



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

**MINISTERIO DE
ENERGÍA
Y MINAS**

ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE LA MEDICIÓN SOLAR EN FINCA “LA SABANA”



Ciudad de Guatemala, junio de 2020

ENERGÍA SOLAR

¿Qué es?

Es la energía que se aprovecha mediante la radiación emitida por el sol; usualmente existen dos maneras de aprovechar dicha energía: una es mediante captadores solares, los cuales la aprovechan en energía térmica, y la otra es mediante paneles fotovoltaicos, los cuales transforman la radiación solar en energía eléctrica.

Ventajas

- ☀️ Es energía limpia, debido a que no se utiliza ningún tipo de combustible fósil para la generación eléctrica. Únicamente se tiene como fuente energética la radiación directa del sol.
- ☀️ Se puede utilizar de dos maneras, ya sea como energía térmica para conseguir elevar la temperatura de algún determinado líquido o por medio de paneles fotovoltaicos para convertir esta radiación en energía eléctrica.
- ☀️ La instalación de un parque fotovoltaico es relativamente sencilla al momento del montaje comparado con proyectos que utilizan otras tecnologías para la generación de electricidad.
- ☀️ Es posible aprovechar áreas destinadas para otros objetivos, tal como una instalación de paneles fotovoltaicos en el techo de un edificio.
- ☀️ Guatemala se considera un país idóneo para la generación de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, debido al posicionamiento geográfico del país que permite tener valores aprovechables de radiación solar en casi todo el año.
- ☀️ Existe la posibilidad de crear un parque de generación combinada o parques híbridos (eólicos y solares).

Desafíos

- ☀️ No siempre se cuenta con una radiación idónea para su aprovechamiento, las condiciones climáticas pueden afectar, sin embargo, un día nublado aún es un día aprovechable debido a que una parte de la radiación solar se puede seguir aprovechando para la generación de energía.
- ☀️ No es un tipo de energía constante; durante la noche no se cuenta con radiación solar por lo que el parque no presenta generación alguna.
- ☀️ Para conseguir una cantidad de generación alta, se debe contemplar el hecho de un parque de magnitud considerable; siendo necesaria extensiones amplias de tierra.
- ☀️ Debido a que la construcción de una central fotovoltaica utiliza grandes extensiones de terreno para el montaje de los paneles solares, provoca que dichos terrenos se dejen de utilizar para otras actividades comerciales o agrícolas.



FINCA

LA SABANA

ESTUDIO Y PERFIL BÁSICO DE MEDICIÓN DE VIENTO



Índice

Acrónimos.....	8
Introducción.....	9
1. Política energética del MEM.....	10
2. Energía Solar A Nivel Mundial.....	11
3. Energía Solar en Guatemala.....	13
4. Objetivos.....	14
5. Metodología.....	15
6. Descripción del emplazamiento.....	19
6.1 Sitio de estudio.....	19
6.2 Características del lugar de medición.....	20
6.3 Mapa de radiación solar, con la ubicación de la finca La Sabana, en Villa Canales, Guatemala.....	21
6.4 Localización de la estación de medición.....	22
6.5 Descripción del equipo de medición.....	23
6.5.1 Anemómetro:.....	24
6.5.2 Veleta:.....	24
6.5.3 Registrador de Datos: (Datta Logger).....	24
6.5.4 Baliza Luminosa:.....	24
6.5.5 Sensor de Temperatura:.....	25
6.5.6 Sensor de Presión Atmosférica:.....	25
6.5.7 Sensor de Radiación Solar (Piranómetro):.....	25
6.5.8 Características Técnicas del Equipo de Medición.....	26
7. Resultados de la medición.....	27
Radiación Solar.....	27
8. Energía Estimada.....	36
9. Comportamiento promedio de la radiación solar.....	46
9.1 Comportamiento de la radiación solar en enero.....	46
9.2 Comportamiento de la radiación solar en febrero.....	48
9.3 Comportamiento de la radiación solar en marzo.....	49
9.4 Comportamiento de la radiación solar en abril.....	50
9.5 Comportamiento de la radiación solar en mayo.....	51
9.6 Comportamiento de la radiación solar en junio.....	52
9.7 Comportamiento de la radiación solar en julio.....	53
9.8 Comportamiento de la radiación solar en agosto.....	54



9.9	Comportamiento de la radiación solar en septiembre.	55
9.10	Comportamiento de la radiación solar en octubre.	56
9.11	Comportamiento de la radiación solar en noviembre.	57
9.12	Comportamiento de la radiación solar en diciembre.	58
10.	Emisiones evitadas.....	59
11.	Presupuesto necesario para la instalación de una planta solar fotovoltaica.....	61
12.	Incentivos para el desarrollo de proyectos de energías renovables.....	63
	CONCLUSIONES.....	64

Índice de gráficas

Gráfica 1:	Capacidad solar fotovoltaica instalada en el Mundo 2010-2018.	11
Gráfica 2:	Proyección del despliegue de los costos de un sistema solar fotovoltaico en USD/watt.....	11
Gráfica 3:	Top 10-países por capacidad solar fotovoltaica instalada en el año 2018.....	12
Gráfica 4:	Energía generada con recurso solar fotovoltaico en Guatemala 2015-2018.....	13
Gráfica 5:	Radiación Solar diaria – La Sabana 2011.....	27
Gráfica 6:	Radiación Solar diaria - La Sabana 2012.....	28
Gráfica 7:	Radiación Solar diaria - La Sabana 2013.....	29
Gráfica 8:	Radiación Solar diaria - La Sabana 2014.....	30
Gráfica 9:	Radiación Solar diaria - La Sabana 2015.....	31
Gráfica 10:	Radiación Solar diaria – La Sabana 2016.....	32
Gráfica 11:	Radiación Solar diaria – La Sabana 2017.....	33
Gráfica 12:	Radiación Solar diaria – La Sabana 2018.....	34
Gráfica 13:	Resumen Radiación Solar - La Sabana 2011-2018.....	35
Gráfica 14:	Energía Estimada - La Sabana 2011.....	37
Gráfica 15:	Energía Estimada - La Sabana 2012.....	38
Gráfica 16:	Energía Estimada - La Sabana 2013.....	39
Gráfica 17:	Energía Estimada - La Sabana 2014.....	40
Gráfica 18:	Energía Estimada - La Sabana 2015.....	41
Gráfica 19:	Energía Estimada - La Sabana 2016.....	42
Gráfica 20:	Energía Estimada - La Sabana 2017.....	43
Gráfica 21:	Energía Estimada - La Sabana 2018.....	44
Gráfica 22:	Resumen de energía estimada La Sabana 2011-2018.....	45
Gráfica 23:	Comportamiento de la radiación solar diaria – enero La Sabana.....	46
Gráfica 24:	Tendencia de la radiación solar – enero La Sabana.....	47
Gráfica 25:	Tendencia de la radiación solar diaria – febrero La Sabana.....	48
Gráfica 26:	Tendencia de la radiación solar – febrero La Sabana.....	48
Gráfica 27:	Comportamiento de la radiación solar diaria - marzo La Sabana.....	49



Gráfica 28: Comportamiento de la radiación solar – marzo La Sabana	49
Gráfica 29: Comportamiento de la radiación solar diaria - abril La Sabana	50
Gráfica 30: Comportamiento de la radiación solar – abril La Sabana	50
Gráfica 31: Comportamiento de la radiación solar diaria – mayo La Sabana	51
Gráfica 32: Tendencia de la radiación solar – mayo La Sabana	51
Gráfica 33: Comportamiento de la radiación solar diaria – junio La Sabana	52
Gráfica 34: Tendencia de la radiación solar – junio La Sabana	52
Gráfica 35: Comportamiento de la radiación solar diaria – julio La Sabana	53
Gráfica 36: Tendencia de la radiación solar – julio La Sabana	53
Gráfica 37: Comportamiento de la radiación solar diaria – agosto La Sabana	54
Gráfica 38: Tendencia de la radiación solar – agosto La Sabana	54
Gráfica 39: Comportamiento de la radiación solar diaria– septiembre La Sabana	55
Gráfica 40: Tendencia de la radiación solar – septiembre La Sabana	55
Gráfica 41: Comportamiento de la radiación solar – octubre La Sabana	56
Gráfica 42: Tendencia de la radiación solar – octubre La Sabana	56
Gráfica 43: Comportamiento de la radiación solar – noviembre La Sabana	57
Gráfica 44: Tendencia de la radiación solar – noviembre La Sabana	57
Gráfica 45: Comportamiento de la radiación solar – diciembre La Sabana	58
Gráfica 46: Tendencia de la radiación solar – diciembre La Sabana	58

Índice de tablas

Tabla 1: Proyectos solares instalados en el país.....	13
Tabla 2: Características del equipo de medición instalado FUENTE. DER-DGE.....	26
Tabla 3: Resumen Solar 2011.....	27
Tabla 4: Resumen Solar 2012.....	28
Tabla 5: Resumen Solar 2013.....	29
Tabla 6: Resumen Solar 2014.....	30
Tabla 7: Resumen Solar 2015.....	31
Tabla 8: Resumen Solar 2016.....	32
Tabla 9: Resumen Solar 2017.....	33
Tabla 10: Resumen Solar 2018.....	34
Tabla 11: Resumen Solar 2011-2018.....	35
Tabla 12: Energía estimada – La Sabana 2011	37
Tabla 13: Resumen energía 2011.....	37
Tabla 14: Energía estimada – La Sabana 2012	38
Tabla 15: Resumen energía 2012.....	38
Tabla 16: Energía estimada – La Sabana 2013	39
Tabla 17: Resumen energía 2013.....	39
Tabla 18: Energía estimada – La Sabana 2014	40



Tabla 19: Resumen energía 2014.....	40
Tabla 20: Energía estimada – La Sabana 2015	41
Tabla 21: Resumen energía 2015.....	41
Tabla 22: Energía estimada – La Sabana 2016	42
Tabla 23: Resumen energía 2016.....	42
Tabla 24: Energía estimada – La Sabana 2017	43
Tabla 25: Resumen energía 2017.....	43
Tabla 26: Energía estimada – La Sabana 2018	44
Tabla 27: Resumen energía 2018.....	44
Tabla 28: Resumen energía estimada La Sabana	45
Tabla 29: Emisiones evitadas –Carbón Mineral-	59
Tabla 30: Emisiones evitadas –Fuel Oil-	59
Tabla 31: Emisiones evitadas – Diesel Oil	60
Tabla 32: Inversión estimada para un proyecto de 2.205 MW.	62

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Curva de radiación solar durante el día y horas solares pico.	15
Ilustración 2: Estructura de base fija para paneles solares.	16
Ilustración 3: Distancia entre filas de paneles solares.....	16
Ilustración 4: Medidas de finca La Sabana.....	18
Ilustración 5: Segmento Cartográfico Finca La Sabana.	19
Ilustración 6: Ubicación Finca La Sabana.....	19
Ilustración 7: Croquis red de transmisión Finca La Sabana.	20
Ilustración 8: Mapa de radiación solar.....	21
Ilustración 9: Estación de medición No. 0150, finca La Sabana	22
Ilustración 10: Torre y equipo de medición utilizado en finca La Sabana	23
Ilustración 11: Anemómetro de 3 copas	24
Ilustración 12: Veleta	24
Ilustración 13: Registrador de datos	24
Ilustración 14: Baliza Luminosa.....	24
Ilustración 15: Sensor de temperatura	25
Ilustración 16: Sensor de radiación solar	25



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.
IRENA	International Renewable Energy Agency.
HPS	Horas pico solar.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
CO ₂ e	Dióxido de Carbono equivalente.
GDR	Generador distribuido renovable.
Wh/m ²	Watt hora sobre metro cuadrado.
Wp	Watt pico.
Kv	Kilo voltio.
Km ²	Kilómetros cuadrados.
GEI	Gases de efecto invernadero.



Introducción

En la finca denominada La Sabana se han recopilado datos de radiación solar a través de un piranómetro instalado en la torre de medición colocada en dicho sitio, desde el 04 de marzo de 2011 hasta el 25 de junio de 2018, en formato NRG Raw Data File y extensión .RWD, provenientes del Data Logger NRG Symphonie de dicha torre.

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; y en este caso se aprovechan las mediciones recopiladas del sensor de radiación solar instalado en dicho emplazamiento.

Actualmente el DER ha realizado un análisis de la información recopilada en el sitio de medición, finca La Sabana, con el fin de obtener un estimado de la potencia y energía que podría llegar a generarse utilizando la tecnología fotovoltaica para la generación de energía eléctrica.

Es necesario resaltar el hecho que el objetivo principal de este estudio es estimar el potencial de recurso solar existente en la finca La Sabana (radiación incidente y comportamiento). Además, se busca dar un panorama general acerca de la energía que podría llegar a producirse con la instalación de un parque fotovoltaico como el que se dimensiona para el estudio.



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, 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. Energía Solar A Nivel Mundial

La potencia instalada solar fotovoltaica ha ido creciendo en los últimos años, según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables) solo en el 2018 la potencia instalada creció un 24.41%, siendo actualmente China, Japón y Estados Unidos los países líderes en el mercado de generación fotovoltaica.

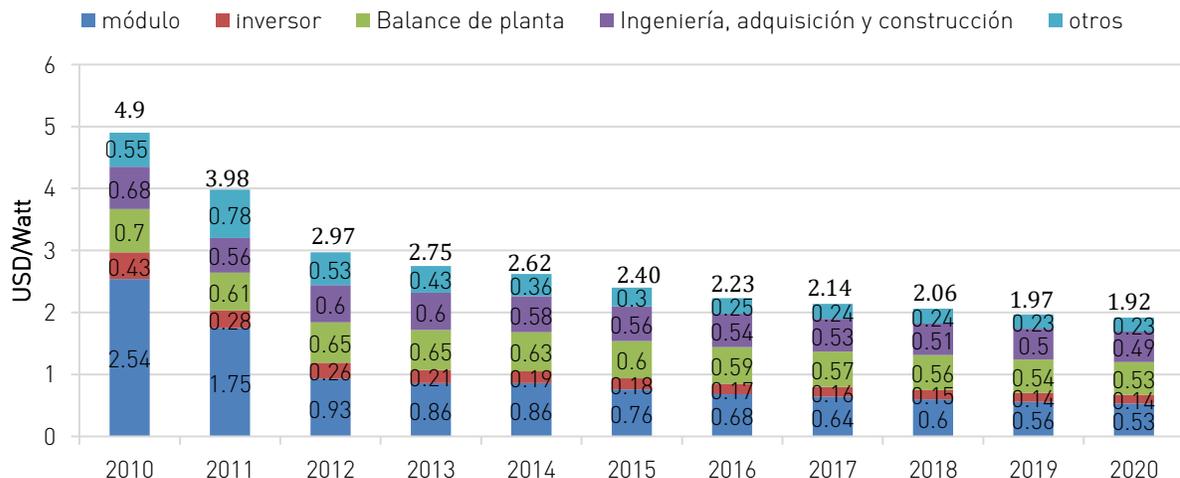
Gráfica 1: Capacidad solar fotovoltaica instalada en el Mundo 2010-2018.



Fuente: IRENA

En la gráfica anterior se puede observar cómo ha evolucionado la capacidad instalada a lo largo del tiempo, la tendencia de los años 2010 al 2018 muestra que cada año la tasa de crecimiento incrementa y esto principalmente es debido a que los costos de la implementación de esta tecnología se han reducido, según la proyección de IRENA, estos seguirán reduciéndose en los próximos años. A continuación, se muestra la proyección del despliegue de los costos de un sistema fotovoltaico en dólares por Watt instalado, donde se observa una reducción anual en los costos principalmente de los módulos fotovoltaicos.

Gráfica 2: Proyección del despliegue de los costos de un sistema solar fotovoltaico en USD/watt.



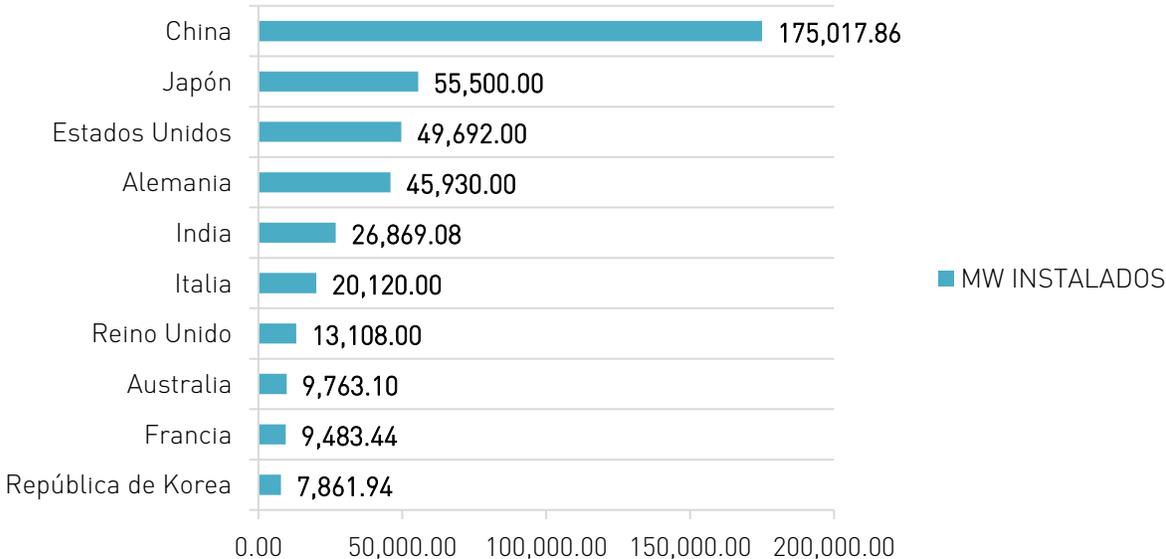
Fuente: IRENA



Los dos países que cuentan con las plantas solares de mayor tamaño en el mundo son: China, con una planta de 1500MW y otra de 1000MW e India que posee una planta de 1000MW.

A continuación, se muestra una gráfica en la cual se encuentran los países que mayor capacidad instalada poseen para generar energía solar fotovoltaica para el año 2018. Los valores se muestran en MW.

Gráfica 3: Top 10-países por capacidad solar fotovoltaica instalada en el año 2018.



Fuente: IRENA



3. Energía Solar en Guatemala

Guatemala se encuentra en un lugar estratégico para la generación utilizando energía solar fotovoltaica. En la ilustración 8 se muestra el mapa de radiación solar y se observa que el recurso es abundante en el país.

La primera planta fotovoltaica en Guatemala inició operación comercial en 2014 con una capacidad de 5 MW y en el año 2015 entró a operar una planta de mayor tamaño, con una capacidad de 50 MW. A continuación, se muestra el cuadro donde se describen los proyectos fotovoltaicos instalados.

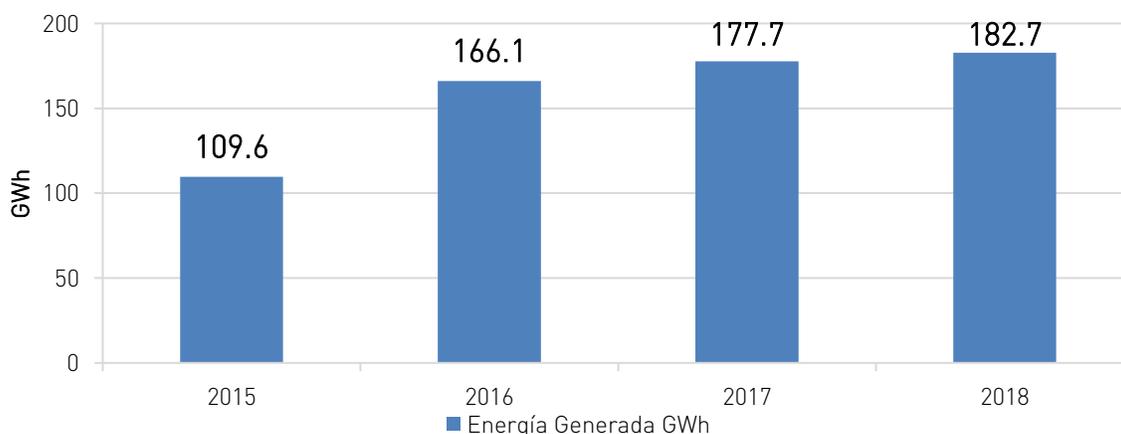
Tabla 1: Proyectos solares instalados en el país.

