



**GOBIERNO *de*
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

MINISTERIO DE
ENERGÍA
Y MINAS
DIRECCIÓN GENERAL
DE ENERGÍA

ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE LA MEDICIÓN DE VIENTO EN ALDEA “SAMORORO”





**MINISTERIO DE
ENERGÍA
Y MINAS**
DIRECCIÓN GENERAL
DE ENERGÍA

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Acrónimos..... | 4 |
| Introducción..... | 5 |
| 1. Política energética del MEM..... | 8 |
| 2. La energía eólica a nivel mundial..... | 9 |
| 3. La energía eólica en Guatemala..... | 12 |
| 4. Objetivos..... | 14 |
| 5. Metodología..... | 15 |
| 6. Descripción del emplazamiento..... | 16 |
| 6.1. Mapa de potencial eólico y localización de estaciones de medición instaladas..... | 16 |
| 6.2. Clasificación por densidades y velocidades de viento emplazamiento..... | 17 |
| 6.3. Sitio de estudio..... | 18 |
| 6.4. Características del lugar de medición..... | 18 |
| 6.5. Mapa de velocidades de viento y diagrama de ubicación posible de 2 aerogeneradores de acuerdo a Informe de Resultados de “Samororo Mataquesuintla”..... | 18 |
| 6.6. Dirección del viento en el emplazamiento..... | 20 |
| 6.7. Descripción del equipo de medición..... | 21 |
| 6.7.1. Anemómetro:..... | 21 |
| 6.7.2. Veleta:..... | 21 |
| 6.7.3. Registrador de Datos: (Datta Logger)..... | 21 |
| 6.7.4. Baliza Luminosa:..... | 21 |
| 6.7.5. Sensor de Temperatura:..... | 22 |
| 6.7.6. Sensor de Radiación Solar:..... | 22 |
| 6.7.7. Características Técnicas del Equipo de Medición..... | 23 |
| 7. Resultados de la Medición..... | 24 |
| 7.1. Velocidad Promedio del Emplazamiento..... | 24 |
| 7.2. Resumen de la velocidad promedio anual..... | 29 |
| 7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento..... | 30 |
| 8. Estimación de la Energía..... | 31 |
| 8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólica Samororo..... | 37 |
| 9. Comportamiento de la Velocidad de Viento..... | 38 |
| 9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero..... | 38 |
| 9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero..... | 40 |
| 9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo..... | 41 |
| 9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril..... | 42 |
| 9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo..... | 43 |



| | | |
|-------|---|----|
| 9.6. | Comportamiento de la Velocidad de viento en junio..... | 44 |
| 9.7. | Comportamiento de la Velocidad de viento en julio..... | 45 |
| 9.8. | Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto..... | 46 |
| 9.9. | Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre..... | 47 |
| 9.10. | Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre..... | 48 |
| 9.11. | Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre..... | 49 |
| 9.12. | Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre..... | 49 |
| 10. | Análisis de los Gases de Efecto Invernadero evitadas en el Emplazamiento..... | 51 |
| 11. | Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable..... | 53 |
| 12. | Conclusiones..... | 54 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Gráfica 1: | Nueva capacidad instalada por año a nivel mundial..... | 10 |
| Gráfica 2: | Capacidad eólica instalada en el mundo..... | 11 |
| Gráfica 3: | Generación Eólica en el Sistema Nacional Interconectado, 2015-2019..... | 12 |
| Gráfica 4: | Energía Eólica Generada en Guatemala, 2019..... | 13 |
| Gráfica 5: | Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2006..... | 25 |
| Gráfica 6: | Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2007..... | 26 |
| Gráfica 7: | Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2008..... | 27 |
| Gráfica 8: | Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2009..... | 28 |
| Gráfica 9: | Resumen de Velocidad Promedio –Samororo 2006-2009..... | 29 |
| Gráfica 10: | Resumen de Horas Medidas y Horas Aprovechables –Samororo 2006 - 2009..... | 30 |
| Gráfica 11: | Energía – Samororo 2006..... | 33 |
| Gráfica 12: | Energía - Samororo 2007..... | 34 |
| Gráfica 13: | Energía – Samororo 2008..... | 35 |
| Gráfica 14: | Energía –Samororo 2009..... | 36 |
| Gráfica 15: | Resumen Energía 2006 - 2009..... | 37 |
| Gráfica 16: | Comportamiento del Viento en un día - enero..... | 38 |
| Gráfica 17: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - enero..... | 39 |
| Gráfica 18: | Comportamiento del viento en un día - febrero..... | 40 |
| Gráfica 19: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - febrero..... | 40 |
| Gráfica 20: | Comportamiento del viento en un día - marzo..... | 41 |
| Gráfica 21: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - marzo..... | 41 |
| Gráfica 22: | Comportamiento del viento en un día -abril..... | 42 |
| Gráfica 23: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - abril..... | 42 |
| Gráfica 24: | Comportamiento del viento en un día - mayo..... | 43 |
| Gráfica 25: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - mayo..... | 43 |
| Gráfica 26: | Comportamiento del viento en un día - junio..... | 44 |
| Gráfica 27: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - junio..... | 44 |
| Gráfica 28: | Comportamiento del viento en un día - julio..... | 45 |
| Gráfica 29: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - julio..... | 45 |
| Gráfica 30: | Comportamiento del viento en un día - agosto..... | 46 |
| Gráfica 31: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - agosto..... | 46 |
| Gráfica 32: | Comportamiento del viento en un día - septiembre..... | 47 |
| Gráfica 33: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - septiembre..... | 47 |
| Gráfica 34: | Comportamiento del viento en un día - octubre..... | 48 |
| Gráfica 35: | Tendencia del comportamiento del viento en un día - octubre..... | 48 |



| | |
|--|----|
| Gráfica 36: Comportamiento del viento en un día - noviembre..... | 49 |
| Gráfica 37: Tendencia del comportamiento del viento en un día - noviembre..... | 49 |
| Gráfica 38: Comportamiento del viento en un día - diciembre..... | 50 |
| Gráfica 39: Tendencia del comportamiento del viento en un día - diciembre..... | 50 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Proyectos eólicos instalados en el País..... | 12 |
| Tabla 2: Características del equipo de medición instalado SAMORORO..... | 23 |
| Tabla 3: Velocidad de viento 2006..... | 25 |
| Tabla 4: Aprovechamiento 2006..... | 25 |
| Tabla 5: Velocidad de viento 2007..... | 26 |
| Tabla 6: Aprovechamiento 2007..... | 26 |
| Tabla 7: Velocidad de viento 2008..... | 27 |
| Tabla 8: Aprovechamiento 2008..... | 27 |
| Tabla 9: Velocidad de viento 2009..... | 28 |
| Tabla 10: Aprovechamiento 2009..... | 28 |
| Tabla 11: Horas medidas y aprovechables..... | 30 |
| Tabla 12: Aerogenerador Vestas V90/3000..... | 31 |
| Tabla 13: Energía 2006..... | 33 |
| Tabla 14: Energía 2007..... | 34 |
| Tabla 15: Energía 2008..... | 35 |
| Tabla 16: Energía 2009..... | 36 |
| Tabla 17: Energía Total Samororo 2006 – 2009..... | 37 |
| Tabla 18: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral..... | 51 |
| Tabla 19: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil..... | 51 |
| Tabla 20: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil..... | 51 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Factores que reducen el LCOE..... | 9 |
| Ilustración 2: Cuadro de clasificación de clase de viento..... | 17 |
| Ilustración 3: Segmento cartográfico de ubicación del emplazamiento medido..... | 18 |
| Ilustración 4: Potencial eólico y ubicación posible de 2 turbinas en el emplazamiento..... | 19 |
| Ilustración 5: Dirección predominante del viento SAMORORO..... | 20 |
| Ilustración 6: Anemómetro de 3 copas..... | 21 |
| Ilustración 7: Veleta..... | 21 |
| Ilustración 8: Registrador de datos..... | 21 |
| Ilustración 9: Baliza Luminosa..... | 21 |
| Ilustración 10: Sensor de Temperatura..... | 22 |
| Ilustración 11: Sensor de Radiación Solar..... | 22 |



Acrónimos

| | |
|------------------|--|
| °C | Grados Celsius. |
| CO _{2e} | Dióxido de Carbono equivalente. |
| DER | Departamento de Energías Renovables. |
| DGE | Dirección General de Energía. |
| GDR | Generador distribuido renovable. |
| GEI | Gases de efecto invernadero. |
| GWEC | Consejo Global de Energía Eólica. |
| GWh | Giga Watt Hora. |
| IRENA | Agencia Internacional de Energías Renovables |
| Km ² | Kilómetros cuadrados. |
| LCOE | Coste Normalizado de Energía |
| MEM | Ministerio de Energía y Minas. |
| m/s | Metros por segundo. |
| MW | Mega Watt. |
| MWh | Mega Watt Hora. |
| W/m ² | Watt sobre metro cuadrado. |
| WWEA | Asociación Mundial de Energía Eólica. |



Introducción

En el período comprendido del 23 de octubre de 2006 al 31 de diciembre de 2009, se recopilaban archivos en formato NRG Raw Data File con extensión. RWD provenientes del DATA Logger NRG Symphonie, instalado en el sitio de medición de potencial eólico en aldea Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.

Según lo establecido en el artículo 3 de la Ley de Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía, es necesario promover la localización de los recursos energéticos renovables, que sirvan para la generación de energía, impulsando estudios que estimen el potencial técnico utilizable.

El Departamento de Energías Renovables (DER), de la Dirección General de Energía, es la unidad encargada de dar seguimiento al programa de medición de potencial eólico, recopilando la información periódicamente. Actualmente el DER ha iniciado un análisis más detallado de la información correspondiente a este sitio de medición, con la finalidad de brindar un dato aproximado en GWh de la energía que se podría generar, instalando una unidad de generación Vestas V90/3000, en un emplazamiento cercano al sitio medido, partiendo de los datos de velocidad de viento recopilados en el sitio de medición, proporcionando la dirección predominante del viento y la cantidad de horas del recurso eólico aprovechable por mes, así mismo brindar las curvas de comportamiento de la velocidad de viento durante el día para cada mes de los años medidos.



1. Política energética del MEM

La Política Energética está orientada a la contribución del desarrollo energético sostenible del país con equidad social y respeto al medio ambiente. Se han establecido líneas de acción orientadas a dar solución a los desafíos planteados en relación a las energías renovables: priorizando la utilización de energías limpias y amigables con el medio ambiente; impulsando espacios de diálogo interinstitucional que permitan gestionar iniciativas de desarrollo social y económico.

Dentro de las acciones para cumplir con el objetivo de la política energética, se impulsa el uso de las energías renovables, dentro de ellas la energía eólica, y elaborar planes maestros del potencial energético del país en energía renovable.

Los Ejes de la Política Energética 2019-2050 son:

- Abastecimiento y uso final de la electricidad
- Abastecimiento y uso final de combustibles.
- Eficiencia energética.
- Consumo de leña.
- Desarrollo sostenible.



2. La energía eólica a nivel mundial

A nivel mundial, la energía eólica ha mostrado un rumbo cada vez más competitivo para satisfacer las necesidades de generación eléctrica.

Según la Agencia Internacional de las Energías Renovables -IRENA-, los costos de la energía eólica, están bajando y esto se refleja en una disminución en el LCOE (coste normalizado de electricidad), para los proyectos de energía eólica. Esta tendencia se debe a dos factores importantes:

Ilustración 1: Factores que reducen el LCOE.



Fuente: -IRENA-.

Según el último estudio de costos globales de IRENA, en 2018 el promedio global ponderado, para el costo normalizado de electricidad -LCOE-, de los proyectos de energía eólica en tierra (onshore), que han sido encargados, fue de USD 0.056/KWh, lo cual representó una disminución del 13% respecto al 2017 y 35% más bajo respecto al año 2010. Lo cual marca una tendencia a nivel mundial de disminución en los costos para la generación de energía eólica onshore.

Siguiendo una secuencia histórica de los últimos años, para el 2017 se habían alcanzado 514 GW de capacidad eólica instalada en el mundo, para el 2018 la industria eólica creció 50 GW¹ de nueva capacidad, con lo que se alcanzaron los 564 GW de capacidad instalada, China fue el país que mantuvo su posición de líder a nivel mundial en instalaciones eólicas. A finales del año 2019, la capacidad eólica instalada alcanzó los 623 GW, de este incremento, China y Estados Unidos fueron los países que representaron la mayor parte, con 26 GW y 9 GW instalados respectivamente¹.

Se espera que el aumento de la energía eólica en Asia y el Pacífico continúe, ya que el Consejo Global de Energía Eólica -GWEC- pronostica que las nuevas instalaciones alcanzarán 55 GW o más cada año hasta 2023. Un volumen estable provendrá de regiones maduras en Europa y los EE. UU., mientras que se prevé un crecimiento significativo en los

¹ Informe Anual Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 de IRENA.

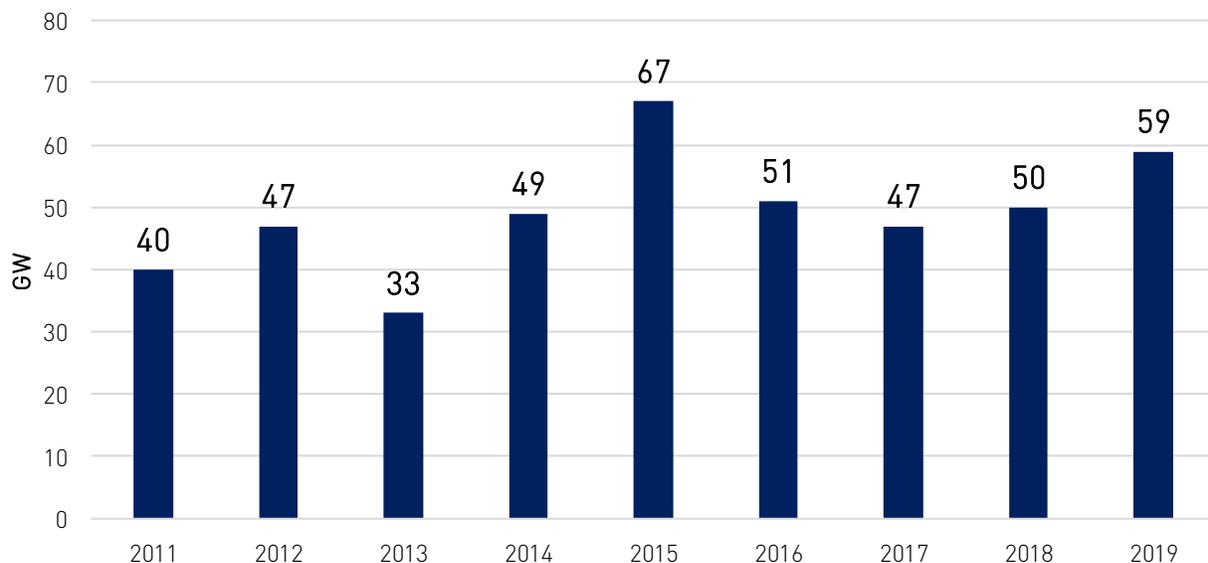


mercados en desarrollo en el sudeste asiático y en el mercado offshore global, con ello se instalarán más de 145 GW de la capacidad de nuevos parques eólicos en tierra para 2023.

Según la Asociación Mundial de Energía Eólica -WWEA-, el robusto crecimiento de la energía eólica en todo el mundo es muy alentador y va de la mano de una mayor diversificación geográfica. En este desarrollo dinámico, están jugando un papel importante las nuevas regiones, como América Latina y África. Además, muchos gobiernos han apostado por la energía eólica, debido a que aporta grandes beneficios a sus sociedades, ya que están libres de emisiones nocivas al ambiente, siendo energía barata, local y accesible.

La información de los últimos datos publicados por el GWEC muestra que el norte, el centro y el sur de América han instalado 11.9 GW de capacidad de energía eólica en 2018, un aumento del 12% respecto al año anterior. En América del Norte (Canadá y EE. UU.), las nuevas incorporaciones de capacidad crecieron un 10,8% en comparación con 2017 y en América Latina, las nuevas incorporaciones de capacidad aumentaron un 18,7% en comparación con 2017².

Gráfica 1: Nueva capacidad instalada por año a nivel mundial.

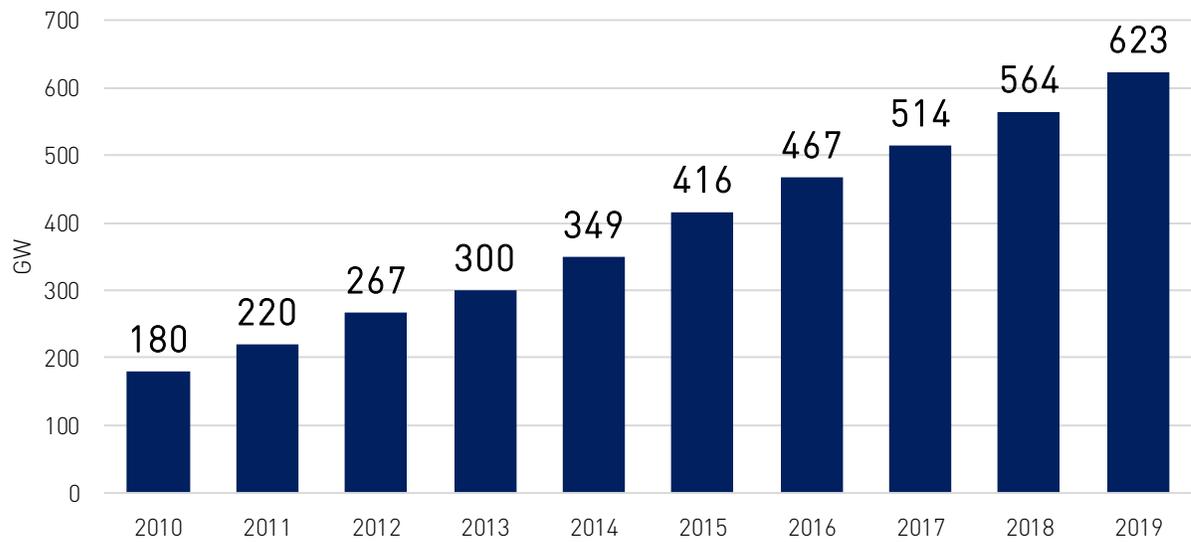


Fuente: Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 -IRENA-.

