



GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE LA MEDICIÓN DE VIENTO **Finca “El Sitio”**



*Dirección General de Energía
Departamento de Energías Renovables*

Guatemala, mayo de 2019.



Proyecto Eólico
San Antonio El Sitio

Presentación

Cumpliendo con el compromiso de fomentar el aprovechamiento del recurso renovable existente en el país y promocionando el uso de nuevas fuentes de energía renovable, el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Energía presenta el **Estudio de Medición y Perfil Básico de la Medición de Viento Finca “El Sitio”**, el cual contiene datos procesados de la torre de medición de viento instalado en la finca El Sitio, municipio de Villa Canales, Guatemala, recopilados a partir de mayo de 2011 a noviembre de 2017.

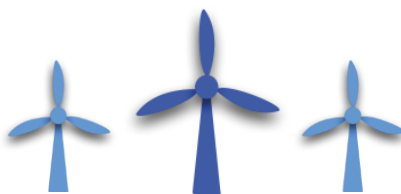
Guatemala tiene gran potencial eólico en diferentes puntos del país para ser aprovechados para la generación de electricidad, del cual actualmente se están aprovechando 106.5 MW, de un potencial estimado de 280 MW.

La Dirección General de Energía, con el objetivo de promover y desarrollar programas dirigidos al estudio, uso eficiente, conservación y divulgación de las fuentes energéticas del país ha evaluado a partir del año 2006 a la fecha 16 sitios distintos con probable potencial de velocidades de viento para producir electricidad en los departamentos de Zacapa, San Marcos, Sololá, Sacatepéquez, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa, Izabal, Guatemala, Huehuetenango y Escuintla, generando este estudio como resultado del análisis de la información recopilada en 1 de los 16 sitios.

El presente estudio contiene datos de la velocidad promedio aprovechable para cada mes por cada año medido en el emplazamiento, el comportamiento de la velocidad de viento de un día promedio de cada mes, análisis económico a partir de la energía estimada, estimación de la energía que se podría generar instalando un aerogenerador de 3 MW, así como el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero que serían evitadas con un proyecto que tenga estas características.

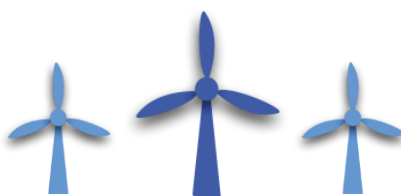
El Ministerio de Energía y Minas continuará con su política de evaluar y promocionar los recursos energéticos renovables y orientar el empleo de los mismos para contribuir con la diversificación de la matriz de generación de electricidad del País.

Lic. Rodrigo Fernández Ordóñez
Viceministro del Área Energética
Ministerio de Energía y Minas



CONTENIDO

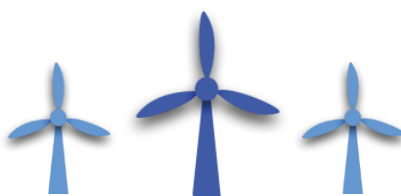
Acrónimos	7
Introducción	8
1. Política Energética del MEM	10
2. La energía eólica a nivel mundial	11
3. La energía eólica en Guatemala	14
4. Objetivos.....	16
5. Metodología.....	17
6. Descripción del emplazamiento	18
6.1. Sitio de estudio	18
6.2. Características del lugar de medición	19
6.3. Mapa de potencial de viento, con la ubicación de la finca El Sitio, en Villa Canales, Guatemala.....	21
6.4. Clasificación por densidades y velocidades de viento del emplazamiento.....	22
6.5. Clases de viento que predomina en el emplazamiento.....	23
6.6. Localización de la estación de medición	24
6.7. Descripción del equipo de medición.	25
6.7.1. Anemómetro	25
6.7.2. Veleta.....	25
6.7.3. Registrador de Datos: (Data Logger)	25
6.7.4. Baliza Luminosa	26
6.7.5. Sensor de Temperatura	26
6.7.6. Sensor de Presión Atmosférica	26
6.7.7. Sensor de Radiación Solar	26
6.7.8. Características Técnicas del Equipo de Medición.....	27
7. Resultados de la medición	28
7.1. Velocidad Promedio del emplazamiento	28
7.2. Resumen de la velocidad promedio anual	35
7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento	36
8. Estimación de la Energía	37
8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólico El Sitio	45
9. Comportamiento de la Velocidad de Viento	46
9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero.	46
9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.	48
9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo.....	49
9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril.	50



9.5.	Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo.....	51
9.6.	Comportamiento de la Velocidad de viento en junio.	52
9.7.	Comportamiento de la Velocidad de viento en julio.	53
9.8.	Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto.	54
9.9.	Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre.....	55
9.10.	Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre.....	56
9.11.	Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre.....	57
9.12.	Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre.	58
10.	Análisis de los Gases de Efecto Invernadero evitadas en el Emplazamiento	59
11.	Análisis Económico de la Energía estimada	61
12.	Presupuesto para la instalación de una planta eólica.....	62
13.	Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable.....	64
14.	Conclusiones.....	66

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1:	Potencia Eólica Mundial.	12
Gráfica 2:	Ranking por Capacidad eólica on shore 2018.....	12
Gráfica 3:	Ranking por Capacidad eólica offshore 2018.....	13
Gráfica 4:	Ranking por Capacidad eólica on shore y offshore 2017.....	13
Gráfica 5:	Generación de energía eléctrica 2015-2018 (eólica).....	15
Gráfica 6:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2011.	28
Gráfica 7:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2012.....	29
Gráfica 8:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2013.....	30
Gráfica 9:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2014.....	31
Gráfica 10:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2015.....	32
Gráfica 11:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2016.....	33
Gráfica 12:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2017.	34
Gráfica 13:	Resumen de Velocidad de viento.....	35
Gráfica 14:	Resumen horas medidas y aprovechables.	36
Gráfica 15:	Energía 2011.	38
Gráfica 16:	Energía 2012.....	39
Gráfica 17:	Energía 2013.....	40
Gráfica 18:	Energía 2014.....	41
Gráfica 19:	Energía 2015.....	42
Gráfica 20:	Energía 2016.....	43
Gráfica 21:	Energía 2017.	44
Gráfica 22:	Resumen Energía.....	45
Gráfica 23:	Comportamiento del Viento – enero.....	46
Gráfica 24:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento enero.	47
Gráfica 25:	Comportamiento del Viento – febrero.....	48
Gráfica 26:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento febrero.....	48
Gráfica 27:	Comportamiento del Viento - marzo.	49



Gráfica 28: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento marzo.	49
Gráfica 29: Comportamiento del Viento - abril.....	50
Gráfica 30: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento abril.....	50
Gráfica 31: Comportamiento del Viento - mayo.	51
Gráfica 32: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento mayo.	51
Gráfica 33: Comportamiento del Viento - junio.	52
Gráfica 34: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento junio.	52
Gráfica 35: Comportamiento del Viento - julio.....	53
Gráfica 36: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento julio.....	53
Gráfica 37: Comportamiento del Viento - agosto.....	54
Gráfica 38: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento agosto.....	54
Gráfica 39: Comportamiento del Viento - septiembre.	55
Gráfica 40: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento septiembre.	55
Gráfica 41: Comportamiento del Viento - octubre.....	56
Gráfica 42: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento octubre.	56
Gráfica 43: Comportamiento del Viento noviembre.....	57
Gráfica 44: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento noviembre.....	57
Gráfica 45: Comportamiento del Viento diciembre.....	58
Gráfica 46: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento diciembre.	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación Finca el Sitio.	18
Ilustración 2: Croquis red de transmisión Finca el Sitio.	19
Ilustración 3: Mapa del Emplazamiento.	20
Ilustración 4: Mapa de potencial eólico en Guatemala.	21
Ilustración 5: Cuadro de clasificación de clase de viento en el emplazamiento.	22
Ilustración 6: Clases de viento en la finca El Sitio.	23
Ilustración 7: Estación de medición No. 0160, finca El Sitio.	24
Ilustración 8: Anemómetro de 3 copas.....	25
Ilustración 9: Veleta.....	25
Ilustración 10: Registrador de datos.	25
Ilustración 11: Baliza Luminosa.	26
Ilustración 12: Sensor de temperatura.	26
Ilustración 13: Sensor de radiación solar.	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Proyectos eólicos instalados en el País.	14
Tabla 2: Características del equipo de medición instalado.....	27
Tabla 3: Velocidad de viento 2011.....	28
Tabla 4: Aprovechamiento 2011.....	28
Tabla 5; Velocidad de viento 2012.....	29
Tabla 6: Aprovechamiento 2012.....	29
Tabla 7: Velocidad de viento 2013.....	30
Tabla 8: Aprovechamiento 2013.....	30
Tabla 9: Velocidad de viento 2014.....	31

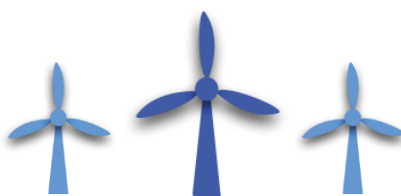
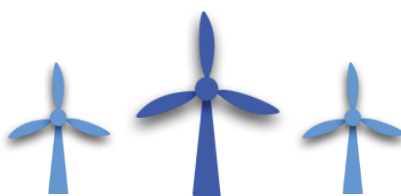


Tabla 10: Aprovechamiento 2014.....	31
Tabla 11: Velocidad de viento 2015.	32
Tabla 12: Aprovechamiento 2015.	32
Tabla 13: Velocidad de viento 2016.....	33
Tabla 14: Aprovechamiento 2016.	33
Tabla 15: Velocidad de viento 2017.....	34
Tabla 16: Aprovechamiento 2017.	34
Tabla 17: Horas medidas y aprovechables.....	36
Tabla 18: Aerogenerador Vestas.....	37
Tabla 19: Energía 2011.	38
Tabla 20: Energía 2012.....	39
Tabla 21: Energía 2013.	40
Tabla 22: Energía 2014.....	41
Tabla 23: Energía 2015.....	42
Tabla 24: Energía 2016.....	43
Tabla 25: Energía 2017.....	44
Tabla 26: Resumen Energía.	45
Tabla 27: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.....	59
Tabla 28: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.....	59
Tabla 29: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.	60
Tabla 30: Remuneración económica estimada.	61
Tabla 31: Inversión estimada para un proyecto de 3 MW.	63





Acrónimos

MEM	Ministerio de Energía y Minas.
MW	Mega Watt.
GWh	Giga Watt Hora.
MWh	Mega Watt Hora.
DGE	Dirección General de Energía.
DER	Departamento de Energías Renovables.
GWEC	Global Wind Energy Council.
WWEA	World Wind Energy Association.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
GDR	Generador Distribuido Renovable.





Introducción

A partir de las 10:50 am del 17 de mayo de 2011, hasta noviembre del 2017 se han recopilado una serie de archivos en formato NRG Raw Data File y extensión. RWD provenientes del Data Logger NRG Symphonie instalado en el sitio de medición de potencial eólico en la Finca El Sitio, Villa Canales, Guatemala.

Según lo establecido en el artículo 3 de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, 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 de este sitio de medición, con la finalidad de brindar un dato aproximado de energía en GWh que se podría generar en un emplazamiento cercano al sitio medido, a partir 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 generado por mes, así mismo brindar un comportamiento aproximado de la velocidad de viento durante el día.





**Proyecto Eólico
San Antonio El Sitio**

ESTUDIO PARA LA MEDICIÓN DE VIENTO EN LA FINCA “EL SITIO”

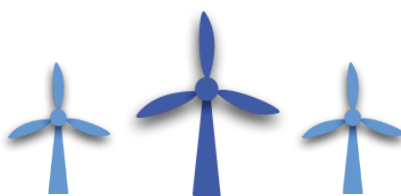
1. Política Energética del MEM

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

La energía eólica operando en el mundo creció cerca del 9% en 2017, hasta llegar a 539,123 MW,¹ siendo China, Estados Unidos, Alemania, India y España los mayores productores mundiales.

Para el año 2018 La industria eólica instaló 51.3 GW de nueva capacidad, lo que representa una disminución del 3.6% respecto a la capacidad instalada en 2017. Se instalaron 46.8 GW de nueva capacidad eólica terrestre, una disminución de 3.9% en comparación con 2017 (48.7 GW) y el mercado eólico marino (off shore) creció un 0,5%, a 4,49 GW de nuevas instalaciones (4,47 GW en 2017). La capacidad eólica instalada total alcanzó 591 GW a fines de 2018, un incremento del 9.6% en comparación con el final de 2017.

Se espera que el aumento de la energía eólica en Asia y el Pacífico continúe, ya que 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 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.

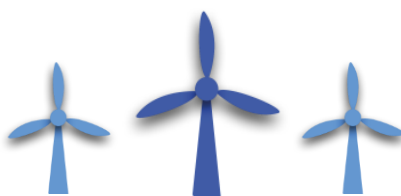
En China se añadieron 21,200 MW de capacidad eólica terrestre y 1800 MW de capacidad eólica marina en el año 2018, manteniendo su posición como líder a nivel mundial en instalaciones eólicas.

Actualmente, China tiene cinco de los seis principales productores de paneles fotovoltaicos del mundo, cinco de los más grandes productores de turbinas eólicas del mundo y seis de los diez grandes fabricantes de carros eléctricos. Adicionalmente, China domina en el sector del litio en baterías, vehículos eléctricos, etc., y es líder en todo el mundo en inversiones en redes inteligentes y otras tecnologías del uso de los recursos energéticos renovables.

Se estima que para el año 2019, los mejores proyectos de energía eólica y solar fotovoltaica on shore entregarán electricidad por 3 centavos de dólar el kWh. Estos precios estarán muy por debajo del precio que se comercializa en Estados Unidos.

Según 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

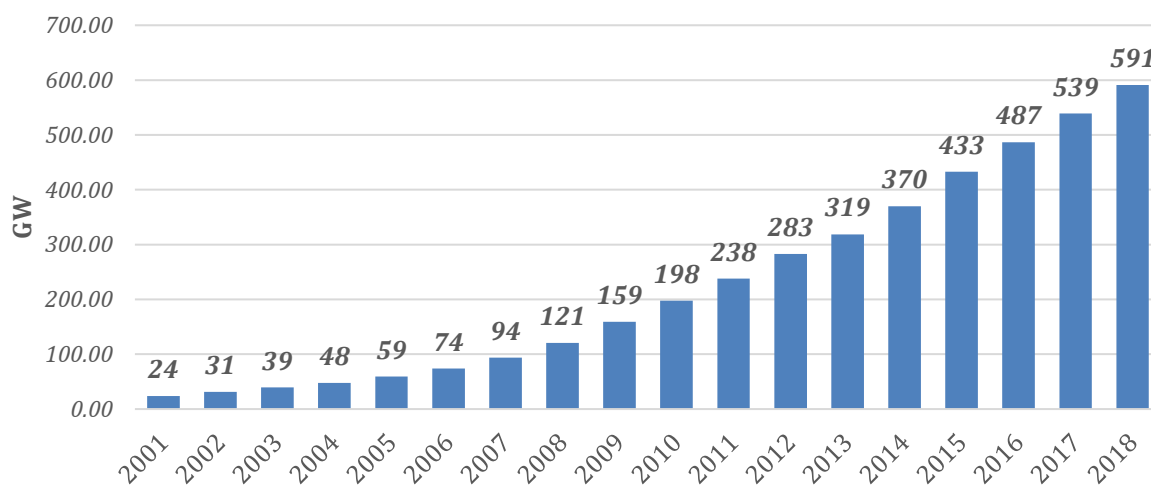
¹ Global Wind Energy Council (GWEC)



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 Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) muestran 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 pasado. 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.

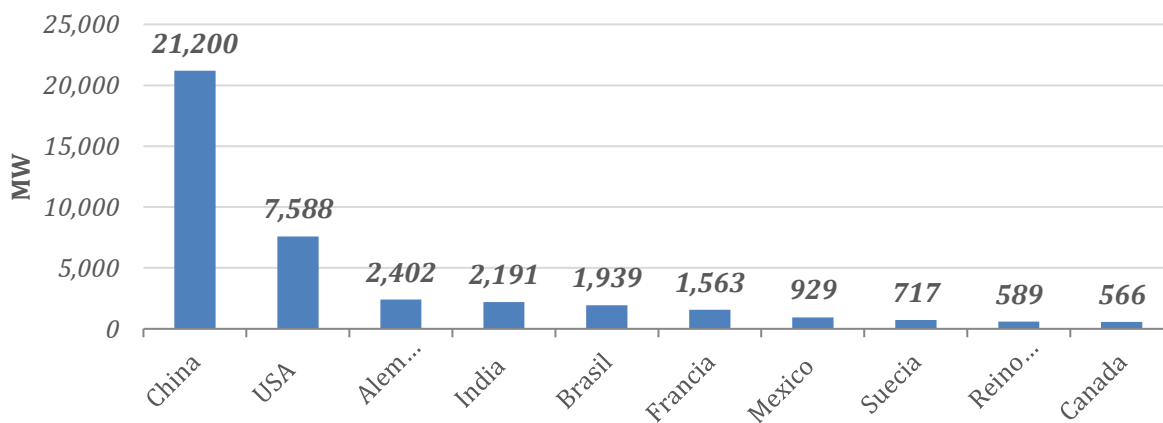
Evolución de la potencia instalada en el mundo 2001-2018.



Gráfica 1: Potencia Eólica Mundial.

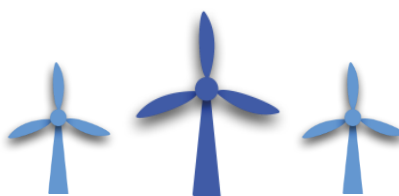
Fuente: GWEC

Ranking por capacidad eólica terrestre instalada en 2018 (onshore).

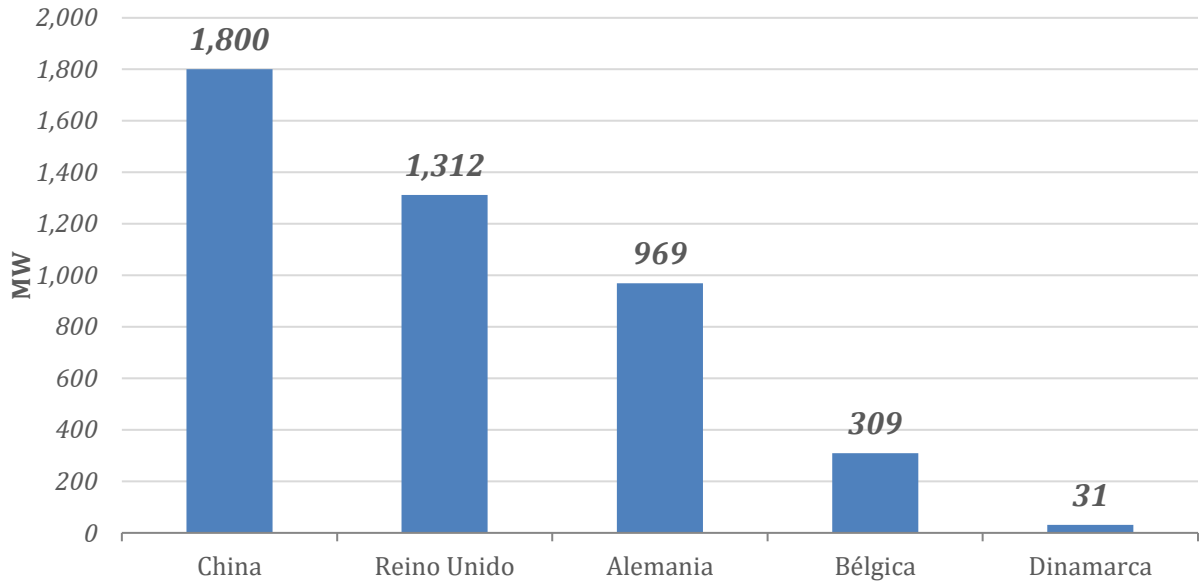


Gráfica 2: Ranking por Capacidad eólica on shore 2018.

Fuente: GWEC



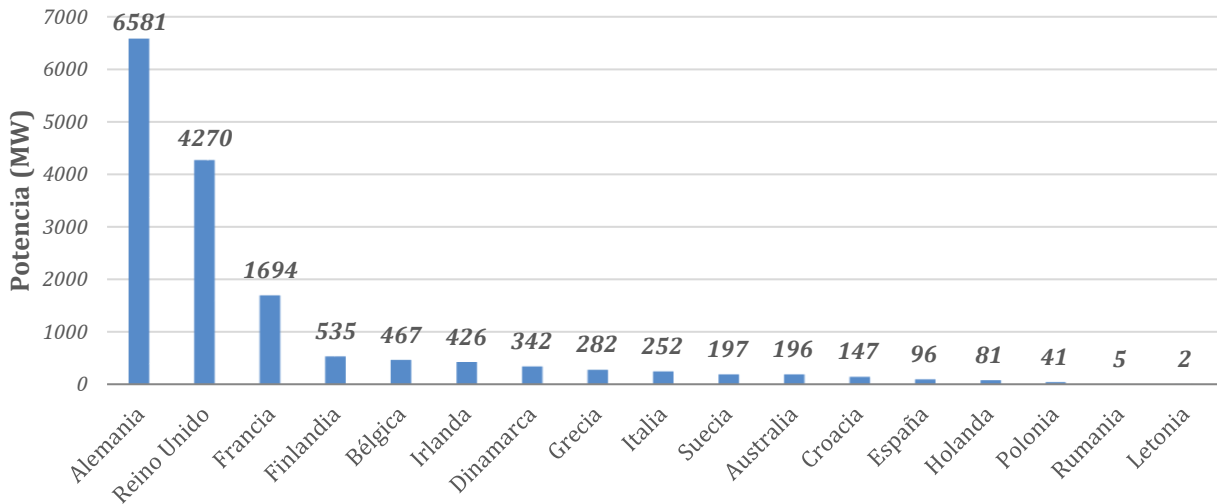
Ranking por capacidad eólica en mar instalada en 2018 (offshore).



Gráfica 3: Ranking por Capacidad eólica offshore 2018.

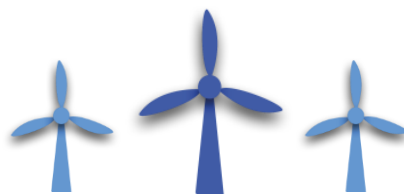
Fuente: GWEC

Ranking de países europeos por nueva potencia instalada en 2017, onshore y offshore.



Gráfica 4: Ranking por Capacidad eólica on shore y offshore 2017.

Fuente: GWEC



3. La energía eólica en Guatemala

Guatemala tiene buenos sitios con potencial eólico para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica. Actualmente se tiene una potencia instalada efectiva al sistema de 106.5 MW, de un potencial estimado inicialmente de 280 MW.

