



GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE LA MEDICIÓN DE VIENTO **Finca “La Sabana”**



*Dirección General de Energía
Departamento de Energías Renovables*

Guatemala, mayo de 2019.



GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

**ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO
DE LA MEDICIÓN DE VIENTO**
Finca “La Sabana”

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 “La Sabana”**, el cual contiene datos procesados de la torre de medición de viento instalado en la finca La Sabana, municipio de Villa Canales, Guatemala, recopilados a partir de marzo de 2011 a junio de 2018.

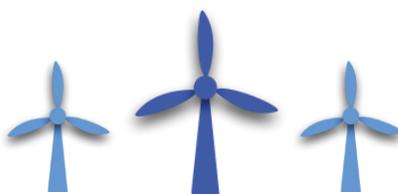
Guatemala tiene gran potencial eólico en diferentes puntos del país para ser aprovechados para la generación de electricidad, del cual actualmente se están aprovechando 106.5 MW, de un potencial estimado de 280 MW.

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 2 MW, así como el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero que serían evitadas con un proyecto que tenga estas características.

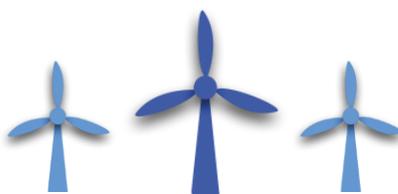
El Ministerio de Energía y Minas continuará con su política de evaluar y promocionar los recursos energéticos renovables y orientar el empleo de los mismos para contribuir con la diversificación de la matriz de generación de electricidad del País.

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



CONTENIDO

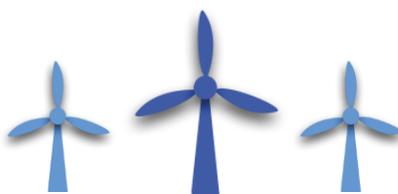
Acrónimos.....	7
Introducción.....	8
1. Política Energética del MEM.....	10
2. La energía eólica a nivel mundial	11
3. La energía eólica en Guatemala.....	14
4. Objetivos.....	16
5. Metodología.....	17
6. Descripción del emplazamiento	18
6.1. Sitio de estudio.....	18
6.2. Características del lugar de medición	19
6.3. Mapa de potencial de viento, con la ubicación de la finca La Sabana, en Villa Canales, Guatemala.	20
6.4. Clasificación por densidades y velocidades de viento del emplazamiento.	21
6.5. Clases de viento que predomina en el emplazamiento.....	22
6.6. Localización de la estación de medición.....	23
6.7. Descripción del equipo de medición.	24
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	36
7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento.....	38
8. Estimación de la Energía	39
8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólico La Sabana .	48
9. Comportamiento de la Velocidad de Viento	49
9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero.	49
9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.	51
9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo.	52
9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril.	53
9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo.	54
9.6. Comportamiento de la Velocidad de viento en junio.	55



9.7.	Comportamiento de la Velocidad de viento en julio.	56
9.8.	Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto.	57
9.9.	Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre.	58
9.10.	Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre.	59
9.11.	Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre.	60
9.12.	Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre.	61
10.	Análisis de los Gases de Efecto Invernadero evitadas en el Emplazamiento	62
11.	Análisis Económico de la Energía estimada	64
12.	Presupuesto para la instalación de una planta eólica	65
13.	Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable	67
14.	Conclusiones.....	69

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 onshore y offshore 2017.	13
Gráfica 5:	Generación de energía eléctrica 2018 (eólica).....	14
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:	Horas aprovechables y velocidad de viento 2018.	35
Gráfica 14:	Resumen de Velocidad de viento.....	36
Gráfica 15:	Resumen horas medidas y aprovechables.	38
Gráfica 16:	Energía 2011.	40
Gráfica 17:	Energía 2012.....	41
Gráfica 18:	Energía 2013.....	42
Gráfica 19:	Energía 2014.....	43
Gráfica 20:	Energía 2015.....	44
Gráfica 21:	Energía 2016.....	45
Gráfica 22:	Energía 2017.	46
Gráfica 23:	Energía 2018.	47
Gráfica 24:	Resumen Energía.....	48
Gráfica 25:	Comportamiento del Viento – enero.....	49
Gráfica 26:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento enero.	50
Gráfica 27:	Comportamiento del Viento – febrero.....	51
Gráfica 28:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento febrero.....	51
Gráfica 29:	Comportamiento del Viento - marzo.	52
Gráfica 30:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento marzo.	52
Gráfica 31:	Comportamiento del Viento - abril.	53
Gráfica 32:	Comportamiento Promedio de la velocidad de viento abril.....	53



Gráfica 33: Comportamiento del Viento - mayo.	54
Gráfica 34: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento mayo.	54
Gráfica 35: Comportamiento del Viento - junio.	55
Gráfica 36: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento junio.	55
Gráfica 37: Comportamiento del Viento - julio.....	56
Gráfica 38: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento julio.....	56
Gráfica 39: Comportamiento del Viento - agosto.....	57
Gráfica 40: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento agosto.....	57
Gráfica 41: Comportamiento del Viento - septiembre.	58
Gráfica 42: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento septiembre.	58
Gráfica 43: Comportamiento del Viento - octubre.	59
Gráfica 44: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento octubre.	59
Gráfica 45: Comportamiento del Viento noviembre.....	60
Gráfica 46: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento noviembre.....	60
Gráfica 47: Comportamiento del Viento diciembre.....	61
Gráfica 48: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento diciembre.	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Segmento Cartográfico Finca la Sabana.	18
Ilustración 2: Ubicación Finca la Sabana.....	18
Ilustración 3: Croquis red de transmisión Finca la Sabana.....	19
Ilustración 4: Mapa de potencial eólico en Guatemala.....	20
Ilustración 5: Cuadro de clasificación de clase de viento.....	21
Ilustración 6: Cuadro de clasificación de clase de viento en el emplazamiento	22
Ilustración 7: Estación de medición No. 0150, finca La Sabana.....	23
Ilustración 8: Torre y equipo de medición utilizado en finca La Sabana.....	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.....	15
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

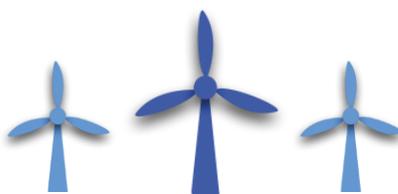
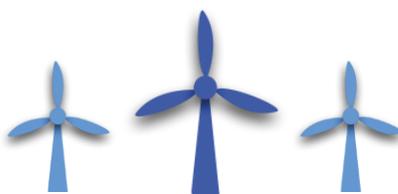


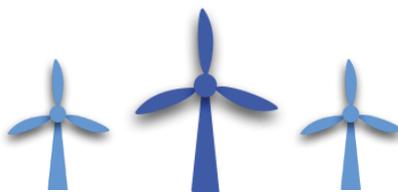
Tabla 12: Aprovechamiento 2015.....	32
Tabla 13: Velocidad de viento 2016.....	33
Tabla 14: Aprovechamiento 2016.....	33
Tabla 15: Velocidad de viento 2017.....	34
Tabla 16: Aprovechamiento 2017.....	34
Tabla 17: Velocidad de viento 2018.....	35
Tabla 18: Aprovechamiento 2018.....	35
Tabla 19: Resumen de la velocidad de viento, promedio anual.....	37
Tabla 20: Horas medidas y aprovechables.....	38
Tabla 21: Aerogenerador Vestas.....	39
Tabla 22: Energía 2011.....	40
Tabla 23: Energía 2012.....	41
Tabla 24: Energía 2013.....	42
Tabla 25: Energía 2014.....	43
Tabla 26: Energía 2015.....	44
Tabla 27: Energía 2016.....	45
Tabla 28: Energía 2017.....	46
Tabla 29: Energía 2018.....	47
Tabla 30: Resumen Energía.....	48
Tabla 31: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.....	62
Tabla 32: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.....	62
Tabla 33: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.....	63
Tabla 34: Remuneración económica estimada.....	64
Tabla 35: Inversión estimada para un proyecto de 2 MW.....	66





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.



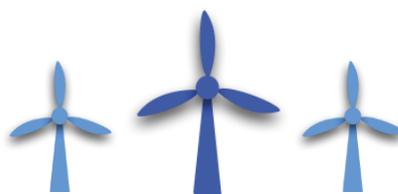
Introducción

A partir del 04 de marzo de 2011 a las 12:00 pm, hasta el 25 de junio de 2018 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 La Sabana,

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.





Torre y equipo de medición
Finca La Sabana

ESTUDIO PARA LA MEDICIÓN DE VIENTO EN LA FINCA “LA SABANA”

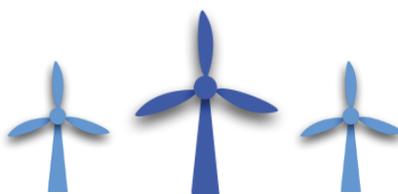
1. Política Energética del MEM

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.

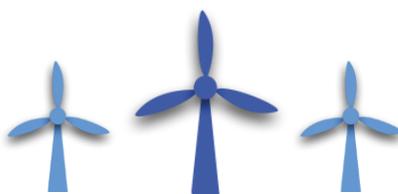
En China se añadieron 21,200 MW de capacidad eólica terrestre y 1800 MW de capacidad eólica marina en el año 2018, manteniendo su posición como líder a nivel mundial en instalaciones eólicas.

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

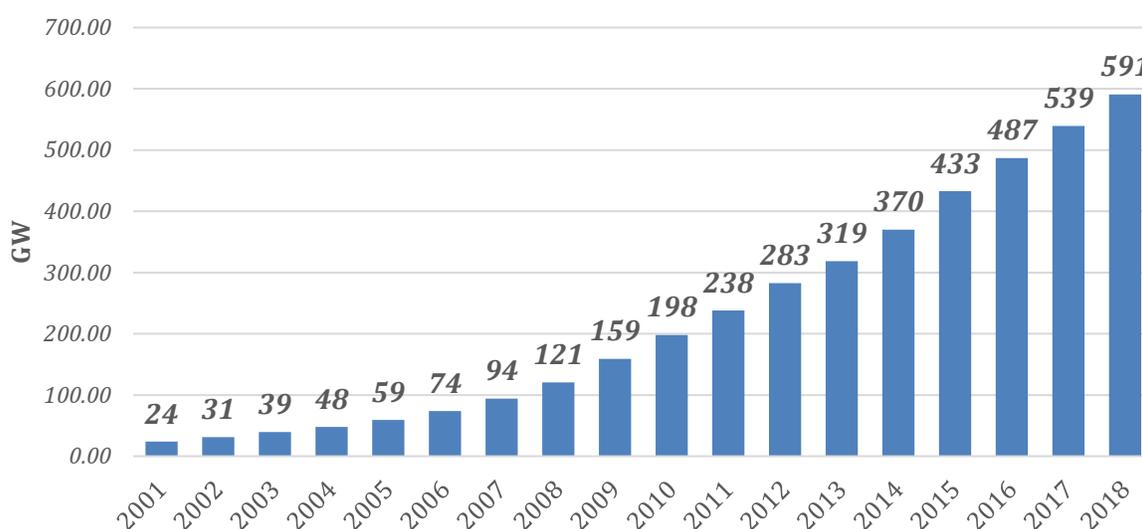
¹ Global Wind Energy Council (GWEC)



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.

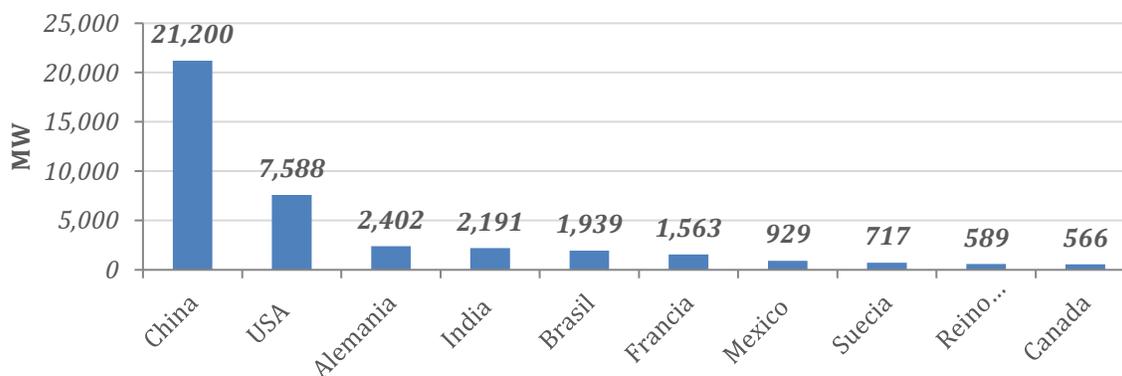
Evolución de la potencia instalada en el mundo 2001-2018.



Gráfica 1: Potencia Eólica Mundial.

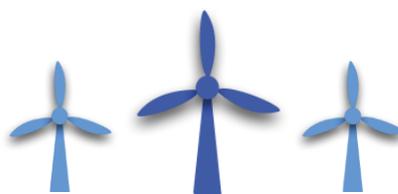
Fuente: GWEC

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

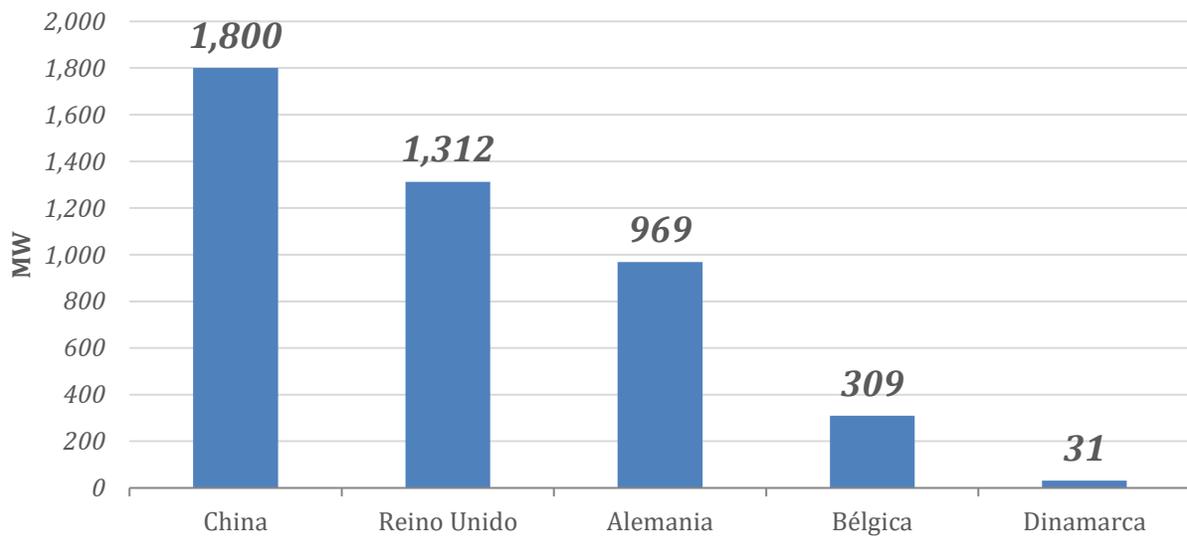


Gráfica 2: Ranking por Capacidad eólica on shore 2018.

Fuente: GWEC



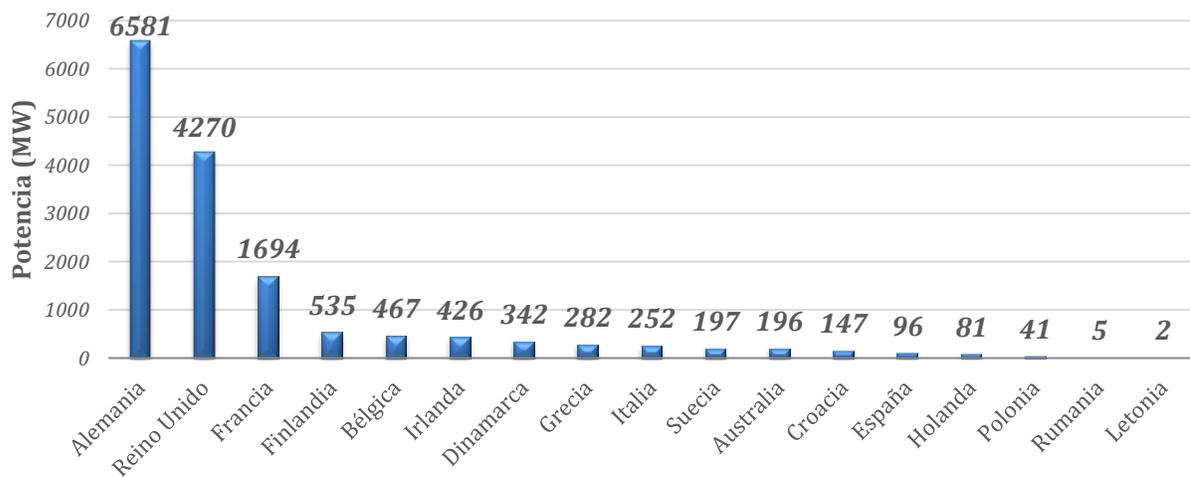
Ranking por capacidad eólica en mar instalada en 2018 (offshore).



Gráfica 3: Ranking por Capacidad eólica offshore 2018.

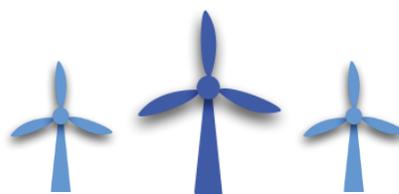
Fuente: GWEC

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



Gráfica 4: Ranking por Capacidad eólica onshore y offshore 2017.

Fuente: GWEC

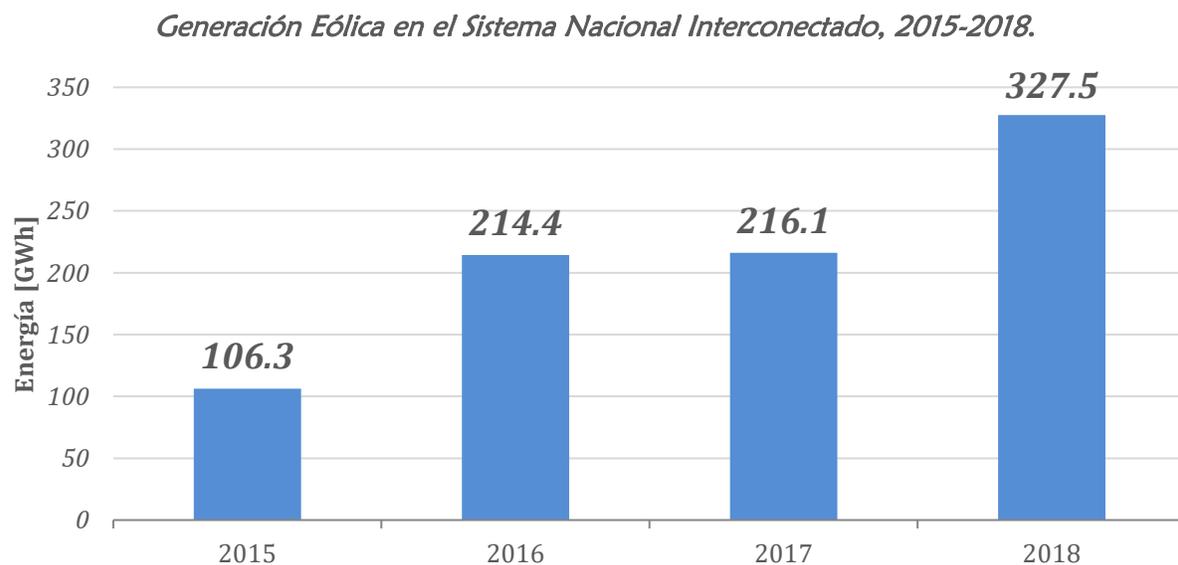


3. La energía eólica en Guatemala

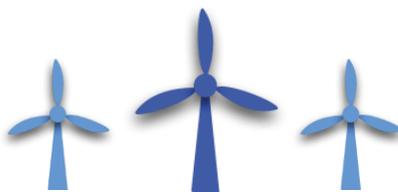
Guatemala tiene buenos sitios con potencial eólico para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica. Actualmente se tiene una potencia instalada efectiva al sistema de 106.5 MW, de un potencial estimado inicialmente de 280 MW.

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.



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



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.