² Fuente: Global Wind Energy Council -GWEC-



Gráfica 2: Capacidad eólica instalada en el mundo.



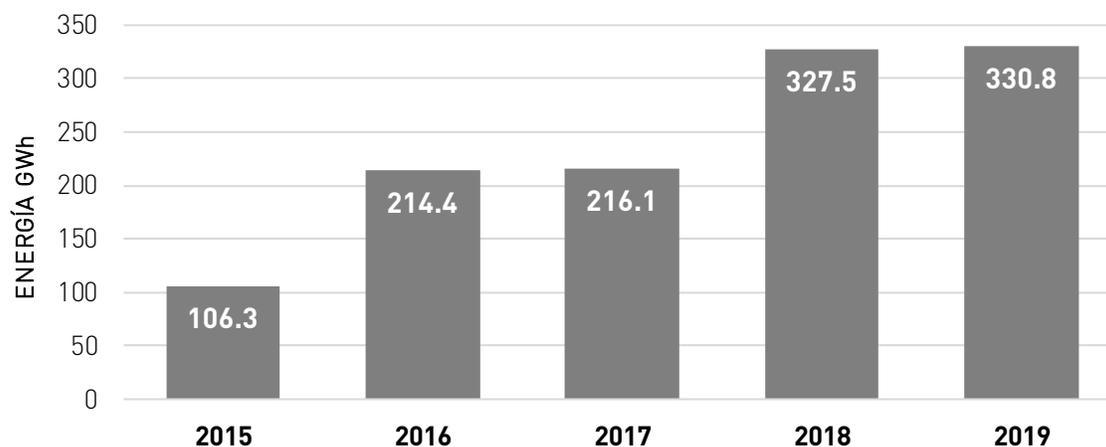
Fuente: Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 -IRENA-.



3. La energía eólica en Guatemala

Actualmente se tiene una potencia instalada efectiva al sistema de 106.5 MW. Para el año 2017, la energía generada con recurso eólico, representó en el país 216.1 GWh, para el año 2018 la generación eólica aumentó a 327.5 GWh y en el 2019 se mantuvo en un valor cercano de 330.8 GWh.

Gráfica 3: Generación Eólica en el Sistema Nacional Interconectado, 2015-2019.



Fuente: Elaboración propia con datos del AMM (sujeto a revisión).

A partir de abril del año 2015, Guatemala contó con capacidad instalada de aerogeneradores aportando energía limpia al sistema nacional interconectado, esta capacidad se aumentó, gracias a la entrada en operación del parque eólico Viento Blanco en diciembre del mismo año y nuevamente se incrementó dicha capacidad con el ingreso del proyecto Las Cumbres, en marzo del 2018.

Tabla 1: Proyectos eólicos instalados en el País.

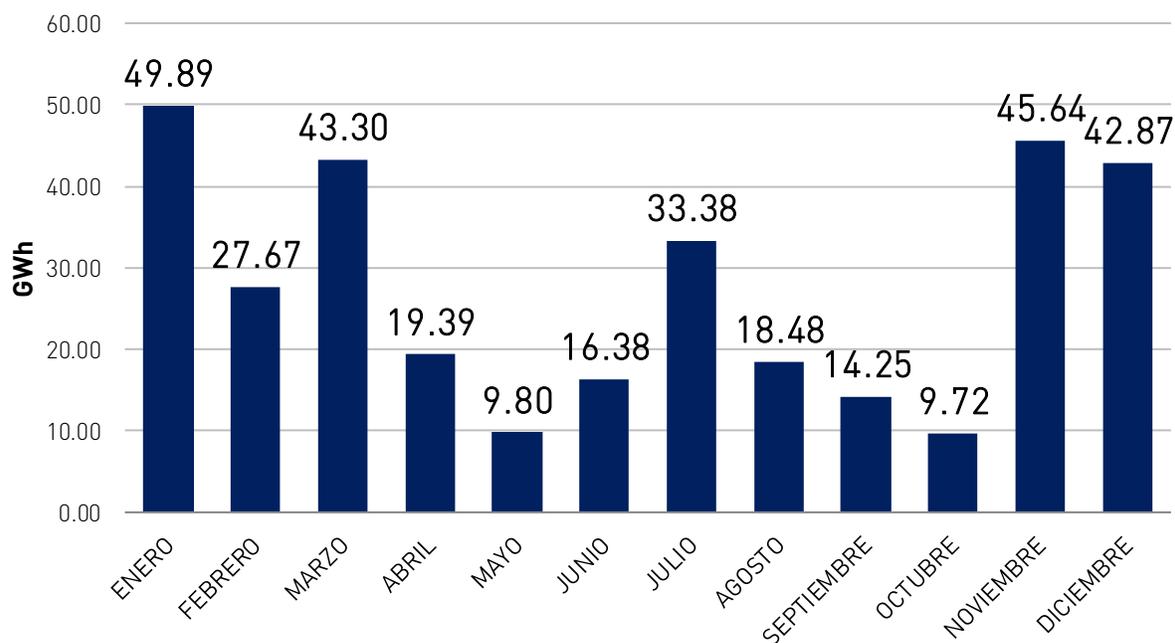
| Proyecto | Capacidad Instalada [MW] | Ubicación |
|---|--------------------------|-----------|
| San Antonio El Sitio | 52.8 | Guatemala |
| Granja Eólica Viento Blanco | 23.1 | Escuintla |
| Proyecto Eólico Las Cumbre de Agua Blanca | 31.5 | Jutiapa |

Fuente: DER-DGE.



En la gráfica 4, se observa el comportamiento por mes de la energía eléctrica generada con recurso eólico para el año 2019, esta tecnología en el Sistema Nacional Interconectado representó 330.78 GWh, lo que, en combustibles fósiles equivale a 194 mil 574 Barriles Equivalentes de Petróleo.

Gráfica 4: Energía Eólica Generada en Guatemala, 2019.



Fuente: Elaborado con información del AMM (sujeto a revisión).



4. Objetivos

General:

- 4.1 Dar a conocer el potencial eólico en el país con el fin de fomentar el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables y así disminuir la dependencia de recursos no renovables

Específicos:

- 4.2 Utilizar los datos recopilados de velocidad de viento en la estación de medición ubicada en la aldea Samororo, para estimar el potencial eólico en el emplazamiento.
- 4.3 Estimar la energía aprovechable al instalar una unidad de generación de electricidad usando el viento como recurso energético en la aldea Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.
- 4.4 Determinar el porcentaje de horas aprovechables en cada día, mes y año, del recurso eólico en el emplazamiento.
- 4.5 Determinar el comportamiento promedio por día de la velocidad de viento, para cada uno de los meses medidos en aldea Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.
- 4.6 Determinar la velocidad promedio del viento en el emplazamiento.



5. Metodología

Para realizar el estudio se utilizaron los datos de variables eólicas recopilados en la estación de medición ubicada en la aldea Samororo en Mataquescuintla, Jalapa, desde el día 23 de octubre de 2006 hasta el 31 de diciembre de 2009. Para el análisis preliminar de información del estudio, se usó el software NRG Data Symphonie, el cual procesó las mediciones generando como resultado, promedios de velocidad, y la rosa de viento para el emplazamiento.

Para el análisis del estudio, se procesaron los datos de medición de velocidad de viento del anemómetro instalado a 30 metros de altura, para ello se determinó como una velocidad de viento aprovechable a aquellos valores por encima de los **5 m/s**; y se promediaron éstos para cada día, obteniendo promedios mensuales y anuales.

Con base en la información recopilada se obtuvieron porcentajes de horas por día, por mes y por año, en las que las velocidades de viento registraron un valor por encima de los 5 m/s, obteniendo así porcentajes de horas aprovechables del recurso. Así mismo se modelaron curvas de comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un día promedio de los diferentes meses medidos, para ello se promediaron las velocidades de viento registradas en el mismo horario, para los diversos días de cada mes.

Haciendo uso de la fórmula del límite de Betz, la cual se explica a detalle en una sección posterior de este estudio, se estimó un valor de potencia diario con base a las mediciones de velocidad, que, al multiplicarlo con las horas aprovechables, sirvieron para estimar la energía que se puede aprovechar en el emplazamiento, tomando en consideración las características de un solo aerogenerador Vestas V90/3000.

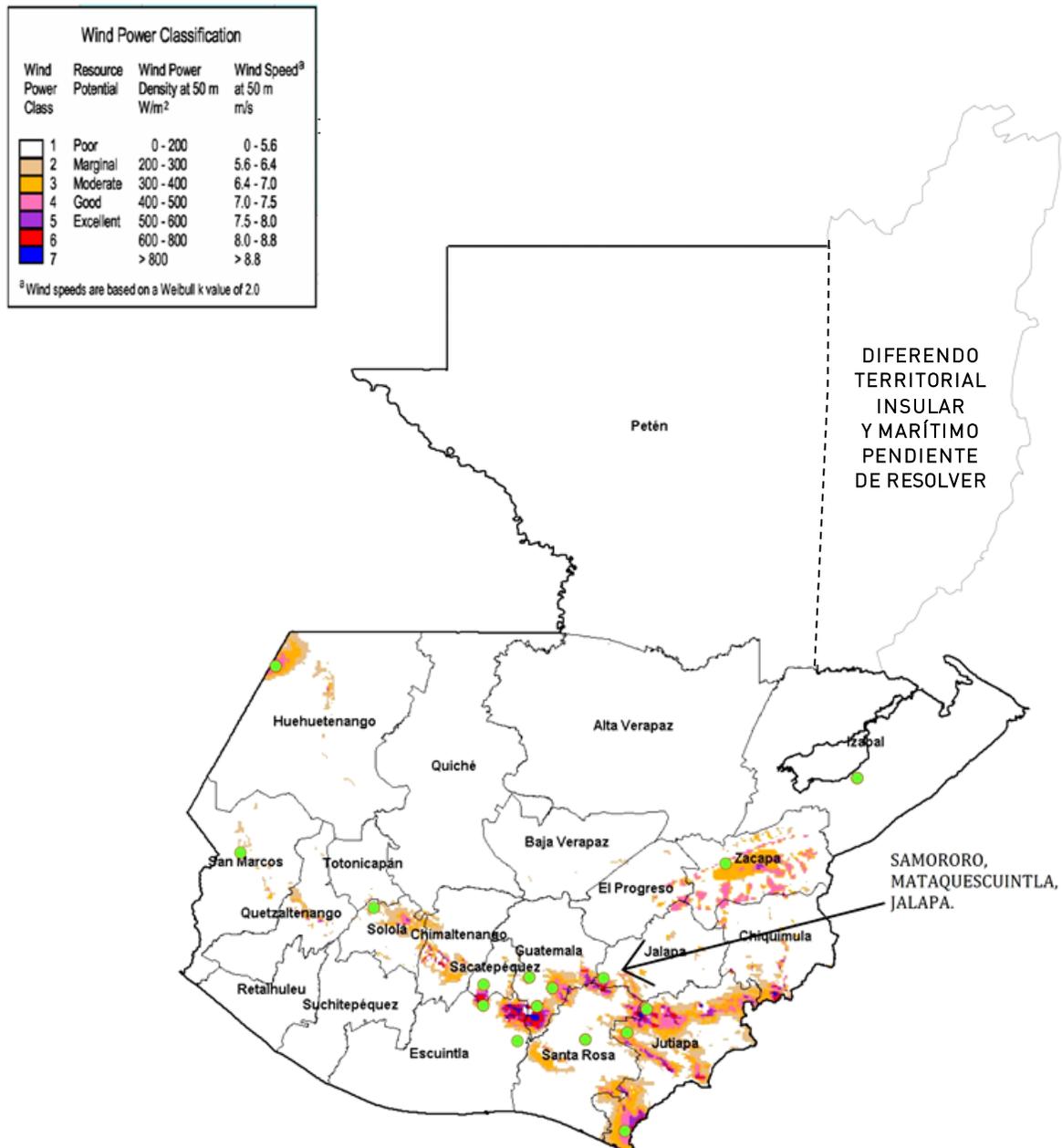
Se realizó la estimación de potencia para cada mes y año; así mismo, con la energía estimada, se calculó la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalentes -CO₂e- que pudieron ser evitadas al generarse esta energía con recurso eólico en comparación con el uso de combustibles fósiles.



6. Descripción del emplazamiento

6.1. Mapa de potencial eólico y localización de estaciones de medición Instaladas

Mapa 1: Mapa de potencial eólico.



Fuente: DER-DGE.



6.2. Clasificación por densidades y velocidades de viento emplazamiento

Ilustración 2: Cuadro de clasificación de clase de viento.

| Wind Power Classification | | | |
|---------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Wind Power Class | Resource Potential | Wind Power Density at 50 m W/m^2 | Wind Speed ^a at 50 m m/s |
| 1 | Poor | 0 - 200 | 0 - 5.6 |
| 2 | Marginal | 200 - 300 | 5.6 - 6.4 |
| 3 | Moderate | 300 - 400 | 6.4 - 7.0 |
| 4 | Good | 400 - 500 | 7.0 - 7.5 |
| 5 | Excellent | 500 - 600 | 7.5 - 8.0 |
| 6 | | 600 - 800 | 8.0 - 8.8 |
| 7 | | > 800 | > 8.8 |

^a Wind speeds are based on a Weibull k value of 2.0

Fuente: MEM.

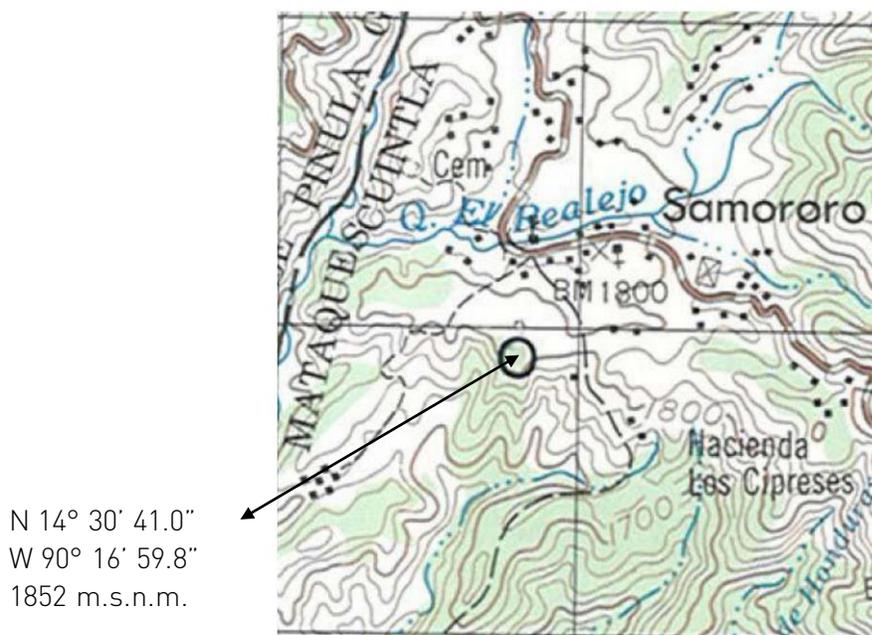
En el cuadro de clasificación de viento que se muestra la ilustración 2, se aprecian las densidades de viento en (W/m^2) a una altura de 50 metros. La clasificación se hace a través de colores, a los cuales se les asigna una **clase**, la cual empieza en uno y termina en siete. De acuerdo a esta clasificación, al color blanco (clase 1) se le asigna disponibilidad de potencial muy bajo o pobre, con velocidades entre 0 y 5.6 m/s. Para el siguiente color (clase 2), el tipo de recurso es marginal y sus velocidades oscilan entre 5.6 y 6.4 m/s; para el color amarillo (clase 3), la designación es moderada con velocidades entre 6.4 y 7.0 m/s; el color rosado (**clase 4**), la disponibilidad del recurso es **buena** y sus velocidades están en el rango **de 7.0 y 7.5 m/s**; a partir del color morado (clase 5), el recurso disponible es muy excelente y las velocidades empiezan en 7.5 y terminan en 8.0 m/s; para los otros dos colores rojo y azul, (clases 6 y 7), las velocidades también son excelentes y sus magnitudes estarían por arriba de los 8 m/s.



6.3. Sitio de estudio

En la ilustración 3, se observa el segmento cartográfico con las curvas de nivel de la ubicación del sitio de medición.

Ilustración 3: Segmento cartográfico de ubicación del emplazamiento medido.



Fuente: Informe "Resultados del Sitio Samororo Mataquescuintla" DGE-MEM.

6.4. Características del lugar de medición

La estación de medición se instaló en aldea Samororo, municipio de Mataquescuintla, departamento de Jalapa. Para llegar al sitio de medición, existe una distancia de 55 kilómetros desde la ciudad capital por carretera a San José Pinula. Las coordenadas donde fue instalada dicha estación son: N 14° 30' 41.0"; W 90° 16' 59.8"; y a 1852 m.s.n.m.