En el año 2012 se llevó a cabo la licitación abierta PEG-2-2012, de las ofertas presentadas, se adjudicaron 3 proyectos eólicos, con precios contratados de US\$126 por megavatio (US\$0.12 por kilovatio), los cuales ya se encuentran en operación.

En el año 2017, la generación eólica representó en el país 216.1 GWh equivalente al 1.90 % en la matriz de generación eléctrica. Para el año 2018 la generación eólica aumentó a 327.5 GWh.

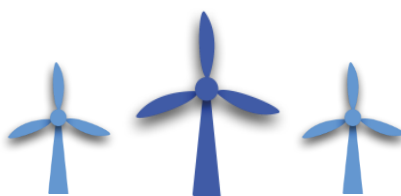
A partir abril del año 2015, Guatemala cuenta con aerogeneradores aportando energía limpia al sistema nacional interconectado, que ha aumentado su capacidad con la entrada del parque eólico Viento Blanco en diciembre del mismo año y nuevamente se ve incrementada la capacidad eólica instalada, con el ingreso del proyecto Las Cumbres de Agua Blanca, en marzo del 2018.

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

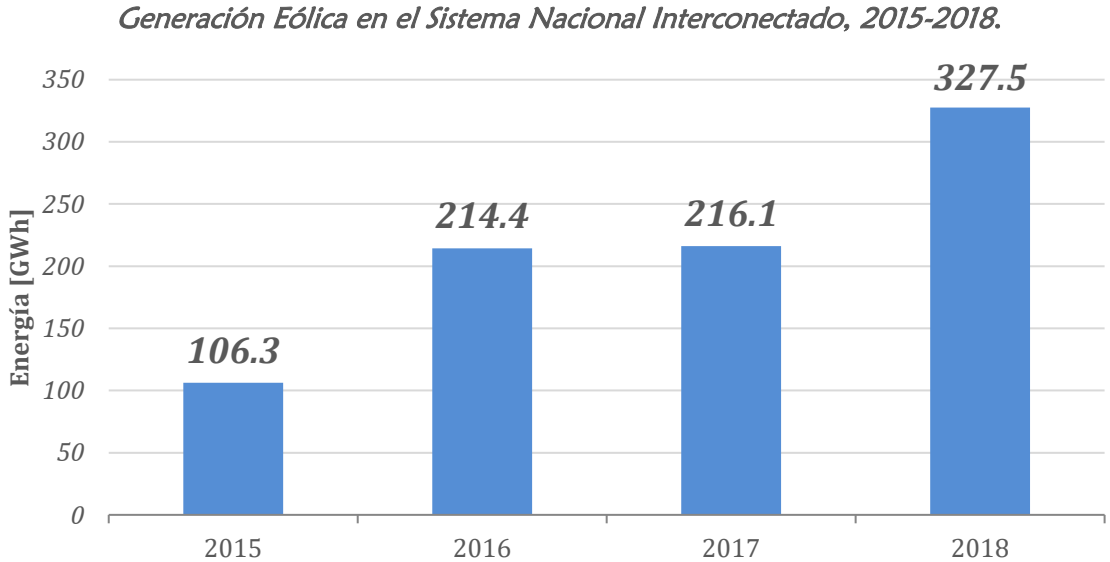
Tabla 1: Proyectos eólicos instalados en el País.

Fuente: DER-DGE

Actualmente se tiene información de la existencia de un proyecto en fase de medición en el área de Moyuta en el departamento de Jutiapa, el cual podría tener una capacidad instalada de 57 MW.

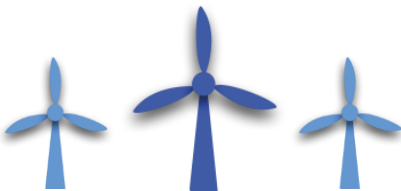


Para el año 2018, se pudo observar que la generación de energía eléctrica por medio del recurso eólico ha alcanzado un aumento, reflejando así una mayor participación de esta tecnología en el Sistema Nacional Interconectado con un total de 327.5GWh.



Gráfica 5: Generación de energía eléctrica 2015-2018 (eólica).

Fuente: DGE-MEM



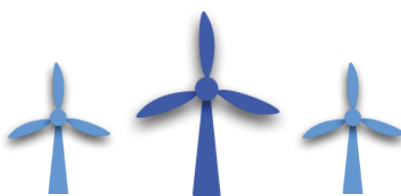
4. Objetivos

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 finca El Sitio, 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 finca El Sitio, jurisdicción de Villa Canales, Guatemala.
- 4.4 Determinar el porcentaje de horas aprovechables por día, para realizar el cálculo mensual, y finalmente un porcentaje anual, del recurso eólico en el emplazamiento.
- 4.5 Determinar el comportamiento promedio por día de la velocidad de viento, para comparar entre los meses medidos para cada año en el emplazamiento ubicado en la finca El Sitio.
- 4.6 Determinar la dirección predominante del viento del emplazamiento.
- 4.7 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.



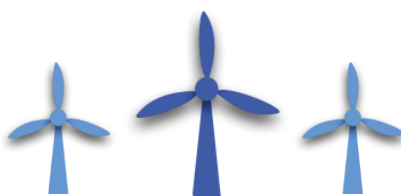
5. Metodología.

Para realizar el estudio se utilizaron los datos de variables eólicas recopilados en la estación de medición ubicada en la finca El Sitio, jurisdicción de Villa Canales, desde mayo del 2011 hasta febrero del 2018. Para el análisis de información se usó el software NRG Data Symphonie, el cual procesa las mediciones generando como resultado histogramas de frecuencias, promedios de velocidad, y rosa de viento para el emplazamiento. Se determinó como una velocidad de viento aprovechable los valores arriba de los 5 m/s; se procesaron los datos de medición de viento del anemómetro instalado a 51 metros y se promediaron los valores arriba de 5 m/s de cada día, por mes y posteriormente se obtuvo un promedio anual.

También, con base en la información recopilada se obtuvo un porcentaje de horas por día en las que la velocidad de viento registró un valor por encima de los 5 m/s, para posteriormente obtener un porcentaje de horas aprovechables del recurso por mes y por año.

Haciendo uso de la fórmula del límite de Betz, se estimó un valor de potencia diario, que en conjunto con las horas de aprovechamiento diario sirvieron para estimar la energía que se puede aprovechar en el emplazamiento por día.

Posteriormente se realizó la estimación de potencia para cada mes y luego se obtuvo un dato para cada año; así mismo, con el cálculo de la energía estimada se calculó la inversión económica resultante de realizar la venta de la energía y la cantidad de emisiones evitadas si se hubiera generado energía eléctrica con recurso eólico.



6. Descripción del emplazamiento

6.1. Sitio de estudio

En la ilustración 1, se observa que en cercanías de la estación de medición ubicada en la finca El Sitio, se encuentran operando 16 aerogeneradores Vesta V90 del Parque Eólico de San Antonio El Sitio. Se observa que, para un futuro diseño de un parque eólico en el sitio de medición, el área recomendable es en las direcciones Noreste y Este- Sur. En la dirección Este la mayoría de terrenos se encuentran ocupados con siembra de piña, teniendo como característica muy buena orografía y accesibilidad para construir caminos para poder ingresar maquinaria y equipo.

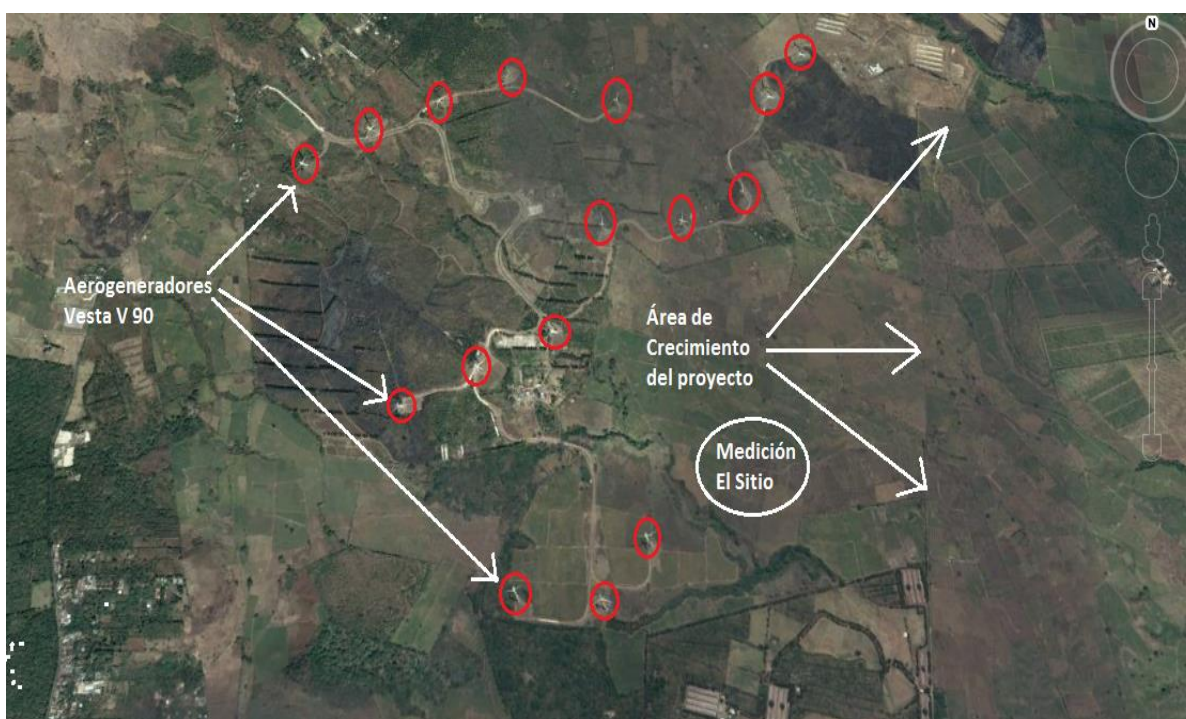
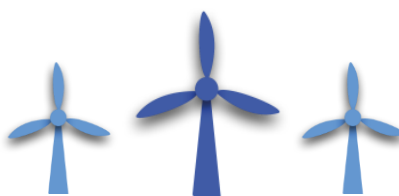


Ilustración 1: Ubicación Finca el Sitio.

Fuente: DER-DGE



6.2. Características del lugar de medición

La estación de medición está ubicada en la finca El Sitio, siendo una finca rústica con una extensión territorial de 279, 495,600 m², equivalente a 55 manzanas.

La finca colinda al norte con la finca Monte Redondo, al sur con la finca Aras, al oeste con la finca San Antonio El Sitio. El acceso a la finca puede ser a través de vehículo tipo pick up de doble tracción o caminando. Aproximadamente a 2 kilómetros de distancia, se encuentra la Aldea Dolores, en donde pasa la línea de distribución 120/240 voltios.

Por otra parte, al momento del diseño de la interconexión eléctrica de un parque eólico, la energía generada puede ser inyectada al sistema por medio de la línea de 13.8 KV o a las líneas de 69 kV y 230 kV, las cuales pasan aproximadamente a 8 kilómetros de distancia del lugar de medición.

Otra opción que tendría un proyecto eólico, es negociar con los propietarios del Parque Eólico San Antonio El Sitio para utilizar la línea de transmisión del proyecto eólico San Antonio El Sitio, que se encuentra en operación actualmente y cuya línea llega hasta donde pasan las líneas de 69 y 230 kV.

En la ilustración 2 se muestra el croquis indicador de la distancia del lugar de medición “El Sitio” hasta la infraestructura eléctrica de 69 y 230 kV.

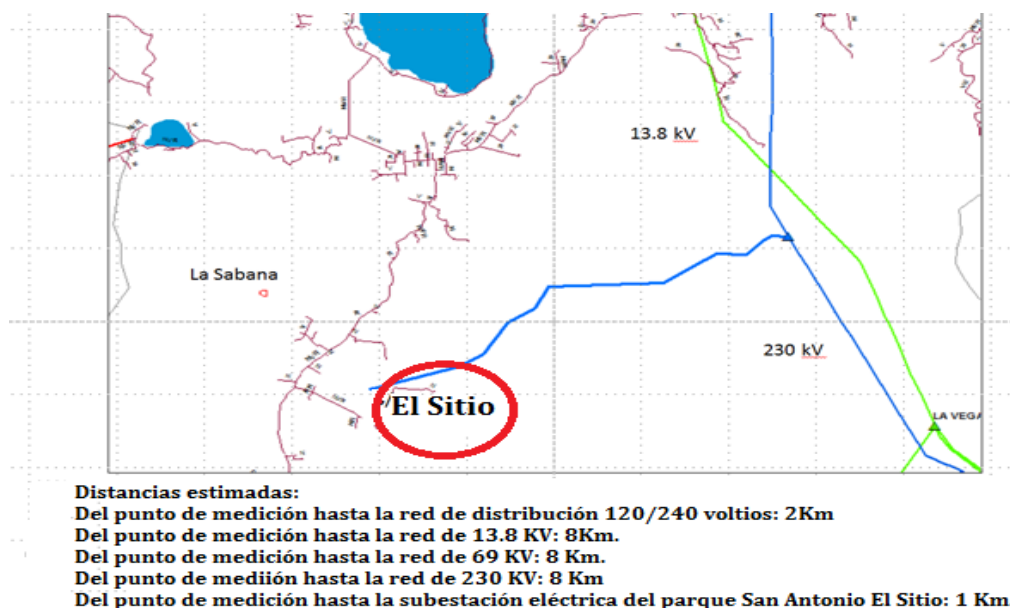
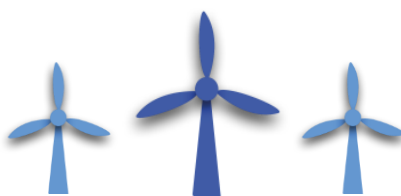


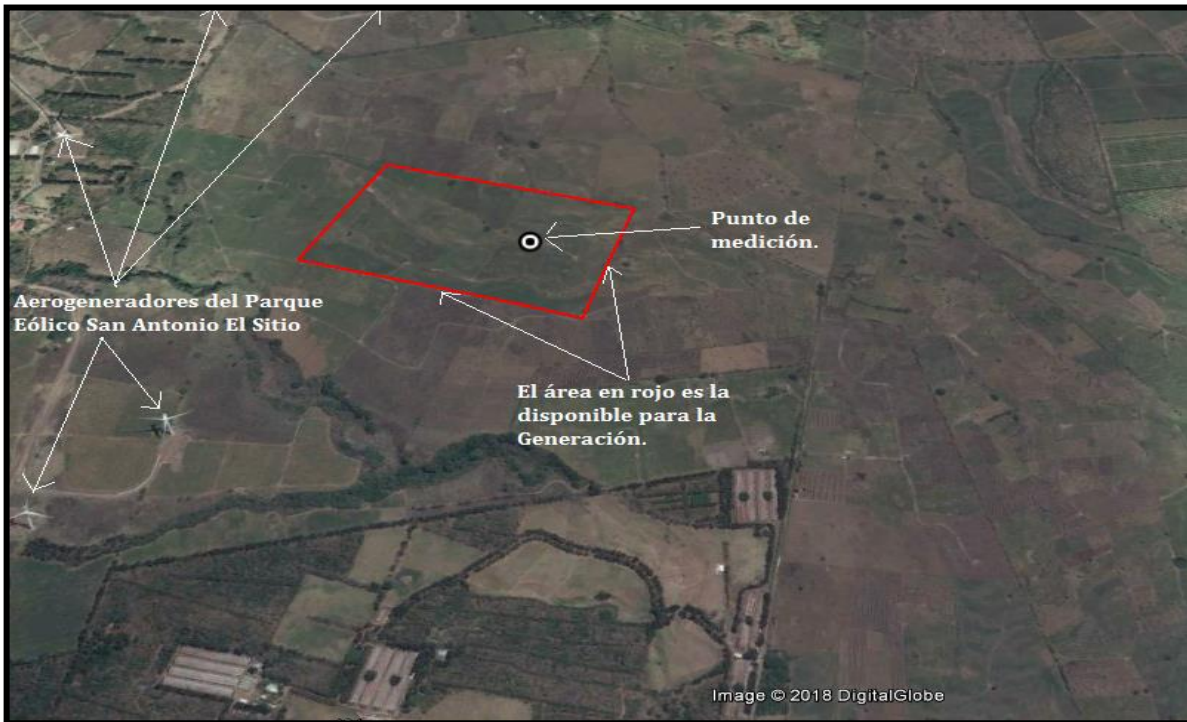
Ilustración 2: Croquis red de transmisión Finca el Sitio.

Fuente: DER-DGE



Dada la cercanía del punto de medición con el parque Eólico San Antonio El Sitio y el área disponible para generación de energía, se debe tomar en cuenta la posible turbulencia generada por los aerogeneradores existentes. Para evitar este inconveniente se debe colocar el aerogenerador a una distancia mínima de 600 metros en línea lateral de los aerogeneradores más cercanos y a una distancia de 800 metros en línea perpendicular de los aerogeneradores del parque Eólico San Antonio El Sitio.

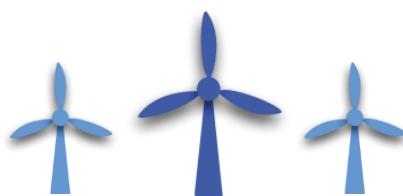
En la ilustración 3 se muestra el área delimitada con líneas rojas; área disponible para realizar



un proyecto tipo GDR de generación de energía eólica en la finca El Sitio.

Ilustración 3: Mapa del Emplazamiento.

Fuente: DER-DGE



6.3. Mapa de potencial de viento, con la ubicación de la finca El Sitio, en Villa Canales, Guatemala.

En la ilustración 4 se observa el mapa de Guatemala con el potencial eólico en cada región, señalando el lugar del emplazamiento.

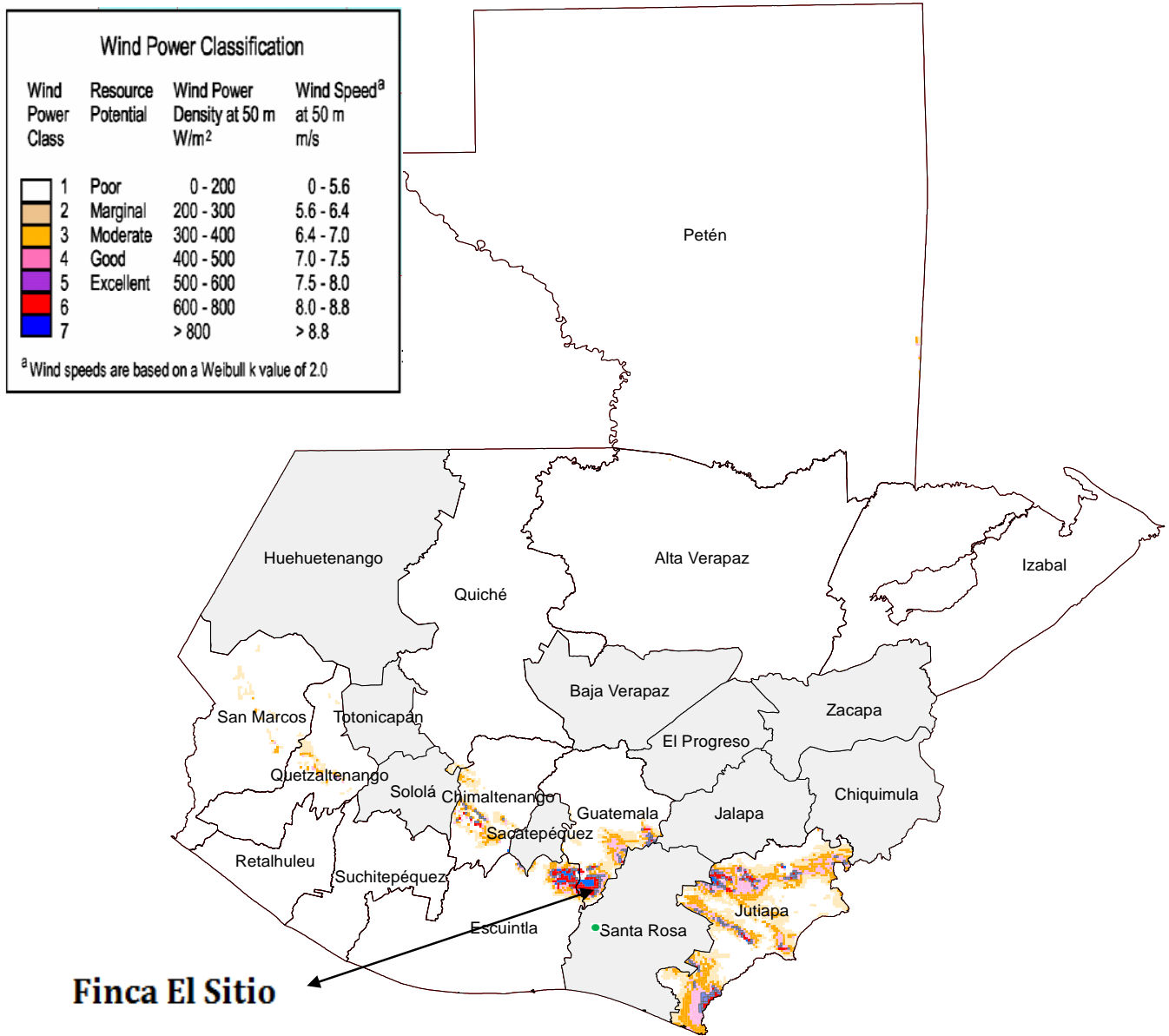
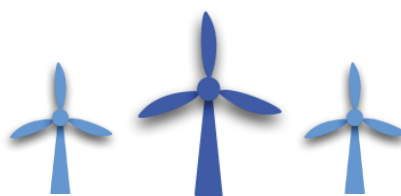


Ilustración 4: Mapa de potencial eólico en Guatemala.

