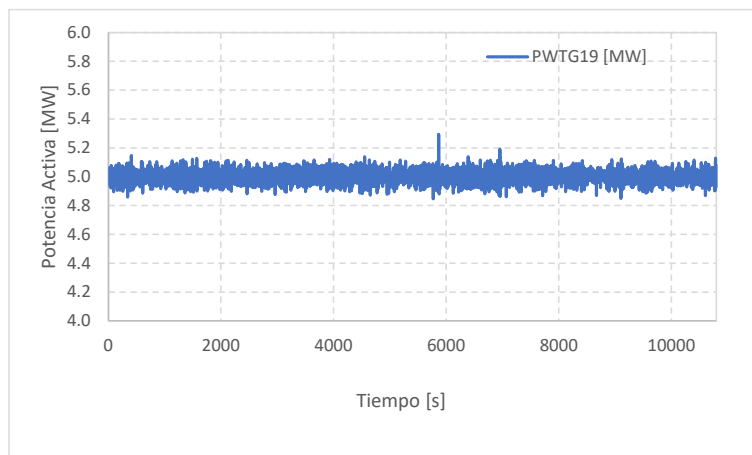


Gráfico 51. Potencia bruta generada en WTG19.

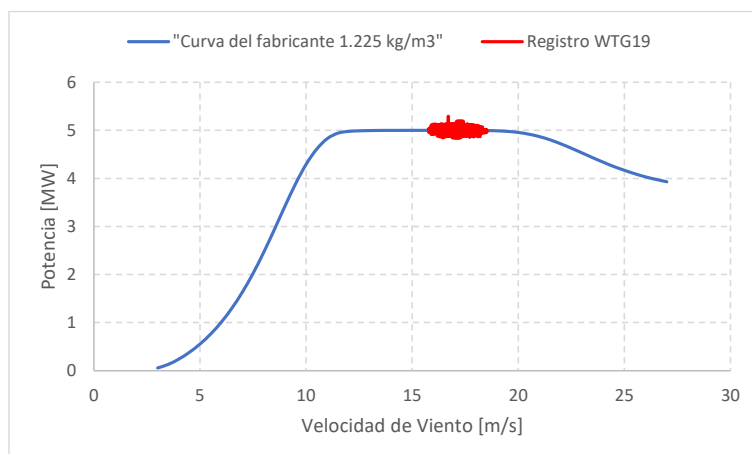


Gráfico 52. Curva potencia velocidad WTG19.

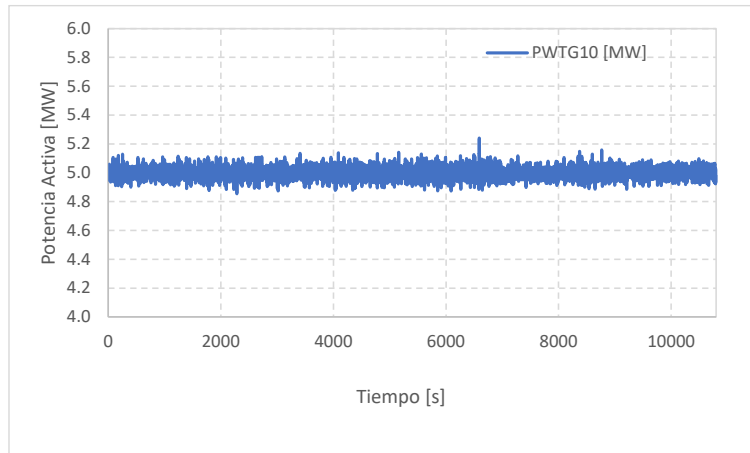


Gráfico 53. Potencia bruta generada en WTG10.

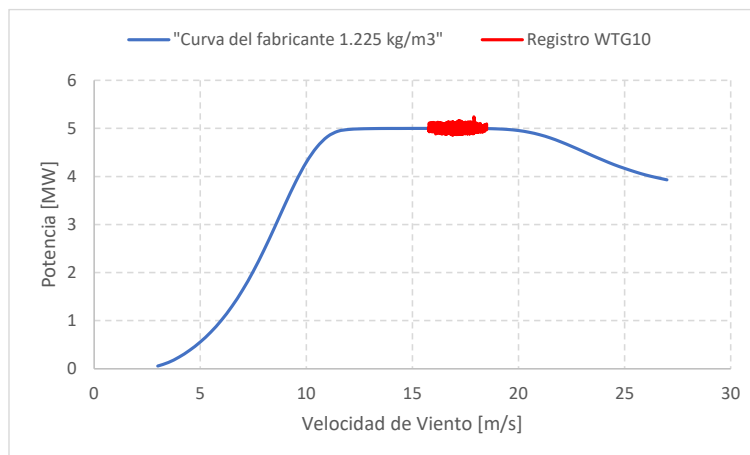


Gráfico 54. Curva potencia velocidad WTG10.

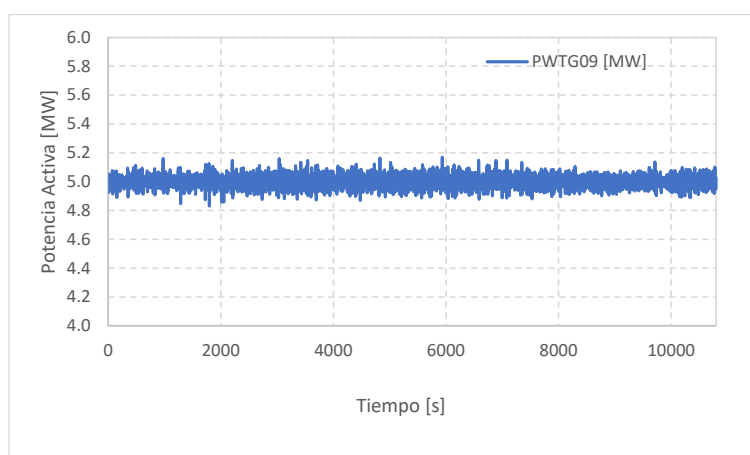


Gráfico 55. Potencia bruta generada en WTG09.