6.5. Mapa de velocidades de viento y diagrama de ubicación posible de 2 aerogeneradores de acuerdo a Informe de Resultados de "Samororo Mataquescuintla"

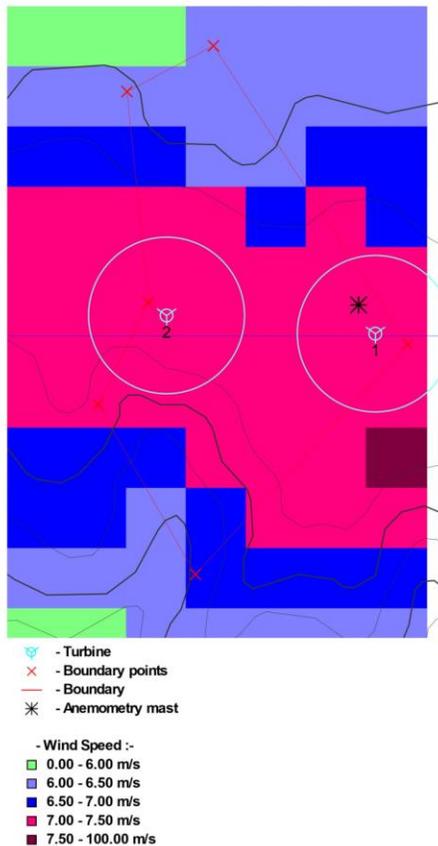
De acuerdo al Informe de Resultados del Sitio "Samororo Mataquescuintla" publicado por la Dirección General de Energía el 16 de mayo de 2017, se indica que en el estudio realizado por POYRY de Finlandia, al realizar una extrapolación de los datos a 60 y 80 metros de altura, se obtuvo como resultado velocidades de viento promedio anual de 7.3 m/s y 7.6 m/s y además se determinó en dicho estudio, que es posible la instalación de dos turbinas en el sitio de medición en Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.



En la ilustración 4 se observa el segmento del área donde fue ubicada la estación de medición eólica, así mismo se muestra la ubicación posible de dos aerogeneradores (turbinas) y se distinguen los distintos potenciales de viento definidos por colores.

Se observa que en el emplazamiento las velocidades de viento, mostradas en dicho informe, de acuerdo a la clasificación mostrada en la sección 6.2 de este estudio, se clasifican como “buenas”, debido a que se encuentran en el rango de 7.00 a 7.50 m/s,

Ilustración 4: Potencial eólico y ubicación posible de 2 turbinas en el emplazamiento



Copyright © Pöyry Energy Oy

Fuente: Informe “Resultados del Sitio Samororo Mataquesuintla”. DGE-MEM.

Enlace del informe: <https://www.mem.gob.gt/energia/energias-renovables/energia-eolica/>



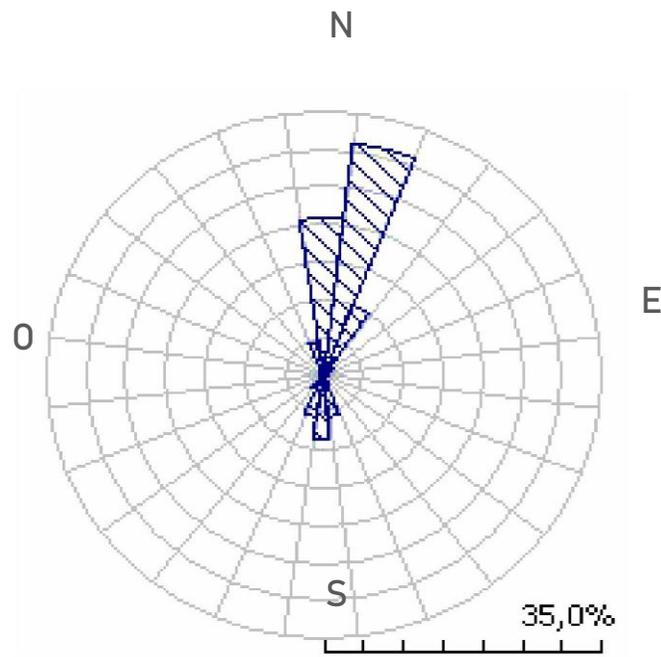
6.6. Dirección del viento en el emplazamiento

ROSA DE VIENTO:

Es un diagrama polar que representa el porcentaje de velocidades de viento con la dirección indicada y la magnitud de la velocidad medida. Es decir, nos indica visualmente, la dirección de viento predominante en el emplazamiento medido.

Para Samororo se muestra el siguiente gráfico de “Rosa de Viento”.

Ilustración 5: Dirección predominante del viento SAMORORO.



Fuente: DER-DGE.

La Rosa de Viento para la estación de medición en Samororo indica que la dirección predominante del viento fue del Noreste.



6.7. Descripción del equipo de medición

6.7.1. Anemómetro:

Es el equipo de medición encargado de realizar la medición de la velocidad del viento. La estación de medición contó con dos anemómetros de tres copas a 30 y 20 metros de altura

Ilustración 6: Anemómetro de 3 copas.



Fuente: DER-DGE

6.7.2. Veleta:

Equipo de medición utilizado para medir la dirección del viento. La estación de medición tuvo instalada una veleta a 30 metros de altura.

Ilustración 7: Veleta.



Fuente: DER-DGE

6.7.3. Registrador de Datos: (Datta Logger)

Es el equipo encargado de registrar las mediciones de los distintos sensores de medición, procesándolas y almacenando las mismas cada diez minutos. El Registrador de datos posee 12 canales: seis de ellos son análogos y los restantes son digitales.

Ilustración 8: Registrador de datos.



Fuente: DER-DGE

6.7.4. Baliza Luminosa:

Equipo encargado de emitir destellos de luz, además de brindar señalización aérea.

Ilustración 9: Baliza Luminosa.



Fuente: DER-DGE



6.7.5. Sensor de Temperatura:

Utilizado para medir la temperatura ambiente del lugar.

Ilustración 10: Sensor de Temperatura.



Fuente: DER-DGE

6.7.6. Sensor de Radiación Solar:

Equipo de medición utilizado para registrar la incidencia solar en W/m^2 .

Ilustración 11: Sensor de Radiación Solar.



Fuente: DER-DGE



6.7.7. Características Técnicas del Equipo de Medición

En la tabla 2, se muestran los datos de fábrica y los datos de calibración del equipo de medición instalado en Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.

Tabla 2: Características del equipo de medición instalado SAMORORO.

| DATOS DE LA INSTALACIÓN | | | | | | |
|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|-------------|
| NÚMERO DE SITIO | | 0050 | | | | |
| FECHAY HORA DE INSTALACIÓN | | 23/10/2006 00:00 AM -6GMT | | | | |
| UBICACIÓN | | N14° 30'.684 W 90° 16.998' | | | | |
| DATOS DE FÁBRICA | | | | | | |
| Componente | Modelo | Número de Ítem | Número de Serie | Unidad de medida | | |
| Datalogger | Symphonie | 3147 | 10251 | *** | | |
| Anemómetros | NRG #40C | 1900 | 31110 | m/s | | |
| | | | 31109 | m/s | | |
| Sensor de temperatura | NRG #110S | 1906 | *** | °C | | |
| Veleta | NRG #200P | 1904 | *** | grados | | |
| Sensor de radiación solar | Li-Cor | 1948 | 54617 | W/m2 | | |
| | Li-200SA | | | | | |
| DATOS DE CALIBRACIÓN | | | | | | |
| Componente | Número de Canal | Factor de escala | Error Offset | Tipo de señal | Altura de instalación (m) | Orientación |
| Datalogger | *** | *** | *** | *** | 2 | *** |
| Anemómetros | 1 | 0.763 | 0.35 | frecuencia | 30 | Este |
| | 2 | 0.763 | 0.35 | | 20 | Este |
| Sensor de temperatura | 9 | 0.136 | -86.383 | Analógica | 5 | *** |
| Veletas | 7 | 0.351 | 0 | Analógica | 30 | Norte |
| Sensor de radiación solar | 10 | 1.263 | 0 | Analógica | 5 | *** |

Fuente: DER-DGE.



7. Resultados de la Medición

7.1. Velocidad Promedio del Emplazamiento

A continuación, se presentan los resultados de las velocidades promedios calculadas para la aldea Samororo, Mataquesuintla, Jalapa, de los años 2006 a 2009.

Para ello se muestran gráficas donde se puede observar los valores puntuales de velocidad promedio por cada mes de medición, así como la línea de tendencia de esta velocidad a lo largo del año. También se muestra en la misma gráfica, el porcentaje de horas aprovechables mensuales representado con barras, de tal manera que se pueda percibir qué tan representativa fue la velocidad promedio calculada por cada mes medido.

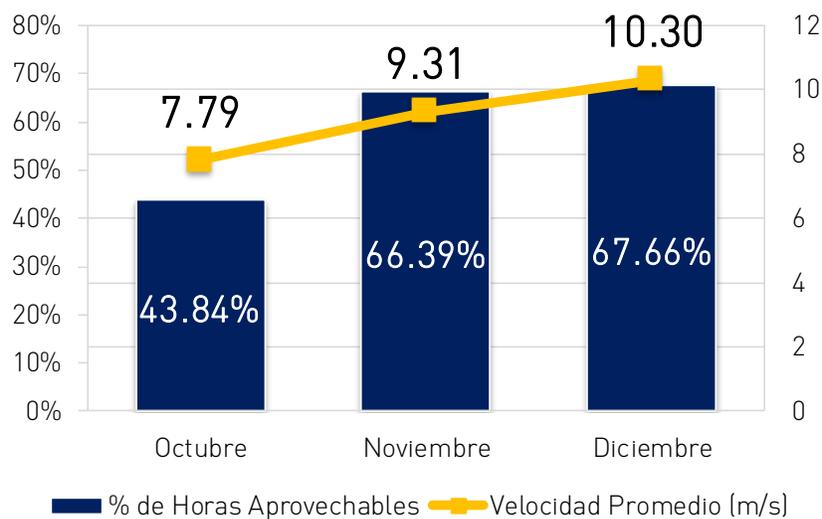
Se definió como velocidades aprovechables, los valores medidos que estuvieron por encima de los 5 m/s. Los valores de velocidad promedio que se muestran a continuación, representan el valor promedio de todas aquellas mediciones consideradas como velocidades aprovechables.

Así mismo el porcentaje de horas aprovechables, representa la relación entre las mediciones de velocidad consideradas aprovechables (por encima de los 5 m/s) con respecto al total de mediciones de velocidades efectuadas durante el mes.

En las tablas que se encuentran al final de cada hoja se resumen los valores de la velocidad de viento para cada año medido, se muestran valores de velocidad promedio, velocidad máxima y mínima, así mismo el valor puntual de las horas totales medidas por año y las horas consideradas aprovechables por año, así como el porcentaje que estas representan.



Gráfica 5: Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2006.



Fuente: DER-DGE.

En la gráfica 5, se muestran las velocidades promedio y los porcentajes de horas aprovechables medidas para los meses de octubre a diciembre del año 2006 en la finca Samororo, Mataquesuintla, Jalapa. Se observa que los porcentajes de aprovechamiento para noviembre y diciembre están por encima del cincuenta por ciento y que las velocidades promedio se encuentran en un rango de entre 7.79 m/s y 10.30 m/s, lo cual se considera excelente para la generación de energía eléctrica con recurso eólico.

Octubre presenta valores más bajos y esto es debido a que en época húmeda, la cual comprende de mayo a octubre, los valores de velocidades de viento tienden a ser menores que los que se presentan en la época seca, la cual comprende de noviembre a abril.

Tabla 3: Velocidad de viento 2006.

RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2006

| VELOCIDAD PROMEDIO (m/s) | VELOCIDAD MAXIMA (m/s) | VELOCIDAD MINIMA (m/s) |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 9.13 | 28.9 | 0.40 |

Fuente: DER-DGE.

Tabla 4: Aprovechamiento 2006.

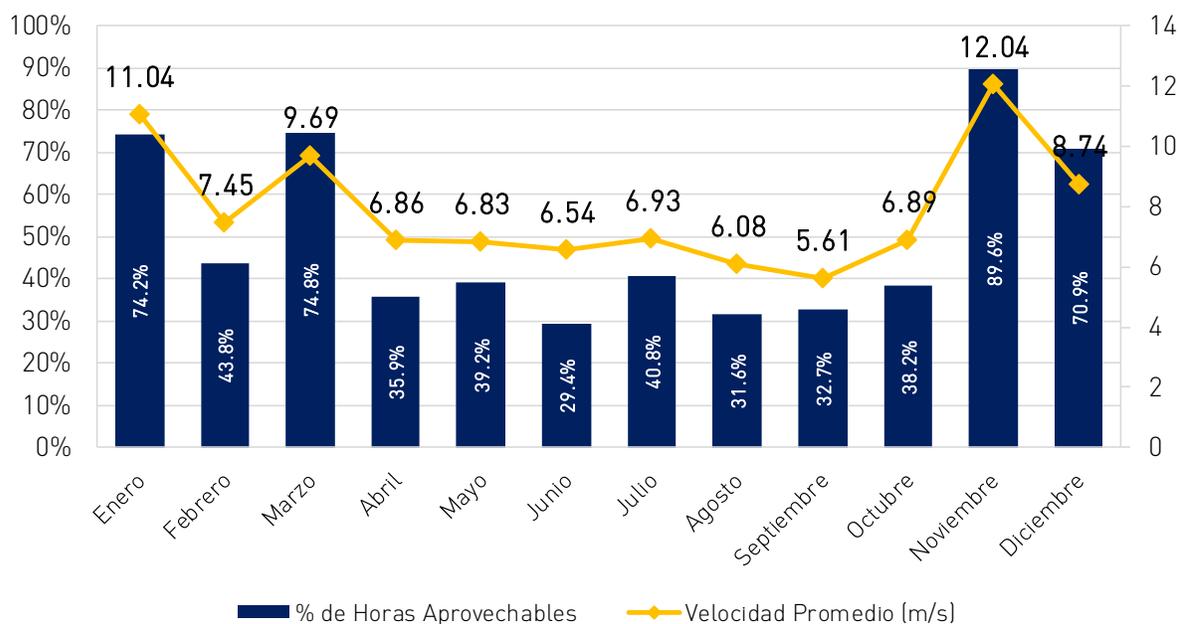
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2006

| TOTAL DE HORAS MEDIDAS | HORAS [>5m/s] | % de Horas |
|------------------------|---------------|------------|
| 1,632 | 1,049 | 64.30% |

Fuente: DER-DGE.



Gráfica 6: Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2007.



Fuente: DER-DGE.

Para el año 2007 los valores más altos de velocidad promedio, así como los valores más altos de porcentaje de horas aprovechables, se presentaron en los meses de enero a marzo y de noviembre a diciembre, dichos meses son parte de la época seca en el país, por el contrario, para los meses comprendidos de mayo a octubre, existió la tendencia a presentarse las velocidades promedio más bajas, así como los porcentajes de aprovechamiento más bajos a lo largo del año, esta temporada se conoce en el país como época lluviosa.

En promedio durante el año se tuvo una velocidad de 7.89 m/s, dicho valor de acuerdo a la clasificación de potencial eólico, se considera excelente para la generación (clase 5) y un porcentaje de aprovechamiento de 50.10, lo cual indica que más de la mitad de este año presentó valores que son propicios para la generación de energía eléctrica con recurso eólico.

Tabla 5: Velocidad de viento 2007.

| RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2007 | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| VELOCIDAD PROMEDIO (m/s) | VELOCIDAD MAXIMA (m/s) | VELOCIDAD MINIMA (m/s) |
| 7.89 | 28.60 | 0.40 |

Fuente: DER-DGE.

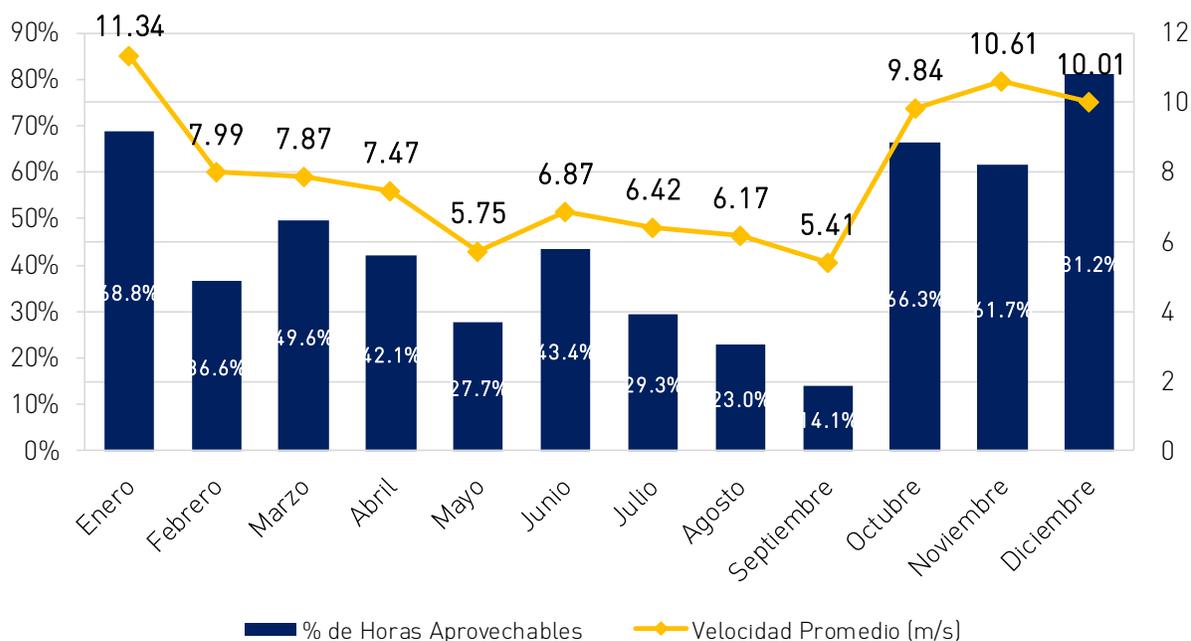
Tabla 6: Aprovechamiento 2007.

| % DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2007 | | |
|---|---------------|------------|
| TOTAL DE HORAS MEDIDAS | HORAS [>5m/s] | % de Horas |
| 8640 | 4327.50 | 50.1% |

Fuente: DER-DGE.