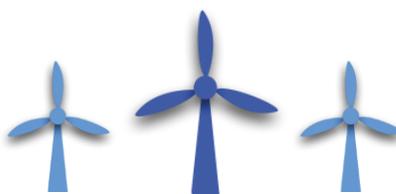
Proyecto	Capacidad Instalada [MW]	Ubicación
San Antonio El Sitio	52.8	Guatemala
Granja Eólica Viento Blanco	23.1	Escuintla
Proyecto Eólico Las Cumbres de Agua Blanca	31.5	Jutiapa

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.



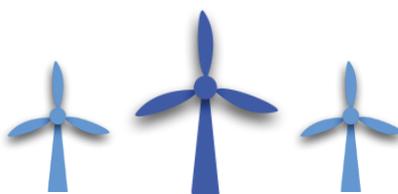
4. Objetivos

General

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

- ✓ Utilizar los datos recopilados de velocidad de viento en la estación de medición ubicada en la finca La Sabana, para estimar el potencial eólico en el emplazamiento.
- ✓ Estimar la energía aprovechable al instalar una unidad de generación de electricidad usando el viento como recurso energético en la finca La Sabana, jurisdicción de Villa Canales, Guatemala.
- ✓ Determinar el porcentaje de horas aprovechables por día, para realizar el cálculo mensual, y finalmente un porcentaje anual, del recurso eólico en el emplazamiento.
- ✓ 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 La Sabana.
- ✓ Determinar la velocidad promedio del viento en el emplazamiento.



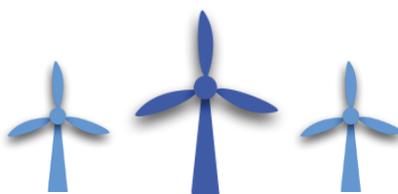
5. Metodología.

Para realizar el estudio se utilizaron los datos de variables eólicas recopilados en la estación de medición ubicada en “Finca La Sabana”, jurisdicción de Villa Canales, desde marzo 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 el segmento cartográfico con las curvas de nivel de la ubicación del sitio de medición.



Ilustración 1: Segmento Cartográfico Finca la Sabana.

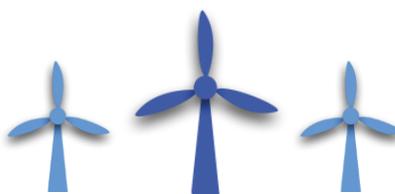
Fuente: DER-DGE

La ilustración 2 muestra una vista aérea desde Google Earth, se observa el lago de Amatitlán, el Cerro Grande, el volcán Pacaya y el Parque eólico San Antonio el Sitio.



Ilustración 2: Ubicación Finca la Sabana.

Fuente: DER-DGE



6.2. Características del lugar de medición

La estación de medición se instaló en un terreno ligeramente inclinado, a un costado de la elevación denominada Cerro Grande. Dentro de la finca y sus alrededores los agricultores cultivan maíz, frijol y aguacate, en la finca se puede encontrar también maleza que es utilizada para alimentar ganado vacuno y caballos. A un costado de la finca en dirección Este, está un bosque el cual sirve como barrera natural para contener los vientos en la parte baja. En la dirección Sur, aproximadamente a 6 kilómetros se encuentra el parque eólico de San Antonio El Sitio, en la dirección Oeste se encuentra el Cerro Grande y el volcán de Pacaya y en dirección Norte, se encuentran terrenos en donde se cultiva maíz, frijol y aguacate. La finca tiene una extensión territorial de dos caballerías y media. La distancia desde la ciudad de Guatemala hasta la finca La Sabana, es de aproximadamente 40 kilómetros sobre la ruta que conduce de Guatemala hasta la Aldea de Santa Elena Barillas. A partir de Santa Elena Barillas, se busca el camino que conduce hacia la aldea San Carlos y luego se direcciona rumbo a la finca La Sabana con dirección al Cerro Grande.

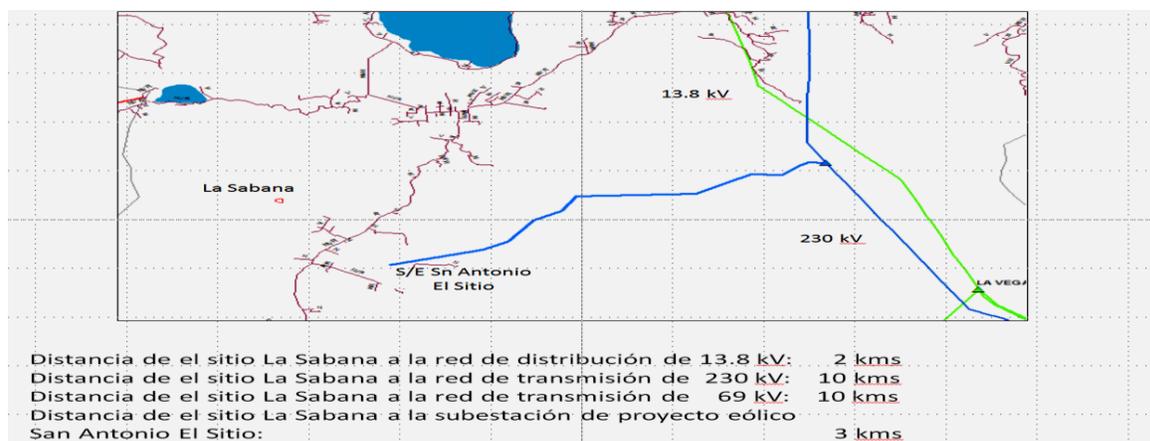
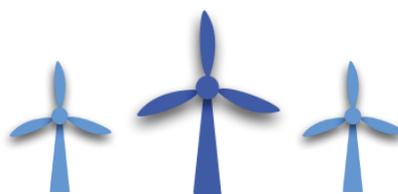


Ilustración 3: Croquis red de transmisión Finca la Sabana.

Fuente: DER-DGE

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta es que la Aldea San Carlos está aproximadamente a 3 kilómetros de distancia de la finca La Sabana y en ella ya existe electrificación con voltaje de distribución de 120/240 voltios AC.



6.3. Mapa de potencial de viento, con la ubicación de la finca La Sabana, 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.

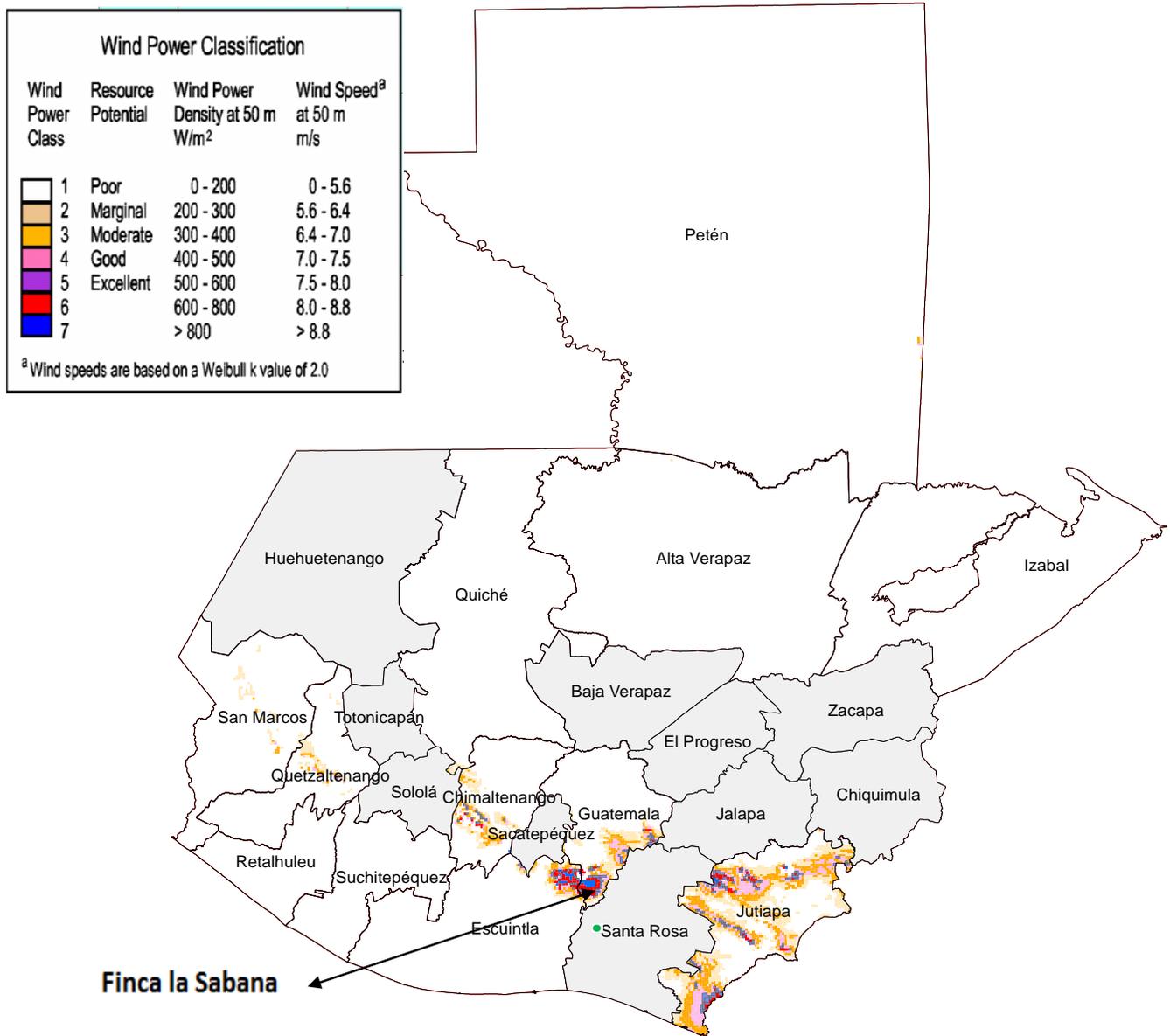
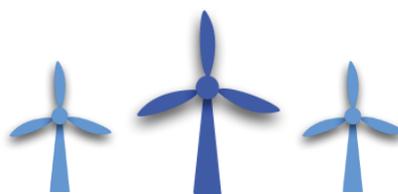


Ilustración 4: Mapa de potencial eólico en Guatemala.

Fuente: MEM



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

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

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

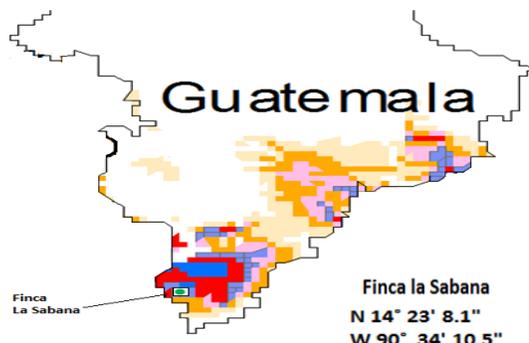
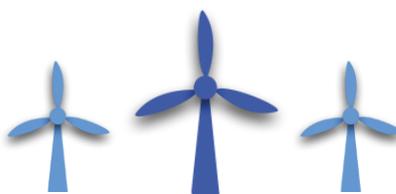


Ilustración 5: Cuadro de clasificación de clase de viento.

Fuente: MEM

En el cuadro de clasificación de viento que se muestra en la ilustración 5, se aprecian las densidades de viento en (**W/m²**) a una altura de 51 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 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 la Sabana”. Estas clases de viento representan las distintas velocidades en m/s, con sus respectivas densidades de viento en W/m^2 que predominan en el área.

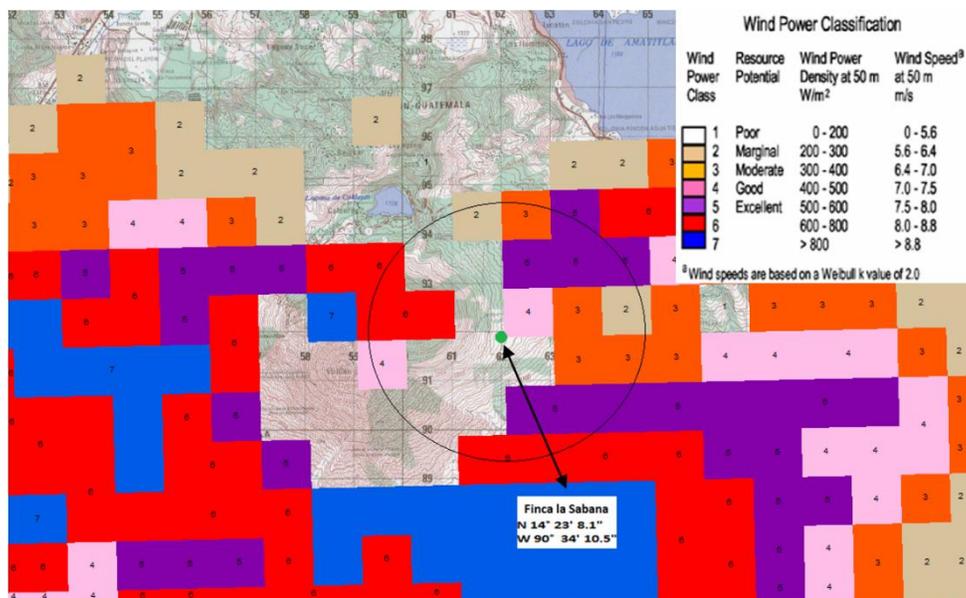
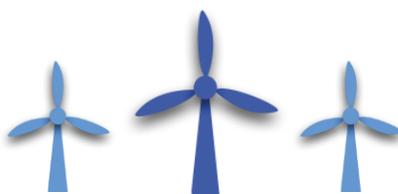


Ilustración 6: Cuadro de clasificación de clase de viento en el emplazamiento

Fuente: MEM

El sitio en análisis está rodeado de diferentes clases de viento. Esta clasificación del recurso se logró obtener gracias al software ARC GIS, el cual es un software que logra montar capas de información sobre segmentos cartográficos. Con esta herramienta se logró identificar que el punto de medición está muy cerca de un cuadrante color rosado, correspondiente a la clase 4; se observa también que el punto está cercano a cuadrantes con clase 5 y 6. Dado que el viento es un fluido y con promedios de velocidad obtenidos anualmente se comprueba que la velocidad predominante en el lugar está por arriba de 7 m/s, esto quiere decir que el punto de medición queda en la clase 5, (color rojo) esto porque las mediciones anuales comprueban la existencia del recurso. Respecto al círculo color negro que se presenta en la figura, este tiene un radio de 3 km, y justo en el centro se ubica el punto de medición.

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.



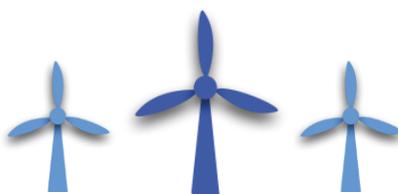
6.6. Localización de la estación de medición

La estación de medición identificada con el número 0150, se instaló en la finca La Sabana, jurisdicción de Villa Canales, departamento de Guatemala. Esta estación tiene una altura de 51 metros y está a 1720 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas exactas de la instalación son las siguientes: latitud norte: N 14° 23' 8.1" latitud Oeste: W 90° 34' 10.5". En la ilustración 7 se observan la panorámica general del sitio de medición.



Ilustración 7: Estación de medición No. 0150, finca La Sabana

Fuente: DER-DGE

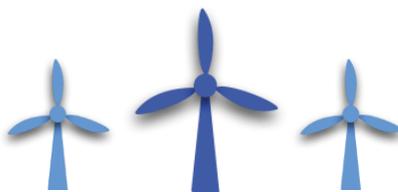


6.7. Descripción del equipo de medición.



Ilustración 8: Torre y equipo de medición utilizado en finca La Sabana.

Fuente: DER-DGE



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 9: 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.



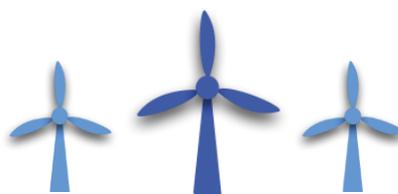
Ilustración 10: Veleta.

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 análogos y los restantes son digitales.



Ilustración 11: Registrador de datos.



6.7.4. Baliza Luminosa

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



Ilustración 12: Baliza Luminosa.

6.7.5. Sensor de Temperatura

Utilizado para medir la temperatura ambiente del lugar.



Ilustración 13: Sensor de temperatura.

6.7.6. Sensor de Presión Atmosférica

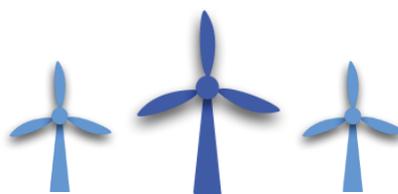
Utilizado para medir la presión atmosférica en el sitio en Kilo Pascales.

6.7.7. Sensor de Radiación Solar

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



Ilustración 14: Sensor de radiación solar.



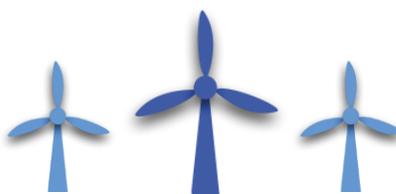
6.7.8. Características Técnicas del Equipo de Medición

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

Datos de Instalación						
NÚMERO DE SITIO		150				
FECHA Y HORA DE INSTALACIÓN		03/03/2011 15:20 PM -6GMT				
UBICACIÓN		N14° 23' 8.1" W 90° 34' 10.5"				
Datos de Fábrica						
Componente	Modelo	Número de Ítem	Número de Serie	Unidad de medida		
Data logger	Symphonie	3147	15151	***		
Luz de Baliza	A702	A702	***	Lumen		
Anemómetros	NRG #40C	1900	49319	m/s		
			49305	m/s		
			31117	m/s		
Sensor de temperatura	NRG #110S	1906	***	°C		
Veletas	NRG #200P	1904	***	grados		
	NRG #200P		***	grados		
Sensor de radiación solar	Li-Cor	1948	59899	W/m2		
	Li-200SA					
Sensor de presión	***	***	***	***		
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	0.759	0.35	frecuencia	51	Este
	2	0.757	0.37		40	Este
	3	0.759	0.39		30	Este
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	10	1.275	0	Analógica	10	***
Sensor de presión	***	***	***	***	***	***

Tabla 2: Características del equipo de medición instalado.

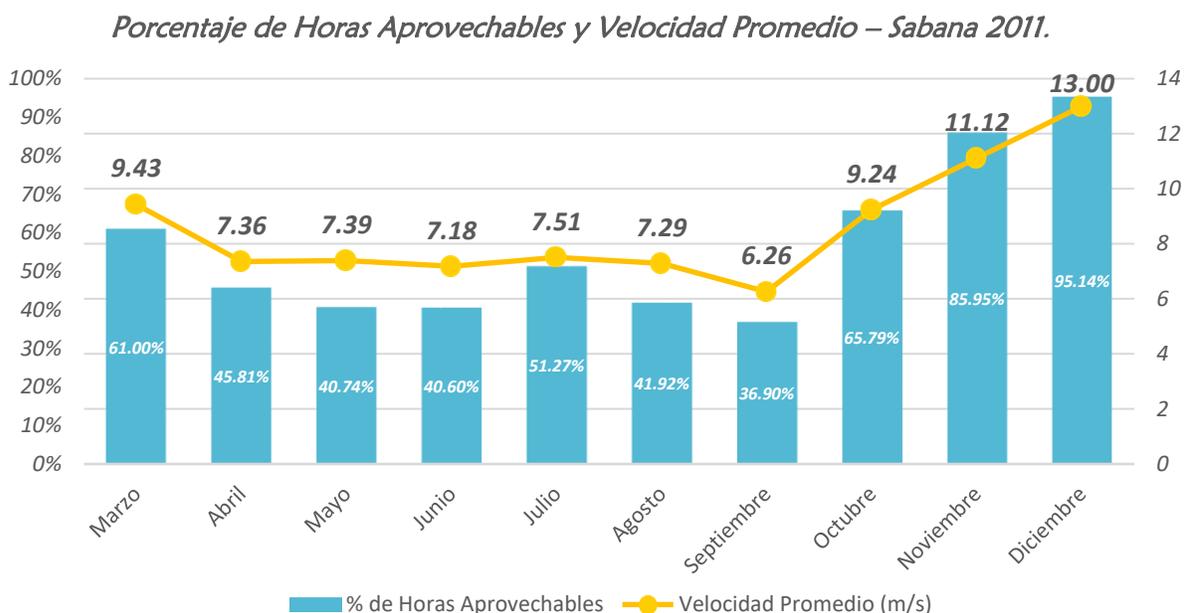
Fuente: DER-DGE



7. Resultados de la medición

7.1. Velocidad Promedio del emplazamiento

En el año 2011 las mediciones dan inicio a partir de marzo, los resultados son los siguientes:



Gráfica 6: Horas aprovechables y velocidad de viento 2011.