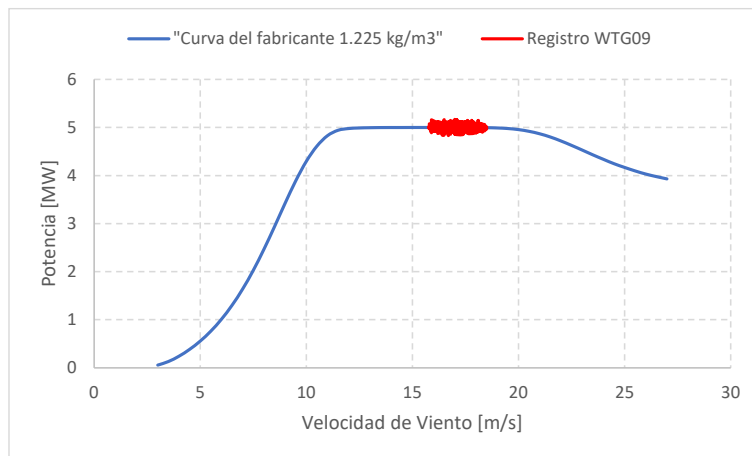


Gráfico 56. Curva potencia velocidad WTG09.

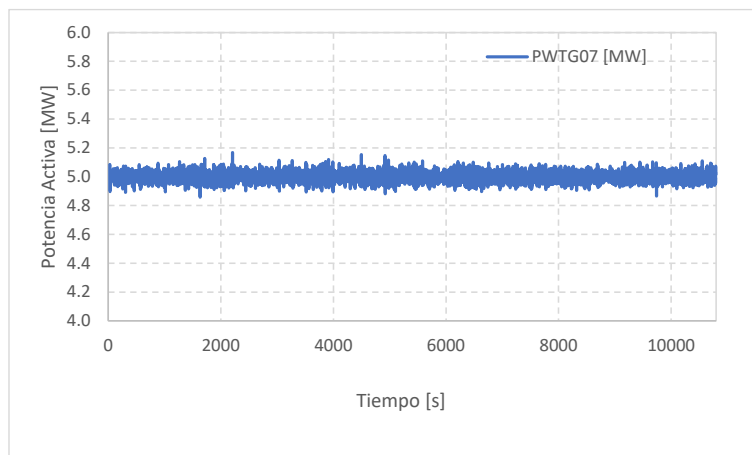


Gráfico 57. Potencia bruta generada en WTG07.

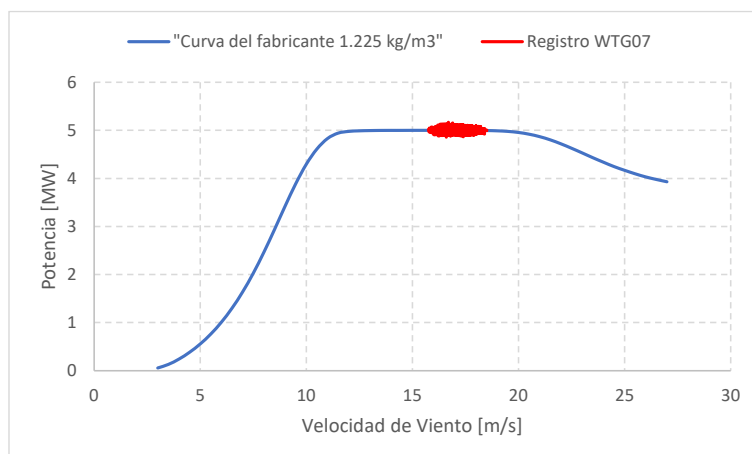


Gráfico 58. Curva potencia velocidad WTG07.

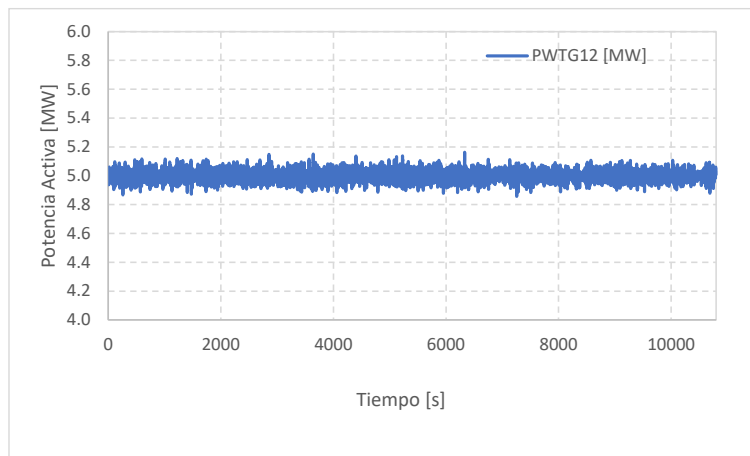


Gráfico 59. Potencia bruta generada en WTG12.

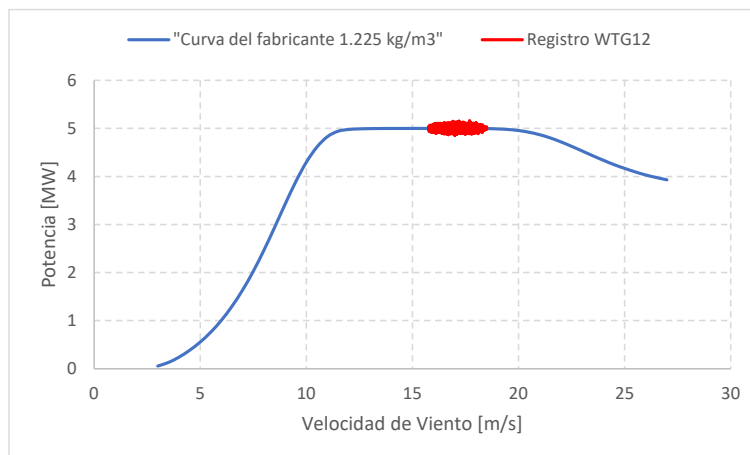


Gráfico 60. Curva potencia velocidad WTG12.

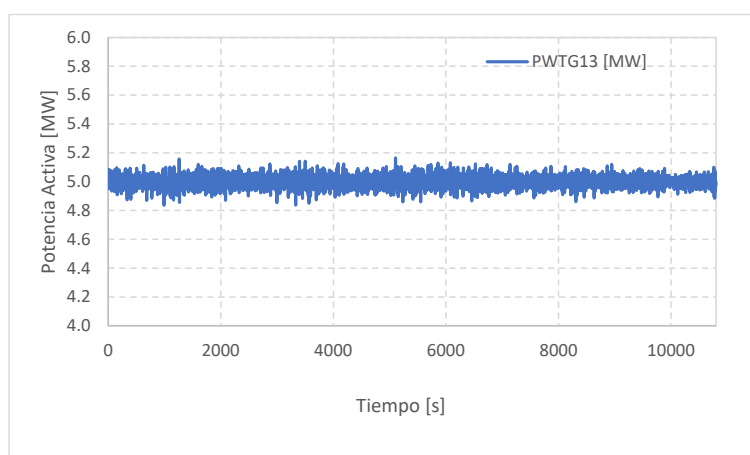


Gráfico 61. Potencia bruta generada en WTG13.