Fuente: MEM



6.4. Clasificación por densidades y velocidades de viento del emplazamiento.

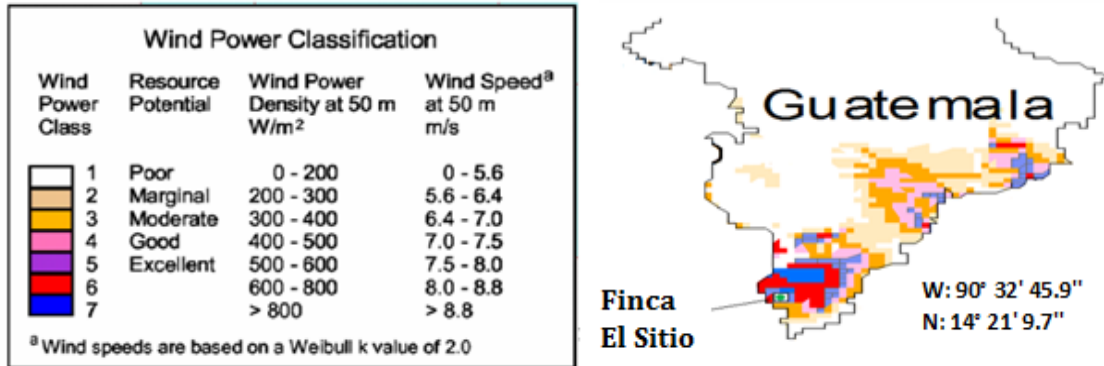
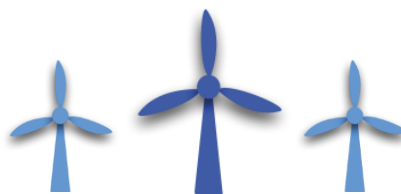


Ilustración 5: Cuadro de clasificación de clase de viento en el emplazamiento.

Fuente: MEM

En la ilustración 5 se puede apreciar las densidades de viento en (W/m^2) a una altura de 50 metros. La clasificación se hace a través de colores, a las 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 bueno (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.



6.5. Clases de viento que predomina en el emplazamiento.

En la ilustración que se presenta a continuación se pueden apreciar las distintas clases de viento que circulan alrededor del lugar de medición (finca El Sitio). Estas clases de viento representan las distintas velocidades en m/s, con sus respectivas densidades de viento en W/m² que predominan en el área.

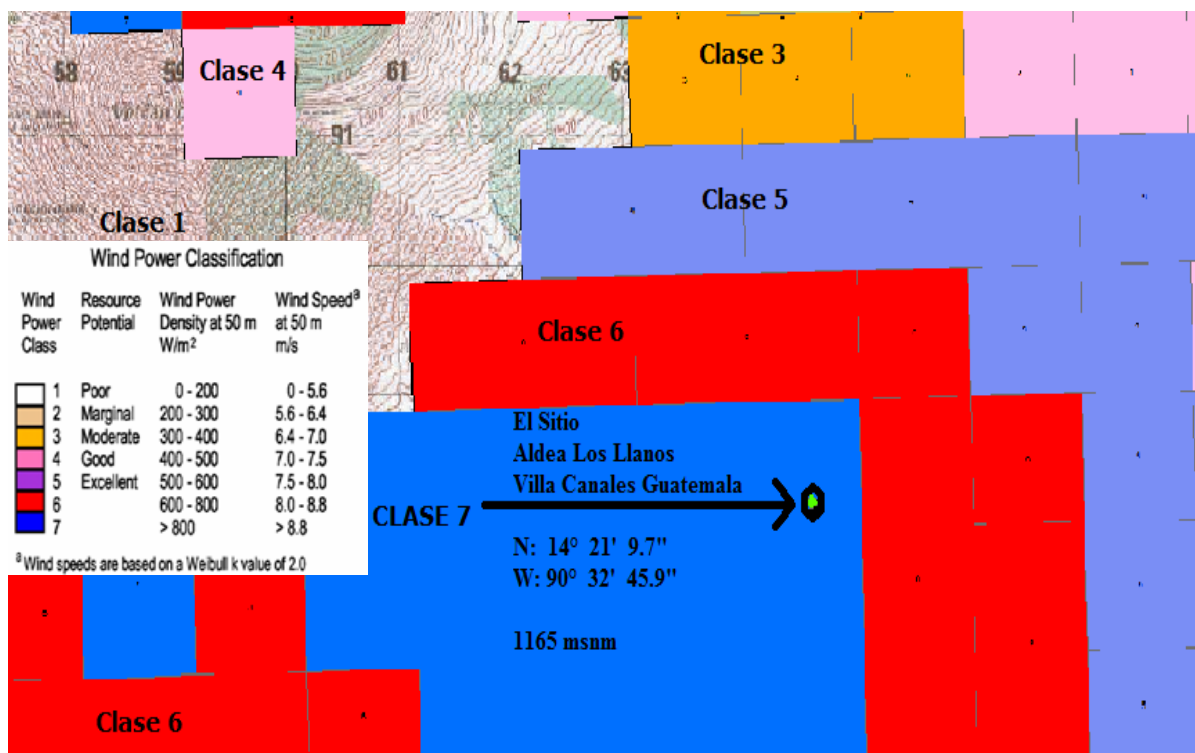
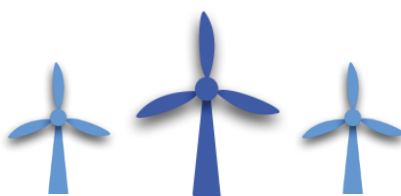


Ilustración 6: Clases de viento en la finca El Sitio.

Fuente: DER-DGE

Esta clasificación del recurso se logró obtener por medio del software ARC GIS, que monta capas de información sobre segmentos cartográficos. Con esta herramienta se logró identificar que el punto de medición está dentro del cuadrante color azul, cuyo recurso de viento le corresponde la clase 7, con densidad de viento mayor a 800 w/m², y velocidades mayores a 8.8 m/s.

Por criterios técnicos, toda medición de viento elaborada con parámetros de calidad en orientación de los distintos sensores de medición, la altura y alineación de estos aseguran que las mediciones pueden llegar a ser validas hasta en un radio de 10 km a partir del punto de medición.



6.6. Localización de la estación de medición

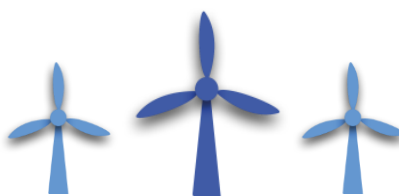
La estación de medición se encuentra instalada a 1165 msnm, en la finca El Sitio, jurisdicción de Villa Canales, departamento de Guatemala. La estación de medición tiene una altura de 51 metros. Las coordenadas de ubicación son: latitud norte $14^{\circ} 21' 9.7''$; latitud Oeste, $W 90^{\circ} 32' 45.9''$.

En la ilustración 7 se observan las fotografías de la panorámica general del lugar en donde está ubicada la estación de medición.



Ilustración 7: Estación de medición No. 0160, finca El Sitio.

Fuente: DER-DGE



6.7. Descripción del equipo de medición.

6.7.1. Anemómetro

Es el equipo de medición encargado de medir la velocidad del viento. La estación de medición tiene instalados tres anemómetros de tres copas a 30, 40 y 51 metros respectivamente.



Ilustración 8: Anemómetro de 3 copas.

6.7.2. Veleta

Equipo de medición utilizado para medir la dirección del viento. La estación de medición tiene instalada dos veletas a 40 y 51 metros respectivamente.



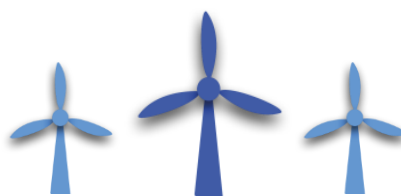
Ilustración 9: Veleta.

6.7.3. Registrador de Datos: (Data 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 analógicos y los restantes son digitales.



Ilustración 10: Registrador de datos.



6.7.4. Baliza Luminosa

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



Ilustración 11: Baliza Luminosa.

6.7.5. Sensor de Temperatura

Utilizado para medir la temperatura ambiente del lugar.



Ilustración 12: Sensor de temperatura.

6.7.6. Sensor de Presión Atmosférica

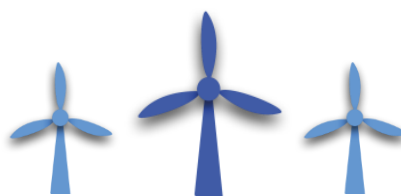
Utilizado para medir la presión atmosférica en el sitio en Kilo Pascales.

6.7.7. Sensor de Radiación Solar

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



Ilustración 13: Sensor de radiación solar.



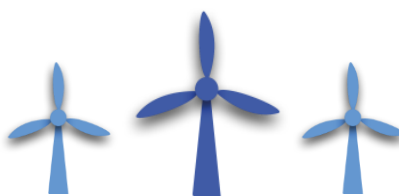
6.7.8. Características Técnicas del Equipo de Medición

En la tabla 2 se muestran los datos de fábrica y los datos de calibración del equipo de medición instalado en la finca El Sitio.

Datos de Instalación						
NÚMERO DE SITIO		160				
FECHA Y HORA DE INSTALACIÓN		17/05/2011 10:00 AM -6GMT				
UBICACIÓN		N14° 10' 28.92" W 90° 34' 23.58" Altura 1165 msnm				
Datos de Fábrica						
Componente	Modelo	Número de Ítem	Número de Serie	Unidad de medida		
Data logger	Symphonie	3147	3147	***		
Luz de Baliza	A702	A702	***	Lumen		
Anemómetros	NRG #40C	1900	70288	m/s		
			70062	m/s		
			70061	m/s		
Sensor de temperatura	NRG #110S	1906	***	°C		
Veletas	NRG #200P	1904	***	grados		
	NRG #200P		***	grados		
Sensor de radiación solar	Li-Cor	1948	59906	W/m2		
	Li-200SA					
Sensor de presión	NR G BP 20	2046	6822	Mb		
Datos de Calibración						
Componente	Número de Canal	Factor de escala	Error Offset	Tipo de señal	Altura de instalación (m)	Orientación
Data logger	***	***	***	***	9	***
Luz de Baliza	***	***	***	***	51	***
Anemómetros	1	0.757	0.4	frecuencia	51	Oeste
	2	0.758	0.39		40	Oeste
	3	0.755	0.42		30	Oeste
Sensor de temperatura	9	0.136	-86.383	Analógica	6	***
Veletas	7	0.351	0	Analógica	51	Norte
	8	0.351	0		30	Norte
Sensor de radiación solar	11	1.312	0	Analógica	10	***
Sensor de presión	12	0.4255	647.262	Analógica	10	***

Tabla 2: Características del equipo de medición instalado.

Fuente: DER-DGE

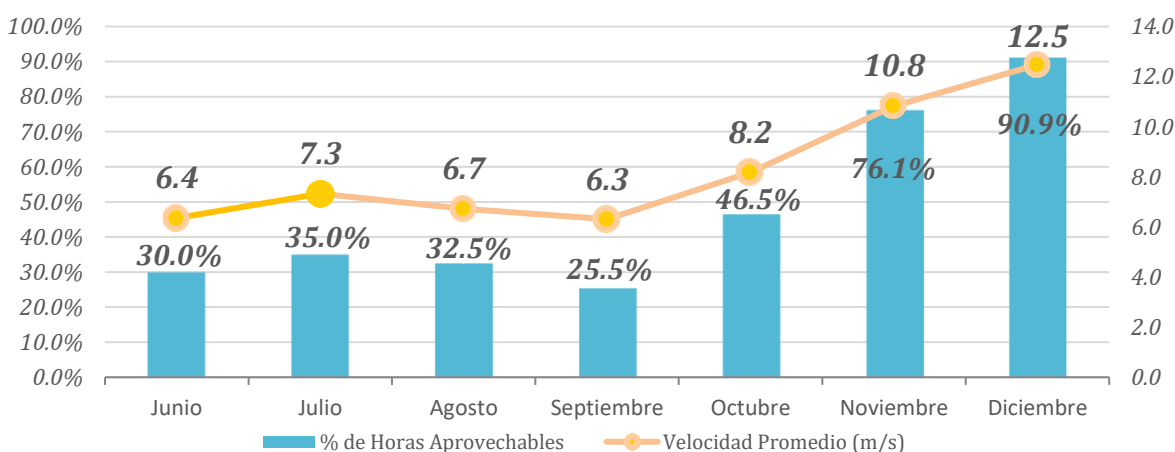


7. Resultados de la medición

7.1. Velocidad Promedio del emplazamiento

Como se mencionó en la metodología, se definió como velocidad promedio aprovechable los valores de velocidad que estuvieran por encima de los 5 m/s. La estación de medición fue instalada en mayo del 2011, registrando mediciones por encima de los 5 m/s a partir del mes de junio del 2011.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - El Sitio 2011.



Gráfica 6: Horas aprovechables y velocidad de viento 2011.

Fuente: DER-DGE

La gráfica 6 muestra las velocidades promedio mensuales obtenidas durante el año 2011. Así mismo se muestra el porcentaje de horas aprovechables, el cual se obtiene a partir de la relación entre las horas medidas del mes y las horas medidas en que se registró una velocidad mayor a 5 m/s.

La Tabla 3 muestra que la velocidad promedio del año fue de 8.1 m/s, es decir, vientos clase 6, lo que significa “excelente”. La Tabla 4 muestra el porcentaje de aprovechamiento total del año 2011. Teniendo un 50% de aprovechamiento anual, indica una disponibilidad de recurso alta, tomando en cuenta que no se midieron aproximadamente cinco meses del año.

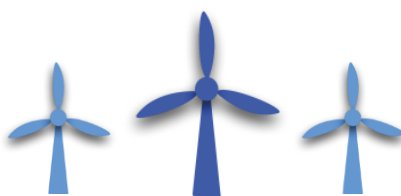
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2011		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.1	25.4	0.40

Tabla 3: Velocidad de viento 2011.

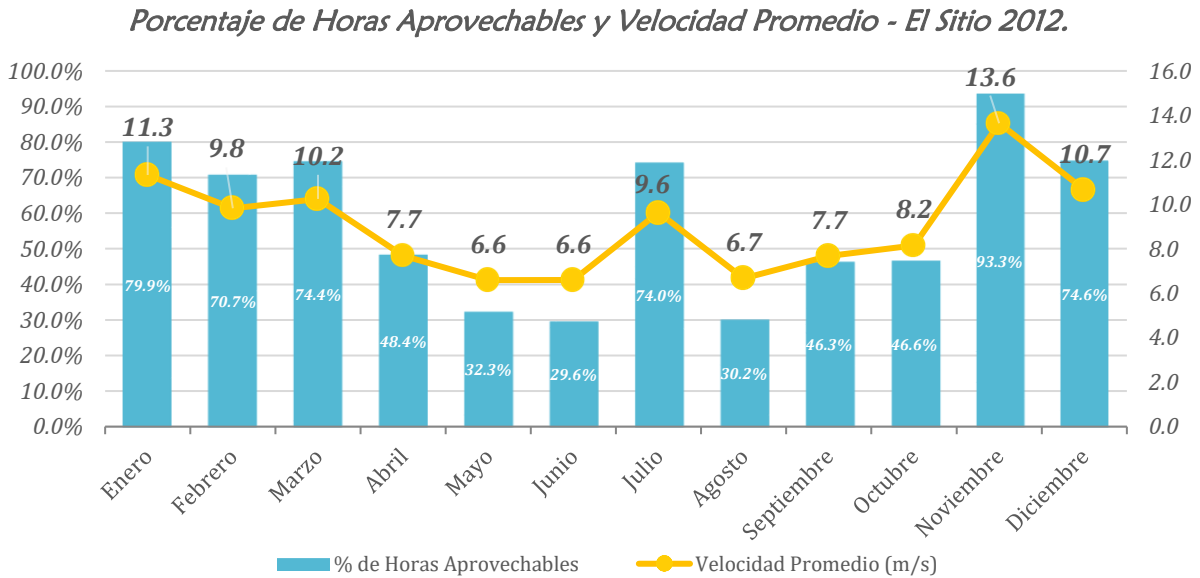
Fuente: DER-DGE

% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2011		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
5040	2519	49.99%

Tabla 4: Aprovechamiento 2011. Fuente: DER-DGE



Para el año 2012 los resultados de medición de viento se muestran a continuación:



Gráfica 7: Horas aprovechables y velocidad de viento 2012.

Fuente: DER-DGE

La gráfica 7 muestra las velocidades promedio mensuales obtenidas durante el año 2012 y el porcentaje de aprovechamiento de horas en cada mes.

La Tabla 5 muestra que la velocidad promedio del año fue de 9.06 m/s, es decir una velocidad de viento clase 6.

La Tabla 6 indica que se tuvo un porcentaje de aprovechamiento anual del 58.35%, siendo los meses de enero, febrero, marzo, julio, noviembre y diciembre los meses con un porcentaje alto de aprovechamiento y velocidades por encima del valor promedio anual.

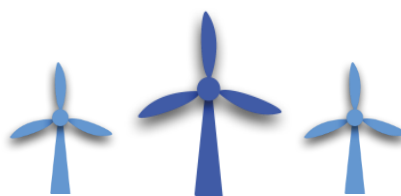
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2012		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.06	29.30	0.40

Tabla 5: Velocidad de viento 2012.

Fuente: DER-DGE

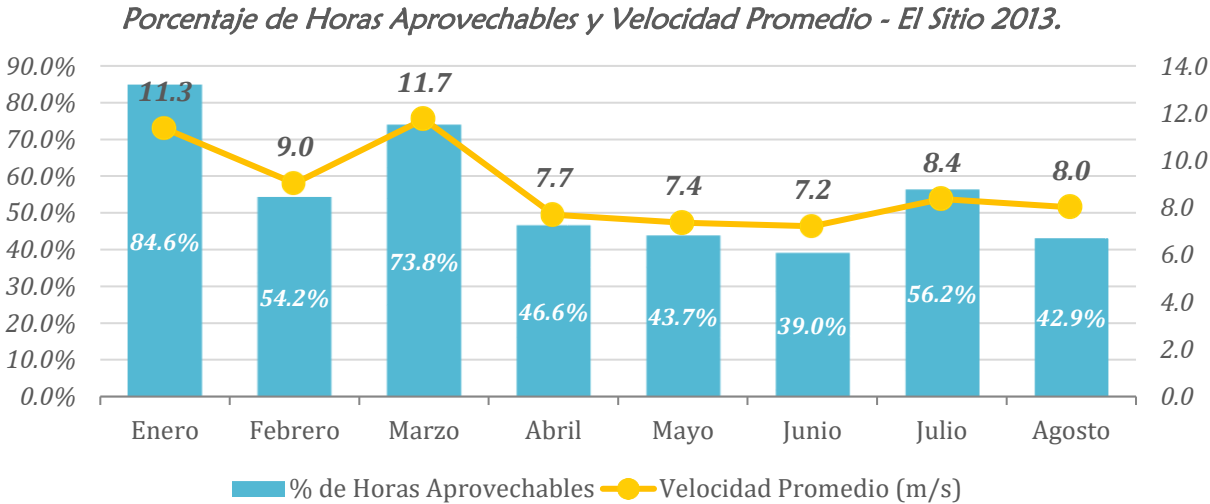
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2012		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5042	58.35%

Tabla 6: Aprovechamiento 2012. Fuente: DER-DGE





Para el año 2013 se recopilaron datos del mes de enero al mes de agosto, a causa de la incidencia presentada el 4 de septiembre a las 16:50 horas que ocasiono la interrupción del registro de mediciones por hurto del registrador de datos (data logger).



Gráfica 8: Horas aprovechables y velocidad de viento 2013.

Fuente: DER-DGE

Los meses medidos con mejor velocidad promedio fueron: enero, febrero y marzo, con promedios de velocidad por encima del valor de velocidad promedio anual de 8.85 m/s.

En la gráfica 8 se observa que existe un porcentaje alto de aprovechamiento del recurso eólico en función de la velocidad promedio del viento, aprovechando un porcentaje por encima del 50% del recurso en el año, sin contabilizar los meses sin medición.

RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2013		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.85	28.7	0.40

Tabla 7: Velocidad de viento 2013.

Fuente: DER-DGE

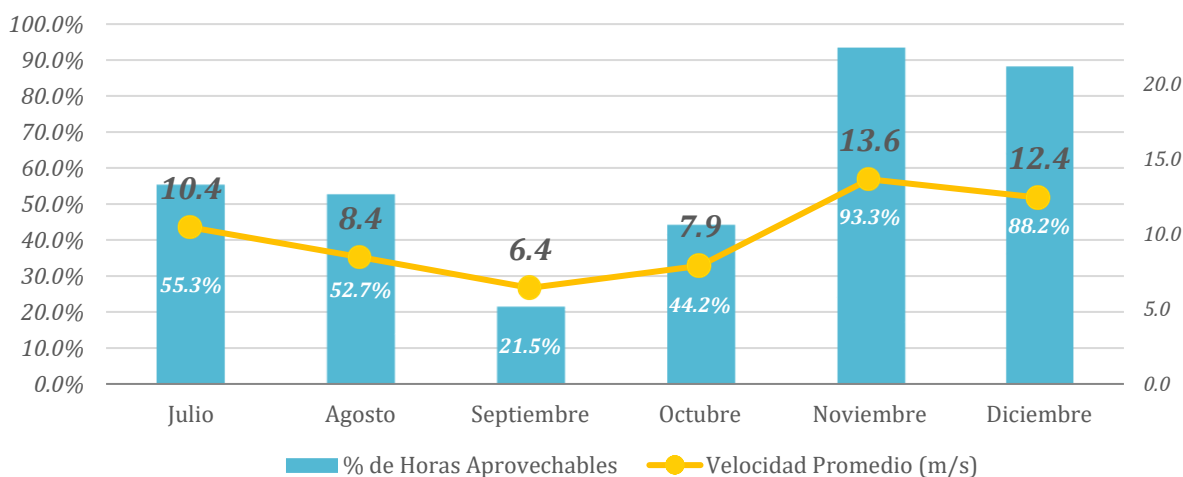
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2013		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
5760	3176	55.13%

Tabla 8: Aprovechamiento 2013. Fuente: DER-DGE



Para el año 2014 las mediciones en la estación de medición se reanudaron en el mes de julio.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - El Sitio 2014.



Gráfica 9: Horas aprovechables y velocidad de viento 2014.

Fuente: DER-DGE

El resultado de las mediciones de viento para el año 2014 se observa en la gráfica 9, determinando un valor de velocidad promedio anual de 9.9 m/s.

Los meses de noviembre y diciembre presentan valores promedio de velocidad de viento muy por encima de la velocidad promedio anual y arrojan valores de aprovechamiento del 93 % y 88.2 % respectivamente.

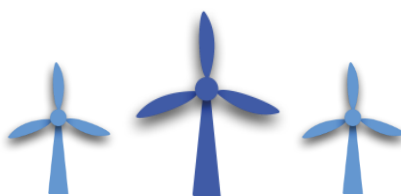
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2014		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.9	25.7	0.40

Tabla 9: Velocidad de viento 2014.

