

Diseño de un sistema de alimentación Eléctrica para el respaldo parcial de Iluminación de una vivienda

*Autores: Edward Steven Torres Gutiérrez
Código: 21511619572
Facultad de Ingeniería Mecánica Electrónica y Biomédica.
Tecnología en Electromecánica
Universidad Antonio Nariño
Sede Villavicencio-Meta
e-mail: Etorres47@uan.edu.co
Director: Luis Fernando Castañeda Melo, Ph.D.
e-mail: luiscastaneda@uan.edu.co*

RESUMEN: *Este proyecto se planteó con el fin de brindar alternativas de energía solar a una vivienda del sector urbano de la ciudad de Villavicencio. El uso de energía renovable ofrece a la comunidad ventajas económicas y ambientales, ya que propone una posible solución a una problemática relacionada con las fallas en el fluido eléctrico ofrecido por la EMSA.*

Adicional a esto la ubicación geográfica de la ciudad nos permite disfrutar de varios meses con buena radiación solar, el mes menos favorable según el Centro Científico de la Unión Europea es junio.

Partiendo de las necesidades y las ventajas se realiza el diseño el cual consiste en brindar energía a 6 bombillos led, aproximadamente durante 6 horas, para lo cual después de realizados los cálculos matemáticos nos indica que se debe utilizar un panel solar, una batería, un regulador y un inversor.

El diseño y montaje del sistema de energía solar fotovoltaica da una posible solución a la problemática planteada, la inversión al inicio puede parecer costosa, pero a largo plazo se verá reflejado el ahorro en la economía del hogar de las personas que lo implemente.

Sabiendo que hay muchos proyectos que se han llevado a cabo sobre este mismo tema y que han sido un éxito en cuanto a ahorro y menos contaminación para nuestro planeta.

PALABRAS CLAVE: energía renovable, iluminación, bombillo, energía fotovoltaica, batería, inversor, regulador.

ABSTRACT: *This project was designed to provide solar energy alternatives to a house in the urban sector of the city of Villavicencio. The use of renewable energy offers economic and environmental advantages to the community, since it proposes a possible solution to a problem related to failures in the electricity supply offered by EMSA.*

In addition to this, the geographical location of the city allows us to enjoy several months with good solar radiation, the least favorable month according to the Scientific Center of the European Union is June.

Based on the needs and advantages, the design is made, which consists of providing energy to 6 LED bulbs for approximately 6 hours, for which after

performing the mathematical calculations, it indicates that a solar panel, a battery, a regulator and an inverter should be used.

The design and assembly of the photovoltaic solar energy system provides a possible solution to the problem raised, the investment at the beginning may seem expensive but in the long term will be reflected in the savings in the economy of the home of the people who implement it.

Knowing that there are many projects that have been carried out on this same subject and that have been successful in terms of savings and less pollution for our planet.

KEY WORDS: renewable energy, lighting, light bulb, photovoltaic, battery, inverter, regulator.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

De acuerdo a los datos del Ideam en la ciudad de Villavicencio se cuenta con una radiación solar del 4,5 kWh/m² durante todo el año, siendo así aprovechamos estos rayos solares para suplir las necesidades del fluido eléctrico en el hogar.

Mediante un panel solar, este siendo el encargado de cargar las baterías, ya que en estos últimos años en la ciudad se viene experimentando fallas continuas con el sistema eléctrico que pueden durar hasta horas en la mayoría de las ocasiones se presentan en las horas de la noche, haciendo que los usuarios experimenten molestias por la falta de iluminación en sus hogares.

Aprovechamos el gran potencial que tiene Villavicencio para la generación eléctrica a partir de energía solar para la iluminación de hogares como respaldo al sistema eléctrico convencional, porque es una energía renovable, sabiendo que estamos ayudando a nuestro planeta a reducir la contaminación ambiental.