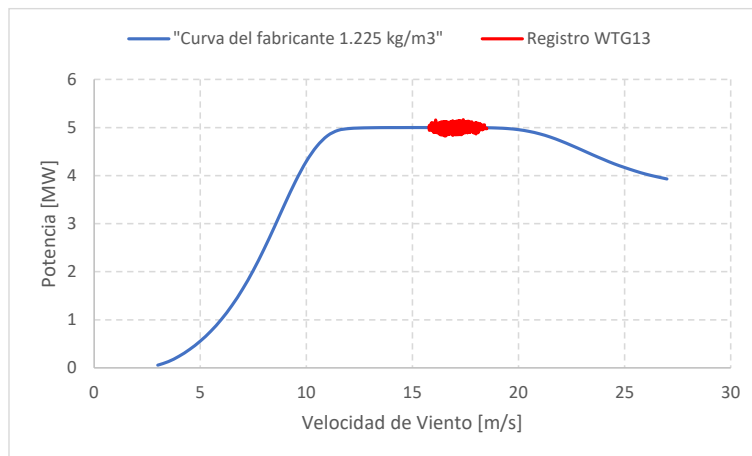


Gráfico 62. Curva potencia velocidad WTG13.

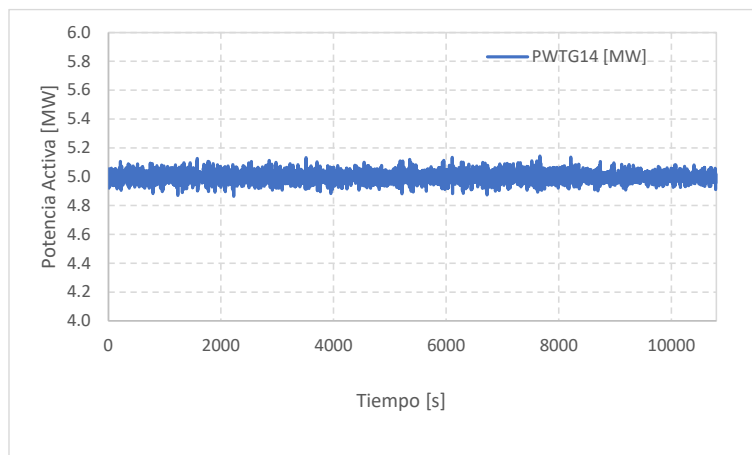


Gráfico 63. Potencia bruta generada en WTG14.

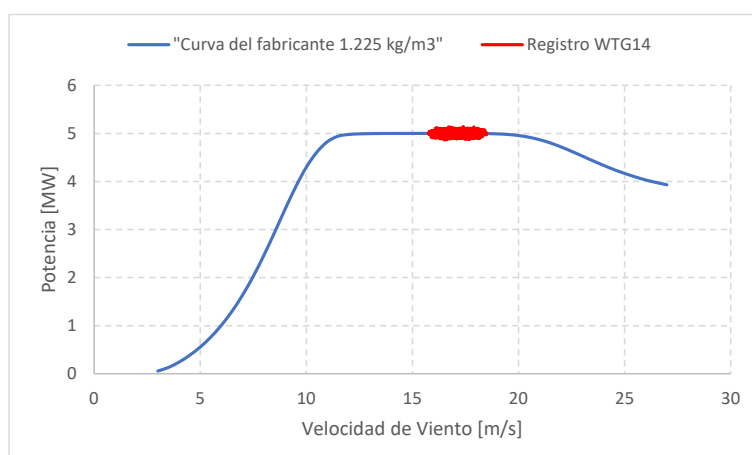


Gráfico 64. Curva potencia velocidad WTG14.

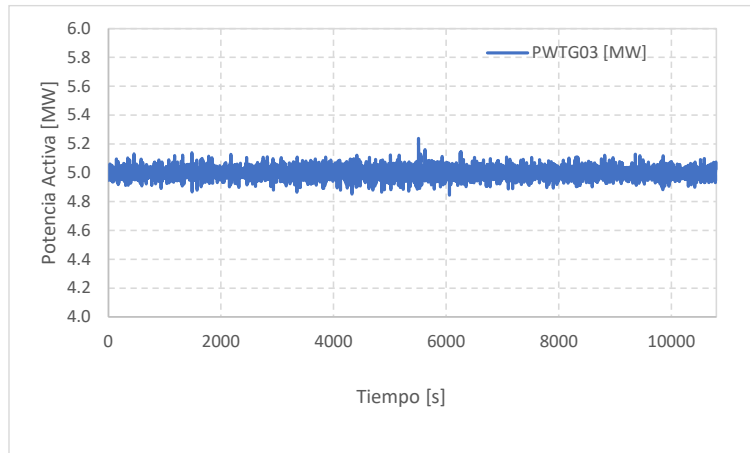


Gráfico 65. Potencia bruta generada en WTG03.

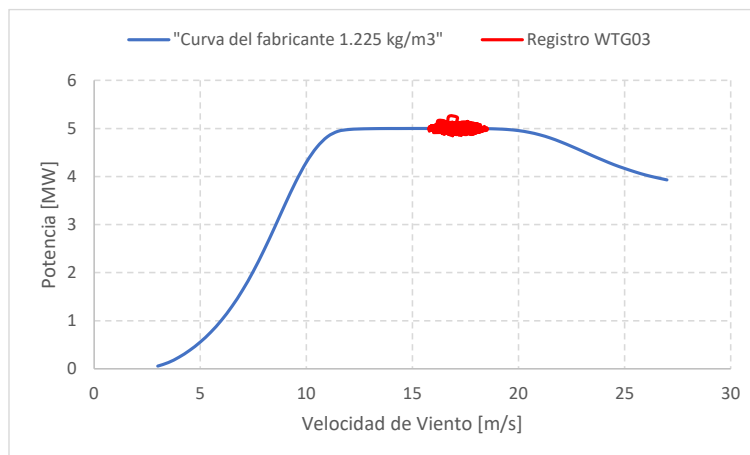


Gráfico 66. Curva potencia velocidad WTG03.