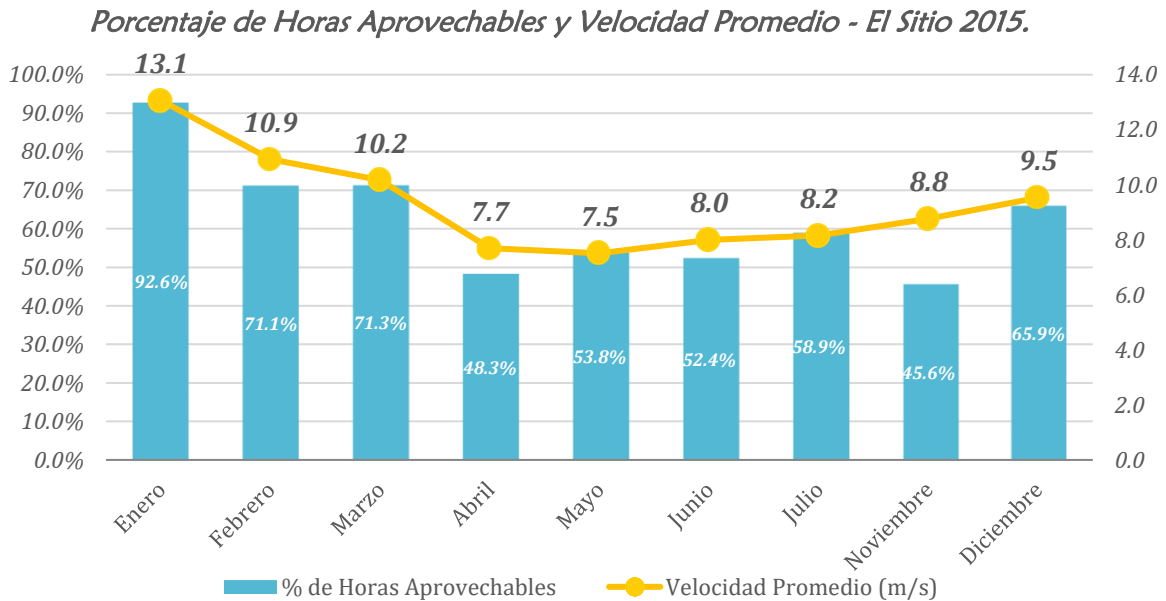
Fuente: DER-DGE

% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2014		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
4320	2557	59.19%

Tabla 10: Aprovechamiento 2014. Fuente: DER-DGE



Para el año 2015 debido a una falla en el anemómetro instalado a 51 metros, se dejó de recopilar información de la velocidad de viento a dicha altura; la elaboración de las tablas y gráficas de la velocidad de viento fue realizada con los datos obtenidos del anemómetro instalado a 40 m. Para este año no se tuvieron registros de mediciones para los meses de agosto, septiembre y octubre.



Gráfica 10: Horas aprovechables y velocidad de viento 2015.

Fuente: DER-DGE

El periodo con mejor velocidad promedio es en los meses de enero, febrero marzo y diciembre.

En la Tabla 10 se observa que una velocidad promedio del año de 9.3 m/s.

El Porcentaje de aprovechamiento como se muestra en la tabla 12, representa un 62.22 % de aprovechamiento, sin contar los tres meses en los que el equipo no registro ninguna medición.

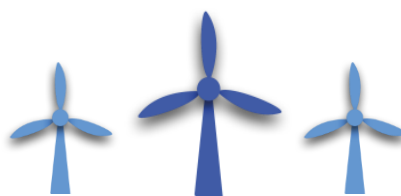
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2015		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.3	26.6	0.40

Tabla 11: Velocidad de viento 2015.

Fuente: DER-DGE

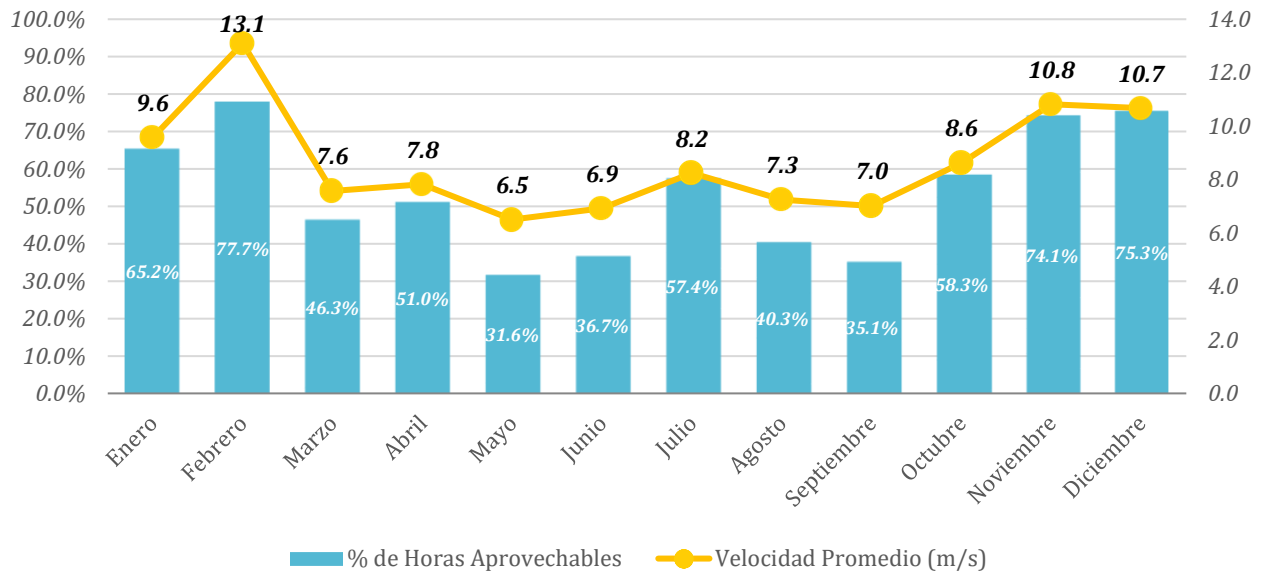
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2015		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
6480	4032	62.22%

Tabla 12: Aprovechamiento 2015. Fuente: DER-DGE



Para el año 2016 se obtuvieron registros de medición para los doce meses del año obteniendo los siguientes resultados de velocidad del viento a una altura de 40 m.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - El Sitio 2016.



Gráfica 11: Horas aprovechables y velocidad de viento 2016.

Fuente: DER-DGE

En el año 2016 los datos con mejor velocidad promedio son los correspondientes a los meses: enero, febrero, noviembre y diciembre. La velocidad promedio anual fue de 8.7 m/s.

Febrero se presenta como el mejor mes del año, con una velocidad promedio muy por encima de la velocidad promedio anual y también con un porcentaje del 77.77 % de aprovechamiento.

En los meses de noviembre y diciembre se obtuvieron porcentajes de aprovechamiento del recurso arriba del 70 % y una velocidad promedio por encima de los 10 m/s.

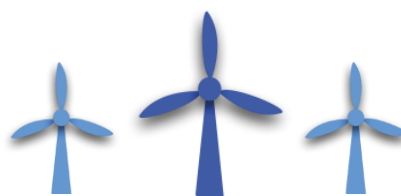
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2016		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.7	25.2	0.40

Tabla 13: Velocidad de viento 2016.

Fuente: DER-DGE

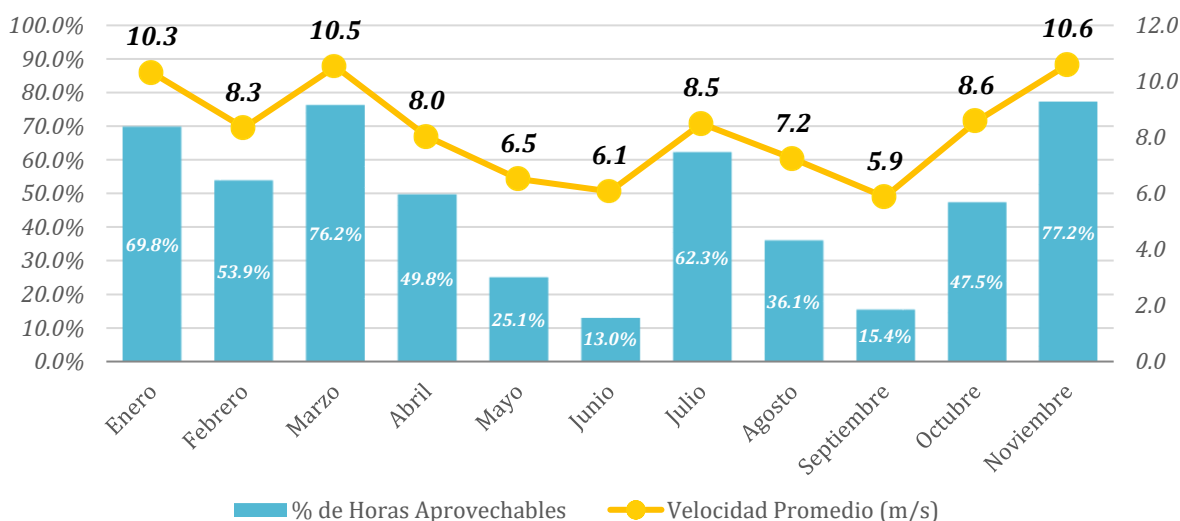
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2016		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	4673	54.08%

Tabla 14: Aprovechamiento 2016. Fuente: DER-DGE



Para el año 2017, no se registraron mediciones de velocidad de viento para el mes de diciembre, a causa de fallas en el anemómetro. La velocidad de viento registrada para este año es resultado de los datos medidos por el anemómetro instalado a 40 metros.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio- El Sitio 2017.



Gráfica 12: Horas aprovechables y velocidad de viento 2017.

Fuente: DER-DGE

Meses como junio y septiembre, presentan una velocidad promedio alta, sin embargo, un porcentaje de aprovechamiento muy pobre por lo que no se consideran meses útiles para la generación.

Por otro lado, enero, marzo, julio y noviembre se presentan como meses con muy buena velocidad promedio, superior a la velocidad promedio anual, y un porcentaje de aprovechamiento también superior al porcentaje anual, lo que los hace meses ideales para la generación de energía.

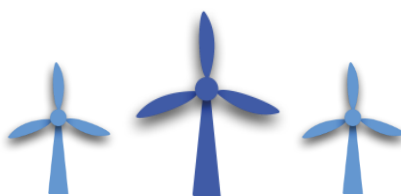
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2017		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.52	28.2	0.40

Tabla 15: Velocidad de viento 2017.

Fuente: DER-DGE

% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2017		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	3996	46.25%

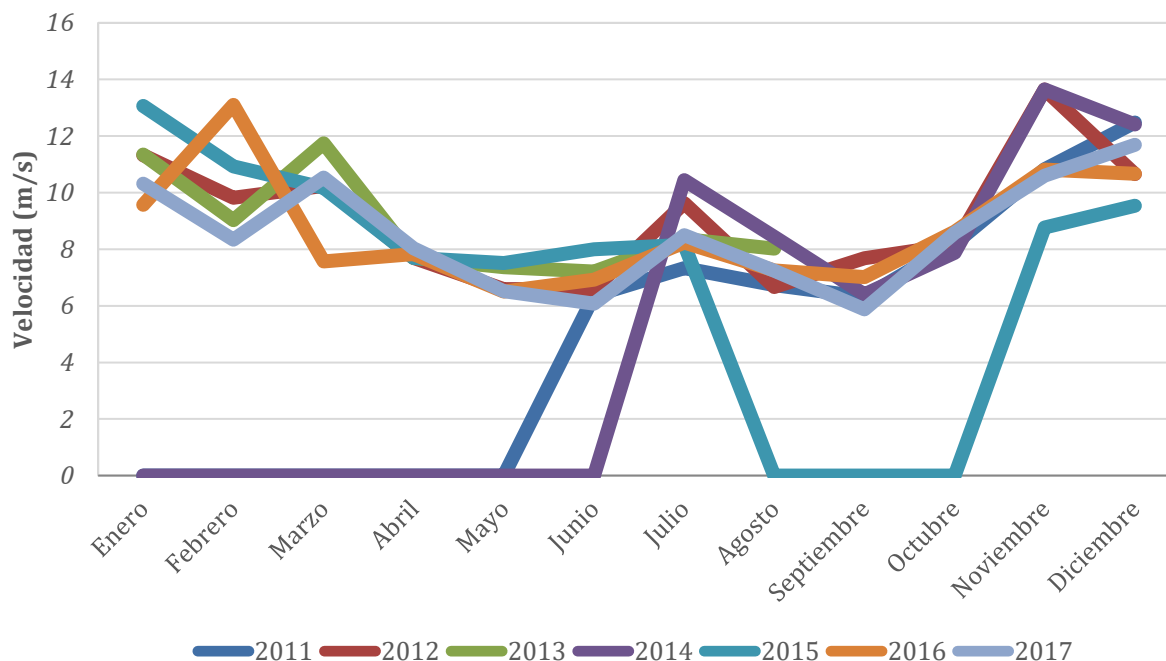
Tabla 16: Aprovechamiento 2017. Fuente: DER-DGE



7.2. Resumen de la velocidad promedio anual

En la gráfica 13 se observa la tendencia de la velocidad de viento para cada año, teniendo en cuenta que existieron algunos meses en los cuales no hubo un registro de medición de la misma; es importante mencionar que a partir del año 2015 los datos utilizados fueron los registrados por el anemómetro instalado a 40 metros.

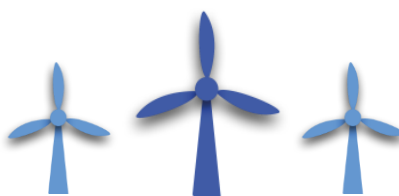
Resumen de Velocidad Promedio - El Sitio 2011 al 2017.



Gráfica 13: Resumen de Velocidad de viento.

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 2016 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 2012 y 2014.

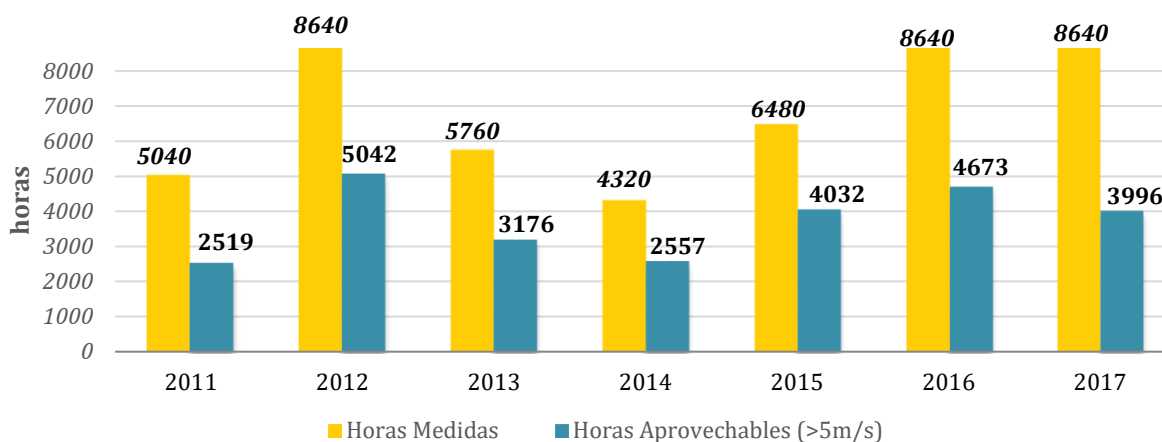


7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento

En la gráfica 14 se muestra la comparación entre las horas medidas de cada año y las horas definidas como aprovechables para el análisis.

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 este límite comienza a ser significativo en el funcionamiento del aerogenerador.

Resumen de Horas Medidas y Horas Aprovechables - El Sitio 2011 al 2017.



Gráfica 14: Resumen horas medidas y aprovechables.

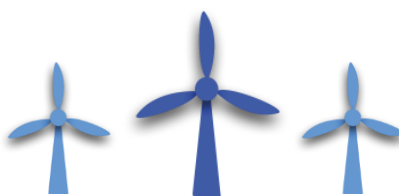
Fuente: DER-DGE

Como se observa en la Tabla 17 se midieron en total 47,520 horas, de las cuales se obtuvo un aprovechamiento con promedios de velocidades por encima de 5 m/s de 25,994 horas, lo que significa un porcentaje de 54.70% de aprovechamiento del recurso eólico. El año con mejor aprovechamiento del recurso medido fue el 2015, con un 62.22 % de aprovechamiento, teniendo en cuenta que no fueron registrados mediciones en los meses de agosto, septiembre y octubre.

AÑO	Horas Medidas	Horas medidas Aprovechables	Porcentaje de Aprovechamiento
2011	5040	2519	49.99%
2012	8640	5042	58.35%
2013	5760	3176	55.13%
2014	4320	2557	59.19%
2015	6480	4032	62.22%
2016	8640	4673	54.08%
2017	8640	3996	46.25%
TOTAL	47520	25994	54.70%

Tabla 17: Horas medidas y aprovechables.

Fuente: DER-DGE



8. Estimación de la Energía

Para calcular la energía que se puede aprovechar por mes, se utilizó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

E: Energía del mes [Gwh]

K: coeficiente de potencia

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

S: Área de barrido $[m^2]$

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

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 del 59 % que es la 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 #18.

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

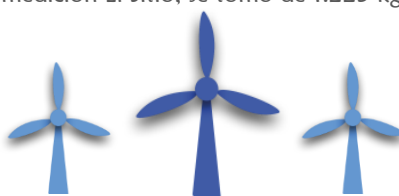
Tabla 18: Aerogenerador Vestas.

Fuente: DER-DGE

Los siguientes gráficos muestran valores estimados de la **Energía Total** y la **Energía de la Velocidad Promedio**. La Energía Total corresponde a la sumatoria de toda la energía obtenida durante el mes, la cual es calculada por medio de la formula [1] utilizando el valor de velocidad de viento promedio diaria, mientras que la Energía de la Velocidad Promedio es el resultado de la energía obtenida por medio de la formula [1], utilizando la velocidad promedio del mes para el cálculo.

El propósito de la comparación de ambos cálculos de energía tiene como finalidad mostrar que al calcular la energía existe una diferencia si se calcula con la velocidad promedio diaria y si el cálculo se hace con la velocidad promedio mensual.

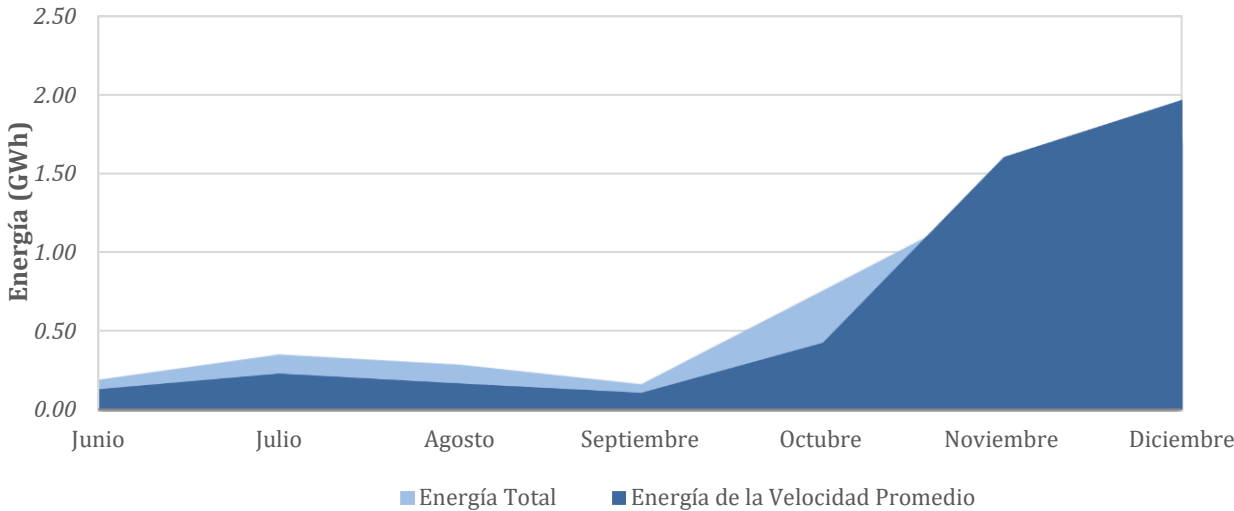
² La densidad del viento para el punto de medición El Sitio, se tomó de 1.225 kg/m³.





Para el año 2011, se observa en la gráfica 16 que los meses con mayor valor de energía estimada se dan en el último trimestre del año, teniendo en cuenta que los primeros tres meses no se registraron medidas.

Energía - El Sitio 2011.



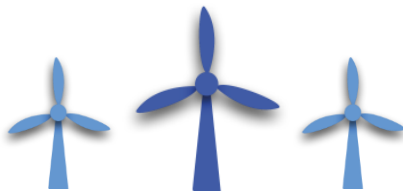
Gráfica 15: Energía 2011.

Fuente: DER-DGE

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	-	-	-	-	-	0.13	0.23	0.16	0.11	0.42	1.60	1.96
ENERGIA TOTAL (GWh)	-	-	-	-	-	0.19	0.38	0.29	0.16	0.75	1.35	1.73

Tabla 19: Energía 2011.

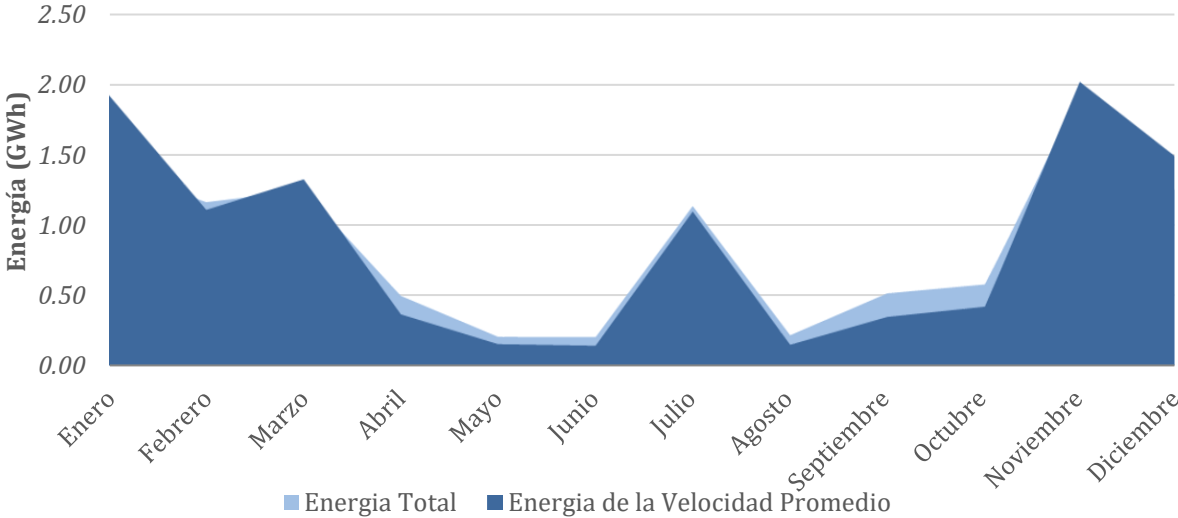
En la tabla 19 se puede observar los valores de energía estimada aprovechable en el emplazamiento donde se encuentra instalada la estación de medición. No existen datos registrados del mes de enero al mes de abril, debido a que la torre fue instalada el 17 de mayo de 2011.





