

# Valores medios y críticos, del consumo energético y de las variables meteorológicas, para el diseño de un sistema fotovoltaico y de respaldo, para la Universidad Libre - Seccional Socorro.

## Average and critical values of energy consumption and meteorological variables, for the design of a photovoltaic and backup system, for the Universidad Libre - Seccional Socorro.

---

Juan Pablo Gómez Cardona<sup>1</sup>, Carolina López Sanmiguel<sup>2</sup> y Juan Ernesto Almeida Ospina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Libre, Colombia, [juanp.gomezc@unilibre.edu.co](mailto:juanp.gomezc@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Libre, Colombia, [caro.sanmi@hotmail.com](mailto:caro.sanmi@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidad Libre, Colombia, [juan.almeida@unilibre.edu.co](mailto:juan.almeida@unilibre.edu.co)

DOI: <http://doi.org/...>

Fecha de recepción: 07/11/2017

Fecha de aceptación del artículo: 17/11/2017

---

### Cómo citar:

Gómez Cardona, J. P., López Sanmiguel, C., y Almeida Ospina, J. E., (2017). Valores medios y críticos, del consumo energético y de las variables meteorológicas, para el diseño de un sistema fotovoltaico y de respaldo, para la Universidad Libre - Seccional Socorro. Bogotá, 14(1), 184-193. DOI: [org/xx/xxxx/reds.xxxx](http://dx.doi.org/10.15446/avances.184).

### Resumen

La Universidad Libre - Seccional Socorro, a través del grupo de investigación GIAM-Z, tomó la iniciativa de diseñar un sistema de generación fotovoltaico capaz de suplir la energía consumida en la iluminación de los bloques de aulas, así como, un sistema de respaldo que brinde una autonomía de dos horas. De allí, aparece la necesidad de determinar el comportamiento medio y crítico de las condiciones meteorológicas y del consumo de energía, con el propósito de tener la información necesaria para calcular las especificaciones requeridas. Para tal fin, se hizo un muestreo a lo largo del día y del año del consumo energético, de la velocidad y dirección de los vientos, de la nubosidad, de la trayectoria solar y de la radiación solar. Además, se usaron datos provenientes de recibos de consumo energético, así como, datos meteorológicos del IDEAM, de la NASA y de la estación Majavita.

**Palabras claves:** Consumo energético, Energías renovables, Nubosidad, Radiación solar, Velocidad del viento.

## Abstract

La Universidad Libre - Seccional Socorro, through the research group GIAM-Z, took the initiative to design a photovoltaic generation system capable of supplying the energy consumed in the lighting of the classroom blocks, as well as a backup system that provide an autonomy of two hours. In order to have the necessary information to be able to calculate the specifications that the system should have, it was required to determine the mean and critical behavior of the weather conditions and the energy consumption. For this reason, a sampling was made throughout the day and year of the energy consumption, the speed and direction of the winds, the cloudiness, the solar trajectories and the solar radiation. In addition, data from energy consumption receipts were used, as well as meteorological data from IDEAM, NASA and the Majavita station.

**Keywords:** Cloudiness, Energy consumption, Renewable energy, Solar radiation, Wind speed.

## 1. Introducción

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales [1].

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En éstos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial.

El aprovechamiento de la radiación solar depende de varios factores entre los que se puede destacar: la intensidad de radiación recibida por la tierra, los ciclos diarios (día y noche) y anuales (estaciones del año) y las horas de sol del lugar. Éste tipo de energía está incluida en el grupo de energías renovables que son fuente de energía gratuita, limpia, continua e inagotable. Sus aplicaciones van desde la aéreo espacial utilizada por la NASA, hasta la aplicación en juguetes, además, de la producción a pequeña escala para

el autoconsumo de viviendas y, de la producción a gran escala [1].

La radiación solar, cuya unidad de medida es  $W/m^2$ , se debilita debido a la reflexión, difusión y absorción de la energía proveniente del sol, a medida que esta atraviesa la atmósfera. Es por esto, que estos factores meteorológicos, y otros como la nubosidad y el ángulo de incidencia, afectan la radiación solar recibida [2].