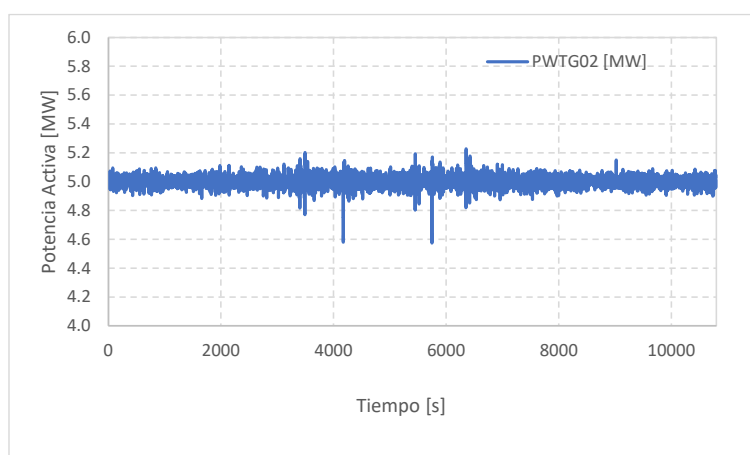


Gráfico 67. Potencia bruta generada en WTG02.

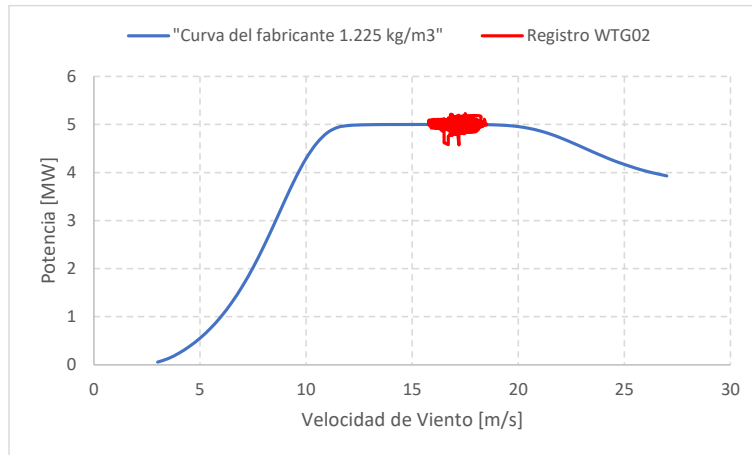


Gráfico 68. Curva potencia velocidad WTG02.

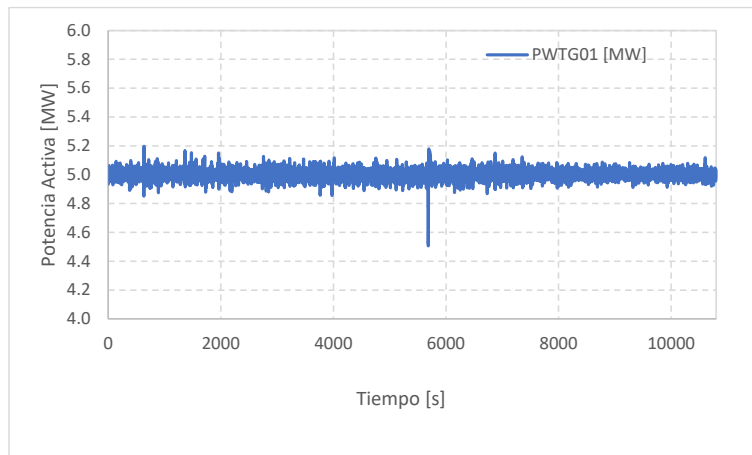


Gráfico 69. Potencia bruta generada en WTG01.

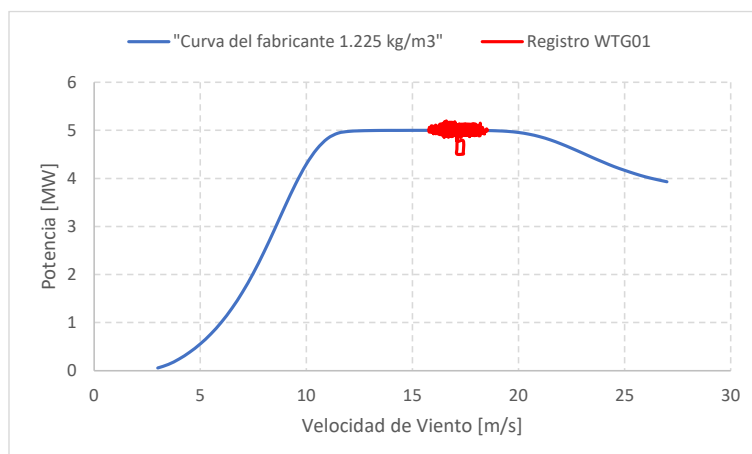


Gráfico 70. Curva potencia velocidad en WTG01.

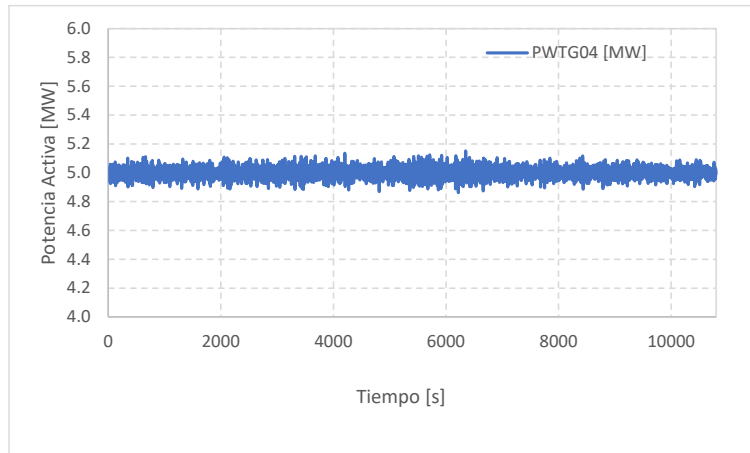


Gráfico 71. Potencia bruta generada en WTG04.

