



**CARE- EMPOWERING CLIMATE RESILIENCE -
Dimensionamiento de sistema fotovoltaico para
instituciones educativas en zona rural del Tolima**

Leidy Jhoana Lombo Rodríguez

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Industrial
Ibagué – 2019**



CARE- EMPOWERING CLIMATE RESILIENCE - Dimensionamiento de sistema fotovoltaico para instituciones educativas en zona rural del Tolima

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Industrial

Leidy Jhoana Lombo Rodríguez

Doctor. Héctor Mauricio Hernández Sarabia
Ing. Químico

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Industrial
Ibagué – 2019**



Resumen

Una de la problemáticas en el contexto mundial de la actualidad una de las preocupaciones más arraigadas es la energética, entonces las energías renovables surgen como alternativas viables cuando se trata de resolver problemas de contaminación ambiental y de acceso a la energía, este produce una mejora de las condiciones de vida: acceso a la salud, higiene, educación, información (audiovisual) entre otras. Para las comunidades rurales, considerando su situación geográfica (regiones de zonas calidades), la utilización del recurso solar a través de sistemas fotovoltaicos es una solución viable técnicamente y económicamente, y es importante destacar que utiliza una fuente muy económica que es “la radiación solar”.

Palabras clave: energías renovables, energía solar, energía solar fotovoltaica, tecnología fotovoltaica

Abstract

One of the problems in the global context of today one of the most entrenched concerns is energy, so renewable energy emerge as viable alternatives when it comes to solving problems of environmental pollution and access to energy, this produces an improvement in living conditions: access to health, hygiene, education, information (audiovisual) among others. For rural communities, considering their geographical situation (regions of quality areas), the use of solar resources through photovoltaic systems is a technically and economically viable solution, and it is important to emphasize that it uses a very economic source that is "solar radiation".

Keywords: renewable energies, solar energy, photovoltaic solar energy, photovoltaic technology



Tabla de Contenido

	Pág.
Tabla de ilustraciones	vi
Glosario de términos	vii
Introducción	1
1. Planteamiento del problema	2
1.1 Formulación del problema.....	2
1.2 Pregunta de investigación	3
2. Objetivos	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos	4
3. Marco de referencia	5
3.1 Marco teórico.....	5
3.2 Localización del proyecto	7
3.3 Radiación solar del sitio de localización del proyecto.....	9
3.4 Tecnologías fotovoltaicas.....	10
3.4.1 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	11
3.4.2 Tipos de sistemas solares fotovoltaicos	12
3.5 Marco legal	18
3.6 Estado del arte.....	19
3.6.1 Aplicaciones de energías fotovoltaicas en Colombia	19
3.6.2 Aplicaciones de energías fotovoltaicas en el Tolima.....	23
4. Metodología de trabajo	26
4.1 Requerimientos energéticos del proyecto	26
4.2 Metodología para el Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	29
5. Resultados y análisis de resultados	34
5.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	35
5.2 Costos del sistema fotovoltaico.....	35



5.3	Análisis económico	37
6.	Conclusiones y recomendaciones	41
	Referencias.....	43



Tabla de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1 Generación de energía fotovoltaica.....	5
Ilustración 2 Localización Ortega Tolima.....	9
Ilustración 3 Mapa de radiación.	9
Ilustración 4 Mapa Tolima	10
Ilustración 5 Radiación ultravioleta Colombia.....	11
Ilustración 6 Equipo de bombeo de agua.	12
Ilustración 7 Sistema solar fotovoltaico con baterías.....	14
Ilustración 8 Sistema solar hibrido.....	14
Ilustración 9 Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	15
Ilustración 10 Sistema Off - Grid	17
Ilustración 11 Cuadro comparativo sistemas fotovoltaicos.	18
Ilustración 12 Sistema Solar.....	21
Ilustración 13 Colector solar.....	21
Ilustración 14 Sistema fotovoltaico.	22
Ilustración 15 Caseta de Bombeo en construcción.....	23
Ilustración 16 Sistema Off - Grid Instalado	24
Ilustración 17 Paneles Solares ya Instalados.	24
Ilustración 18 Radiación máxima mensual directa en la vereda La estrella	30
Ilustración 19 Distribución del Brillo Solar Medio Diario (Horas de Sol al día)	32
Ilustración 20 Días sin son sol en la vereda La estrella.....	33
Ilustración 21 Cotización instalación Sistema de energía	36



Glosario de términos

Panel Solar: Dispositivo o modulo para aprovechar la energía solar. Los paneles solares contienen un conjunto de células solares que convierten la luz en electricidad.

Panel Fotovoltaico: Es utilizado en las instalaciones fotovoltaicas donde se aprovecha la radiación del sol para generar energía eléctrica en forma de corriente continua mediante el efecto fotovoltaico.

