



GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE  
**GUATEMALA**  
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

# ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE LA MEDICIÓN DE VIENTO EN **El Rodeo San Marcos**

*Dirección General de Energía  
Departamento de Energías Renovables*

*Guatemala, noviembre de 2019.*



GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE  
**GUATEMALA**  
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

**ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO  
DE LA MEDICIÓN DE VIENTO EN  
El Rodeo San Marcos**

## ÍNDICE

Acrónimos .....	6
Introducción .....	7
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. Dirección del viento en el emplazamiento .....	19
6.5. Descripción del equipo de medición .....	20
6.5.1. Anemómetro: .....	20
6.5.2. Veleta: .....	20
6.5.3. Registrador de Datos: (Datta Logger) .....	20
6.5.4. Baliza Luminosa: .....	20
6.5.5. Sensor de Temperatura: .....	21
6.5.6. Características Técnicas del Equipo de Medición .....	22
7. Resultados de la Medición .....	23
7.1. Velocidad Promedio del Emplazamiento .....	23
7.2. Resumen de la velocidad promedio anual .....	26
7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento .....	27
8. Estimación de la Energía .....	28
8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólica El Rodeo, San Marcos, San Marcos .....	31
9. Comportamiento de la Velocidad de Viento .....	32
9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero .....	33
9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero .....	34
9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo .....	35
9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril .....	36



9.5.	Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo .....	37
9.6.	Comportamiento de la Velocidad de viento en junio .....	38
9.7.	Comportamiento de la Velocidad de viento en julio .....	39
9.8.	Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto .....	40
9.9.	Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre .....	41
9.10.	Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre .....	42
9.11.	Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre.....	43
9.12.	Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre.....	44
10.	Análisis de los Gases de Efecto Invernadero .....	45
11.	Incentivos para el Desarrollo de proyectos de energía renovable.....	47
12.	Conclusiones.....	48

## 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:	Energía Eólica Generada en Guatemala, enero a septiembre 2020.....	13
Gráfica 6:	Horas Aprovechables y Velocidad de viento – El Rodeo 2006.....	24
Gráfica 7:	Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – El Rodeo 2007. ....	25
Gráfica 8:	Resumen de Velocidad Promedio – El Rodeo 2006-2007. ....	26
Gráfica 9:	Resumen de Horas Medidas y Horas Aprovechables – El Rodeo 2006 – 2007.....	27
Gráfica 10:	Energía – El Rodeo 2006. ....	29
Gráfica 11:	Energía – El Rodeo 2007. ....	30
Gráfica 12:	Resumen Energía 2006 - 2007.....	31
Gráfica 13:	Comportamiento del Viento en un día - enero.....	33
Gráfica 14:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - enero. ....	33
Gráfica 15:	Comportamiento del viento en un día - febrero. ....	34
Gráfica 16:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - febrero.....	34
Gráfica 17:	Comportamiento del viento en un día - marzo.....	35
Gráfica 18:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - marzo. ....	35
Gráfica 19:	Comportamiento del viento en un día -abril.....	36
Gráfica 20:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - abril. ....	36
Gráfica 21:	Comportamiento del viento en un día - mayo.....	37
Gráfica 22:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - mayo.....	37
Gráfica 23:	Comportamiento del viento en un día - junio. ....	38
Gráfica 24:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - junio.....	38
Gráfica 25:	Comportamiento del viento en un día - julio.....	39
Gráfica 26:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - julio.....	39
Gráfica 27:	Comportamiento del viento en un día - agosto. ....	40
Gráfica 28:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - agosto.....	40
Gráfica 29:	Comportamiento del viento en un día - septiembre.....	41
Gráfica 30:	Tendencia del comportamiento del viento en un día - septiembre.....	41



Gráfica 31: Comportamiento del viento en un día - octubre.....	42
Gráfica 32: Tendencia del comportamiento del viento en un día - octubre.....	42
Gráfica 33: Comportamiento del viento en un día - noviembre.....	43
Gráfica 34: Tendencia del comportamiento del viento en un día - noviembre.....	43
Gráfica 35: Comportamiento del viento en un día - diciembre.....	44
Gráfica 36: Tendencia del comportamiento del viento en un día - diciembre.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Proyectos eólicos instalados en el País.....	12
Tabla 2: Características del equipo de medición instalado EL RODEO. ....	22
Tabla 3: Velocidad de viento 2006.....	24
Tabla 4: Aprovechamiento 2006.....	24
Tabla 5: Velocidad de viento 2007.....	25
Tabla 6: Aprovechamiento 2007.....	25
Tabla 7: Horas medidas y aprovechables. ....	27
Tabla 8: Aerogenerador Vestas V90/3000. ....	28
Tabla 9: Energía 2006.....	29
Tabla 10: Energía 2007.....	30
Tabla 11: Energía Total El Rodeo 2006 – 2007.....	31
Tabla 12: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.....	45
Tabla 13: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.....	45
Tabla 14: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.....	45

## 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: Dirección predominante del viento El Rodeo San Marcos.....	19
Ilustración 5: Anemómetro de 3 copas. ....	20
Ilustración 6: Veleta.....	20
Ilustración 7: Registrador de datos.....	20
Ilustración 8: Baliza Luminosa.....	20
Ilustración 9: Sensor de Temperatura.....	21



## Acrónimos

°C	Grados Celsius.
CO <sub>2</sub> e	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	Watt sobre metro cuadrado.
WWEA	Asociación Mundial de Energía Eólica.



## Introducción

De acuerdo a 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. Actualmente el DER ha realizado un análisis más detallado de la información correspondiente al sitio de medición “El Rodeo”, ubicado en aldea El Rodeo, municipio de San Marcos del departamento de San Marcos, 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 dicho sitio, 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 y un estimado de las emisiones de CO<sub>2e</sub>, que podrían evitarse al utilizar el recurso eólico para la generación de energía eléctrica.

Este estudio y perfil básico se realizó con base a los archivos recopilados 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 El Rodeo, San Marcos, San Marcos, del 14 de enero del año 2006 al 31 de diciembre de 2007.



# 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.



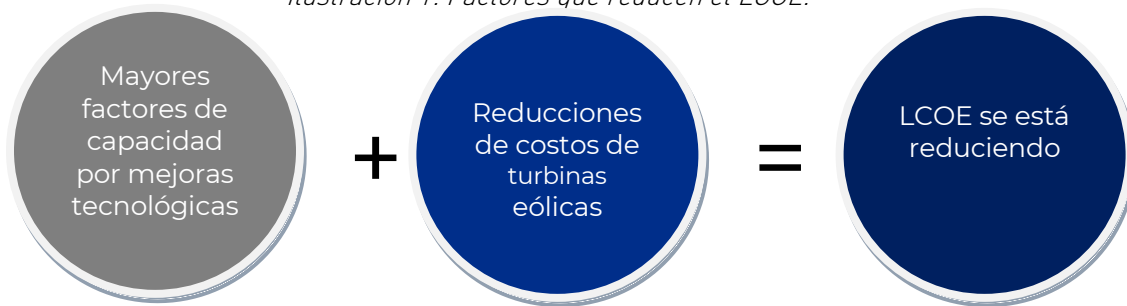


## 2. La energía eólica a nivel mundial

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.

De la capacidad instalada, 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 GW 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 respectivamente<sup>1</sup>.

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

<sup>1</sup> Informe Anual Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 de IRENA.

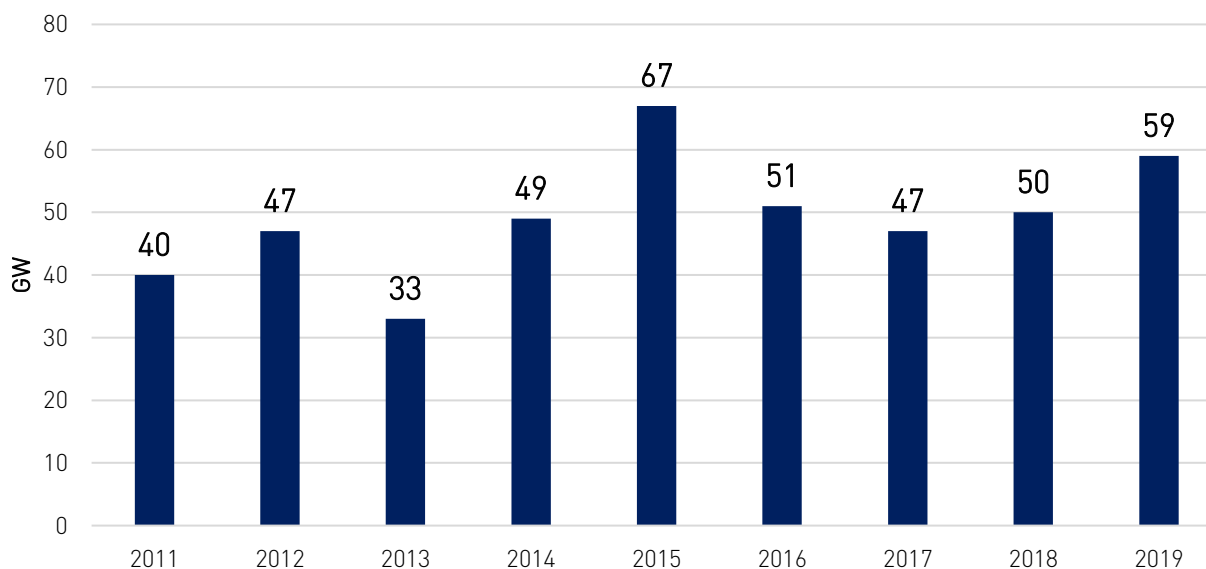


maduras en Europa y los EE. UU., mientras que se prevé un crecimiento significativo en los mercados en desarrollo en el sudeste asiático y en el mercado offshore global, con ello se instalarán más de 145 GW de la capacidad de nuevos parques eólicos en tierra para 2023.

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 2017<sup>2</sup>.

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

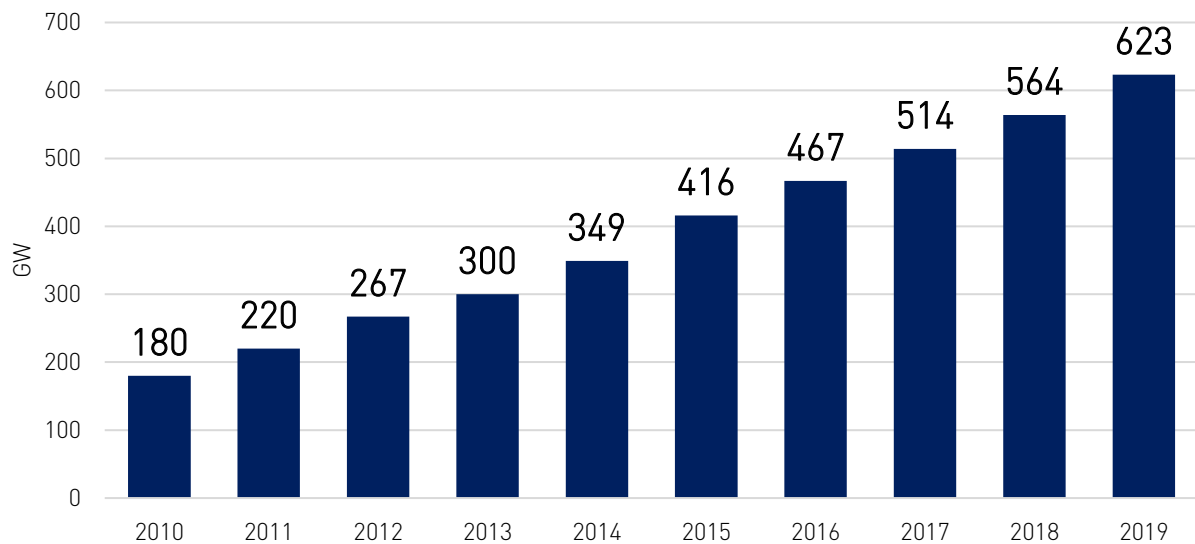


*Fuente: Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 -IRENA-.*

<sup>2</sup> Fuente: Global Wind Energy Council –GWEC–



Gráfica 2: Capacidad eólica instalada en el mundo.



Fuente: Estadísticas de Capacidad Renovable 2020 -IRENA-.

La crisis a nivel mundial, generada a causa de la pandemia del COVID-19, ha causado problemas a nivel sanitario, económico y social, lo cual según -IRENA-, requiere de una respuesta de gran escala guiada por medidas sociales y económicas apropiadas, con el fin de perseguir los retos de la transformación energética y los objetivos climáticos mundiales, los cuales están orientados a reducir las emisiones de carbono.

Por otra parte, el Consejo Global de Energía Eólica o GWEC por sus siglas en inglés, al realizar una entrevista a seis importantes fabricantes de equipos originales de turbinas de China (debido a que China es el país líder en nuevas instalaciones eólicas), concluyó de que la pandemia si afectará la cadena de suministro y las operaciones de instalación, sin embargo la desaceleración que esto puede provocar, no será tan significativa como se creía y todos los encuestados confirman que las operaciones se reanudaron después de las vacaciones prolongadas del Año Nuevo Chino, además comentan que se está trabajando en conjunto con el gobierno para lograr mitigar cualquier impacto adverso de la pandemia.

A través de Comunicado de prensa conjunto del 28 de mayo de 2020, la Organización Mundial de la Salud, manifiesta en su página web, en torno a las energías renovables, que aún no está claro el impacto total de la crisis provocada por el COVID-19 en las energías renovables, sin embargo en relación a alcanzar los objetivos de garantizar el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna antes de 2030, se requerirá que los esfuerzos se amplíen significativamente, lo cual implica un mayor compromiso político, una planificación energética a largo plazo, un aumento del financiamiento público y privado, e incentivos normativos y fiscales adecuados para estimular un despliegue más rápido de las nuevas tecnologías<sup>3</sup>.