Proyecto	Ubicación	Inició operación (Año)	Capacidad efectiva MW
Central Solar Fotovoltaica SIBO	Estanzuela, Zacapa	2014	5
Proyecto Planta Fotovoltaica de 50 MW (HORUS I)	Chiquimulilla, Santa Rosa	2015	50
Horus II	Chiquimulilla, Santa Rosa	2015	30
Granja Solar La Avellana	Taxisco, Santa Rosa	2017	1
Granja Solar Taxisco	Taxisco, Santa Rosa	2017	1.5
Granja Solar Pedro de Alvarado	Taxisco, Santa Rosa	2017	1.5
Granja Solar El Jobo	Taxisco, Santa Rosa	2017	1
Granja Solar Buena Vista	Jutiapa, Jutiapa	2017	1.5
Total			91.5

Fuente: DER-DGE

La generación eléctrica por medio de recurso solar fotovoltaico ha ido creciendo desde que se instaló la primera planta fotovoltaica; en la siguiente gráfica se muestra el crecimiento de la energía generada con recurso solar, dado en GWh, del año 2015 al 2018.

Gráfica 4: Energía generada con recurso solar fotovoltaico en Guatemala 2015-2018.



Fuente: MEM.



4. Objetivos

- 4.1 Utilizar los datos recopilados de radiación solar obtenidos de la estación de medición ubicada en la finca La Sabana, para estimar el potencial de energía solar que pudiera aprovecharse en el emplazamiento.
- 4.2 Calcular las Horas Pico Solar durante el día a lo largo de cada mes y año en el emplazamiento.
- 4.3 Estimar la energía aprovechable en el emplazamiento considerando el tipo y número total de paneles que podrían instalarse en el área de medición.
- 4.4 Determinar el comportamiento diario promedio de la radiación solar en los meses medidos de cada año en el emplazamiento y analizar las horas del día en los cuales el recurso es más predominante.
- 4.5 Calcular las emisiones de CO₂ equivalentes que se habrían evitado al generar la energía estimada en los 88 meses de medición (2011-2018) utilizando el recurso renovable en contraste con la misma cantidad de energía generada con carbón mineral, fuel oil y diesel oil como combustibles.
- 4.6 Dar a conocer el potencial de energía solar en la finca La Sabana con el fin de promover y fomentar el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica con recursos renovables y así disminuir la dependencia de recursos no renovables.



5. Metodología

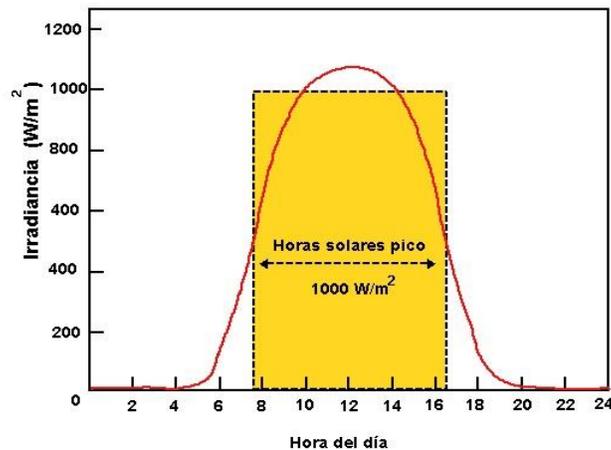
Para realizar el estudio se utilizaron los datos de variables de radiación solar recopilados de la estación de medición ubicada en la finca La Sabana, jurisdicción de Villa Canales, desde marzo de 2011 hasta junio de 2018.

Para el análisis de la información es necesario calcular el promedio diario de la radiación solar incidente a lo largo de cada hora del día (con mediciones cada 10 minutos de acuerdo a los datos recopilados), por mes y por año, para posteriormente determinar las Horas Pico Solar (HSP) promedio durante el día en los distintos meses de cada año de medición.

El cálculo de las HSP es importante para estimar la energía que podrían generar los paneles fotovoltaicos; la manera en que estas se calculan es tomando el valor total de radiación solar durante el día, dado en Wh/m^2 y dividiéndolo entre la radiación estándar que es de 1000 W/m^2 (radiación en la que el panel es capaz de producir la potencia máxima para la que ha sido diseñado según las condiciones estándares ambientales) de esta manera tendremos un resultado en horas, las cuales serán el tiempo equivalente en donde los paneles producirán energía a su máxima potencia (de condiciones estándar) en un día. Para un cálculo más exacto se aplica un factor de eficiencia que trata de tomar en cuenta algunos factores de los cuales se hablará más adelante.

Al representar las Horas pico solar gráficamente, estas se interpretan como una función de valor constante (con irradiación de 1000 W/m^2), dentro de la curva de comportamiento de radiación solar diaria.

Ilustración 1: Curva de radiación solar durante el día y horas solares pico.



Fuente: energeticafutura.com

De esta manera se puede observar cómo el cálculo de las horas pico solar es un equivalente de energía aprovechable de la radiación solar durante un día (24 horas).



Se realizó un estimado de la energía aprovechable utilizando para el estudio las características de un panel de 350 Wp¹, asimismo se calculó el número total de paneles que se pueden instalar en el emplazamiento tomando en cuenta las distancias que deben existir entre cada panel y se estimó la energía que se puede producir con el número total de paneles calculados y las horas pico solar determinadas en el estudio, en base a los datos de radiación solar recopilados del Data Logger, asimismo tomando en cuenta para dicha operación un factor de eficiencia global (del cual se hablará más adelante).

Para el cálculo del número de paneles que pueden instalarse en el emplazamiento se consideraron filas de paneles sobre bases fijas como la que se muestra en la ilustración 2 y se determinó la cantidad de acuerdo al área del terreno y al espacio necesario por cada panel.

El panel que se utiliza como referencia para el cálculo es un panel LG de 350 Wp cuyas dimensiones de largo, ancho y grosor son 1700*1016*40 mm, respectivamente.

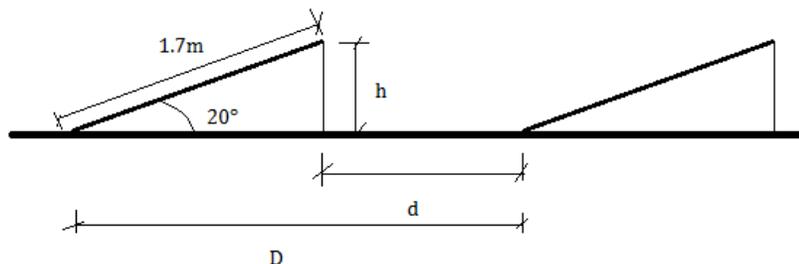
Ilustración 2: Estructura de base fija para paneles solares.



Fuente: monsolar.com

La distancia que debe haber entre paneles para evitar el efecto sombra se calculó de la siguiente manera:

Ilustración 3: Distancia entre filas de paneles solares.



Fuente: DER-DGE

¹ Watt pico: es la potencia máxima que podría producir el panel solar bajo las siguientes condiciones estándares: radiación de 1000 W/m², temperatura de 25°C y AM ó masa de aire de 1.5, donde $AM = \frac{1}{\cos \theta}$ y θ es el ángulo de incidencia del rayo de sol en la vertical del lugar.



La distancia "d", medida sobre la horizontal, se determina en función de la latitud del lugar de instalación, ya que de acuerdo a este parámetro varía el ángulo de incidencia solar. Esta distancia deberá garantizar un mínimo de cuatro horas de sol en torno al medio día del solsticio de invierno.²

La ecuación utilizada para dicho cálculo es la siguiente:

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

Debido a que la latitud del emplazamiento es conocida, en este caso de 14°23'8.1"N, equivalente a 14.3856°, la variable faltante para conocer "d", es "h" y se calcula utilizando trigonometría:

$$h = 1.7 * \sin(20) = 0.58 \text{ m}$$

Con lo que:

$$d = \frac{0.58}{\tan(61 - 14.3856)} = 0.55 \text{ m}$$

Para fines prácticos nos interesa conocer el valor de D que sería la distancia horizontal de instalación que deberá haber entre cada panel y para ello lo calculamos de la siguiente manera:

$$D = 1.7 * \cos(20) + 0.55 = 2.15 \text{ m}$$

Considerando el terreno como una superficie rectangular; y tomando en cuenta la distancia "D" calculada de 2.15 m entre cada fila de paneles y el ancho de cada panel de 1.016 m, se podrían instalar 37 filas de 184 paneles cada fila, lo que sería un total de 6,808 paneles instalados, pero considerando dejar espacio para una pequeña subestación que sería necesaria para corregir y elevar los niveles de tensión, se estimarán un total de **6,300** paneles de 350Wp cada uno, con lo que se podría tener una potencia pico instalada de **2.205 MW** aproximadamente.

² Fuente: www.tecnosolab.com



Ilustración 4: Medidas de finca La Sabana



Fuente: Google Earth.

El factor de eficiencia que se consideró para el cálculo del presente estudio, reduce el valor de la potencia de la capacidad a instalar, con el fin de tomar en cuenta factores que podrían reducirla, tales como: temperatura, densidad del aire, caídas de tensión en el cableado y eficiencia de los equipos (transformadores, paneles e inversores), este factor se estimó en 0.7654 y es un factor global de la planta, adimensional.

Para estudios con más detalle, se necesita el uso de paquetes de software y además tomar en cuenta para el cálculo de la energía: variables de temperatura, altura sobre el nivel del mar, densidad del aire, humedad, contaminación, obstáculos (sombras) y la topografía en general.



6. Descripción del emplazamiento

6.1 Sitio de estudio

En la ilustración 5 se observa el segmento cartográfico con las curvas de nivel de la ubicación del sitio de medición.

Ilustración 5: Segmento Cartográfico Finca La Sabana.



Fuente: DER-DGE

La ilustración 6 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 6: Ubicación Finca La Sabana.



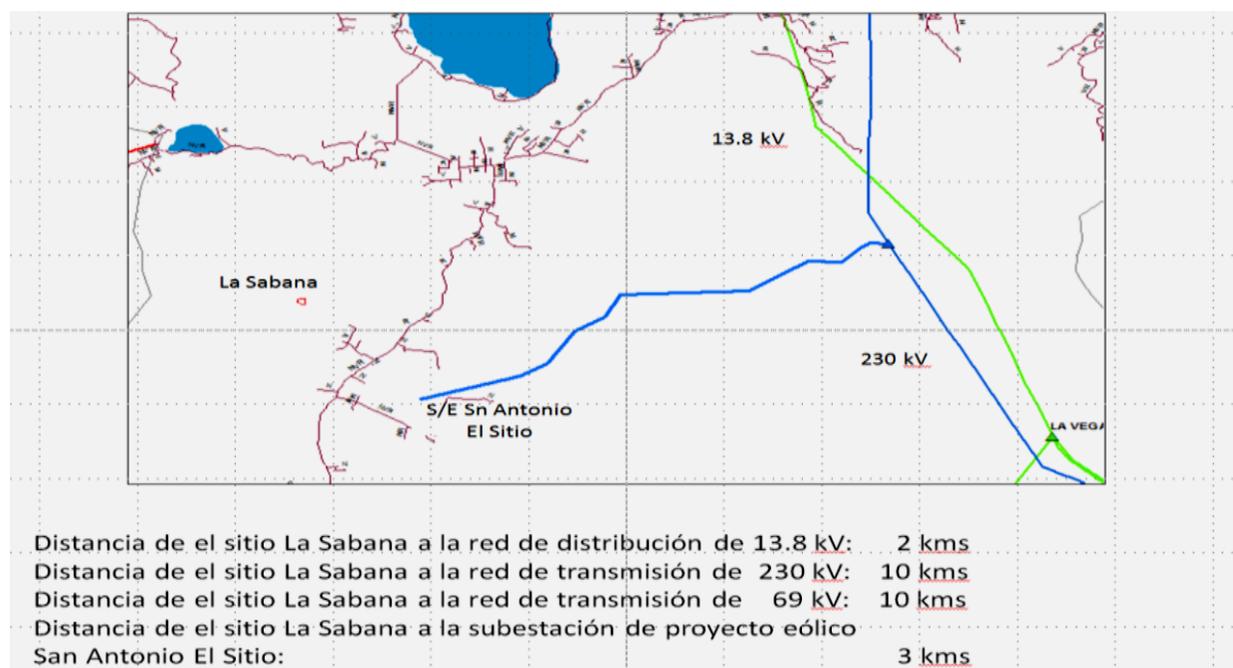
Fuente: DER-DGE

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.

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.

Ilustración 7: Croquis red de transmisión Finca La Sabana.

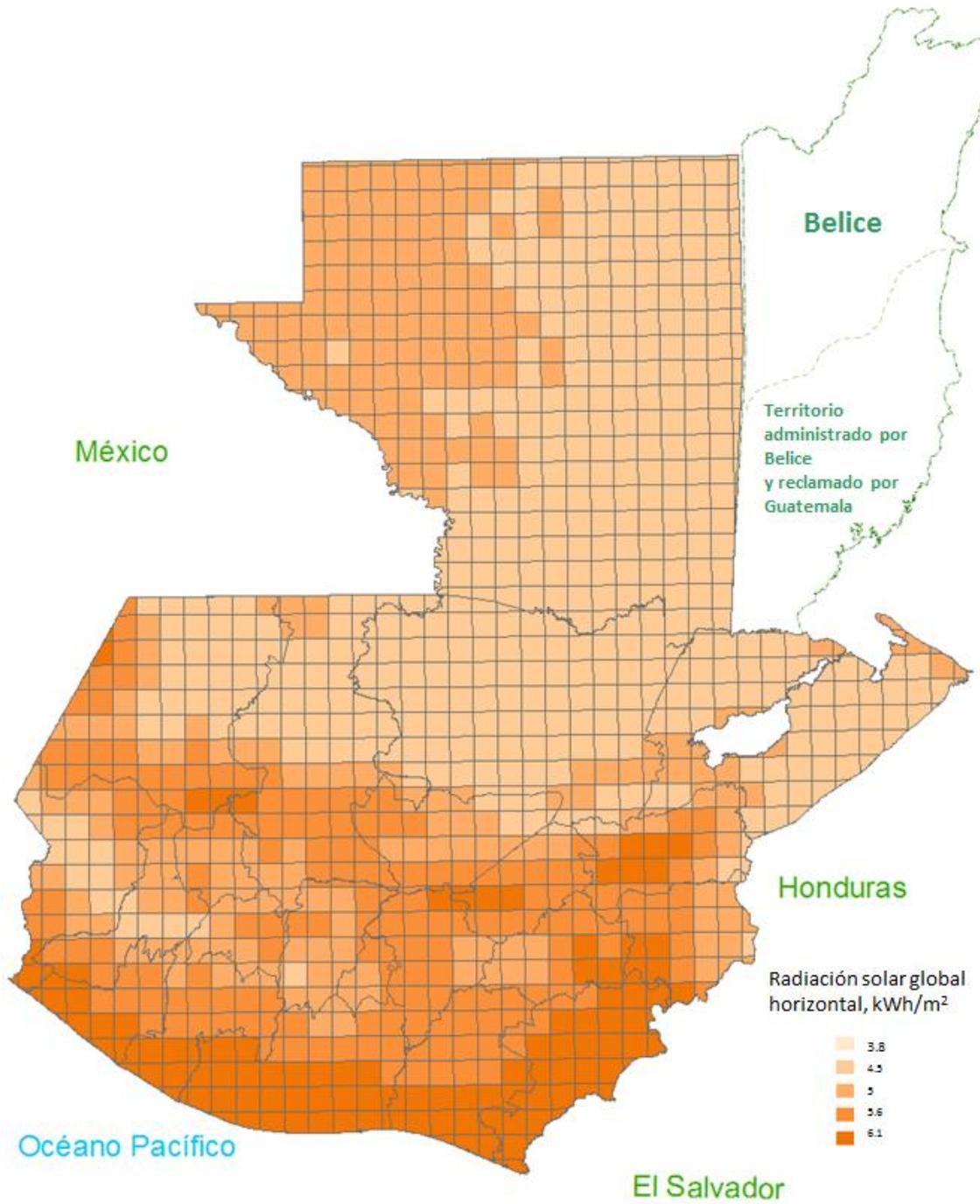


Fuente: DER-DGE



6.3 Mapa de radiación solar, con la ubicación de la finca La Sabana, en Villa Canales, Guatemala.

Ilustración 8: Mapa de radiación solar.



Fuente: DER-DGE



6.4 Localización de la estación de medición

La estación de medición 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 estación de medición son las siguientes: latitud norte: **N 14° 23' 8.1"** latitud Oeste: **W 90° 34' 10.5"**.

En la ilustración 9 se observan las fotografías de la panorámica general del lugar en donde está ubicada la estación de medición.

Ilustración 9: Estación de medición No. 0150, finca La Sabana



Fuente: DER-DGE



6.5 Descripción del equipo de medición

Ilustración 10: Torre y equipo de medición utilizado en finca La Sabana



Fuente: DER-MEM



6.5.1 Anemómetro:

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

Ilustración 11: Anemómetro de 3 copas



6.5.2 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 12: Veleta



6.5.3 Registrador de Datos: (Datta Logger)

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

Ilustración 13: Registrador de datos



6.5.4 Baliza Luminosa:

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

Ilustración 14: Baliza Luminosa



6.5.5 Sensor de Temperatura:

Utilizado para medir la temperatura ambiente del lugar.

Ilustración 15: Sensor de temperatura



6.5.6 Sensor de Presión Atmosférica:

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

6.5.7 Sensor de Radiación Solar (Piranómetro):

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

Ilustración 16: Sensor de radiación solar



6.5.8 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.

Tabla 2: Características del equipo de medición instalado FUENTE. DER-DGE

DATOS DE LA 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		
Datalogger	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					
DATOS DE CALIBRACIÓN						
Componente	Número de Canal	Factor de escala	Error Offset	Tipo de señal	Altura de instalación (m)	Orientación
Datalogger	***	***	***	***	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	***

Fuente: DER-DGE



7. Resultados de la medición

Radiación Solar

Se presentan los valores promedio de la radiación solar diaria en el emplazamiento, por mes y por año, asimismo las horas pico solar y la temperatura promedio en grados centígrados de cada año.

Gráfica 5: Radiación Solar diaria – La Sabana 2011



Fuente: DER-DGE

Tabla 3: Resumen Solar 2011

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2011			Las mediciones para el año 2011 en La Sabana inician en el mes de marzo. El valor promedio de radiación solar en el año fue de 4756.09 Wh/m ² correspondiente a 4.76 horas pico solar (HSP), lo cual indica que, en promedio, el recurso puede ser aprovechado por los paneles fotovoltaicos durante 4.76 horas en cada día del año
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
4756.09	17.41	4.76	

Fuente: DER-DGE

Los meses que presentan valores de radiación solar más altos son marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre. El valor mensual promedio de radiación más alta se presenta en mayo siendo de 5564.67 Wh/m² (5.56 HSP) y el promedio más bajo en octubre, 3731.57 Wh/m² (3.73 HSP).