Para el año 2012 se observa en la gráfica 16 que los meses de enero, febrero, marzo, julio, noviembre y diciembre representan un mayor potencial de recurso eólico, por consiguiente, más posibilidad de generación de energía eléctrica.

Energía - El Sitio 2012.



Gráfica 16: Energía 2012.

Fuente: DER-DGE

Los valores de energía aprovechable se pueden observar en la tabla 20.

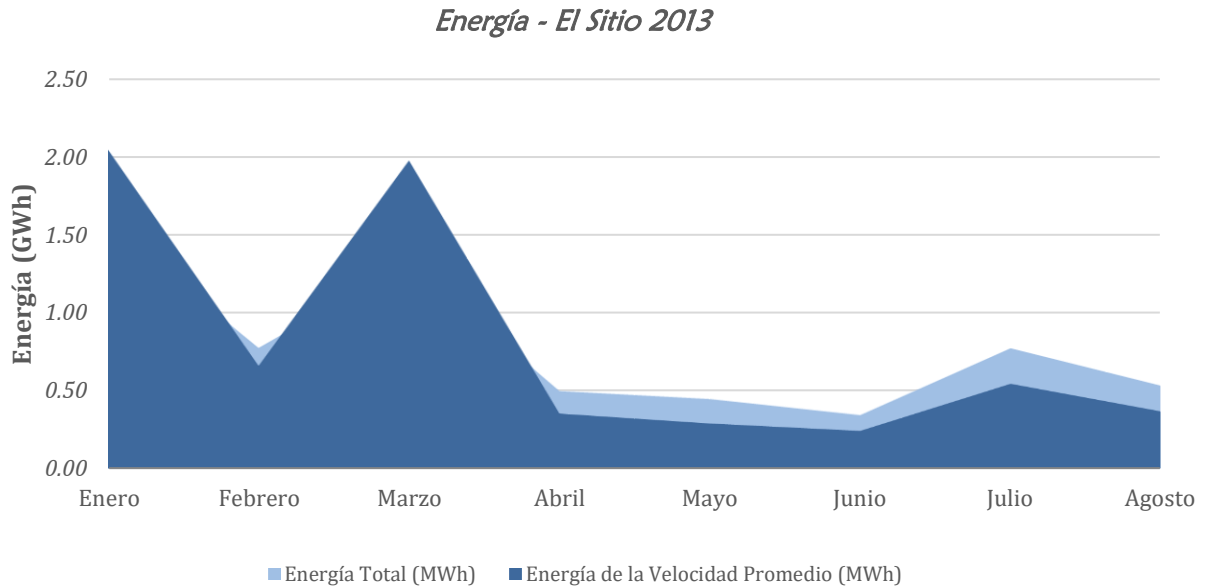
	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	1.92	1.11	1.32	0.37	0.15	0.14	1.10	0.15	0.35	0.42	2.02	1.49
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.41	1.16	1.25	0.50	0.21	0.20	1.14	0.22	0.52	0.58	1.93	1.25

Tabla 20: Energía 2012.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2013 se registran valores altos de energía estimada aprovechable en los meses de enero y marzo.



Gráfica 17: Energía 2013.

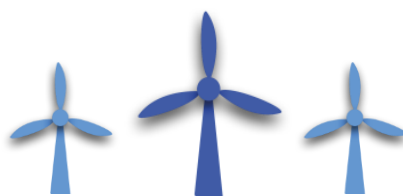
Fuente: DER-DGE

A partir del mes de septiembre no se registraron mediciones debido a problemas en el registrador de datos. Los valores de energía para el año 2013 se pueden observar en la tabla 21.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	2.05	0.66	1.98	0.35	0.29	0.24	0.54	0.37	-	-	-	-
ENERGIA TOTAL (GWh)	1.56	0.77	1.32	0.5	0.45	0.34	0.77	0.53	-	-	-	-

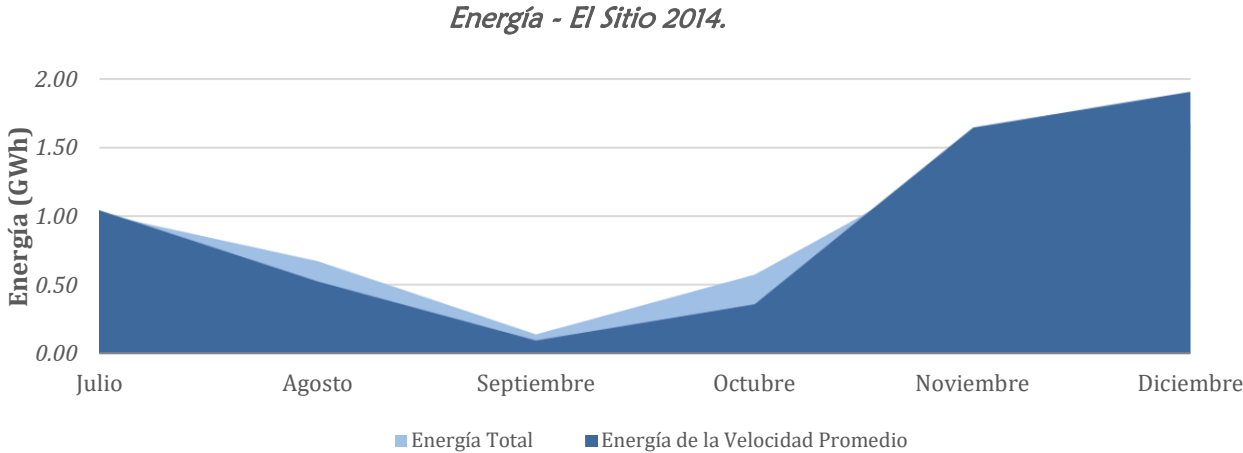
Tabla 21: Energía 2013.

Fuente: DER-DGE





Para el año 2014 se reanudaron las mediciones en el mes de julio, se obtuvo como resultado que los meses con mayor estimación de energía aprovechable son noviembre y diciembre., como se observa en la gráfica 18.



Gráfica 18: Energía 2014.

Fuente: DER-DGE

En la tabla 22 se observan los valores de estimación de energía aprovechable en el emplazamiento para el 2014.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	-	-	-	-	-	-	1.04	0.52	0.09	0.36	1.64	1.90
ENERGIA TOTAL(GWh)	-	-	-	-	-	-	1.02	0.67	0.14	0.57	1.45	1.67

Tabla 22: Energía 2014.

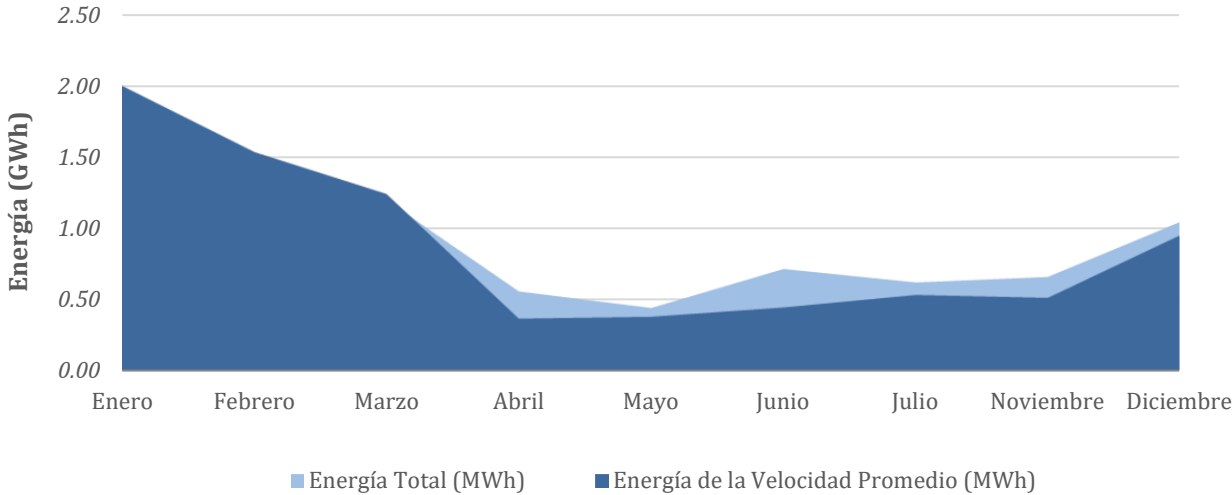
Fuente: DER-DGE





Para el año 2015 se observa en la gráfica 19 que el primer trimestre muestra un porcentaje alto de energía aprovechable; a diferencia de años anteriores la energía aprovechable en el último trimestre del año 2015 muestra un valor inferior.

Energía - El Sitio 2015.



Gráfica 19: Energía 2015.

Fuente: DER-DGE

En los meses de agosto, septiembre y octubre no se registraron mediciones; en la tabla 23 se pueden observar los valores de energía aprovechable para el año 2015.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	2.00	1.53	1.24	0.36	0.38	0.44	0.53	-	-	-	0.51	0.95
ENERGIA TOTAL(GWh)	1.88	1.19	1.20	0.56	0.44	0.76	0.62	-	-	-	0.66	1.04

Tabla 23: Energía 2015.

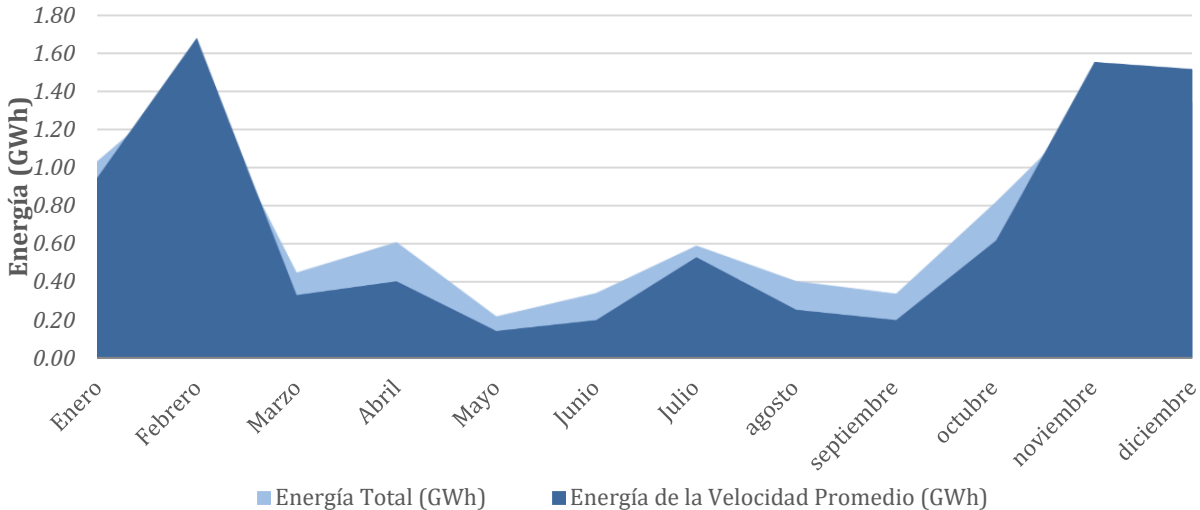
Fuente: DER-DGE





Para el año 2016 se observa en la gráfica 20 que la energía aprovechable es mayor en el primer y cuarto trimestre del año.

Energía - El Sitio 2016.



Gráfica 20: Energía 2016.

Fuente: DER-DGE

En la tabla 24 se observa los valores de la energía estimada aprovechable.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	0.95	1.68	0.33	0.40	0.14	0.20	0.53	0.25	0.20	0.62	1.55	1.52
ENERGIA TOTAL (GWh)	1.03	1.48	0.45	0.61	0.22	0.34	0.59	0.41	0.34	0.82	1.33	1.34

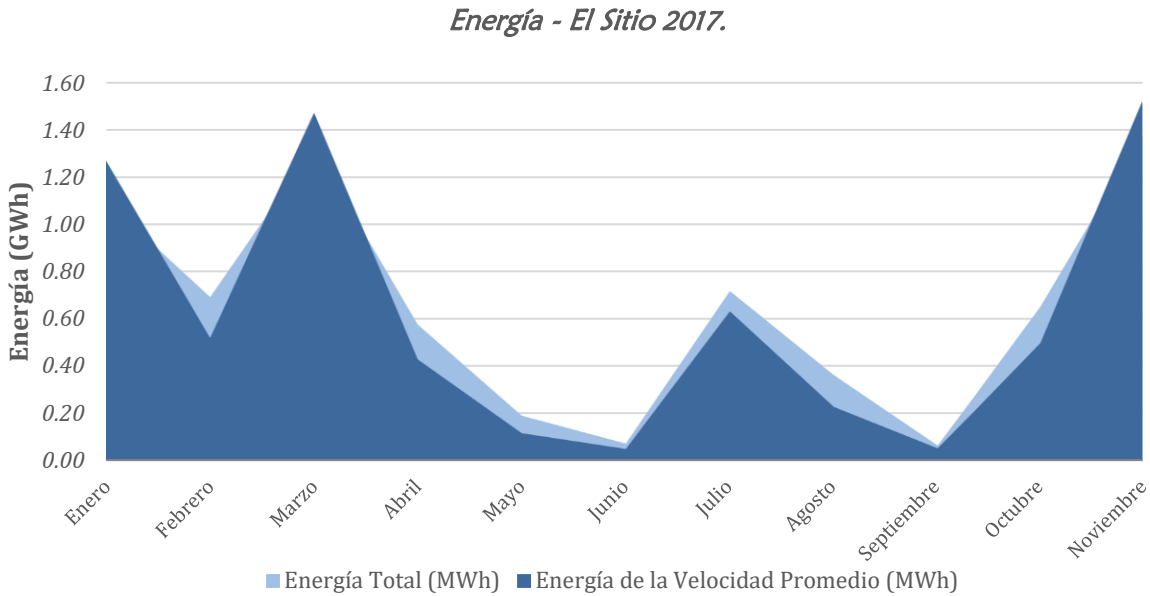
Tabla 24: Energía 2016.

Fuente: DER-DGE





Para el año 2017 se observa en la gráfica 21 que los meses con mayor energía aprovechable son enero, marzo y noviembre.



Gráfica 21: Energía 2017.

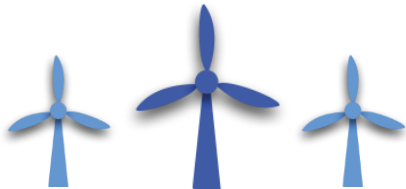
Fuente: DER-DGE

En el mes de diciembre no se registraron datos de velocidad del viento, y por lo tanto no se estimaron cálculos de energía para dicho mes; los valores estimados de la energía aprovechable se pueden observar en la tabla 25.

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO(GWh)	1.27	0.52	1.47	0.43	0.12	0.05	0.63	0.23	0.05	0.50	1.52	-
ENERGIA TOTAL(GWh)	1.10	0.69	1.33	0.58	0.19	0.07	0.72	0.36	0.06	0.65	1.38	-

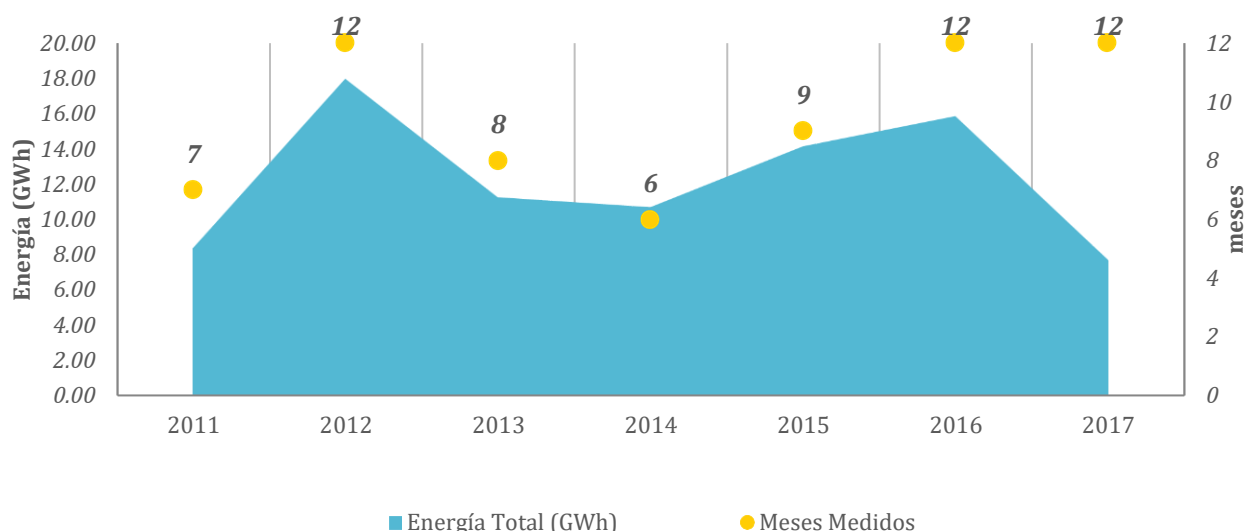
Tabla 25: Energía 2017.

Fuente: DER-DGE



8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólico El Sitio

Resumen Energía 2011 – 2017.



Gráfica 22: Resumen Energía.

Fuente: DER-DGE

La grafica 22 muestra el resumen de energía estimada desde el año 2011 (comienzos de la medición) hasta el año 2017.

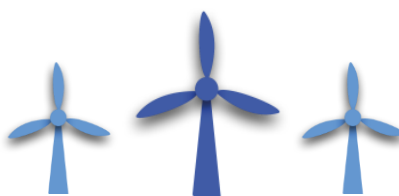
Los puntos amarillos indican la cantidad de meses medidos durante determinado año. La finalidad de colocar este dato en el gráfico radica en demostrar que no necesariamente un año estuvo por debajo de algún otro año en específico, si no que el hecho de no contar con la misma cantidad de información para todos los años puede afectar visualmente la gráfica.

La tabla 26 muestra la energía que se obtendría en la finca El Sitio, siendo un total de 51.99 GWh durante 66 meses de mediciones.

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Energía Total (GWh)	4.90	10.35	6.24	5.53	8.31	8.99	7.67	51.99

Tabla 26: Resumen Energía.

Fuente: DER-DGE

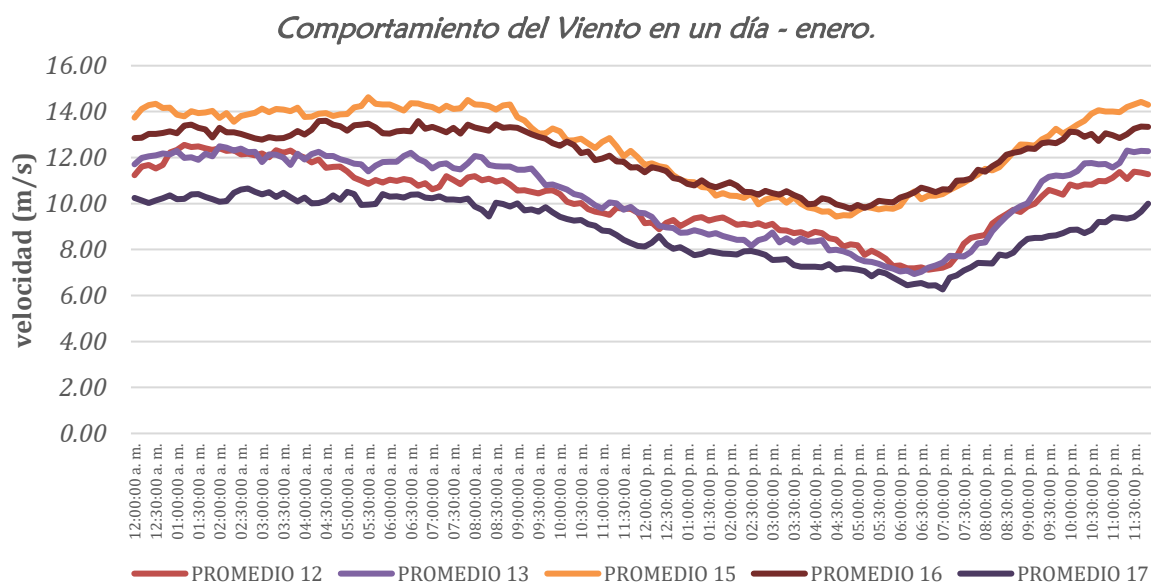


9. Comportamiento de la Velocidad de Viento

En esta sección se realizó un análisis para determinar cuál es la tendencia a lo largo del día en un determinado mes de la velocidad de viento en el emplazamiento, donde está ubicada la estación de medición, dentro de éstos se muestran los mejores promedios de velocidad de viento, los mejores porcentajes de aprovechamiento y por ende la mayor cantidad de energía posible.

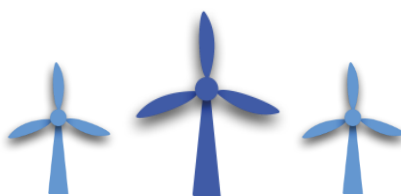
9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero.

En la gráfica se observa el comportamiento de la velocidad promedio de viento para cada año en el mes de enero.

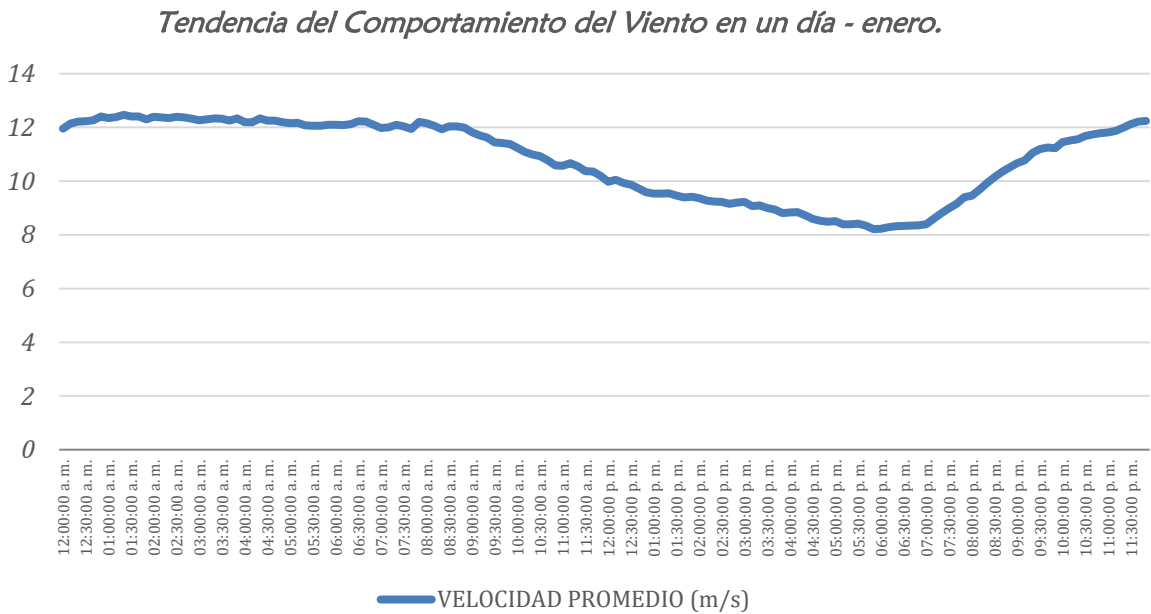


Gráfica 23: Comportamiento del Viento – enero.