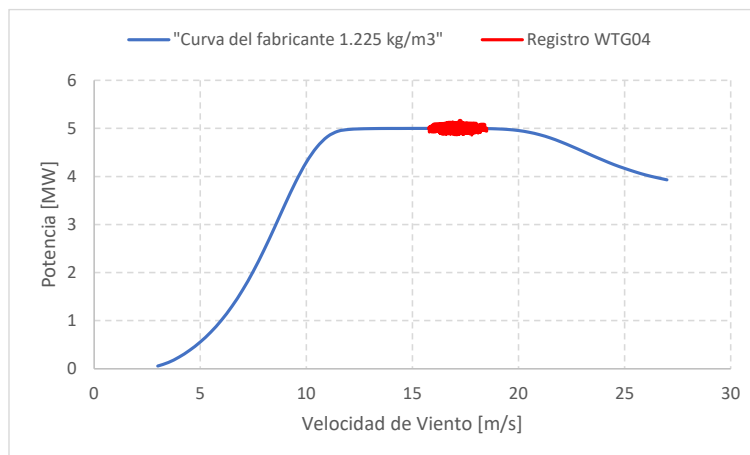


Gráfico 72. Curva potencia velocidad WTG04.

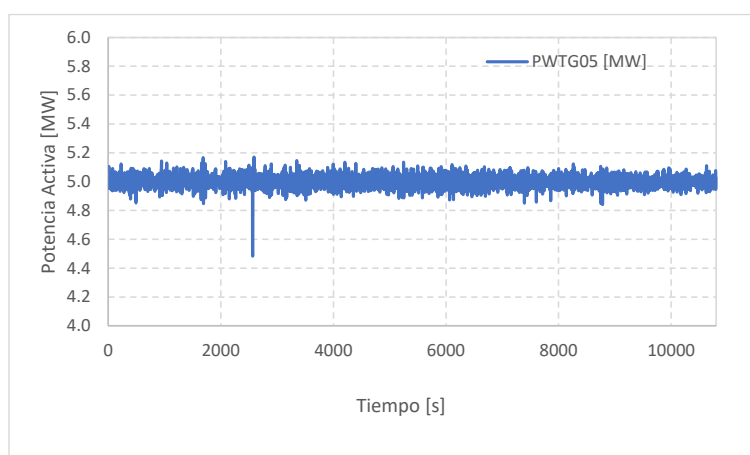


Gráfico 73. Potencia bruta generada en WTG05.

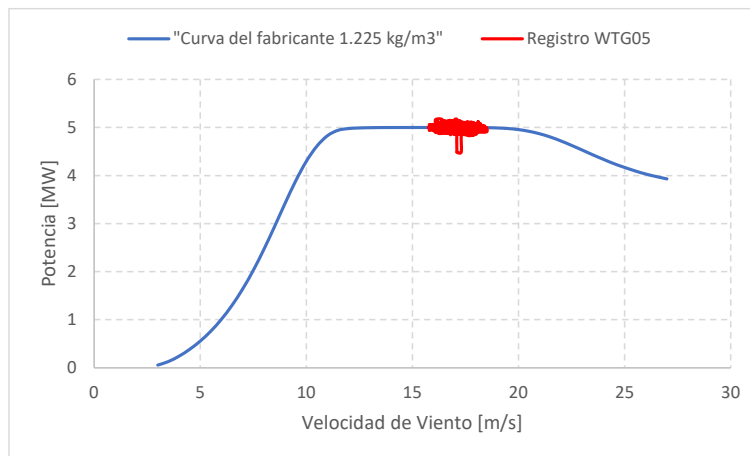


Gráfico 74. Curva potencia velocidad WTG05.

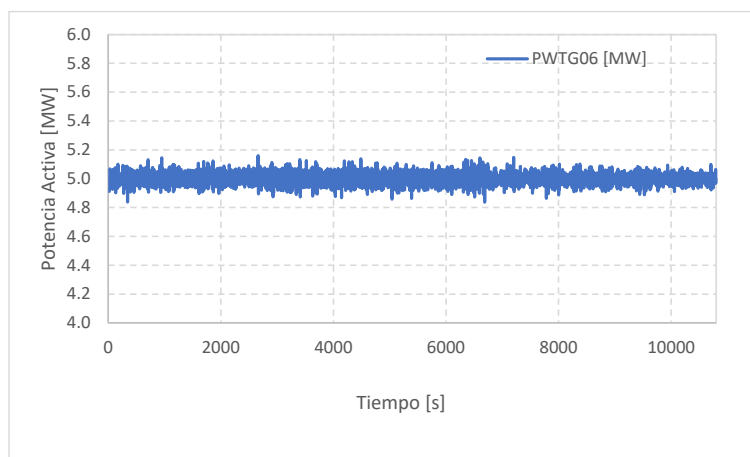


Gráfico 75. Potencia bruta generada en WTG06.

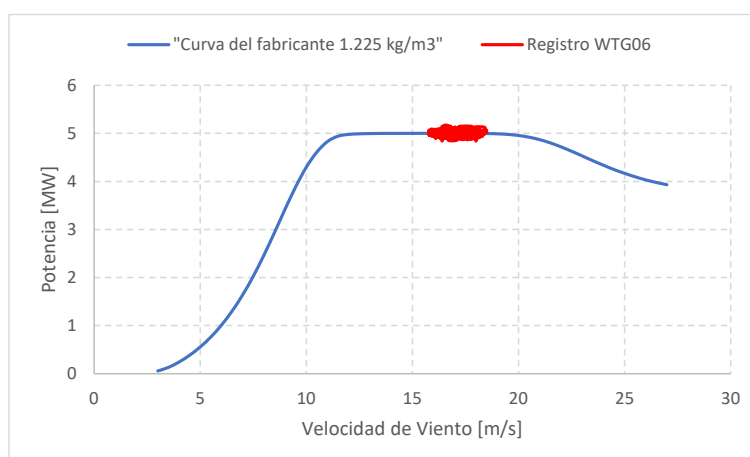


Gráfico 76. Curva potencia velocidad WTG06.