Los vientos deben ser tenidos en cuenta en la instalación de un sistema fotovoltaico, ya que pueden afectar la temperatura de los paneles y hacer un torque sobre la estructura. La escala de Beaufort es utilizada para clasificar la fuerza del viento, esta consta de doce grados que definen la relación causa/efecto de las diversas intensidades del viento sobre la superficie del mar y la tierra [3].

## 2. Descripción

Para el desarrollo de un sistema de generación de energía fotovoltaico y de un sistema de respaldo, se requiere conocer el comportamiento medio y crítico, a lo largo del día y del año, de las condiciones meteorológicas

y del consumo de energía. Lo anterior, con el fin de establecer las especificaciones y la cantidad de paneles solares, la resistencia que debe tener la estructura de los mismos, la cantidad y tipo de baterías y, las especificaciones técnicas de los inversores.

## 2.1 Antecedentes

Estudiantes de la Universidad Libre Seccional Socorro, pertenecientes al semillero EEL, como parte de sus proyectos de investigación, realizaron mediciones previas de los parámetros de consumo y condiciones meteorológicas de la institución, obteniendo un consumo medio de 2,54 kW en jornada diurna, una radiación media de 626 W/m<sup>2</sup> y una velocidad del viento de 2,7 km/h en dirección oeste-este, estos datos fueron obtenidos con base en mediciones realizadas durante los meses de abril y mayo del 2017, a su vez, la estación meteorológica de Majavita, ha medido la radiación solar, velocidad y dirección del viento, y así mismo, la NASA ha realizado mediciones durante 22 años de estas variables, y además de la nubosidad.

## 2.2 Localización

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Libre –Seccional Socorro, específicamente en los bloques de aulas (A, B, C, D, y E).

## 2.3 Instrumentos

Los equipos y materiales utilizados para realizar las mediciones fueron:

**Piranómetro Vernier:** Instrumento para medir la radiación solar a una superficie

plana, cuenta con rango de irradiación de 0 a 1100 vatios/m<sup>2</sup> (en pleno sol) y precisión de  $\pm 5\%$ . Además, posee señal de salida de 0 a 4,4 V (oscuro a pleno sol). El sensor tiene un diámetro de 2,4 y altura de 2,75 cm.

### **Termo Anemómetro digital Wisemann**

**Klen:** Instrumento que sirve para medir la velocidad del viento en m/s, km/h y la temperatura del aire en °C o °F con exactitud de  $\pm 3\%$ .

**GPS Garmin:** Es un instrumento, que incluye un sistema de navegación basado en 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra que envían información sobre la posición de una persona u objeto en cualquier horario y ubicación.

**Brújula:** Instrumento que permite determinar la dirección sobre la superficie terrestre.

## 2.4 Procedimiento

- Para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:
- Inventario de los equipos y componentes eléctricos de los bloques de aulas.
- Medición de la radiación solar, la velocidad del viento, las trayectorias solares y la nubosidad durante las horas de muestreo. **Nota:** Para realizar la medición de la nubosidad, se utilizó el método de octavos, que consiste en dividir el cielo en ocho secciones de 45° cada una, y determinar cuáles de estas secciones contienen nubes. De esta manera, se pudo establecer la nubosidad de la hora de la muestra, con valores desde 0 hasta 8, siendo 8 la representación del cielo totalmente cubierto de nubes.

- Determinación de equipos y componentes eléctricos encendidos en los bloques de aulas durante las horas de muestreo.
- Consulta del consumo facturado por la empresa prestadora del servicio eléctrico (ESSA).
- Consulta de mediciones realizadas por la NASA, el IDEAM y la estación meteorológica de Majavita.

Análisis de los datos recopilados.

## 2.5 Muestra

**Población:** Valores de las variables meteorológicas (Radiación, trayectorias, velocidad del viento, nubosidad) y de consumo de la Universidad Libre - Seccional Socorro.