Fuente: DER-DGE

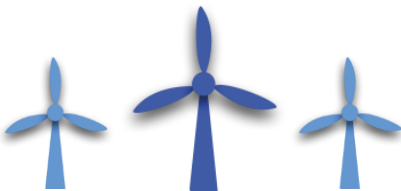


En la gráfica 24 se muestra el promedio del comportamiento de la velocidad del viento para los 5 años de medición, y se observa que a partir de las 12:00 a.m. la velocidad de viento se encuentra en su pico máximo manteniendo un valor estable hasta las 8:40 am por encima de los 12 m/s, la velocidad de viento empieza a descender hasta alcanzar su punto mínimo aproximadamente a las 6:00 pm (8.2 m/s), para nuevamente ascender alcanzando velocidades arriba de los 12 m/s. Es importante mencionar que en este mes la velocidad mínima de viento registrada es excelente para la generación.



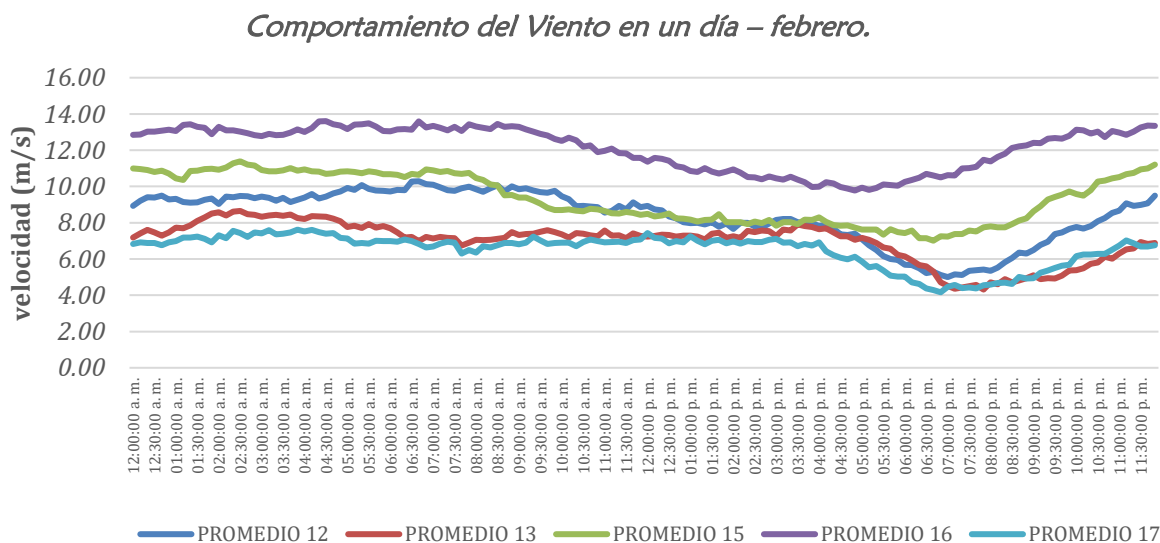
Gráfica 24: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento enero.

Fuente: DER-DGE



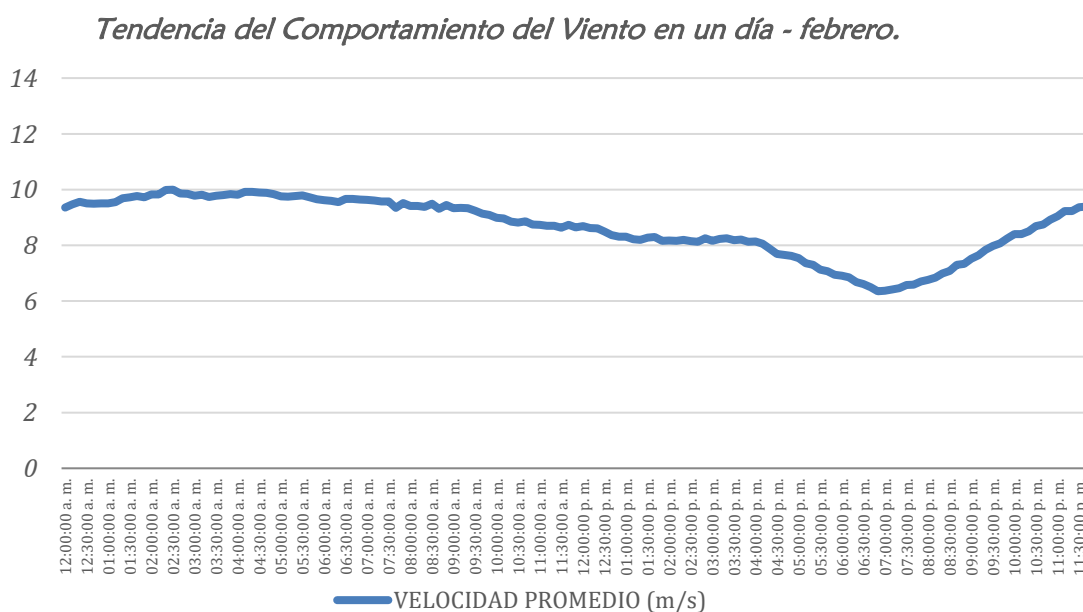
9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.

Para el mes de febrero la velocidad de viento a partir de las 12:00 am se mantiene en un valor alto y estable cercano a 10 m/s, posteriormente la velocidad desciende hasta alcanzar un valor mínimo (6 m/s) aproximadamente a las 6:40 pm, para luego comenzar a ascender hasta estabilizarse en un valor de velocidad alto.



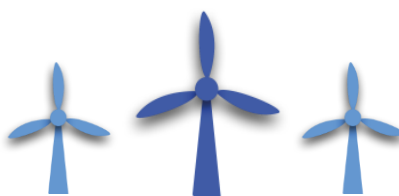
Gráfica 25: Comportamiento del Viento – febrero.

Fuente: DER-DGE



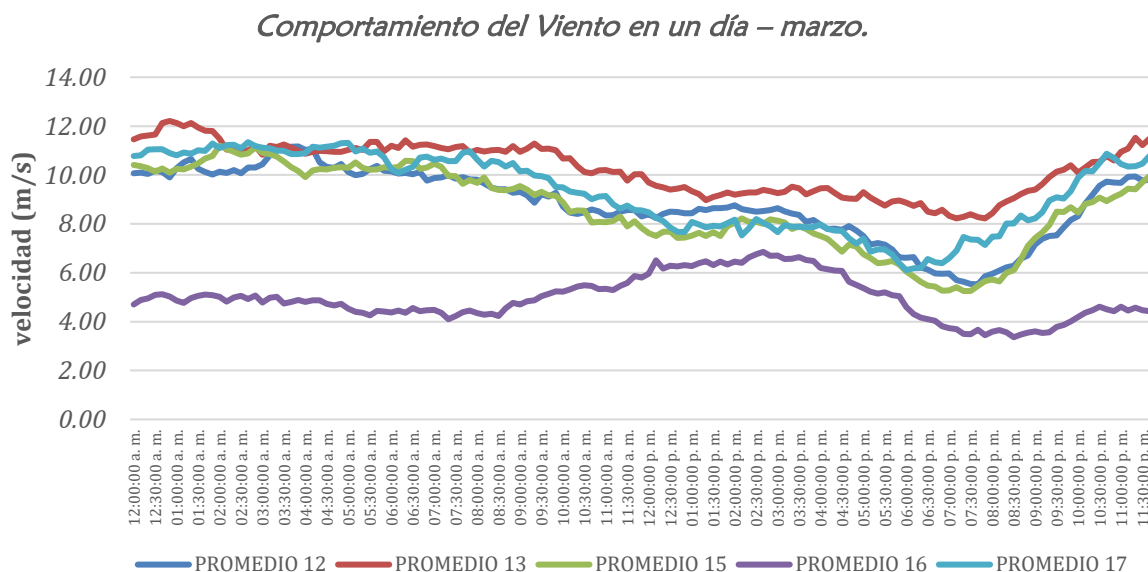
Gráfica 26: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento febrero.

Fuente: DER-DGE



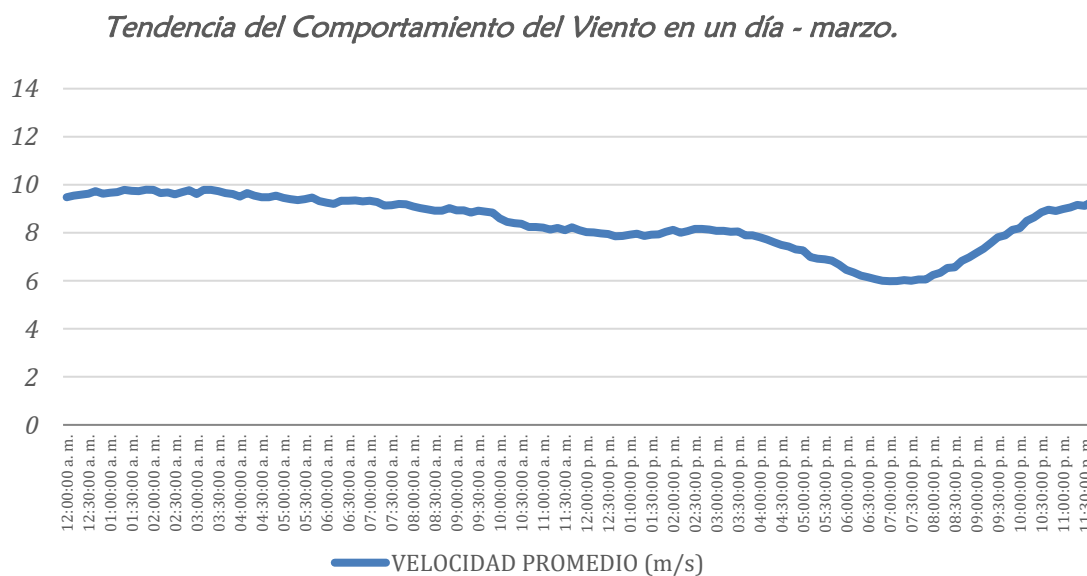
9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo.

La tendencia de la velocidad de viento para marzo, a partir de las 12:00 am se mantiene estable iniciando a descender moderadamente a partir de las 10:10 am, alcanzando un valor mínimo a las 7:20 pm; para posteriormente aumentar su valor a una velocidad de viento arriba de los 8 m/s. Es importante mencionar que el comportamiento diario de la velocidad del viento para marzo 2016 fue atípico y muy diferente a los años en estudio.



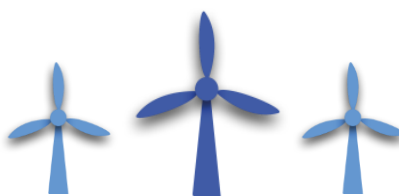
Gráfica 27: Comportamiento del Viento - marzo.

Fuente: DER-DGE



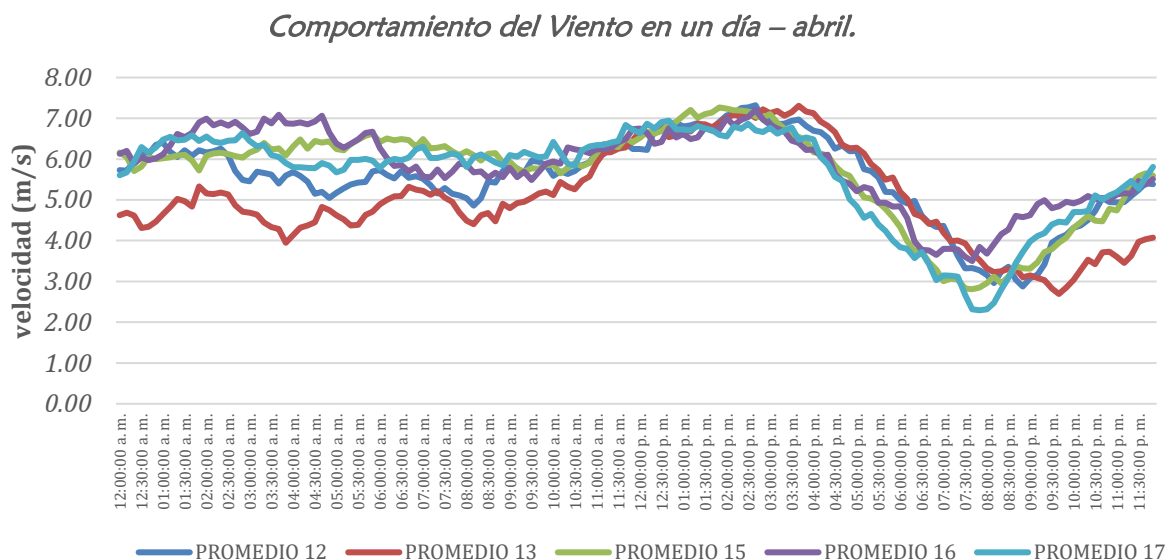
Gráfica 28: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento marzo.

Fuente: DER-DGE



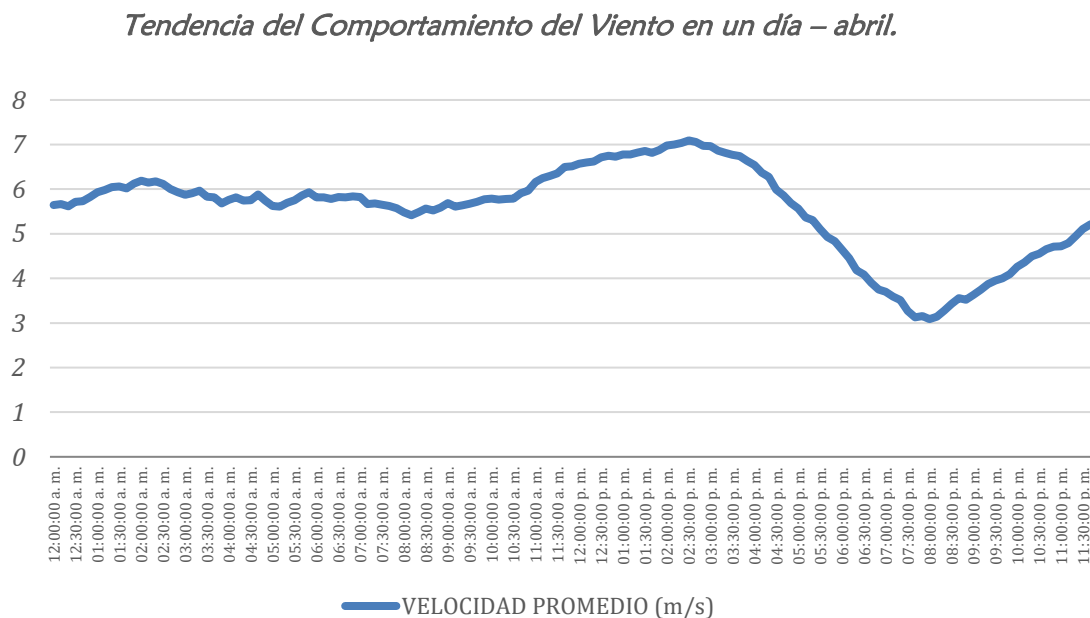
9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril.

En abril el viento se mantiene con un comportamiento estable desde las 12:00 am hasta las 2:40 pm donde empieza a descender hasta llegar a su punto mínimo alrededor de las 7:40 pm donde inicia a ascender. Cabe resaltar que el mes de abril presenta velocidades más bajas respecto a los meses anteriores.



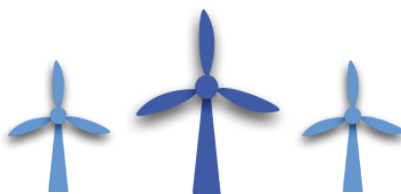
Gráfica 29: Comportamiento del Viento - abril.

Fuente: DER-DGE



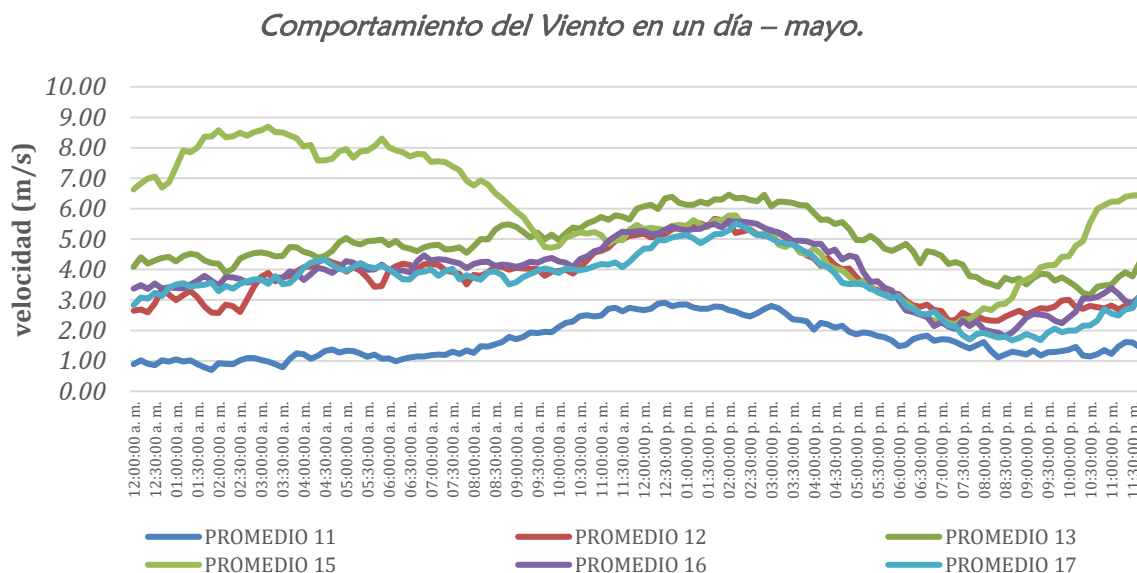
Gráfica 30: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento abril.

Fuente: DER-DGE



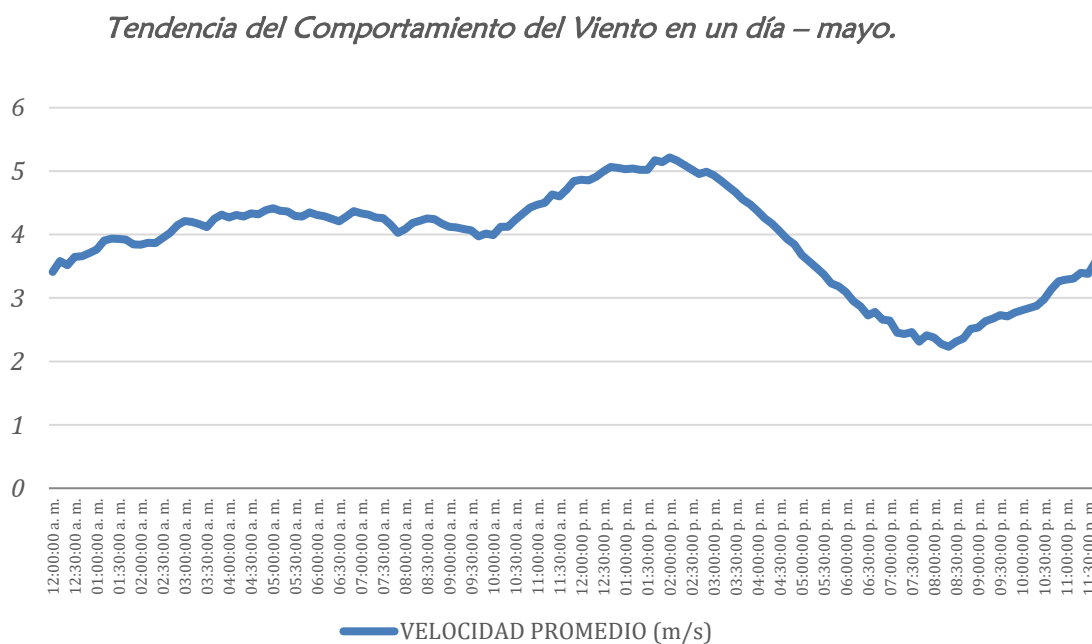
9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo.

Mayo presenta una velocidad promedio baja respecto a otros meses de mejor potencial en el estudio, por ello la tendencia del comportamiento del viento presenta mayor fluctuación, de las 12:00 am para las 10:00 am la velocidad se mantiene estable y comienza a descender alrededor de la 1:20 pm hasta llegar a su punto mínimo a las 8:20 pm.



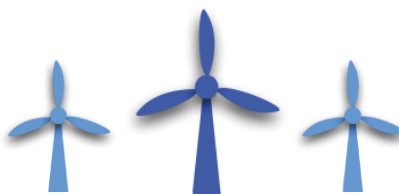
Gráfica 31: Comportamiento del Viento - mayo.

Fuente: DER-DGE



Gráfica 32: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento mayo.