Controlador de carga: Un controlador de carga regula la carga y la descarga de las baterías, mide y registra datos e interrumpe la carga de las baterías cuando están llenas y se reanuda la carga de éstas cuando llegan a un nivel mínimo de carga.

Inversor: Es un aparato electrónico que tiene como función cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna.

Batería solar: Es la encargada de acumular la energía producida por los paneles fotovoltaicos durante las horas de sol para poder utilizarla durante la noche o días muy nublados.

Radiación solar: Es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

Cableado solar: Transporta la corriente eléctrica generada en los paneles hacia el inversor.

Piranómetro: Es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en un cuerpo de 180°.



Introducción

La población rural del Tolima tiene algunos problemas sociales y económicos que afectan a sus habitantes, principalmente a los niños que estudian en las escuelas debido a la falta de energía eléctrica, ya que en algunas zonas no tienen este servicio y los estudiantes no pueden recibir clases de informática. En la sociedad actual la tecnología de la información y la comunicación cada vez se vuelve más importante y se depende más de ella en todos los ámbitos. El actual sistema educativo ha venido favoreciendo la alfabetización digital, tratando de introducir día a día cambios en los salones de clase que vienen haciendo de las TIC un instrumento cotidiano para fines educativos.

Considerando la riqueza energética que tiene el departamento del Tolima, se propone la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en las escuelas que no cuenten con suministro de energía eléctrica, para facilitar y crear distintos métodos de enseñanza por medio de videos, televisión, radio o internet, que permitan un mejor aprendizaje. En este documento se abordó el tema en diferentes acápite, empezando planteamiento del problema, donde se plantea la problemática y surge la pregunta de investigación, luego se presentan los objetivos que buscan dar solución al problema, en el siguiente aparte se realizó el marco de referencia donde se desarrolla la parte teórica en la cual se soporta la presente investigación, así como la parte legal y antecedentes, posteriormente se realiza la metodología para dar alcance a los objetivos planteados, lo anterior conlleva al análisis de los resultados y por últimos se hacen las conclusiones y unas recomendaciones del trabajo realizado.



1. Planteamiento del problema

1.1 Formulación del problema

El Tolima presenta problemas sociales y económicos que afectan a la población, dentro de los principales problemas está la salud, debido a la difícil situación de accesibilidad y lejanía de algunas zonas donde habita la población. Adicional a esto, se tiene otro problema no menos importante y es la falta del suministro de energía eléctrica, porque aunque en algunas zonas rurales se cuenta con el servicio, en otras nunca han logrado solucionar esta problemática debido a su ubicación, la cual genera el no aprendizaje y desarrollo de habilidades tecnológicas de los menores de edad.

En Colombia se sabe que existe un alto nivel de pobreza, el cual se relaciona directamente con la falta de educación. La zona rural del Tolima hace parte de las regiones que tienen niveles altos de pobreza, ya que si una familia se encuentra ubicada en las montañas o en zonas donde no hay fácil acceso y no cuenta con los recursos económicos para enviar a sus hijos a estudiar a un colegio, éstos deben dedicarse a trabajar desde muy jóvenes en la agricultura dejando a un lado las oportunidades de crecer intelectualmente.

Teniendo en cuenta la problemática social y que la participación de los estudiantes en la zona rural disminuye de manera importante al avanzar los grados, en 1° la matrícula rural representa el 62%, en 6° el 31% y en 11° el 17% disminuyendo significativamente según cifras del Ministerio de Educación.

Observando la riqueza solar con la que cuenta el departamento del Tolima según los mapas de radiación y estudios realizados por entidades como Cortolima (máxima autoridad ambiental del departamento del Tolima) en este trabajo se plantea una alternativa de solución energética, que consiste en la implementación de un sistema solar fotovoltaico autónomo en una institución educativa seleccionada como modelo para facilitar los procesos de formación, aprendizaje y de esta forma colaborar con el mejoramiento de la calidad de vida de la región.



1.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son las características que debe tener un sistema de generación eléctrica fotovoltaico para suministrar energía a una institución educativa básica en zona rural del departamento del Tolima?