Fuente: DER-DGE

La gráfica 6 muestra que los meses con velocidades más altas fueron marzo, octubre, noviembre y diciembre, y que los porcentajes de aprovechamiento en estos meses también fueron los más altos.

La Tabla 3 muestra que la velocidad promedio del año fue de 8.58 m/s, es decir vientos clase 7, significa que es excelente.

La Tabla 4 muestra el porcentaje de aprovechamiento total para el año 2011. Teniendo un 56.51% de aprovechamiento anual, lo cual indica que, en más de la mitad del año medido, el recurso fue propicio para la generación.

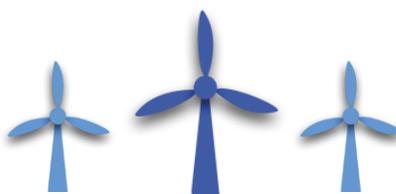
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2011		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.58	23.74	0.4

Tabla 3: Velocidad de viento 2011.

Fuente: DER-DGE

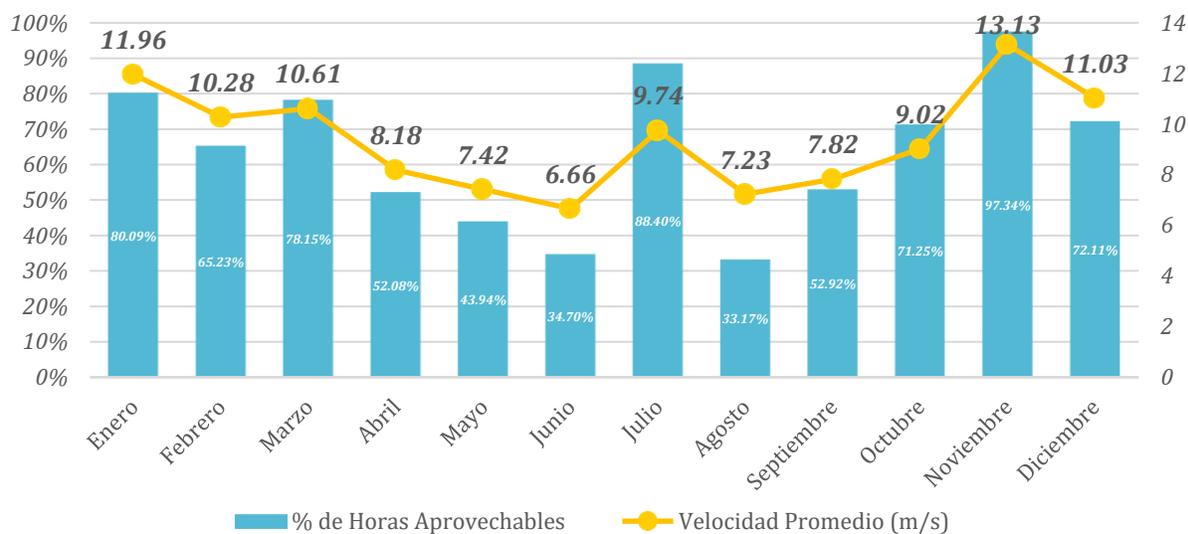
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2011		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
7200	4068.8	56.51%

Tabla 4: Aprovechamiento 2011. Fuente: DER-DGE



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

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - Sabana 2012.



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 para cada mes.

La Tabla 5 muestra que la velocidad promedio del año fue de 9.42 m/s, es decir una velocidad de viento clase 7.

Tabla 6 indica que se tuvo un porcentaje de aprovechamiento anual del 64.11%.

Siendo enero, febrero, marzo, julio, octubre, noviembre y diciembre los meses con mayor porcentaje de aprovechamiento y velocidades por encima de la velocidad promedio anual.

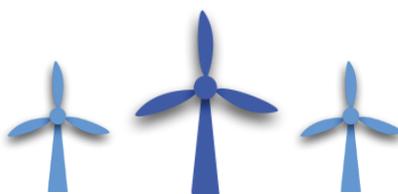
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2012		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.42	27.85	0.40

Tabla 5: Velocidad de viento 2012.

Fuente: DER-DGE

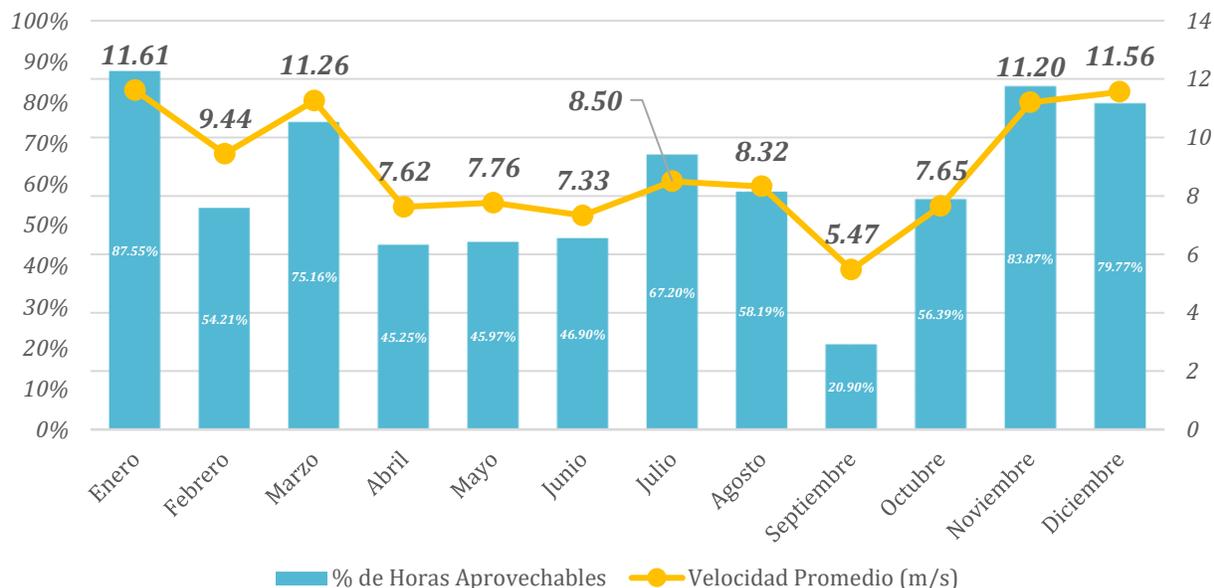
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2012		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5539.5	64.11%

Tabla 6: Aprovechamiento 2012. Fuente: DER-DGE



Los resultados para el año 2013 se presentan a continuación:

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - Sabana 2013.



Gráfica 8: Horas aprovechables y velocidad de viento 2013.

La gráfica 8 muestra que los meses medidos con mejor velocidad promedio fueron enero, marzo, noviembre y diciembre, se observa que únicamente el mes de septiembre dio como resultado una velocidad promedio de viento poco aprovechable.

La velocidad promedio a lo largo del año fue de 8.98 m/s.

En la tabla # 8 se puede observar que en más del 50% del año existió recurso eólico propicio para la generación eléctrica.

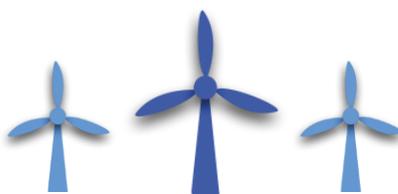
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2013		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
8.98	25.12	0.40

Tabla 7: Velocidad de viento 2013.

Fuente: DER-DGE

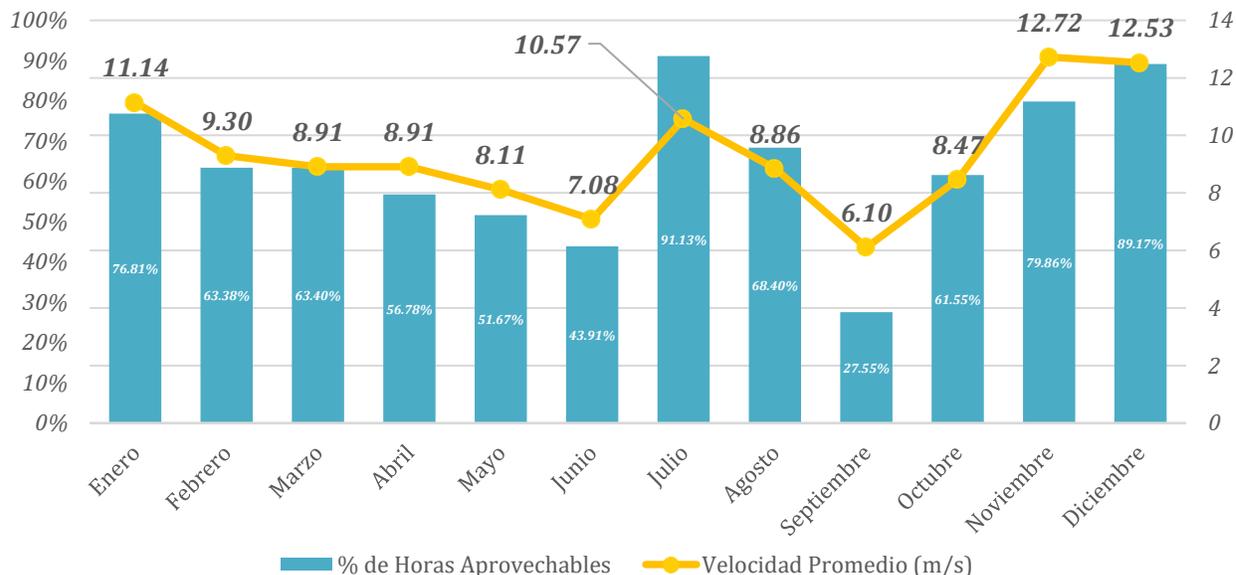
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2013		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5193.8	60.11%

Tabla 8: Aprovechamiento 2013. Fuente: DER-DGE



En el año 2014 se obtuvieron los siguientes promedios de velocidad de viento.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio - Sabana 2014.



Gráfica 9: Horas aprovechables y velocidad de viento 2014.

Fuente: DER-DGE

Se observa en la gráfica 9 que en junio y septiembre el valor promedio de la velocidad de viento es bajo y un % de horas aprovechables por debajo del promedio. El valor de velocidad promedio anual de 9.39 m/s se muestra en la tabla 9.

En la tabla 10 se muestra que más de la mitad del año fue aprovechable para la generación con recurso eólico, siendo 64.47 el porcentaje de horas aprovechables en el año. Los meses de julio y diciembre presentan valores promedio de velocidad de viento muy por encima de la velocidad promedio anual y arrojan valores de aprovechamiento del 91.13 % y 89.17 % respectivamente.

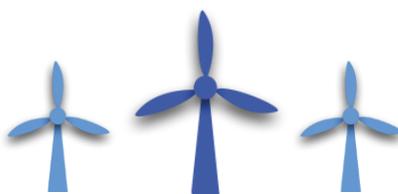
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2014		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.39	24.85	0.40

Tabla 9: Velocidad de viento 2014.

Fuente: DER-DGE

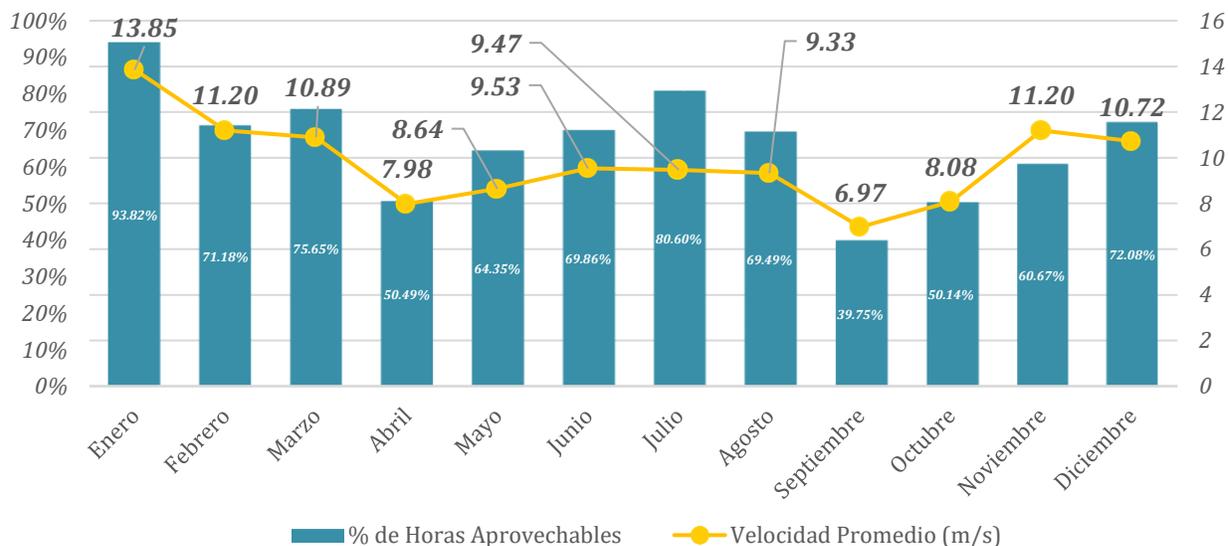
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2014		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5570	64.47%

Tabla 10: Aprovechamiento 2014. Fuente: DER-DGE



Se muestran a continuación los resultados obtenidos correspondientes a la medición de potencial eólico en el año 2015.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Sabana 2015.



Gráfica 10: Horas aprovechables y velocidad de viento 2015.

Fuente: DER-DGE

Se observa en la gráfica 10 que los meses con mejor velocidad promedio son enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre, obteniendo el mejor porcentaje de aprovechamiento.

En la Tabla 11 se muestra que la velocidad promedio del año es de 9.82 m/s.

En la tabla 12 se observa que el porcentaje de aprovechamiento en este año fue de 66.51%, siendo enero el mes con un aprovechamiento por encima del 90 %.

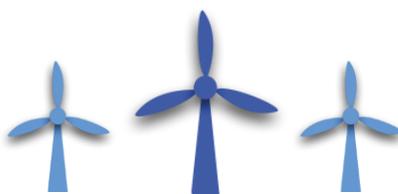
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2015		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.82	24.59	-

Tabla 11: Velocidad de viento 2015.

Fuente: DER-DGE

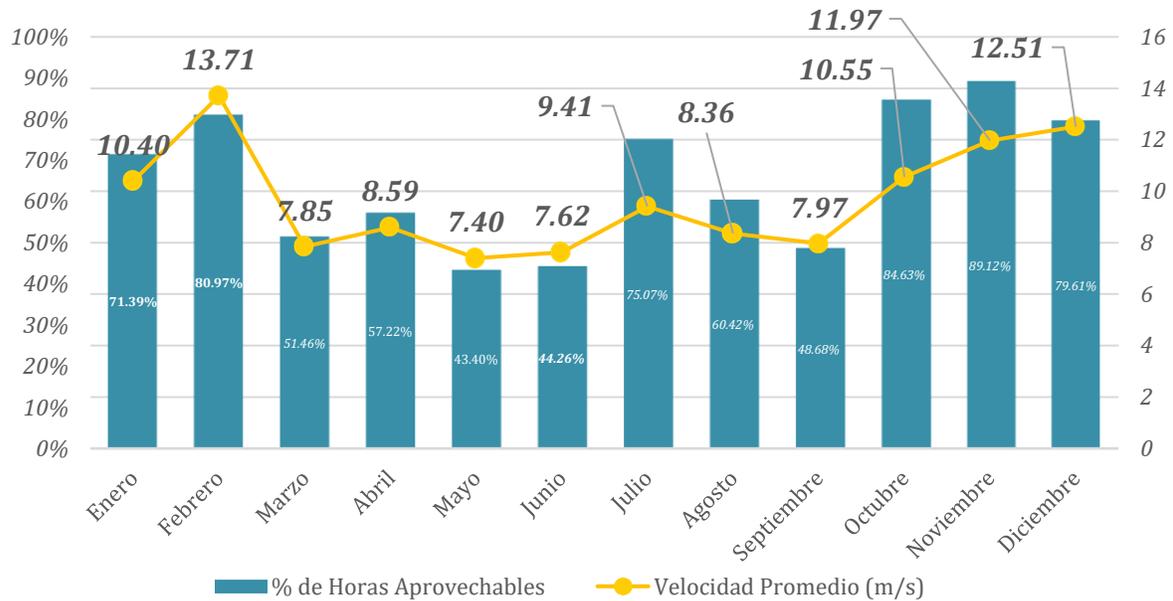
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2015		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5746.2	66.51%

Tabla 12: Aprovechamiento 2015. Fuente: DER-DGE



En el año 2016 el comportamiento eólico en el sitio de medición es más uniforme en los meses con poco aprovechamiento del recurso, como puede observarse en la gráfica 12.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Sabana 2016.



Gráfica 11: Horas aprovechables y velocidad de viento 2016.

Fuente: DER-DGE

En la gráfica 11 se muestra que los meses con mejor velocidad promedio y mayor porcentaje de aprovechamiento son: enero, febrero, julio, octubre, noviembre y diciembre.

La velocidad promedio durante este año fue de 9.7 m/s como se observa en la tabla 13.

Los meses de febrero, noviembre y diciembre se tuvieron porcentajes de aprovechamiento del recurso arriba del 75 % y una velocidad promedio por encima de los 10 m/s.

En la tabla 14 se observa que el recurso eólico fue aprovechable en un 65.52% del año.

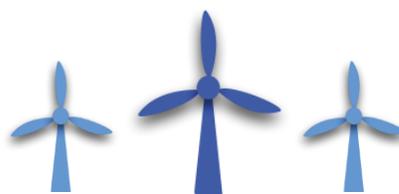
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2016		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.7	26.10	0.40

Tabla 13: Velocidad de viento 2016.

Fuente: DER-DGE

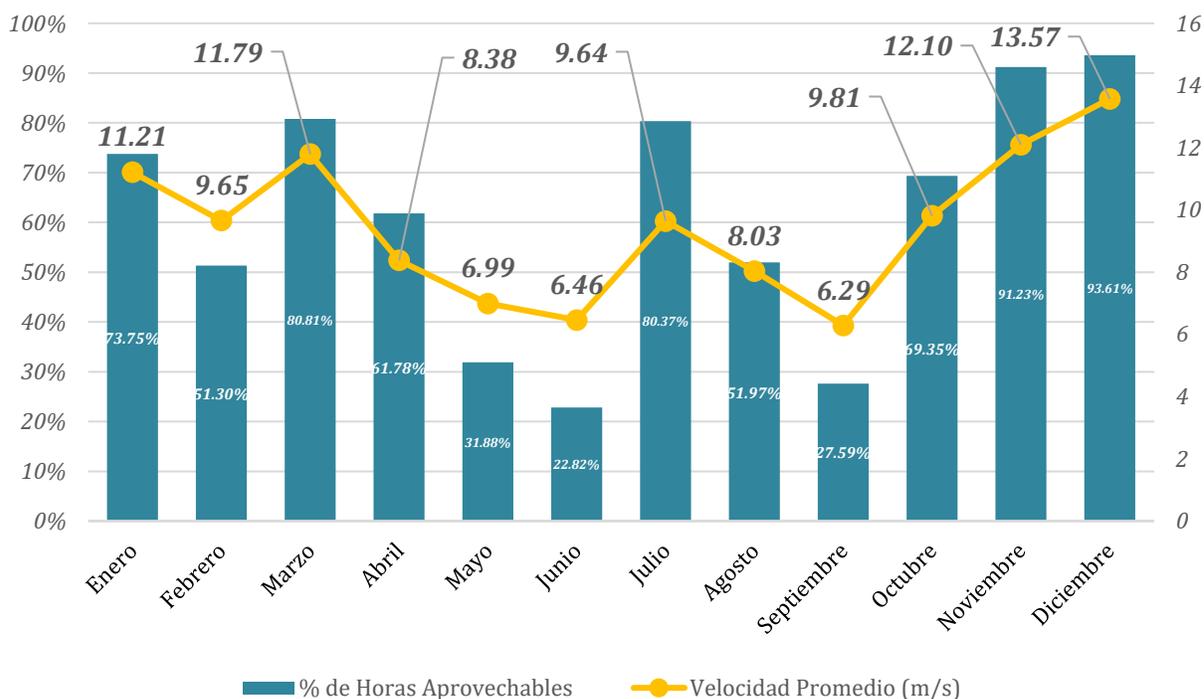
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2016		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5660.8	65.52%

Tabla 14: Aprovechamiento 2016. Fuente: DER-DGE



En el año 2017, se observa que los valores de velocidad promedio de viento y el porcentaje de horas aprovechables son demasiado discontinuos, el recurso eólico en el último trimestre del año es muy propicio para la generación eléctrica.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Sabana 2017.