Sobre todo, cumpliendo nuestras expectativas en cuanto ahorro de energía, aparte de esto siendo un éxito este proyecto alimentando la vivienda con energía solar correctamente.

Se estima que la energía solar fotovoltaica ha generado alrededor de 2.772 empleos en el mundo y su mercado se aproxima a los USD 300 millones anuales. Cabe resaltar que el uso de éste tipo de energía alternativa es de fácil instalación y operación en Zonas aisladas, su fuente de generación es inagotable (Sol), se cuenta con buen recurso solar y es amigable con el medio ambiente.

Actualmente, se encuentra el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, el cual busca mostrar e informar por medio de estaciones meteorológicas (información radiométrica) la disponibilidad de energía solar en el territorio nacional en cuanto a radiación solar global, insolación y brillo solar.

La implementación de este proyecto permite beneficios e incentivos, no solo para el país según se rigen por la ley 1715 de 2014, sino que promueve la implementación de otras tecnologías no convencionales que inicialmente beneficiará a las personas de estratos bajos, personas naturales ó jurídicas que fomenten la investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización a partir de las fuentes no convencionales de energía (FNCE), UPME (2014).

Según Mauricio Sarria, CEO de la italiana Refeel (dedicada a las energías renovables) Referido por López, J (2019) en su artículo, un sistema con paneles solares puede hacer que el costo del kilovatio baje hasta 70%. Esto significa que no solo

se disminuye el costo del recibo de la luz, sino que genera una reducción de más de 50% en sus emisiones de carbono.

Teniendo en cuenta lo anterior no habrá inconveniente a la hora del corte del fluido eléctrico en la ciudad, ya que cada vivienda contará con el diseño de alimentación eléctrica para respaldo de iluminación, gracias al fluido eléctrico que se obtiene con el uso del panel solar por medio de radiación solar.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Principalmente En los últimos años, en la ciudad de Villavicencio, el sistema eléctrico ha experimentado fallas continuas que pueden durar varios minutos y hasta horas. En muchas ocasiones, estas fallas se generan en horas de la noche, haciendo que los usuarios experimenten molestias por falta de iluminación en sus hogares. Por otro lado, Villavicencio tiene mucho potencial para generación eléctrica por energía solar, siendo esto una alternativa para muchos usuarios y una posible solución a fallas eléctricas nocturnas

¿Es importante diseñar un pequeño sistema de generación eléctrica a partir de energía solar para la iluminación de hogares como respaldo al sistema eléctrico convencional para resolver el problema de las continuas fallas del sistema?

III. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se hace con el fin de brindar mejor calidad de vida a las familias llaneras, haciendo que una vivienda tenga su propia energía eléctrica para el respaldo de iluminación. Adicionalmente, ayudara a familias que tienen vivienda en zonas rurales donde no llega la energía eléctrica, brindándoles ayuda para diseñar un compacto

sistema de energía eléctrica a través de energía solar para iluminar sus viviendas.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de alimentación eléctrica con panel solar para el respaldo parcial del sistema de una vivienda.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Parametrizar la vivienda en la que se hará el diseño.
- Hacer un análisis de carga para el sistema de generación solar.
- Establecer las características del sistema de generación con base en los resultados del análisis de cargas.
- Presupuestar el costo del sistema de iluminación de respaldo.

V. MARCO TEORICO

Las energías alternativas o renovables, son las que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, los cuerpos de agua, la vegetación o el calor interior de la tierra.

Según Colpilas (2019) Villavicencio puede aplicar diversas fuentes de energía renovable, puesto que sus características geográficas y climáticas lo permiten. Entre esos tipos de energía se encuentran la energía solar, energía eólica, energía de biomasa, energía geotérmica, energía hidráulica entre otros. Puede notarse que la fuente de energía alternativa

más viables es la energía solar.

Según el IDEAM (2016), la radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del sol, por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar.