2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Dimensionamiento de un sistema de suministro de energía eléctrica renovable fotovoltaica autónomo para una institución educativa modelo en la zona rural del Tolima.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las instituciones educativas en la zona rural del Tolima con problemas en el suministro de energía y seleccionar una para la realización del dimensionamiento del sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica.
- Seleccionar el tipo de tecnología de generación fotovoltaica a utilizar.
- Dimensionar el sistema de generación de energía fotovoltaica para el correcto funcionamiento de una institución educativa.
- Evaluar financieramente el sistema de generación dimensionado.
- Realización de informe final



3. Marco de referencia

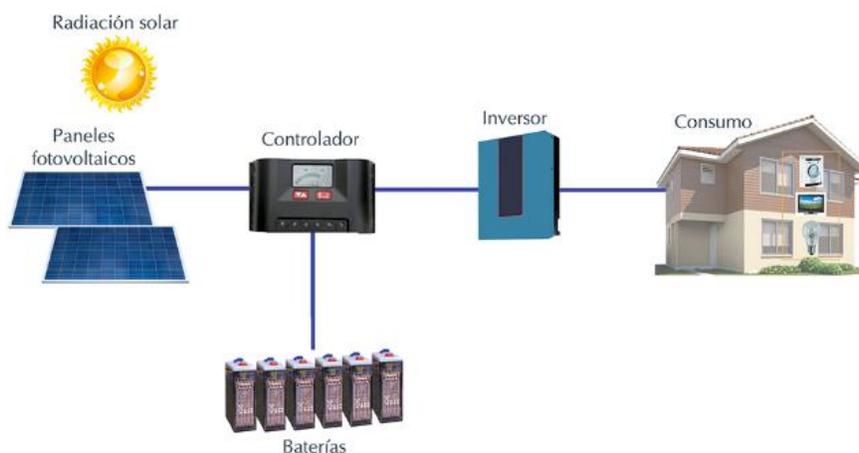
3.1 Marco teórico

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión de la luz en electricidad, esto se genera gracias a un módulo o campo fotovoltaico, una batería, un controlador de carga, lámparas, cables y algunos accesorios necesarios para la instalación que al estar conectados absorben fotones para emitir electrones y generar electricidad. (Salgado - Garciglia, s. f.)

Esta energía tiene varias ventajas sobre otras y es que su naturaleza es inagotable, renovable y su utilización libre de polución. Las células se agrupan en módulos para su integración en los sistemas fotovoltaicos. Los módulos tienen una vida estimada de 30 años y el rendimiento después de 25 años está por encima del 80% (Energiza, 2016)y, aun así, se continúa investigando para incrementar su eficiencia.

En la ilustración 1 se muestra la descripción del proceso de energía fotovoltaica, que consiste en generar electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos.

Ilustración 1 Generación de energía fotovoltaica.



Fuente: Tomada de Bester Energy

En 1839 surge el punto de partida para la energía fotovoltaica cuando el físico Becquerel observa que la luz brilla sobre algunos materiales que pueden crear corriente eléctrica.



En 1883 el físico Charles Fritts produce la primera célula solar utilizando selenio y oro con una eficiencia del 1%, convirtiendo la luz del sol en electricidad.

En 1887 el físico Heinrich Hertz descubrió el efecto fotoeléctrico el cual consiste en la emisión de electrones por un material al incidir sobre él la luz ultravioleta, esta teoría fue explicada por Albert Einstein, quien en 1905 realizó el artículo “Heurística de la generación y conversión de la luz”.

En 1921 Albert Einstein fue galardonado con un Premio Nobel de física gracias al trabajo realizado del efecto fotoeléctrico que se encontraba basado en la tecnología fotovoltaica.

En 1920 el físico Robert Andrews Millikan recibió un Premio Nobel por confirmar que la teoría presentada por Albert Einstein era correcta.

En 1957 y 1958 Rusia y Estados Unidos impulsaron satélites artificiales por celular fotovoltaicas creadas por Peter Iles en la compañía Hoffman Electrónica.

En 1970 se desarrolla la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) en la Unión Soviética por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

Hoy en día el uso de los paneles fotovoltaicos es importante en el sector aeroespacial porque la estación espacial internacional cuenta con 16 estructuras de 72 metros de largo por 12 metros de ancho, lo cual significa que cuenta con 864 m^2 de paneles solares que le generan energía.

Actualmente la energía fotovoltaica se está implementado para proteger el medio ambiente ya que la industria ha deteriorado gran parte del ecosistema con las emisiones de CO₂ y algunos gases que afectan a la capa de ozono y la salud del ser humano.

En países como España, México y Estados Unidos se encuentran plantas de 330 MW y 280 MW. Hoy día se está construyendo una planta de 270 MW en Australia para llevar energía fotovoltaica a las personas y reducir la contaminación.

Es importante hablar de la radiación solar porque ésta da a conocer la cantidad de calor que se recibe del sol en la tierra viajando por medio de ondas de luz que van transportando energía hasta que la superficie terrestre la absorbe (Cortez et al., 2014). La radiación emitida por el sol se puede dar por radiación ultravioleta, la cual tiene más



energía y es la que produce las quemaduras en la piel cuando se está expuesto al sol o la radiación infrarroja que no puede ser observada a simple vista.