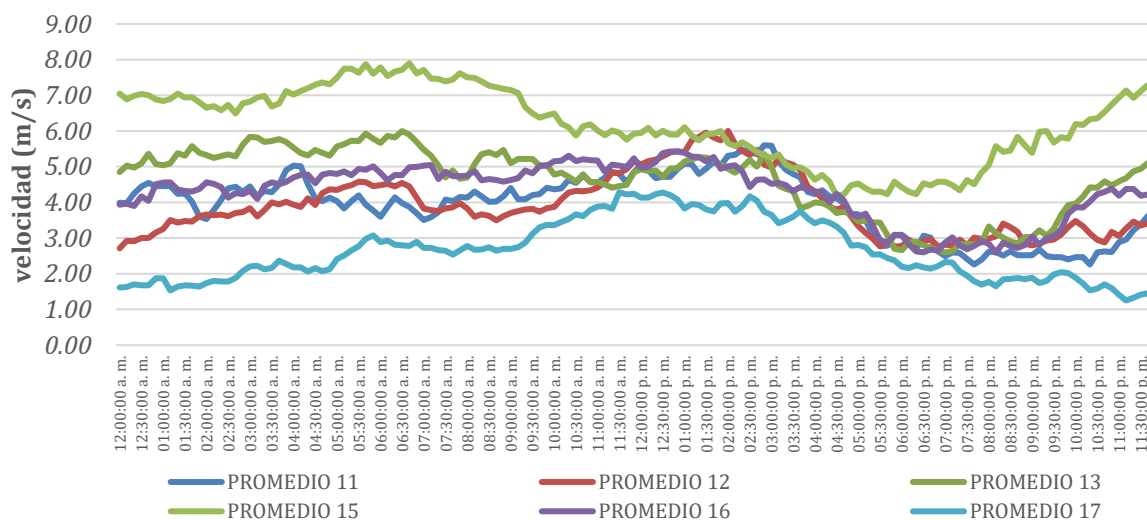
Fuente: DER-DGE



9.6. Comportamiento de la Velocidad de viento en junio.

En junio la tendencia del comportamiento del viento es similar a la de los meses anteriores, pero en este se presenta velocidades menores comparados con otros meses como octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. A las 12:00 am la velocidad se mantiene estable hasta las 2:30 pm donde empieza a descender hasta alcanzar su valor mínimo a las 7:00 pm para posteriormente iniciar el ascenso.

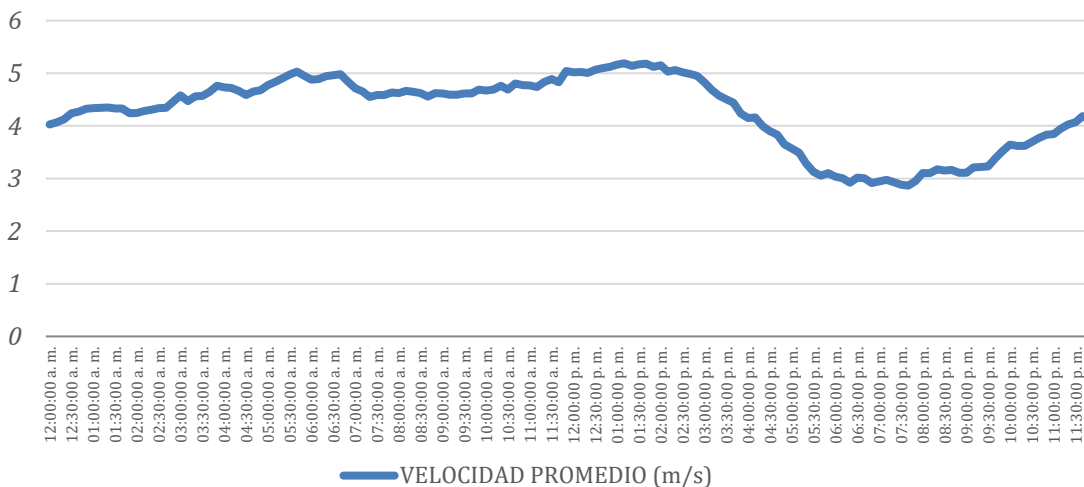
Comportamiento del Viento en un día – junio.



Gráfica 33: Comportamiento del Viento - junio.

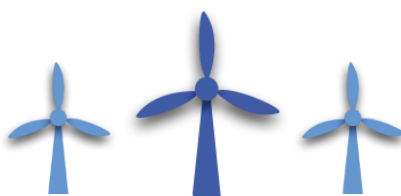
Fuente: DER-DGE

Tendencia del Comportamiento del Viento en un día – junio.



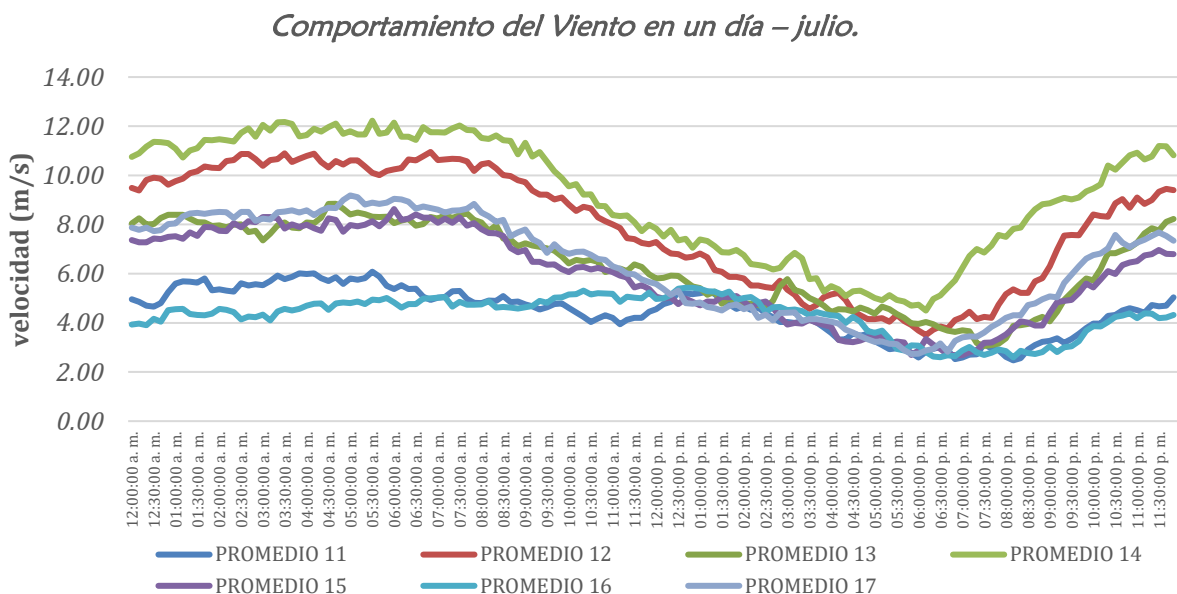
Gráfica 34: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento junio.

Fuente: DER-DGE



9.7. Comportamiento de la Velocidad de viento en julio.

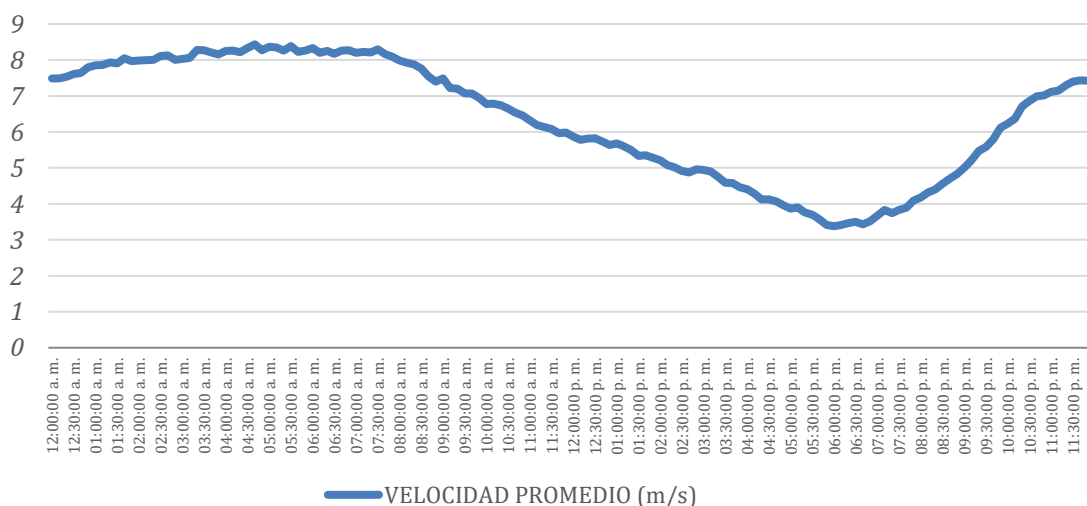
En el mes de julio el comportamiento es, a las 12:00 am se mantiene la velocidad en valores estables hasta las 8:40 am, hora donde empieza a descender progresivamente hasta alcanzar su valor mínimo a las 6:30 pm donde comienza a ascender hasta estabilizarse nuevamente.



Gráfica 35: Comportamiento del Viento - julio.

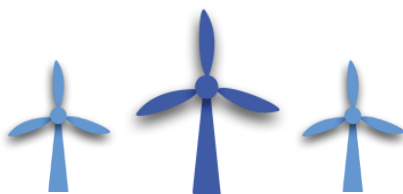
Fuente: DER-DGE

Tendencia del Comportamiento del Viento en un día – julio.



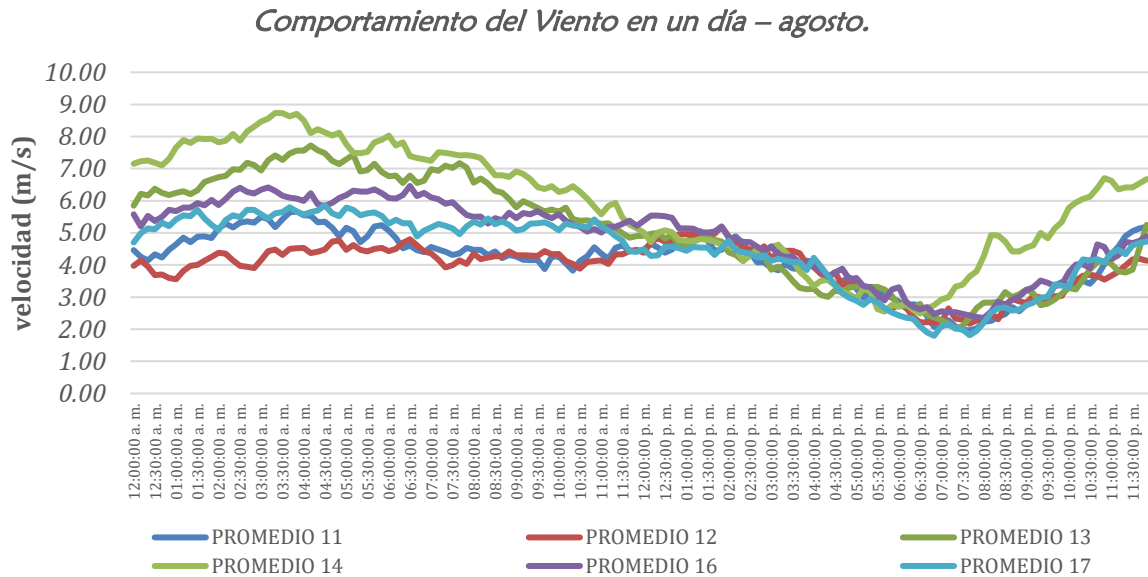
Gráfica 36: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento julio.

Fuente: DER-DGE



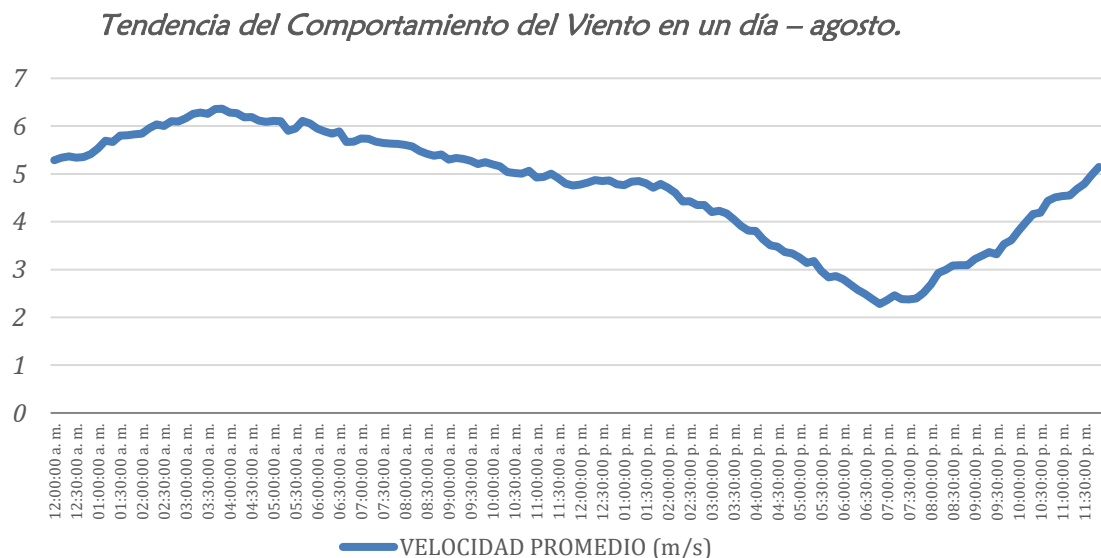
9.8. Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto.

Para el mes de agosto, a las 12:00 am la velocidad se mantiene en un ascenso suave hasta las 2:30 am donde comienza a descender de manera lenta y progresiva a lo largo del día, hasta llegar a su punto mínimo a las 6:40 pm, hora en donde comienza a ascender nuevamente.



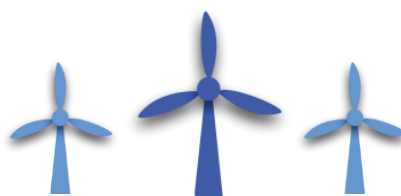
Gráfica 37: Comportamiento del Viento - agosto.

Fuente: DER-DGE



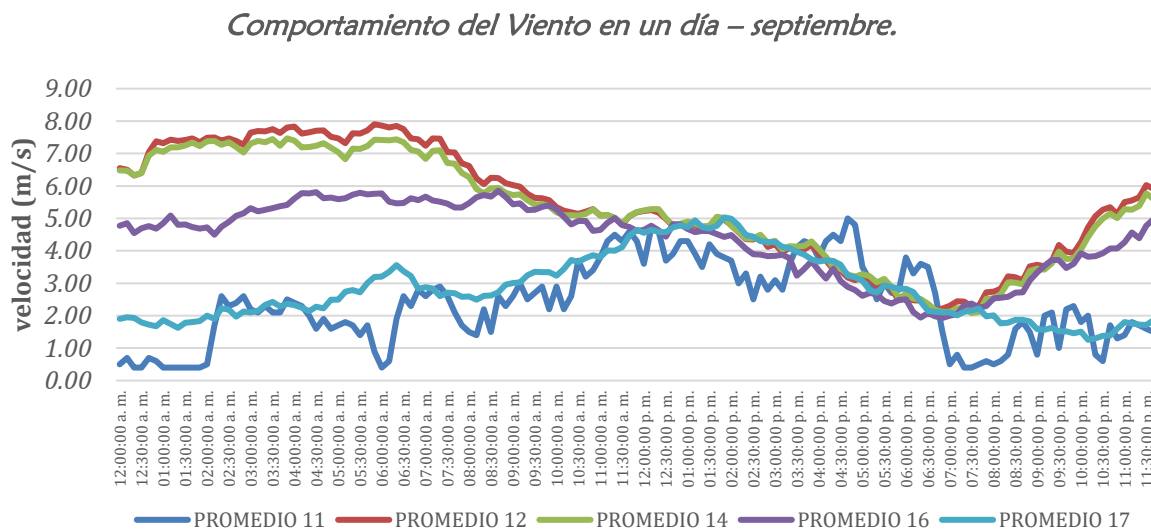
Gráfica 38: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento agosto.

Fuente: DER-DGE



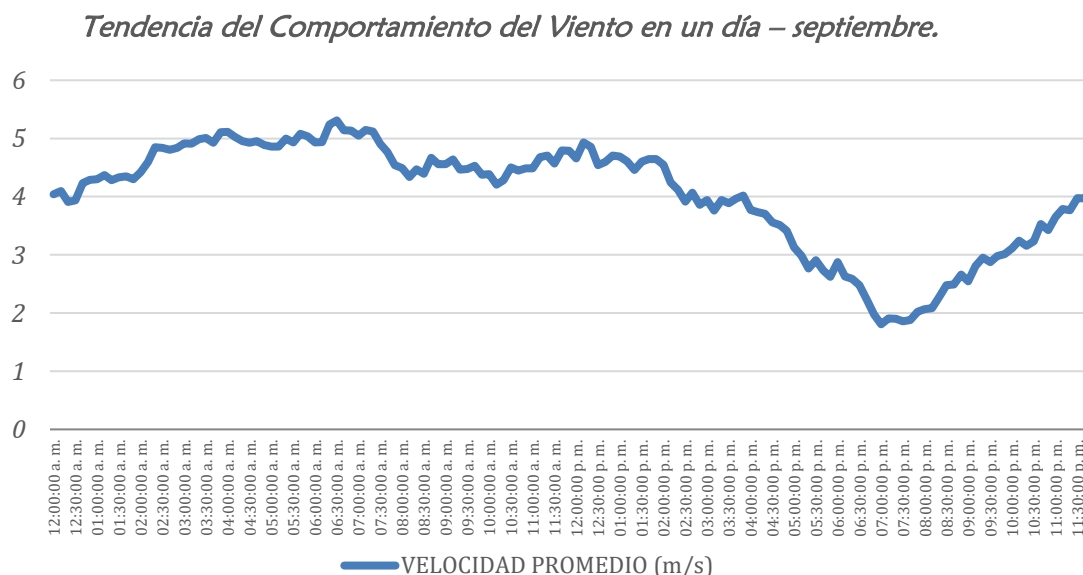
9.9. Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre.

Para el mes de septiembre, el viento a las 12:00 am se mantiene en un rango de valores de velocidad constantes hasta las 12:00 pm donde comienza a descender progresivamente hasta alcanzar su punto mínimo a las 6:50 pm, para posteriormente iniciar a ascender.



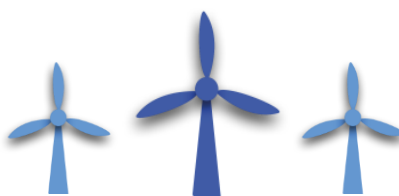
Gráfica 39: Comportamiento del Viento - septiembre.

Fuente: DER-DGE



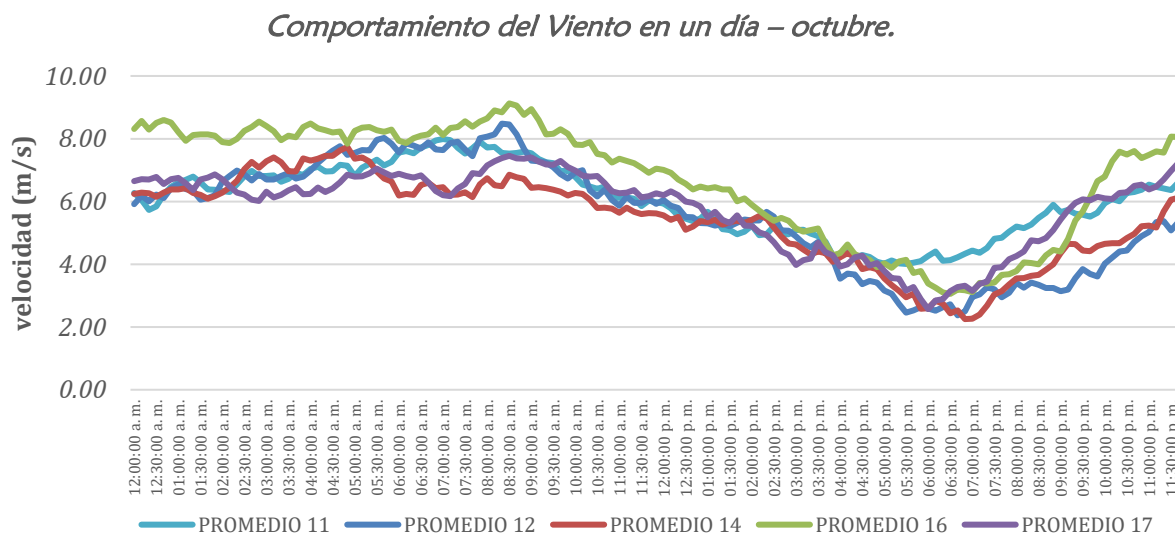
Gráfica 40: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento septiembre.

Fuente: DER-DGE



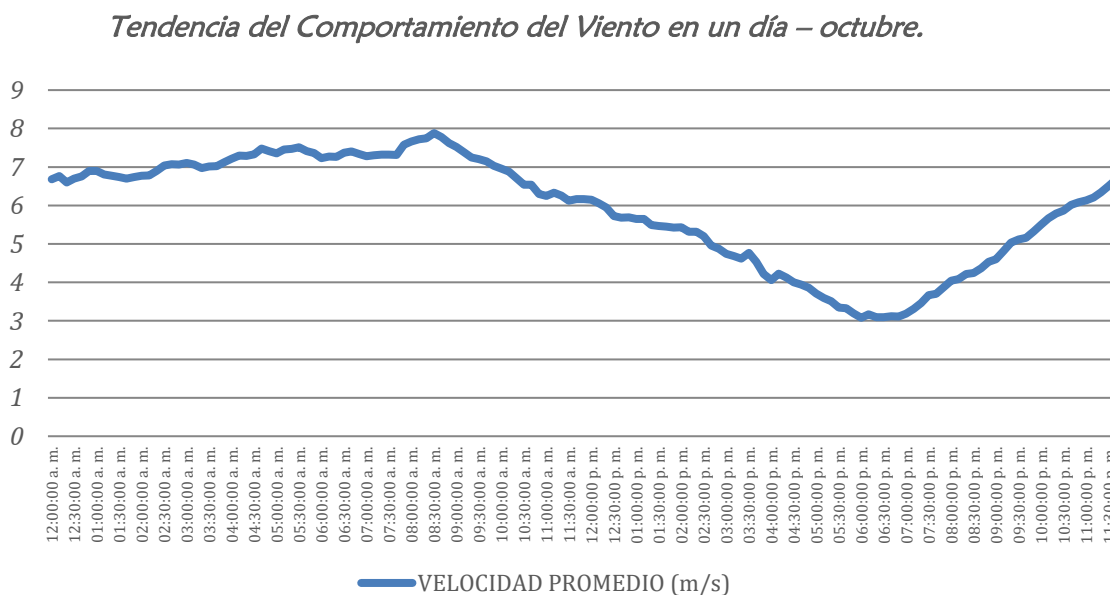
9.10. Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre.

El comportamiento de la velocidad de viento a partir de las 12:00 am mantiene un valor promedio por encima de los 6 m/s manteniéndose estable hasta las 11:20 am, para luego descender hasta alcanzar un valor mínimo 3 m/s a las 6:20 pm, posteriormente comienza a ascender hasta alcanzar valores promedio de velocidad de viento por encima de los 6 m/s.