Gráfica 7: Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2008.



Fuente: DER-DGE.

Para el año 2008 los mayores valores de velocidad de viento y porcentaje de horas aprovechables se presentaron en el mes de enero y en el periodo de octubre a diciembre, los demás meses medidos tuvieron un porcentaje de aprovechamiento menor al 50%. Sin embargo, la velocidad promedio durante el año fue de 7.98 m/s lo cual se considera excelente para la generación, correspondiente a un porcentaje de horas aprovechable durante el año de 45.30%.

Tabla 7: Velocidad de viento 2008.

RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2008

| VELOCIDAD PROMEDIO (m/s) | VELOCIDAD MAXIMA (m/s) | VELOCIDAD MINIMA (m/s) |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 7.98 | 32.00 | 0.40 |

Fuente: DER-DGE.

Tabla 8: Aprovechamiento 2008.

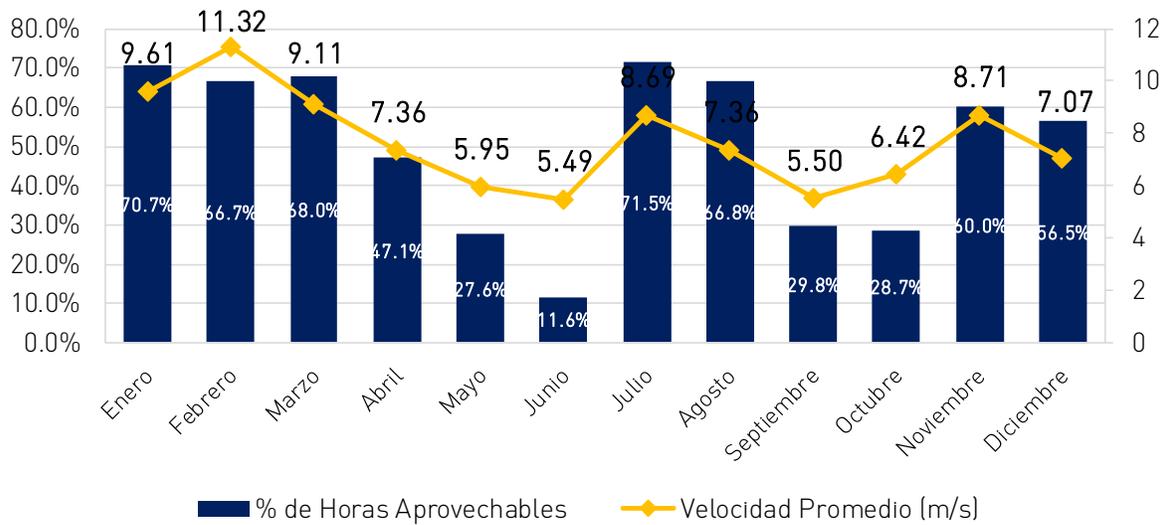
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2008

| TOTAL DE HORAS MEDIDAS | HORAS [>5m/s] | % de Horas |
|------------------------|---------------|------------|
| 8640 | 3917 | 45.30% |

Fuente: DER-DGE.



Gráfica 8: Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Samororo 2009.



Fuente: DER-DGE.

Para el año 2009, los valores de velocidad promedio y porcentajes de horas aprovechables más altos, se presentan en los meses de enero a abril y de noviembre a diciembre; y los meses de mayo a octubre presentan los valores más bajos, con excepción del mes de julio y agosto, esto debido a que en dicha temporada se presentó el fenómeno conocido como canícula (en este año se presentó una canícula extendida), debido a lo cual la velocidad del viento se favoreció para incrementar su magnitud en dichos meses.

Durante el año, el promedio de la velocidad de viento fue de 7.72 m/s, lo cual se ha considerado excelente para la generación de energía eléctrica utilizando el recurso eólico y las horas aprovechables representaron un 50.40%.

Tabla 9: Velocidad de viento 2009.
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2009

| VELOCIDAD PROMEDIO (m/s) | VELOCIDAD MAXIMA (m/s) | VELOCIDAD MINIMA (m/s) |
|--------------------------|------------------------|------------------------|
| 7.72 | 28.00 | 0.40 |

Fuente: DER-DGE.

Tabla 10: Aprovechamiento 2009.
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2009

| TOTAL DE HORAS MEDIDAS | HORAS [>5m/s] | % de Horas |
|------------------------|---------------|------------|
| 8640 | 4355.83 | 50.4 |

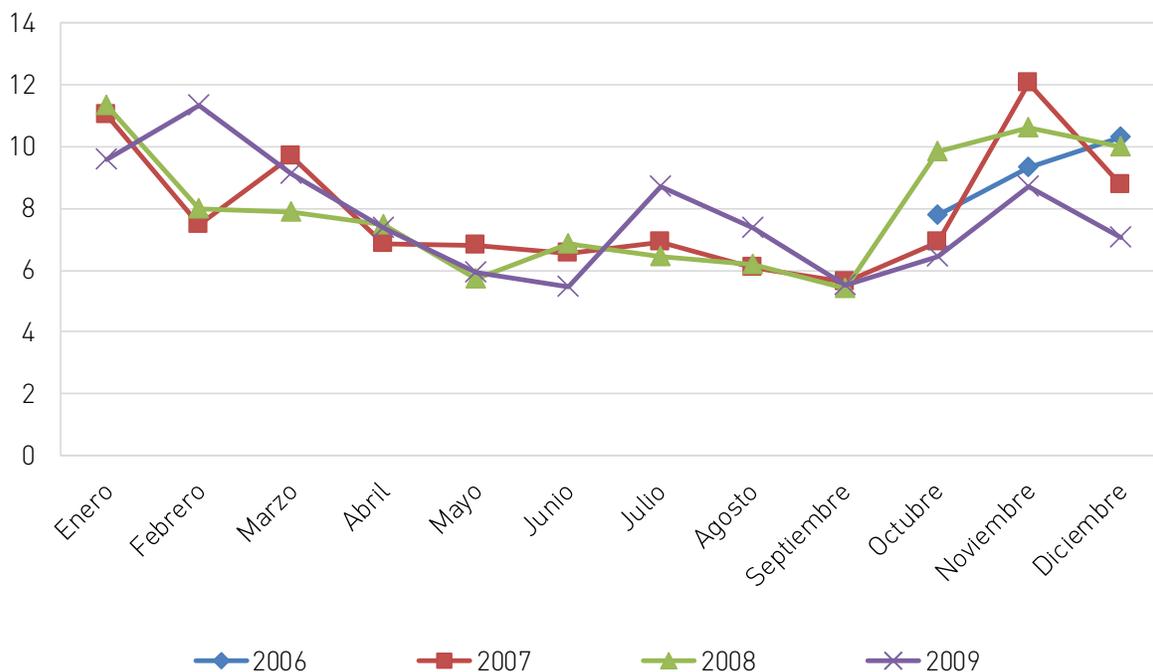
Fuente: DER-DGE.



7.2. Resumen de la velocidad promedio anual

En la siguiente gráfica se observa la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento durante los 4 años de medición. Tomando en consideración que el año 2006 solo cuenta con mediciones en el último trimestre.

Gráfica 9: Resumen de Velocidad Promedio –Samororo 2006-2009.



Fuente: DER-DGE.

Los mejores registros de velocidad promedio anual se han dado para el primer y cuarto trimestre del año. Para el mes de febrero del año 2009 se tuvo un registro por encima de los valores obtenidos en años anteriores, los meses de noviembre registran datos de velocidad altos para los años 2007 y 2008. Los valores de velocidad más bajos se presentaron en los meses de junio y septiembre durante los años medidos.

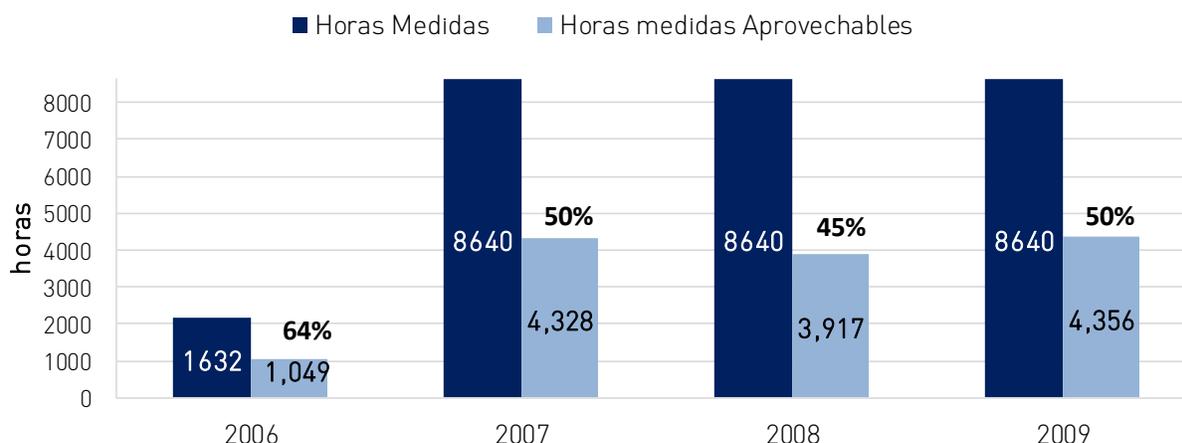


7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento

En la siguiente gráfica, se muestra en color azul las horas totales medidas durante cada año de estudio y en color celeste las horas medidas que se consideraron aprovechables, de tal modo que se tiene un porcentaje por año, que indica el aprovechamiento del recurso eólico para la generación de energía eléctrica.

Previamente se definió como horas aprovechables a aquellas en las que el valor de registros de velocidad de viento es superior a los 5 m/s, debido a que, en este límite, comienza a ser significativo el funcionamiento del aerogenerador.

Gráfica 10: Resumen de Horas Medidas y Horas Aprovechables –Samororo 2006 - 2009.



Fuente: DER-DGE.

El año 2006 no cuenta con el total de horas medidas correspondientes a un año completo, debido a que los datos de mediciones dieron inicio el 23 de octubre del año 2006 y finalizaron el 31 de diciembre del año 2009.

Tabla 11: Horas medidas y aprovechables.

| AÑO | Horas Medidas | Horas medidas Aprovechables | Porcentaje de Aprovechamiento |
|-------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 2006 | 1632 | 1049 | 64% |
| 2007 | 8640 | 4328 | 50% |
| 2008 | 8640 | 3917 | 45% |
| 2009 | 8640 | 4356 | 50% |
| TOTAL | 28080 | 13650 | 52% |

Fuente: DER-DGE.

En el período medido, el cual comprende de octubre de 2006 a diciembre de 2009, en promedio el recurso eólico fue aprovechable para la generación de energía eléctrica en un 52%. Como se muestra en la Tabla 10, el año que menor porcentaje de aprovechamiento presentó fue 2008 y el año con valor más alto fue 2006. Con lo que, todos los años de estudio se mantuvieron en un rango de entre 45% y 64%.



8. Estimación de la Energía

Para calcular la energía aprovechable por mes, de acuerdo a las mediciones obtenidas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = \frac{1/2 * K * \rho * S * v^3}{1 * 10^9} * t \text{ [Gwh]} \quad [1]$$

Dónde:

E: Energía del mes[Gwh]

K: coeficiente de potencia.

ρ : Densidad del aire $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

S: Área de barrido $[m^2]$

v: Velocidad del viento $\left[\frac{m}{s}\right]$

t: Tiempo medido aprovechable en el mes [horas]

Para el cálculo se tomó en cuenta el límite de Betz, al estimar la potencia del viento, que establece un coeficiente de potencia de 59 %, que es el porcentaje de potencia máxima que puede aprovechar un rotor. Así mismo para el cálculo del área de barrido se consideró como modelo los datos de un aerogenerador Vestas V90/3000, indicado en la tabla #12.

Tabla 12: Aerogenerador Vestas V90/3000.

| Turbina Vestas V90/3000 | |
|--------------------------|-------------------------|
| Coefficiente de Potencia | Área de Barrido $[m^2]$ |
| 0.59 | 6,362 |

Fuente: DER-DGE.

A continuación, se muestran las gráficas que muestran los valores estimados de la **Energía Total** y la **Energía de la Velocidad Promedio** para cada mes de los años medidos.

La **Energía Total**, corresponde a la sumatoria de todos los valores de energía de cada día, obtenidos durante el mes, dichos valores son calculados por medio de la formula [1], es decir, la Energía Total, se calcula utilizando el valor de velocidad de viento promedio diaria para cada día del mes y se realiza la sumatoria de cada uno de estos valores, hasta obtener un total mensual acumulado.

La **Energía de la Velocidad Promedio**, es el resultado puntual de la energía obtenida por medio de la formula [1], utilizando para el cálculo únicamente el valor de la velocidad promedio del mes correspondiente.

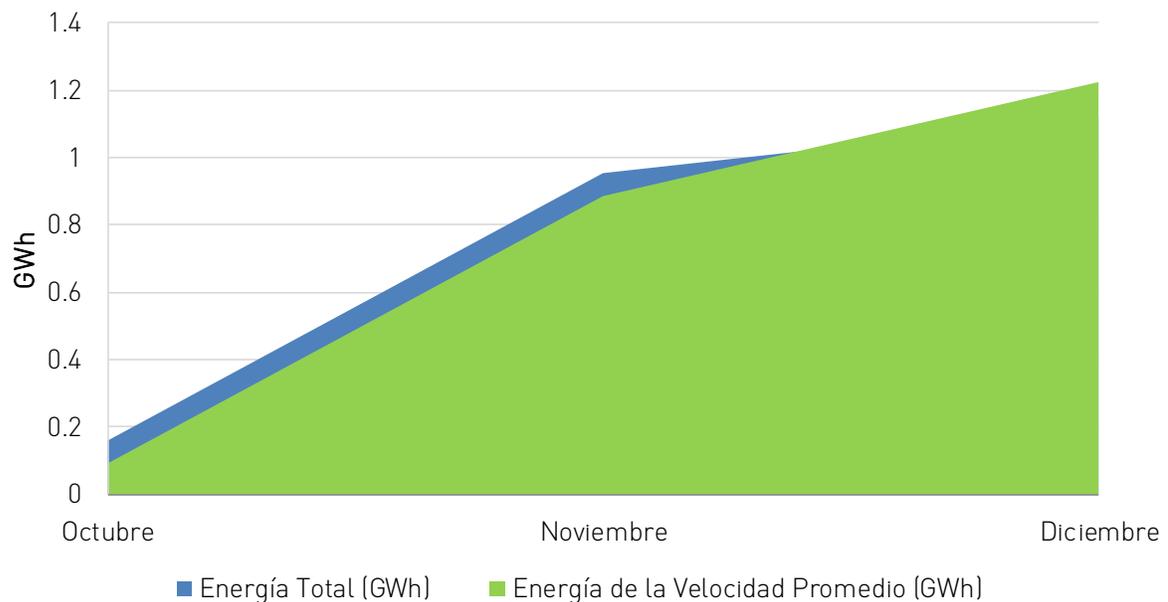
El propósito de la comparación de ambos cálculos de energía, tiene como finalidad mostrar que, al calcular la energía mensual, existe una diferencia si se calcula ésta con los valores acumulados utilizando las velocidades promedio diarias o si se calcula puntualmente con la velocidad promedio mensual.



Se debe tomar en cuenta que, para el cálculo de los valores de energía, se utilizan los parámetros de un único aerogenerador Vestas V90/3000. Esto implica que el valor máximo de potencia que podría producirse en determinado momento es de tres mil kilovatios, 3,000 KW (3 MW).



Gráfica 11: Energía – Samororo 2006.



Fuente: DER-DGE.

Como se muestra en la gráfica anterior, en el año 2006, en Samororo, únicamente se midió el último trimestre del año (a partir del día 23 de octubre), de estos meses, noviembre y diciembre muestran los valores más altos de energía total y energía de la velocidad promedio, siendo 1.11 GWh y 1.22 GWh respectivamente.

Tabla 13: Energía 2006.

| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEPT. | OCT. | NOV. | DIC. |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ENERGIA TOTAL (GWh) | - | - | - | - | - | | | | | 0.15 | 0.95 | 1.11 |
| ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh) | - | - | - | - | - | | | | | 0.09 | 0.89 | 1.22 |

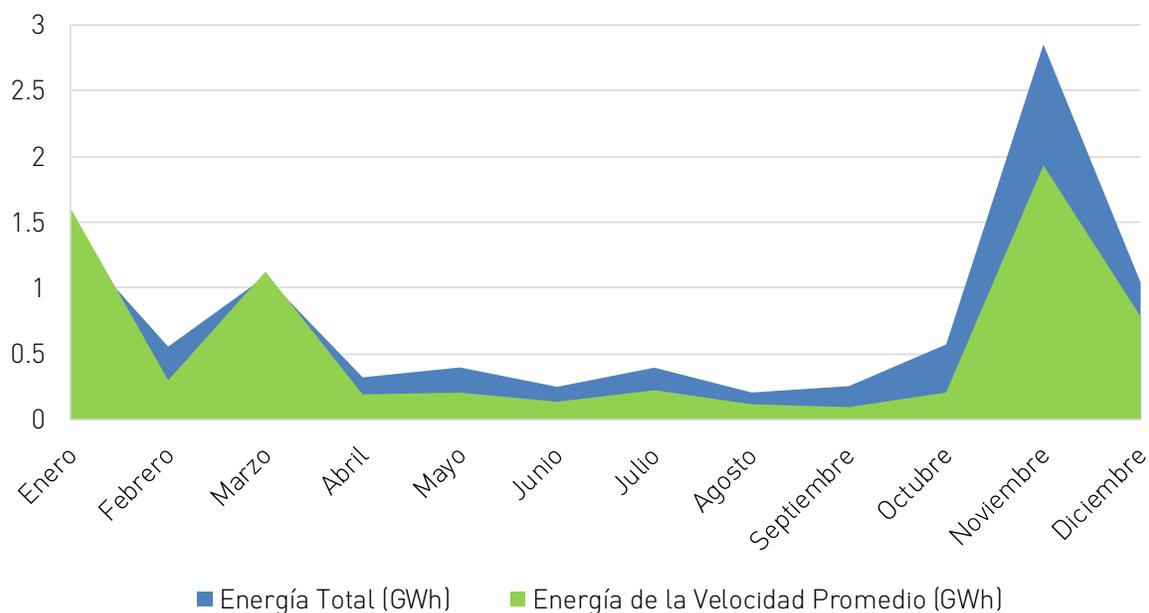
Fuente: DER-DGE.