La temperatura promedio a lo largo del año es de 17.41 °C, la temperatura máxima promedio mensual es de 18.62°C correspondiente al mes de mayo y la mínima promedio mensual es de 15.98°C correspondiente al mes de diciembre.



Gráfica 6: Radiación Solar diaria - La Sabana 2012



Fuente: DER-DGE

Tabla 4: Resumen Solar 2012

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2012			En este año la radiación solar promedio fue de 5350.13 Wh/m2, lo cual corresponde a 5.35 horas pico solar (HSP) y quiere decir que, en promedio durante el año, el recurso solar pudo ser aprovechado durante 5.35 horas al día.
Promedio Radiación Solar (Wh/m2)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5350.13	17.38	5.35	

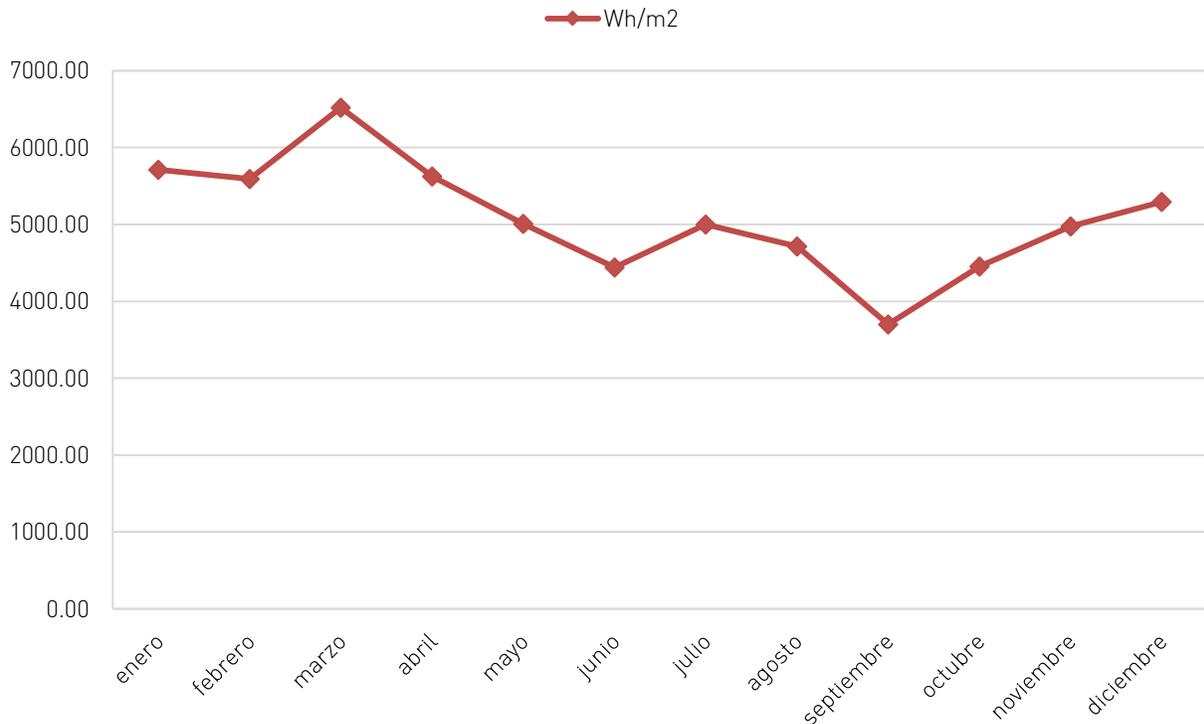
Fuente: DER-DGE

El valor más alto de radiación promedio se dio en marzo, siendo este de 6678.62 Wh/m2 (6.67 HSP) y el mes de mayo presentó el valor más bajo, con 4537.68 Wh/m2 (4.54 HSP).

La temperatura promedio en el año 2012 fue de 17.38 °C.



Gráfica 7: Radiación Solar diaria - La Sabana 2013



Fuente: DER-DGE

Tabla 5: Resumen Solar 2013

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2013			En el año 2013 la radiación tuvo un valor promedio de 5086.70 Wh/m2 correspondiente a 5.09 horas pico solar (HSP), significa que, en promedio durante el año, el recurso solar fotovoltaico fue aprovechable durante 5.09 horas cada día.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5086.70	17.61	5.09	

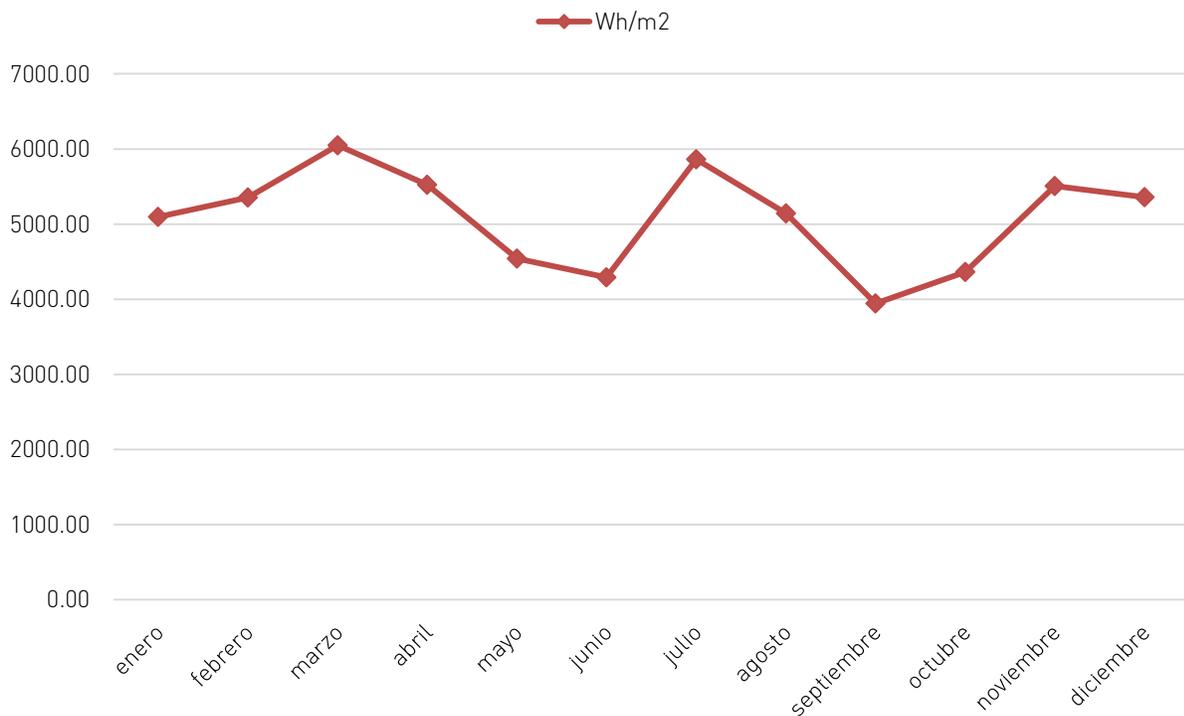
Fuente: DER-DGE

Marzo es el mes donde la radiación promedio fue la más alta, de 6518.09 Wh/m2 (6.52 HSP) y septiembre el mes donde la radiación promedio fue la más baja, de 3701.96Wh/m2(3.70 HSP). Esto quiere decir que el recurso en el mes de marzo se pudo aprovechar en promedio 6.52 horas al día y en septiembre tan solo 3.70 horas al día.

La temperatura promedio a lo largo del año fue de 17.61 °C.



Gráfica 8: Radiación Solar diaria - La Sabana 2014



Fuente: DER-DGE

Tabla 6: Resumen Solar 2014

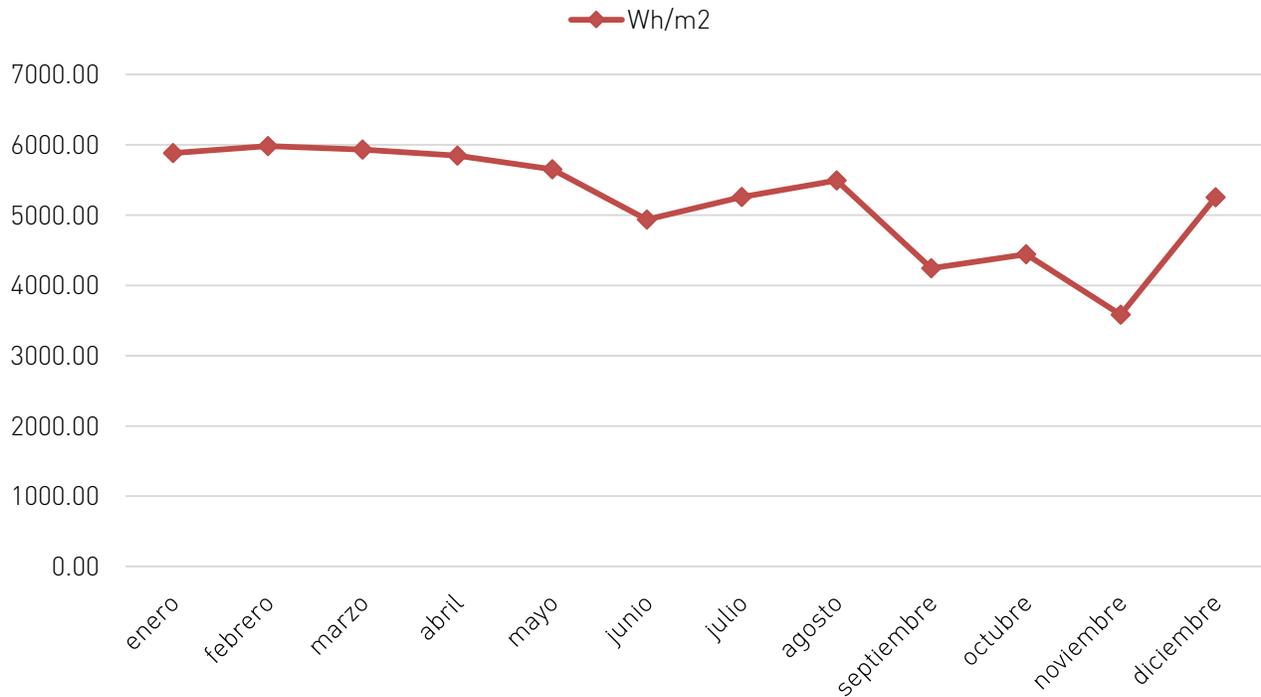
Resumen de Radiación Solar, AÑO 2014			En el 2014 en La Sabana se tuvo en promedio un recurso de 5085.73 Wh/m ² , lo cual corresponde a 5.09 horas pico solar (HSP), esto indica que, en promedio durante el año, el recurso solar puede ser aprovechado mediante paneles fotovoltaicos durante 5.09 horas al día.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5085.73	17.59	5.09	

Fuente: DER-DGE

En marzo se presentó el valor promedio más alto, de 6048.38 Wh/m² (6.05 HSP) y en septiembre el valor más bajo, de 3942.21 Wh/m² (3.94 HSP).

La temperatura promedio fue de 17.59°C durante el año, y se registró un promedio máximo mensual de 18.78°C y un mínimo de 15.70°C en los meses de julio y enero respectivamente.

Gráfica 9: Radiación Solar diaria - La Sabana 2015



Fuente: DER-DGE

Tabla 7: Resumen Solar 2015

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2015			A lo largo de los meses en el año 2015, se tiene que la radiación solar promedio fue de 5208.95 Wh/m ² (5.21 HSP), esto indica que en promedio durante el año el recurso pudo ser aprovechable durante 5.21 horas al día.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5208.95	17.90	5.21	

Fuente: DER-DGE

En este año el mes de febrero fue el que presentó el valor de radiación promedio más alto, de 5983.51Wh/m² (5.98 HSP) y noviembre el valor más bajo, de 3583.02 Wh/m² (3.58 HSP).

En promedio durante los 12 meses, la temperatura registrada es de 17.90°C, la temperatura mínima promedio mensual fue de 15.73°C y la máxima de 19.09°C en los meses de enero y agosto respectivamente.

Gráfica 10: Radiación Solar diaria – La Sabana 2016



Fuente: DER-DGE

Tabla 8: Resumen Solar 2016

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2016			En el año 2016 se registra un promedio diario de radiación solar de 5213.55 Wh/m2, lo cual corresponde a 5.21 Horas Pico Solar, esto quiere decir que, en promedio durante el año, el recurso solar pudo ser aprovechado por paneles fotovoltaicos durante 5.21 horas diarias.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5213.55	18.00	5.21	

Fuente: DER-DGE

El valor máximo y mínimo de radiación solar durante este año fue de 5994.85 Wh/m2 (5.99 HSP) en el mes de febrero y de 4592.82 Wh/m2 (4.59 HSP) en el mes de septiembre.

La temperatura promedio del año es de 18°C, siendo 15.67°C la mínima promedio correspondiente al mes de febrero y 19.60°C la máxima promedio que corresponde al mes de mayo.



Gráfica 11: Radiación Solar diaria – La Sabana 2017



Fuente: DER-DGE

Tabla 9: Resumen Solar 2017

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2017			Para el presente año, el promedio de radiación solar fue de 5096.84 Wh/m2, lo cual corresponde a 5.10 horas pico solar, esto significa que durante el año el recurso pudo aprovecharse 5.10 horas al día en promedio.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5096.84	17.63	5.10	

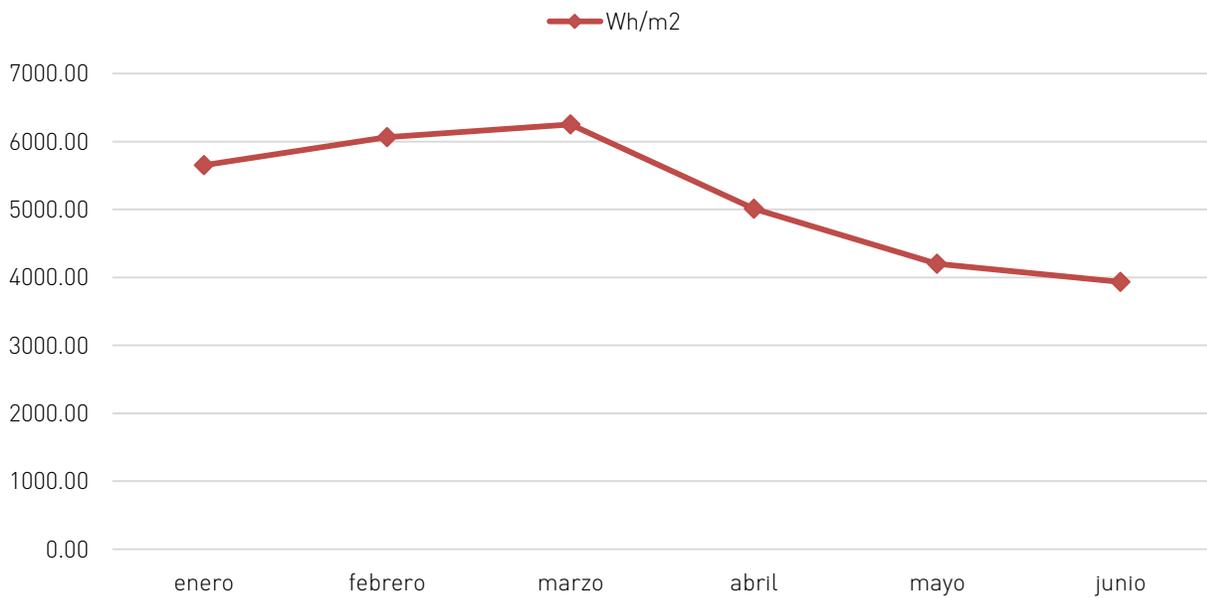
Fuente: DER-DGE

Los valores máximo y mínimo de radiación solar mensual para este año se dieron en abril y junio respectivamente, siendo estos de 6167.80 Wh/m2 (6.17 HSP) y 3838.47 Wh/m2 (3.84 HSP).

La temperatura promedio fue de 17.63 °C y los promedios mensuales se mantuvieron en un rango de 16.08 °C y 18.78°C., valores correspondientes a los meses de diciembre y abril respectivamente.



Gráfica 12: Radiación Solar diaria – La Sabana 2018



Fuente: DER-DGE

Tabla 10: Resumen Solar 2018

Resumen de Radiación Solar, AÑO 2018			En el año 2018 en La Sabana, las mediciones recopiladas llegan hasta el mes de junio. La radiación promedio en estos meses fue de 5186.17 Wh/m2, correspondiente a 5.19 horas pico solar, lo cual indica que, en promedio, el recurso solar pudo ser aprovechado por los paneles fotovoltaicos durante 5.19 horas al día durante el año.
Promedio Radiación Solar (Wh/m ²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio	
5186.17	16.83	5.19	

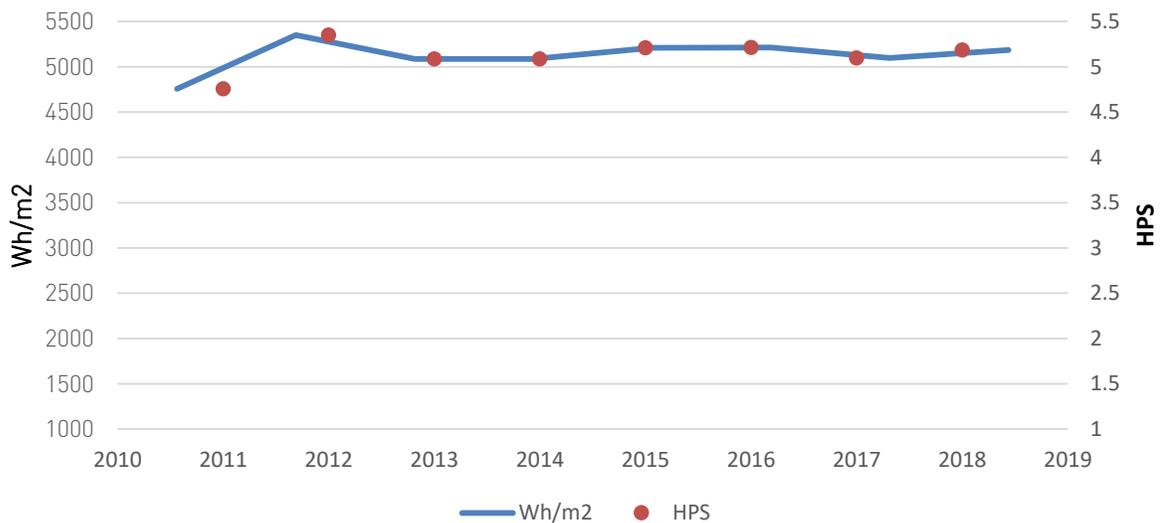
Fuente: DER-DGE

El mes que presentó el valor más alto fue marzo y el mes que presentó el valor más bajo fue junio, siendo la radiación promedio en estos meses de 6250.09 Wh/m2 (6.25 HSP) y 3933.36 Wh/m2 (3.93 HSP) respectivamente.

La temperatura promedio en los meses medidos fue de 16.83°C.



Gráfica 13: Resumen Radiación Solar - La Sabana 2011-2018



Fuente: DER-DGE

Tabla 11: Resumen Solar 2011-2018

Resumen Radiación Solar, 2011 - 2018		
Promedio Radiación Solar (Wh/m²)	Temperatura Promedio (°C)	Horas Pico Solar Promedio
5123.02	17.49	5.12

Fuente: DER-DGE

En los años de medición 2011 – 2018 el promedio de la radiación solar fue de 5123.02 Wh/m² lo cual corresponde a 5.12 Horas pico solar, lo que indica que en promedio el recurso solar pudo ser aprovechable por los paneles fotovoltaicos durante 5.12 horas al día en el periodo de medición (88 meses).