Gráfica 12: Horas aprovechables y velocidad de viento 2017.

Fuente: DER-DGE

Los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre presentan los valores más altos de velocidad promedio y de porcentaje de aprovechamiento como se observa en la gráfica 12.

Se observa en la tabla 15 que la velocidad promedio de viento a lo largo del año es de 9.5 m/s.

El porcentaje de aprovechamiento en el año 2017 es de 61.37%, lo cual indica que en más de la mitad del año se tuvo un recurso muy favorable.

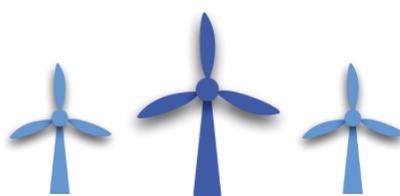
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2017		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.50	27.31	0.40

Tabla 15: Velocidad de viento 2017.

Fuente: DER-DGE

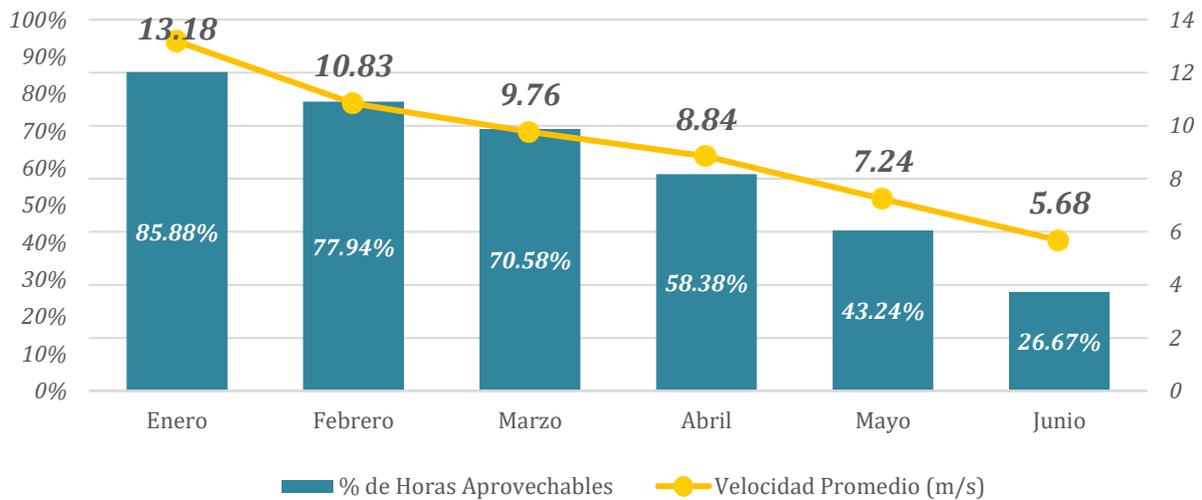
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2017		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
8640	5302.5	61.37%

Tabla 16: Aprovechamiento 2017. Fuente: DER-DGE



Para el año 2018 se recopilaron datos hasta el día 26 de junio, a continuación, se presenta el análisis de la información recopilada.

Porcentaje de Horas Aprovechables y Velocidad Promedio – Sabana 2018.



Gráfica 13: Horas aprovechables y velocidad de viento 2018.

Fuente: DER-DGE

Los meses que presentan los mejores promedios de velocidades de viento para el año en análisis son enero, febrero y marzo como se observa en la gráfica 13.

La velocidad promedio de los datos medidos en el año es de 9.26 m/s, el cual se puede observar en la tabla 17.

El porcentaje promedio de horas que se consideran aprovechables para la generación eólica en el periodo de medición es de 61.81%.

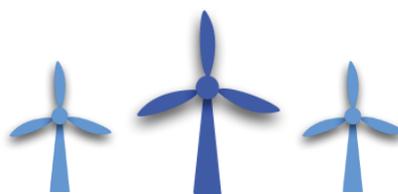
RESUMEN DE VELOCIDAD, AÑO 2018		
VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	VELOCIDAD MAXIMA (m/s)	VELOCIDAD MINIMA (m/s)
9.26	25.52	-

Tabla 17: Velocidad de viento 2018.

Fuente: DER-DGE

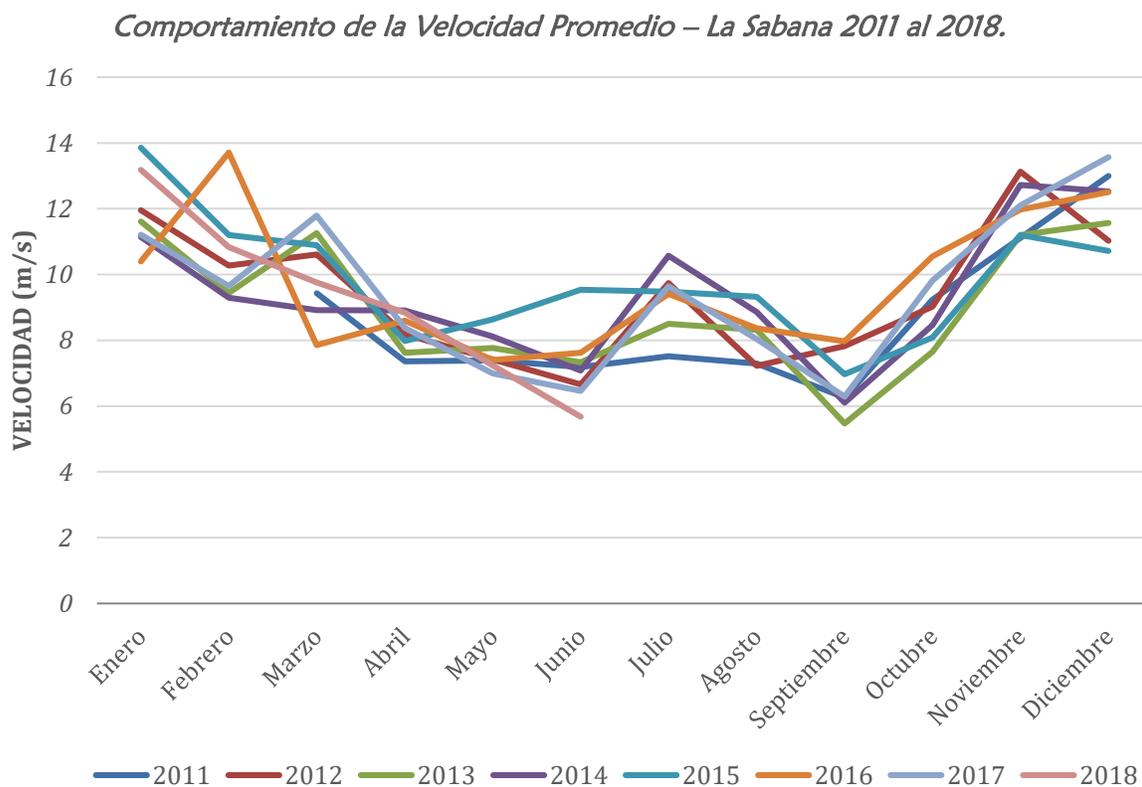
% DE HORAS DE APROVECHAMIENTO, AÑO 2018		
TOTAL DE HORAS MEDIDAS	HORAS [>5m/s]	% de Horas
4224	2611	61.81%

Tabla 18: Aprovechamiento 2018. Fuente: DER-DGE



7.2. Resumen de la velocidad promedio anual

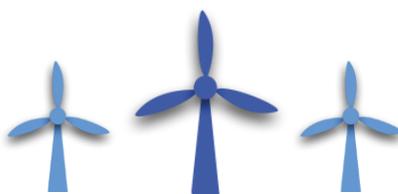
En la gráfica 15 se observa la tendencia de la velocidad de viento para cada año, tomando en cuenta que para el año 2011 las mediciones iniciaron a partir de marzo y para el año 2018 la recopilación de información se hizo hasta el mes de junio



Gráfica 14: 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 enero del año 2015 y 2018 y 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 aún más altos para los años 2012 y 2014.

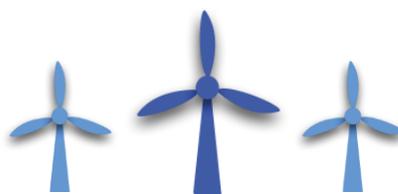


AÑO	Velocidad Promedio (m/s)
2011	8.58
2012	9.42
2013	8.98
2014	9.39
2015	9.82
2016	9.70
2017	9.50
2018	9.26
PROMEDIO DEL 2011 AL 2018	9.33

Tabla 19: Resumen de la velocidad de viento, promedio anual.

Fuente: DER-DGE

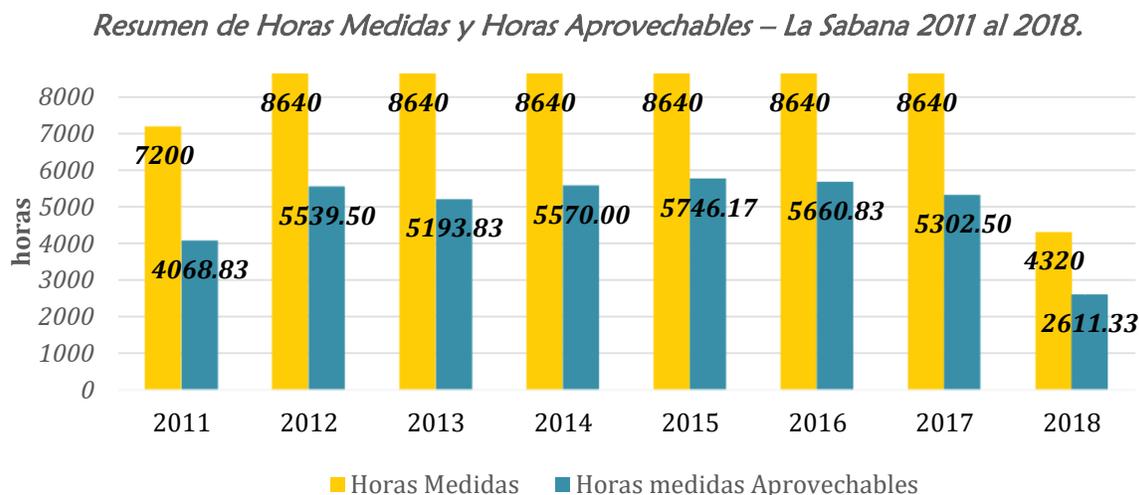
En la tabla 19 se muestra que todos los años medidos tienen una velocidad promedio por encima de 8 m/s, lo cual es clasificado como vientos clase 6 y 7, estas son las categorías más altas y hacen referencia a vientos excelentes para la generación con recurso eólico. La velocidad promedio en el emplazamiento desde el año 2011 al año 2018 es de 9.33 m/s.



7.3. Resumen de Horas Aprovechables de la velocidad de viento

En la gráfica 15 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.



Gráfica 15: Resumen horas medidas y aprovechables.

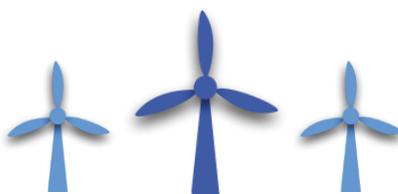
Fuente: DER-DGE

Como se observa en la Tabla 20 se midieron en total 63,360 horas, de las cuales se obtuvieron velocidades por encima de 5 m/s en 39692.99 horas, lo que significa un 62.65% de aprovechamiento del recurso eólico. El año con mejor aprovechamiento del recurso fue el 2015, con un 66.51 % de aprovechamiento.

AÑO	Horas Medidas	Horas medidas Aprovechables	Porcentaje de Aprovechamiento
2011	7200	4068.83	56.51%
2012	8640	5539.5	64.11%
2013	8640	5193.83	60.11%
2014	8640	5570	64.47%
2015	8640	5746.17	66.51%
2016	8640	5660.83	65.52%
2017	8640	5302.5	61.37%
2018	4320	2611.33	60.45%
TOTAL	63360	39692.99	62.65%

Tabla 20: Horas medidas y aprovechables por año.

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 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

S: Área de barrido $[m^2]$

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

t: Tiempo medido aprovechable en el mes [horas]

Para el cálculo se tomó en cuenta el límite de Betz al estimar la potencia del viento, que establece un coeficiente de potencia 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 21.

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

Tabla 21: Aerogenerador Vestas.

Fuente: DER-DGE

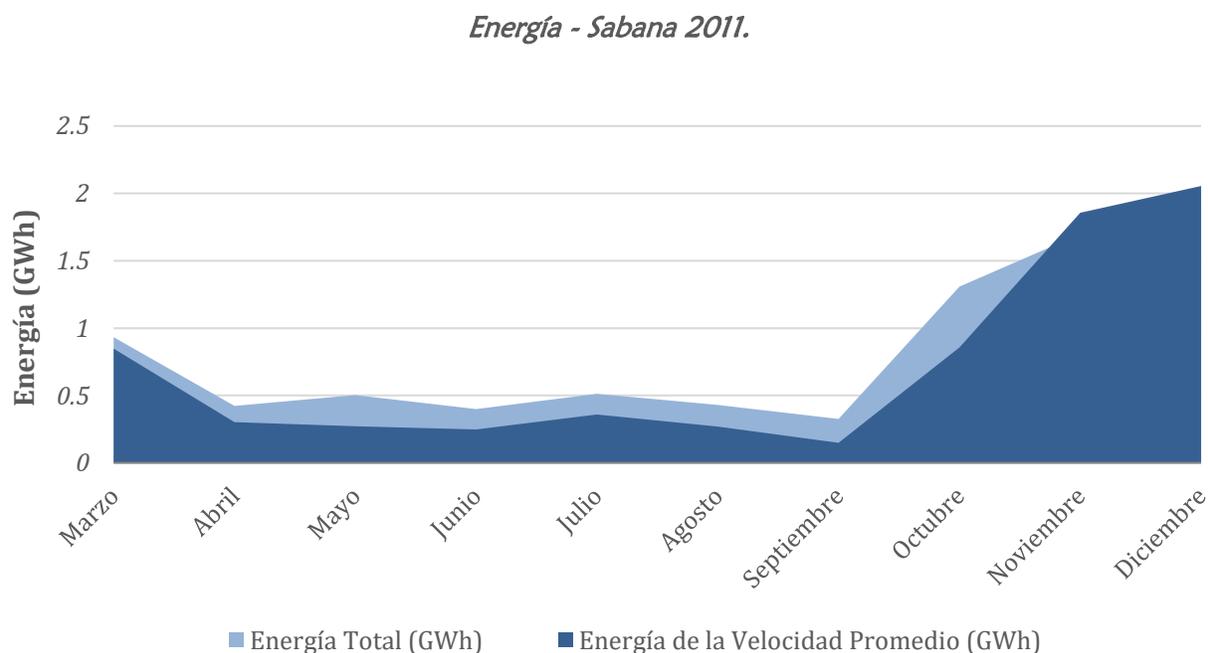
Los siguientes gráficos muestran valores estimados de la **Energía Total** y la **Energía de la Velocidad Promedio**. La Energía Total corresponde a la sumatoria de toda la energía obtenida durante el mes, la cual es calculada por medio de la fórmula [1] utilizando el valor de velocidad de viento promedio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



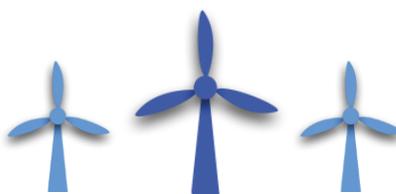
Gráfica 16: Energía 2011.

Fuente: DER-DGE

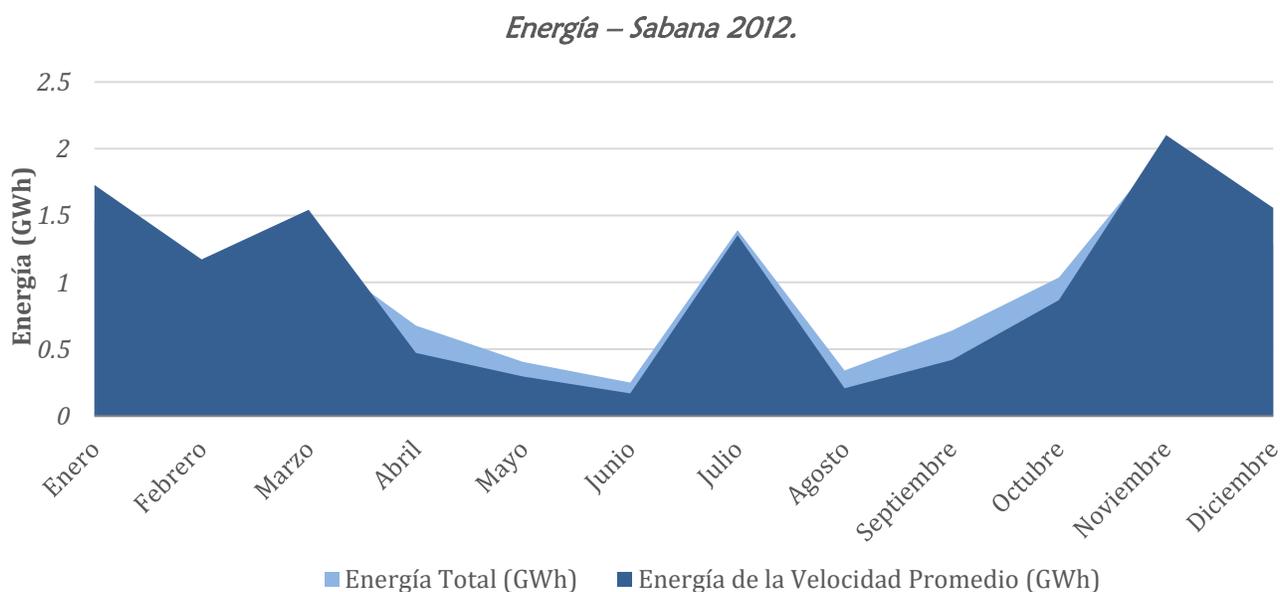
SABANA 2011	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	-	-	0.93	0.42	0.50	0.40	0.51	0.43	0.33	1.31	1.70	1.89
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	-	-	0.85	0.30	0.27	0.25	0.36	0.27	0.15	0.86	1.86	2.06

Tabla 22: Energía 2011.

En la tabla 22 se puede observar los valores de energía estimada aprovechable en el emplazamiento donde se encuentra instalada la estación de medición en el año 2011.



Para el año 2012, se observa en la gráfica 17 que son los meses de enero, febrero, marzo, julio noviembre y diciembre, los que representan un mayor potencial de recurso eólico, por consiguiente, más posibilidad de generación de energía eléctrica,



Gráfica 17: Energía 2012.

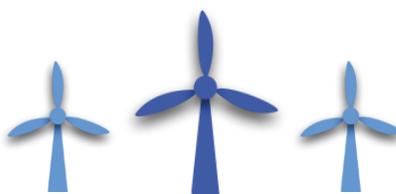
Fuente: DER-DGE

En la tabla 23 se muestran los valores por mes de energía estimada para el año 2012.