En las horas de la mañana de las 9: 00 am a las 12 m, es donde se ve una radiación media y en las horas de la tarde de las 2: 00 pm a las 4:00 pm tenemos mayor radiación solar, cuya intensidad alcanza un punto máximo que permite cargar las baterías para darle un mejor funcionamiento al diseño eléctrico.

El panel fotovoltaico o panel solar.

Es el que permite transformar la energía solar en energía eléctrica. También se le llama módulo fotovoltaico y está conformado por varias celdas fotovoltaicas. Produce corriente continua (CC).

Se ven beneficios como:

- Desarrolla la industria y la economía de la región en la que se instala.
- En Colombia no se necesita ningún permiso para instalar paneles solares.
- Genera beneficios económicos a largo plazo.
- Este sistema permite ofrecer un excelente servicio de electricidad.
- Llevar electricidad a zonas remotas y de difícil acceso donde no existe red eléctrica.

- Un sistema de paneles solares aporta al mejoramiento del servicio energético y a la reducción de la huella de carbono en el país.
- Una alternativa para la electrificación de fincas de recreo y productoras, y casas de campo.

VI. ALCANCE

La meta es cubrir y solucionar las fallas eléctricas que se presentan en las viviendas de la ciudad de Villavicencio, siendo una alternativa de abastecimiento eléctrico en viviendas de estrato 1,2 y 3 del casco urbano, teniendo en cuenta también la deficiencia eléctrica en zonas rurales, los fallos que se presentan son temporales.

VII. METODOLOGIA

Etapa 1. Parametrización de la vivienda en la que se realizó el diseño.

En esta etapa se muestran los espacios de la vivienda para conexiones e instalaciones del respaldo eléctrico.

Usualmente una vivienda de estrato 1,2 y 3 o rural tiene unas dimensiones que son de 6m de ancho X 12m de fondo, por eso en estas viviendas por lo general hay entre 1 a 3 habitaciones, sala, baño y cocina.

Por lo que se toma como ejemplo una vivienda con los espacios mostrados en la figura 1.

Figura 1. Parametrización de la vivienda.



En la casa que se va a trabajar hay 3 habitaciones, sala, cocina y baño; en estos espacios tenemos 1 bombillo led en cada uno y cada bombillo cuenta con un distanciamiento de 4m en promedio con los otros. Sin embargo, el sistema de iluminación alterno de respaldo solo va a trabajar 6 bombillos led y no va a tener en cuenta tomacorrientes.

El sistema de respaldo va a ser totalmente independiente de la conexión eléctrica convencional de la vivienda como se muestra en la figura 2. Consta de un panel solar, inversor, batería y un controlador,

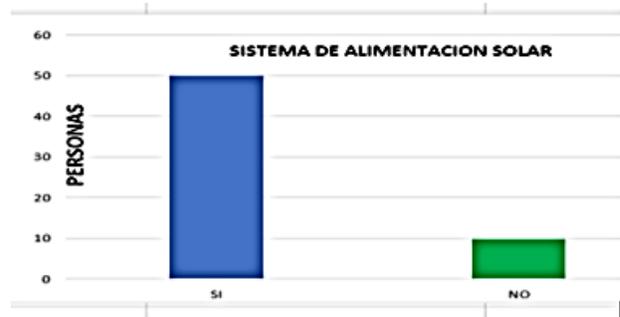
Figura 2. Diagrama con energía solar

Los sistemas Off-Grid captan la energía del Sol por medio de los paneles solares y la almacenan en baterías, esta energía almacenada será la que se utilizará en la noche o en los periodos de poca radiación solar. El inversor permite transformar la energía de las baterías a corriente alterna para así poder ser utilizada.



Fuente: Empresa Hgingenieria.com.co
<https://www.hgingenieria.com.co/tipos-de-instalacion-de-energia-solar-fotovoltaica/>

Figura 3. Gráfica de demanda



Fuente: El autor

En la anterior gráfica se observa los resultados de la encuesta realizada a personas que quieren implementar el diseño de alimentación solar.