El año con mayor promedio de radiación solar medida fue 2012 con 5350.13 Wh/m² (5.35 HSP) y el año con menor promedio de radiación solar fue 2011 con 4756.09 Wh/m² (4.76 HSP). Cabe resaltar que el año 2011 cuenta con mediciones a partir del mes de marzo.

La temperatura promedio en los años de medición fue de 17.49°C y se mantuvo en un rango anual promedio de 16.83°C a 17.90°C, esto es beneficioso debido a que los paneles registran mayores pérdidas a temperaturas sobre los 25°C.

8. Energía Estimada

Es importante mencionar el hecho de que la energía total estimada depende del número de paneles que, de acuerdo al diseño de la instalación, se empleen y de la potencia de los mismos; para el cálculo de la energía se seleccionó un panel solar de 350 Wp y debido al área disponible en la finca La Sabana, se procedió a estimar el número de paneles tomando en consideración el espacio necesario entre filas para su correcta instalación; el número se estimó en 6,300 paneles tal y como se explica en la metodología, lo cual, de acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos, correspondería a un proyecto del tipo Generación Distribuida Renovable – GDR- con una potencia instalada de 2.205 MW; se aplicó para el cálculo un factor de eficiencia global de planta de 0.7654.

Para el cálculo mensual de la energía se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = \frac{HSP \times P_p \times N_p \times N_{días}}{10 \times 10^6} \times \eta \text{ [MWh]}$$

Donde:

E: Energía eléctrica estimada generada en un mes en MWh.

HSP : Horas pico solar calculadas en base a la radiación solar promedio medida durante el mes estudiado.

P_p : Potencia pico del panel elegido para el cálculo, 350 Wp.

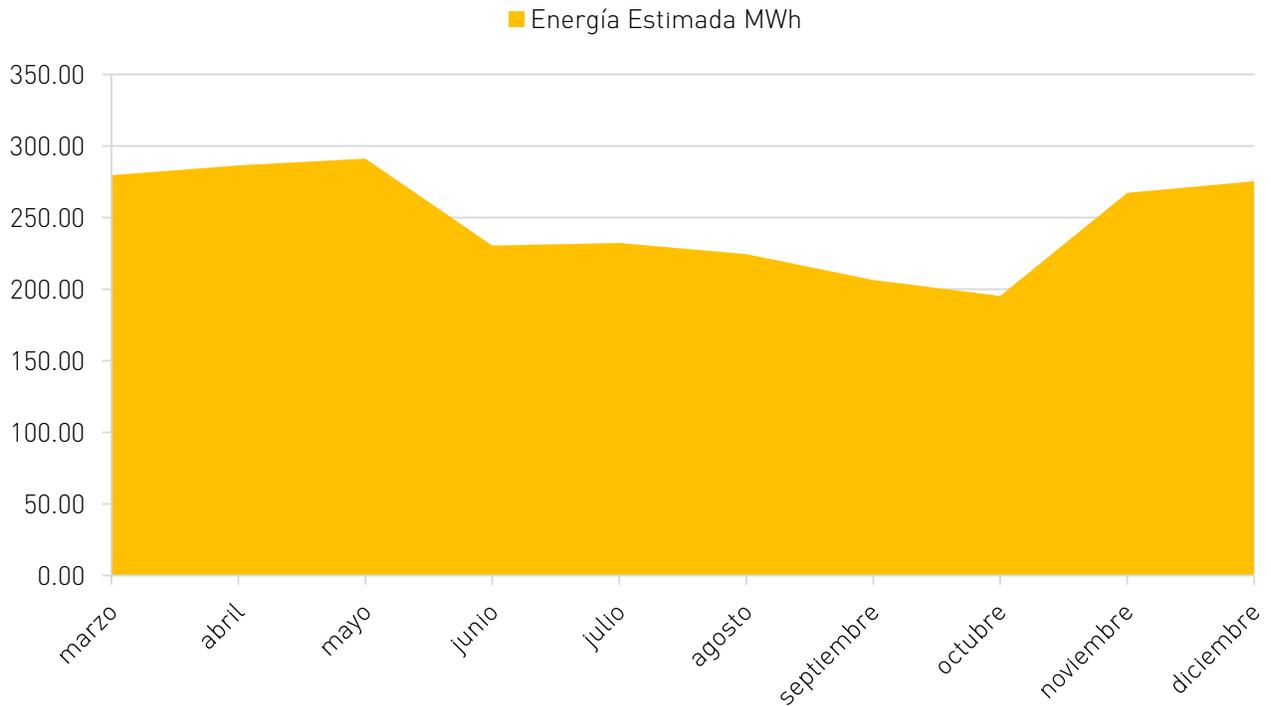
N_p: Número de paneles en la instalación.

N_{días}: Número de días en el mes estudiado.

η : Factor de eficiencia.



Gráfica 14: Energía Estimada - La Sabana 2011



Fuente: DER-DGE

Tabla 12: Energía estimada – La Sabana 2011

La Sabana 2011	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	-	-	279.54	286.40	291.14	230.42	232.22	224.46	206.38	195.23	267.22	275.33

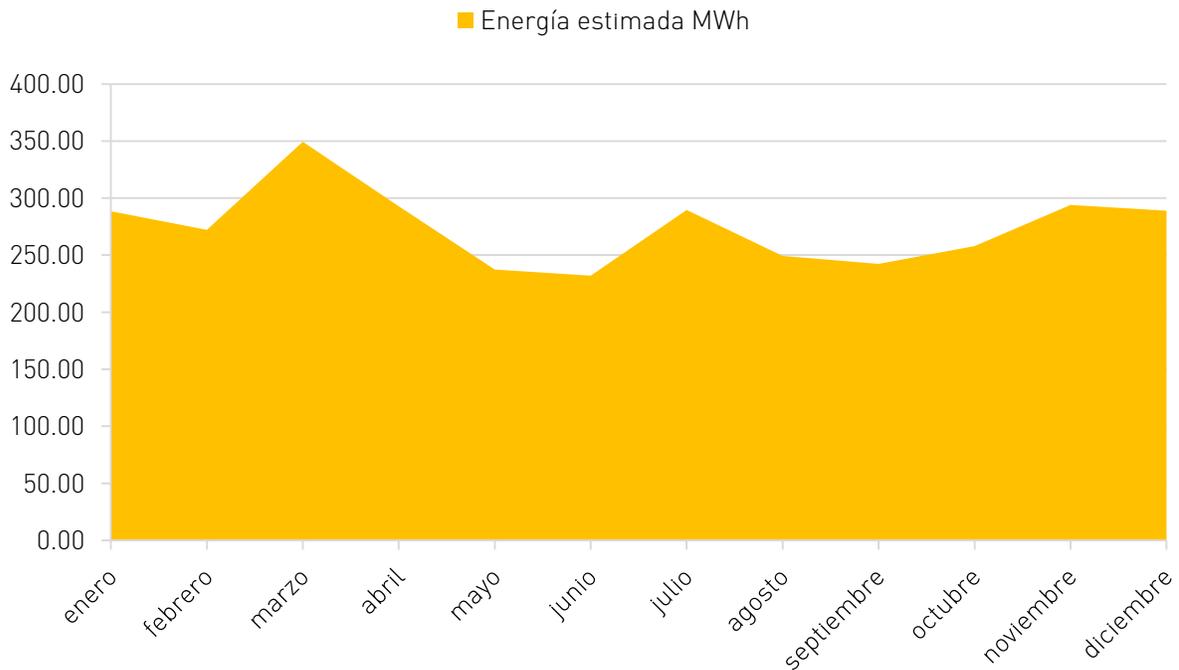
Fuente: DER-DGE

Tabla 13: Resumen energía 2011

Resumen Energía La Sabana 2011		En el año 2011 la energía total que se estima es de 2.74 GWh, y el promedio mensual generado es de 248.83 MWh; el mes con mayor energía estimada es mayo y el mes de menor energía estimada es septiembre
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
248.83	2.74	

Fuente: DER-DGE

Gráfica 15: Energía Estimada - La Sabana 2012



Fuente: DER-DGE

Tabla 14: Energía estimada – La Sabana 2012

La Sabana 2012	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	288.49	272.17	349.42	292.82	237.41	232.00	289.61	249.32	242.33	257.92	293.99	288.95

Fuente: DER-DGE

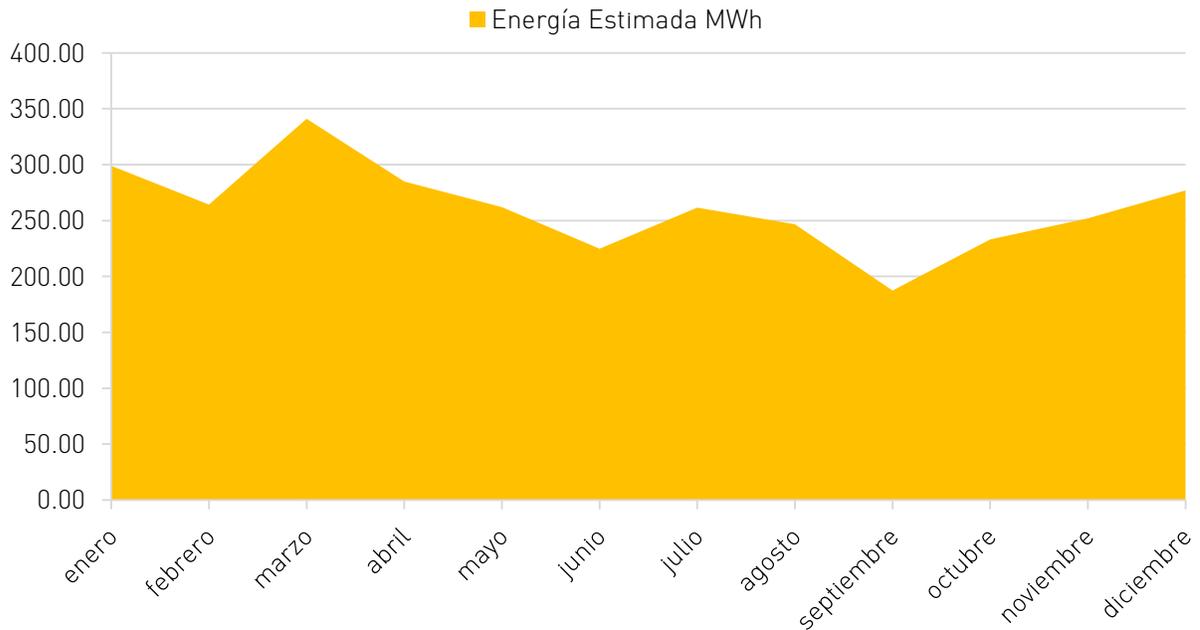
Tabla 15: Resumen energía 2012

Resumen Energía La Sabana 2012		Para el presente año en La Sabana, la energía total estimada es de 3.29 GWh, con un promedio mensual de 274.54 MWh; el mes que presenta el valor más alto de energía estimada es marzo y el mes que presenta el valor más bajo es junio.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
274.54	3.29	

Fuente: DER-DGE



Gráfica 16: Energía Estimada - La Sabana 2013



Fuente: DER-DGE

Tabla 16: Energía estimada – La Sabana 2013

La Sabana 2013	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	298.95	264.25	341.02	284.91	262.02	224.79	261.55	246.67	187.43	233.12	251.96	276.95

Fuente: DER-DGE

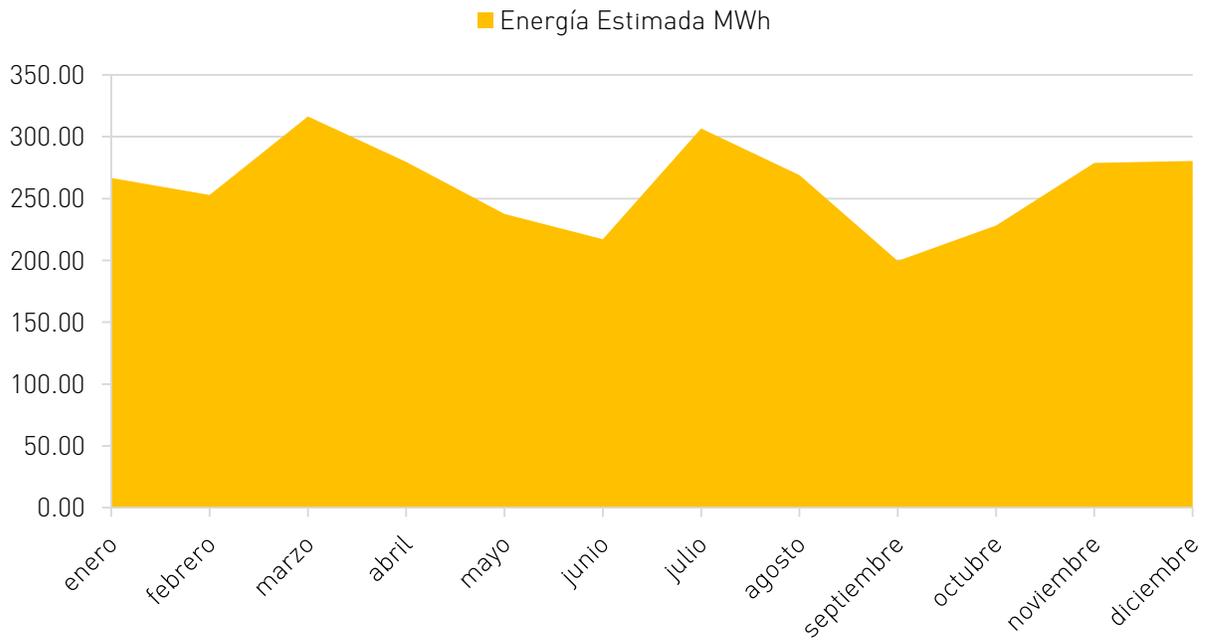
Tabla 17: Resumen energía 2013

Resumen Energía La Sabana 2013		En el año 2013 la energía total estimada en La Sabana es de 3.13 GWh y el promedio mensual de energía es de 261.13 MWh; el mes con valor más alto de energía estimada es marzo y el mes con valor más bajo de energía estimada es septiembre.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
261.13	3.13	

Fuente: DER-DGE



Gráfica 17: Energía Estimada - La Sabana 2014



Fuente: DER-DGE

Tabla 18: Energía estimada – La Sabana 2014

La Sabana 2014	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	266.69	252.94	316.44	279.67	237.59	217.15	306.72	269.00	199.60	228.22	278.88	280.45

Fuente: DER-DGE

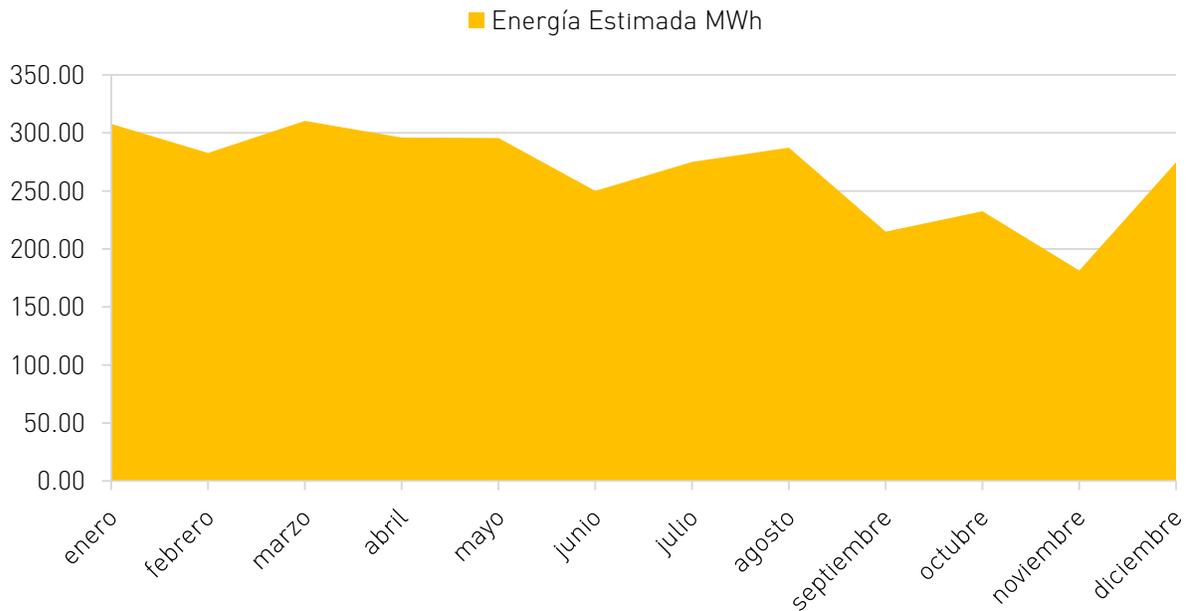
Tabla 19: Resumen energía 2014

Resumen Energía La Sabana 2014		En el presente año en La Sabana, la energía estimada total es de 3.13 GWh y la energía promedio mensual es de 261.11 MWh; el mes con el valor más alto de energía estimada es marzo y el mes con menor valor de energía estimada es abril.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
261.11	3.13	

Fuente: DER-DGE



Gráfica 18: Energía Estimada - La Sabana 2015



Fuente: DER-DGE

Tabla 20: Energía estimada – La Sabana 2015

La Sabana 2015	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	307.78	282.76	310.42	296.07	295.64	250.04	275.03	287.30	214.90	232.51	181.41	274.74

Fuente: DER-DGE

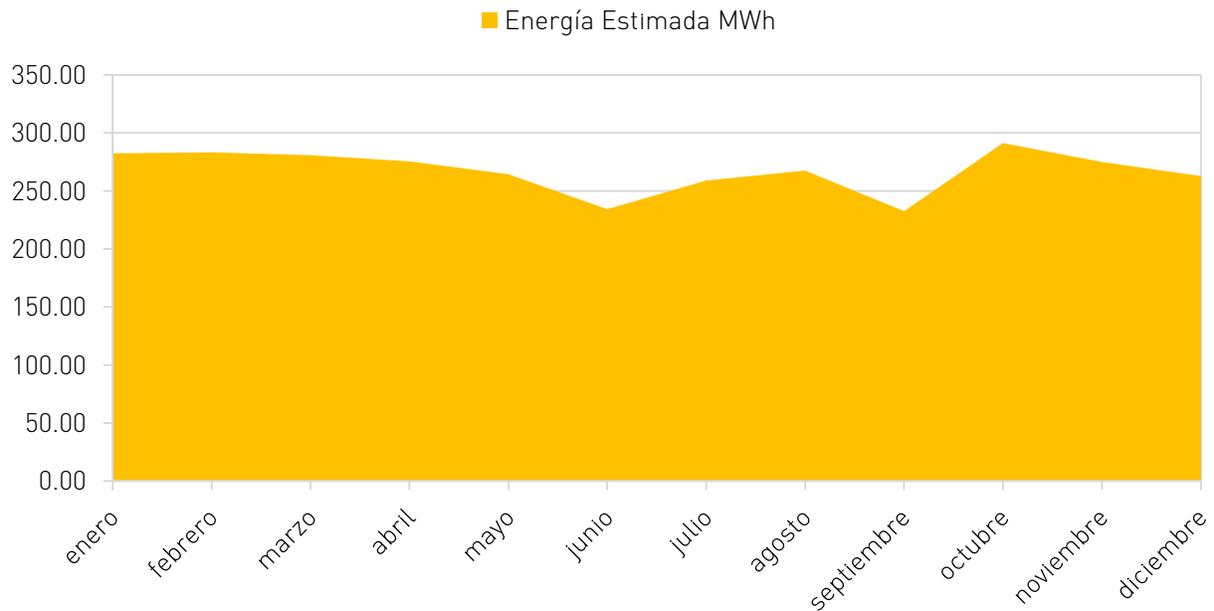
Tabla 21: Resumen energía 2015

Resumen Energía La Sabana 2015		En el año 2015 la energía total estimada en La Sabana es de 3.21 GWh y la energía promedio mensual es de 267.38 MWh; marzo es el mes con mayor valor de energía estimada y noviembre el mes con menor valor de energía estimada.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
267.38	3.21	