Para el año 2007, se observa en la gráfica 12 que, durante el primer y último trimestre del año, se presentan los valores más altos de energía total y energía de la velocidad promedio, siendo los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre, los que presentan los valores más altos. Los demás meses si presentan valores aprovechables de energía estimada, pero en menor cantidad.

En la tabla 14, se muestran los valores correspondientes de Energía estimada para cada mes del año 2007.

Gráfica 12: Energía - Samororo 2007.



Fuente: DER-DGE

Los valores de energía aprovechable se pueden observar en la tabla 14.

Tabla 14: Energía 2007.

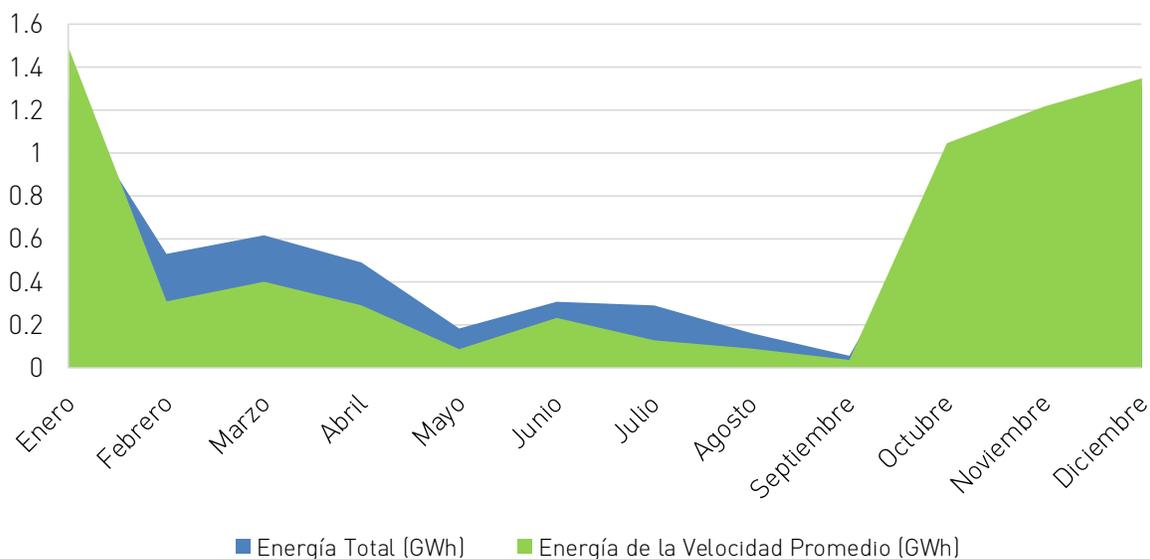
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEPT. | OCT. | NOV. | DIC. |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh) | 1.38 | 0.55 | 1.09 | 0.32 | 0.40 | 0.25 | 0.40 | 0.21 | 0.26 | 0.57 | 2.85 | 1.04 |
| ENERGIA TOTAL (GWh) | 1.60 | 0.30 | 1.13 | 0.19 | 0.21 | 0.14 | 0.22 | 0.12 | 0.10 | 0.21 | 1.93 | 0.78 |

Fuente: DER-DGE



Para el año 2008, se registra que los valores de energía estimada más altos se presentaron en el primer y último trimestre del año, siendo los meses de enero, noviembre y diciembre, donde se presentan los valores máximos. Del mismo modo como se observó en las gráficas de velocidades promedio, dentro de la época seca se presentan los valores más altos (enero a abril y octubre a diciembre) y dentro de la época húmeda o lluviosa, los valores más bajos (mayo a septiembre). Esto podría ser beneficioso en la matriz energética debido a que el recurso eólico podría ser útil para compensar la falta de recurso hídrico durante la época seca.

Gráfica 13: Energía – Samororo 2008.



Fuente: DER-DGE.

Tabla 15: Energía 2008.

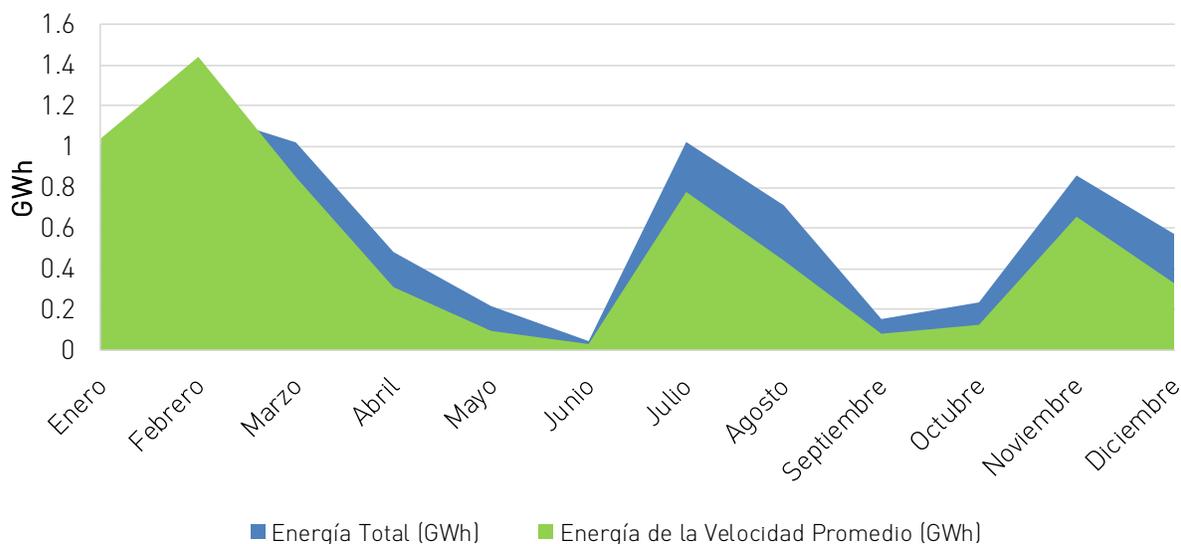
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEPT. | OCT. | NOV. | DIC. |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh) | 1.24 | 0.53 | 0.62 | 0.49 | 0.18 | 0.31 | 0.29 | 0.16 | 0.06 | 0.86 | 1.13 | 1.31 |
| ENERGIA TOTAL (GWh) | 1.49 | 0.31 | 0.40 | 0.29 | 0.09 | 0.23 | 0.13 | 0.09 | 0.04 | 1.05 | 1.22 | 1.35 |

Fuente: DER-DGE.



En 2009, se observa que, de la misma manera para los años anteriores, los valores más altos se presentan en el primer y último trimestre, siendo enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, los meses que presentan los valores máximos. Sin embargo, para este año puede observarse que, en el mes de julio existe un valor notoriamente mayor a los valores presentados en los meses típicamente más bajos, esto es debido a que, como se mencionó anteriormente, en dicho mes se presentó una canícula, lo cual favoreció a que los vientos tomaran más velocidad.

Gráfica 14: Energía –Samororo 2009.



Fuente: DER-DGE.

En la tabla 16 se observan los valores de estimación de energía aprovechable en el emplazamiento para el año 2009.

Tabla 16: Energía 2009.

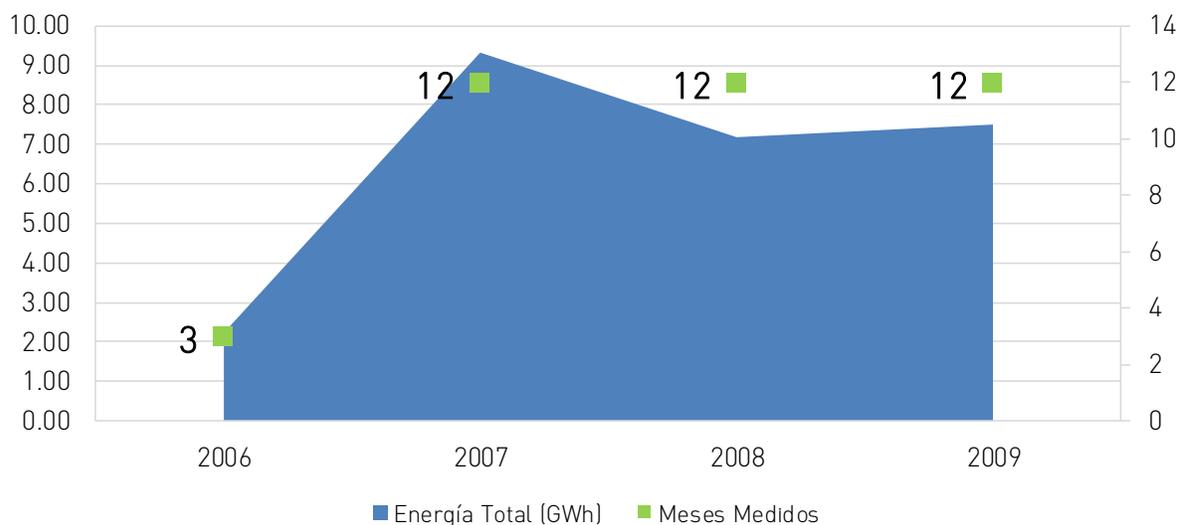
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEPT. | OCT. | NOV. | DIC. |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh) | 1.01 | 1.17 | 1.02 | 0.48 | 0.22 | 0.05 | 1.02 | 0.71 | 0.15 | 0.24 | 0.86 | 0.57 |
| ENERGIA TOTAL(GWh) | 1.04 | 1.44 | 0.85 | 0.31 | 0.1 | 0.03 | 0.78 | 0.44 | 0.08 | 0.13 | 0.66 | 0.33 |

Fuente: DER-DGE.



8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólica Samororo

Gráfica 15: Resumen Energía 2006 - 2009.



Fuente: DER-DGE.

La gráfica 15, muestra el resumen de Energía Total estimada desde el 23 de octubre del año 2006 al 31 de diciembre del año 2009.

Los cuadros verdes en la gráfica indican, la cantidad de meses en los que hubo datos de medición, durante cada año. La finalidad de colocar este dato es poder comparar visualmente aquellos años que cuenten con el mismo número de meses medidos y poder contrastar aquellos que no cuenten con los 12 meses de medición totales. Para este caso únicamente el año 2006 no cuenta con el año completo de medición, esto debido a que las mediciones iniciaron en dicho año el día 23 del mes de octubre.

La tabla 17, muestra la energía Total estimada aprovechable, en GWh, durante los 39 meses de medición:

Tabla 17: Energía Total Samororo 2006 - 2009.

| AÑO | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | TOTAL |
|---------------------|------|------|------|------|-------|
| Energía Total (GWh) | 2.23 | 9.32 | 7.18 | 7.50 | 26.23 |

Fuente: DER-DGE.



9. Comportamiento de la Velocidad de Viento

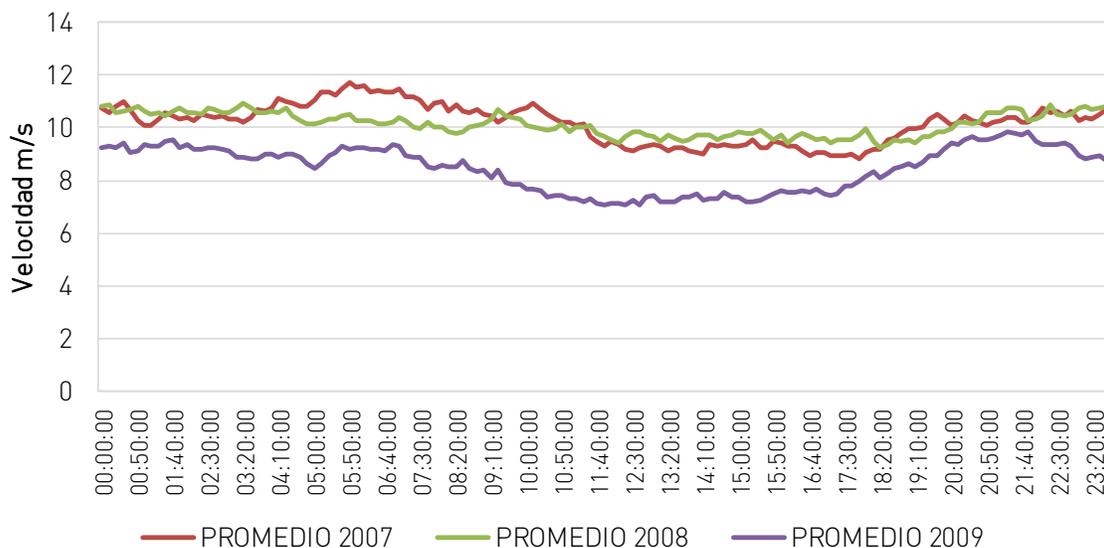
En esta sección se realizó un análisis para determinar cuál es la tendencia a lo largo del día, en los distintos meses medidos, de la velocidad de viento, en el emplazamiento donde está ubicada la estación de medición. De esta manera se puede observar aquellas horas donde la velocidad de viento alcanza valores máximos, mínimos o se mantiene estable.

Las gráficas de comportamiento, se generaron calculando un promedio para cada periodo de medición durante el día, de todos los días comprendidos en cada mes, es decir, se graficó un promedio cada diez minutos de cada día, durante el mes analizado. Este cálculo se realizó para cada mes de todos los años medidos, a fin de observar el comportamiento promedio de la velocidad de viento a lo largo del día.

9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero

En la gráfica 16, se observa el comportamiento de la velocidad promedio de viento para cada año en el mes de enero a lo largo del día.

Gráfica 16: Comportamiento del Viento en un día - enero.

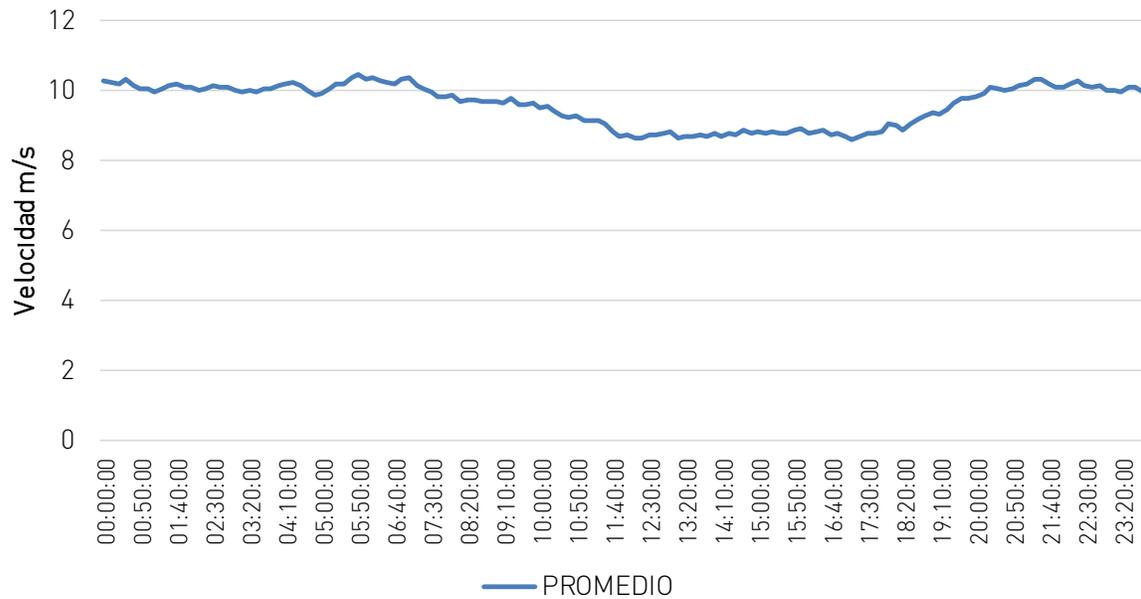


Fuente: DER-DGE.



En la gráfica siguiente se muestra la tendencia del comportamiento del viento en un día promedio del mes de enero durante todo el período de medición, en este caso se promedió los 3 meses de enero medidos en los años 2007 a 2009. La tendencia de la velocidad del viento es incrementar su valor en horas cercanas a la media noche hasta descender progresivamente en horas cercanas al medio día.

Gráfica 17: Tendencia del comportamiento del viento en un día - enero.



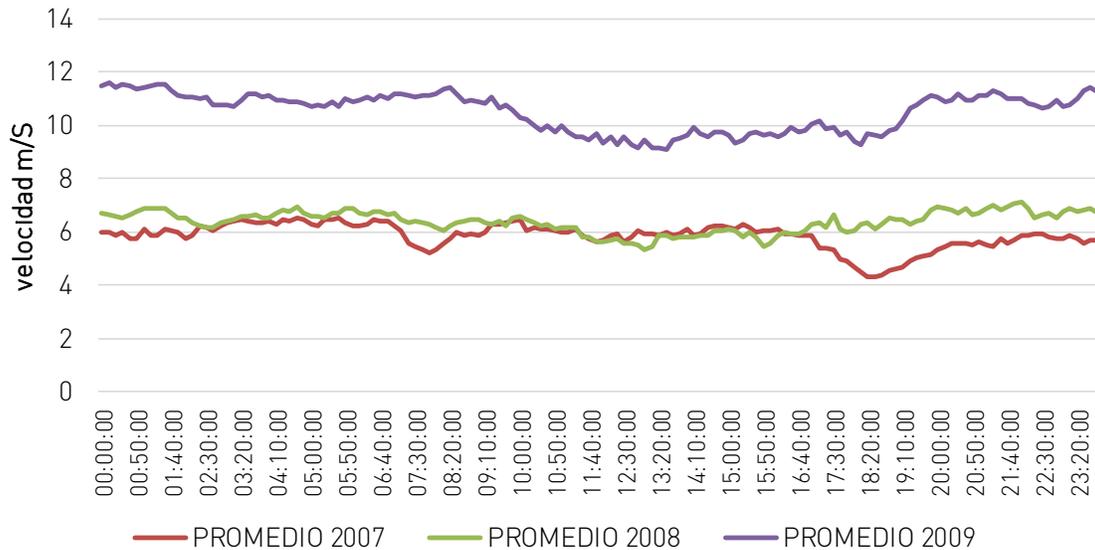
Fuente: DER-DGE.