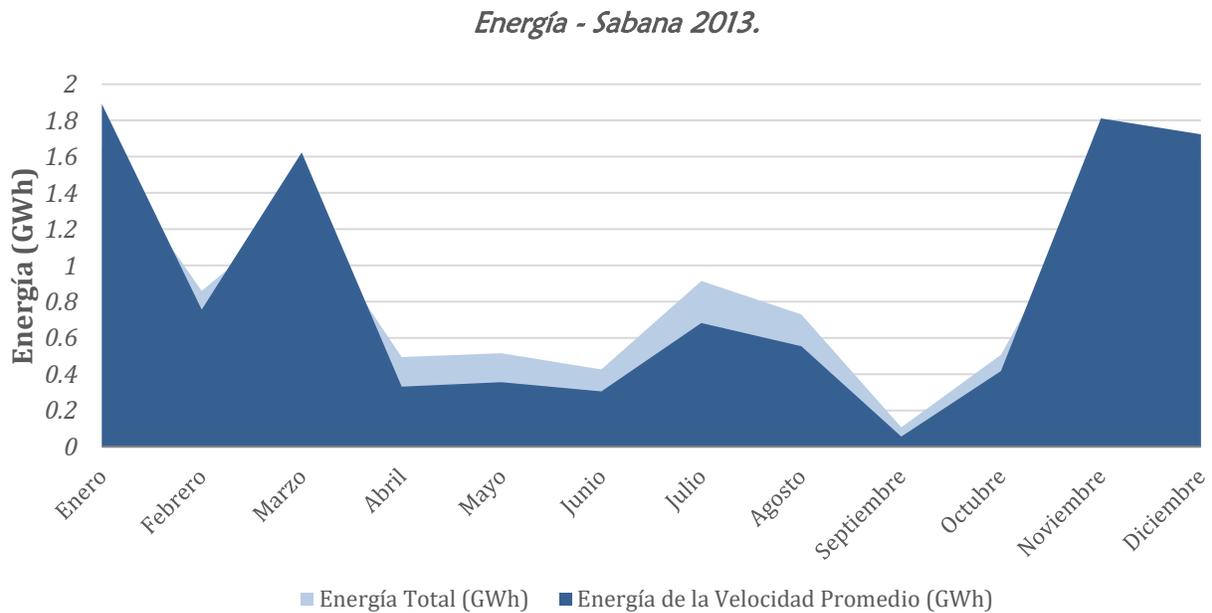
SABANA 2012	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.73	1.17	1.54	0.47	0.30	0.17	1.35	0.21	0.42	0.87	2.10	1.56
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.47	1.15	1.26	0.68	0.41	0.25	1.39	0.34	0.64	1.04	2.02	1.29

Tabla 23: Energía 2012.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2013 se registran valores altos de energía estimada aprovechable en los meses de enero y marzo, noviembre y diciembre, como se observa en la gráfica 18.



Gráfica 18: Energía 2013.

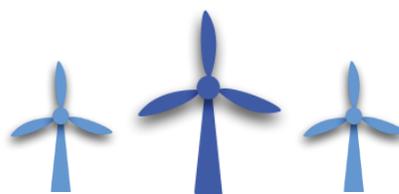
Fuente: DER-DGE

Los valores promedio de la energía estimada se pueden observar en la tabla 24.

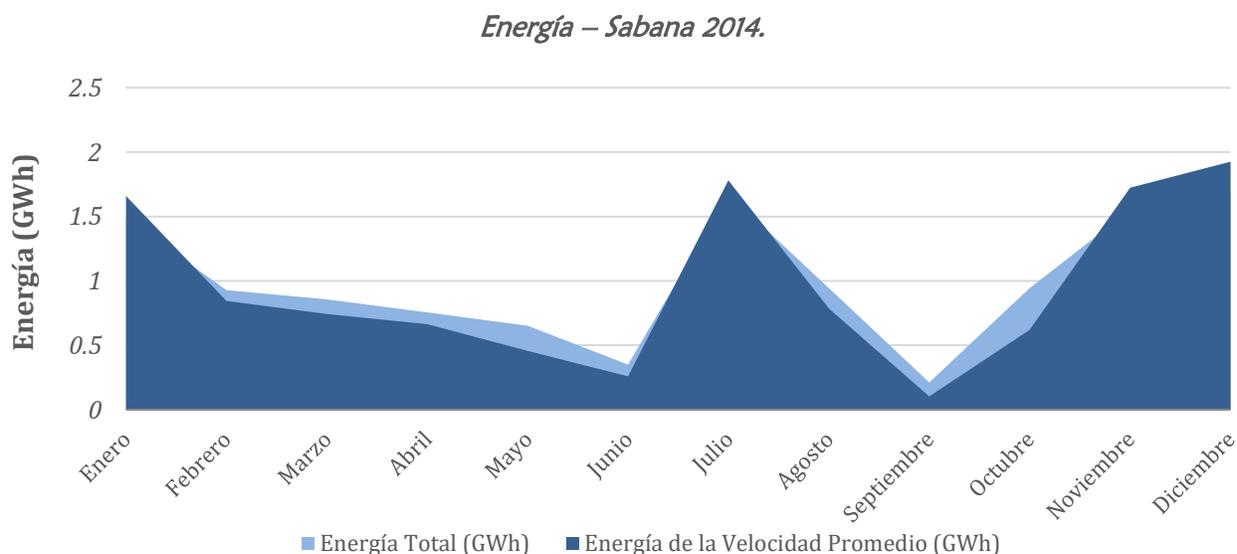
SABANA 2013	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.64	0.86	1.31	0.50	0.52	0.43	0.91	0.73	0.11	0.51	1.50	1.58
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.89	0.76	1.62	0.33	0.36	0.31	0.68	0.56	0.06	0.42	1.81	1.72

Tabla 24: Energía 2013.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2014, los meses que presentan mayor estimación de energía son: enero, julio, noviembre y diciembre.



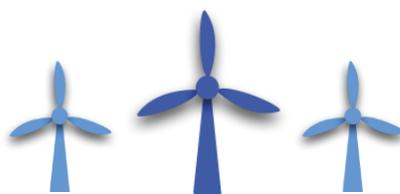
Gráfica 19: Energía 2014.

Fuente: DER-DGE

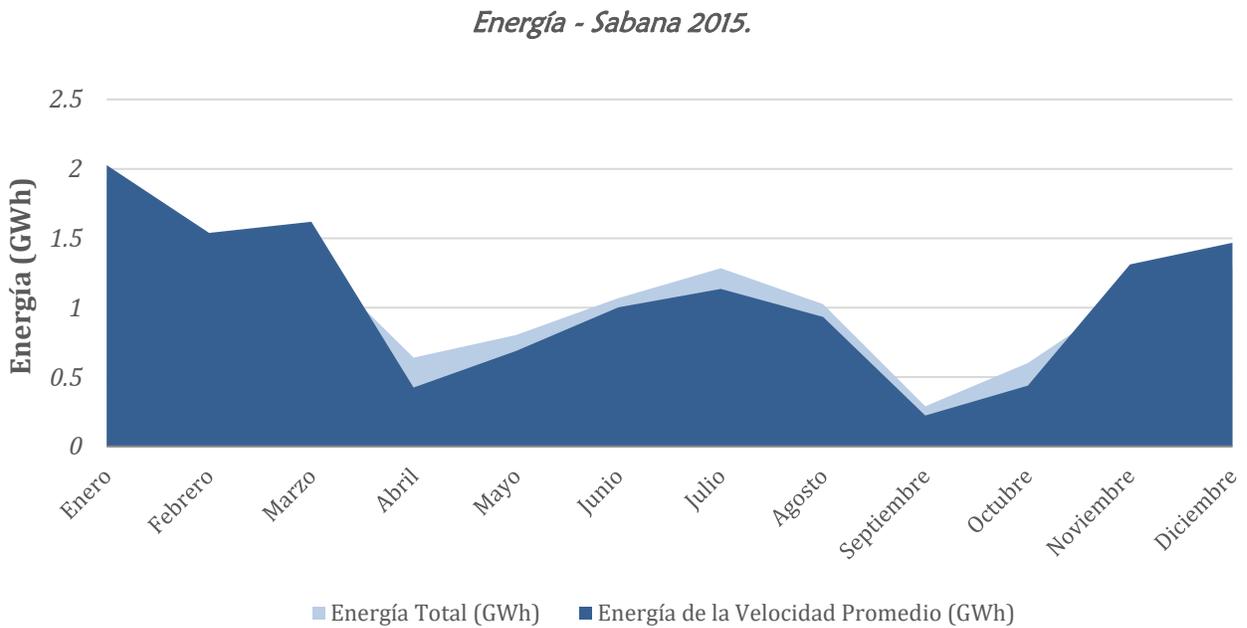
En la tabla 25 se observan los valores de estimación de energía aprovechable en el emplazamiento para el año 2014.

SABANA 2014	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.48	0.93	0.86	0.75	0.65	0.35	1.68	0.94	0.21	0.94	1.55	1.69
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.66	0.84	0.74	0.66	0.46	0.26	1.78	0.79	0.10	0.62	1.73	1.93

Tabla 25: Energía 2014.



Para el año 2015, se observa en la gráfica 21 valores altos de energía estimada en el primer trimestre, en el mes de julio y en los últimos dos meses del año, aunque estos últimos con valores más bajos a los registrados en años anteriores.



Gráfica 20: Energía 2015.

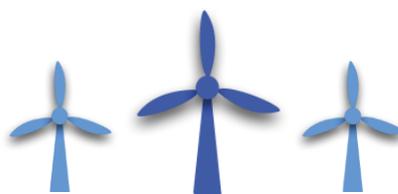
Fuente: DER-DGE

En la tabla 26 se puede observar los valores de energía estimada para el año 2015.

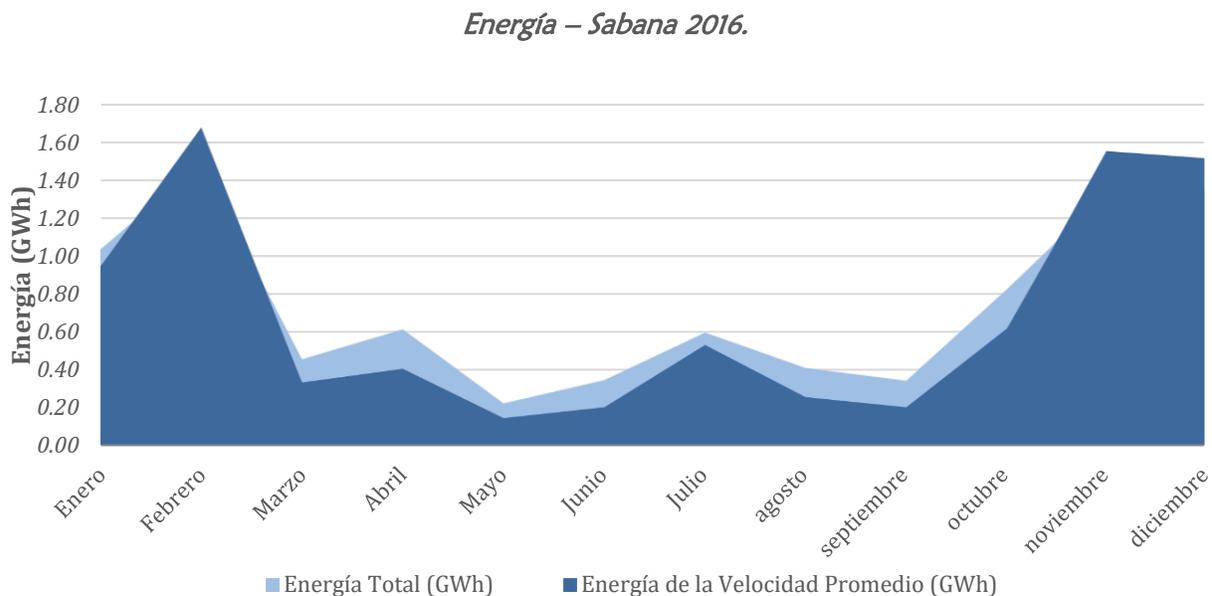
SABANA 2015	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.93	1.24	1.37	0.64	0.80	1.07	1.28	1.03	0.29	0.60	1.09	1.29
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	2.03	1.54	1.62	0.42	0.69	1.00	1.13	0.93	0.22	0.44	1.31	1.47

Tabla 26: Energía 2015.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2016, se observa en la gráfica 21 que la energía aprovechable es mayor en el primer y cuarto trimestre del año.



Gráfica 21: Energía 2016.

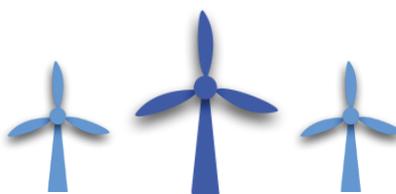
Fuente: DER-DGE

En la tabla 27 se observa los valores de la energía estimada aprovechable.

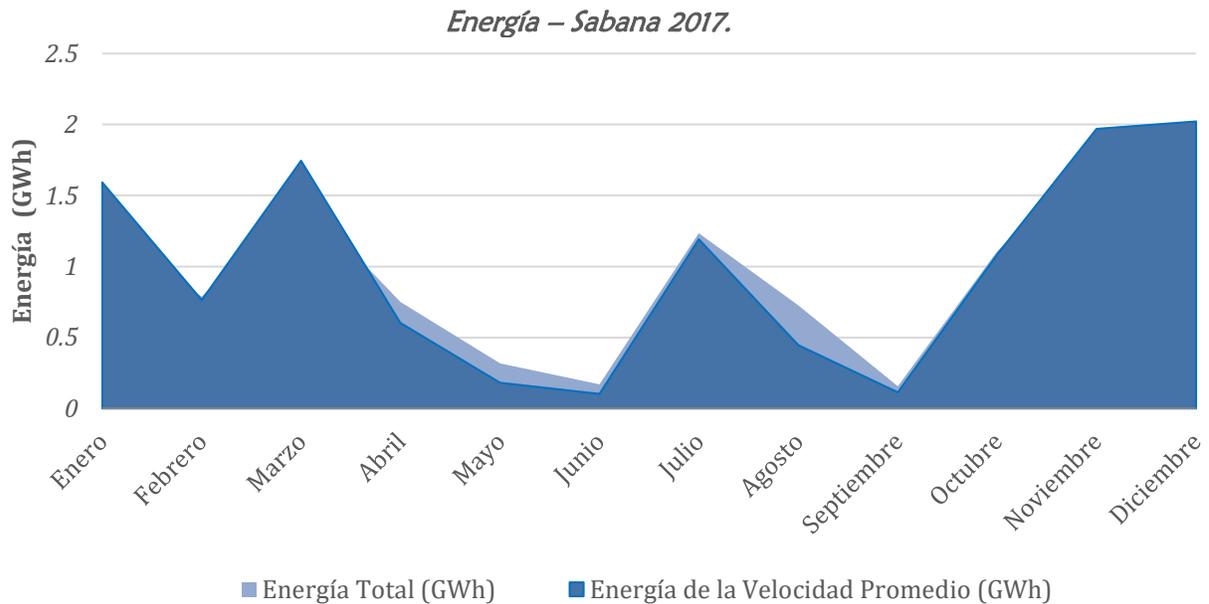
SABANA 2016	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.23	1.52	0.56	0.78	0.45	0.59	1.10	0.76	0.68	1.61	1.80	1.55
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.33	1.75	0.41	0.60	0.29	0.32	1.03	0.58	0.41	1.65	1.93	1.72

Tabla 27: Energía 2016.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2017, se observa en la gráfica 22 que los meses con mayor energía aprovechable son: enero, marzo, julio, noviembre y diciembre.



Gráfica 22: Energía 2017.

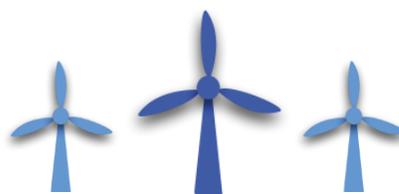
Fuente: DER-DGE

Los valores estimados de la energía aprovechable se pueden observar en la tabla 28.

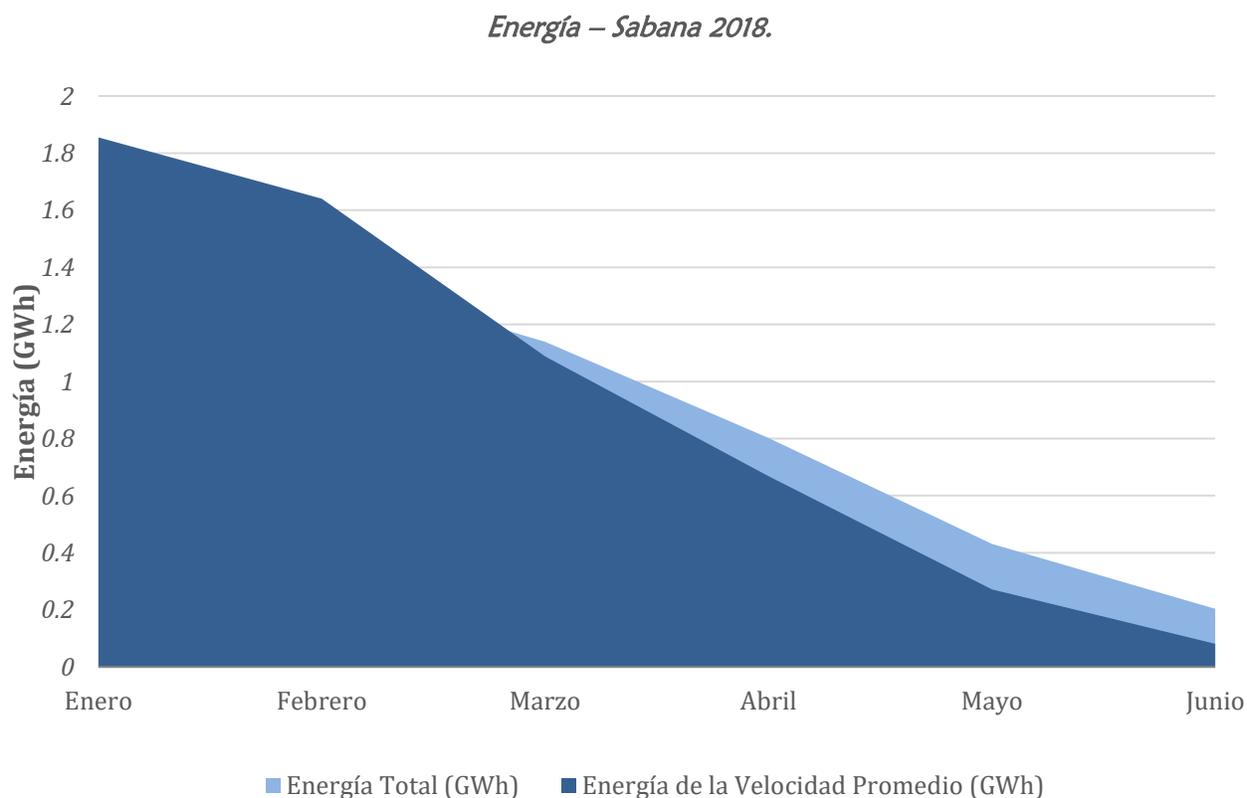
SABANA 2017	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.24	0.79	1.48	0.75	0.32	0.17	1.23	0.72	0.16	1.11	1.82	1.96
ENERGIA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.59	0.76	1.75	0.60	0.18	0.10	1.19	0.45	0.11	1.09	1.97	2.02

Tabla 28: Energía 2017.

Fuente: DER-DGE



Para el año 2018, se observa en la gráfica 23 que los meses con mayor energía aprovechable son: enero, febrero y marzo, teniendo en cuenta que las mediciones finalizan en el mes de junio.



Gráfica 23: Energía 2018.

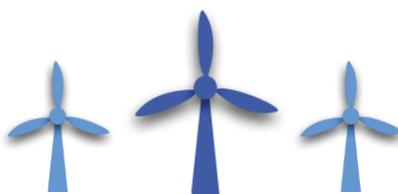
Fuente: DER-DGE

Los valores estimados de la energía aprovechable se pueden observar en la tabla 29.

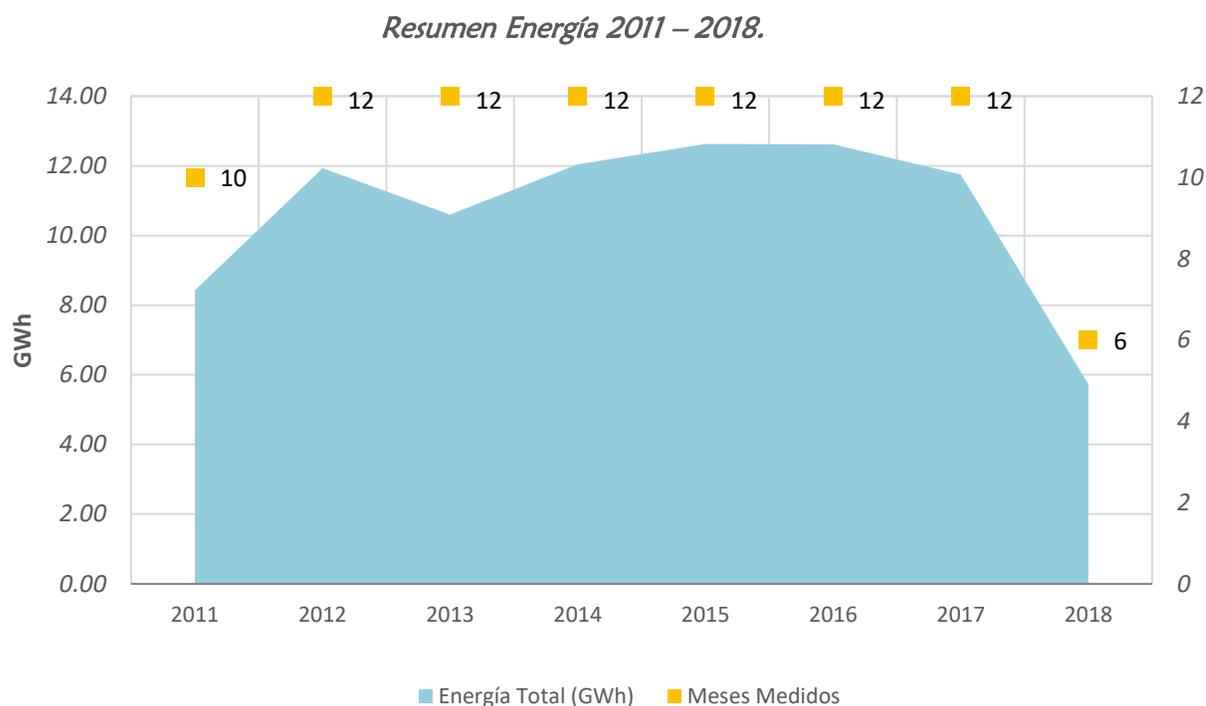
SABANA 2018	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.
ENERGÍA TOTAL (GWh)	1.78	1.37	1.14	0.80	0.43	0.20
ENERGÍA DE LA VELOCIDAD PROMEDIO (GWh)	1.86	1.64	1.09	0.67	0.27	0.081

Tabla 29: Energía 2018.