De los gráficos anteriores se observa que para el periodo registrado la velocidad de viento era en promedio 17 m/s, por lo que el resultado en la curva de potencia velocidad de los aerogeneradores era la máxima generación (5 MW). Adicionalmente se observó que cuatro

aerogeneradores (WTG31, WTG32, WTG24 y WTG18) no llegaron a potencia máxima debido a que estaban limitados porque se estaban realizando algunas tareas de mantenimiento sobre los mismos y para esto se los limitó la generación máxima observada en ellos. De lo anterior luego de liberados, estas máquinas generaran la potencia máxima observada en el resto de los aerogeneradores, por lo que la potencia máxima bruta corregida será de **160 MW**.

A continuación, se realiza el cálculo de potencia según la Tabla 1. Luego de calculadas los distintos ítems se realizará la corrección de la potencia neta inyectada para la potencia bruta máxima a la cual se puede llegar (160 MW).

4.1.1 Potencia Neta

Como puede visualizarse en el Gráfico 10 en la potencia máxima inyectada en el punto de conexión fue de 148.062 MW, por lo tanto:

$$P_{neta} = 148.062 \text{ MW}$$

4.1.2 Potencia Bruta

Como puede verse en el Gráfico 13 al Gráfico 76, los aerogeneradores pueden inyectar una potencia máxima bruta promedio de 5 MW. La potencia bruta total surge de la sumatoria de las potencias individuales en bornes de cada aerogenerador para el instante de máxima potencia en el punto de conexión. Al momento de realizar las mediciones, cuatro aerogeneradores se encontraban limitados por tareas de mantenimiento (WTG31, WTG32, WTG24 y WTG18). La potencia total entonces resulta como se muestra a continuación:

$$P_{bruta} = \sum_{i=1}^{32} P_{gi} = 150.8 \text{ MW}$$

Luego de liberados los aerogeneradores cuya potencia estaba limitada, la potencia bruta máxima que la planta podrá producir será la que se muestra a continuación:

$$(*) P_{bruta} = \sum_{i=1}^{32} P_{gi} = 160 \text{ MW}$$

4.1.3 Potencia de los servicios auxiliares

El consumo de los servicios auxiliares para la condición de potencia máxima generada se determinó mediante un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, empleando el modelo desarrollado de la central. Se despacharon los generadores con las potencias brutas registradas en el ensayo. En el siguiente gráfico se muestra el resultado obtenido donde se observa que para un consumo de SSAA de 391 kW, se obtiene la potencia neta en el punto de conexión de 148.062 MW (obtenida en el ensayo).

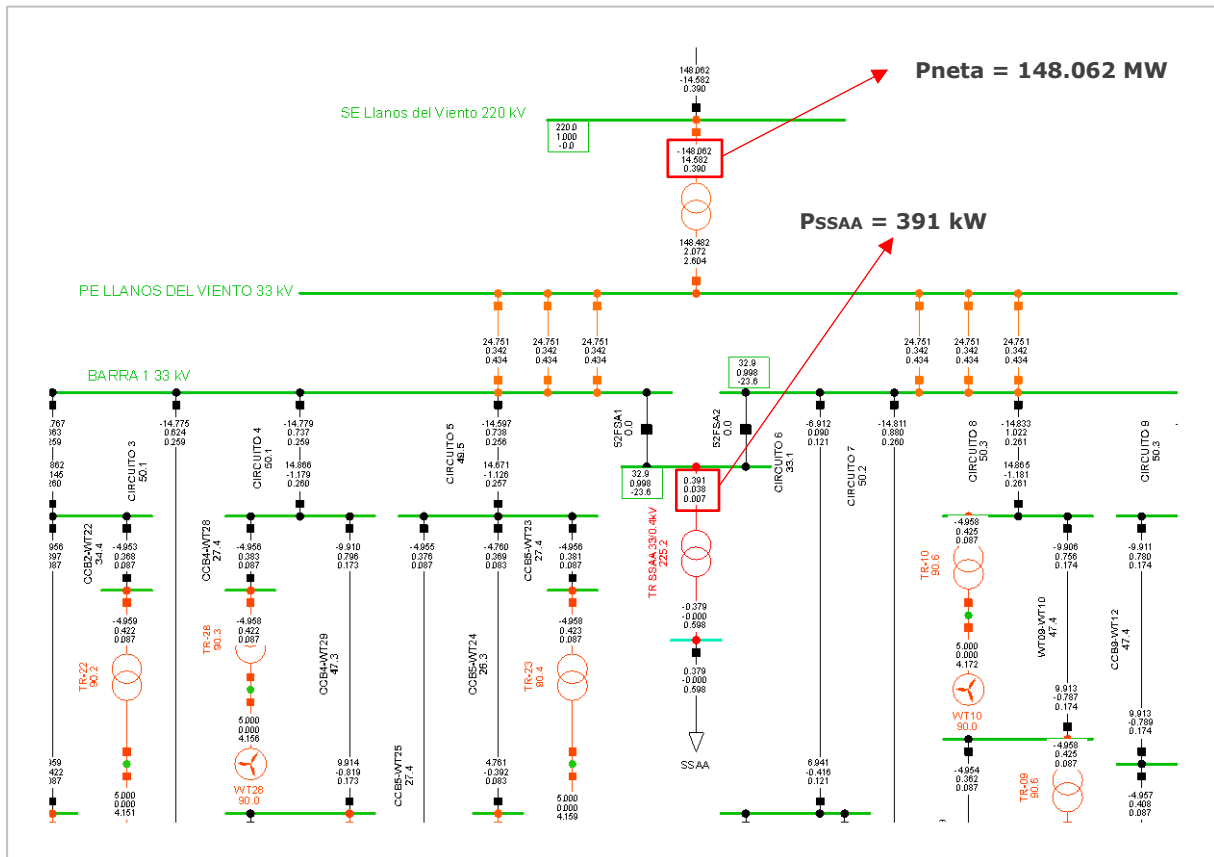


Gráfico 77. Determinación del consumo de SSAA.

El consumo de servicios auxiliares para esta condición operativa se determinó en un valor de 391 kW (SSAA SE Llanos del viento + SSAA Aerogeneradores).

$$P_{SSAA} = 391 \text{ kW}$$

4.1.4 Potencia de pérdidas de la central

La potencia de pérdidas de la central se obtiene como la suma de las pérdidas del transformador de potencia de la central y las pérdidas en el sistema colector de media tensión (cables MT + transformadores de bloque de aerogeneradores).