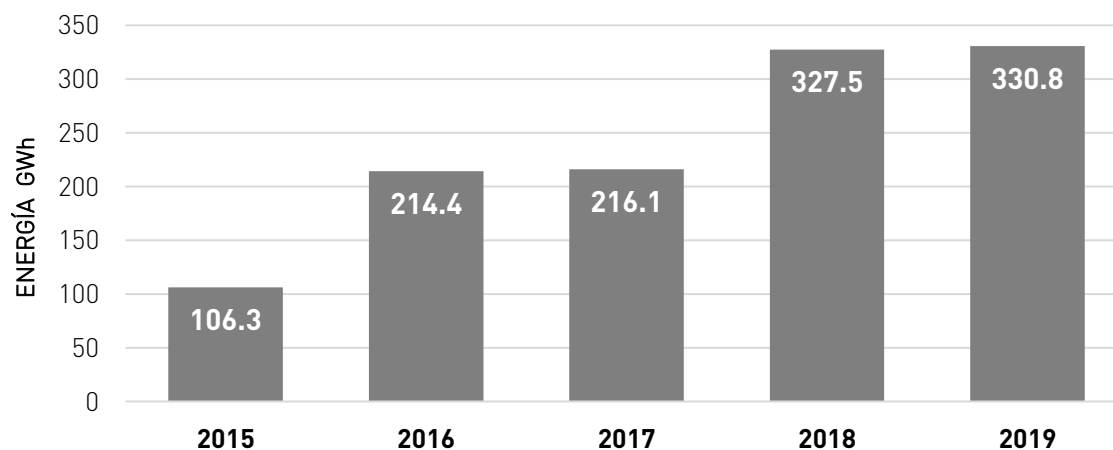
<sup>3</sup> Comunicado de prensa conjunto del 28 de mayo de 2020. Por la OMS: <https://www.who.int/es/news/item/28-05-2020-covid-19-intensifies-the-urgency-to-expand-sustainable-energy-solutions-worldwide>



### 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

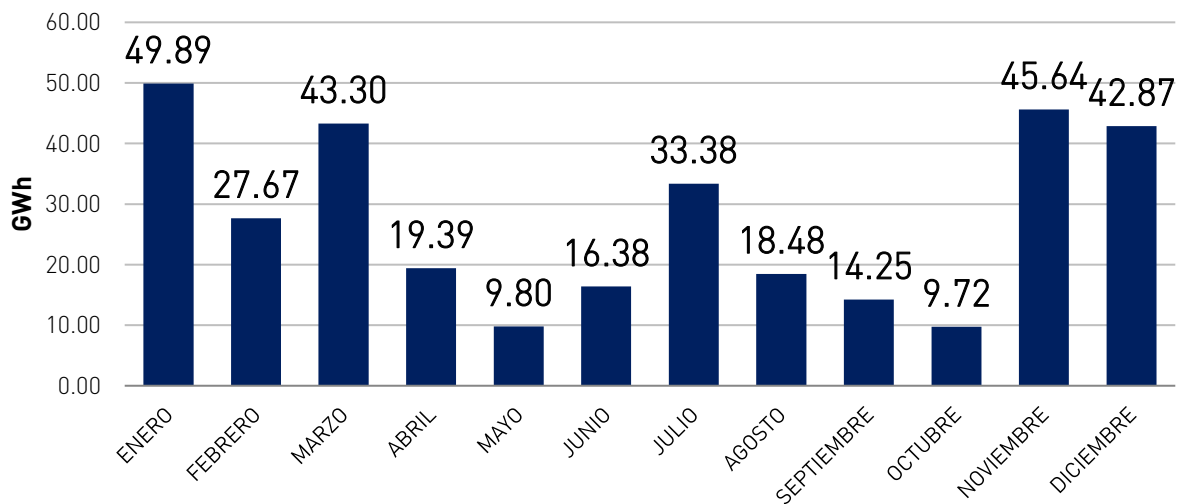
*Fuente: DER-DGE.*

Después del proyecto Eólico Las Cumbres en 2018, no se ha instalado nueva capacidad eólica que aporte energía al Sistema Nacional Interconectado, por lo que la generación eléctrica proveniente de energía eólica en los últimos años, se ha mantenido constante.



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,

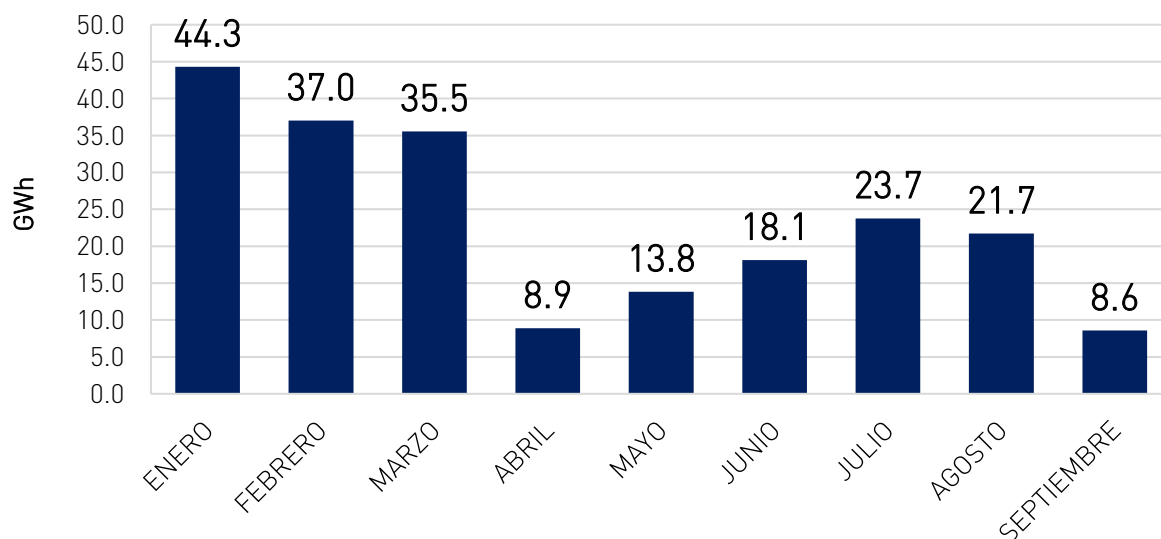
Gráfica 4: Energía Eólica Generada en Guatemala, 2019.



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

En la gráfica 5, se puede observar el comportamiento por mes de la energía eléctrica generada con recurso eólico de enero a septiembre del año 2020, lo cual en el Sistema Nacional Interconectado representó 211.6 GWh.

Gráfica 5: Energía Eólica Generada en Guatemala, enero a septiembre 2020.



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 aldea El Rodeo, San Marcos, San Marcos, 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 aldea "El Rodeo".
- 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 "El Rodeo".
- 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 El Rodeo, San Marcos, San Marcos, desde el día 14 de enero de 2006 hasta el 31 de diciembre de 2007. 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.

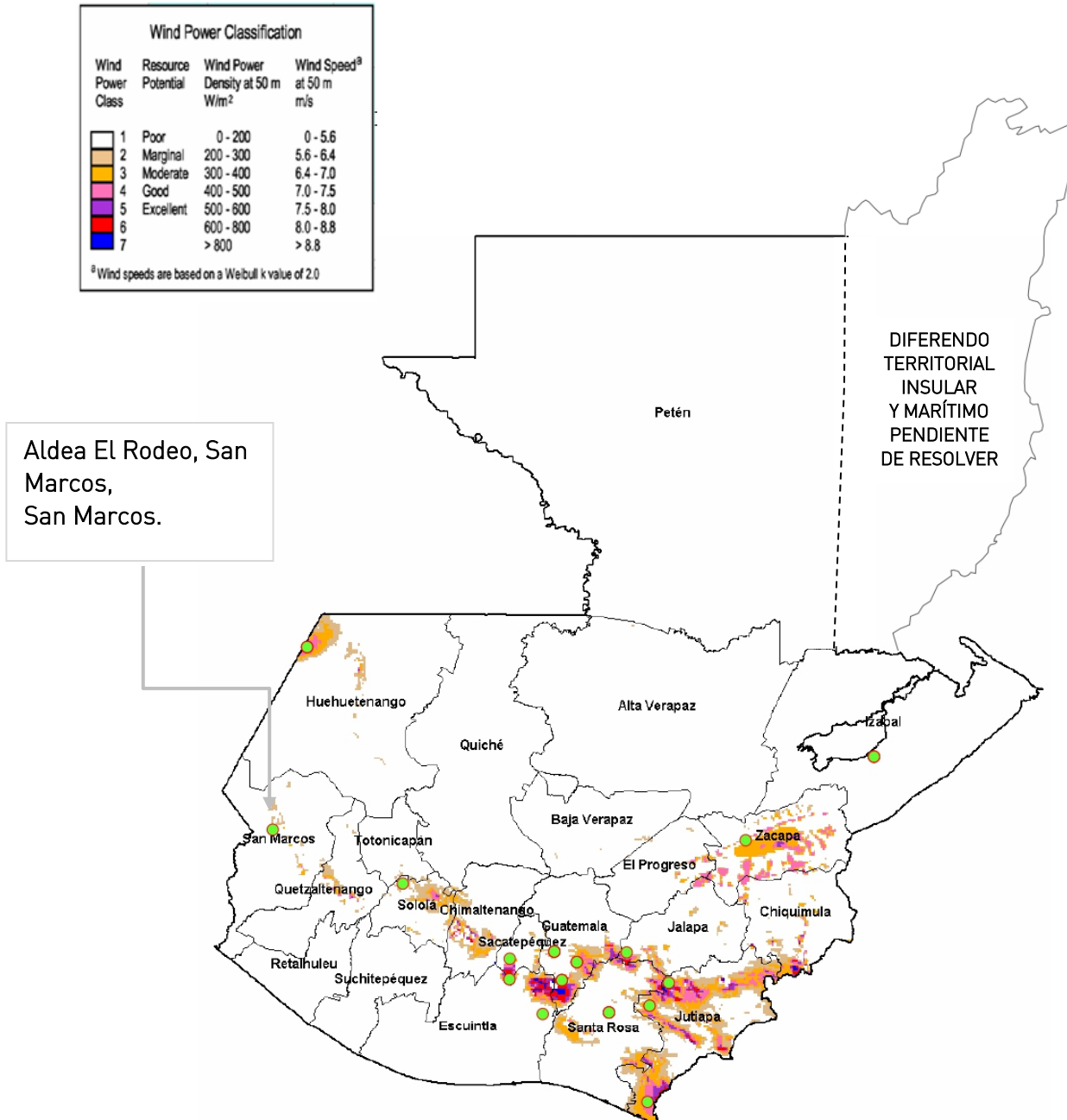
Se realizó la estimación de potencia para cada mes y año; así mismo, con la energía estimada, se calculó la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalentes -CO<sub>2</sub>e- que pudieron ser evitadas al generarse esta energía con recurso eólico en comparación con el uso de combustibles fósiles



## 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 <sup>a</sup> 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

<sup>a</sup> Wind speeds are based on a Weibull k value of 2.0

Fuente: MEM.

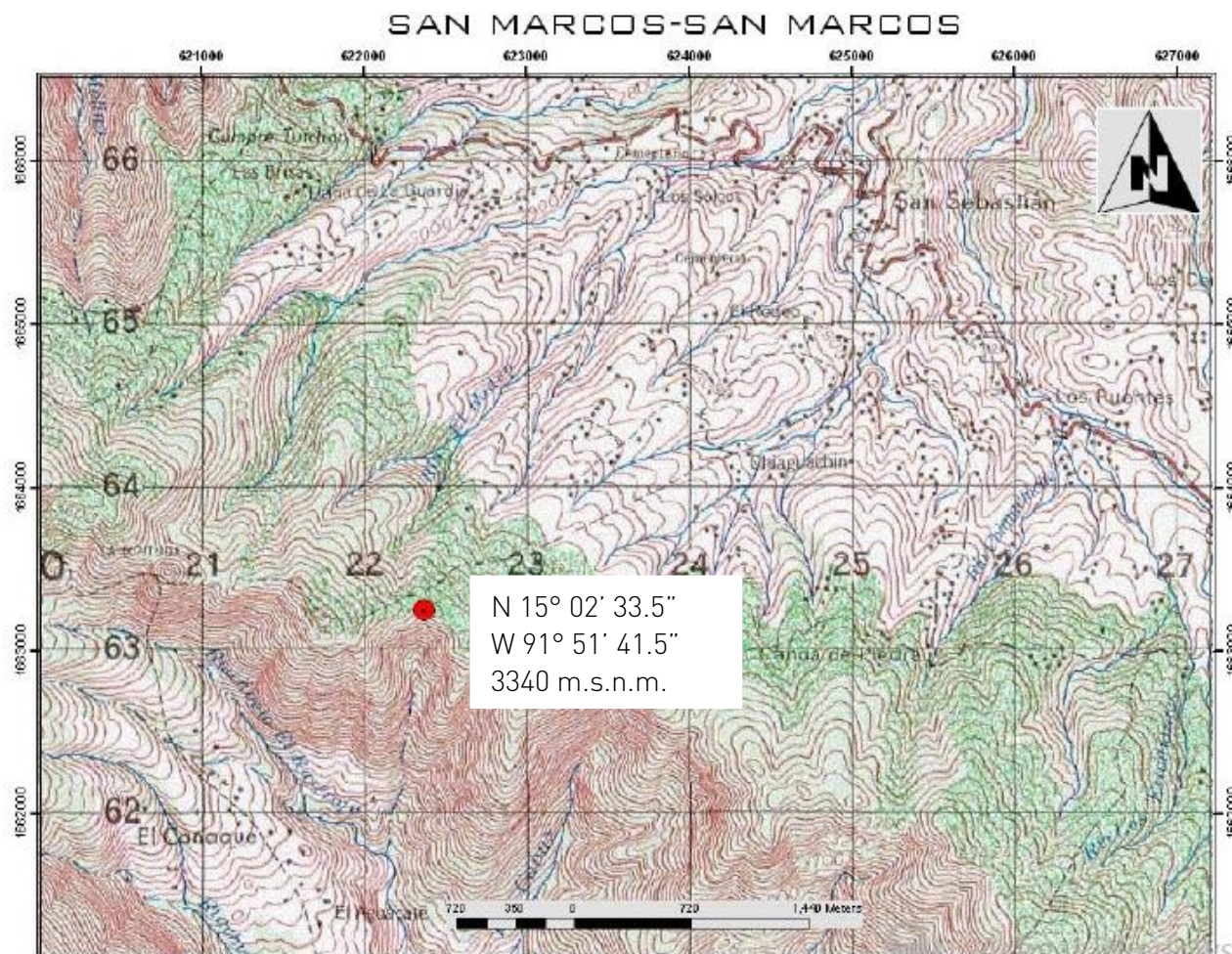
En el cuadro de clasificación de viento que se muestra la ilustración 2, se aprecian las densidades de viento en ( $W/m^2$ ) a una altura de 50 metros. La clasificación se hace a través de colores, a los cuales se les asigna una **clase**, la cual empieza en uno y termina en siete. De acuerdo a esta 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 Aldea el Rodeo San Marcos, San Marcos" DGE-MEM.*

La torre de medición instalada en "El Rodeo", se encuentra a una distancia total de 275 kilómetros desde la Ciudad de Guatemala, pasando por San Sebastián Serchil; el sitio de medición se localiza a una altura sobre el nivel del mar de 3,340 m.