Fuente: DER-DGE



8.1. Resumen del Cálculo de Energía para la Estación de Medición Eólico La Sabana



Gráfica 24: Resumen Energía.

Fuente: DER-DGE

La grafica 24 muestra el resumen de energía estimada desde comienzos de la medición en marzo 2011 hasta junio 2018.

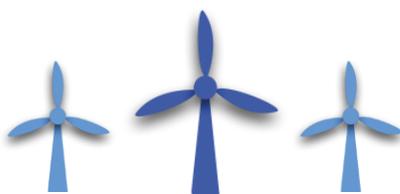
Los cuadros amarillos indican la cantidad de meses medidos durante determinado año. La finalidad de colocar este dato en el gráfico radica en demostrar que no necesariamente el año estuvo por debajo de algún otro año en específico, si no que el hecho de no contar con la misma cantidad de información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

La tabla 30 muestra la energía que se estimó en la finca La Sabana, considerando un solo aerogenerador Vestas V90/3000 instalado, mostrando un total de 85.72 GWh durante los 88 meses de medición.

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Energía Total (GWh)	8.43	11.93	10.60	12.04	12.63	12.61	11.75	5.73	85.72

Tabla 30: Resumen Energía.

Fuente: DER-DGE

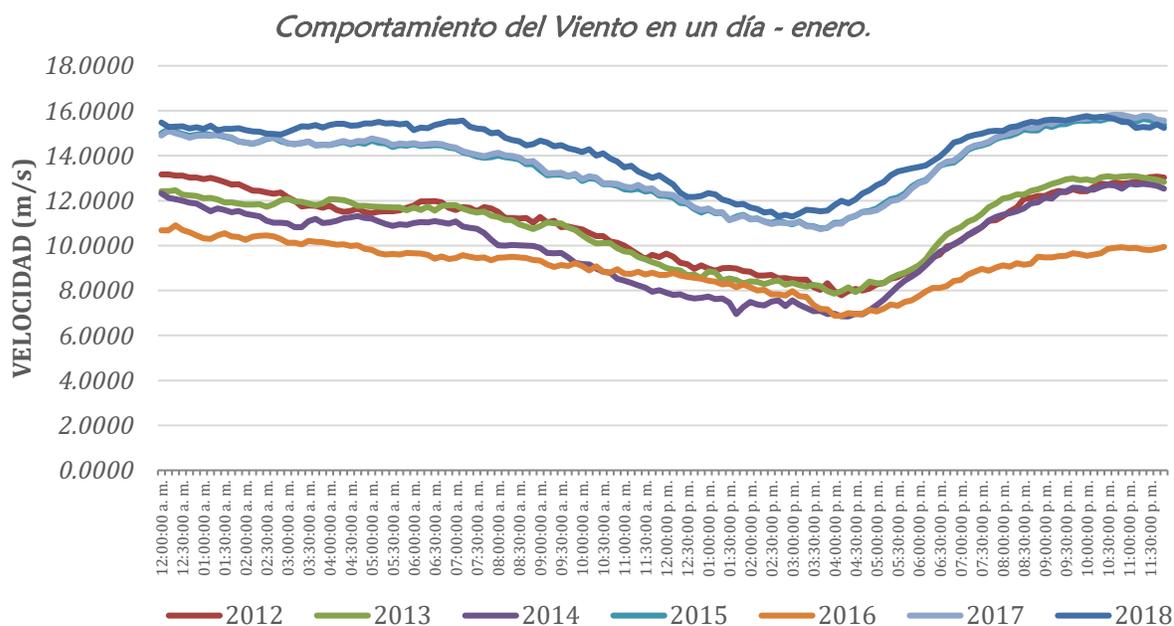


9. Comportamiento de la Velocidad de Viento

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.

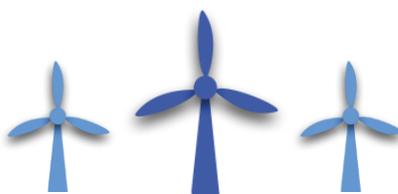
9.1. Comportamiento de la Velocidad de viento en enero.

En la gráfica 25 se observa el comportamiento de la velocidad de viento para cada año en el mes de enero.

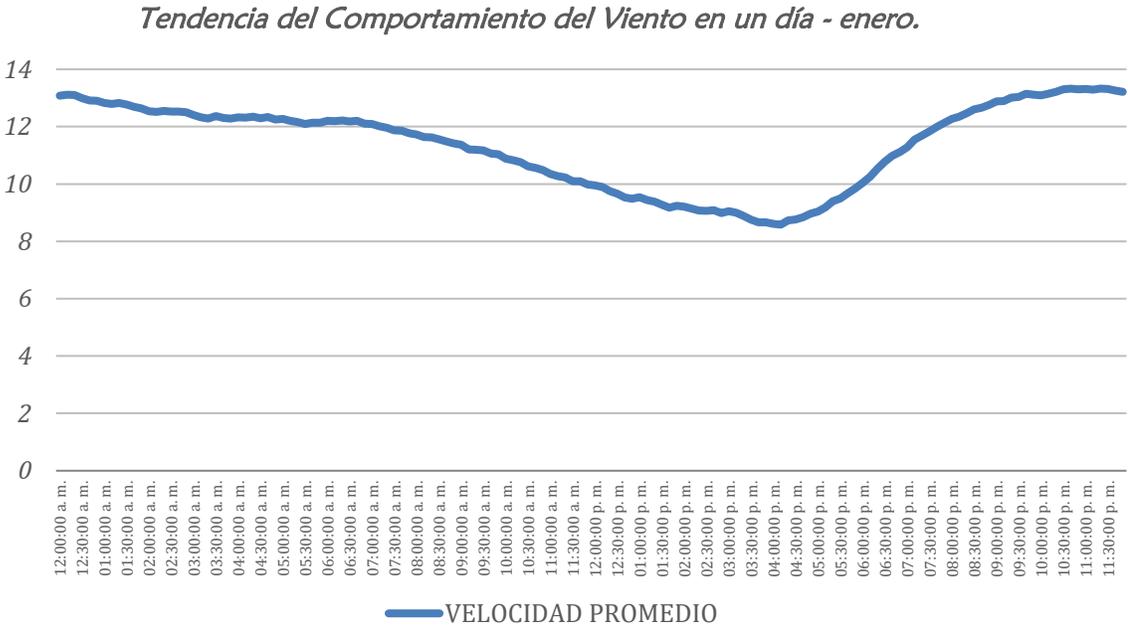


Gráfica 25: Comportamiento del Viento – enero.

Fuente: DER-DGE

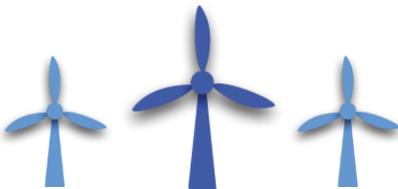


En la gráfica 26 se muestra el promedio del comportamiento de la velocidad del viento para los 7 años de medición, y se observa que a partir de las 12:00 am la velocidad de viento se encuentra en su pico máximo, manteniendo un valor estable hasta las 8:00 am, donde el valor de velocidad de viento empieza a descender hasta alcanzar su punto mínimo aproximadamente a las 4:30 pm, para nuevamente ascender. Es importante mencionar que en este mes la velocidad mínima de viento registrada es excelente para la generación.



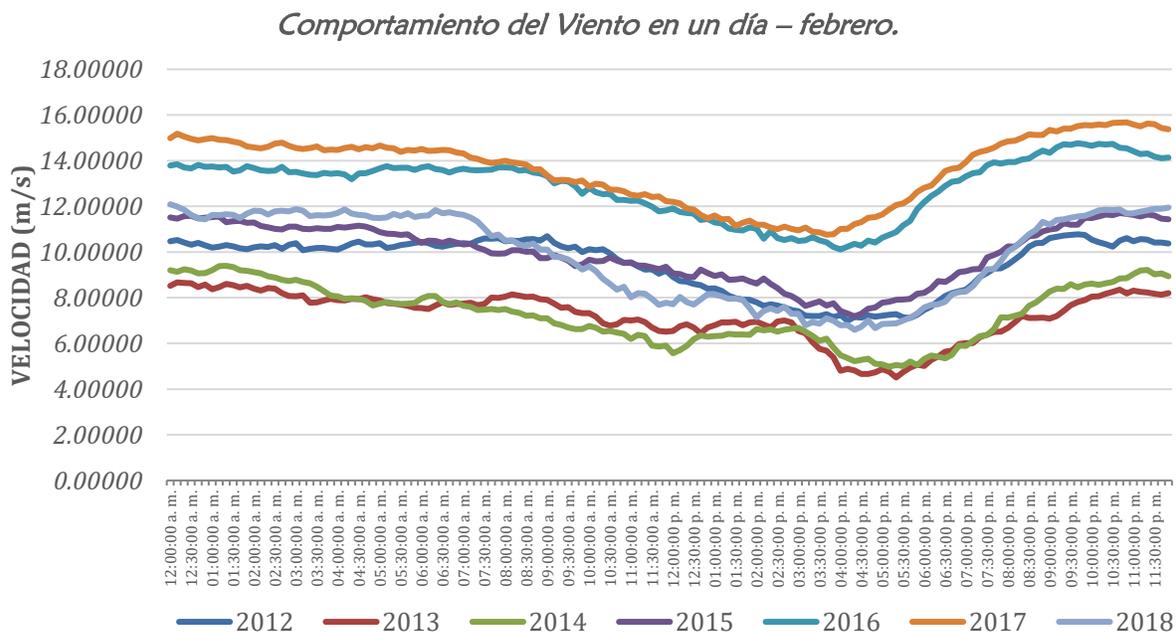
Gráfica 26: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento enero.

Fuente: DER-DGE



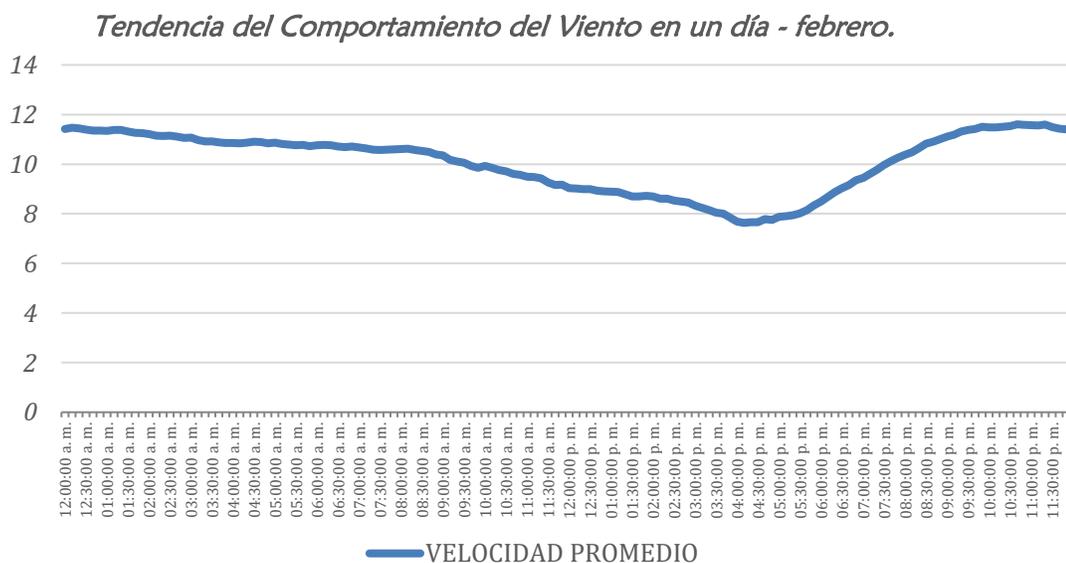
9.2. Comportamiento de la Velocidad de viento en febrero.

Para el mes de febrero la velocidad de viento a partir de las 12:00 am se mantiene en un valor alto y estable, posteriormente comienza a descender hasta alcanzar un valor mínimo aproximadamente a las 6:40 pm, para luego comenzar a ascender hasta estabilizarse en un valor de velocidad alto.



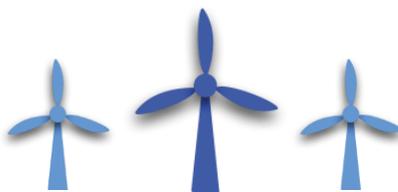
Gráfica 27: Comportamiento del Viento – febrero.

Fuente: DER-DGE



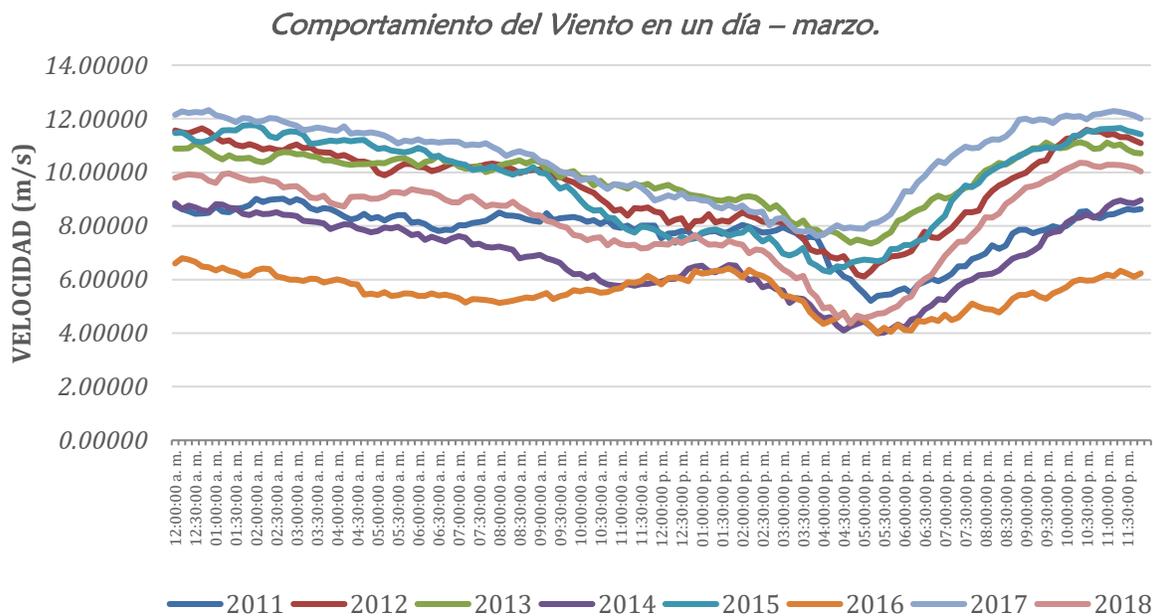
Gráfica 28: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento febrero.

Fuente: DER-DGE



9.3. Comportamiento de la Velocidad de viento en marzo.

La tendencia de la velocidad de viento para marzo, a las 12:00 am se mantiene estable iniciando a descender moderadamente a partir de las 9:20 am, alcanzando un valor mínimo a las 5:10 pm; para posteriormente aumentar su valor a una velocidad de viento arriba de los 8 m/s.



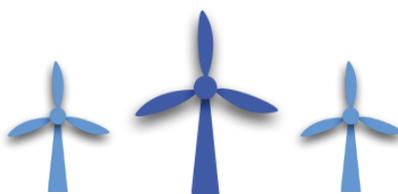
Gráfica 29: Comportamiento del Viento - marzo.

Fuente: DER-DGE



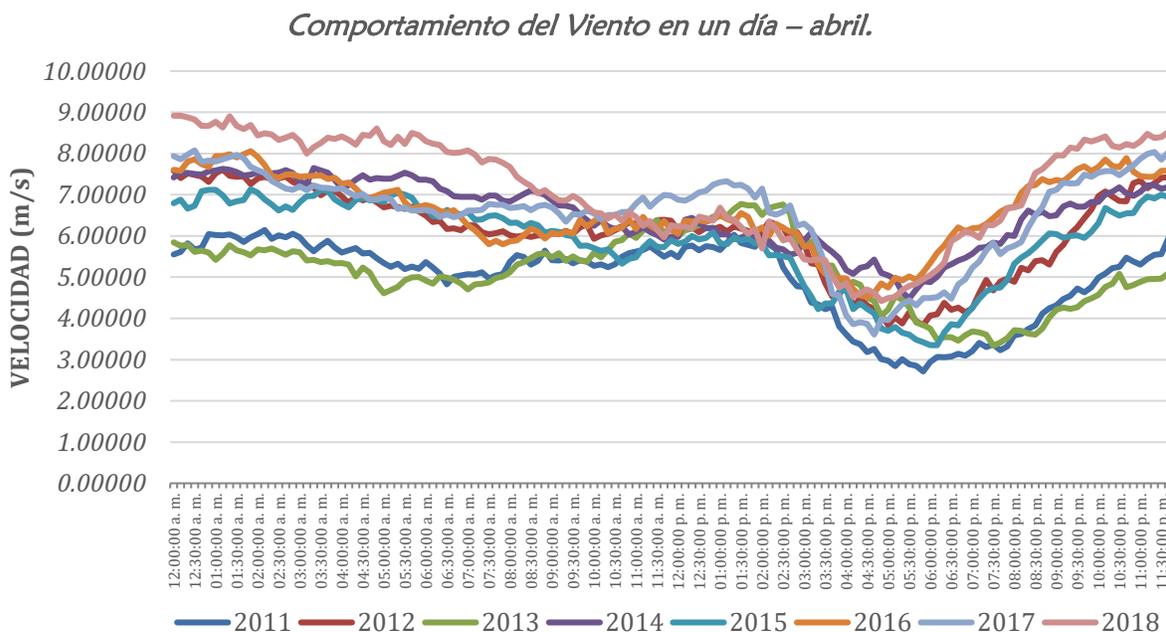
Gráfica 30: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento marzo.

Fuente: DER-DGE



9.4. Comportamiento de la Velocidad de viento en abril.

Como se muestra en las gráficas 31 y 32, a las 12:00 am el viento se mantiene a una velocidad estable hasta las 2:30 pm donde empieza a descender para llegar a su valor mínimo de velocidad, para luego volver a ascender alrededor de 18:00 horas.



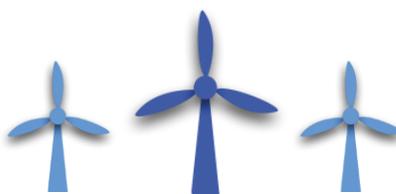
Gráfica 31: Comportamiento del Viento - abril.