**Muestra:** Para la determinación del consumo se tomaron tres de tipos de muestreo, los cuales fueron:

1. Consumo a partir de recibos: se tomó como muestra doce meses facturados.
2. Consumo en periodo estudiantil de los bloques de aulas (jornada diurna): se escogieron once días de manera aleatoria entre el 30 de marzo y el 30 de mayo de 2017, y se realizaron medidas en las horas: 8:00 am, 9:30 am y 11:00 am, obteniendo un total de 33 datos por bloque.
3. Consumo en periodo de receso estudiantil de los bloques de aulas: se tomaron doce días, de manera aleatoria, entre el 12 de junio y el 10 de julio de 2017, y se realizaron las medidas en

dos horarios (10:00 am y 3:00 pm), para un total de 24 datos por bloque.

Para la determinación del comportamiento meteorológico de las variables: radiación solar, trayectoria solar, nubosidad y velocidad del viento se tomaron dos tipos de muestreo, desde el 30 de marzo de 2017 hasta el 7 de julio de 2017 de forma aleatoria, de la siguiente manera:

1. Comportamiento de variables meteorológicas en periodo estudiantil: se escogieron once días de manera aleatoria, y se realizaron las medidas en cada punto a las 8:00 am, 9:30 am y 11:00 am, obteniendo un total de 99 datos.
2. Comportamiento de variables meteorológicas en periodo de receso estudiantil: se tomaron doce días de manera aleatoria, y se realizaron las medidas en el bloque E, a las 10:00 am y 3:00 pm, para un total de 24 datos.

En cuanto a los datos obtenidos por otros entes, se utilizaron:

- Datos mensuales promedios multianuales de 22 años de información de la NASA para radiación, nubosidad, velocidad y dirección del viento.
- Datos mensuales promedio, desde enero hasta junio, para velocidad del viento, de la estación meteorológica Majavita.
- Mapas del IDEAM donde se vincula información de estaciones meteorológicas aledañas al municipio del Socorro, desde el año 1978 hasta 2015, para radiación solar y velocidad del viento.
- Trayectorias solares dadas en la plataforma suncalc.

### 3. Resultados

#### 3.1 Consumo

A partir del inventario realizado y de la potencia de cada uno de los equipos dada en sus respectivas hojas de especificaciones técnicas, se calculó la potencia máxima de consumo de cada uno de los bloques, teniéndose que el máximo consumo lo tiene el bloque E con 3,9 kWh y el mínimo el bloque C con 2,7 kWh, además, se encontró que el consumo medio de todos los bloques es de 3,43 kWh.

Adicionalmente, a partir de la información recolectada de equipos utilizados a diferentes horas y durante diferentes días, se logró determinar que el consumo medio de los bloques en jornada diurna en periodo estudiantil, es de 3,95kWh.

Por otra parte, mediante el análisis de los recibos de energía de la empresa prestadora de servicio (ESSA), se concluyó que el consumo promedio para el campus universitario es de 10483,64 kWh/mes, el máximo consumo fue de 13720 kWh/mes para el periodo comprendido del 2 de febrero de 2016 al 3 de marzo de 2016, y el mínimo consumo fue de 5560 kWh/mes para el periodo comprendido del 5 de enero de 2016 al 1 de febrero de 2016 (receso estudiantil), como se ilustra en la Figura 1.

#### 3.2 Radiación

A través de los históricos de 22 años almacenados en el sitio web NASA SURFACE [4], se pudo establecer que la radiación promedio a lo largo del año es de 5,34 kW-h/m<sup>2</sup>/d, que los meses con mayor

radiación solar son julio, agosto y septiembre con valores de 5,72; 5,72 Y 5,63 kW-h/m<sup>2</sup>/d respectivamente, y que los meses con menor radiación corresponden a noviembre y diciembre con valores de 4,99 y 4,98 kW-h/m<sup>2</sup>/d, tal como se ilustra en la figura 2.

Esta información fue ratificada al obtener una radiación promedio multianual que oscila entre 4,5 y 5 kW/h/m<sup>2</sup> de acuerdo a los datos obtenidos por el atlas interactivo del IDEAM.