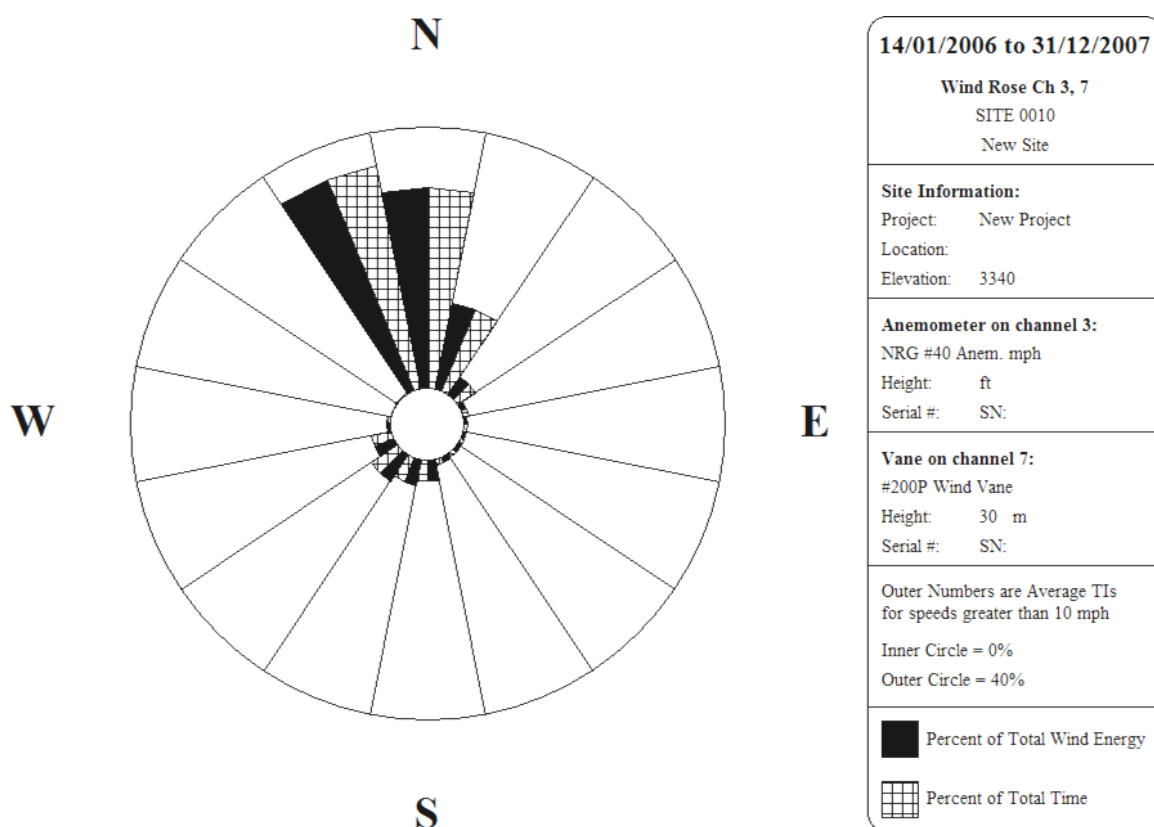
## 6.4. Dirección del viento en el emplazamiento

### 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 “El Rodeo”, en el periodo del 14 de enero de 2006 al 31 de diciembre de 2007, se muestra el siguiente gráfico de “Rosa de Viento”:

*Ilustración 4: Dirección predominante del viento El Rodeo San Marcos.*



*Fuente: DER-DGE.*

La Rosa de Viento para la estación de medición en El Rodeo, indica que la dirección predominante del viento fue norte-noroeste (NNO), así mismo, la mayor cantidad de energía debido al potencial eólico, se obtiene de la misma dirección.



## 6.5. Descripción del equipo de medición

### 6.5.1. 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 5: Anemómetro de 3 copas.*



*Fuente: DER-DGE*

### 6.5.2. 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 6: Veleta.*



*Fuente: DER-DGE*

### 6.5.3. 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 7: Registrador de datos.*



*Fuente: DER-DGE*

### 6.5.4. Baliza Luminosa:

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

*Ilustración 8: Baliza Luminosa.*



*Fuente: DER-DGE*



### 6.5.5. Sensor de Temperatura:

Utilizado para medir la temperatura ambiente del lugar.

*Ilustración 9: Sensor de Temperatura.*



*Fuente: DER-DGE*



### 6.5.6. 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 El Rodeo, San Marcos, San Marcos.

Tabla 2: Características del equipo de medición instalado EL RODEO.

DATOS DE LA INSTALACIÓN						
NÚMERO DE SITIO		0010				
FECHA Y HORA DE INSTALACIÓN		14/01/2006 00:00 AM -6GMT				
UBICACIÓN		N15° 02.564' W 91° 51.701'				
DATOS DE FÁBRICA						
Componente	Modelo	Número de Ítem	Número de Serie	Unidad de medida		
Datalogger	Symphonie	3147	30907677	***		
Anemómetros	NRG #40C	1900	25025	m/s		
			25024	m/s		
Sensor de temperatura	NRG #110S	1906	***	°C		
Veleta	NRG #200P	1904	***	grados		
DATOS DE CALIBRACIÓN						
Componente	Número de Canal	Factor de escala	Error Offset	Tipo de señal	Altura de instalación (m)	Orientación
Datalogger	***	***	***	***	2	***
Anemómetros	1	0.765	0.35	frecuencia	30	**
	2	0.765	0.35		20	**
Sensor de temperatura	9	0.138	-86.383	Analógica	5	***
Veletas	7	0.351	0	Analógica	30	**
Sensor de radiación solar	***	***	***	***	2	***

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 El Rodeo, San Marcos, San Marcos, en el periodo de medición que comprende del año 2006 a 2007.

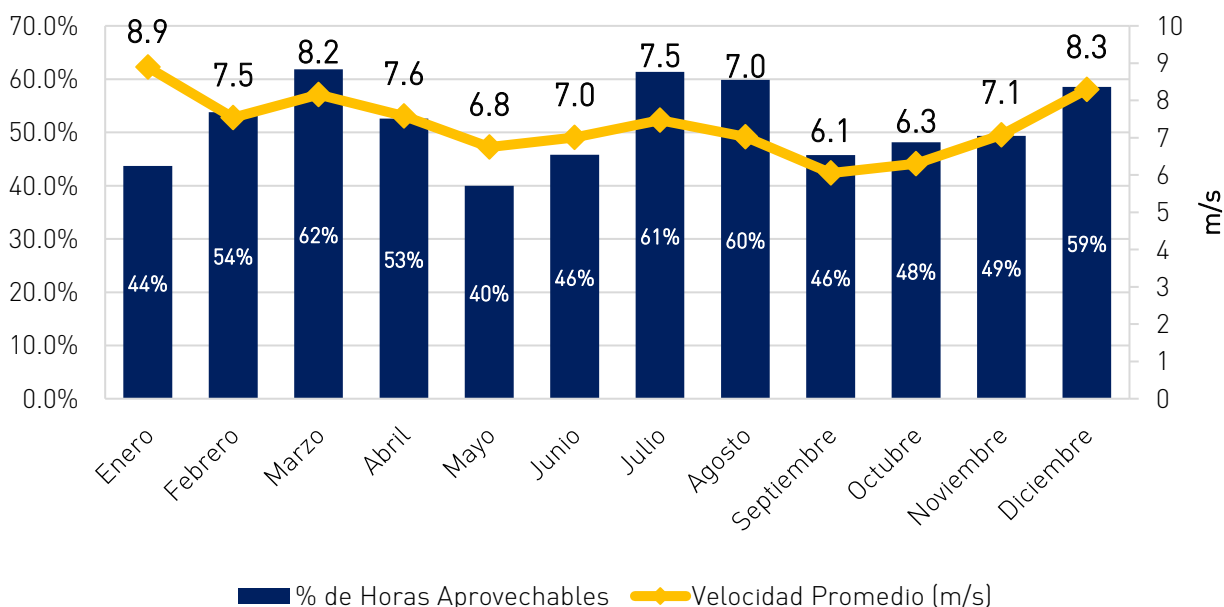
Se definió como velocidades aprovechables, los valores medidos que estuvieron por encima de los 5 m/s. Los valores de velocidad promedio que se muestran, representan el valor promedio de todas aquellas mediciones consideradas como velocidades aprovechables.

En las gráficas de velocidad promedio que se muestran en esta sección, se puede observar el porcentaje de horas aprovechables por mes, representado con barras, lo cual es un indicador de la cantidad de mediciones que se consideraron para el promedio calculado, así como del porcentaje de mediciones que estuvieron por encima de 5 m/s. En una sección posterior se muestran las gráficas de tendencia diaria de la velocidad, para la cual no se hace distinción alguna de las velocidades menores o mayores de 5 m/s, las cuales se detallarán más adelante en este estudio.

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 la cantidad de horas totales medidas por año, las horas aprovechables y el porcentaje que éstas representan.



Gráfica 6: Horas Aprovechables y Velocidad de viento – El Rodeo 2006.



Fuente: DER-DGE.

En la gráfica 6, se presentan las velocidades promedio y los porcentajes de horas aprovechables medidas para los meses del año 2006 en El Rodeo San Marcos, San Marcos.

Se observa que los porcentajes de aprovechamiento más altos, son correspondientes a los meses de febrero, marzo, abril, julio y diciembre y que las velocidades promedio para estos meses, se encuentran en un rango de entre 7.5 m/s y 8.3 m/s, lo cual, según el cuadro de clasificación descrito en la sección 6.2, se considera como un potencial “excelente” para la generación de energía eléctrica con recurso eólico. Los meses que presentan el menor porcentaje de aprovechamiento y además la menor velocidad promedio, son los meses de mayo, septiembre y octubre, los cuales tienen porcentajes de aprovechamiento menores al 50% y velocidades promedio en el rango de 6.1 a 6.8 m/s, lo cual, según el cuadro de clasificación descrito, se consideran como un potencial “marginal” y “moderado” para la generación.

El promedio de la velocidad durante el presente año fue de 7.35 m/s, lo cual se considera como una disponibilidad de recurso buena y el porcentaje de horas aprovechables fue de más del 50% medido.

**Tabla 3: Velocidad de viento 2006.**

RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2006		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
7.35	23.2	0.40

Fuente: DER-DGE.

**Tabla 4: Aprovechamiento 2006.**

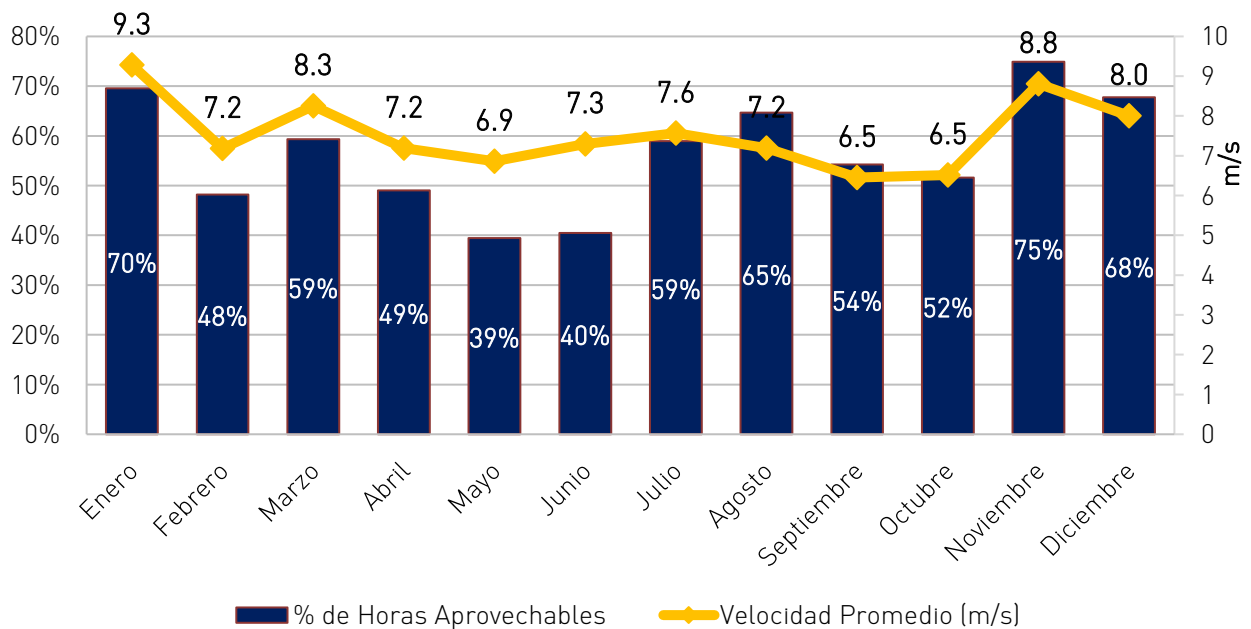
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2006		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8,328	4,469	53.66%

Fuente: DER-DGE.





Gráfica 7: Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – El Rodeo 2007.



Fuente: DER-DGE.

En el año 2007, para El Rodeo, San Marcos, San Marcos, los valores más altos de velocidad promedio y porcentaje de horas aprovechables, se manifiestan en los meses de enero, marzo, julio, noviembre y diciembre, los cuales presentan porcentajes de aprovechamiento arriba del 50% y velocidades promedio en un rango de 7.6 a 9.3 m/s, considerado según la clasificación descrita anteriormente, como un recurso de potencial “excelente” para la generación. Por el contrario, los meses que presentan el menor porcentaje de aprovechamiento son mayo y junio, los cuales presentan porcentajes de aprovechamiento de 39% y 40% respectivamente y velocidades promedio en un rango de 6.9 y 7.3 m/s, considerado como un potencial “moderado” y “bueno”.

En promedio, durante este año se tuvo una velocidad de 7.55 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 56.52%.