9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.

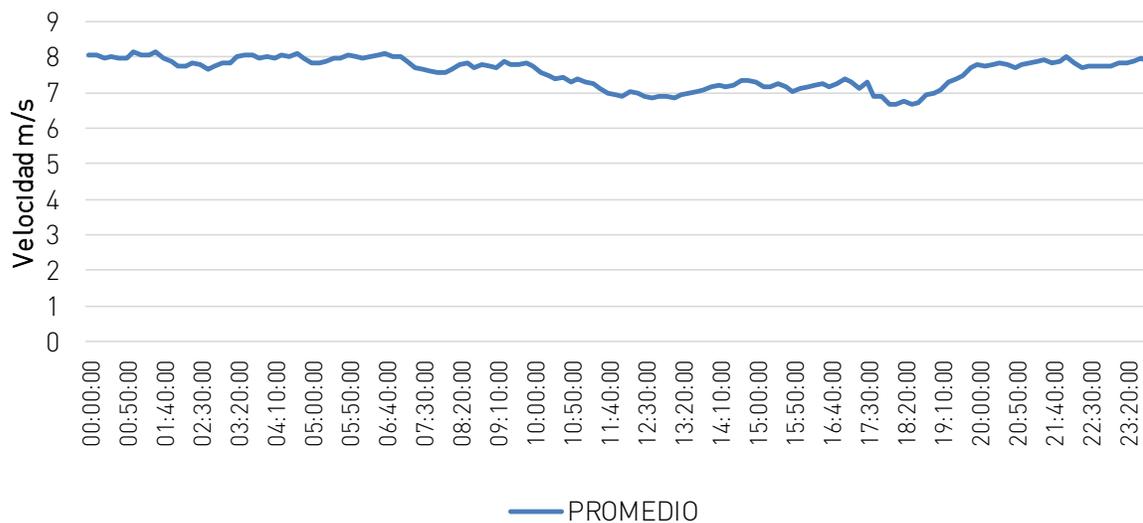
En febrero, la tendencia del comportamiento de viento es estable en cuanto a la velocidad, a lo largo del día, sin embargo, se muestra la tendencia a presentar los valores más altos entre las horas cercanas a la media noche hasta llegar a horas cercanas al medio día. Para este mes, el 2009 presenta valores más altos respecto a los dos años anteriores medidos.

Gráfica 18: Comportamiento del viento en un día - febrero.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 19: Tendencia del comportamiento del viento en un día - febrero.



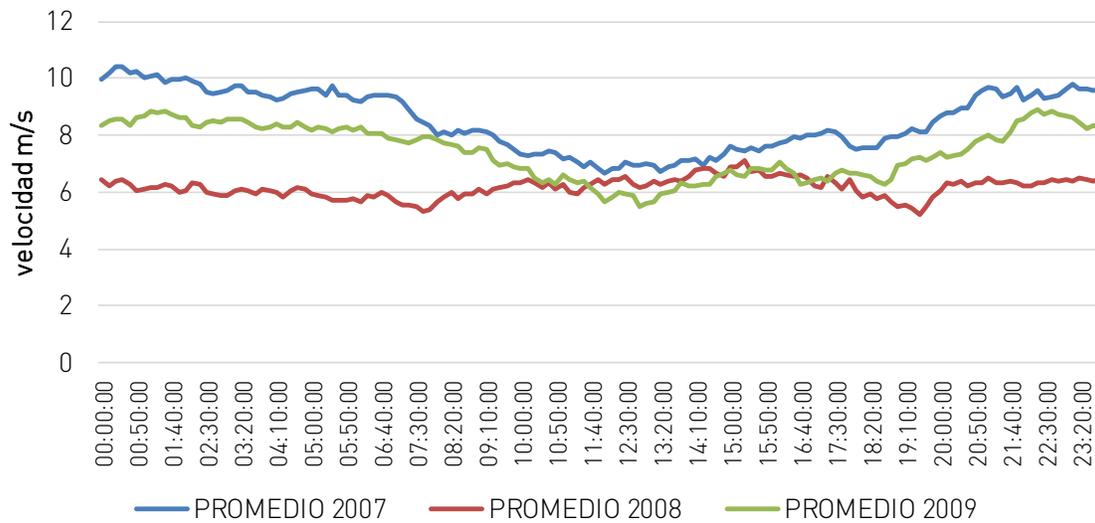
Fuente: DER-DGE.



9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo

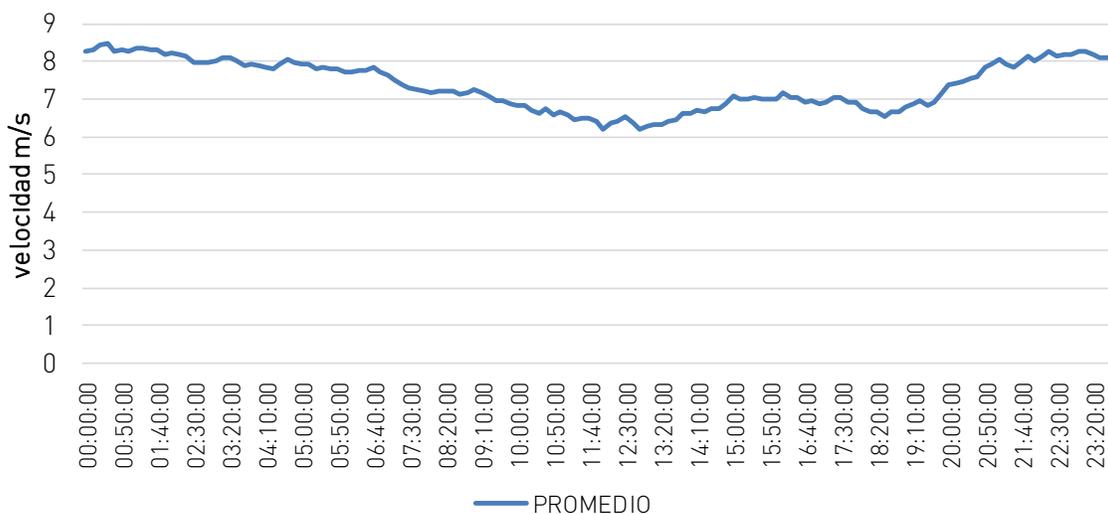
En marzo, la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento a lo largo del día, es similar a las tendencias anteriormente presentadas. Aproximadamente después de las 7:00 pm la velocidad comienza a ascender hasta horas cercanas a la media mañana, donde los valores de velocidad descienden progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo.

Gráfica 20: Comportamiento del viento en un día - marzo.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 21: Tendencia del comportamiento del viento en un día - marzo.



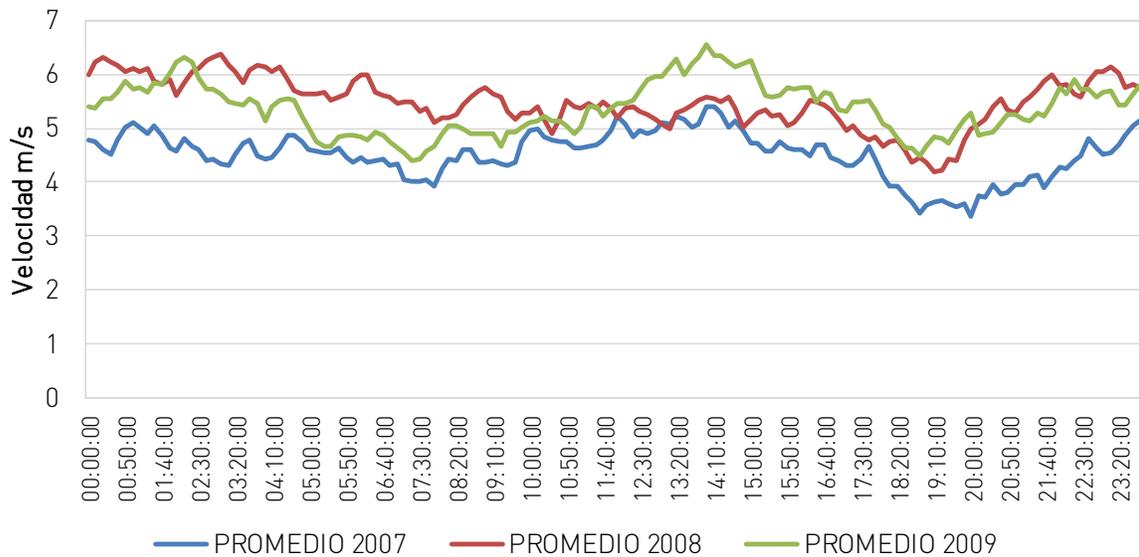
Fuente: DER-DGE.



9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril

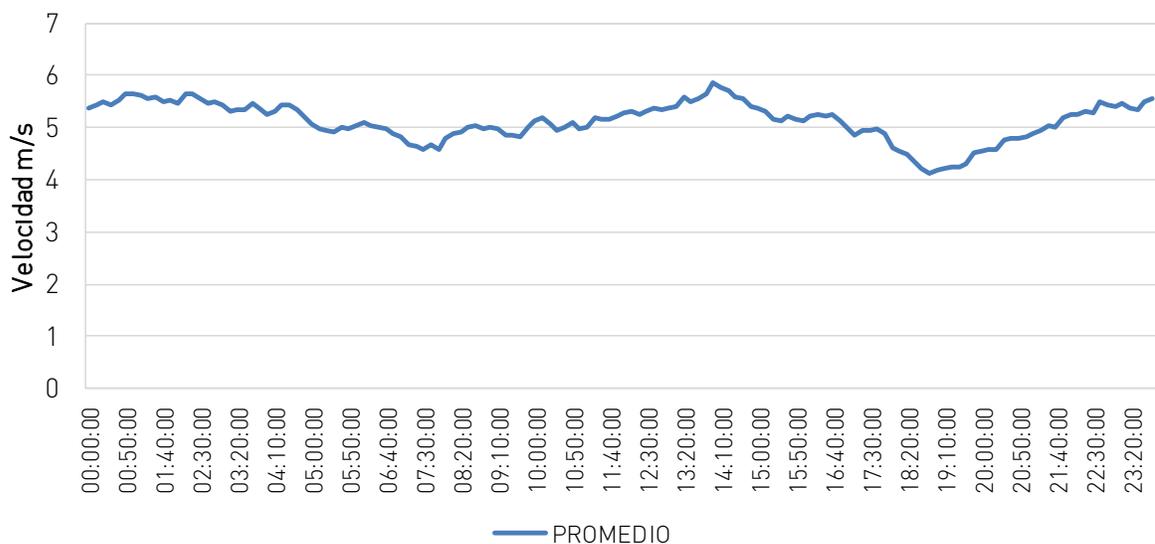
En abril, la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento presenta una línea con variaciones más pronunciadas durante el día, sin embargo, los valores mínimos se presentan entre las 6:40 p.m. y 8:00 p.m.

Gráfica 22: Comportamiento del viento en un día -abril.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 23: Tendencia del comportamiento del viento en un día - abril.



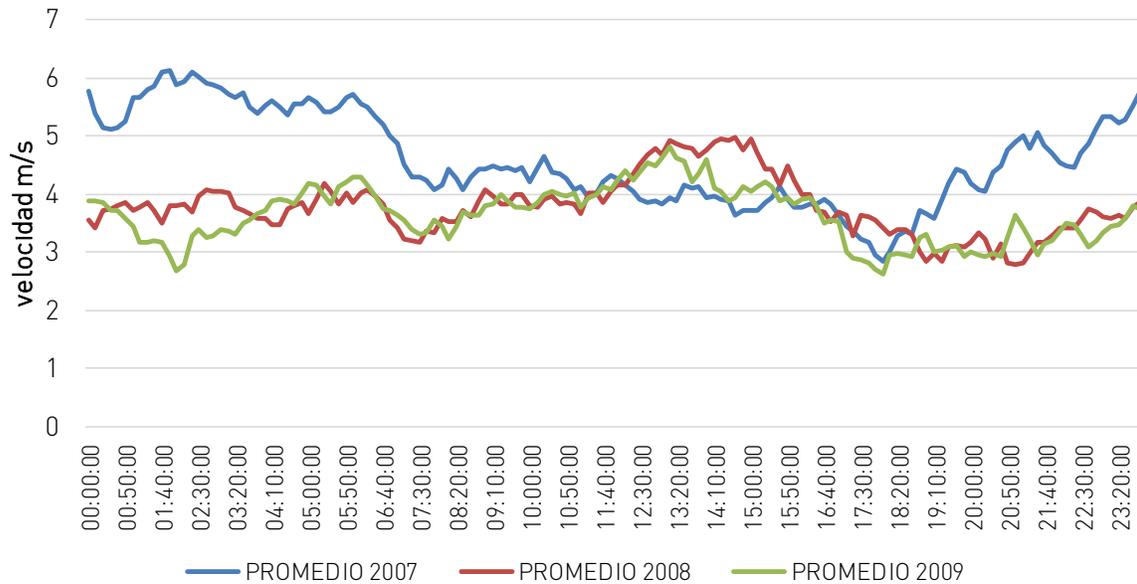
Fuente: DER-DGE.



9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo

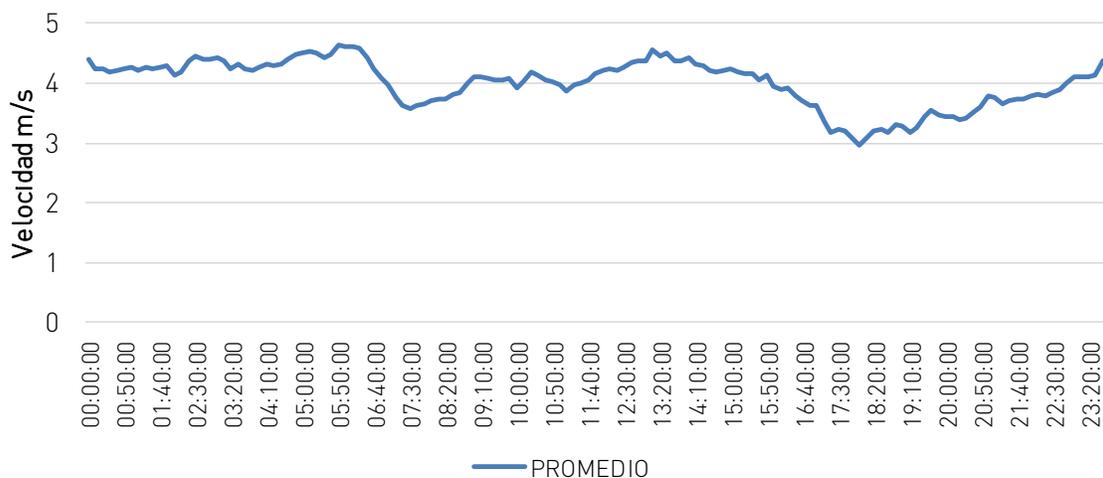
Mayo es uno de los meses pertenecientes a la denominada época húmeda o lluviosa en el país (mayo a octubre), donde el recurso eólico tiende a disminuir. La tendencia del comportamiento a lo largo del día para este mes, presenta mayores variaciones respecto a los meses con velocidades promedio más altas.

Gráfica 24: Comportamiento del viento en un día - mayo.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 25: Tendencia del comportamiento del viento en un día - mayo.



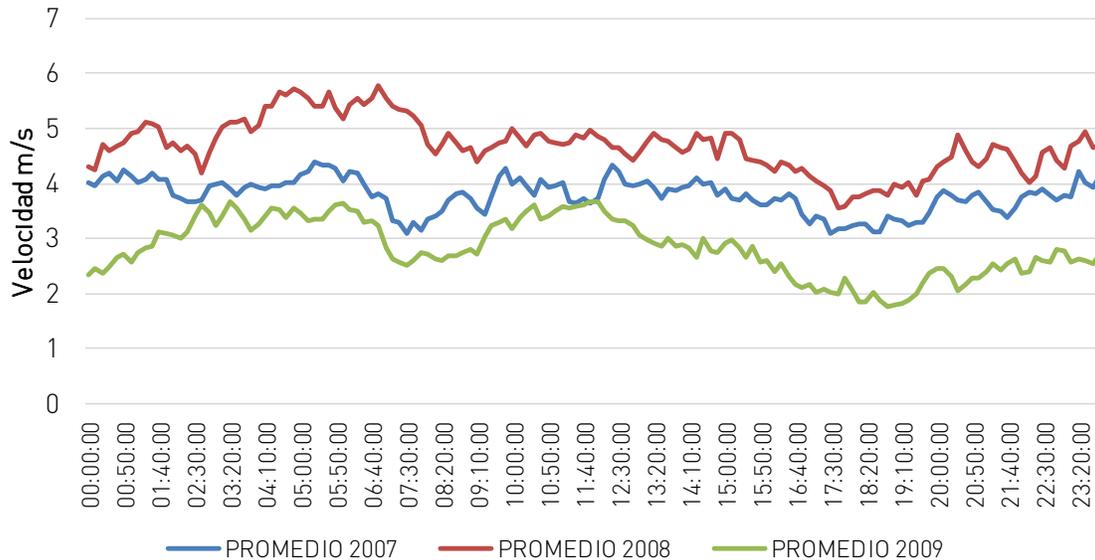
Fuente: DER-DGE.