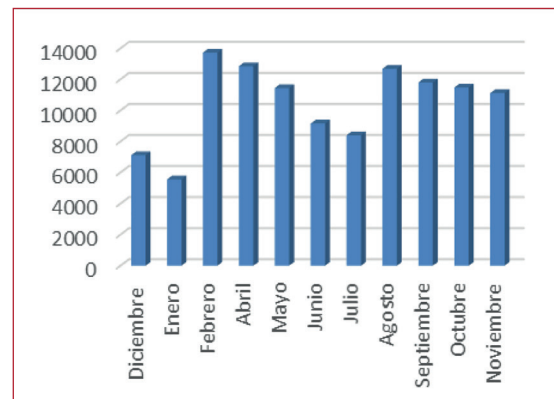


Figura # 1. Consumo de energía en kWh del campus universitario de diciembre del 2015 a noviembre del 2016.

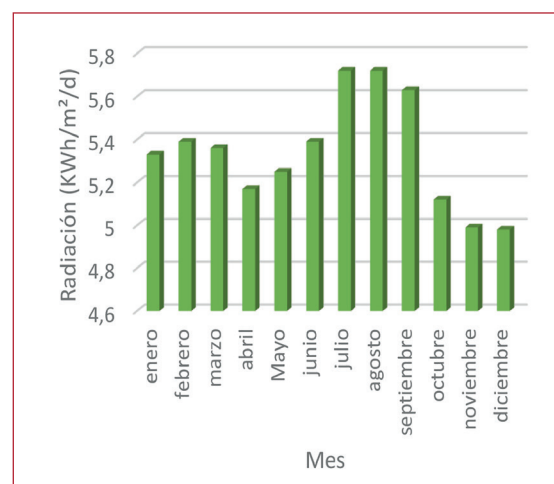


Figura # 2. Radiación solar promedio multianual (22 años) en el campus universitario.

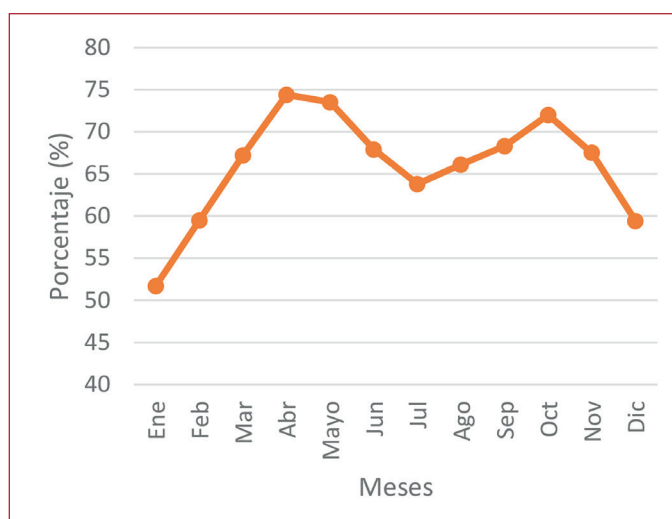
Por otra parte, se estableció que las horas de brillo solar en la institución equivalen a 5,3 horas. Este cálculo se hizo teniendo en cuenta los datos obtenidos por la NASA SURFACE, por ser estos más confiables al tener una mayor estadística.

### 3.3 Nubosidad

De acuerdo a la recopilación de datos medidos usando el método de octavos, se estableció que los meses de marzo y abril presentaron una alta nubosidad con valores medios de 8 y 7, y los meses de junio y julio presentaron una nubosidad media con valor de 6. Sin embargo, cabe

resaltar que las nubes observadas en su gran mayoría eran poco densas y claras, y disminuían en las horas de mayor captación de radiación solar, es decir entre las 9:00 am y las 3:00 pm.

Por medio de los históricos de 22 años obtenidos por la NASA se pudo obtener la nubosidad porcentual promedio a lo largo del año con valor promedio de 66%, como se ilustra en la figura 3; estableciendo que los meses con mayor cantidad de nubes son abril, mayo y octubre con valores que superan el 70%. A su vez, se estableció que los meses con menor cantidad de nubes son diciembre, enero y febrero con valores inferiores al 60%.