**Tabla 5: Velocidad de viento 2007.**

RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2007

VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
7.55	25.00	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	4883	6.52%

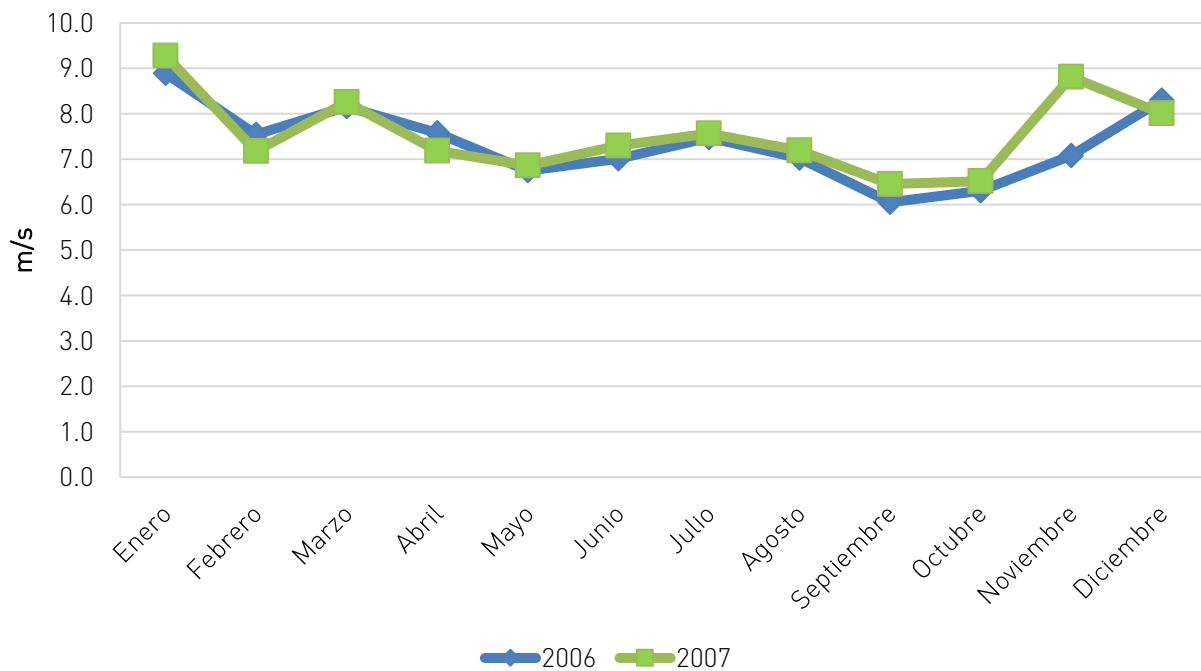
Fuente: DER-DGE.



## 7.2. Resumen de la velocidad promedio anual

En la gráfica 8, se observa la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento para los dos años medidos, tomando en consideración que las mediciones iniciaron el 14 de enero del año 2006 y finalizaron el 31 de diciembre del año 2007.

Gráfica 8: Resumen de Velocidad Promedio – El Rodeo 2006-2007.



Fuente: DER-DGE.

Los mejores registros de velocidad promedio mensual se han dado para los meses de enero, marzo, julio, noviembre y diciembre y los valores más bajos de esta, se han dado para los meses de mayo, septiembre y octubre. El rango de velocidades que comprende a los meses medidos, se encuentra entre 6.1 m/s y 9.3 m/s, y el promedio en dicho periodo de medición es de 7.5 m/s, valor que según la clasificación que se ha descrito, se considera bueno para la generación de energía eléctrica por medio del recurso eólico.

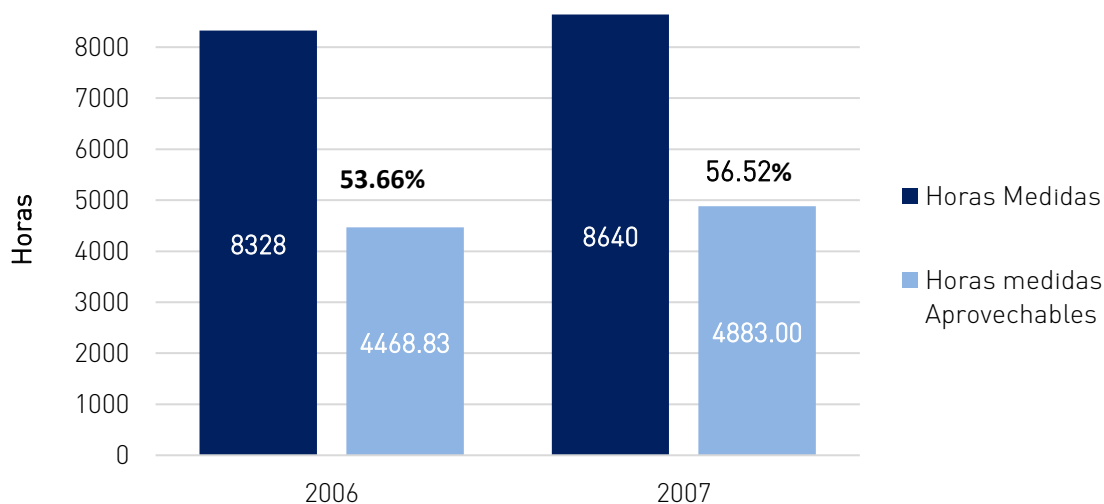


### 7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento

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 (mediciones arriba de 5 m/s).

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 9: Resumen de Horas Medidas y Horas Aprovechables – El Rodeo 2006 – 2007.



Fuente: DER-DGE.

En el año 2006, las mediciones iniciaron el 14 de enero, por lo cual las horas medidas fueron de 8,328 y para el año 2007, las mediciones corresponden desde 01 de enero al 31 de diciembre, por lo cual cuenta con las 8,640 horas que corresponden a un año.

Tabla 7: Horas medidas y aprovechables.

AÑO	Horas Medidas	Horas medidas Aprovechables	Porcentaje de Aprovechamiento
2006	8328	4469	53.66%
2007	8640	4883	56.52%
TOTAL	16,968	9352	55%

Fuente: DER-DGE.

En el período medido, el cual comprende de enero de 2006 a diciembre de 2007, en promedio el recurso eólico fue aprovechable para la generación de energía eléctrica en un 55%. Como se muestra en la tabla 7, ambos años tuvieron porcentajes de aprovechamiento mayores al 50%, lo cual indica que en la estación de medición de El Rodeo, San Marcos, San Marcos más de la mitad del tiempo medido, el recurso fue aprovechable para la generación de energía eléctrica con recurso eólico.



## 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.

$\rho$ : 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]

En dicho cálculo se tomó en cuenta el límite de Betz, al estimar la potencia del viento, que establece un coeficiente de potencia del 59 %, que es el porcentaje de potencia máxima que puede aprovechar un rotor de un aerogenerador. 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 8: Aerogenerador Vestas V90/3000.

Turbina Vestas V90/3000	
Coeficiente 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.

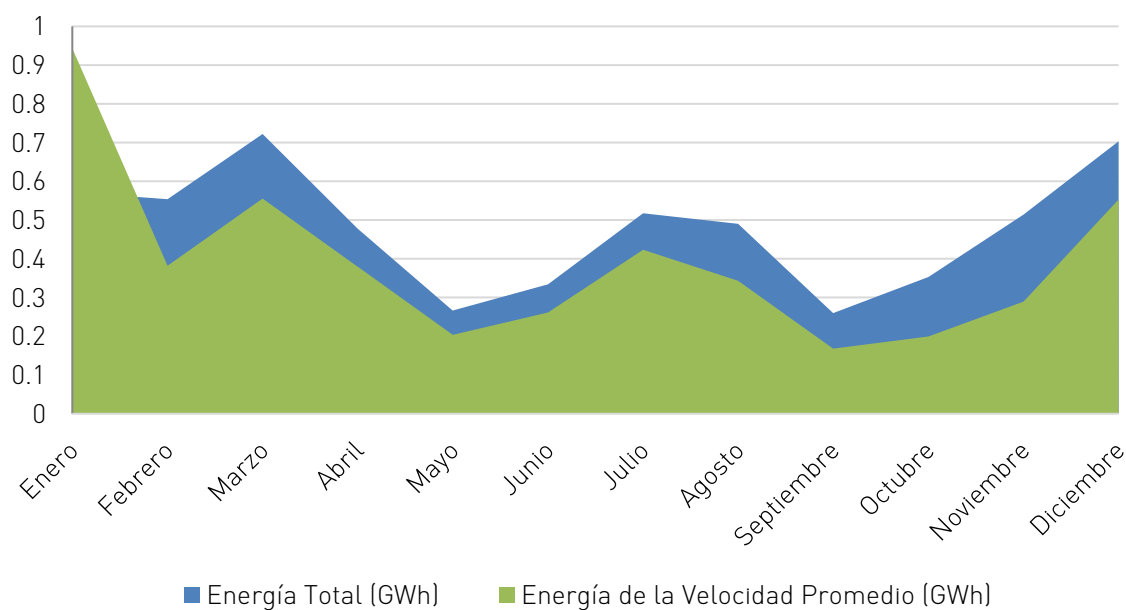
El propósito de la comparación de ambos cálculos de energía, tiene como finalidad mostrar que, al calcular la energía mensual, existe una diferencia si se calcula ésta con los valores acumulados utilizando las velocidades promedio diarias o si se calcula puntualmente con la velocidad promedio mensual.



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).

Para el año 2006, se observa que los meses de mayor energía total estimada fueron enero, febrero, marzo, julio, noviembre y diciembre, el mes con mayor energía total fue diciembre y el de menor energía total fue septiembre, sin embargo, durante todo el año se presentan valores aprovechables de energía estimada.

Gráfica 10: Energía – El Rodeo 2006.



Fuente: DER-DGE.

Tabla 9: Energía 2006.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
<b>ENERGÍA TOTAL (GWh)</b>	0.57	0.55	0.72	0.48	0.27	0.33	0.52	0.49	0.26	0.35	0.51	0.70
<b>ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)</b>	0.94	0.38	0.56	0.38	0.20	0.26	0.42	0.34	0.17	0.20	0.29	0.55

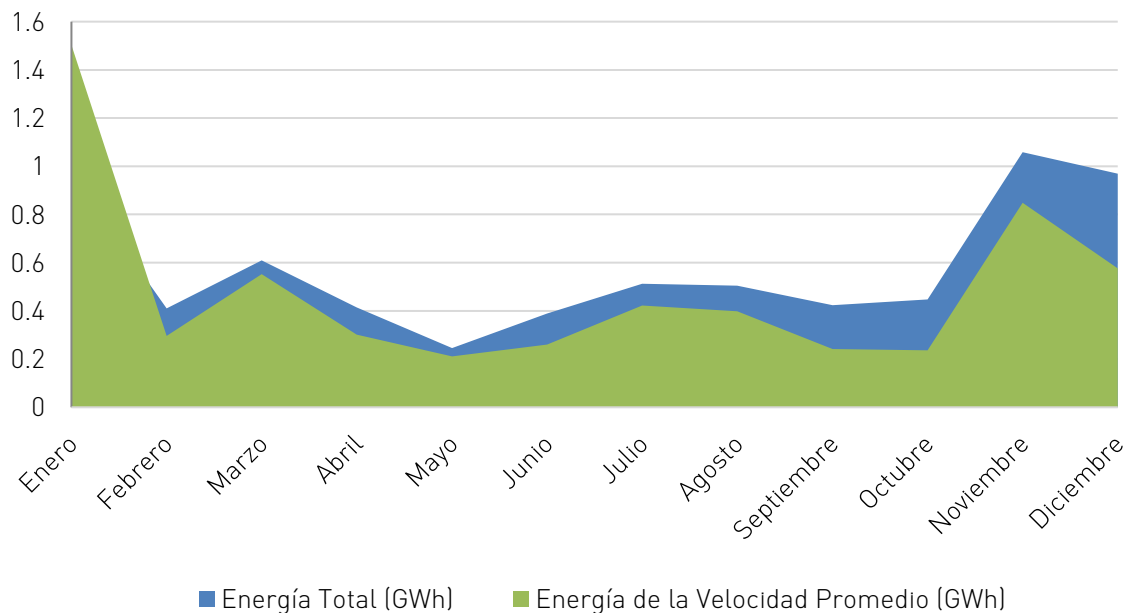
Fuente: DER-DGE.



Considerando la capacidad para generar energía de un solo aerogenerador, con las características descritas anteriormente, el total de energía estimada para el año 2006, fue de 5.76 GWh, con un promedio mensual de 0.5 GWh.

En el año 2007, al igual que en el anterior, durante los 12 meses medidos, existen valores de energía estimada aprovechable, siendo los meses de enero, marzo, julio, agosto, noviembre y diciembre, los que presentaron valores más altos y en los meses de febrero, mayo y septiembre, se presentaron los valores más bajos.

*Gráfica 11: Energía – El Rodeo 2007.*



*Fuente: DER-DGE*

Los valores de energía aprovechable se pueden observar en la tabla 10.

*Tabla 10: Energía 2007.*

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
<b>ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)</b>	0.97	0.41	0.61	0.41	0.25	0.39	0.51	0.51	0.42	0.45	1.06	0.97
<b>ENERGIA TOTAL (GWh)</b>	1.50	0.30	0.55	0.30	0.21	0.26	0.42	0.40	0.24	0.24	0.85	0.58

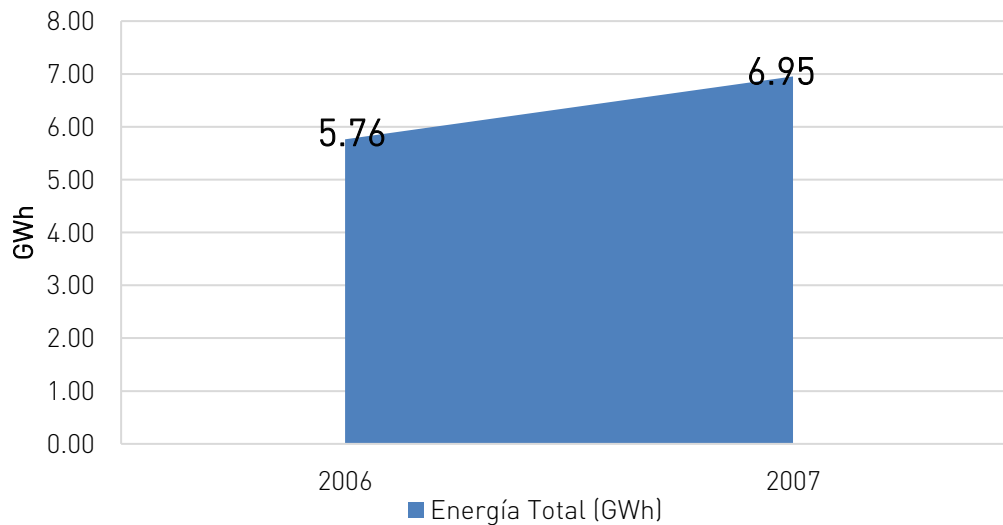
*Fuente: DER-DGE.*

El total de la energía estimada para el año 2007, calculada a partir de la capacidad que ofrece un solo aerogenerador, con las características descritas anteriormente, fue de 6.95 GWh, con un promedio mensual a lo largo del año de 0.6 GWh.



## 8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólica El Rodeo, San Marcos, San Marcos.

*Gráfica 12: Resumen Energía 2006 - 2007.*



*Fuente: DER-DGE.*

La gráfica 12, muestra el resumen de Energía Total estimada desde el 14 de enero del año 2006 al 31 de diciembre del año 2007 (23.5 meses).