Fuente: DER-DGE



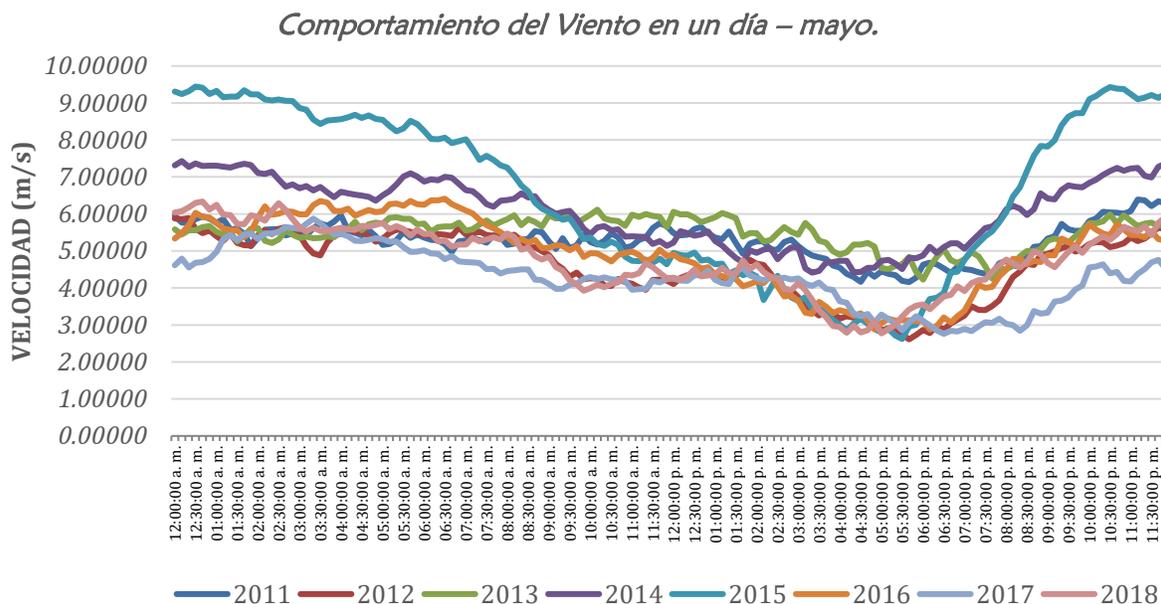
Gráfica 32: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento abril.

Fuente: DER-DGE



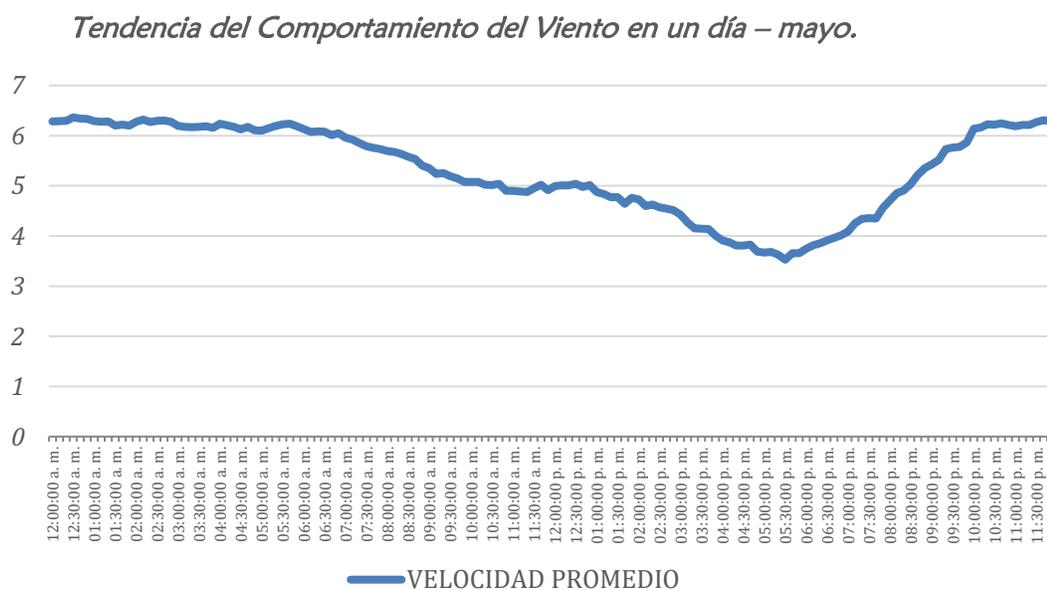
9.5. Comportamiento de la Velocidad de viento en mayo.

A las 12:00 am el viento se mantiene a velocidad constante hasta las 7:20 am donde empieza a descender progresivamente para alcanzar su valor mínimo a las 5:20 pm donde comienza el ascenso hasta alcanzar nuevamente una velocidad estable.



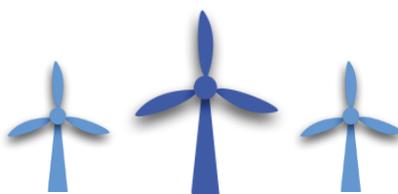
Gráfica 33: Comportamiento del Viento - mayo.

Fuente: DER-DGE



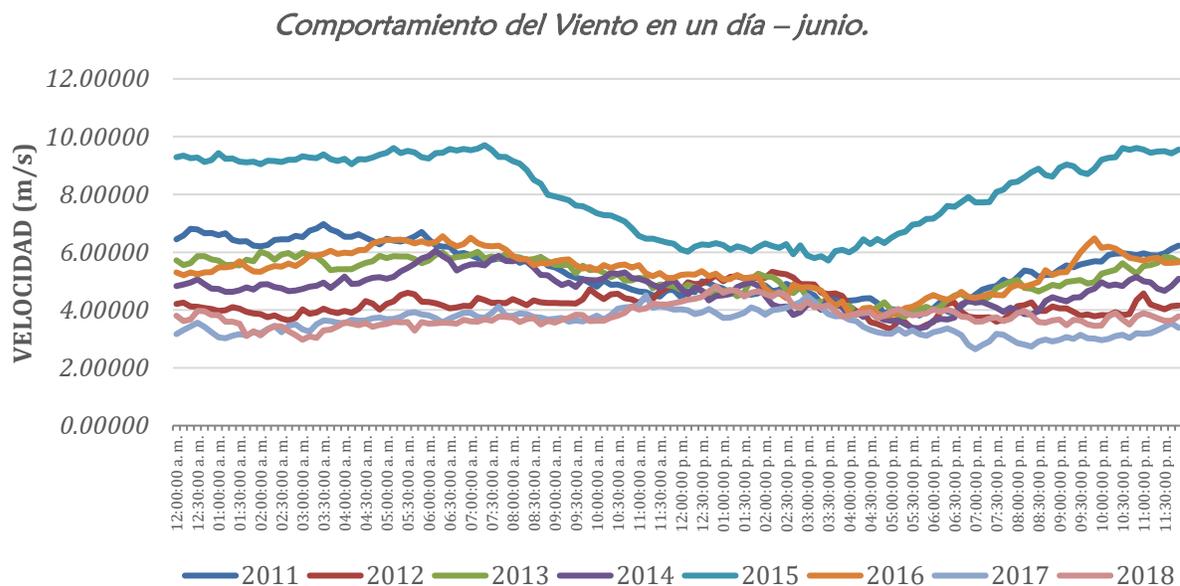
Gráfica 34: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento mayo.

Fuente: DER-DGE



9.6. Comportamiento de la Velocidad de viento en junio.

En este mes la velocidad se mantiene en valores bajos respecto a meses anteriores, a las 12:00 am se mantiene en valores estables respecto al promedio del mes, hasta las 5:00 pm donde alcanza su valor mínimo y vuelve a ascender progresivamente.



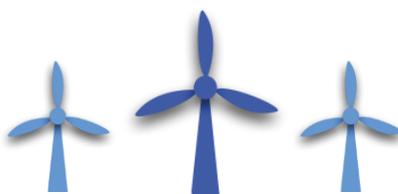
Gráfica 35: Comportamiento del Viento - junio.

Fuente: DER-DGE



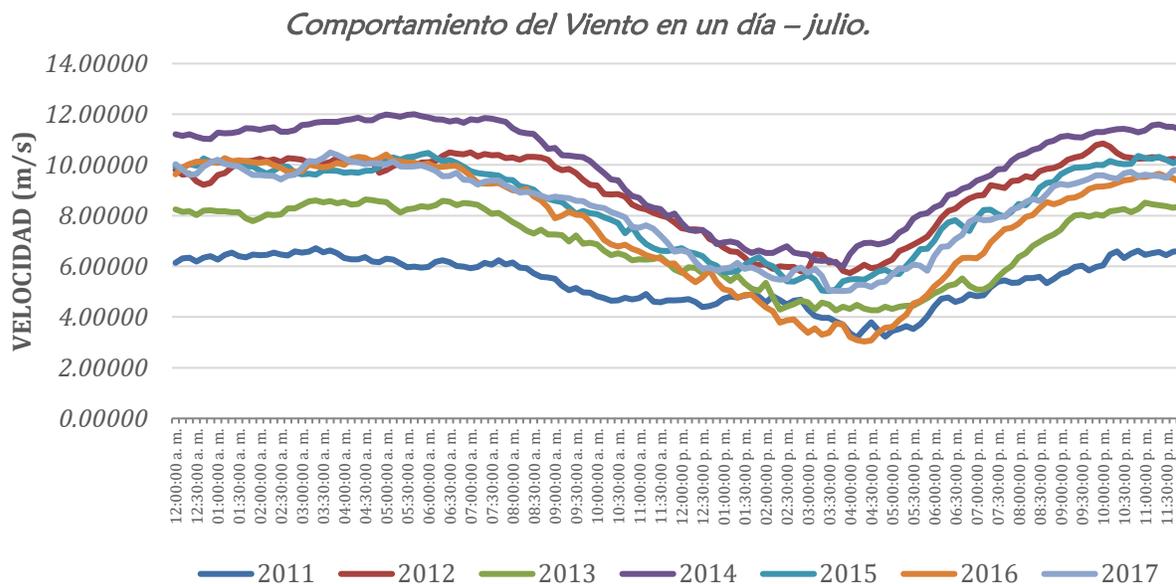
Gráfica 36: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento junio.

Fuente: DER-DGE



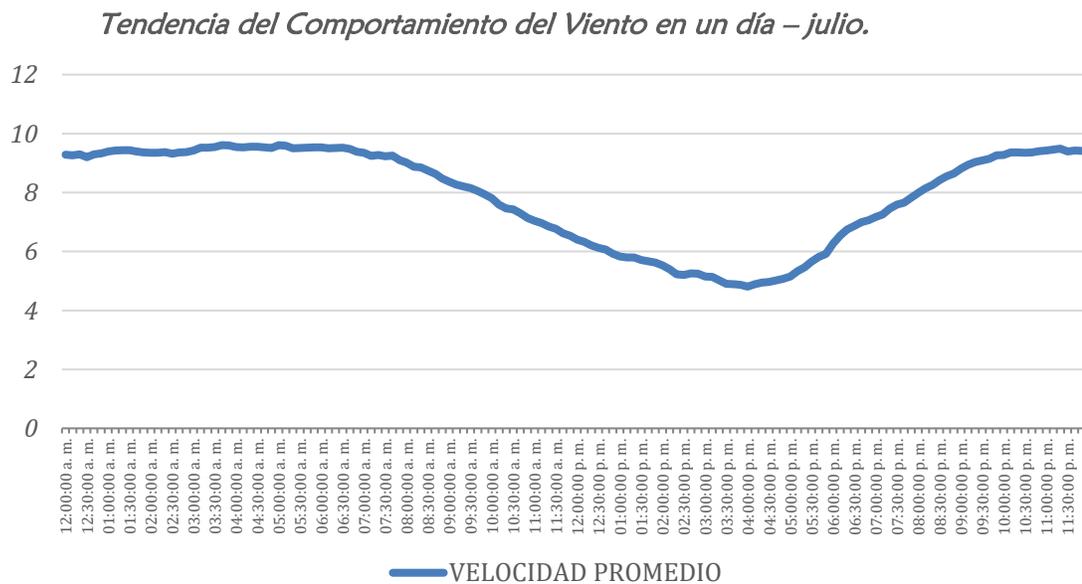
9.7. Comportamiento de la Velocidad de viento en julio.

En las gráficas 37 y 38 se observa que a las 12:00 am la velocidad del viento se mantiene estable hasta las 8:00 am donde la velocidad empieza a descender gradualmente hasta llegar a su valor mínimo a las 4:00 pm en donde desciende para nuevamente alcanzar valores estables de velocidad.



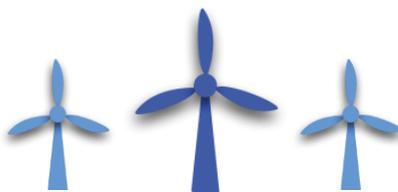
Gráfica 37: Comportamiento del Viento - julio.

Fuente: DER-DGE



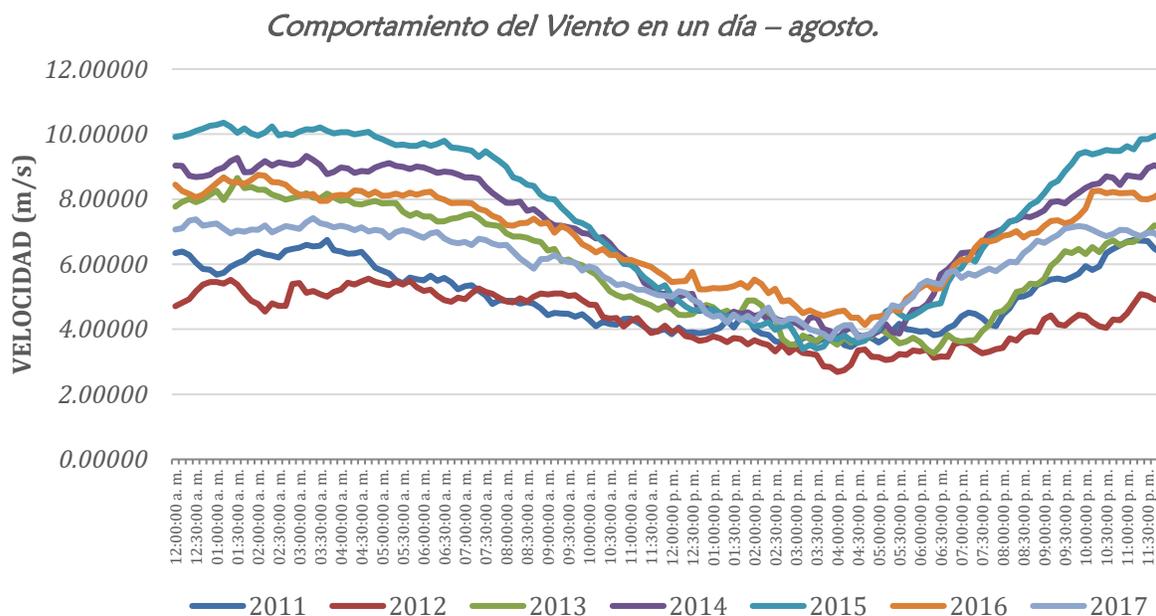
Gráfica 38: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento julio.

Fuente: DER-DGE



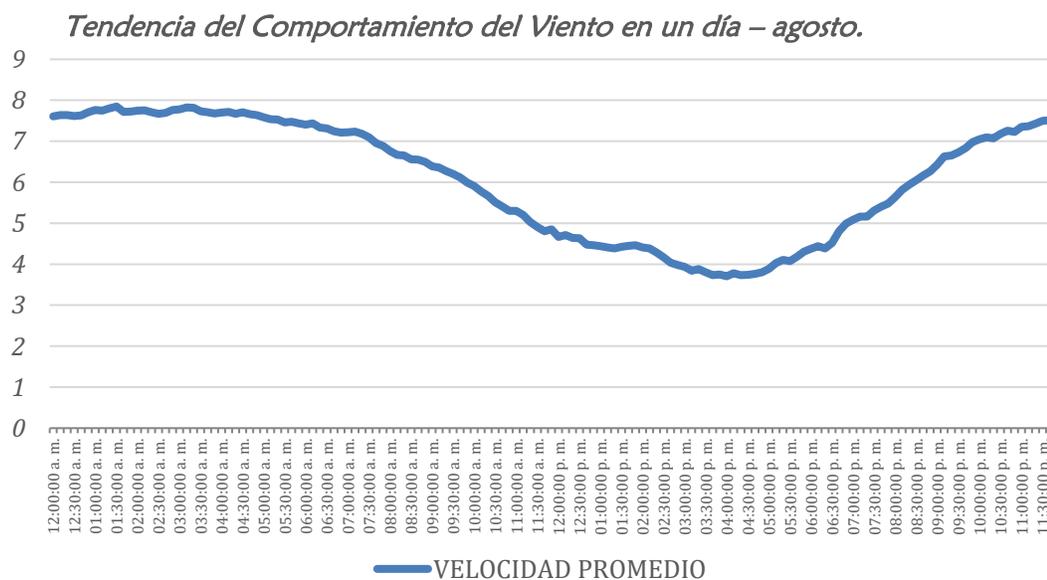
9.8. Comportamiento de la Velocidad de viento en agosto.

En las gráficas 39 y 40 se observa que a las 12:00 am la velocidad se mantiene en valores altos, registrados en el mes, hasta las 8:00 am donde desciende progresivamente hasta llegar a su valor mínimo a las 4:00 pm, hora en que comienza a ascender gradualmente hasta alcanzar de nuevo valores altos de velocidad.



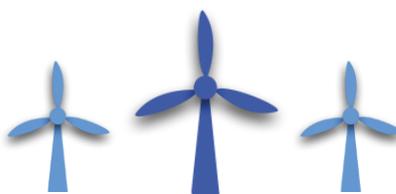
Gráfica 39: Comportamiento del Viento - agosto.

Fuente: DER-DGE



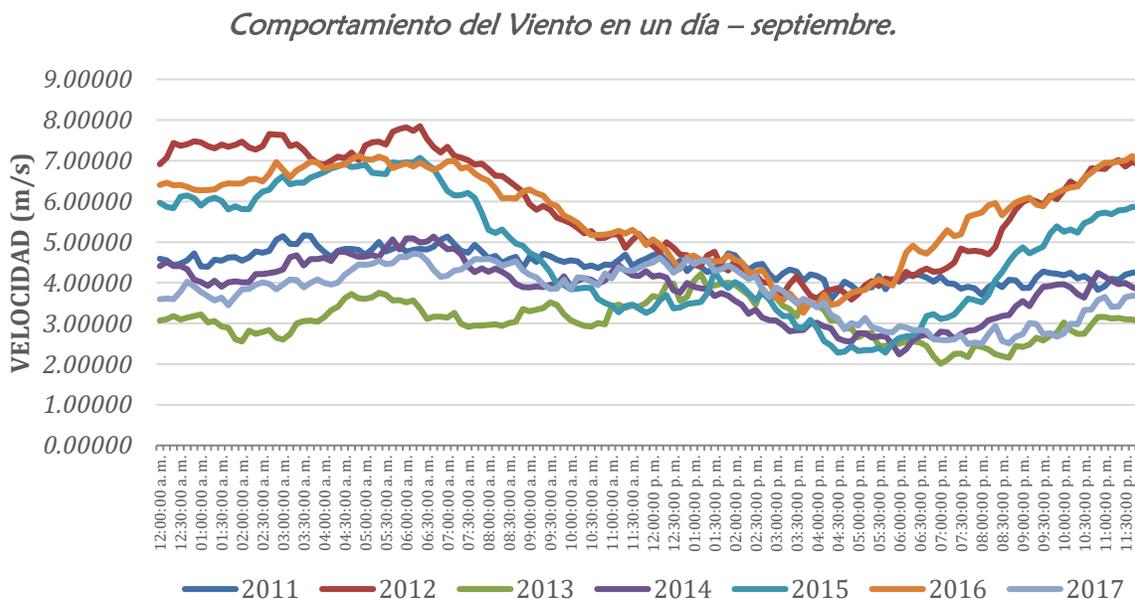
Gráfica 40: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento agosto.