**Figura # 3.** Nubosidad promedio multiannual (22 años) en el campus universitario.

### 3.4 Vientos

De acuerdo a los datos medidos, se pudo establecer que los meses de abril, junio y julio presentaron vientos promedios catalogados como ‘calma’ de acuerdo a la escala de Beaufort, con valores medios de 1,25, 1,53 y 1,56 km/h respectivamente.

Mediante el análisis de los datos obtenidos por el atlas interactivo del IDEAM,

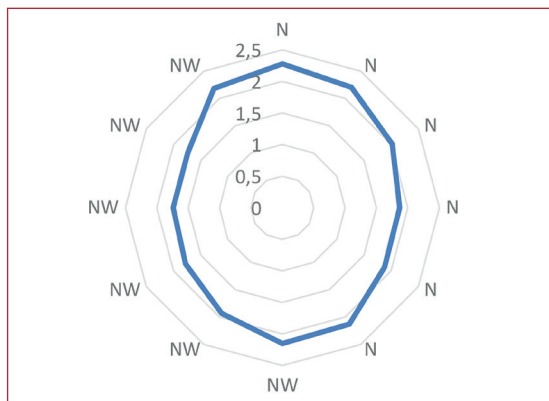
se pudo establecer que, en el municipio del Socorro, la velocidad del viento promedio multianual oscila entre los 0 y los 3 m/s, lo cual equivale a 0 y 10,8 km/h respectivamente. Esto indica que los vientos se encuentran en las clasificaciones comprendidas entre calma y brisa fresca.

Del análisis de los datos mensuales de velocidad y dirección del viento promedio, recopilados por la NASA durante 22

años con intervalos de tres horas, se pudo establecer que la dirección del viento, desde el mes de enero hasta el mes de junio, va hacia el norte y proviene del sur, y en los meses comprendidos entre julio y diciembre, va hacia el noroeste y proviene del sur este (ver Figura 4 y 5), con una magnitud promedio de 1,99 m/s a 50 metros de la superficie terrestre (ver Tabla 1), y, 1,60 m/s a 10 metros de la superficie terrestre (Ver Tabla 2), lo cual, corresponde a la clasificación ventolina.

**Tabla # 1.** Promedio multiannual de vientos a 50 m sobre la superficie del campus universitario.

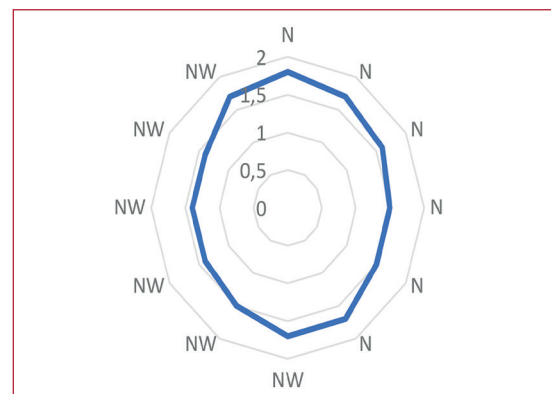
Mes	Dirección	Magnitud m/s
Enero	N	2,28
Febrero	N	2,2
Marzo	N	2,02
Abril	N	1,87
Mayo	N	1,88
Junio	N	2,13
Julio	NW	2,15
Agosto	NW	1,93
Septiembre	NW	1,78
Octubre	NW	1,74
Noviembre	NW	1,74
Diciembre	NW	2,18
<b>Promedio</b>	<b>1,99</b>	



**Figura # 4.** Rosa de los vientos del promedio multiannual a 50 m sobre la superficie del campus universitario.

**Tabla # 2.** Promedio multiannual de vientos a 10 m sobre la superficie del campus universitario.

Mes	Dirección	Magnitud m/s
Enero	N	1,8
Febrero	N	1,7
Marzo	N	1,6
Abril	N	1,5
Mayo	N	1,5
Junio	N	1,7
Julio	NW	1,7
Agosto	NW	1,5
Septiembre	NW	1,4
Octubre	NW	1,4
Noviembre	NW	1,4
Diciembre	NW	1,7
<b>Promedio</b>	<b>1,6</b>	



**Figura # 5.** Rosa de los vientos del promedio multiannual a 10 m sobre la superficie del campus universitario.

De acuerdo a los datos obtenidos por la estación meteorológica Majavita, se pudo concluir que, en la Universidad Libre Seccional Socorro, se presentan vientos promedios de 2,89 km/h clasificados como ventolina.