El año 2007 cuenta con la mayor energía total estimada, esto tomando en consideración la capacidad de generación de un solo aerogenerador Vestas V90/3000. En total para el periodo de medición se obtuvo una estimación de energía total de 12.72 GWh.

La siguiente tabla, muestra la energía Total estimada aprovechable, en GWh, durante los años de medición.

*Tabla 11: Energía Total El Rodeo 2006 - 2007.*

AÑO	2006	2007	TOTAL
Energía Total (GWh)	5.76	6.95	12.72

*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.

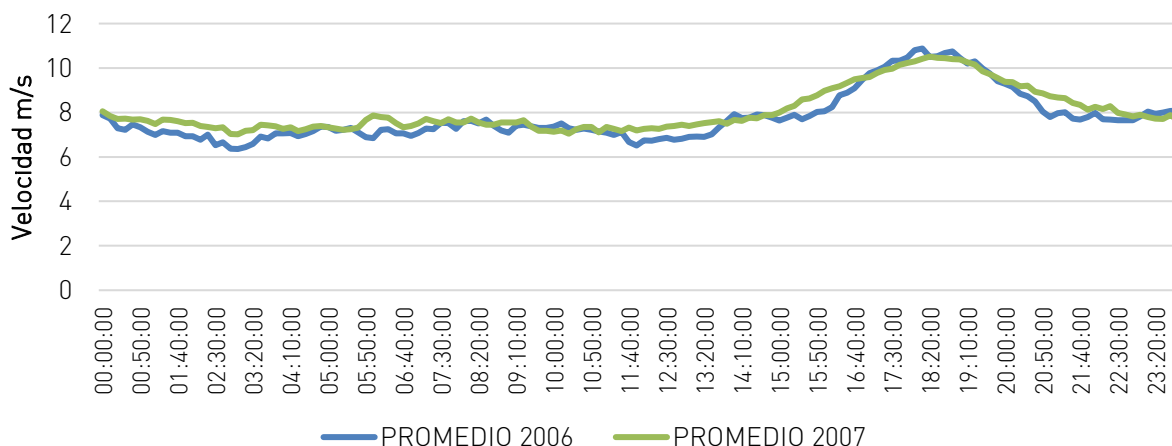




## 9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero

En la siguiente gráfica se observa el comportamiento de la velocidad promedio de viento para los años 2006 y 2007 del mes de enero a lo largo del día.

Gráfica 13: Comportamiento del Viento en un día - enero.

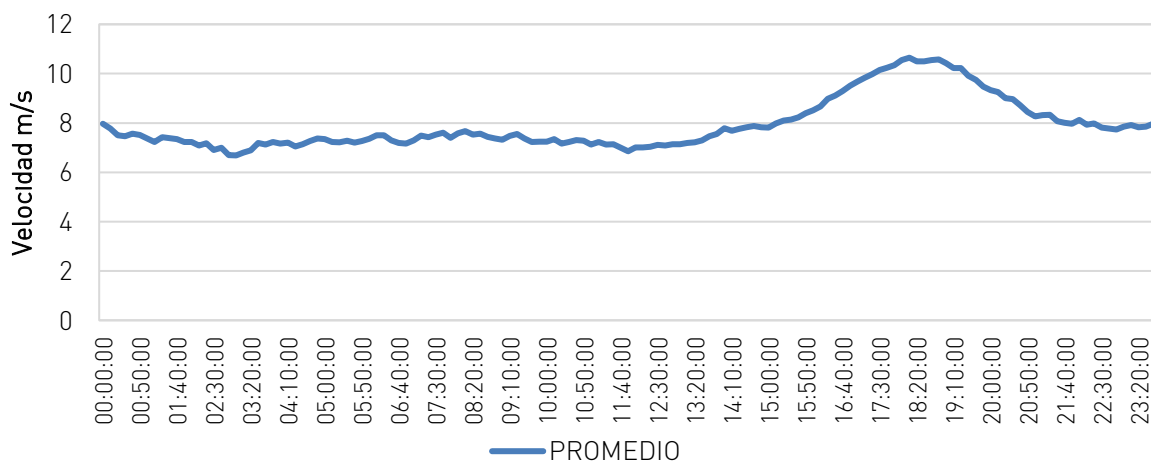


Fuente: DER-DGE.

En la gráfica 14 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 promediaron los 2 meses de enero medidos en los años 2006 y 2007.

La tendencia observada muestra que la velocidad de viento a lo largo del día se mantiene constante en valores de 6 a 8 m/s, desde las 12:00 a.m. hasta las 3:50 p.m., hora en la cual asciende hasta alcanzar su valor máximo alrededor de las 6:20 p.m. el cual es de 10.64 m/s.

Gráfica 14: Tendencia del comportamiento del viento en un día - enero.



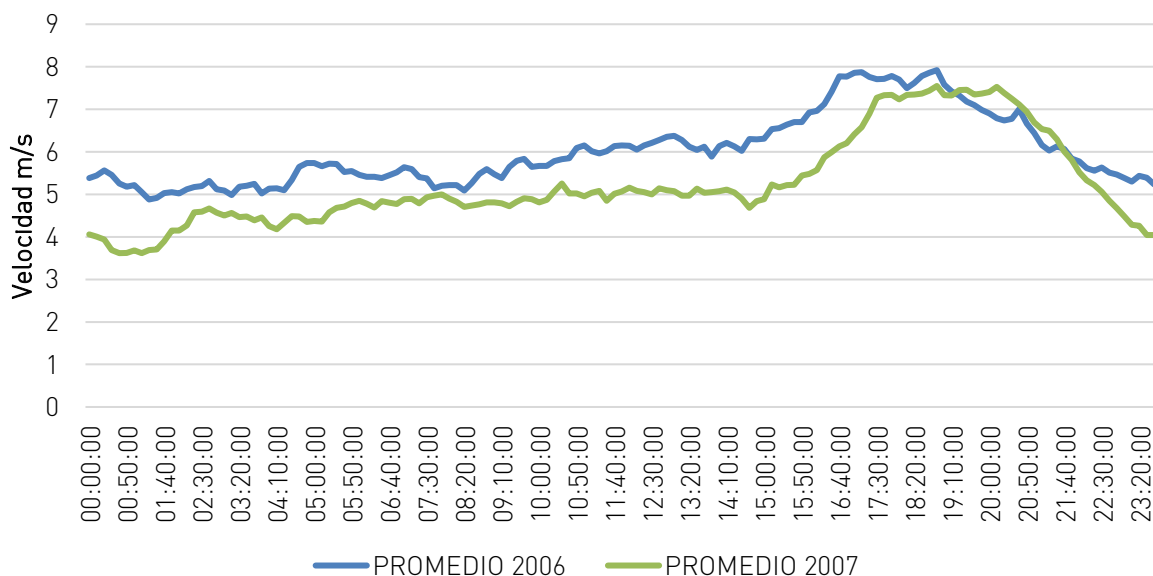
Fuente: DER-DGE.



## 9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.

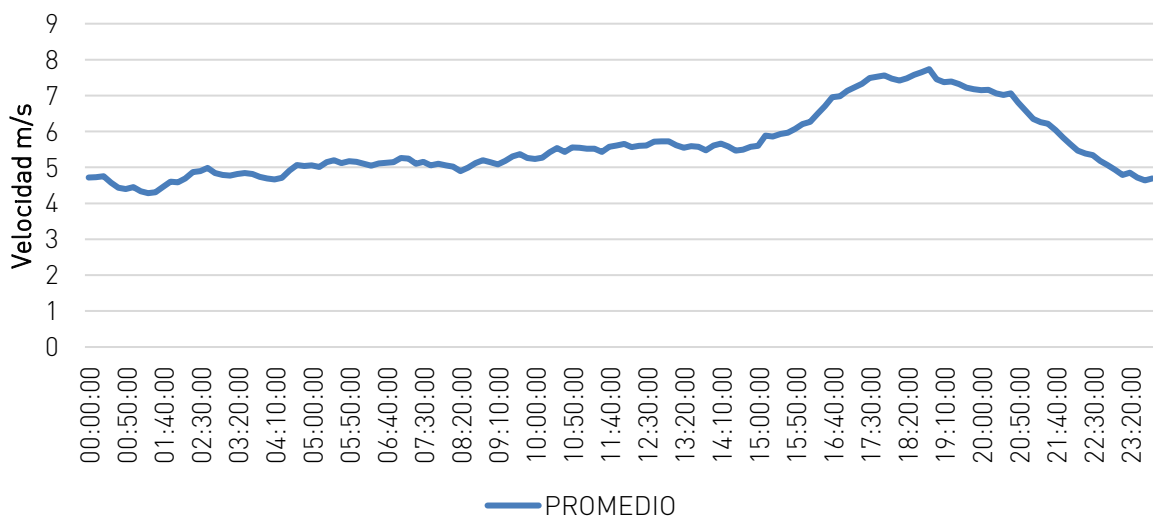
En el presente mes, la tendencia de la velocidad promedio se mantiene constante en un rango de entre 4 y 6 m/s desde las 12:00 a.m. hasta las 3:50 p.m., hora en la cual asciende hasta alcanzar su valor máximo, alrededor de las 6:40 p.m. el cual es de 7.73 m/s y nuevamente desciende a su rango típico.

Gráfica 15: Comportamiento del viento en un día - febrero.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 16: Tendencia del comportamiento del viento en un día - febrero.



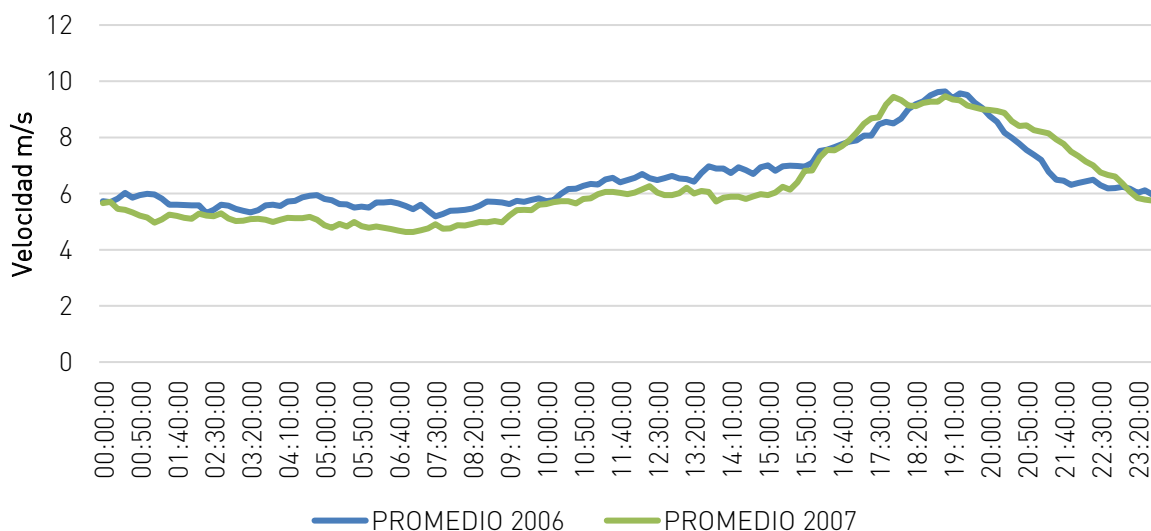
Fuente: DER-DGE.



### 9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo

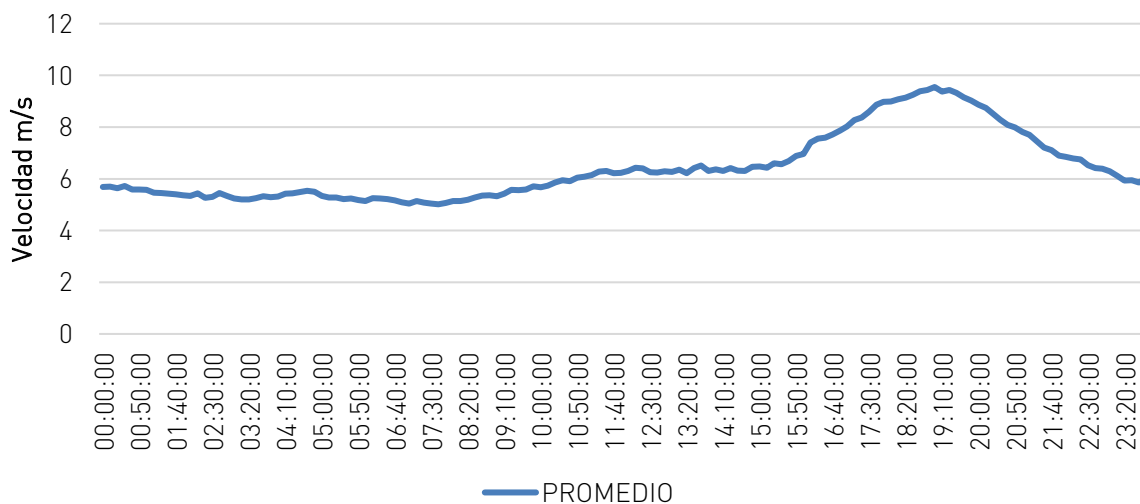
En marzo, la tendencia del comportamiento de la velocidad de viento a lo largo del día, muestra que entre las 12:00 a.m. y las 3:00 p.m. se mantiene en un rango constante de entre 4 y 6.1 m/s, alcanzando un valor máximo alrededor de las 7:10 p.m. el cual es de 9.55 m/s.

Gráfica 17: Comportamiento del viento en un día - marzo.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 18: Tendencia del comportamiento del viento en un día - marzo.



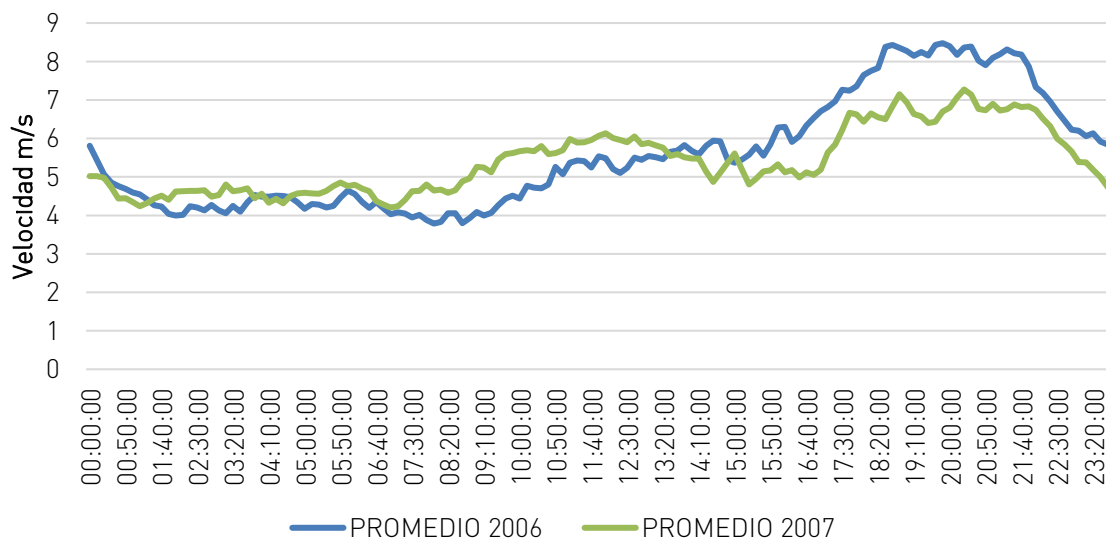
Fuente: DER-DGE.