Fuente: DER-DGE



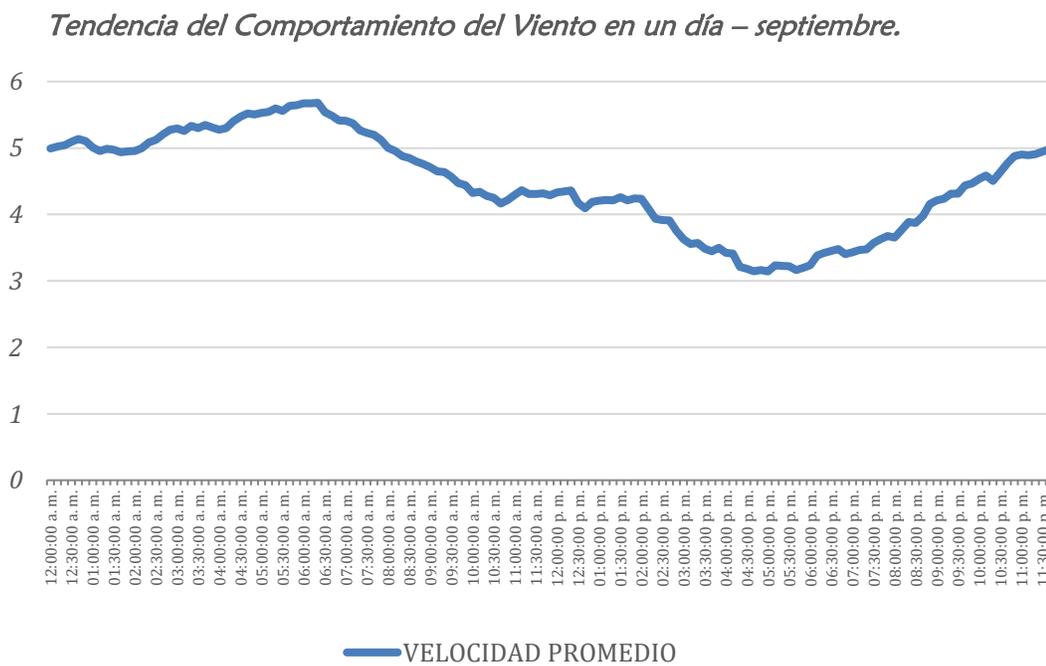
9.9. Comportamiento de la Velocidad de viento en septiembre.

En este mes las velocidades que se registran presentan valores bajos, por lo que el comportamiento del viento a lo largo del día en este es distinto respecto a los meses con velocidades mayores. Se observa en las gráficas 42 y 43 que se presenta un pico de velocidad alta a las 6:00 am y un pico de velocidad baja a las 5:00 pm.



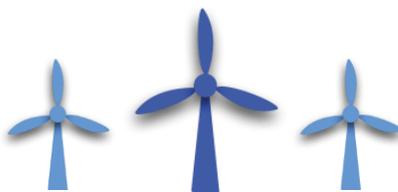
Gráfica 41: Comportamiento del Viento - septiembre.

Fuente: DER-DGE



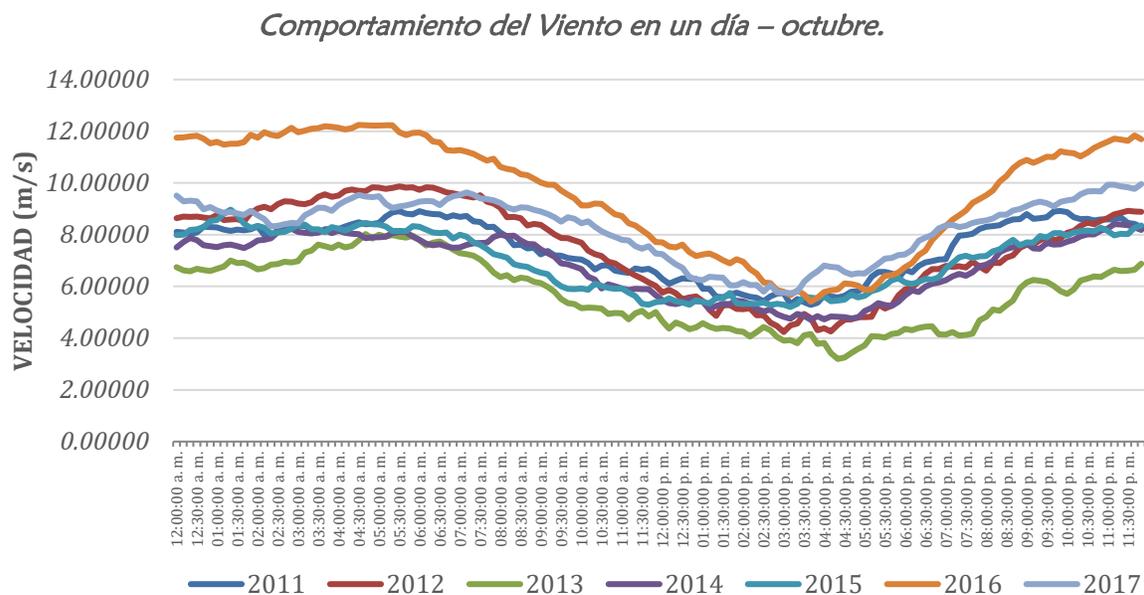
Gráfica 42: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento septiembre.

Fuente: DER-DGE



9.10. Comportamiento de la Velocidad de viento en octubre.

El comportamiento promedio de la velocidad de viento a partir de las 12:00 am mantiene un valor por encima de los 8 m/s, manteniéndose estable hasta las 8:40 am, donde comienza a descender paulatinamente hasta alcanzar un valor mínimo a las 3:20 pm, posteriormente comienza a ascender hasta alcanzar valores superiores a 8m/s.



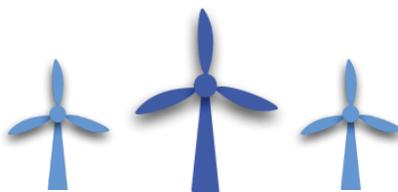
Gráfica 43: Comportamiento del Viento - octubre.

Fuente: DER-DGE



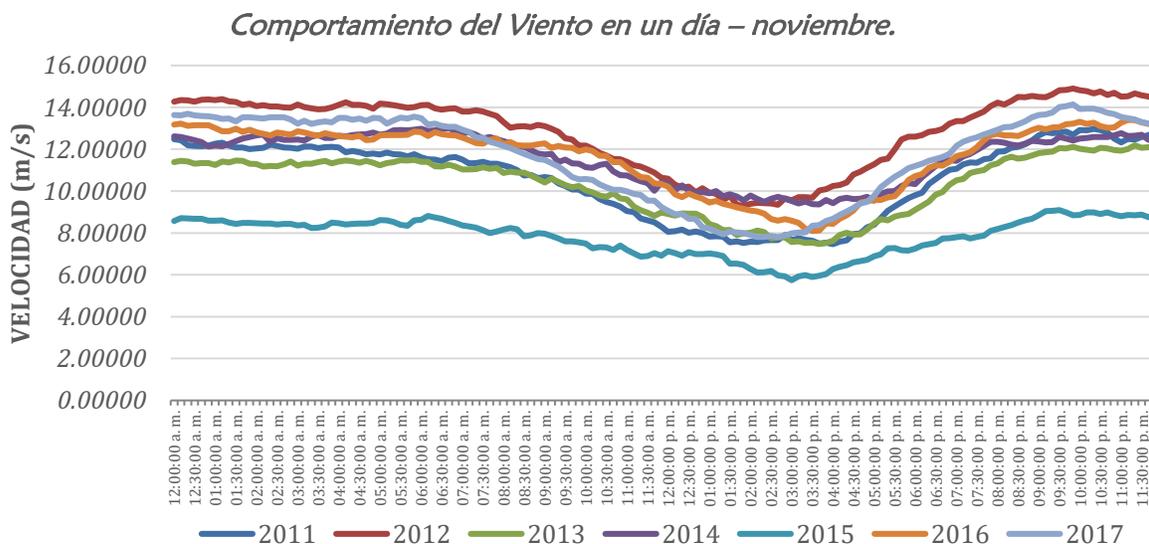
Gráfica 44: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento octubre.

Fuente: DER-DGE



9.11. Comportamiento de la Velocidad de viento en noviembre.

En este mes se tienen valores de velocidades altos por lo que la tendencia que se ha visto durante los meses pasados, se puede apreciar mejor. En las gráficas 45 y 46 se observa que a las 12:00 am la velocidad de viento se mantiene constante hasta las 8:00 am, hora en la cual desciende progresivamente hasta llegar a su valor mínimo de velocidad (8 m/s) para volver a ascender de manera gradual.



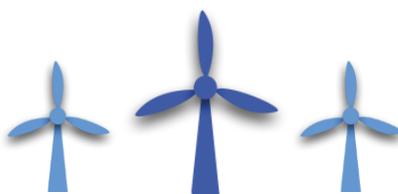
Gráfica 45: Comportamiento del Viento noviembre.

Fuente: DER-DGE



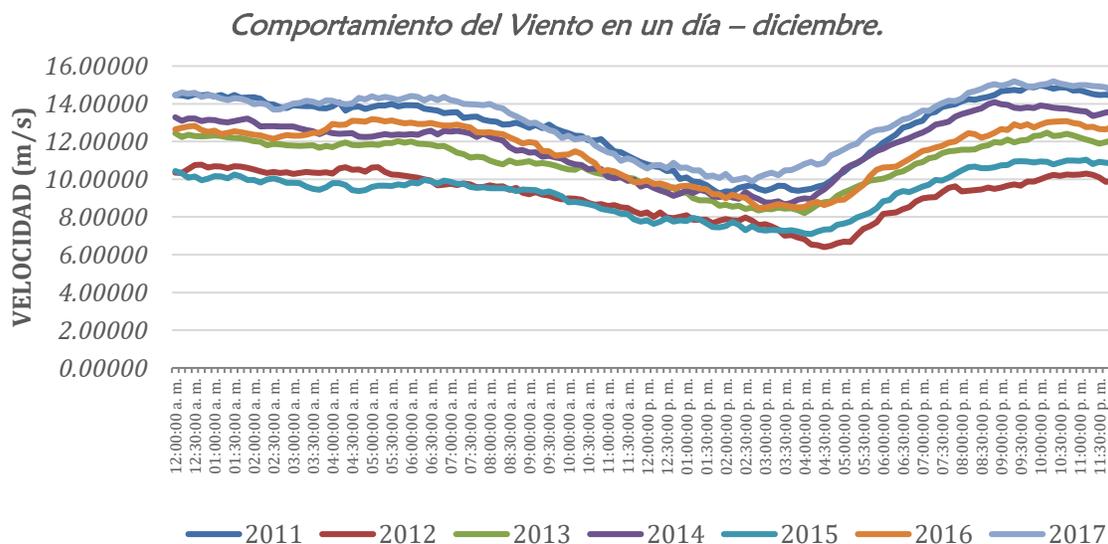
Gráfica 46: Comportamiento Promedio de la velocidad de viento noviembre.

Fuente: DER-DGE



9.12. Comportamiento de la Velocidad de viento en diciembre.

Para este mes, la tendencia del comportamiento del viento es notoria y concuerda con la tendencia observada en meses anteriores. A las 12:00 am la velocidad del viento se mantiene estable hasta las 8:30 am donde comienza a descender de forma gradual hasta alcanzar su valor mínimo a las 3:20 pm, hora en la que los valores de velocidad ascienden hasta volver a valores altos estables de velocidad.



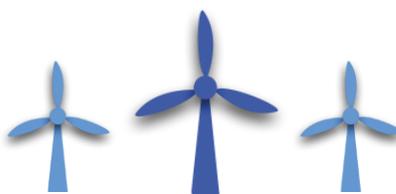
Gráfica 47: Comportamiento del Viento diciembre.

Fuente: DER-DGE



Gráfica 48: 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 de CO₂ equivalentes que se evitarían al generar energía eléctrica por medio del recurso eólico en el país, las cuales fueron calculadas con base a la energía estimada de un solo aerogenerador del emplazamiento de la finca La Sabana, se muestran en las siguientes tablas:

AÑO	ENERGÍA [GWh]	CARBON MINERAL	
		COEFICIENTE DE EMISION ³ [Kg CO ₂ e / KWh]	EMISIONES [Kg CO ₂ e]
2011	8.43	1.1932	10,053,946.97
2012	11.93	1.3629	16,259,531.43
2013	10.60	1.3738	14,560,845.50
2014	12.04	1.3273	15,983,658.85
2015	12.63	1.3074	16,506,779.95
2016	12.61	1.3173	16,616,406.96
2017	11.75	1.2617	14,825,862.53
2018	5.73	1.2617	7,226,683.80
TOTAL	85.72		104,807,032.19

Tabla 31: Emisiones evitadas por el uso de Carbón Mineral.

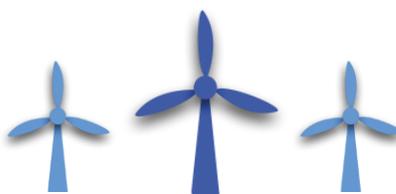
Fuente: DER-DGE

AÑO	ENERGÍA [GWh]	DIESEL OIL	
		COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO ₂ e / KWh]	EMISIONES [Kg CO ₂ e]
2011	8.43	0.7567	6,375,981.96
2012	11.93	0.7743	9,237,475.37
2013	10.60	0.9188	9,738,320.60
2014	12.04	0.8341	10,044,428.42
2015	12.63	0.7498	9,466,715.32
2016	12.61	0.7814	9,856,570.56
2017	11.75	0.796	9,353,559.94
2018	5.73	0.796	4,559,277.41
TOTAL	85.72		64,073,052.17

Tabla 32: Emisiones evitadas por el uso de Diesel Oil.

Fuente: DER-DGE

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



AÑO	FUEL OIL		
	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION [Kg CO2e / KWh]	EMISIONES [Kg CO2e]
2011	8.43	0.6815	5,742,344.00
2012	11.93	0.6754	8,057,588.62
2013	10.60	1.0544	11,175,539.01
2014	12.04	0.6818	8,210,395.99
2015	12.63	0.6619	8,356,920.34
2016	12.61	0.6641	8,376,949.72
2017	11.75	0.7458	8,763,674.63
2018	5.73	0.7458	4,271,745.09
TOTAL	85.72		58,683,412.30

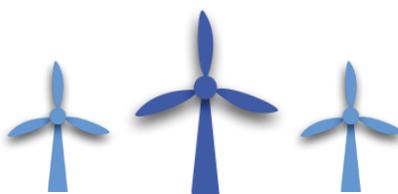
Tabla 33: Emisiones evitadas por el uso de Fuel Oil.

Fuente: DER-DGE

En las tablas 31, 32 y 33, 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 La Sabana y se multiplica por el factor de emisión equivalente correspondiente a carbón mineral, diesel oil y fuel oil, para obtener así la cantidad en Kg de dióxido de carbono equivalente que se estarían evitando al generar dicha energía con generación eólica y no con la utilización de los combustibles en mención.

Se evidencia, que para producir un total de 85.72 GWh por medio de la utilización de carbón mineral, se estarían emitiendo aproximadamente 105 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente; al hacerlo por medio de fuel oil, se emitirían 64 mil toneladas; y al hacerlo por medio de diesel oil, se estarían emitiendo 58 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 millones de kg de dióxido de carbono equivalente.



11. Análisis Económico de la Energía estimada

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

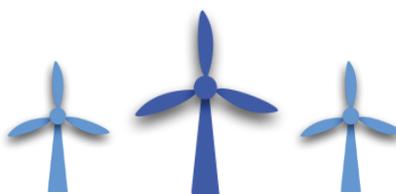
En la Tabla 34 se muestra el ingreso estimado en US\$ de la energía aprovechable medida por año en La Sabana de 2011 a 2018, con lo cual se tendría un estimado del valor monetario que representaría el tener un solo aerogenerador aprovechando dicha energía; teniendo entonces un total aproximado de 10.8 millones de dólares por cada generador instalado en un total de 88 meses de operación (tiempo sobre el cual se tiene la medición).

Cabe mencionar el hecho de que el estudio fue realizado con datos de un aerogenerador Vestas V90/3000, por lo que la potencia de generación está limitada a 3000 KW.

AÑO	ENERGÍA [GWh]	ENERGÍA [MWh]	VALOR EN USD DE LA ENERGÍA GENERADA
2011	8.43	8,426.04	1,061,680.62
2012	11.93	11,930.10	1,503,192.43
2013	10.60	10,598.96	1,335,468.43
2014	12.04	12,042.24	1,517,321.64
2015	12.63	12,625.65	1,590,832.40
2016	12.61	12,613.99	1,589,362.54
2017	11.75	11,750.70	1,480,588.63
2018	5.73	5,727.74	721,694.67
TOTAL	85.72	85,715.41	10,800,141.36

Tabla 34: Remuneración económica estimada.

Fuente: DER-DGE



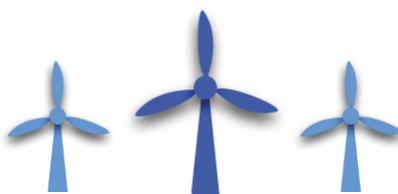
12. Presupuesto para la instalación de una planta eólica

Dadas las condiciones de espacio territorial y las condiciones de velocidad y dirección del viento en la finca La Sabana, a continuación, se especifica el costo económico aproximado que conlleva instalar un proyecto tipo Generador Distribuido Renovable menor de 5 MW de potencia en dicho lugar.

Como primer punto, en la finca la Sabana existe una proporción pequeña de terreno factible para instalar un aerogenerador Vestas V90 de 2 MW de potencia o Vestas V90 de 3MW de potencia. Es importante aclarar que esta limitación obliga a realizar un proyecto con características de Generador Distribuido Renovable –GDR-, una planta generadora 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 geológicos, ambientales, 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 el cuadro 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 KILÓMETROS DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN		
ACTIVIDAD	COSTO EN DÓLARES	COSTO EN QUETZALES
Valoración del terreno.	200,000.00	1,540,000.00
Compra de aerogeneradores, incluye transporte	2,539,682.54	19,555,555.56
Realización de estudios geológicos, ambientales, de riesgo, técnicos	100,000.00	770,000.00
Construcción, obra civil y anclaje del aerogenerador	250,000.00	1,925,000.00
Construcción de la línea de transmisión y subestación eléctrica	200,000.00	1,540,000.00
Gastos administrativos	5,000.00	38,500.00
TOTAL	3,294,682.54	25,369,055.56

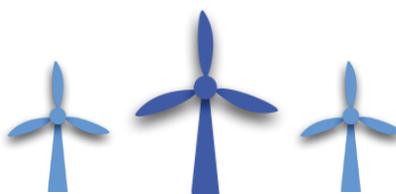
Tabla 35: Inversión estimada para un proyecto de 2 MW.

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 2 MW de potencia es de 25, 369,055.56 quetzales. Esto nos indica que el MW, instalado asciende a 12, 684,527.78 quetzales o su equivalente en dólares 1.647341.27 por MW instalado.

Es muy importante observar que un proyecto de este tipo, requiere estudios como impacto ambiental, geológicos y de riesgo, los cuales dan una idea de la cantidad de riesgo al cual se somete la inversión. Estos estudios 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.

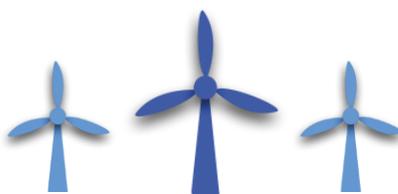


13. Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable

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).

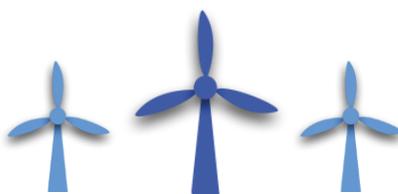




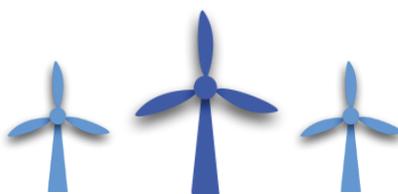
Sitio de Medición
Finca La Sabana

14. Conclusiones

- ✓ La velocidad de viento promedio correspondiente a los ocho años de medición en la finca La Sabana es de **9.33 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.
- ✓ El porcentaje de aprovechamiento del tiempo de los ocho años de medición fue de **62.65 %**, 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 ocho años para la generación eólica calculada, tomando en consideración datos de una turbina Vestas V90/3000, es de **85.72 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, esta sería utilizada para cubrir la ausencia de energía eléctrica generada por recurso hídrico, ya que son estos meses donde no hay incidencia de la lluvia en el país.
- ✓ En los años analizados se observa que el mes de julio representa una velocidad de viento promedio arriba de los 8.50 m/s (excepto en el año 2011, julio presenta velocidad promedio de 7.5 m/s), resultado de las canículas presentadas en el país para esas fechas, esta energía podría ser utilizada para compensar la ausencia de generación por medio de recurso hidroeléctrico por falta de lluvia en dicho mes.
- ✓ 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, podría compensar la ausencia de la energía generada por plantas fotovoltaicas y así obtener una potencia firme durante el día con recursos renovables.
- ✓ Debido a la pequeña disponibilidad del terreno para el emplazamiento de aerogeneradores, 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, la cual se encuentra disponible en un radio de 2 kilómetros.



- ✓ El costo estimado del presupuesto del proyecto es de aproximadamente Q.25,369,055.56, con lo que la relación del costo por MW instalado es de Q. 12,684,527.78 o su equivalente en dólares americanos, US\$1,647,341.27 por MW instalado.





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.