9.6. Comportamiento de la Velocidad de viento en junio

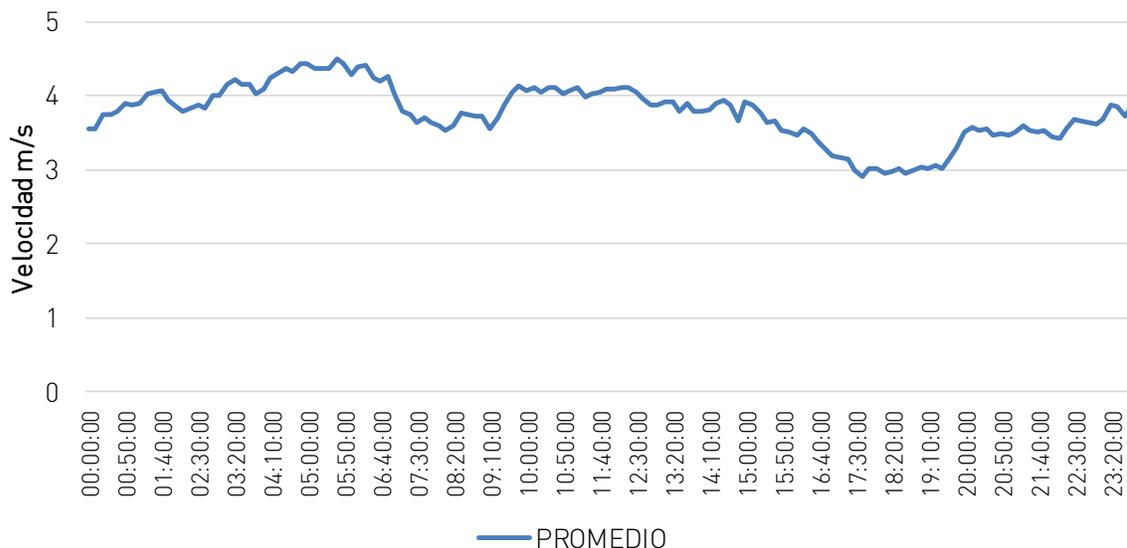
En el mes de junio la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento muestra valores bajos de velocidad, presentando sus valores máximos en horas cercanas a la media noche y madrugada, y sus valores mínimos entre las 5:20 p.m. y las 8:00 p.m.

Gráfica 26: Comportamiento del viento en un día - junio.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 27: Tendencia del comportamiento del viento en un día - junio.



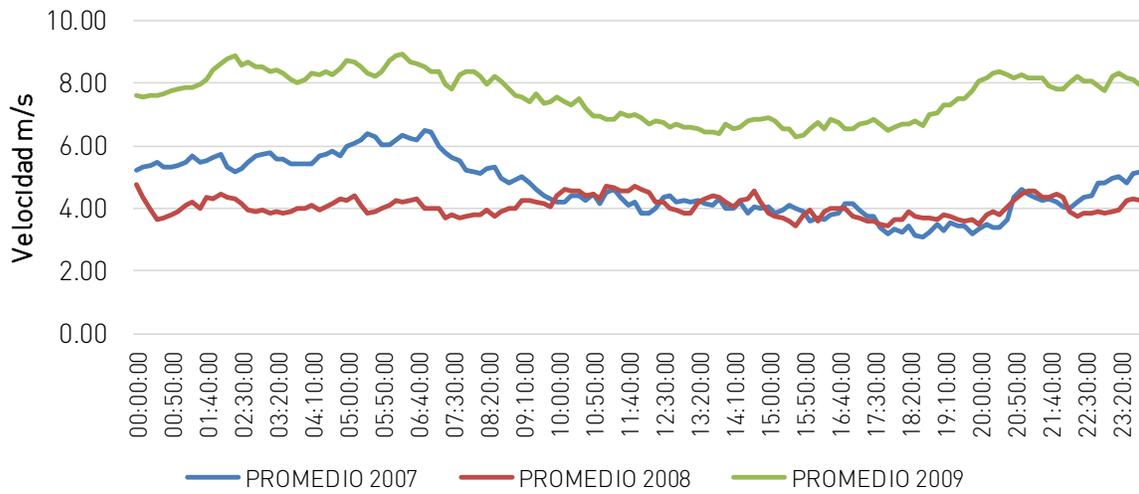
Fuente: DER-DGE.



9.7. Comportamiento de la Velocidad de viento en julio

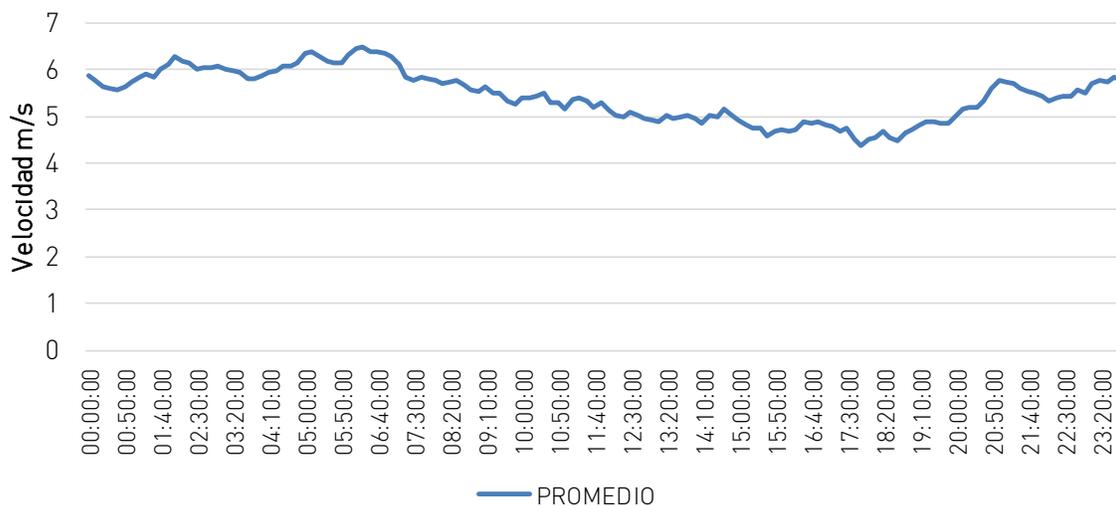
Para el mes de julio la tendencia del comportamiento muestra los valores máximos de velocidad entre las 8:00 p.m. y las 8:00 a.m., hora en donde desciende progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo alrededor de las 6:30 p.m. la curva muestra variaciones en la velocidad a lo largo del día y para el año 2009 la curva presenta valores de velocidad por encima de los dos años anteriores.

Gráfica 28: Comportamiento del viento en un día - julio.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 29: Tendencia del comportamiento del viento en un día - julio.



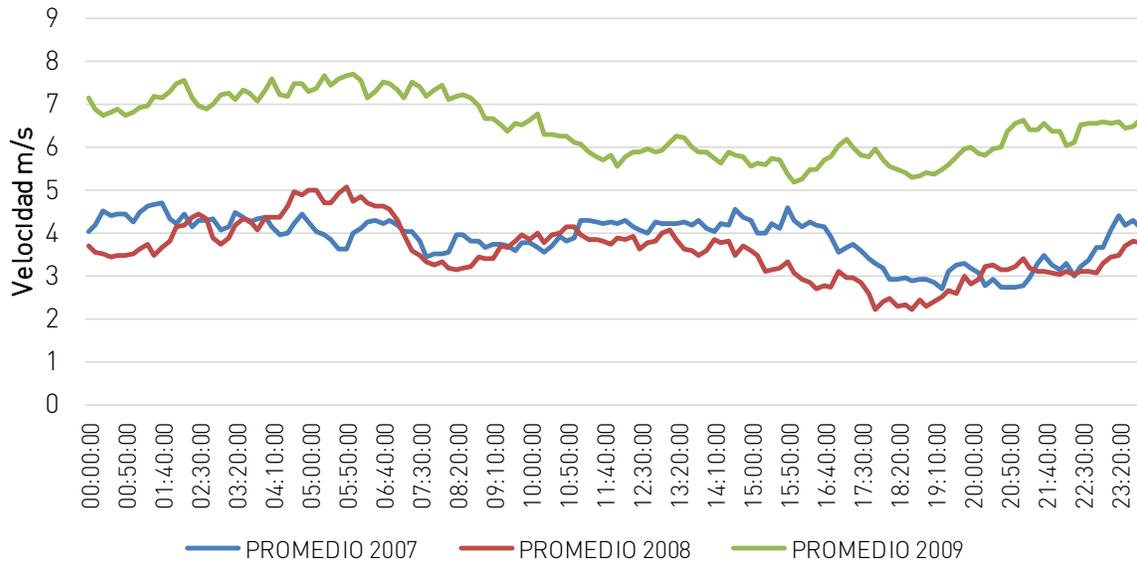
Fuente: DER-DGE.



9.8. Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto

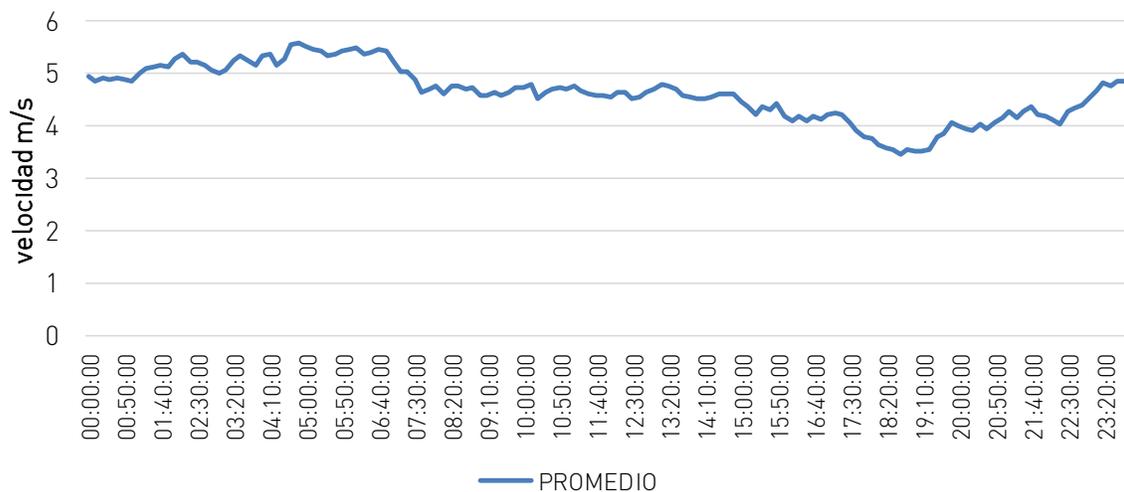
En agosto la tendencia del comportamiento del viento muestra que sus valores máximos se encuentran al igual que en los gráficos anteriores, en horas cercanas a la media noche y madrugada, y los valores mínimos se presentan alrededor de las 6:40 p.m.

Gráfica 30: Comportamiento del viento en un día - agosto.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 31: Tendencia del comportamiento del viento en un día - agosto.



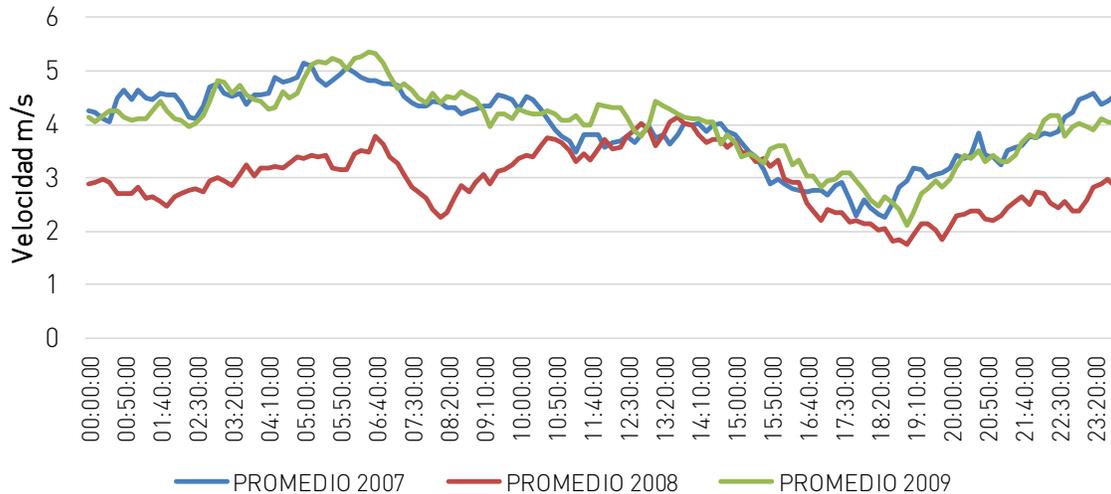
Fuente: DER-DGE.



9.9. Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre

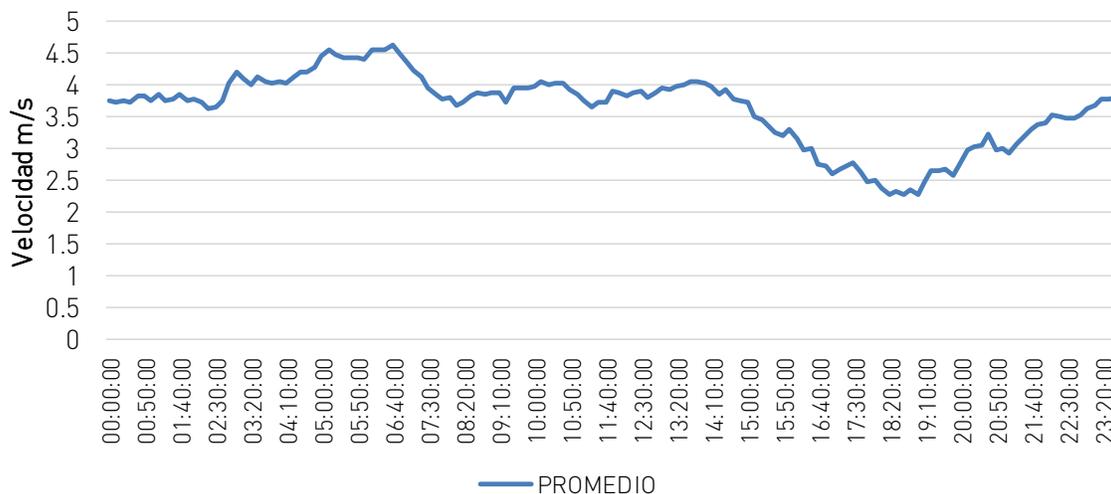
En el mes de septiembre la tendencia de la velocidad es similar a la de los meses anteriores, sin embargo, los valores de velocidad son menores en relación a meses anteriormente mostrados; los valores mínimos se dan alrededor de las 6:40 p.m. y los valores más altos se encuentran en horas cercanas a la media noche y madrugada.

Gráfica 32: Comportamiento del viento en un día - septiembre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 33: Tendencia del comportamiento del viento en un día - septiembre.



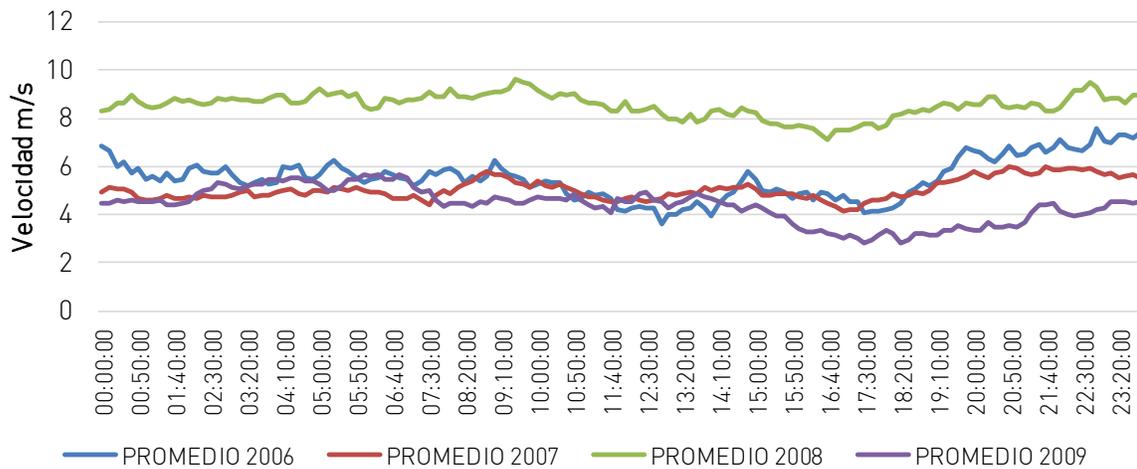
Fuente: DER-DGE.