Fuente: DER-DGE



Gráfica 19: Energía Estimada - La Sabana 2016



Fuente: DER-DGE

Tabla 22: Energía estimada – La Sabana 2016

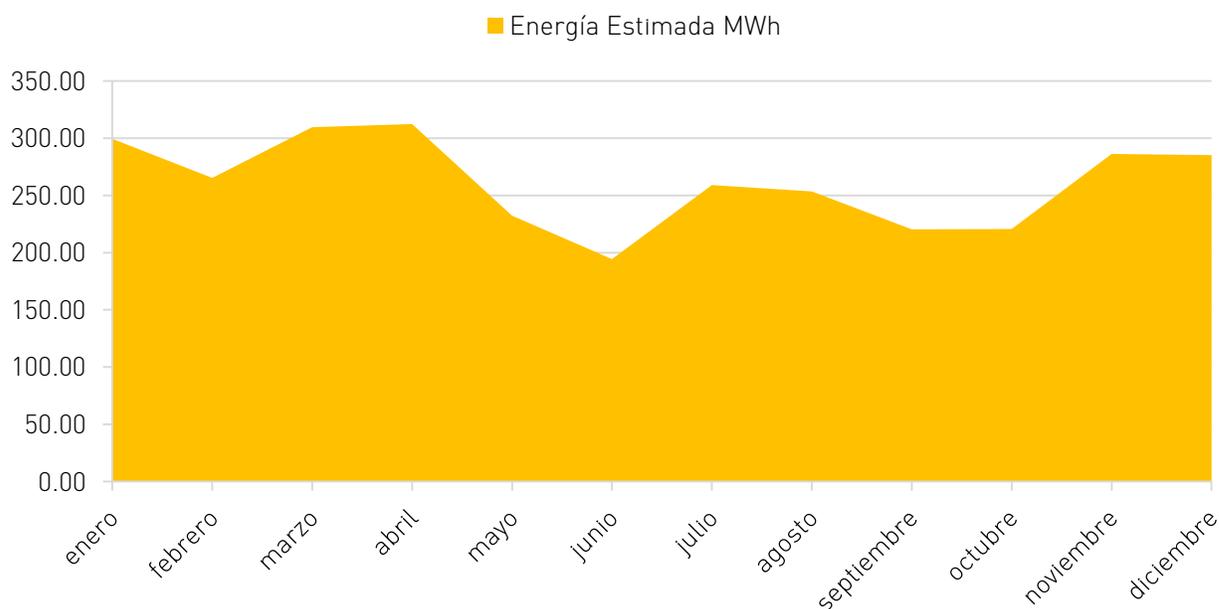
La Sabana 2016	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	282.43	283.29	280.85	275.48	264.42	234.27	258.99	267.57	232.54	291.30	274.98	262.82

Tabla 23: Resumen energía 2016

Resumen Energía La Sabana 2016		Para el año 2016, la energía total estimada es de 3.21 GWh y la energía promedio mensual es de 367.41 MWh; febrero es el mes que presenta el valor más alto de energía estimada y septiembre el mes que presenta el valor más bajo de energía estimada.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
267.41	3.21	

Fuente: DER-DGE

Gráfica 20: Energía Estimada - La Sabana 2017



Fuente: DER-DGE

Tabla 24: Energía estimada - La Sabana 2017

La Sabana 2017	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	299.37	265.23	309.52	312.28	232.29	194.35	259.00	253.43	220.32	220.61	286.18	285.16

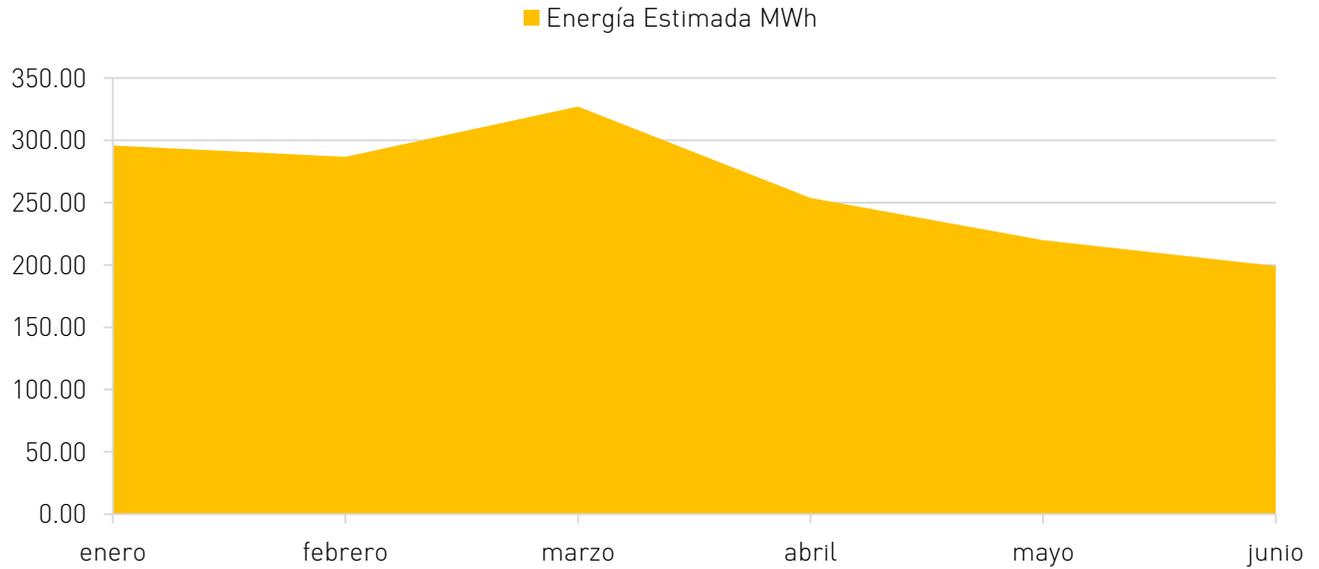
Fuente: DER-DGE

Tabla 25: Resumen energía 2017

Resumen Energía La Sabana 2017		En el presente año la energía total estimada es de 3.14 GWh y la energía mensual promedio es de 261.48 MWh; el mes que presenta el valor más alto de energía estimada es abril y el mes que presenta el valor más bajo es junio.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
261.48	3.14	

Fuente: DER-DGE

Gráfica 21: Energía Estimada - La Sabana 2018



Fuente: DER-DGE

Tabla 26: Energía estimada – La Sabana 2018

La Sabana 2018	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Energía MWh	295.81	286.67	327.00	253.74	219.84	199.15	295.81	286.67	327.00	253.74	219.84	199.15

Fuente: DER-DGE

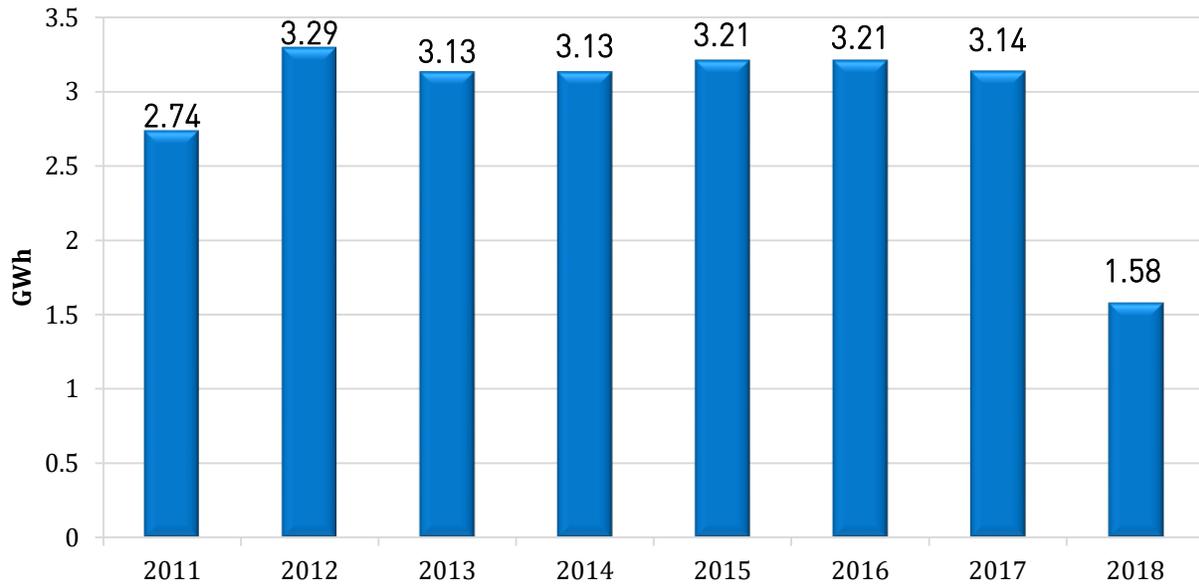
Tabla 27: Resumen energía 2018

Resumen Energía La Sabana 2018		En el año 2018 las mediciones recopiladas en La Sabana llegan hasta el mes de junio. La energía total estimada en los meses de enero a junio es de 1.58 GWh y la energía promedio mensual es de 263.70 MWh; de los seis meses recopilados, marzo es el mes que presenta el valor más alto de energía estimada y junio el mes con el valor más bajo de energía estimada.
Energía promedio mensual [MWh]	Energía estimada Total en el año[GWh]	
263.70	1.58	

Fuente: DER-DGE



Gráfica 22: Resumen de energía estimada La Sabana 2011-2018



Fuente: DER-DGE

Tabla 28: Resumen energía estimada La Sabana

La Sabana 2011-2018	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Energía GWh	2.74	3.29	3.13	3.13	3.21	3.21	3.14	1.58

Fuente: DER-DGE

Durante el periodo 2011-2018 de medición, los cuales equivalen a 88 meses, la energía total estimada es de 23.44 GWh y el promedio anual es de 2.93 GWh.

El año con mayor valor de energía promedio estimada es 2012 con 3.29 GWh y el año con menor valor de energía estimada promedio es 2018 con 1.58 GWh. Se resalta el hecho que en el año 2011 solo se cuenta con el cálculo de 10 meses y en el año 2018 con 6 meses.

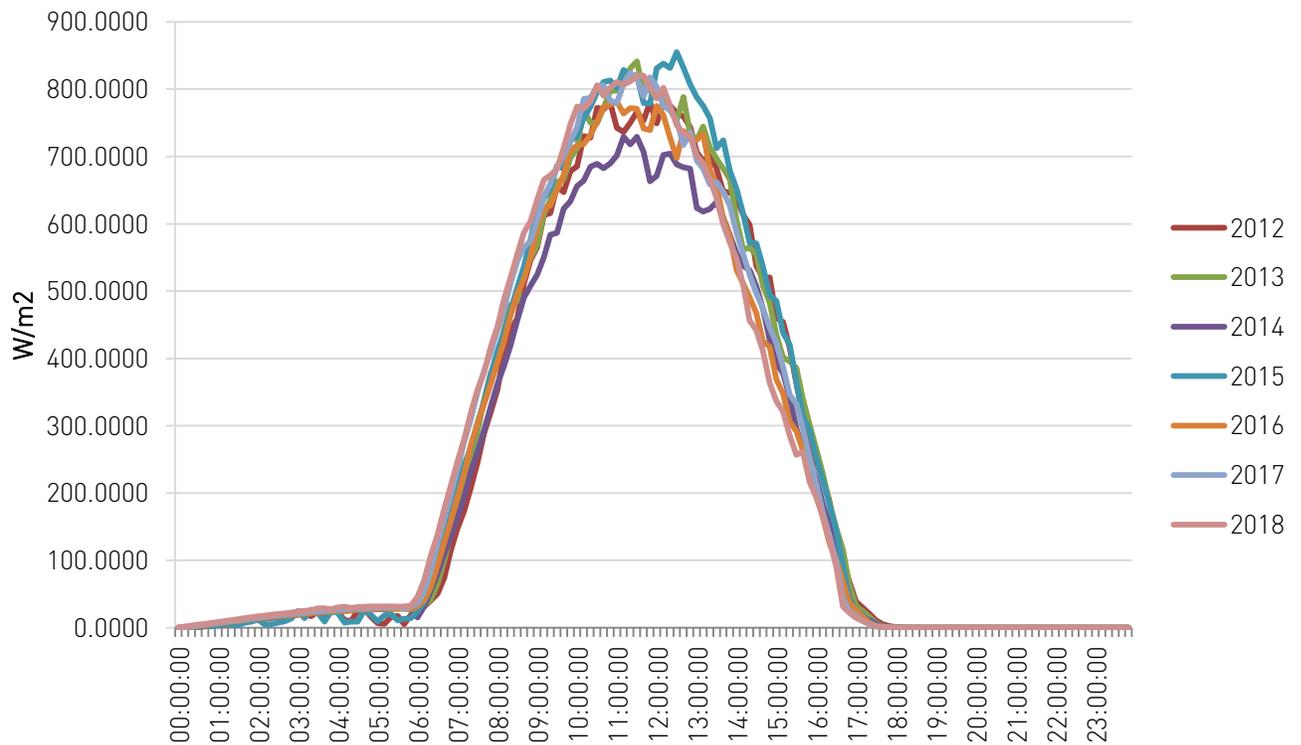
9. Comportamiento promedio de la radiación solar

solar

Se modelaron curvas de comportamiento promedio diario de la radiación solar para poder analizar y comparar las tendencias entre los distintos meses de un mismo año y asimismo poder observar el comportamiento y tendencia entre los distintos años del estudio para determinar y describir el comportamiento de dicho recurso en el sitio de estudio.

9.1 Comportamiento de la radiación solar en enero.

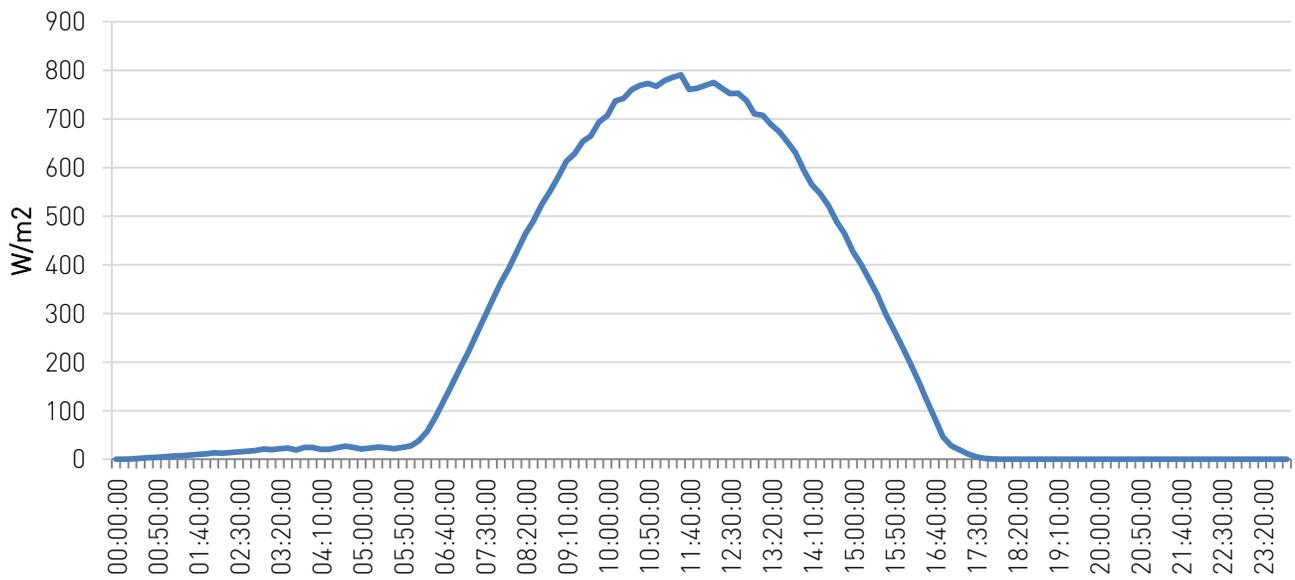
Gráfica 23: Comportamiento de la radiación solar diaria - enero La Sabana



Fuente: DER-DGE



Gráfica 24: Tendencia de la radiación solar – enero La Sabana



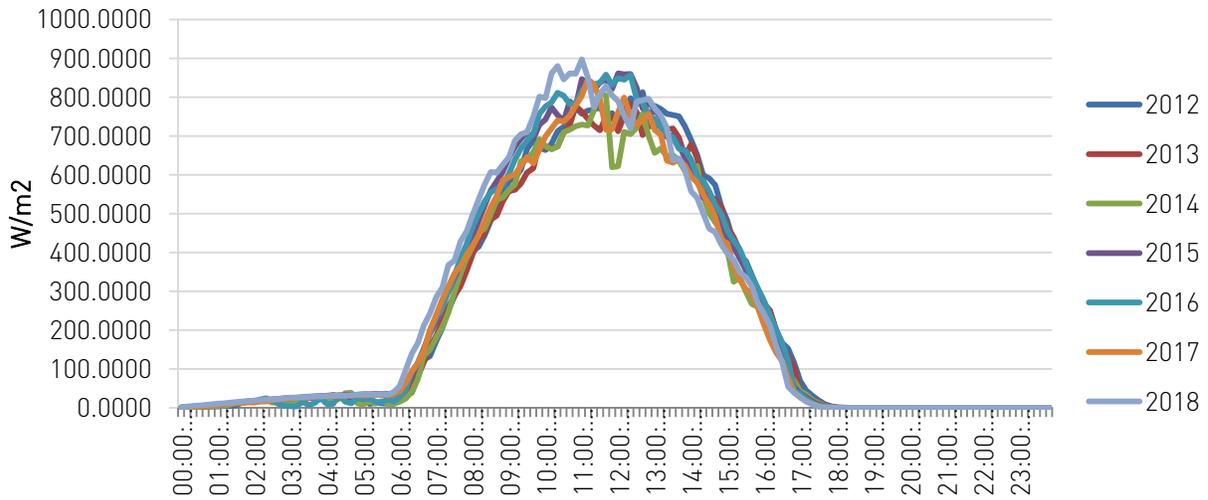
Fuente: DER-DGE

La tendencia de la radiación solar de enero en La Sabana, de los años 2012 a 2018, se muestra en las gráficas 23 y 24; la radiación asciende progresivamente desde las 6:00 a.m. hasta alcanzar la radiación máxima que se da a las 11:30 a.m., donde comienza a descender hasta las 5:00 p.m. aproximadamente.