## 9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril

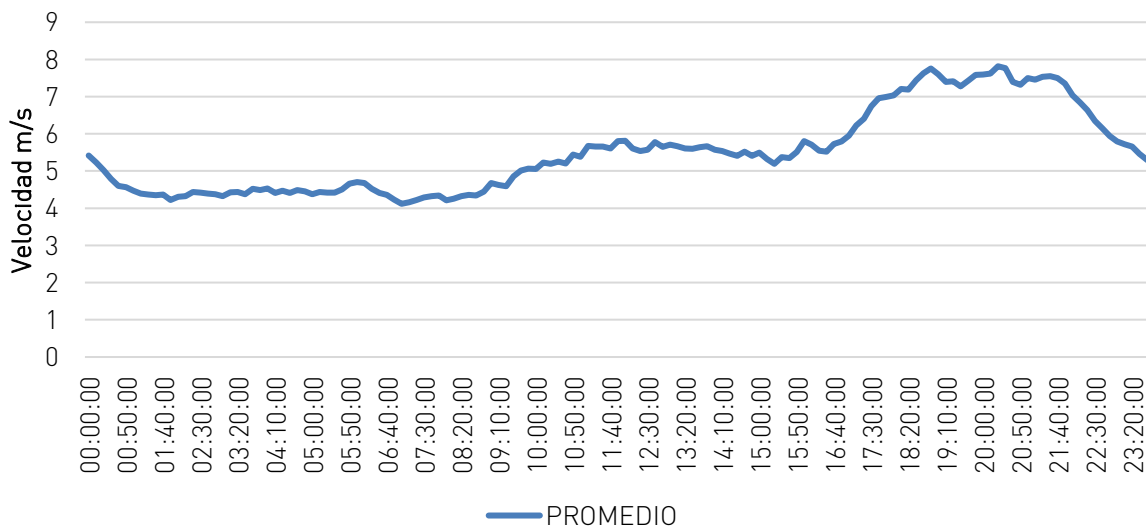
Para abril, la tendencia muestra que los valores de velocidad, se mantienen entre 4 a 5 m/s de las 12:00 a.m. a las 10:00 a.m. Entre las 10:00 a.m. y las 4:30 p.m., el rango de velocidad asciende a 5 y 6 m/s. Alcanzando los valores máximos entre las 5:00 p.m. y 10:00 p.m. el valor promedio máximo es 7.82 m/s.

Gráfica 19: Comportamiento del viento en un día -abril.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 20: Tendencia del comportamiento del viento en un día - abril.



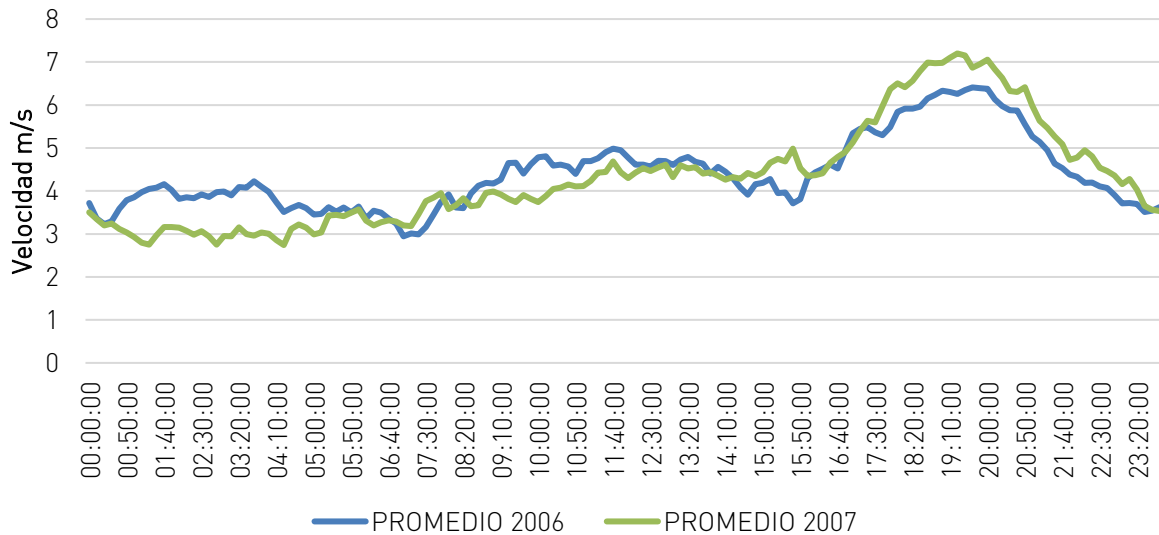
Fuente: DER-DGE.



## 9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo

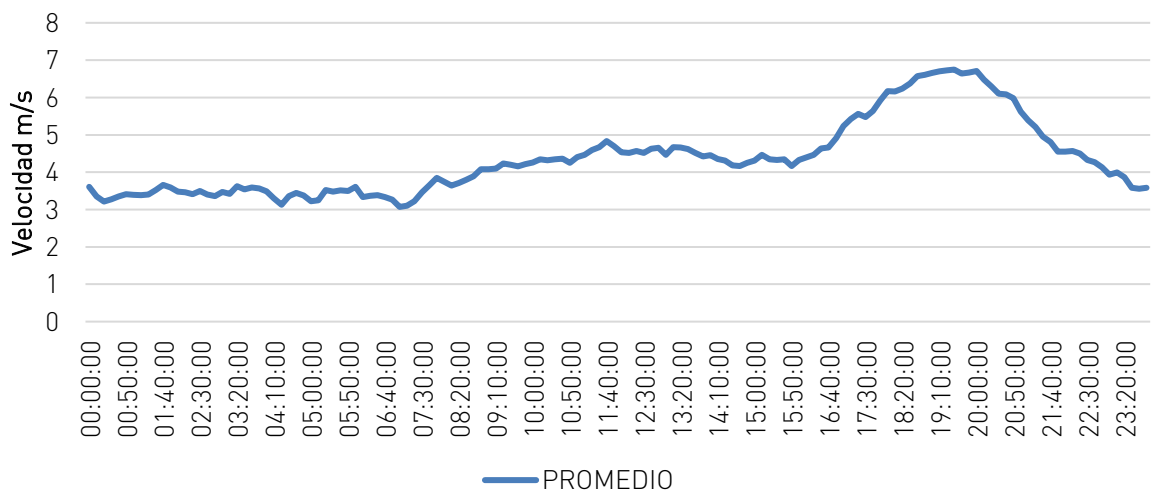
En el mes de mayo los valores de velocidad se mantienen en un rango de entre 3 y 4 m/s de las 12:00 a.m. a las 9:00 a.m., para luego ascender a un rango de entre 4 y 5 m/s, entre las 9:00 a.m. y las 4:40 p.m. Alcanzando su valor máximo alrededor de las 7:20 p.m. el cual es 6.74 m/s.

Gráfica 21: Comportamiento del viento en un día - mayo.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 22: Tendencia del comportamiento del viento en un día - mayo.



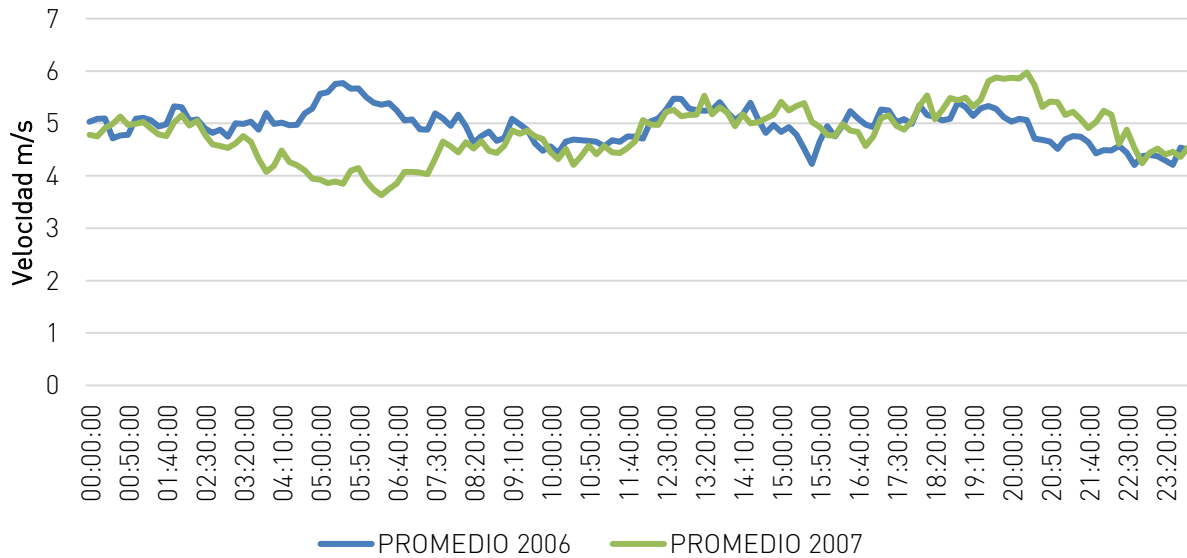
Fuente: DER-DGE.



## 9.6. Comportamiento de la Velocidad de viento en junio

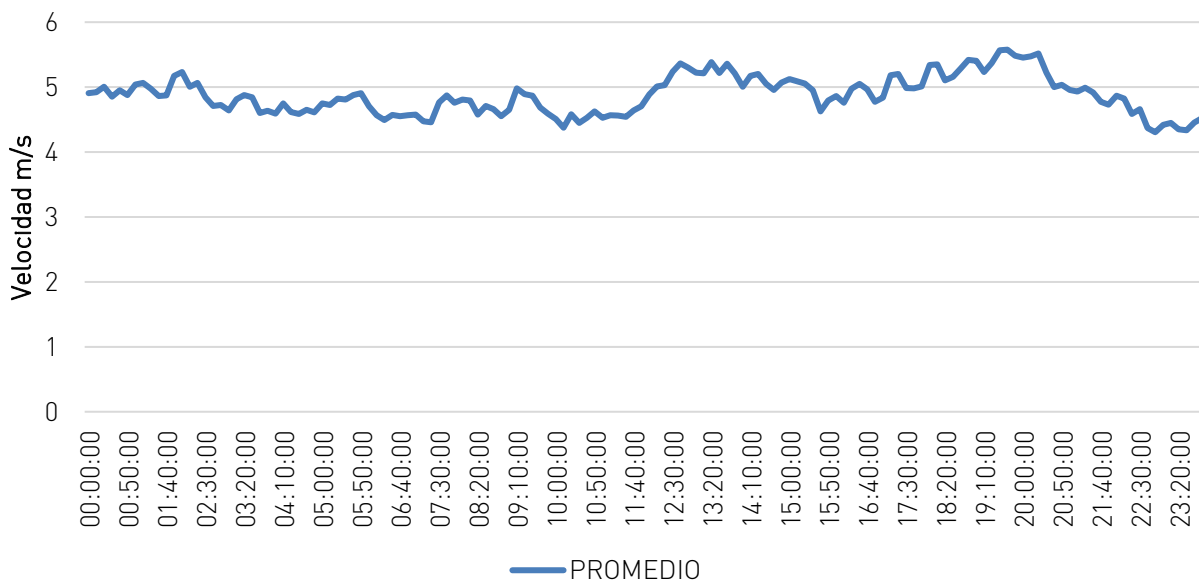
Para el presente mes la tendencia de velocidades promedio, se mantiene en un rango de entre 4 y 6 m/s, presentando fluctuaciones a lo largo del día.

Gráfica 23: Comportamiento del viento en un día - junio.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 24: Tendencia del comportamiento del viento en un día - junio.



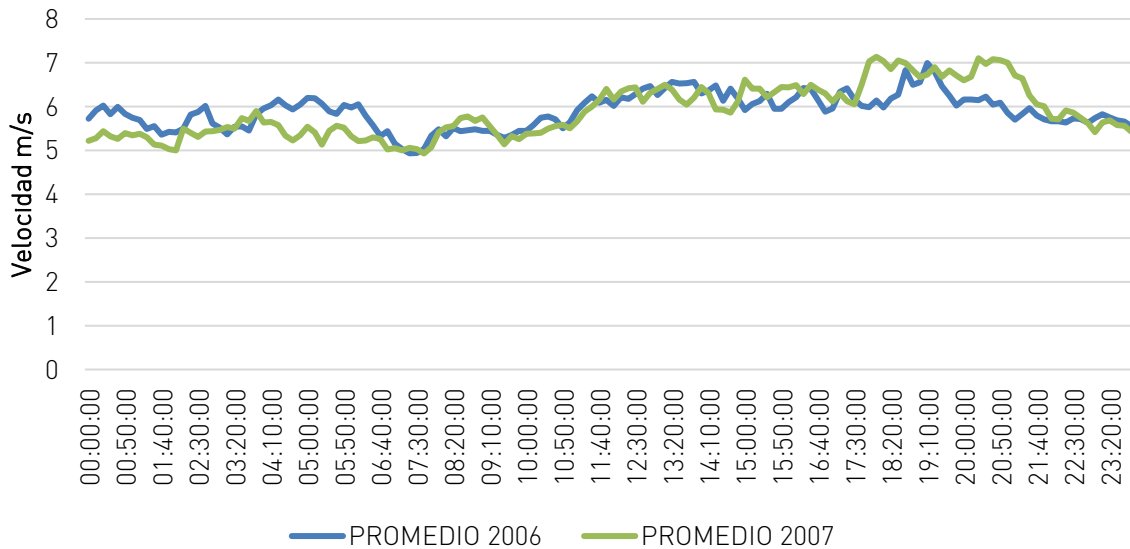
Fuente: DER-DGE.