Además, debe descontarse el consumo de los SSAA. La expresión para el cálculo de la potencia de pérdidas de la central se muestra a continuación:

$$P_{perd\ central} = P_{bruta} - P_{neta} - P_{SSAA}$$

$$P_{perd\ central} = 150.8\text{ MW} - 148.062\text{ MW} - 0.391\text{ MW}$$

$$P_{perd\ central} = 2.347\text{ MW}$$

Este valor debe ser desagregado en los siguientes elementos:

- Pérdidas en el transformador principal (Ptrrafo).
- Pérdidas en la red colectora de MT (Pcolector).

Para poder desagregar las pérdidas anteriores, se realizó un cálculo de flujo de potencia en el software PowerFactory, tomando el modelo detallado empleado en el estudio de validación.

Considerando la simulación de flujo de potencia mencionada anteriormente se pueden determinar las pérdidas activas de potencia asociadas al transformador elevador de la SE Llanos del viento. Para el estado de potencia máxima se tiene:

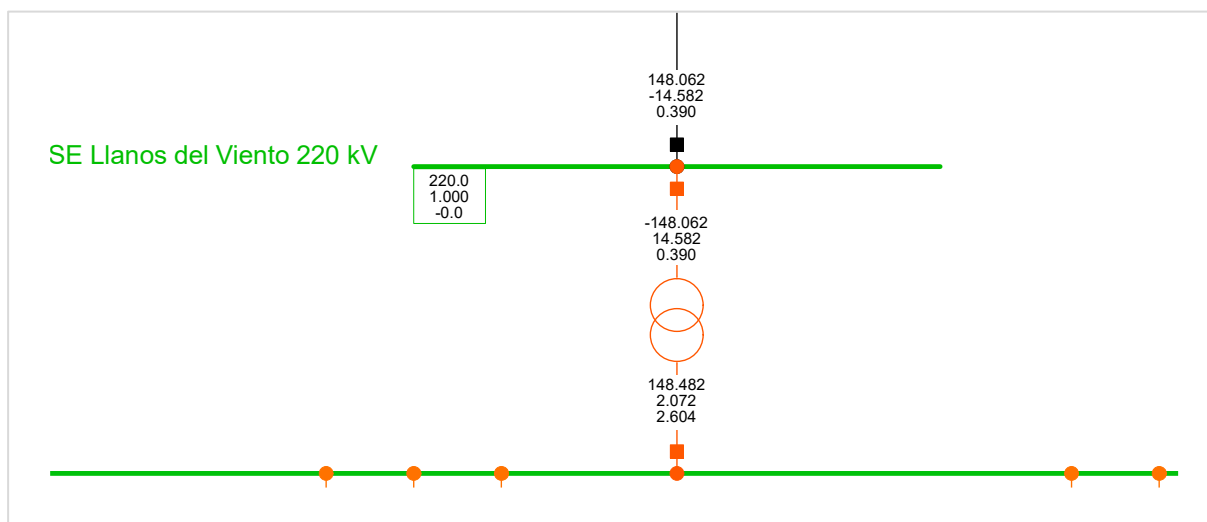


Gráfico 78. Cálculo de pérdidas en el transformador de potencia de la SE Llanos del Viento.

De lo anterior las pérdidas activas en el transformador de potencia de la SE Llanos del viento, se calculan como:

$$P_{trafo} = 148.482\text{ MW} - 148.062\text{ MW} = 420\text{ kW}$$

Los datos del transformador de potencia se muestran a continuación:

2-Winding Transformer Type - Templates\pe llanos\Library\Equipment Type Library\Elementos Futuros\Trf 220/33kV 170 MVA, TypTr2

Basic Data	Name	Trf 220/33kV 170 MVA
Description	Technology	Three Phase Transformer
Version	Rated Power	170. MVA
Load Flow	Nominal Frequency	50. Hz
Short-Circuit VDE/IEC	Rated Voltage	
Short-Circuit Complete	HV-Side	220. kV
Short-Circuit ANSI	LV-Side	33. kV
Short-Circuit IEC 61363	Vector Group	
Short-Circuit DC	HV-Side	YN
Simulation RMS	LV-Side	D
Simulation EMT	Phase Shift	1. *30deg
Protection	Name	YNd1
Power Quality/Harmonics	Positive Sequence Impedance	
Reliability	Short-Circuit Voltage uk	12.745 %
Hosting Capacity Analysis	Copper Losses	458.61 kW
Optimal Power Flow	Zero Sequence Impedance	
	Short-Circuit Voltage uk0	12.27997 %
	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0.27 %

Magnetising Impedance	
No Load Current	0.052 %
No Load Losses	69. kW

Gráfico 79. Modelo PowerFactory del transformador de potencia de la SE Llanos del Viento.

Por lo tanto, las pérdidas en la red colectora quedan determinadas por la siguiente expresión:

$$P_{colector} = P_{perd\ central} - P_{trafo}$$

$$P_{colector} = 2.347\ MW - 0.42\ MW$$

$$P_{colector} = 1.927\ MW$$

4.1.5 Resumen de resultados

En base a los cálculos presentados en las secciones precedentes y los registros operacionales, a continuación, se muestra el resumen de resultados:

Tabla 2. Resumen de resultados – Potencia Máxima, valores medidos.

Parque Eólico	Potencia Bruta medida [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta [MW]
PE Llanos del Viento	150.8	0.391	2.347	148.062

Corrigiendo estos valores a la condición nominal, es decir, con las 32 unidades generando su potencia bruta nominal (5 MW), se obtienen los valores de la Tabla 3.