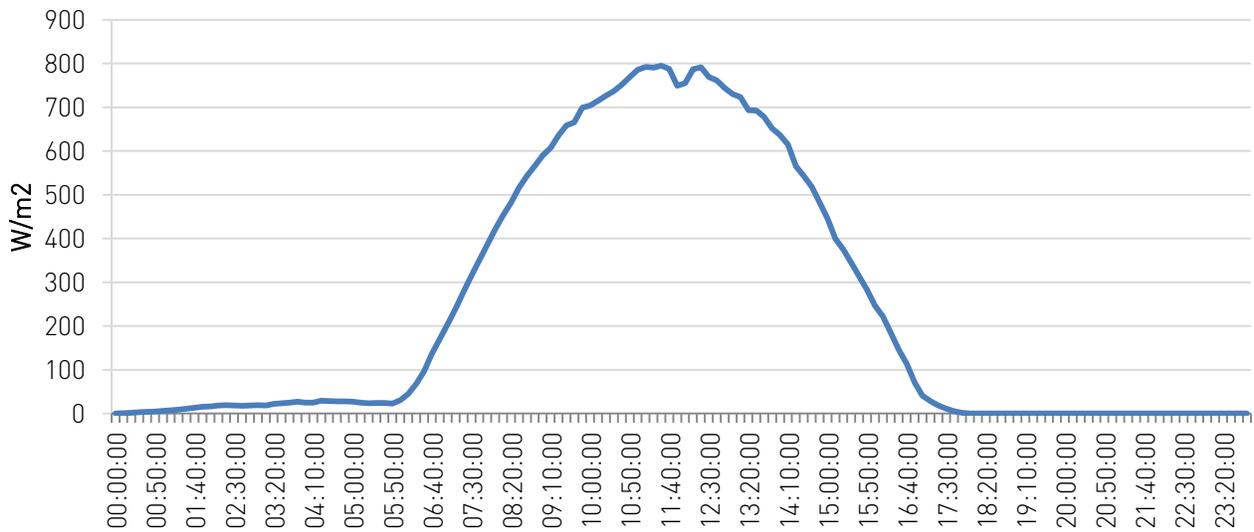
9.2 Comportamiento de la radiación solar en febrero.

Gráfica 25: Tendencia de la radiación solar diaria – febrero La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 26: Tendencia de la radiación solar – febrero La Sabana



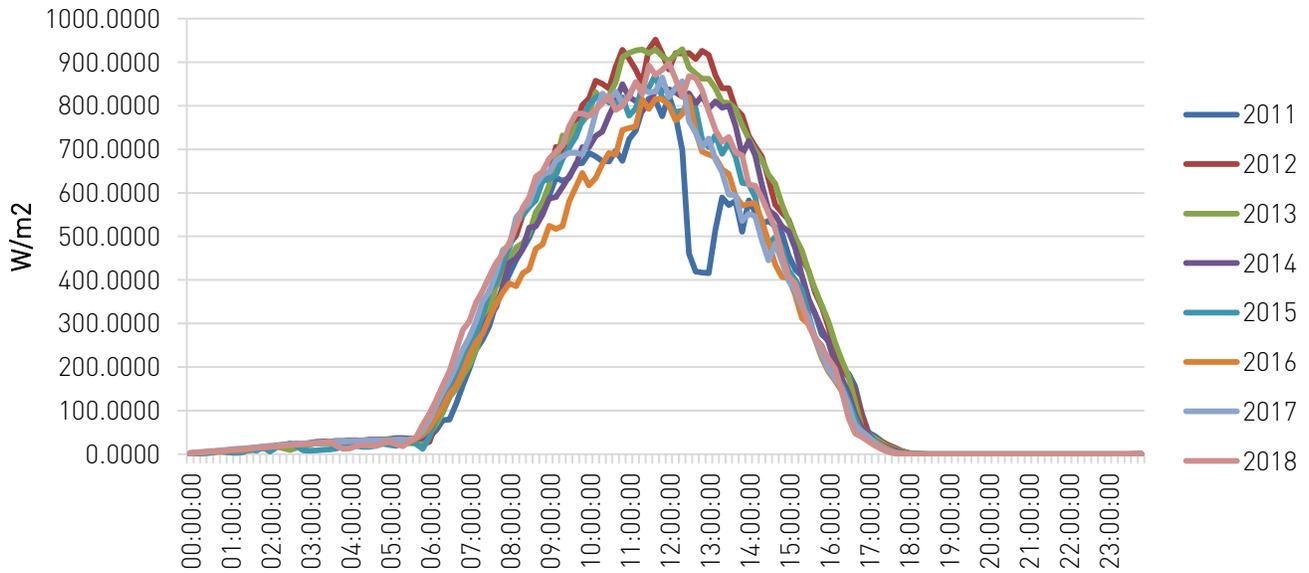
Fuente: DER-DGE

En las gráficas 25 y 26, se observa la tendencia del comportamiento de la radiación solar en La Sabana en el mes de febrero, de los años 2012 a 2018; a las 6:00 a.m. la radiación solar comienza a ascender hasta llegar a su máximo a las 11:30 a.m., para luego ir en descenso hasta aproximadamente las 5:20 p.m.



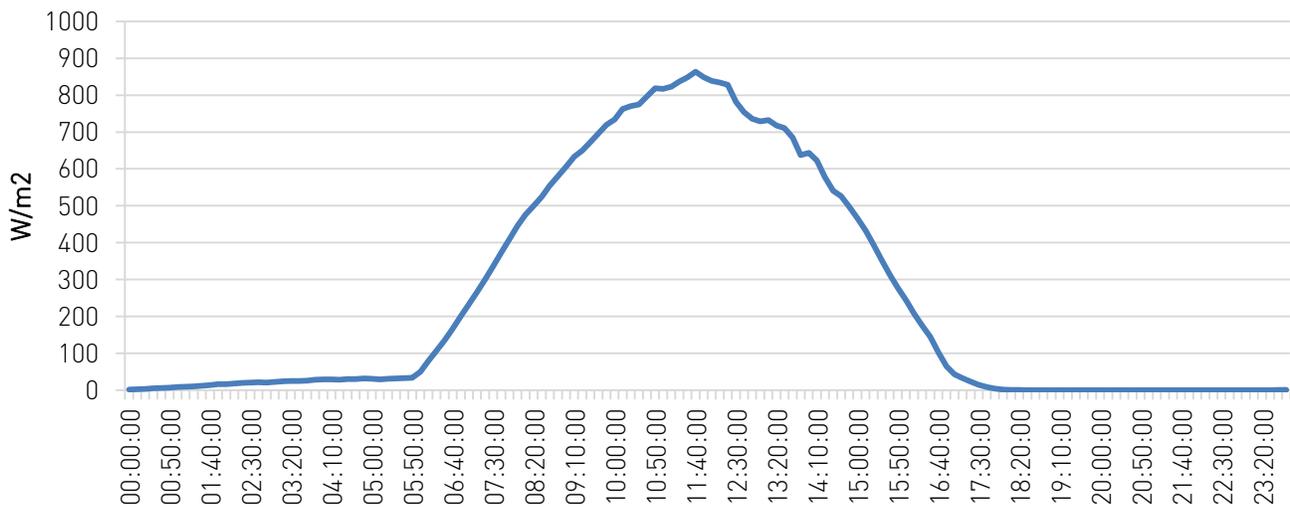
9.3 Comportamiento de la radiación solar en marzo.

Gráfica 27: Comportamiento de la radiación solar diaria - marzo La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 28: Comportamiento de la radiación solar - marzo La Sabana



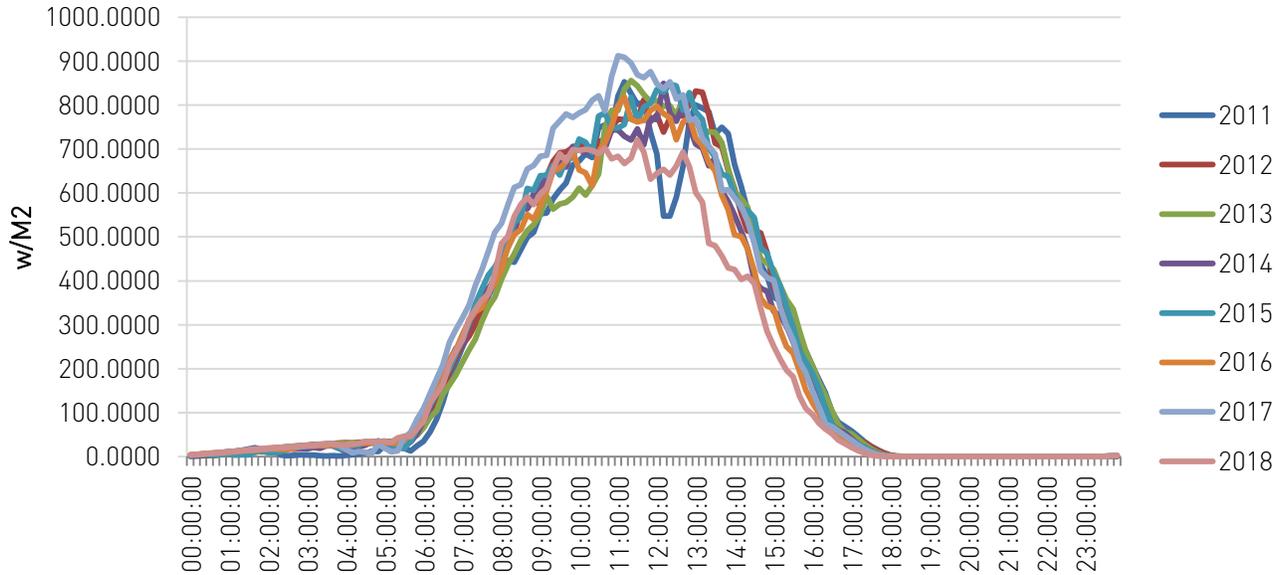
Fuente: DER-DGE

Se observa la tendencia del comportamiento de la radiación solar en La Sabana en el mes de marzo, de los años 2012 a 2018; a las 6:00 a.m. la radiación solar comienza a ascender hasta llegar a su máximo a las 11:40 a.m. donde comienza en descenso hasta las 5:20 p.m. aprox.



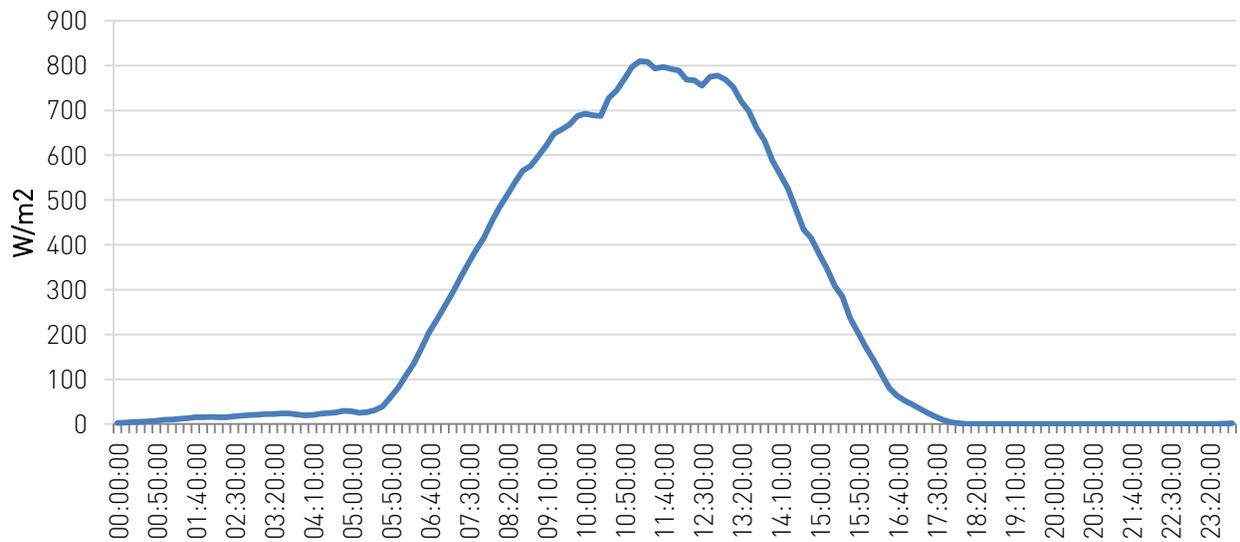
9.4 Comportamiento de la radiación solar en abril.

Gráfica 29: Comportamiento de la radiación solar diaria - abril La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 30: Comportamiento de la radiación solar - abril La Sabana



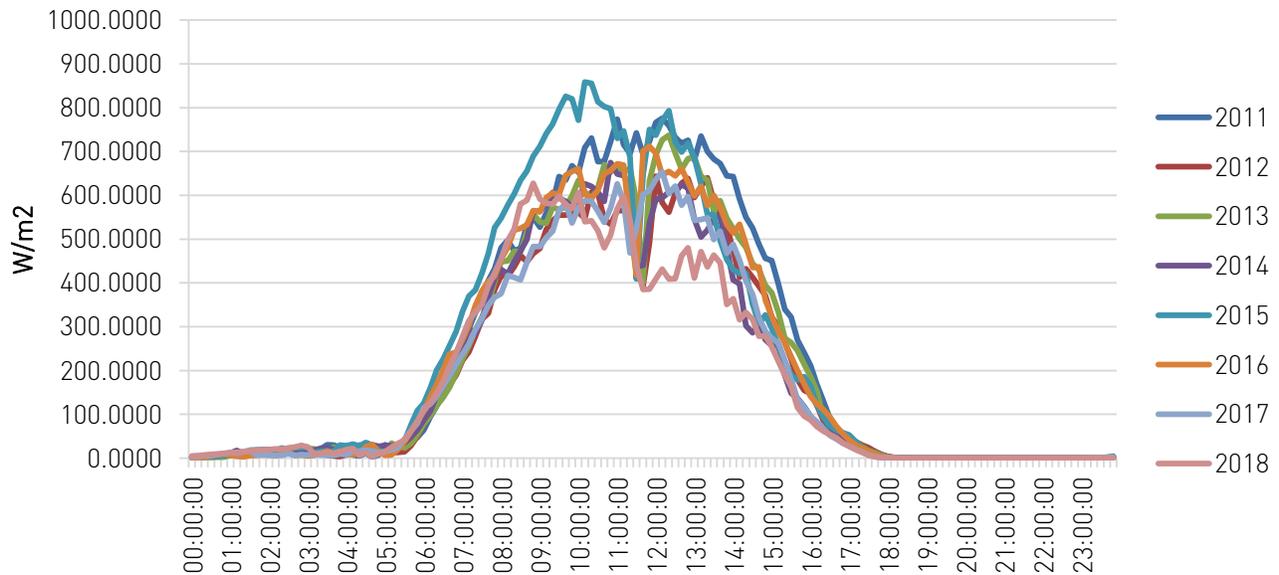
Fuente: DER-DGE

En el mes de abril de los años 2011 a 2018, la tendencia del comportamiento solar es como se muestra en las gráficas 29 y 30; a las 6:00 a.m. la curva de radiación comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 11:10 a.m., momento en el cual la curva comienza a descender hasta su valor mínimo.



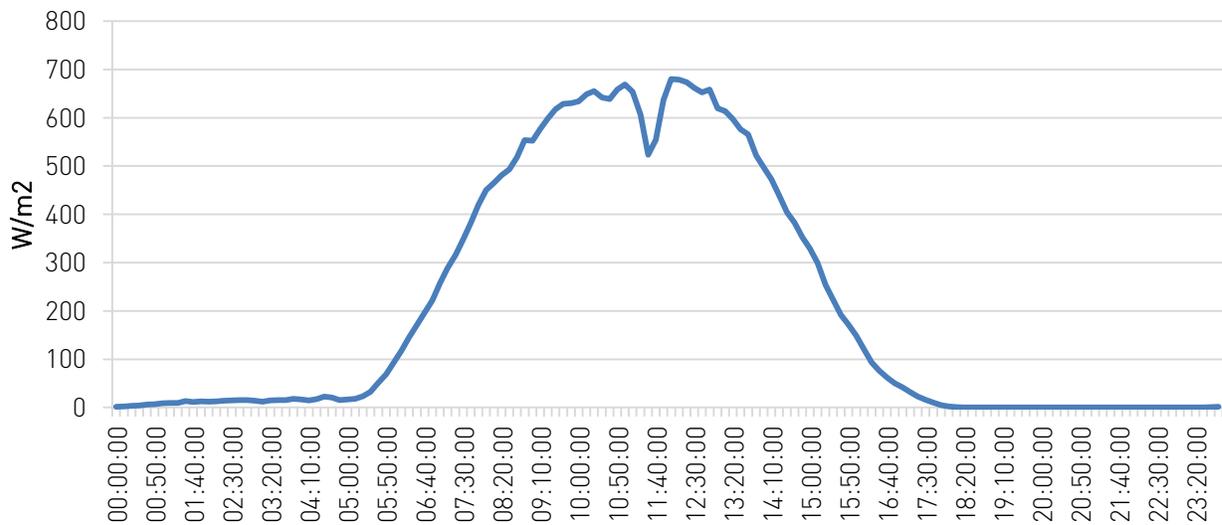
9.5 Comportamiento de la radiación solar en mayo.

Gráfica 31: Comportamiento de la radiación solar diaria – mayo La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 32: Tendencia de la radiación solar – mayo La Sabana



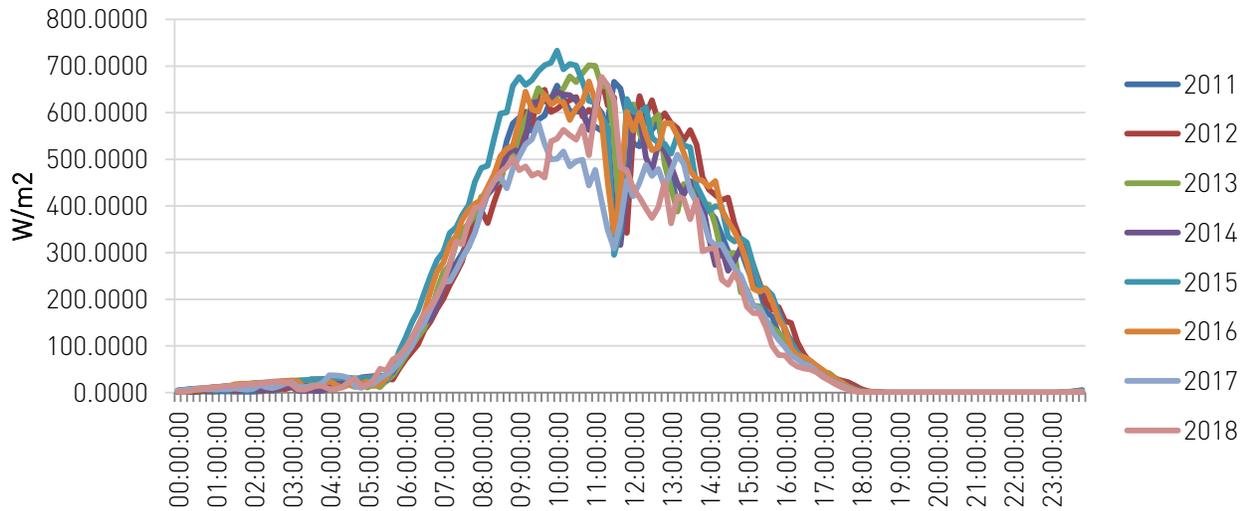
Fuente: DER-DGE

El comportamiento de la radiación solar para el mes de mayo es tal y como se muestra en las gráficas 31 y 32, a las 6:00 a.m. la curva comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 12:00 p.m., hora en donde comienza a descender progresivamente hasta llegar a su mínimo a las 5:20 p.m. aproximadamente.