## 9.7. Comportamiento de la Velocidad de viento en julio

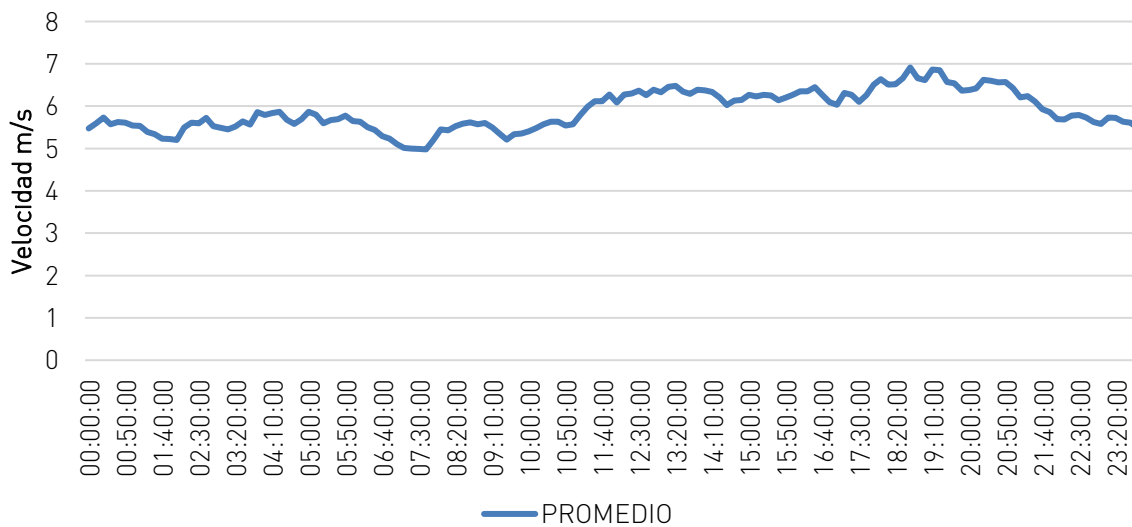
Para el mes de julio, los valores de velocidad promedio a lo largo del día, se mantienen en un rango de entre 5 y 6 m/s de las 12:00 a.m. hasta alrededor de las 11:30 a.m. luego asciende a un rango de entre 6 y 7 m/s, hasta las 9:30 p.m., donde nuevamente desciende al rango anterior.

Gráfica 25: Comportamiento del viento en un día - julio.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 26: Tendencia del comportamiento del viento en un día - julio.



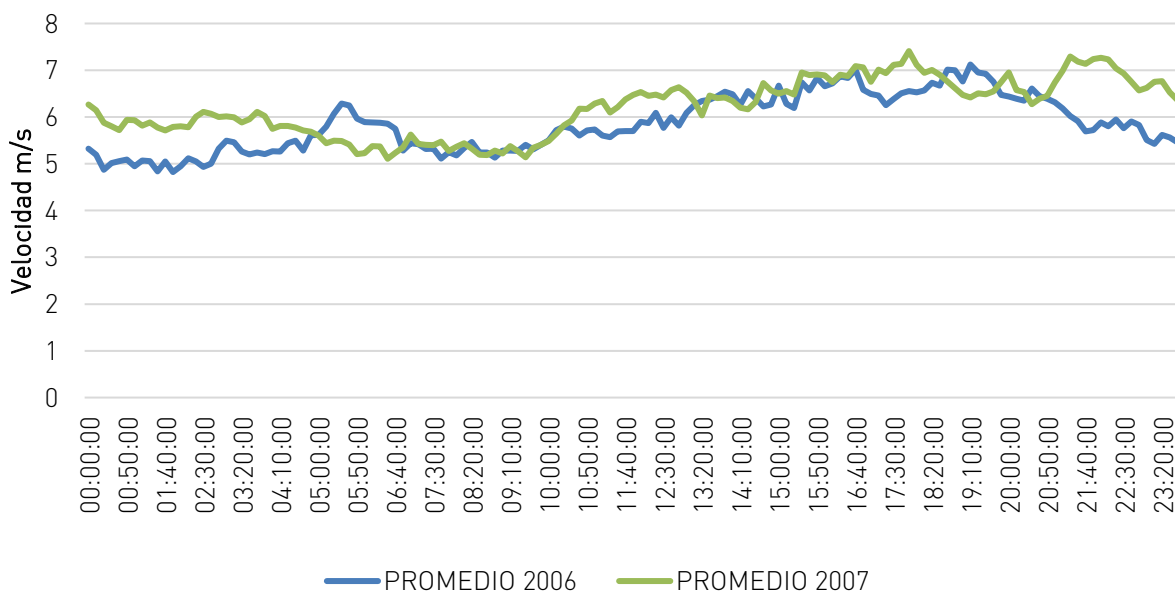
Fuente: DER-DGE.



## 9.8. Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto

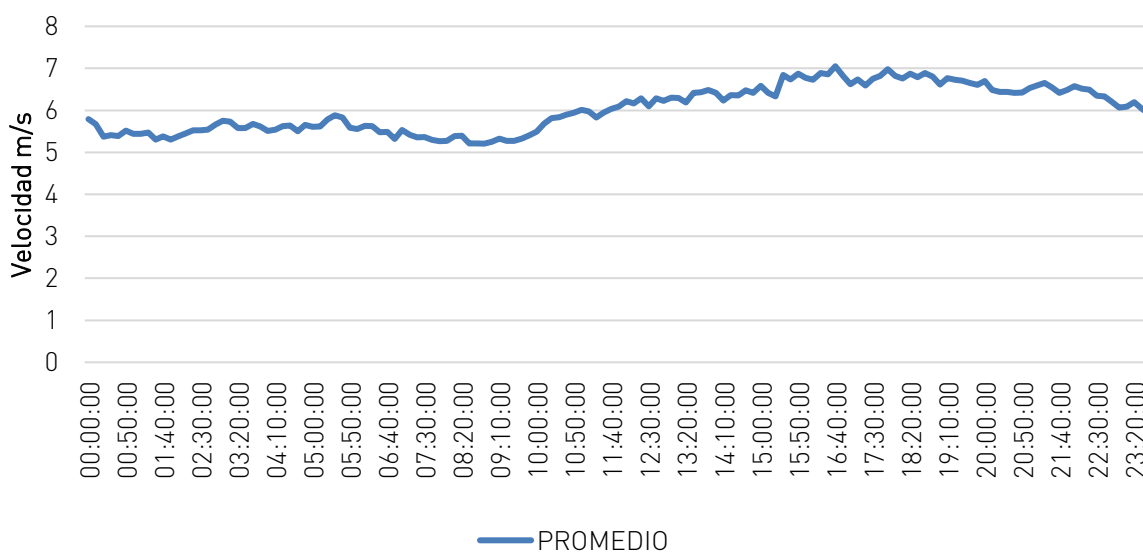
En agosto la tendencia de comportamiento muestra que la velocidad entre las 12:00 a.m. y alrededor de las 11:30 a.m., se mantiene en un rango entre 5 y 6 m/s, posteriormente asciende a un rango entre 6 y 7 m/s hasta las 11:15 p.m. donde desciende nuevamente al rango anterior.

Gráfica 27: Comportamiento del viento en un día - agosto.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 28: Tendencia del comportamiento del viento en un día - agosto.



Fuente: DER-DGE.

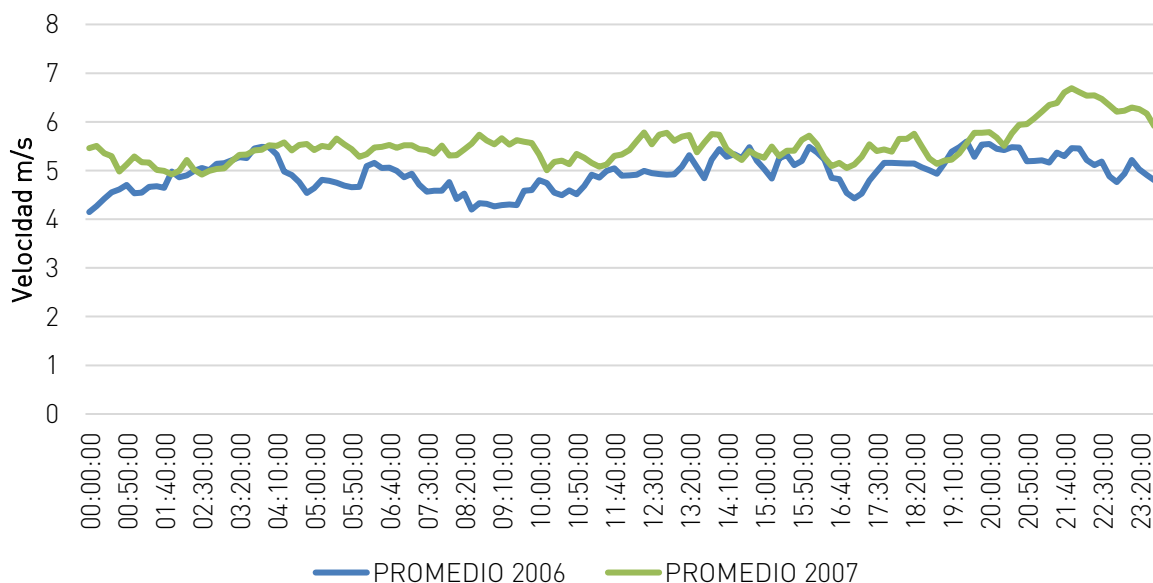




## 9.9. Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre

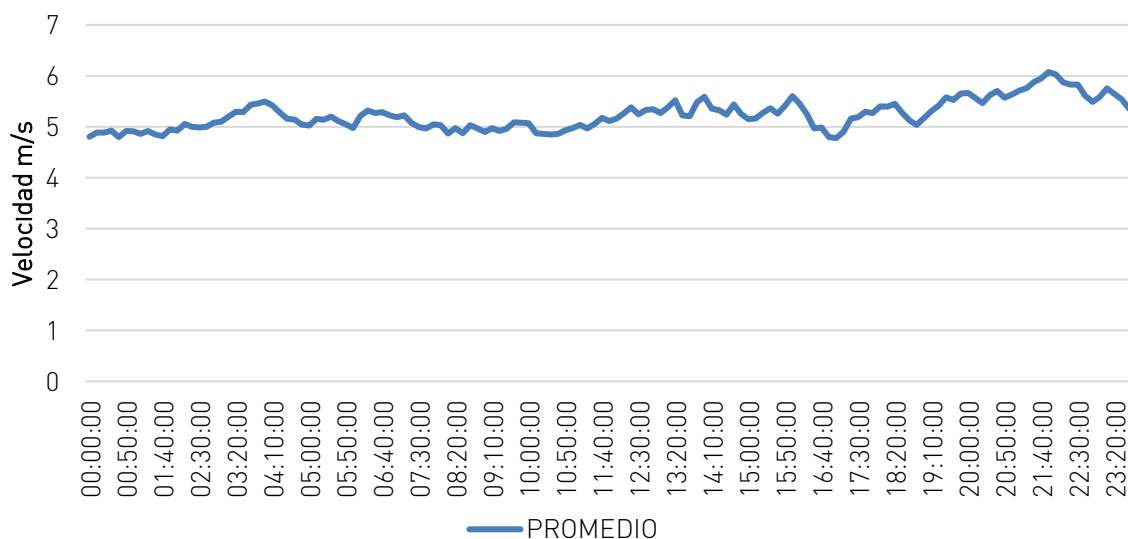
En el presente mes se observa que la tendencia de velocidad presenta fluctuaciones a lo largo del día en un rango entre 4.5 y 6 m/s.

Gráfica 29: Comportamiento del viento en un día - septiembre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 30: Tendencia del comportamiento del viento en un día - septiembre.



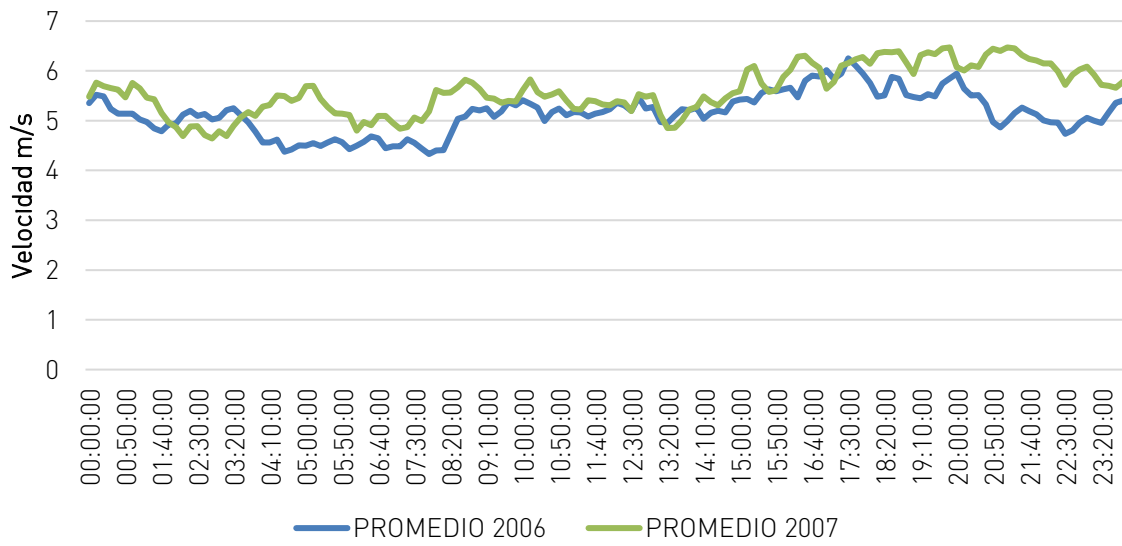
Fuente: DER-DGE.



## 9.10. Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre

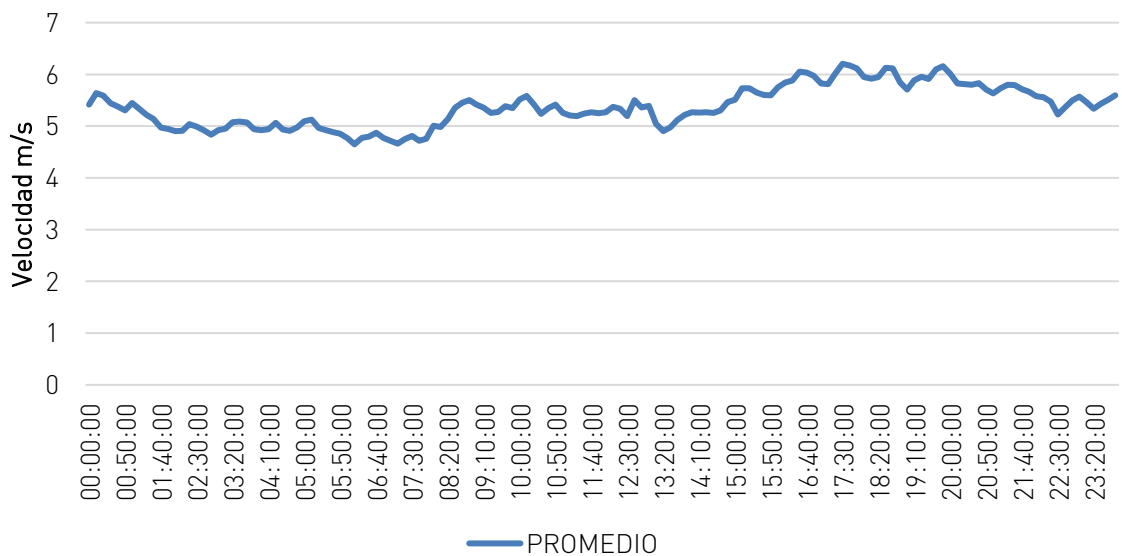
Para octubre el comportamiento de la velocidad de viento, a lo largo del día, muestra fluctuaciones entre 4.5 y 6.5 m/s a lo largo del día.