Etapa 2. Realización de un análisis de carga.

De acuerdo con el diseño establecido se tiene proyectados 6 lugares para ser iluminados por 6 bombillos led cada uno de 7W en cada lugar, por lo tanto, se quiere que funcionen durante 6 horas, el consumo establecido será el siguiente.

$6 \text{ bombillos led} \times 7\text{W} \times 6\text{h} = 252\text{wh/día}$ producción media que tendremos y necesitaremos

para soportar el sistema

Teniendo en cuenta los anteriores resultados tomaremos el mes menos favorable en radiación solar para la ciudad de Villavicencio. Para conocer esta información accedemos a la página web del *Centro Científico de la Unión Europea*, siendo esta una página web confiable con información precisay actualizada sobre la geografía fotovoltaica, radiación solar y temperaturas.

Después de obtener la información del *Centro Científico de la Unión Europea* y observar en dicha información que junio es el mes menos favorable en radiación solar, se obtiene el siguiente dato.

Mes menos favorable en radiación solar es: junio

$$8,9\text{kwh} / 30 \text{ días} = 0,296 \text{ kwh} = 296 \text{ wh}$$

296wh / día = producción media al día que vamos a tener.

A partir de este dato podemos calcular la autonomía de nuestro sistema, teniendo en cuenta que nuestro sistema será autónomo durante 2 a 3 días, este es el promedio de días de nubosidad en tiempos de lluvia en la ciudad de Villavicencio

Tomamos una autosuficiencia pensando que vamos a tener una radiación solar muy mínima o días de lluvia, como ejemplo 2 a 3 días

$$296\text{wh} \times 3 \text{ días de autonomía} = 888\text{wh}$$

Este resultado implica que nosotros debemos tener una batería capaz de suplir los 888wh para alimentar nuestro sistema durante 3 días, adicionalmente para mantener la vida útil de una batería durante el mayor tiempo posible se debe garantizar que el porcentaje de descarga no sea menor al 50% ya que es un parámetro que traen las baterías para una larga duración, en este caso usamos una batería ciclo profundo de 150 AH a 12V.

Por lo tanto, a partir de este dato y los 888wh podemos determinar cuántos son los wh reales que debe mantener nuestra batería y a partir de esto podemos calcular lo siguiente.

$$888\text{wh} \times 2 = 1776 \text{ wh}$$

Con este dato de los 1776wh puedo determinar la capacidad de la batería en Ah, para hacer esto debo dividir la potencia en Wh sobre los 12V de la batería, los 12V son derivados ya que el sistema de energía solar es un sistema de 12V y no de 24 o 48.

Para obtener la capacidad de la batería en Ah se procede hacer el siguiente calculo.

$$1776\text{Wh} / 12\text{V de la batería} = 148 \text{ Ah Capacidad mínima de la batería}$$

Nuestra batería debe ser de 12v a 150 Ah, por lo tanto, no debe superar una corriente de carga superior a 15amp

Regulador de carga

Para elegir el regulador tendremos en cuenta las especificaciones del panel solar, procedemos a multiplicar cantidad de paneles en este caso, 1 panel solar X 100W que sería la potencia del mismo

$$1 \text{ panel solar} \times 100\text{W} = 100\text{W}$$

Este resultado anterior lo dividimos sobre 12V que son de la tensión del sistema regulador-batería

$$100\text{W} / 12\text{V} = 8.3 \text{ AMP}$$

Como resultado se obtiene la corriente que necesitamos para el regulador.

El regulador de carga debe tener una salida de 12Va 8,3Amp.

Una entrada mínima de 20V a 6amp, debido al voltaje máximo 18,41V y corriente máxima 5,43A del panel solar.

Adicionalmente el regulador debe soportar más de 100W a 12V, ya que el panel en circuito abierto nos entrega 22.58V y estaría dentro de rango del regulador.