### 3.5 Trayectorias

El estudio experimental realizado de las trayectorias solares dio resultados casi

idénticos a los mostrados por la plataforma SunCalc [4].

Estas trayectorias se usaron para elegir la inclinación de los paneles con el fin de captar la mayor cantidad de energía a lo largo del año, así como, para estudiar las sombras producidas por los elementos aledaños al área.

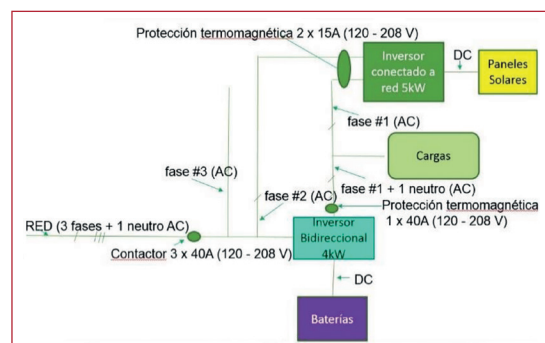
#### 4. Discusión

De acuerdo al consumo obtenido de los bloques de aulas de la Universidad Libre Seccional Socorro, se encontró que, para tener un sistema de generación capaz de alimentar el sistema lumínico de los bloques, se debe implementar un sistema calificado para suplir una potencia de 3,6 kW aproximadamente. Además, se halló que la región es óptima para implementar sistemas fotovoltaicos, debido a los altos valores de la radiación y el brillo solar, y además, porque la nubosidad es mínima en las horas de mayor captación.

Por lo anterior, se diseñó un sistema conformado por 15 paneles solares de 310W cada uno (a una radiación de 1000W/m<sup>2</sup>), y un inversor conectado a la red de 5kW [5,6]. Además, del estudio de las trayectorias solares se encontró que el ángulo de inclinación óptimo de los paneles es de 8°N durante el primer semestre y de 15°S durante el segundo.

Por otro lado, se encontró que para implementar un sistema de respaldo que permita alimentar la iluminación de los bloques con una autonomía de al menos 2 horas, se requiere un banco de batería capaz de almacenar 7.2 kWh (3.6kW x 2h) aproximadamente. Para tal fin, se diseñó

un sistema conformado por un banco de 24 baterías de 2V y una capacidad de C<sub>1h</sub> de 238Ah (teniendo en cuenta pérdidas del 10% y descarga al 30%), y un inversor bidireccional de 4kW. La Figura 6 es un bosquejo del diseño realizado.



**Figura # 6.** Bosquejo del diseño de los sistemas de generación y de respaldo.

En lo referente al impacto de los vientos y la resistencia que debe tener la estructura de los paneles solares, se halló que los vientos no representan ningún riesgo, dado que los vientos más fuertes a lo largo de los últimos 22 años han sido catalogados como brisa fresca.

#### 5. Conclusiones

La Universidad Libre - Seccional Socorro posee un gran potencial de captación de luz solar, aproximadamente 5,34 kWh/m<sup>2</sup>/d con 5,3 horas pico de radiación solar, además, posee una nubosidad media a lo largo del año de 66%, la cual no afecta la captación de luz al disminuir en horas de mayor intensidad solar. En lo concerniente a la velocidad de los vientos presenta bajas magnitudes con un promedio de 1,99 m/s a lo largo del año a 50 metros de la superficie terrestre, y de 1,60 m/s a 10 metros de la superficie terrestre.



A su vez, se determinó que el máximo consumo lumínico en los bloques de aulas es de 3,6 kWh aproximadamente.