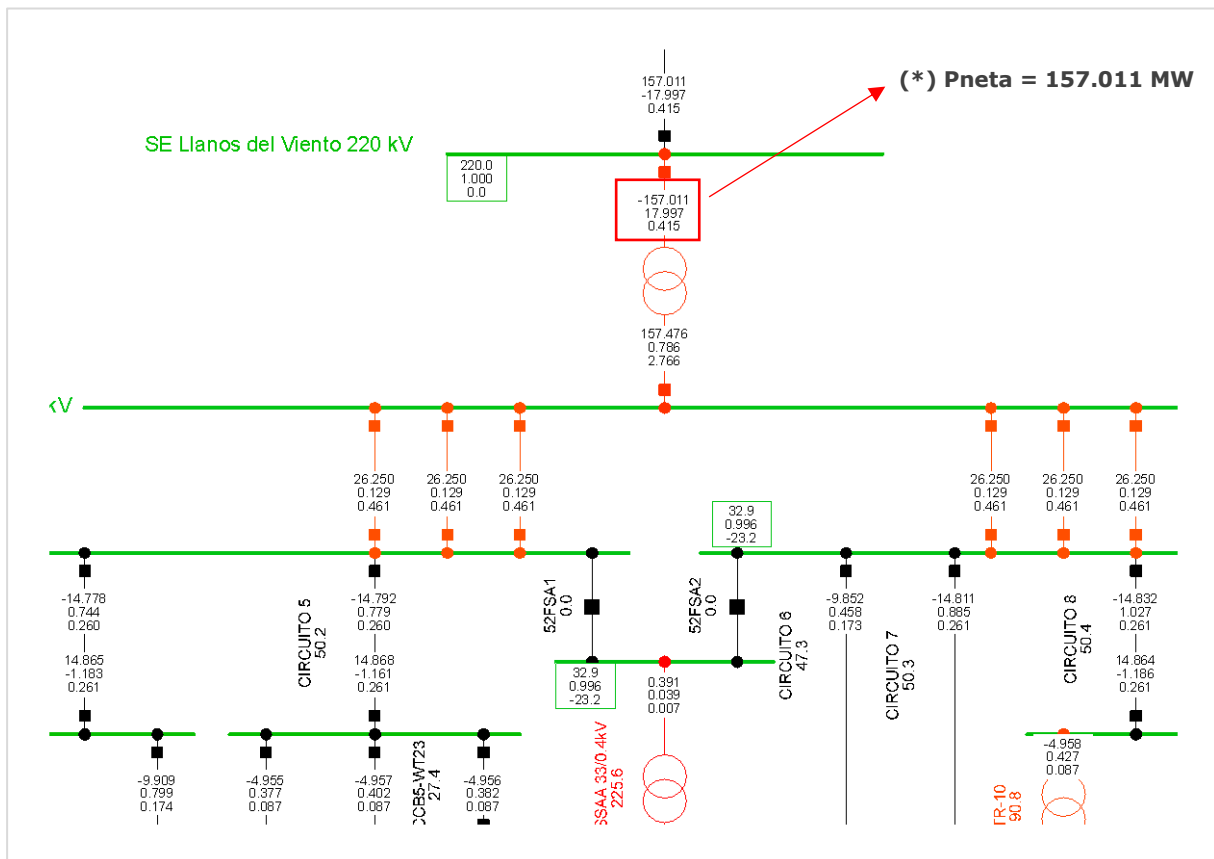


Gráfico 80. Despacho en condiciones nominales del PE Llanos del Viento.

(*). Valores corregidos para la potencia bruta máxima de 160 MW.

Tabla 3. Resumen de resultados – Potencia Máxima, valores nominales.

Parque Eólico	Potencia Bruta nominal [MW]	SS.AA. [MW]	Pérdidas en la central [MW]	Potencia Neta nominal [MW]
PE Lanos del Viento	160	0.391	2.598	157.011

5. Conclusiones

Se determinó en base a los registros operacionales y cálculos que el PE Llanos del Viento puede generar una potencia bruta máxima de **160 MW**, entregando en el punto de conexión una potencia de **157.011 MW**.

ANEXO

1. Curva Potencia – velocidad del aerogenerador.

P [kW] Ws [m/s]	Density [kg/m³]									
	1.225	0.93	0.95	0.97	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
3.0	56	29	31	33	35	36	37	37	38	39
3.5	130	84	87	90	93	95	97	98	100	101
4.0	241	168	173	178	183	185	188	190	192	195
4.5	383	274	282	289	296	300	304	307	311	315
5.0	555	405	415	425	436	441	446	451	456	461
5.5	762	563	576	590	603	610	617	624	630	637
6.0	1009	750	768	785	803	812	820	829	838	847
6.5	1300	971	993	1016	1038	1049	1060	1071	1082	1094
7.0	1638	1228	1256	1284	1311	1325	1339	1353	1367	1381
7.5	2026	1523	1557	1591	1625	1642	1660	1677	1694	1711
8.0	2462	1855	1896	1937	1978	1999	2020	2040	2061	2082
8.5	2934	2216	2264	2313	2362	2387	2411	2436	2460	2484
9.0	3421	2592	2649	2706	2762	2791	2819	2848	2876	2904
9.5	3887	2971	3035	3100	3165	3197	3229	3261	3293	3325
10.0	4294	3343	3415	3486	3557	3592	3627	3662	3697	3731
10.5	4611	3702	3778	3854	3928	3964	4000	4035	4070	4104
11.0	4829	4039	4116	4190	4261	4296	4329	4362	4394	4425
11.5	4942	4340	4411	4478	4540	4570	4598	4625	4651	4676
12.0	4978	4591	4651	4705	4754	4776	4797	4817	4835	4852
12.5	4990	4782	4827	4864	4896	4909	4920	4930	4939	4946
13.0	4995	4909	4932	4949	4961	4966	4970	4973	4976	4978
13.5	4998	4965	4973	4979	4983	4984	4986	4987	4988	4989
14.0	4999	4983	4987	4989	4991	4992	4992	4993	4994	4994
14.5	4999	4991	4993	4994	4995	4996	4996	4996	4997	4997
15.0	5000	4995	4996	4997	4998	4998	4998	4998	4998	4998
15.5	5000	4997	4998	4998	4999	4999	4999	4999	4999	4999
16.0	5000	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	5000	5000
16.5	5000	4999	4999	4999	5000	5000	5000	5000	5000	5000
17.0	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
17.5	5000	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	5000	5000
18.0	4999	4998	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999	4999
18.5	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996
19.0	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990	4990
19.5	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978	4978
20.0	4956	4956	4955	4956	4956	4956	4956	4956	4956	4956
20.5	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920	4920
21.0	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869	4869
21.5	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802	4802
22.0	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720	4720
22.5	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628	4628
23.0	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531	4531
23.5	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432	4432
24.0	4338	4338	4338	4338	4338	4338	4338	4338	4338	4338
24.5	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247	4247
25.0	4169	4169	4168	4169	4168	4168	4168	4169	4169	4169
25.5	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096	4096
26.0	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031	4031
26.5	3978	3978	3977	3978	3977	3977	3977	3978	3978	3978
27.0	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930	3930

Table 3 Electric power [KW] of the wind turbine SG 5.0-145 calculated in function of wind speed at hub height Ws [m/s], for different air densities [kg/m³]. (ref: SG145AERPC5000KW_R01_28062019)