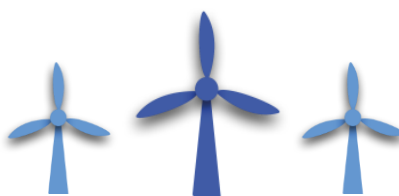
Gráfica 41: Comportamiento del Viento - octubre.

Fuente: DER-DGE



Gráfica 42: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento octubre.

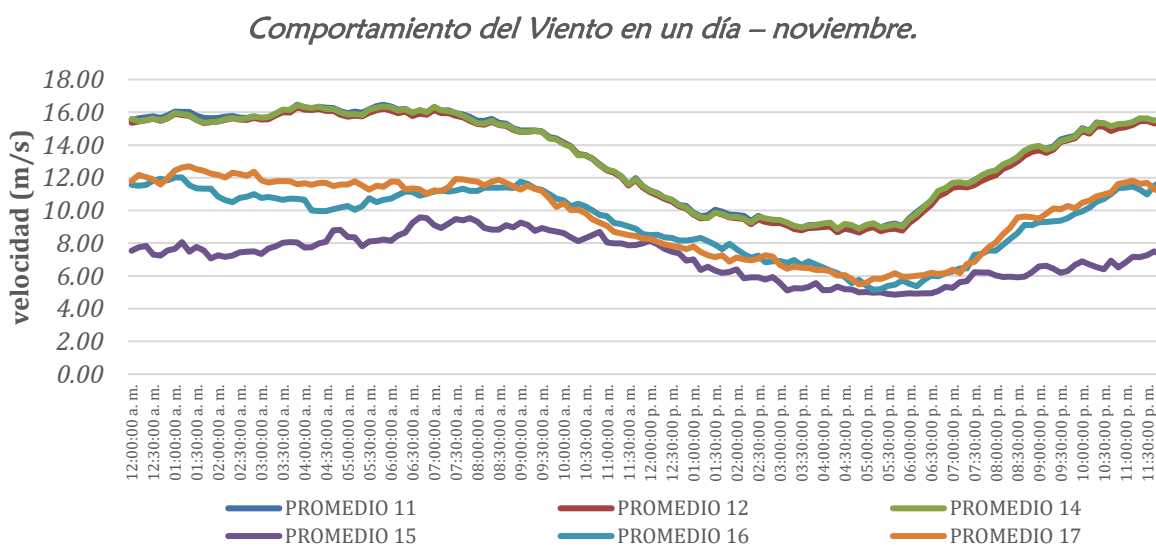
Fuente: DER-DGE



9.11. Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre.

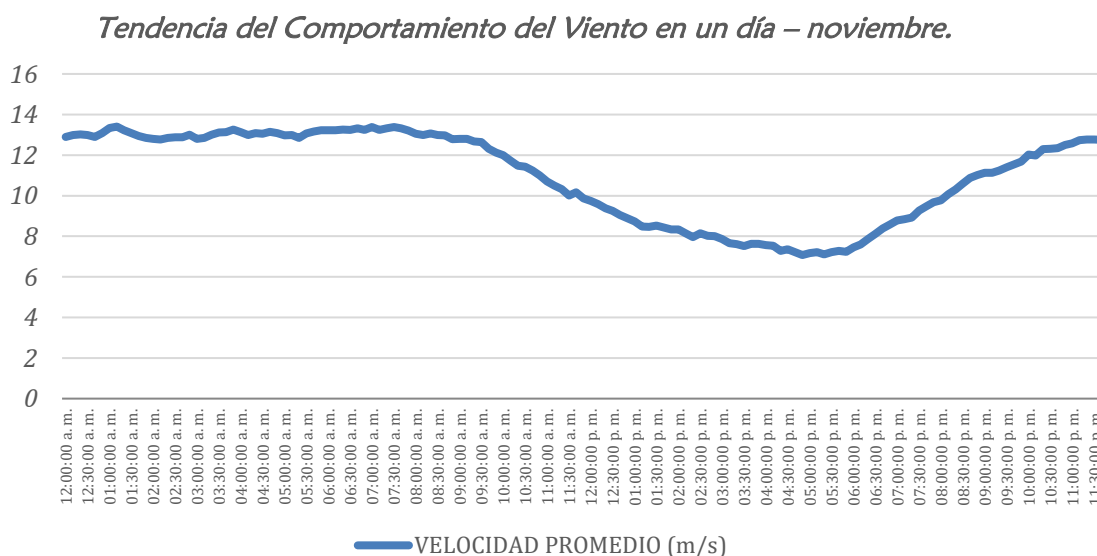
Para el mes de noviembre, como se observa en la gráfica de comportamiento, existe variación en los valores de velocidad de viento registrada para cada año, es importante mencionar que la tendencia a lo largo del día muestra el mismo comportamiento para cada año.

La velocidad de viento a partir de las 12:00 am se mantiene en un valor constante hasta llegar a las 2:00 pm donde su valor comienza a descender a valores más bajos de los 8m/s, para llegar a su valor mínimo a las 5:20 pm, posteriormente empieza a ascender nuevamente para permanecer en un valor arriba de los 10 m/s.



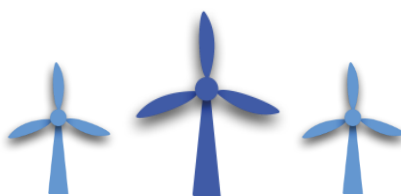
Gráfica 43: Comportamiento del Viento noviembre.

Fuente: DER-DGE



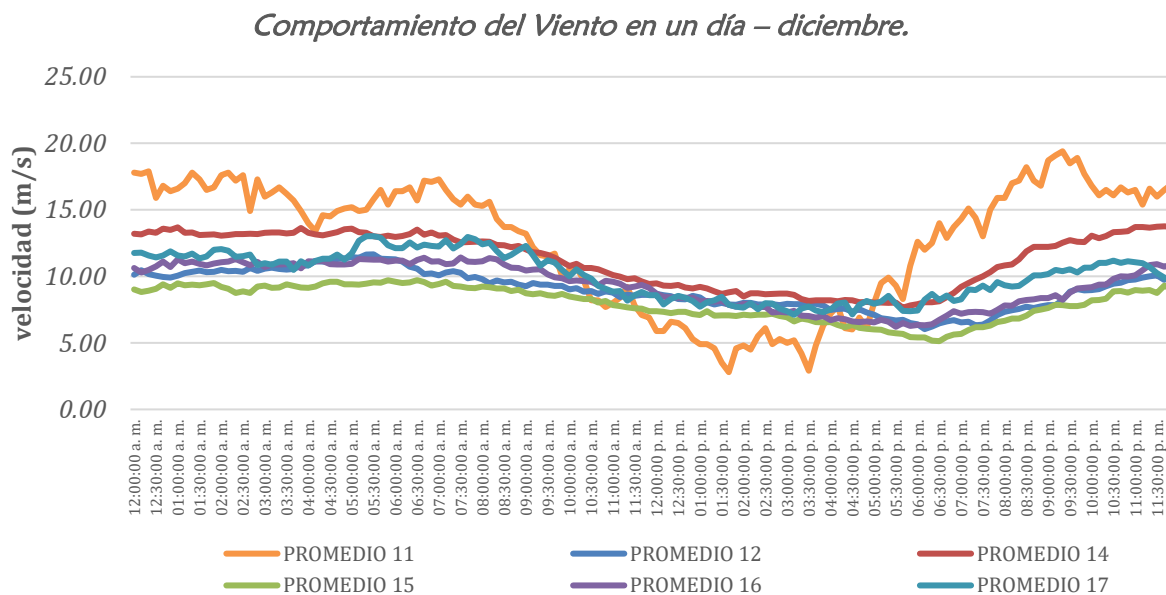
Gráfica 44: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento noviembre.

Fuente: DER-DGE



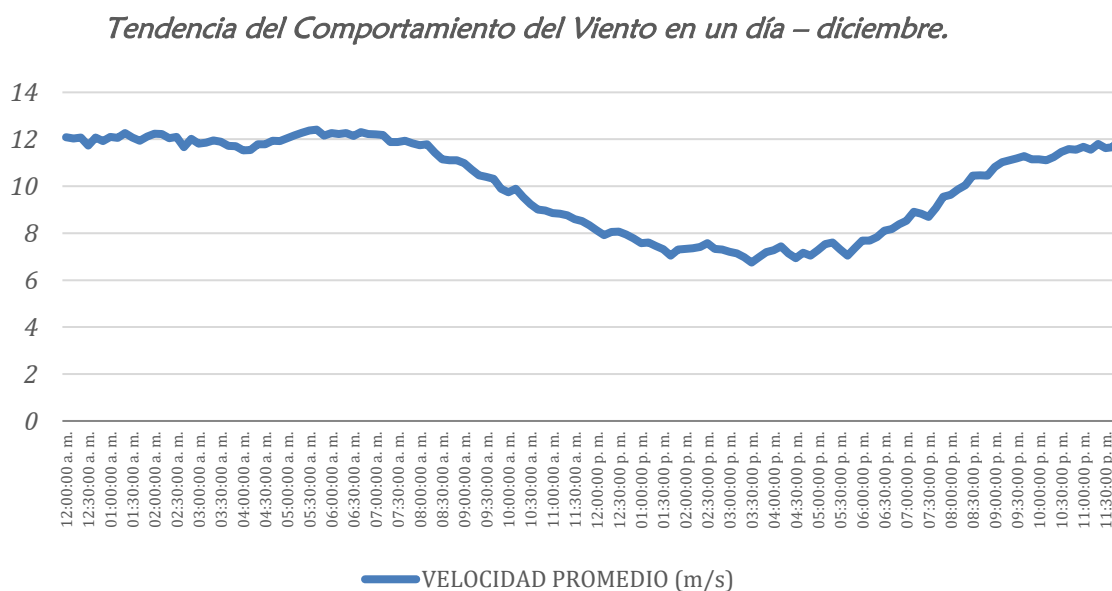
9.12. Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre.

Para este mes, el comportamiento de la velocidad de viento permanece con valores por encima de los 8 m/s desde las 12:00 am hasta las 12:20 pm, donde sus valores comienzan a descender hasta alcanzar su valor mínimo a las 3:20 pm, para luego aumentar nuevamente hasta alcanzar velocidades arriba de los 9 m/s.



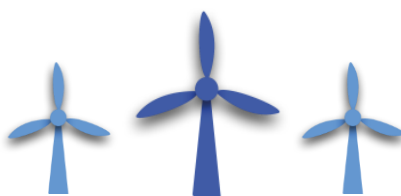
Gráfica 45: Comportamiento del Viento diciembre.

Fuente: DER-DGE



Gráfica 46: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento diciembre.

Fuente: DER-DGE



10. Análisis de los Gases de Efecto Invernadero evitadas en el Emplazamiento

Las emisiones equivalentes de CO₂ que se evitarían al generar energía eléctrica por medio del recurso eólico en el país, las cuales fueron calculadas en base a la energía estimada, se muestran en las siguientes tablas:

AÑO	CARBON MINERAL		
	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION ³ [Kg CO ₂ e / KWh]	EMISIONES [Kg CO ₂ e]
2011	4,902,572.71	1.1932	5,849,749.76
2012	10,353,658.26	1.3629	14,111,000.85
2013	6,237,954.60	1.3738	8,569,702.03
2014	5,531,918.71	1.3273	7,342,515.70
2015	8,311,610.13	1.3074	10,866,599.08
2016	8,985,396.94	1.3173	11,836,463.39
2017	7,667,634.20	1.2617	9,674,254.07
TOTAL	51,990,745.56		68,250,284.88

Tabla 27: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.

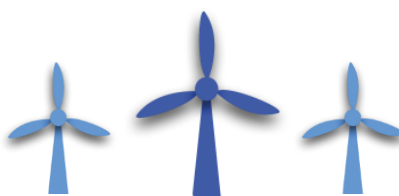
Fuente: DER-DGE

AÑO	FUEL OIL		
	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO ₂ e / KWh]	EMISIONES [Kg CO ₂ e]
2011	4,902,572.71	0.6815	3,341,103.30
2012	10,353,658.26	0.6754	6,992,860.79
2013	6,237,954.60	1.0544	6,577,299.33
2014	5,531,918.71	0.6818	3,771,662.18
2015	8,311,610.13	0.6619	5,501,454.75
2016	8,985,396.94	0.6641	5,967,202.11
2017	7,667,634.20	0.7458	5,718,521.58
TOTAL	51,990,745.56		37,870,104.04

Tabla 28: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.

Fuente: DER-DGE

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



AÑO	DIESEL OIL		
	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO2e / KWh]	EMISIONES [Kg CO2e]
2011	4,902,572.71	0.7567	3,709,776.77
2012	10,353,658.26	0.7743	8,016,837.59
2013	6,237,954.60	0.9188	5,731,432.69
2014	5,531,918.71	0.8341	4,614,173.40
2015	8,311,610.13	0.7498	6,232,045.28
2016	8,985,396.94	0.7814	7,021,189.17
2017	7,667,634.20	0.796	6,103,436.82
TOTAL	51,990,745.56		41,428,891.72

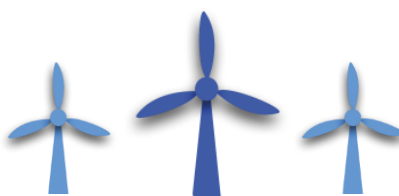
Tabla 29: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.

Fuente: DER-DGE

En las tablas se muestran los kilogramos de dióxido de carbono equivalentes que se dejan de emitir a la atmósfera al producir energía con una fuente de generación renovable, en este caso se toma la energía aprovechable total medida de los datos de velocidad de viento de cada año en El Sitio 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 al generar dicha energía con generación eólica.

Se evidencia que para producir un total de 51.99 GWh, utilizando carbón mineral, se estarían emitiendo aproximadamente 68 mil toneladas de Kg de dióxido de carbono equivalente; al producir dicha energía por medio de Fuel Oil, se emitirían 38 mil toneladas; y al hacerlo por medio de Diesel Oil, se estarían emitiendo 41 mil toneladas aproximadamente.

Tomando en consideración 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, es correcto afirmar que la generación eólica causa un impacto positivo en la preservación del medio ambiente, evitando la emisión de millones de kg de dióxido de carbono.



11. Análisis Económico de la Energía estimada

Para realizar la remuneración económica que percibiría un inversionista se utilizó la energía estimada anteriormente, el precio de contratación del MWh del parque eólico San Antonio El Sitio, que de acuerdo a la licitación PEG-2-2012 fue de 126 USD/MWh.

En la Tabla#27 se muestra el ingreso estimado en US\$ de la energía aprovechable medida por año en la finca El Sitio de 2011 a 2017, con lo cual se tendría un estimado del valor monetario que representaría el tener un aerogenerador aprovechando dicha energía.

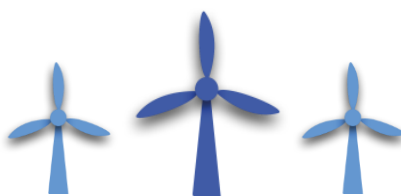
Dicho valor monetario sería aproximadamente de 6.5 millones de dólares por cada aerogenerador instalado, en un total de 66 meses de operación (tiempo sobre el cual se tiene la medición).

Cabe mencionar el hecho de que el estudio fue realizado utilizando datos de área de barrido de un aerogenerador Vestas V90/3000.

AÑO	ENERGÍA [MWh]	VALOR EN USD DE LA ENERGÍA GENERADA
2011	4,902.57	617,723.82
2012	10,353.66	1,304,561.16
2013	6,237.95	785,981.70
2014	5,531.92	697,021.92
2015	8,311.61	1,047,262.86
2016	8,985.40	1,132,160.40
2017	7,667.63	966,121.38
TOTAL	51,990.75	6,550,834.50

Tabla 30: Remuneración económica estimada.

Fuente: DER-DGE



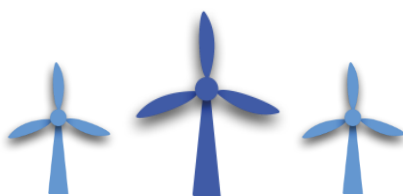
12. Presupuesto para la instalación de una planta eólica

A continuación, se especifica el costo económico estimado para instalar un proyecto tipo Generador Distribuido Renovable menor de 5 MW de potencia.

En la finca El Sitio ya existe una proporción pequeña de terreno factible para instalar un aerogenerador Vesta V90 de 3 MW de potencia. Es importante mencionar que esta limitación territorial obliga a realizar un proyecto con características de Generador Distribuido Renovable –GDR- menor de 5MW.

Respecto a las características de un proyecto tipo GDR, es esencial tomar en cuenta los siguientes aspectos para estimar el costo que conlleva poner en marcha un proyecto de este tipo:

1. Adquisición del terreno.
2. Realización de estudios técnicos, económicos, financieros, geológicos, ambientales y de riesgo.
3. Compra del aerogenerador.
4. Construcción, obra civil y anclaje del aerogenerador.
5. Construcción de la línea de distribución y subestación eléctrica.
6. Gastos administrativos (Incluye trámites de permisos, papeleo, entre otras).



En la tabla que se presenta a continuación se detalla el costo aproximado de la inversión que se requiere para realizar un proyecto de Generación Distribuida Renovable, con tecnología eólica.

INVERSIÓN ESTIMADA PARA REALIZAR UN PROYECTO EÓLICO TIPO GDR, CON CONSTRUCCIÓN DE DOS KILOMETROS DE LINEA DE DISTRIBUCIÓN		
ACTIVIDAD	COSTO EN DOLARES	COSTO EN QUETZALES
Valoración del terreno.	\$ 250,000.00	Q 1,925,000.00
Compra de aerogeneradores, incluye transporte	\$ 3,174,603.18	Q 24,444,444.45
Realización de estudios geológicos, ambientales, de riesgo, técnicos	\$ 100,000.00	Q 770,000.00
Construcción, obra civil y anclaje del aerogenerador	\$ 312,500.00	Q 2,406,250.00
Construcción de la línea de transmisión y subestación eléctrica	\$ 200,000.00	Q 1,540,000.00
Gastos administrativos	\$ 6,250.00	Q 48,125.00
TOTAL	\$ 4,043,353.18	Q 31,133,819.45

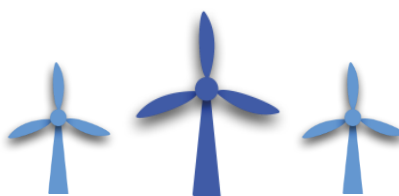
Tabla 31: Inversión estimada para un proyecto de 3 MW.

Fuente: DER-DGE

Nota: El tipo de cambio utilizado fue de 7.70 quetzales por dólar.

Como se puede apreciar en el cuadro que contiene la información de la inversión, el costo aproximado total para instalar un proyecto de generación eólica de 3 MW de potencia es de Q 31,133,819.45. Esto nos indica que el MW instalado asciende a Q 10,377,939.81 es o su equivalente en dólares \$ 1,347,784.39 dólares por MW instalado.

Es muy importante observar que un proyecto de este tipo requiere varios estudios tales como: de impacto ambiental, geológicos y de riesgo, los cuales dan una idea de la cantidad de riesgo al cual se somete la inversión. Estos estudios nos marcan la pauta para tomar en cuenta actividades como: mejoramientos de caminos de acceso, lugar exacto de instalación del aerogenerador, cantidad y calidad de materiales de construcción y diseño óptimo del aerogenerador.

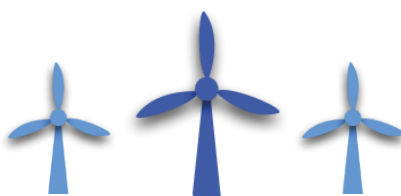


13. Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable

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, 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).

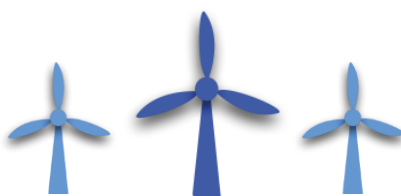




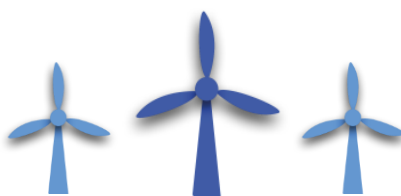
Proyecto Eólico
San Antonio El Sitio

14. Conclusiones

- ✓ En el estudio únicamente se tomó en cuenta los datos del promedio de las velocidades de viento a lo largo del período de medición en la Finca El Sitio, como una primera aproximación en la determinación del potencial eólico, para el dimensionamiento futuro de parques eólicos. Para estudios con más detalle, se necesita el uso de varios softwares y tomar en cuenta 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 a los siete años de medición es de **8.85 m/s**, lo que corresponde a un viento clase 6 y 7, lo cual puede ser muy bien aprovechado para la generación eólica; esto tomando en consideración que la altura de la torre instalada es de 51 m, con mediciones hechas a 51, 40 y 30 mts; el análisis se realizó con la información recopilada en el anemómetro instalado a 51 mts.
- ✓ El porcentaje de aprovechamiento del tiempo durante los siete años de medición fue de **54.70%**, lo cual indica que más de la mitad del tiempo medido fue aprovechable para la generación de energía eólica.
- ✓ La energía estimada que pudo aprovecharse en los siete años para la generación eólica calculada, tomando en consideración datos de una turbina Vestas V90/3000, fue de **51.99 GWh**.
- ✓ Los meses que muestran tener el porcentaje de aprovechamiento más alto y la velocidad promedio mensual más alta son enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre. Por lo tanto, estos meses también son los que muestran valores más altos de energía aprovechable al generar energía eléctrica por medio del recurso eólico.
- ✓ En los años analizados se observa que el mes de julio representa una velocidad de viento promedio arriba de los 8 m/s, resultado de las canículas presentadas en el país para esas fechas.



- ✓ El comportamiento del viento durante el día 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 mayores picos se dan en ausencia del recurso solar, utilizando esta energía para compensar la ausencia de la energía generada por plantas fotovoltaicas, con lo cual podría tenerse una potencia firme durante el día con recursos renovables no convencionales.
- ✓ Debido a la pequeña disponibilidad del terreno para el emplazamiento de aerogeneradores y a la cercanía de éste con el Parque Eólico San Antonio El Sitio, se proyecta el diseño de un proyecto de energía eólica tipo Generador Distribuido Renovable -GDR-, menor a 5 MW, el cual se puede conectar a la línea de distribución de 13.8 kV que se encuentra disponible en un radio de 2 kilómetros en la Aldea Dolores del municipio de Villa Canales, Guatemala.
- ✓ El costo estimado del presupuesto del proyecto es de aproximadamente Q. 31,133,819.45, con lo que la relación del costo por MW instalado es de Q. 10,377,939.81, o su equivalente en dólares americanos en US\$ 1,347,784.39 por MW instalado.
- ✓ La dirección predominante del viento durante los años de medición se ubica en el cuadrante Noroeste.





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.