En este caso el regulador será de 10Amp

Inversor

Por consiguiente, la siguiente es la ecuación que justifica el uso del inversor de 100W. Tomaremos la cantidad de bombillos led multiplicándolo por el consumo de cada uno.

6 bombillos X 7W = 42W

Como se muestra anteriormente es el consumototal de los bombillos led

Procedemos con una regla de 3 del 60%, dividiendo el consumo total de los bombillos ledsobre 0.6, esto me dará la potencia mínima que necesita el inversor

$$XW = 42w/0.6 = 70W$$

El cálculo anterior permite determinar la potencia instantánea que se consume, lo cual conlleva a determinar el uso de un inversor de 100W.

Escogido el inversor tomaremos la potencia máxima que son 100W, que va a tener una entrada de 12V de la batería, esto lo dividimos y se debe entender que la potencia sobre los 12V de la batería me va a dar una corriente. La cual va a circular de la batería al inversor.

$100W / 12V = 8,3$ redondeamos a 9Amp. Esta es la corriente que va a circular de la batería al inversor

Los cálculos para identificar el cable a utilizar teniendo en cuenta la norma técnica colombiana NTC 2050 son los siguientes:

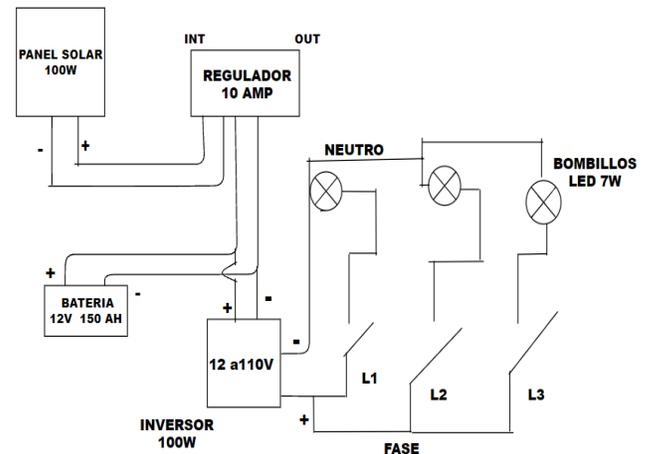
100W potencia del inversor se dividen con 110V voltaje de salida.

$100W/110V = 0,9Amp$, aproximando este resultado sería de 1Amp.

1Amp, sería la corriente máxima aproximada que circula por el cable

Etapa 3. Diseño y proyección de materiales y equipos.

Figura 3. Diagrama unifilar.



El sistema usara 1m de cable encauchetado 2x10 THHN-2 AWG CENTELSA, para la conexión de la batería al inversor y 35m de cable #16 THHN AWG CENTELSA, para la conexión de los bombillos led, siendo el cable blanco neutro y negro fase, para los dos tipos de conexiones.

Por lo tanto, a partir de todos los datos obtenidos anteriormente, estos son los siguientes materiales a usar en este proyecto.

- 1 panel solar 100W
- 6 bombillos led de 110V a 7W
- 1 regulador o cargador solar 10amp - 12V
- 1 inversor 100W – 12V
- 1 batería de 150Ah – 12V
- 2 terminales de ojo para batería
- 6 interruptores de luz
- 6 rosetas
- 35m Cable THHN/AWG CENTELSA No. 16
- 1m Cable THHN-2/AWG CENTELSA encauchetado 2x10

Etapa 4. Presupuesto y costo del diseño.

Figura 4. Tabla de costos.

DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
1 Panel solar 100W 12V	200.000	
1 Bateria 150 amp 12V gel	980.000	
1 Inversor 100W 12V	120.000	
1 Regulador 10 amp 12V	80.000	
2 Terminales de ojo	5.000	
6 Bombillos 12V o 110V	108.000	
6 Rosetas	24.000	
35m cable #16 THHN AWG	80.000	
1m cable encauchetado 2x10 THHN-2 AWG	7.000	1.604.000

Etapa 5. Desarrollo del procedimiento o instructivo de instalación del diseño de un sistema de alimentación eléctrica con energía solar en la vivienda.