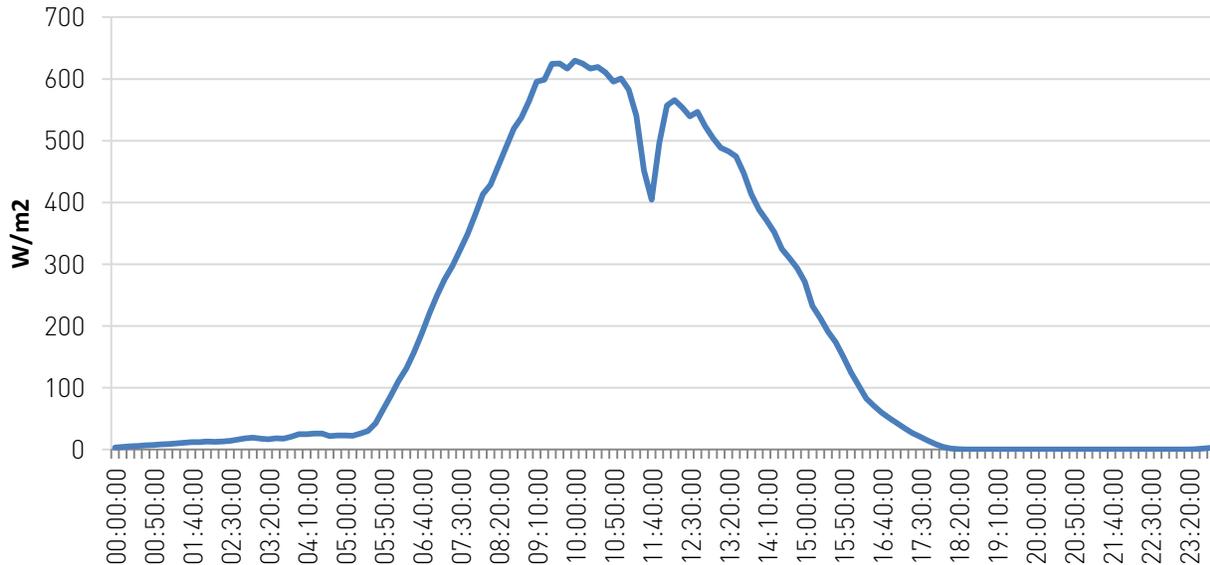
9.6 Comportamiento de la radiación solar en junio.

Gráfica 33: Comportamiento de la radiación solar diaria – junio La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 34: Tendencia de la radiación solar – junio La Sabana



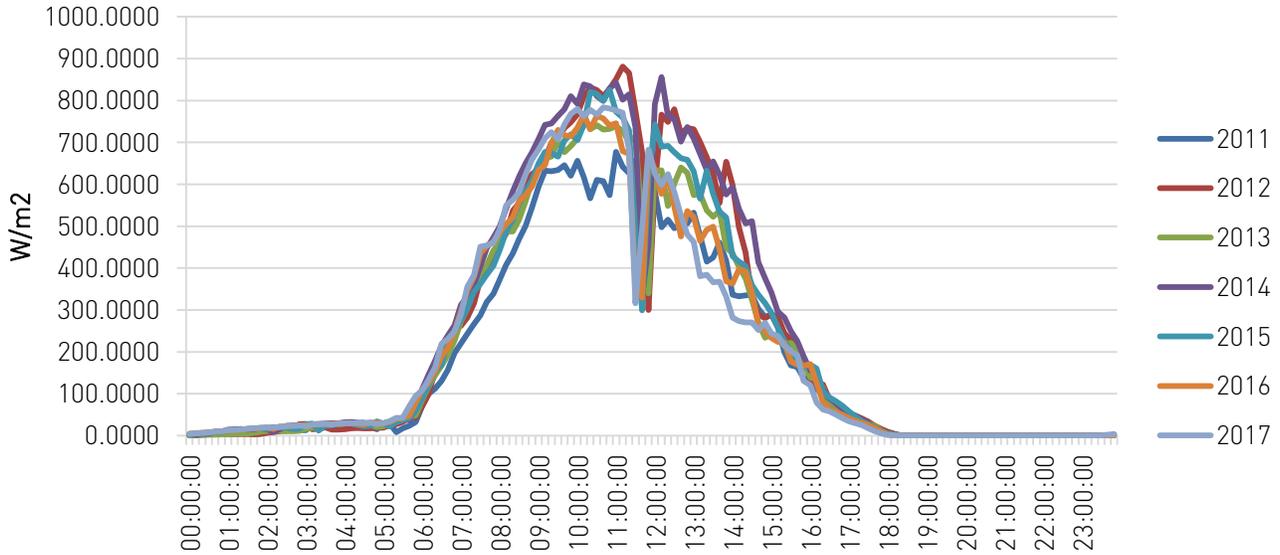
Fuente: DER-DGE

El mes de junio el comportamiento promedio de la radiación solar para los años 2011 a 2018 es como se muestra en las gráficas 33 y 34, a las 6:00 a.m. la curva comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 10:00 a.m., para luego ir descendiendo progresivamente hasta alcanzar su mínimo aproximadamente a las 5:30 p.m.



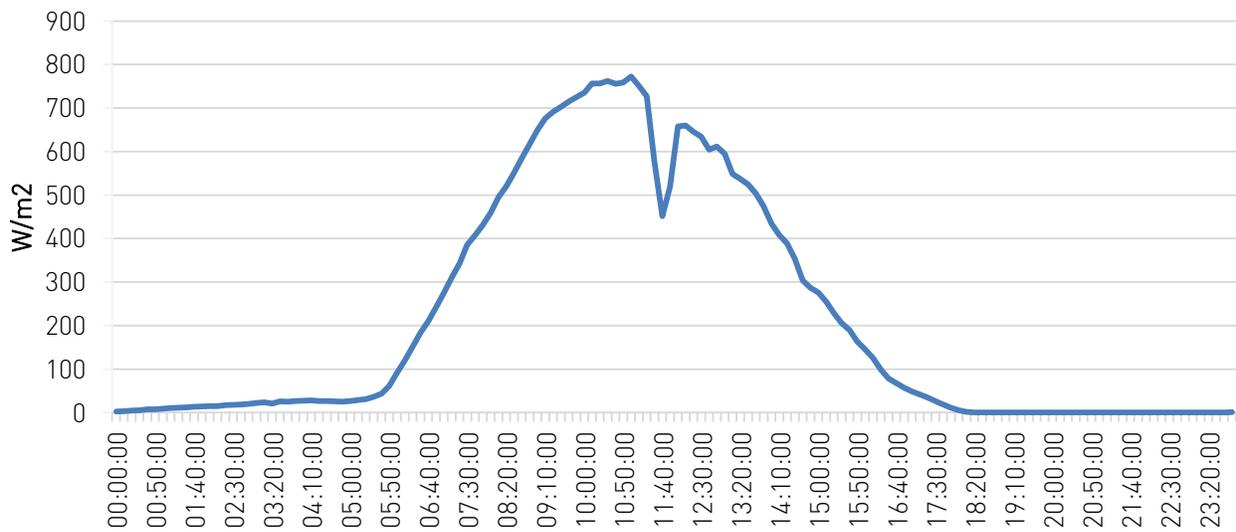
9.7 Comportamiento de la radiación solar en julio.

Gráfica 35: Comportamiento de la radiación solar diaria – julio La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 36: Tendencia de la radiación solar – julio La Sabana



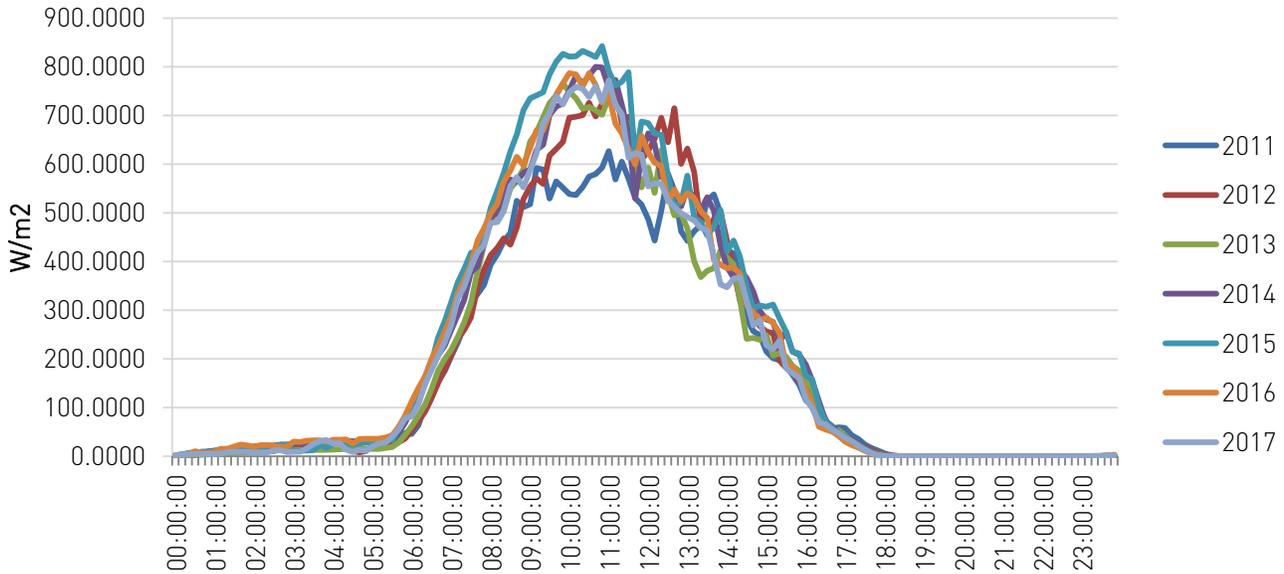
Fuente: DER-DGE

En el mes de julio el comportamiento promedio de la radiación solar para los años 2011 a 2017 es como se muestra en la gráfica 36, a las 6:00 a.m. la curva comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 10:00 a.m., para luego ir descendiendo progresivamente hasta alcanzar su mínimo a las 5:30 p.m.



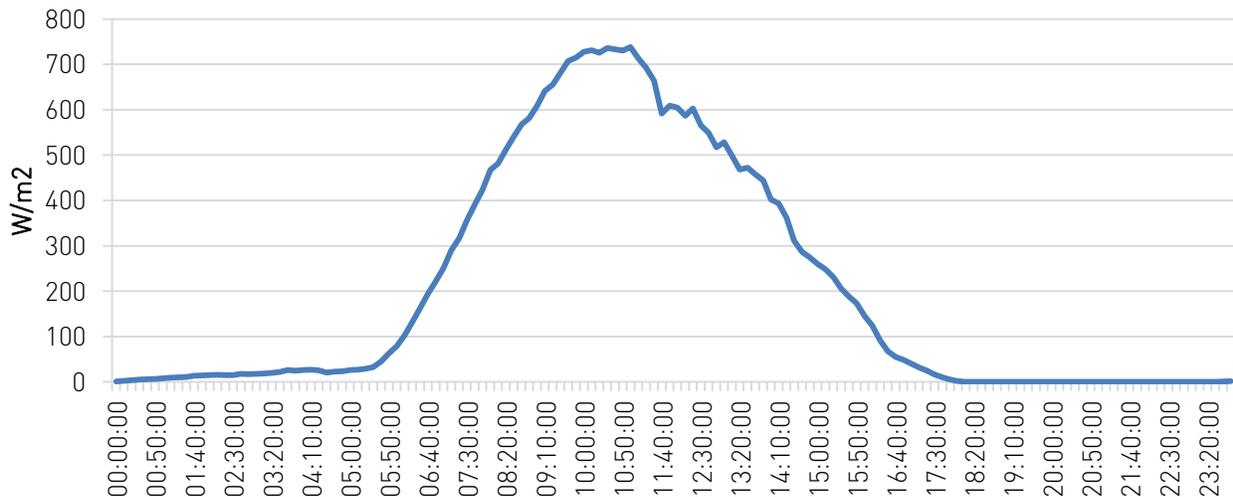
9.8 Comportamiento de la radiación solar en agosto.

Gráfica 37: Comportamiento de la radiación solar diaria – agosto La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 38: Tendencia de la radiación solar – agosto La Sabana



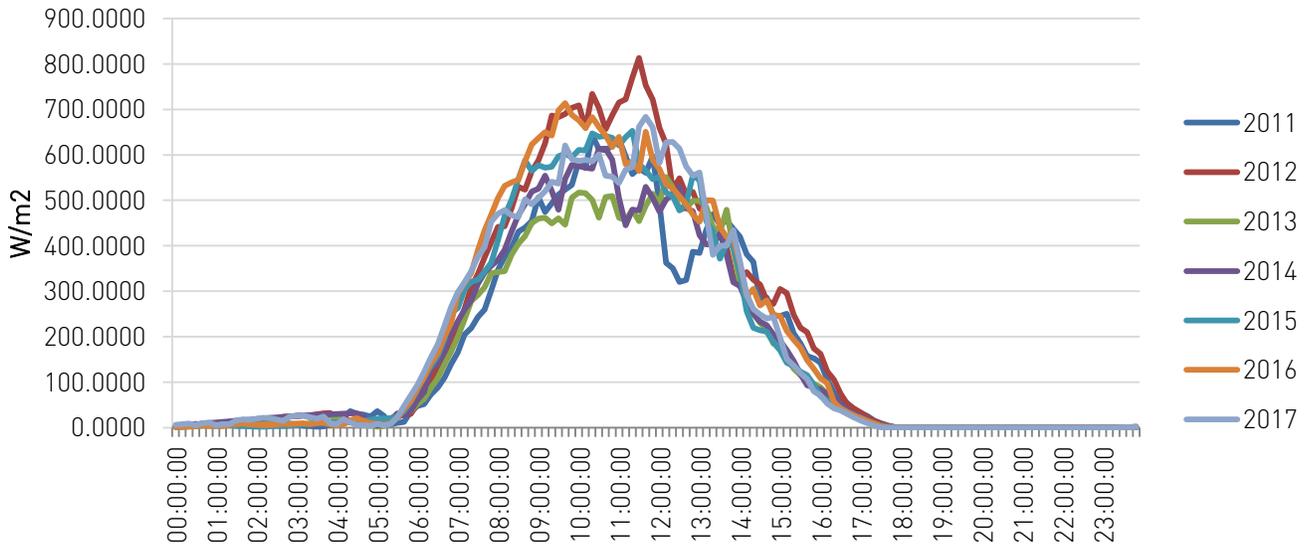
Fuente: DER-DGE

En agosto la tendencia del comportamiento de la radiación solar es tal y como se muestra en las gráficas 37 y 38; a las 6:00 a.m. la curva comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 11:00 a.m. donde inicia a descender progresivamente hasta alcanzar su mínimo a las 6:00 p.m. aprox.



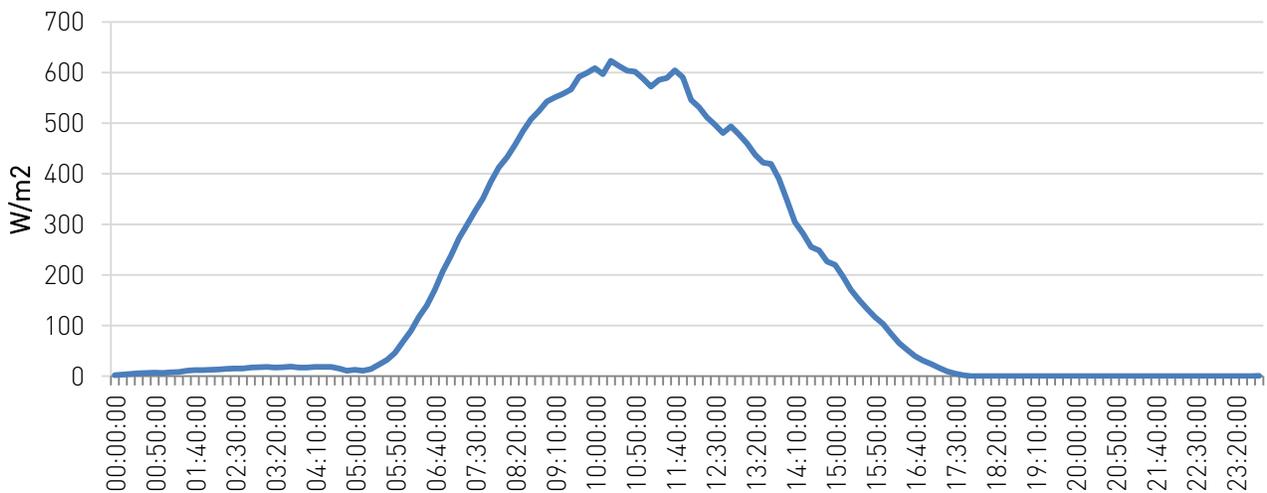
9.9 Comportamiento de la radiación solar en septiembre.

Gráfica 39: Comportamiento de la radiación solar diaria- septiembre La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 40: Tendencia de la radiación solar - septiembre La Sabana



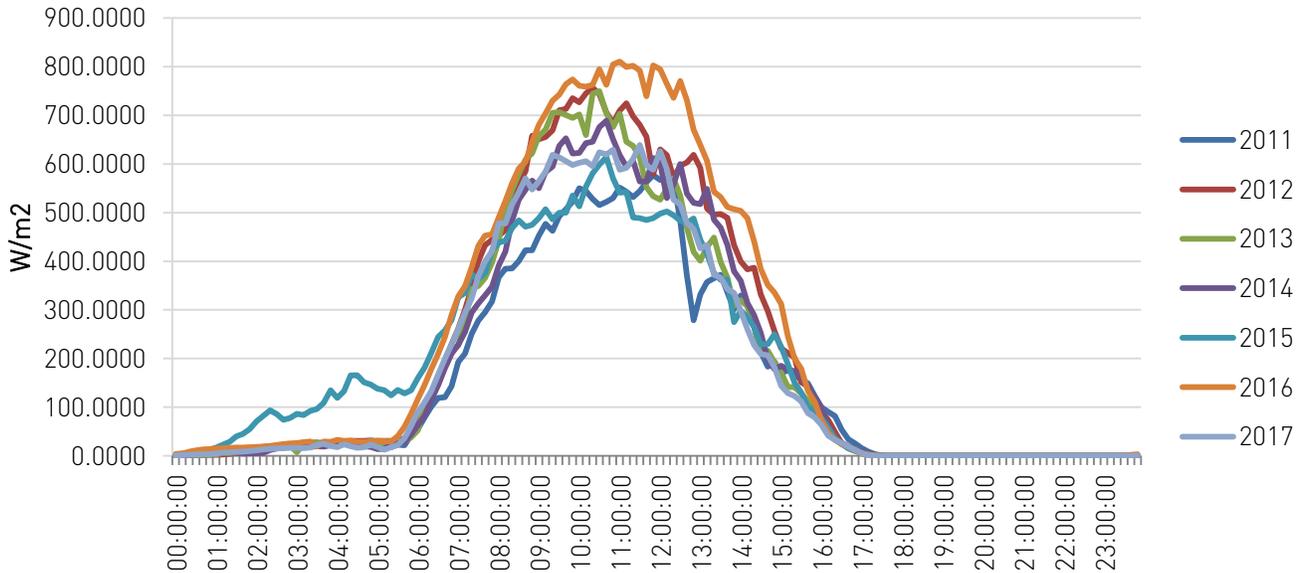
Fuente: DER-DGE

Para el mes de septiembre, el comportamiento de la radiación solar de los años 2011 a 2017 es como se muestra en las gráficas 39 y 40; a las 6:00 la curva comienza su ascenso hasta alcanzar su valor máximo a las 10:20 a.m., donde inicia el descenso hasta alcanzar su valor mínimo aproximadamente a las 5:20 p.m.