## 6. Futuro

Dada la actual situación mundial en lo referente al calentamiento global, se hace necesario y urgente el desarrollo de proyectos relacionados con energías renovables, por lo tanto, se espera que la metodología usada en este proyecto sirva de guía para la realización de futuros proyectos.

Además, se espera que este proyecto sirva de laboratorio vivo, es decir, que preste el servicio de generación y respaldo, y a su vez pueda ser utilizado para explicar a los estudiantes los criterios que deben ser tenidos en cuenta en el diseño, implementación y control de este tipo de sistemas. Para tal fin, se ha incluido en el diseño, un sistema de monitoreo y control que permite almacenar las variables de generación y consumo, y ser visualizados a través de una página web.

Adicionalmente, está proyectada la réplica de este tipo de proyectos en otras sedes de la Universidad Libre

## Referencias

- [1] Fernández, María. *Energías renovables: estudio de viabilidad de una instalación solar fotovoltaica (huerto solar)*, 2017, En: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27871/PFC\\_Mar%C3%A9Da%20Jos%C3%A9%20Fern%C3%A1ndez%20Llobell.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27871/PFC_Mar%C3%A9Da%20Jos%C3%A9%20Fern%C3%A1ndez%20Llobell.pdf?sequence=1)
- [2] Méndez, A. & Rivera, C. *Evaluación del potencial del uso de la energía solar fotovoltaica en el campus de la Universidad ICESI*, 2017, En: [https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/78589/1/evaluacion\\_potencial\\_energia.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78589/1/evaluacion_potencial_energia.pdf)
- [3] Plan Ceibal licencia de Creative Commons. *Escala de Beaufort*. 2017, En: [http://rea.ceibal.edu.uy/contenidos/areas\\_conocimiento/cs\\_naturales/230709\\_riesgo\\_naranja/escala\\_de\\_beaufort.html](http://rea.ceibal.edu.uy/contenidos/areas_conocimiento/cs_naturales/230709_riesgo_naranja/escala_de_beaufort.html)
- [4] SunCalc. Solar Data. 2017, En: <https://www.suncalc.org/#/6.4727,-73.2519,15/2017.11.16/17:11/0>
- [5] Boxwell M. (2017). *Solar Electricity Handbook: 2017 Edition*. Greenstream Publishing. Reino Unido.
- [6] Kalogirou S. (2014). *Solar Energy Engineering Second Edition*. Elsevier. Holanda.
- [7] NASA. *Surface meteorology and Solar Energy*. 2017, En: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>
- [8] Harper. E. (2012). *El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos*. Ed. 1. México.
- [9] Progensa (2009). *Energía Solar. Aplicaciones prácticas*. Ed. 5. Sevilla-España.
- [10] Atlas interactivo Ideam. *Radiación solar y vientos en Colombia*, 2017, En: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- [11] Cuadernos de matemáticas. *Medida de la circunferencia terrestre por el método de Eratóstenes*, 2017 En: <http://centros.edu.xunta.es/iesramoncabanillas/cuadmat/eratos2.htm>
- [12] El espectador. *Jorge Tadeo Lozano, la universidad movida por energía solar*, 2017, En: <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/jorge-ta>

- deo-lozano-universidad-movida-energia-solar-articulo-524953
- [13] Pasqualino, J; Cabrera, C & Vanegas, M. *Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe Colombiano*. 2017, En: de <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v13n1/v13n1a08.pdf>
- [14] Ramos.C. Energía solar 101. *Paneles solares*. 2017, En: <http://panelessolarespr.com/solar101.html>
- [15] Revista Dinero. *Laboratorio solar más grande del país*. 2017, En: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/energia-renovable/193378>
- [16] Rodríguez, Patricia (2017). *Diseño de prácticas, selección de equipo y estudio edilicio para la implementación de un laboratorio de energía solar fotovoltaica para la maestría en ingeniería con énfasis en energías alternativas de la Universidad Libre sede Bogotá*. Universidad Libre, Bogotá.
- [17] Tovar, Andrea. *Evaluación de impacto ambiental de la energía solar y eólica en la abiota de Colombia*. En: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/12054/1/Proyecto%20Final%20-%20Ambiental.pdf>