Gráfica 31: Comportamiento del viento en un día - octubre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 32: Tendencia del comportamiento del viento en un día - octubre.



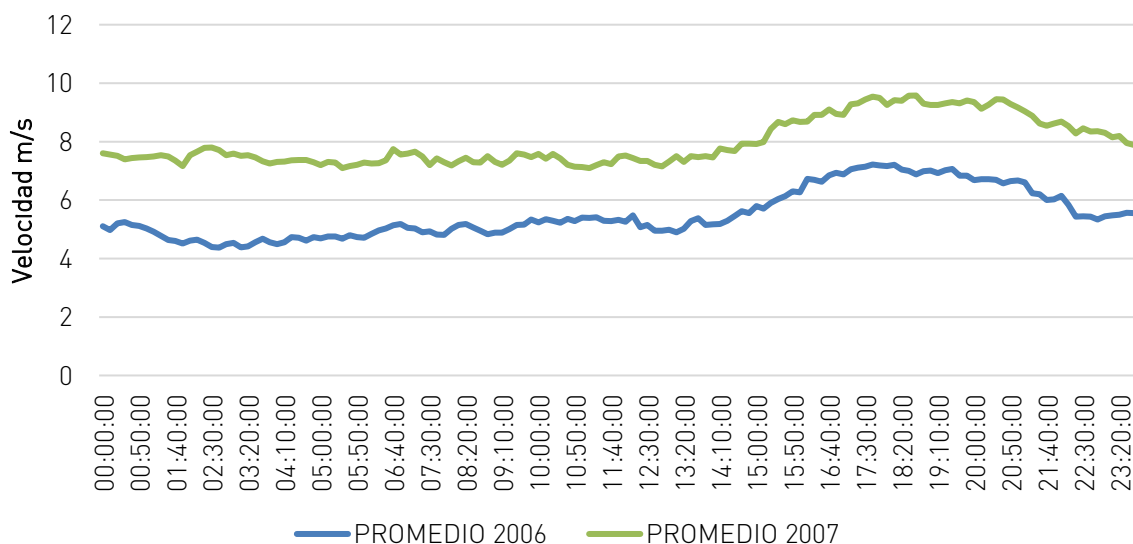
Fuente: DER-DGE.



## 9.11. Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre

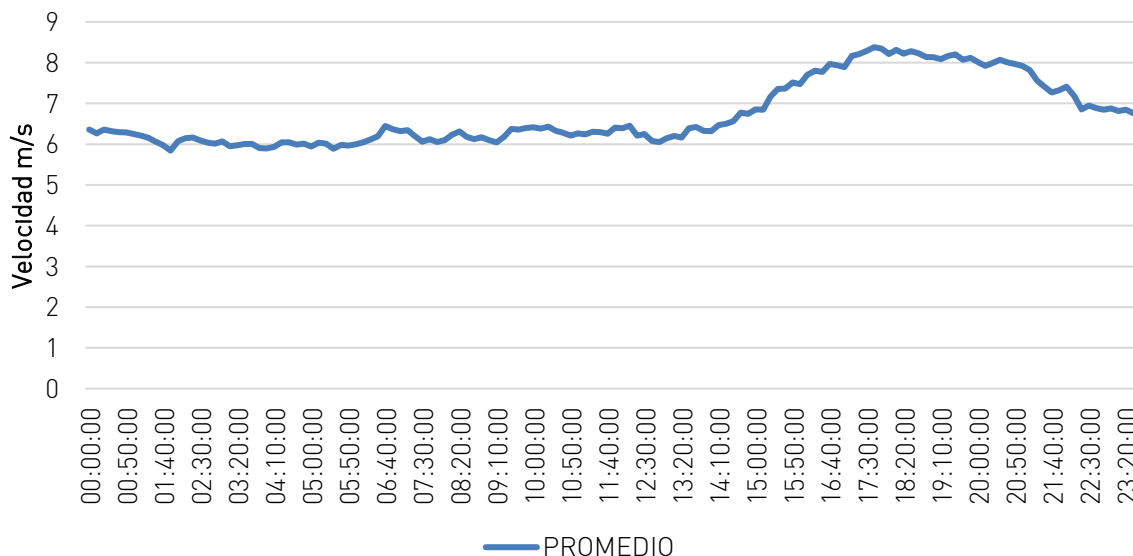
En noviembre, la tendencia de velocidad, muestra un comportamiento de velocidades constantes en un rango de 5.9 a 6 m/s, entre las 12:00 a.m. y alrededor de las 3:00 p.m., donde asciende hasta alcanzar su valor máximo alrededor de las 5:20 p.m. el cual es de 8.38 m/s.

*Gráfica 33: Comportamiento del viento en un día - noviembre.*



Fuente: DER-DGE.

*Gráfica 34: Tendencia del comportamiento del viento en un día - noviembre.*



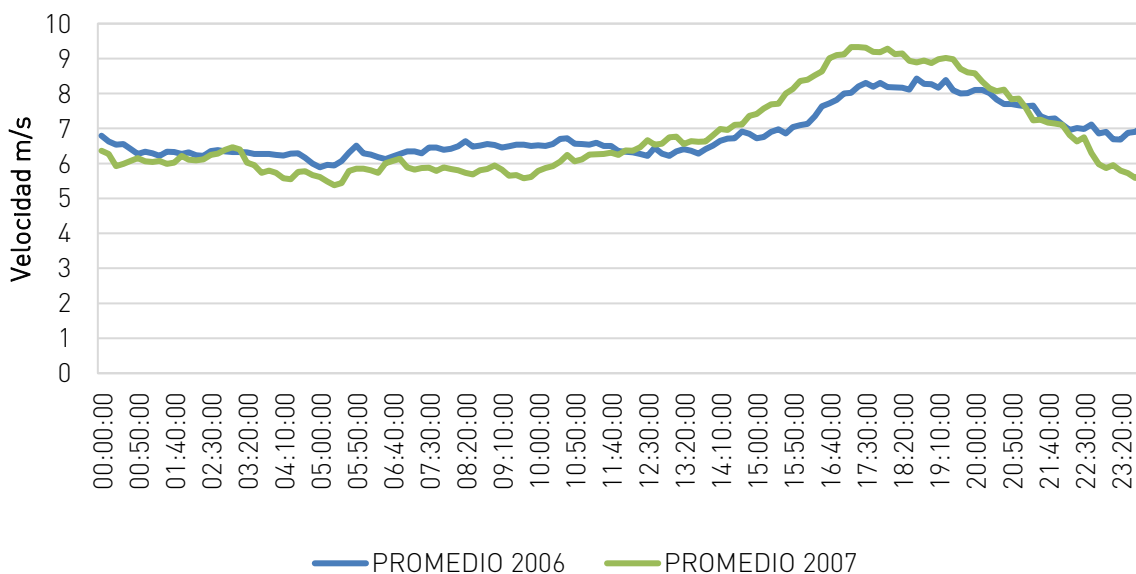
Fuente: DER-DGE.



## 9.12. Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre

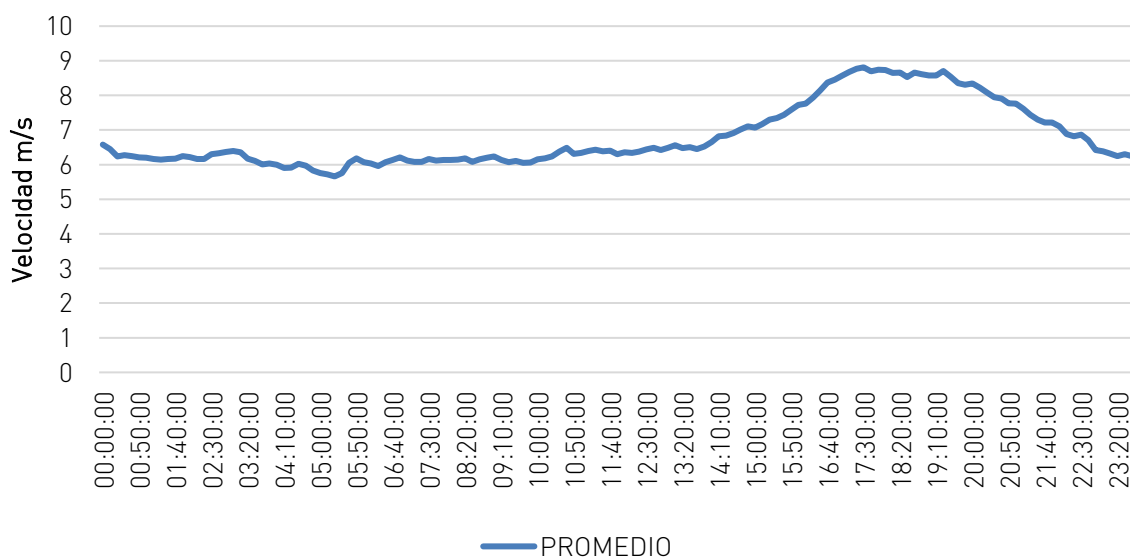
Para el mes de diciembre, la tendencia de velocidad muestra un comportamiento de velocidad estable entre las 12:00 a.m. y las 2:30 p.m., hora en la cual asciende progresivamente hasta alcanzar su valor máximo alrededor de las 5:20 p.m. el cual es de 8.81 m/s, donde comienza a descender progresivamente.

Gráfica 35: Comportamiento del viento en un día - diciembre.



Fuente: DER-DGE.

Gráfica 36: Tendencia del comportamiento del viento en un día - diciembre.



Fuente: DER-DGE.



## 10. Análisis de los Gases de Efecto Invernadero

Las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> que pueden evitarse en el país al generar la energía eléctrica estimada en este estudio, por medio del recurso eólico medido en El Rodeo, San Marcos, San Marcos, de acuerdo a los resultados obtenidos en los años 2006 y 2007, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 12: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.

CARBON MINERAL			
AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION <sup>4</sup> [Kg CO <sub>2e</sub> / KWh]	EMISIONES [Kg CO <sub>2e</sub> ]
2006	5.7641	1.3173	2,937,517.87
2007	6.9531	1.3173	12,280,463.84
<b>TOTAL</b>	<b>12.7172</b>		<b>16,752,315.52</b>

Fuente: DER-DGE.

Tabla 13: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.

FUEL OIL			
AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO <sub>2e</sub> / KWh]	EMISIONES [Kg CO <sub>2e</sub> ]
2006	5.7641	0.6641	3,827,930.65
2007	6.9531	0.6641	4,617,535.63
<b>TOTAL</b>	<b>12.7172</b>		<b>8,445,466.28</b>

Fuente: DER-DGE.

Tabla 14: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.

DIESEL OIL			
AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO <sub>2e</sub> / KWh]	EMISIONES [Kg CO <sub>2e</sub> ]
2006	5.7641	0.7814	4,504,058.14
2007	6.9531	0.7814	5,433,131.06
<b>TOTAL</b>	<b>12.7172</b>		<b>9,937,189.21</b>

Fuente: DER-DGE.

<sup>4</sup>Coeficientes de Emisión tomados de datos de Balance Energético MEM, 2016.



En las tablas se muestran los kilogramos de dióxido de carbono equivalentes – CO<sub>2</sub>e - 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 El Rodeo, San Marcos, San Marcos 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, el cual es de 12.7172 GWh, utilizando carbón mineral como combustible, se emitirían aproximadamente 16.75 millones de kilogramos de dióxido de carbono equivalente; al producir dicha energía utilizando de Fuel Oil, se emitirían aproximadamente 8.45 millones de kilogramos de dióxido de carbono equivalente; y al hacerlo por medio de Diesel Oil, se estarían emitiendo 9.94 millones de kilogramos de CO<sub>2</sub>e.

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 El Rodeo, 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, así como condiciones ambientales de presión atmosférica, temperatura, y humedad, rugosidad del terreno, obstáculos y la topografía en general.
- ✓ La velocidad de viento promedio correspondiente al período de medición 2006-2007 es de 7.5 m/s, valor que según la clasificación de viento corresponde a un viento clase 4, considerado un potencial eólico bueno, lo cual puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica; tomando en consideración que los datos de velocidad se obtuvieron con un anemómetro colocado a 30 metros de altura.
- ✓ La dirección predominante del viento en el sitio de medición, durante el periodo medido, es norte-noroeste (NNO).
- ✓ El porcentaje de aprovechamiento durante el período de medición 2006-2007 fue de 55%, lo cual indica que más de la mitad del tiempo durante el período de medición, en El Rodeo, San Marcos, pudo haber sido aprovechable para la generación de energía eléctrica con recurso eólico.
- ✓ La energía estimada que pudo haber sido aprovechada en los 23.5 meses para la generación eólica, tomando en consideración la capacidad de generación de una sola turbina Vestas V90/3000, es de 12.72 GWh. Dicho valor estimado podría aumentar al evaluar la posibilidad de instalar más de un aerogenerador en dicho lugar.
- ✓ El Rango de velocidades promedio en los meses medidos fue de 6.1 m/s a 9.3 m/s; los meses que mostraron los mejores registros de velocidad promedio fueron: enero, marzo, julio, noviembre y diciembre y los valores más bajos se dieron para los meses de mayo septiembre y octubre.
- ✓ El comportamiento del viento durante el día muestra que, para los meses con mayor potencial del año, las velocidades tienden a ser más estables en comparativa a los meses que presentan menor potencial. En general la tendencia diaria para los meses con mayor potencial, muestra que durante el día se mantiene la velocidad en un rango estable de valores y en horas de la noche los valores ascienden hasta alcanzar un pico máximo donde nuevamente descienden a valores estables. Sin embargo, la tendencia diaria para los meses con menor potencial, muestra que los valores de velocidad fluctúan a lo largo del día.





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.