9.10. Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre

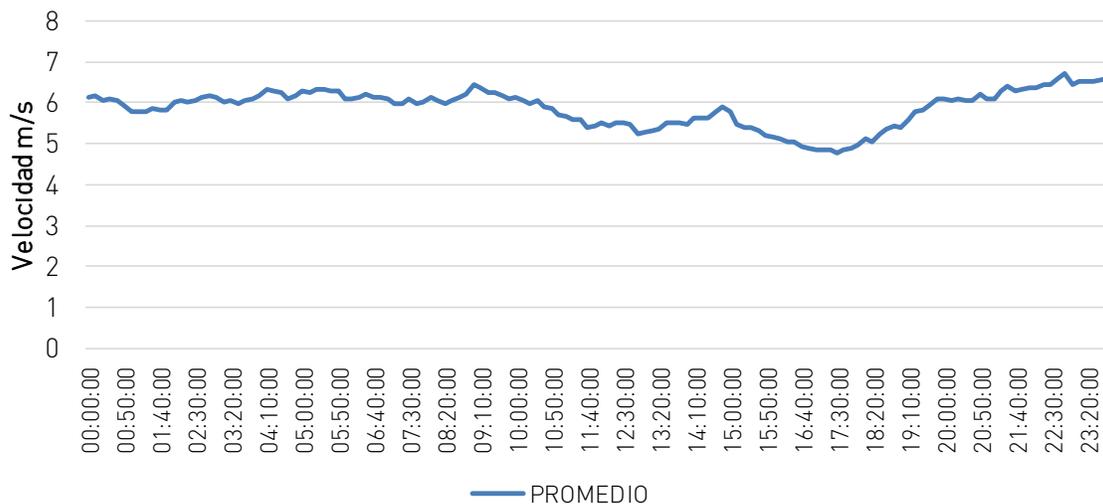
Para octubre el comportamiento de la velocidad de viento, a lo largo del día, muestra valores más estables respecto a otros meses con menores magnitudes de velocidad, presentando valores mínimos alrededor de las 6:00 p.m.

Gráfica 34: Comportamiento del viento en un día - octubre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 35: Tendencia del comportamiento del viento en un día - octubre.



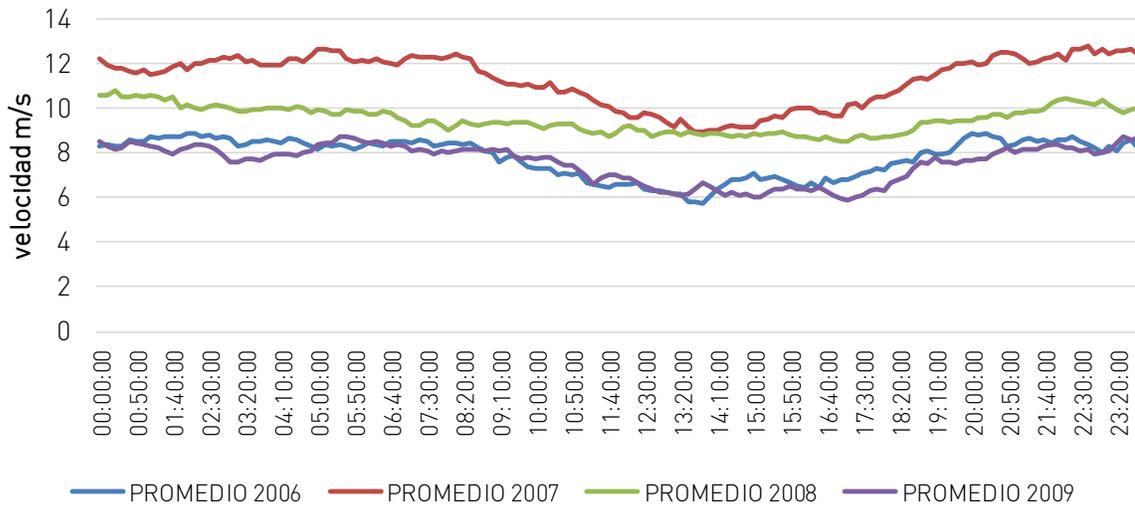
Fuente: DER-DGE.



9.11. Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre

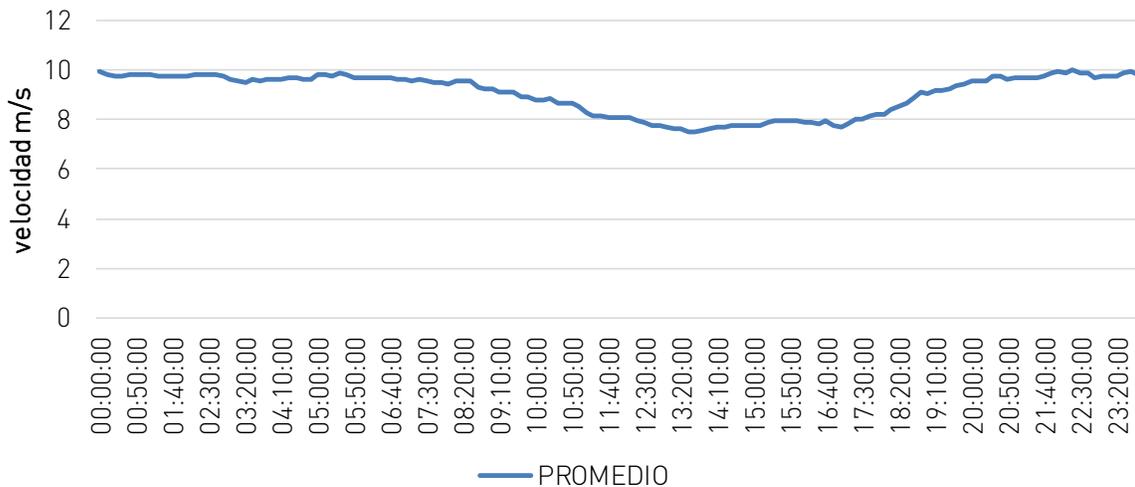
En noviembre las velocidades que se registran representan un mayor potencial para la generación y por lo tanto la tendencia de velocidad de viento es más estable, presentando valores máximos en horas de la noche, cercanos a media noche y madrugada, y valores mínimos en horas cercanas al medio día y parte de la tarde.

Gráfica 36: Comportamiento del viento en un día - noviembre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 37: Tendencia del comportamiento del viento en un día - noviembre.



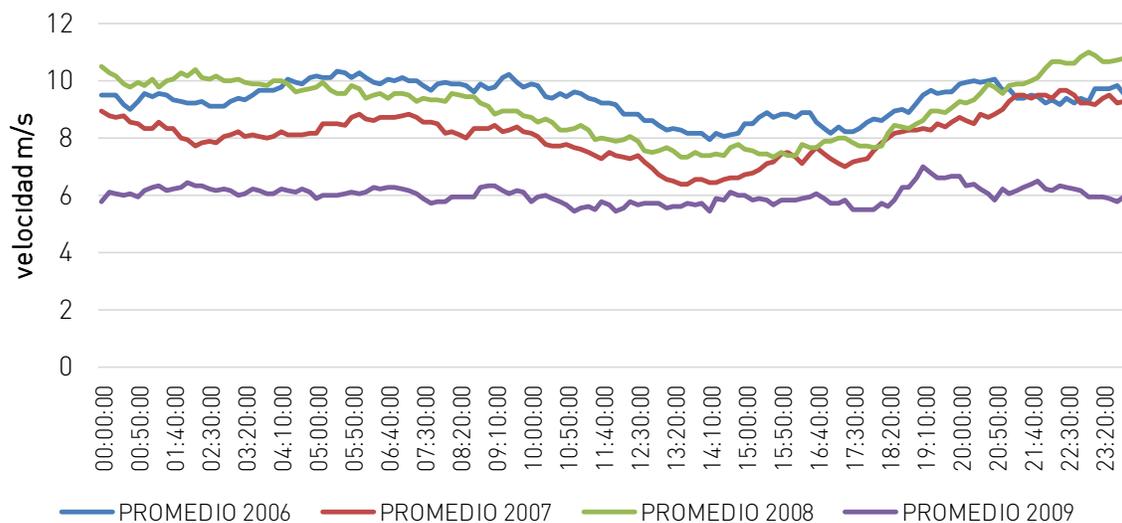
Fuente: DER-DGE.



9.12. Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre

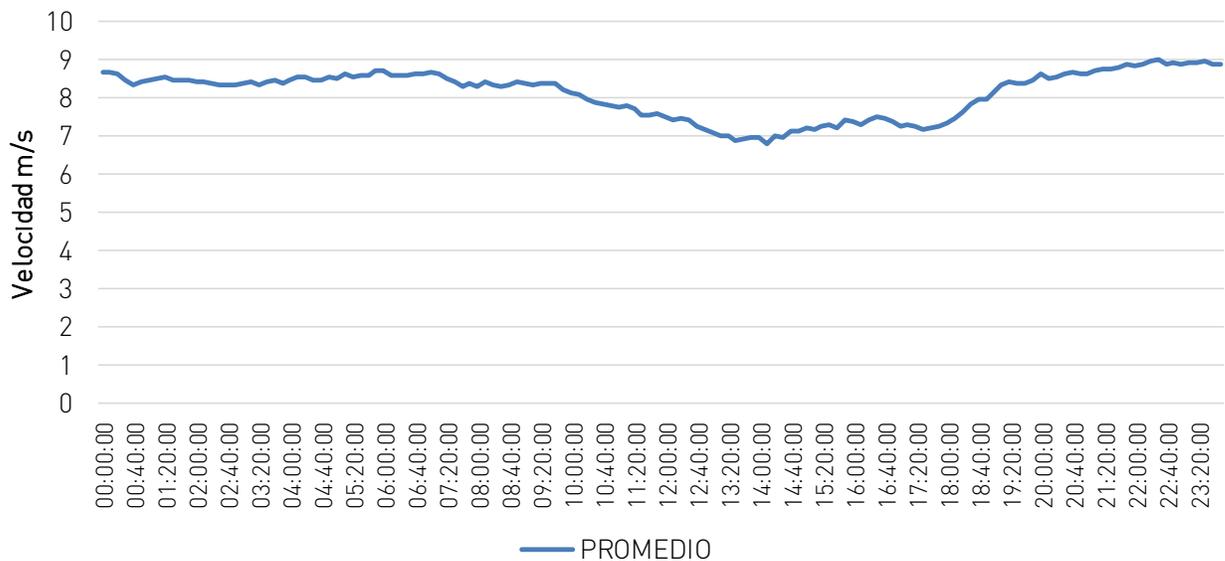
En diciembre al igual que el mes de noviembre se tienen valores promedio de velocidad de viento que son considerados excelentes para la generación. El comportamiento muestra que los valores máximos se presentan en horas cercanas a la media noche y madrugada. Los valores mínimos se registran alrededor del mediodía y en horas de la tarde (entre 12:30 p.m. y 5:00 p.m.) de igual forma se observa la tendencia a que este tipo de recurso eólico podría compensarse con el recurso solar durante el día.

Gráfica 38: Comportamiento del viento en un día - diciembre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 39: Tendencia del comportamiento del viento en un día - diciembre.



Fuente: DER-DGE.



10. Análisis de los Gases de Efecto Invernadero

Las emisiones equivalentes de CO₂ que pudieron haberse evitado en el país, al generar la energía eléctrica que se estimó, por medio del recurso eólico, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 18: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.

| CARBON MINERAL | | | |
|----------------|------------------|--|----------------------------------|
| AÑO | ENERGÍA [GWh] | COEFICIENTE DE EMISION ³ [Kg CO ₂ e / KWh] | EMISIONES [Kg CO ₂ e] |
| 2006 | 2.229945 | 1.3173 | 2,937,517.87 |
| 2007 | 9.322450 | 1.3173 | 12,280,463.84 |
| 2008 | 7.180882 | 1.3173 | 9,459,376.24 |
| 2009 | 7.500755 | 1.3173 | 9,880,744.55 |
| TOTAL | 26.234041 | | 34,558,102.51 |

Fuente: DER-DGE.

Tabla 19: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.

| FUEL OIL | | | |
|--------------|------------------|---|----------------------------------|
| AÑO | ENERGÍA [GWh] | COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO ₂ e / KWh] | EMISIONES [Kg CO ₂ e] |
| 2006 | 2.229954 | 0.6641 | 1,480,912.18 |
| 2007 | 9.322450 | 0.6641 | 6,191,039.28 |
| 2008 | 7.180882 | 0.6641 | 4,768,823.93 |
| 2009 | 7.500755 | 0.6641 | 4,981,251.39 |
| TOTAL | 26.234041 | | 17,422,026.78 |

Fuente: DER-DGE.

Tabla 20: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.

| DIESEL OIL | | | |
|--------------|------------------|---|----------------------------------|
| AÑO | ENERGÍA [GWh] | COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO ₂ e / KWh] | EMISIONES [Kg CO ₂ e] |
| 2006 | 2.229954 | 0.7814 | 1,742,485.74 |
| 2007 | 9.322450 | 0.7814 | 7,284,562.70 |
| 2008 | 7.180882 | 0.7814 | 5,611,141.42 |
| 2009 | 7.500755 | 0.7814 | 5,861,089.95 |
| TOTAL | 26.234041 | | 20,499,279.81 |

Fuente: DER-DGE.

³Coeficientes de Emisión tomados de datos de Balance Energético MEM, 2016.



En las tablas se muestran los kilogramos de dióxido de carbono equivalentes – CO_{2e} - que se dejarían de emitir a la atmósfera al producirse energía eléctrica con una fuente de generación renovable.

En este caso, para el cálculo, se toma la energía aprovechable total estimada de las mediciones de los datos de velocidad de viento de cada año para Samororo, Mataquescuintla, Jalapa y se multiplica por el factor de emisión equivalente correspondiente, para obtener así la cantidad en Kg de dióxido de carbono equivalente que se estarían evitando.

Se observa que para producir el total de energía estimada de 26.23 GWh, utilizando carbón mineral como combustible, se emitirían aproximadamente 34.6 millones de kilogramos de dióxido de carbono equivalente; al producir dicha energía utilizando de Fuel Oil, se emitirían aproximadamente 17.4 millones de kilogramos de dióxido de carbono equivalente; y al hacerlo por medio de Diesel Oil, se estarían emitiendo 20.5 millones de kilogramos de CO_{2e}.

Debido a que la tecnología de generación por medio del recurso eólico posee un coeficiente de emisión de 0.00 kg de dióxido de carbono equivalente por KWh generado, se afirma que la generación de energía mediante el recurso eólico causa un impacto positivo en la preservación del medio ambiente, evitando la emisión de millones de kg de dióxido de carbono.



11. Incentivos para el Desarrollo de proyectos de energía renovable

Dentro del marco legal del país se encuentra la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto 52-2003, y su Reglamento, Acuerdo Gubernativo 211-2005, con el cual se fomenta y facilita las inversiones para el desarrollo de generación de energía por medio del uso de energías limpias.

Es una ley que fue creada para promover en forma activa el desarrollo y aprovechamiento efectivo de los recursos energéticos renovables de Guatemala; permite a mediano y largo plazo alcanzar un desarrollo continuo de los recursos, logrando un equilibrio de generación de energía entre las distintas fuentes de energía existentes, lo cual repercute en una mejora de calidad ambiental y promueve la participación de inversionistas nacionales y extranjeros que se interesan en desarrollar proyectos de energía renovable.

Su objetivo principal es promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto en las diferentes etapas de un proyecto que haya sido calificado como un proyecto de energía renovable (etapas de pre inversión, ejecución y operación).



12. Conclusiones

- ✓ En el estudio se tomaron en cuenta los datos promedio de las velocidades de viento a lo largo del período de medición en Samororo, como una primera aproximación en la determinación del potencial eólico para el dimensionamiento futuro de parques de generación eólicos. Para estudios con más detalle, se necesita el uso de software especializado y además tomar en consideración las variables de dirección, turbulencia y ráfagas del viento, presión atmosférica, temperatura, altura sobre el nivel del mar, rugosidad del terreno, obstáculos y la topografía en general.
- ✓ La velocidad de viento promedio correspondiente al período de medición 2006-2009 es de **8.18 m/s**, valor que según la clasificación de viento corresponde a un viento clase 6, considerado un potencial excelente, lo cual puede ser muy bien aprovechado para la generación eólica; tomando en consideración que los datos de velocidad se obtuvieron con un anemómetro colocado a 30 metros de altura.
- ✓ El porcentaje de aprovechamiento durante el período de medición 2006-2009 fue de **52%**, lo cual indica que aproximadamente la mitad del tiempo durante el período de medición, 2006 - 2009, en Samororo, Mataquescuintla, Jalapa, fue aprovechable para la generación de energía eléctrica con recurso eólico.
- ✓ La energía estimada que pudo aprovecharse en los cuatro años para la generación eólica calculada, tomando en consideración datos de una turbina Vestas V90/3000, fue de **26.23 GWh**. Sin embargo, se muestra en la Ilustración #5 que en el emplazamiento puede ser posible la instalación de dos aerogeneradores, con lo cual la energía generada tendería a aumentar.
- ✓ Los meses que muestran tener el porcentaje de aprovechamiento más alto y la velocidad promedio mensual más alta son los pertenecientes al **primer y último trimestre del año**, siendo enero, febrero, noviembre y diciembre los que presentaron los valores máximos durante el período de medición. Por lo tanto, en estos meses también se presentan los valores más altos de energía aprovechable.
- ✓ En el año 2009 se observa que el mes de julio representa una velocidad de viento promedio arriba de los 8 m/s, resultado de la canícula prolongada que se presentó en dicho año, así mismo en los otros años, el mes de Julio tiende a tener valores altos debido al mismo fenómeno.
- ✓ El comportamiento del viento durante el día muestra que para los meses con mayor potencial, comprendidos entre el primer y último trimestre del año, las velocidades tienden a ser más estables en comparativa a los meses que presentan menor potencial. En general la tendencia diaria muestra que en horas cercanas a media noche, madrugada y parte de la mañana es cuando la velocidad del viento es mayor. La tendencia de la curva de comportamiento del viento refleja que sus valores máximos se dan en ausencia del recurso solar.
- ✓ La dirección predominante del viento en Samororo, Mataquescuintla, Jalapa, durante los años de medición, se ubica en el cuadrante Noroeste.





UNA NUEVA VISIÓN ENERGÉTICA EN LA PROMOCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR EN GUATEMALA

Esta publicación contiene estimaciones obtenidas de los valores de medición de viento.
El Ministerio de Energía y Minas no asume ninguna responsabilidad por los usos y las interpretaciones que se le dé
a la información contenida en el presente documento.