Procedimiento instalación panel solar

Las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales semiconductores que recibieron un tratamiento especial para poder crear el efecto fotovoltaico.

Se opta por un panel solar tipo policristalino de 12V, ya que son de los más usados en el mercado y convenientes para este proyecto, y así mismo tener un excelente uso y rendimiento a largo plazo.

Figura 5. Imagen panel solar.



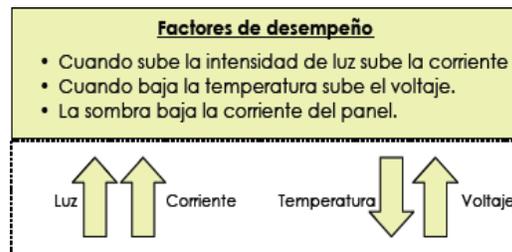
Potencia: 100w

Policristalino

Voltaje máximo: 18,41V

Corriente máxima: 5,43 A

Figura 6. Imagen desempeño del panel según la radiación solar



Fuente: https://energypedia.info/images/0/0b/Gu%C3%ADa_de_instalaci%C3%B3n_de_SFD_-_2013.pdf

La instalación adecuada de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios, exige que se conozcan las características y funciones de cada una de los componentes o partes que lo conforman. Por ello, en este diseño, se describirá lo conveniente a los

componentes básicos y su instalación; estos componentes son: el panel fotovoltaico, el regulador de carga, batería, inversor y las cargas de alimentación.

Figura 7. Imagen conexión del panel solar.



Figura 9. Imagen conexión del inversor al Controlador y batería.



Fuente: propia

Figura 8. Imagen de la batería.



Batería 150AH – 12V

Uso cíclico: 14.4 – 15.0V

Uso ocasional: 13.5 – 13.8V

Figura 10. Instalación conexión de bombillo Led.



El sistema de diseño eléctrico consta de diferentes conexiones, trazadas en línea recta, buscando que queden fijadas al techo y a las luminarias, para tal efecto se destina 6 puntos para bombillos led de 12V, con fines de ser ejecutado inicialmente en una vivienda, ubicada de la ciudad de Villavicencio.

VIII. RESULTADOS

Realizado los cálculos pertinentes se determina que 6 bombillos led de 7W durante 6 horas consumen 252 Wh/día, esta información relacionada con la que nos brinda el *Centro Científico de la Unión Europea* sobre el mes menos favorable con radiación solar en la ciudad de Villavicencio es junio, el cual presenta una producción media al día de 296 W.

Para hallar la autonomía del sistema se multiplica $296W \times 3$ días la cual nos da como resultado 888 Wh, hallado este cálculo y considerando que el porcentaje de descarga sea del 50%, se halla Wh reales que debe tener la batería, los cuales después de realizar los cálculos matemáticos el resultado es 1776 Wh, que al ser divididos por los 12V de la batería nos da 148Ah que es la capacidad mínima, por lo que la batería elegida es de 150 Ah.

El regulador de carga se eligió teniendo en cuenta que el diseño se hace uso de un panel solar de 100W, este valor es dividido por 12V, que es la tensión del sistema regulador – batería, cuya operación como resultado es 8,3Amp, con este valor se determina que el regulador de carga debe tener una salida de 12V a 8,3Amp. Teniendo en cuenta que la entrada es de 6Amp se elige un regulador de 10Amp.

El inversor requerido para el diseño es de 100W, ya que la potencia mínima es de 70W.