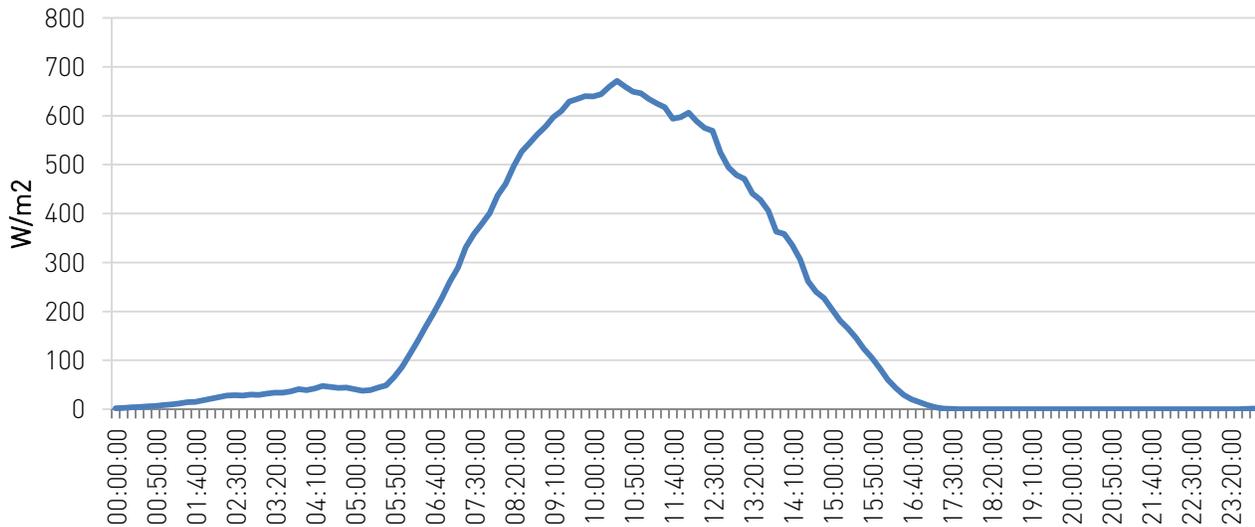
9.10 Comportamiento de la radiación solar en octubre.

Gráfica 41: Comportamiento de la radiación solar – octubre La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 42: Tendencia de la radiación solar – octubre La Sabana



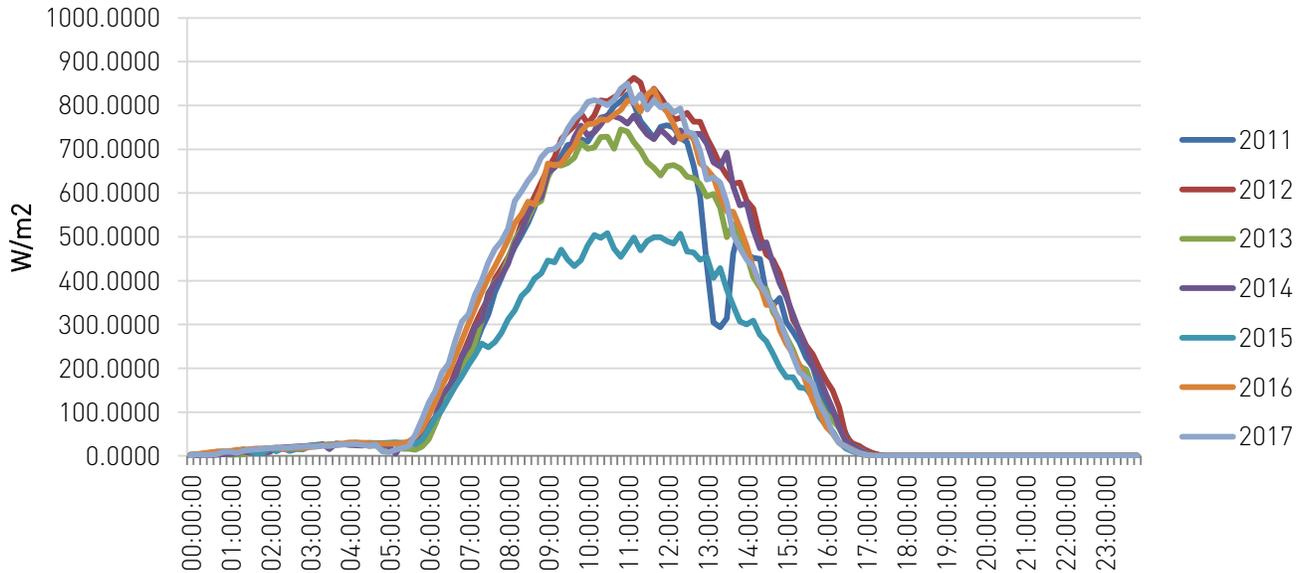
Fuente: DER-DGE

En octubre el comportamiento de la radiación solar para los años 2011 a 2017 es como se muestra en las gráficas 41 y 42, a las 6:00 a.m. la curva comienza a descender hasta alcanzar su valor máximo a las 10:30 am, para luego comenzar a descender hasta su valor mínimo a las 5:00 p.m. aprox.



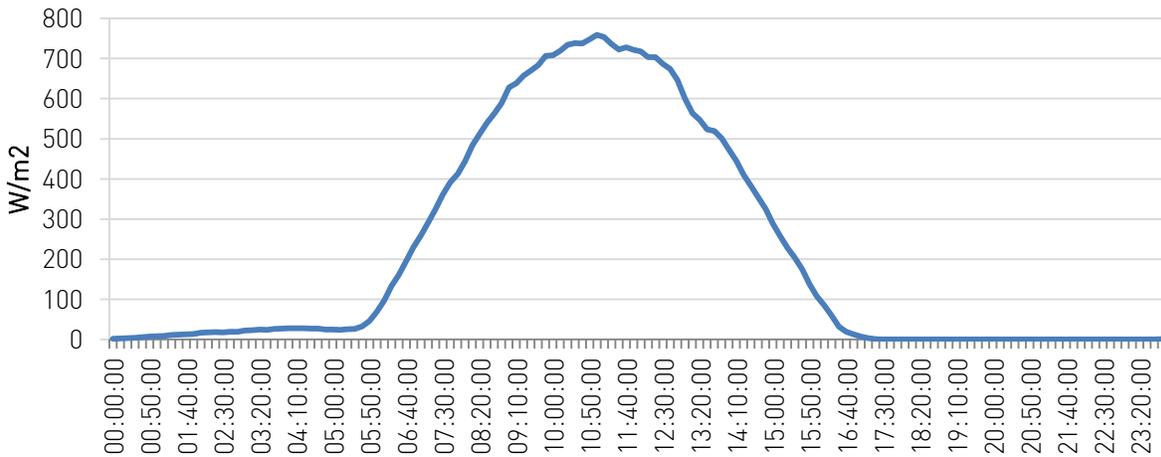
9.11 Comportamiento de la radiación solar en noviembre.

Gráfica 43: Comportamiento de la radiación solar – noviembre La Sabanana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 44: Tendencia de la radiación solar – noviembre La Sabana



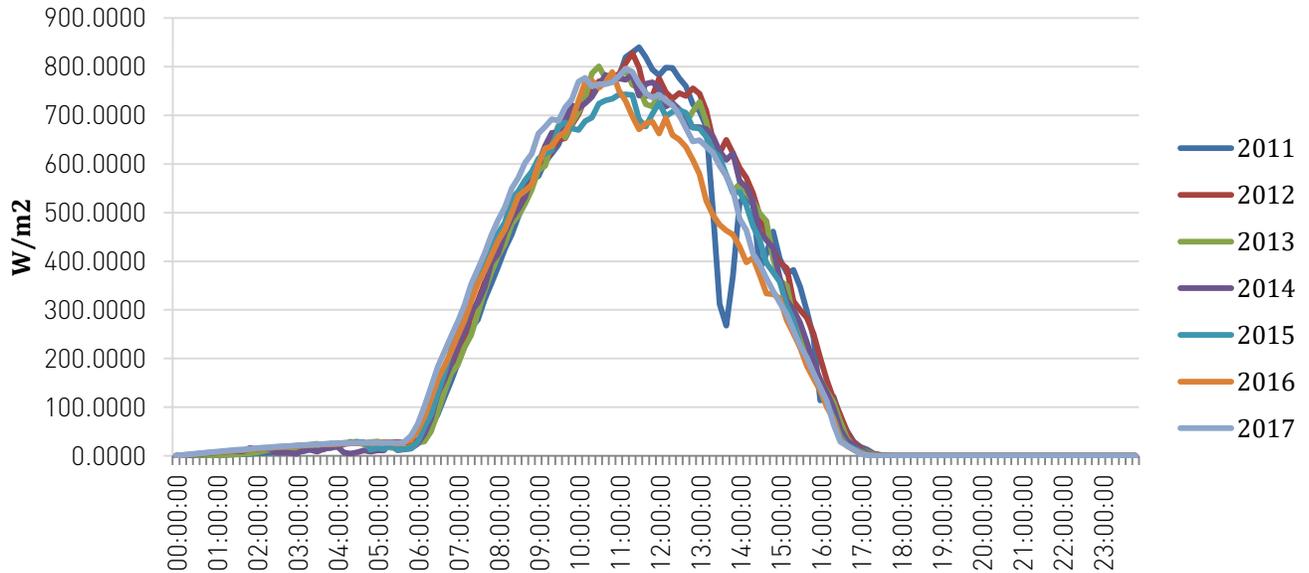
Fuente: DER-DGE

La tendencia de comportamiento de radiación solar para los años 2011 a 2017 en el mes de noviembre es tal y como se muestra en las gráficas 43 y 44; a las 6:00 a.m. la curva de comportamiento comienza a ascender hasta alcanzar su valor máximo a las 11:00 a.m., donde luego comienza a descender hasta alcanzar su mínimo a las 5:20 p.m. aprox.



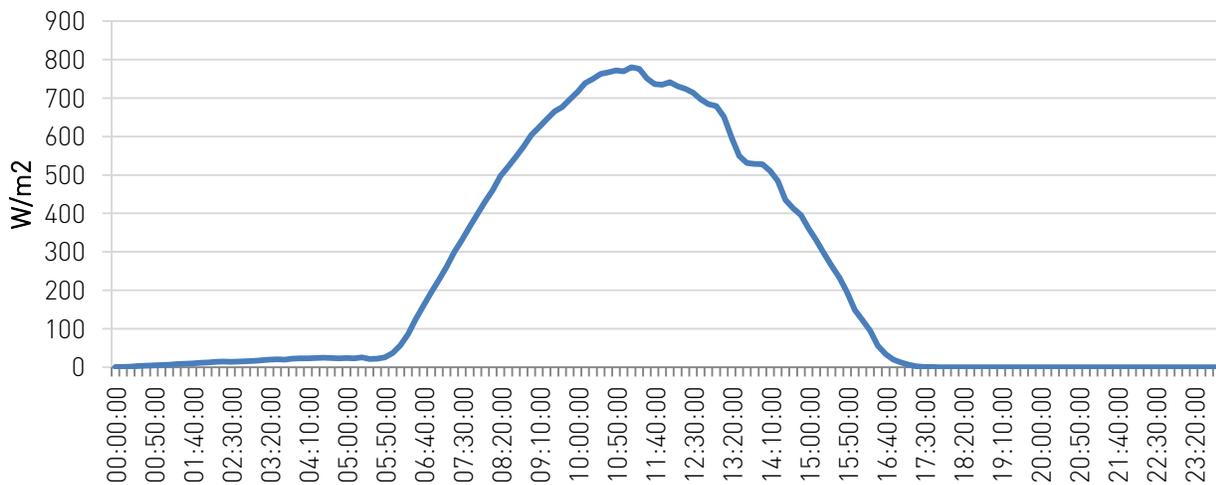
9.12 Comportamiento de la radiación solar en diciembre.

Gráfica 45: Comportamiento de la radiación solar – diciembre La Sabana



Fuente: DER-DGE

Gráfica 46: Tendencia de la radiación solar – diciembre La Sabana



Fuente: DER-DGE

En diciembre, el comportamiento promedio de la radiación solar para los años 2011 a 2017 es como se muestra en las gráficas 45 y 46, a las 6:00 a.m. la curva de radiación comienza a ascender hasta llegar a su valor máximo a las 11:10 a.m. donde comienza a descender progresivamente hasta alcanzar su mínimo aproximadamente a las 5:00 p.m.



10. Emisiones evitadas

Debido a que la tecnología fotovoltaica no produce gases de efecto invernadero – GEI- para generar electricidad, en esta sección se analizan las emisiones equivalentes de CO₂ que se evitarían al generar energía eléctrica con los valores estimados en el presente estudio solar comparado con la utilización de los combustibles fósiles:

Tabla 29: Emisiones evitadas –Carbón Mineral-

AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION CARBON MINERAL [Kg CO _{2e} / KWh]	EMISIONES CARBON MINERAL [Kg CO _{2e}]
2011	2.74	1.1932	3,265,992.19
2012	3.29	1.3629	4,489,973.31
2013	3.13	1.3738	4,304,964.80
2014	3.13	1.3273	4,158,889.50
2015	3.21	1.3074	4,194,933.30
2016	3.21	1.3173	4,227,142.35
2017	3.14	1.2617	3,958,890.51
2018	1.58	1.2617	1,996,260.47
TOTAL	23.44		28,600,785.97

Fuente: DER-DGE

Tabla 30: Emisiones evitadas –Fuel Oil-

AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION FUEL OIL [Kg CO _{2e} / KWh]	EMISIONES FUEL OIL [Kg CO _{2e}]
2011	2.74	0.6815	1,865,381.90
2012	3.29	0.6754	2,225,055.38
2013	3.13	1.0544	3,304,087.12
2014	3.13	0.6818	2,136,314.97
2015	3.21	0.6619	2,123,777.23
2016	3.21	0.6641	2,131,059.92
2017	3.14	0.7458	2,340,128.83
2018	1.58	0.7458	1,180,004.01
TOTAL	23.44		16,125,805.35

Fuente: DER-DGE



Tabla 31: Emisiones evitadas – Diesel Oil

AÑO	ENERGÍA [GWh]	COEFICIENTE DE EMISION DIESEL OIL [Kg CO ₂ e / KWh]	EMISIONES DIESEL OIL [Kg CO ₂ e]
2011	2.74	0.7567	2,071,217.14
2012	3.29	0.7743	2,550,874.11
2013	3.13	0.9188	2,879,168.48
2014	3.13	0.8341	2,613,523.50
2015	3.21	0.7498	2,405,813.82
2016	3.21	0.7814	2,507,469.09
2017	3.14	0.796	2,497,643.54
2018	1.58	0.796	1,259,430.40
TOTAL	23.44		17,525,709.68

Fuente: DER-DGE

En las tablas 29, 30 y 31, 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 estimada aprovechable total calculada de los datos de radiación solar 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 solar proveniente de paneles fotovoltaicos y no con la utilización de los combustibles en mención.

Se evidencia, que para producir un total de 23.44GWh por medio de la utilización de carbón mineral, se estarían emitiendo aproximadamente 28 mil 600 toneladas de dióxido de carbono equivalente; al hacerlo por medio de Fuel Oil, se emitirían aproximadamente 16 mil toneladas; y al hacerlo por medio de Diesel Oil, se estarían emitiendo aproximadamente 17 mil 526 toneladas de dióxido de carbono equivalentes.

Tomando en consideración que la tecnología de generación por medio del recurso solar, posee un coeficiente de emisión de 0.00 kg de dióxido de carbono equivalente por KWh generado, es correcto afirmar que la generación solar fotovoltaica causa un impacto positivo en la preservación del medio ambiente, evitando la emisión de millones de kg de dióxido de carbono equivalente.



11. Presupuesto necesario para la instalación de una planta solar fotovoltaica.

Debido al tamaño disponible en la finca La Sabana, se estima que se puede instalar un total de 6,300 paneles de 350 Wp cada uno, por lo que el proyecto tendría una potencia instalada de **2.205 MW**. Esta limitante territorial obligaría a realizar un proyecto de tipo Generador Distribuido Renovable –GDR- menor de 5 MW.

Para determinar el costo que conlleva la realización de un proyecto de este tipo, es necesario considerar los siguientes aspectos:

1. Adquisición del terreno.
2. Realización de estudios técnicos, económicos, financieros, geológicos, ambientales y de riesgo.
3. Compra de los paneles fotovoltaicos.
4. Compra de bases para sostener los paneles.
5. Inversores de corriente.
6. Construcción, obra civil y anclaje de bases y paneles fotovoltaicos.
7. Construcción de la línea de distribución y subestación eléctrica.
8. Gastos administrativos (Incluye trámites de permisos, papeleo, entre otras).

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



Tabla 32: Inversión estimada para un proyecto de 2.205 MW.

INVERSIÓN ESTIMADA PARA REALIZAR UN PROYECTO SOLAR TIPO GDR, CON CONSTRUCCIÓN DE DOS KILOMETROS DE LINEA DE DISTRIBUCIÓN

ACTIVIDAD	COSTO EN DOLARES	COSTO EN QUETZALES
Valoración del terreno.	\$ 250,000.00	Q1,925,000.00
Compra de paneles solares con sus bases.	\$ 1,737,875.80	Q13,381,643.65
Compra de Inversores	\$ 700,000.00	Q5,390,000
Realización de estudios geológicos, ambientales, de riesgo, técnicos	\$ 100,000.00	Q770,000.00
Construcción, obra civil y anclaje de paneles.	\$ 70,000.00	Q539,000.00
Construcción de la línea de transmisión y subestación eléctrica	\$ 200,000.00	Q1,540,000.00
Gastos administrativos	\$ 6,250.00	Q48,125.00
TOTAL	\$ 3,064,125.80	Q23,593,768.65

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

En el cuadro anterior se muestra que la inversión inicial requerida para poner en marcha un proyecto de generación fotovoltaica de 2.205 MW es de \$3,064,125.80 o su equivalente en quetzales utilizando el tipo de cambio de 7.70 quetzales por dólar, es Q23,593,768.65, lo cual quiere decir que el kilovatio instalado asciende a \$1,389.63 y su equivalente en quetzales de Q10,700.12.



12. Incentivos para el desarrollo de proyectos de energías renovables

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).



CONCLUSIONES

- ✓ Para el estudio se tomaron en cuenta los valores de radiación solar obtenidos mediante el piranómetro instalado a 10 metros de altura en la torre de medición localizada en la finca La Sabana, con lo cual se obtuvo una primera aproximación del potencial solar fotovoltaico del emplazamiento para el dimensionamiento de futuros parques fotovoltaicos.
- ✓ El promedio de horas pico solar en la finca La Sabana es de 5.12 HSP lo que corresponde a una radiación solar promedio diaria durante el periodo de medición (2011-2018) de **5123.02 Wh/m²**.
- ✓ La temperatura promedio medida en la estación de medición a lo largo de todo el periodo (2011-2018) es de 17.49 °C lo cual favorece a la eficiencia de los paneles fotovoltaicos debido que estos presentan pérdidas de eficiencia a causa de calentamiento a temperaturas mayores de 25°C.
- ✓ Debido al tamaño disponible en la finca La Sabana, se pueden instalar aproximadamente 6,300 paneles de 350 Wp, por lo que el proyecto tendría una potencia instalada teórica de **2.205 MW**, lo cual clasifica como un proyecto de tipo Generación Distribuida Renovable –GDR–.
- ✓ Los meses que presentaron valores más altos de radiación promedio, arriba de 5000 Wh/m² y por lo tanto los valores más altos de energía estimada son: enero, febrero, marzo, abril, julio, noviembre y diciembre.
- ✓ La energía total estimada en el emplazamiento fue de **23.44 GWh** durante el periodo 2011-2018 de medición (88 meses) y el promedio anual fue de 2.93GWh.
- ✓ El comportamiento de la radiación solar durante el día modela una curva la cual se traza entre las 6:00 a.m. y las 5:00 p.m., alcanzando su pico máximo alrededor de las 11:00 a.m.
- ✓ De generarse la energía estimada (23.44 GWh) en el estudio solar, pueden dejarse de emitir emisiones de gases de efecto invernadero utilizando distintos combustibles fósiles para la generación de electricidad: 28,601 toneladas de CO₂ equivalentes utilizando carbón mineral, 16,126 toneladas de CO₂ equivalentes utilizando fuel oil y 17,525 toneladas de CO₂ equivalentes utilizando diesel oil.
- ✓ El costo aproximado total del proyecto de 2.205 MW sería de **US\$3,064,125.80**





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

Esta publicación contiene estimaciones obtenidas de los valores de medición solar del programa 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.