IX CONCLUSIONES

- Se diseña el sistema de energía solar fotovoltaica, tomando como base la descripción de una vivienda de la ciudad de Villavicencio, en donde el uso del sistema es para iluminación y con la finalidad de abastecer del servicio eléctrico y mejorar la calidad de vida de las personas que allí habitan, lo anterior con el objetivo de promover ante los entes gubernamentales la propuesta del uso de las energías alternativas y aprovechar el potencial que tiene nuestra región en cuanto a radiación solar.
- Partiendo de los datos que muestra el *Centro Científico de la Unión Europea*, sobre el mes con menor radiación solar, se concluye que para brindar energía a 6 bombillos led, se requiere de un panel solar de 100W, una batería 150Ah, un regulador de 10Amp, un inversor de 100W. El sistema usa cable encauchado 2x10 THHN-2 AWGCENTELSA, para la conexión de la batería al inversor y cable #16 THHN AWG CENTELSA, para la conexión de los bombillos led, estas referencias son tomadas de la tabla de capacidad de corriente de Centelsa.
- Como se mencionó anteriormente el potencial de radiación solar es alto y constante, lo que permitiría suplir la demanda de energía eléctrica la cual para el 2017 el 32% de la población no contaba con el servicio eléctrico, y la capacidad efectiva neta se encontraba en 16.750,64 MW

X. BIBLIOGRAFIA

- [1] Castro, A. J. (2010). Análisis del potencial energético solar en la Región Caribe para el diseño de un sistema fotovoltaico. INGE CUC.
- [2] CELSIA. Empresa de energía del grupo Argos. <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- Celsia. (2017). Empezó a generar energía Celsia Solar Yumbo, primera granja fotovoltaica de Colombia. Disponible en: <https://blog.celsia.com/sala-de-prensa/empezamos-a-operar-lagranja-de-energia-solar>
- [3] Colpilas El Futuro De La Energía Solar. (04 de 05 de 2019). Paneles Solares. Obtenido de <http://www.colpilas.com/wp-content/uploads/2015/08/IPT-250esp.pdf>
- [4] DNP,(2018) BASE del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 – PND 2018-2022 y la Ley 1955 del 2019 del PND – Pacto por Colombia, pacto por la equidad
- [5] F. Eraso Checa and O. Erazo de la Cruz,(s.f.). “Potencial Natural para el Desarrollo Fotovoltaico en Colombia,” *U mariana*, p. 52–59.
- [6] Gómez, J. Murcia, J. Cabezas, I. La Energía Solar Fotovoltaica En Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas 2018. Rescatado de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%c3%b3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] López, J. Con energía solar, usted podría reducir hasta casi un 70% el costo del kilovatio. Artículo. LaRepública. 2019. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/infraestructura/con-energia-solar-usted-podria-reducir-hasta-casi-un-70-el-coste-del-kilovatio-2822759#:~:text=Con%20energ%C3%ADa%20solar%2C%20usted%20podr%C3%ADa,70%25%20el%20costo%20del%20kilovatio>

[8] Ortíz, M y Chacón, D. Evaluación De Los Impactos En La Implementación De Energía Solar Fotovoltaica Para Una Vivienda Unifamiliar (Vereda La Cecilia Villavicencio-Meta-Colombia). 2018. Rescatado de: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4122/1/2018_evaluacion_impactos_energia.pdf.

[9] Medina, R. Sebastián. Energías Renovables, un futuro óptimo para Colombia. 2018. Rescatado de: <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Dialnet-EnergiasRenovablesUnFuturoOptimoParaColombia-6540491.pdf>

[10] UPME, (2014) “LEY No 1715 http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf..

[11] Centro Científico de la Unión Europea, servicio de ciencia y conocimiento, 2001 <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

[12] Tablas de cables Centelsa: https://www.centelsa.com/thhn_thwn_2/cables-thhn-thwn-2/
<https://www.centelsa.com/archivos/5344cd0e.pdf>
https://www.centelsa.com/thhn_thwn_2/alambres-thhn-thwn-2

[13] Cálculo de pequeña instalación fotovoltaica, Autoconsumo solar, 2020
https://www.youtube.com/watch?v=Y8fB_rls5Jw&t=307s