La radiación solar se mide con un piranómetro, el cual tiene un sensor que transmite la radiación de longitud de onda por más pequeña que sea, la radiación también se puede medir con un heliógrafo el cual tiene el efecto de una lupa en donde se recibe la radiación en un punto, el cual quema una cinta de papel la cual esta graduada con las horas del día. (Perez Carrasco, 2010)

En el mundo existen algunos países con un nivel muy alto de radiación como lo es Perú, que ha alcanzado un nivel de 20 puntos, esto se debe a los cambios climáticos y a la falta de lluvia. Además de Perú países como Bolivia, Argentina y Chile también manejan un alto nivel de radiación.

También existen países que aprovechan la radiación solar al máximo como lo son Alemania, España, Japón, Estados Unidos, Italia, Bélgica, China, Francia e India (Energía Solar, 2018) que realizan instalaciones fotovoltaicas para proteger el medio ambiente, tener un excelente desarrollo económico y una alternativa para tener un mundo con un futuro distinto.

Colombia por estar ubicado en el trópico y presentar un promedio bajo de ozono muestra un nivel de radiación ultravioleta alto, siendo peligroso para las personas ya que se encuentran expuestas a los rayos solares los cuales son muy fuertes principalmente en el Tolima, Antioquia, Santander, Cundinamarca, Huila, Cauca, Nariño y Eje cafetero (IDEAM, s. f.), por lo que se recomienda usar protectores solares para la piel con un factor de protección no menor a 30 para evitar el cáncer de piel y el envejecimiento prematuro de la piel. (Cortolima, 2017)

3.2 Localización del proyecto

La ubicación geográfica del departamento del Tolima es muy favorable para la producción de energías alternativas; municipios como Natagaima, Ortega, Ibagué, Mariquita, Melgar son territorios que cumplen con las características para la implementación de energías renovables según el mapa de radiación del IDEAM.



La zona sur del departamento del Tolima y específicamente los municipios de Rioblanco, Ataco, Ortega y Chaparral suman en conjunto 80 escuelas rurales con aproximadamente 1396 estudiantes que actualmente no cuentan con el servicio de energía eléctrica. Para la implementación del proyecto se seleccionó el municipio de Ortega debido a su débil crecimiento en la prestación del servicio de energía, el territorio del Municipio de Ortega Tolima está situado a una altura de 400 metros sobre el nivel del mar, tiene una temperatura media de 26 grados centígrados. El área municipal es de 960 km². Dista de Ibagué 97 km. Sus límites son: por el Norte con Rovira y Valle de San Juan, por el Este con San Luís, Saldaña y Coyaima, por el Sur con Coyaima y Chaparral y por el Oeste con Chaparral y San Antonio. El 1° de enero de 1995 Ortega tenía registrados 1.881 predios urbanos y 8.576 rurales.

En el territorio se encuentran dos unidades fisiográficas, la unidad fisiográfica del occidente que es la parte de la montaña formada por la serranía Calarma que corresponde al flanco oriental de la cordillera Central, donde se destacan las cuchillas Agua Blanca, Azabache, Calarma, El Maco y Toporco; los altos La Aurora El alto del Cielo, El castillo ; elevaciones terrestres entre ellas los cerros Los Avechuchos, la loma de Cara de perro, la serranía de Charquirco, El cerro del neme El Gavilán la serranía de Pajuilera ; a unidad fisiográfica del oriente que es plana, ondulado y está en el valle del río Ortega. A Ortega lo riegan los ríos Cucuana, Loaní, Ortega, Peralonso, Saldaña y Tetuán. (Valderrama – Hernández, 2016, p. 11)

Se selecciona la vereda de La Estrella debido a que su localización y condición es muy similar a otras instituciones que no cuentan con el suministro de energía eléctrica, lo cual permitirá más adelante poder simular o replicar el proyecto con otras instituciones del Tolima. La vereda actualmente cuenta con 258 habitantes según las últimas cifras del plan de ordenamiento territorial de Ortega.



Ilustración 2 Localización Ortega Tolima.

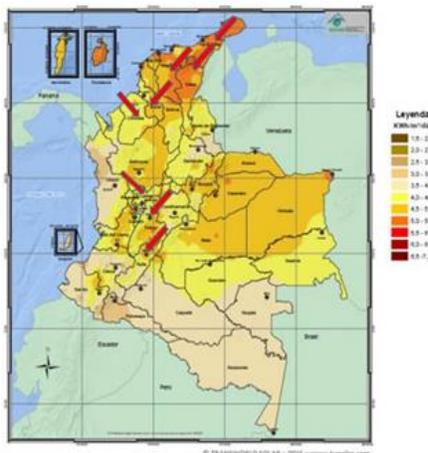


Fuente: Tomada de Tomada de <http://www.ortega-tolima.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>

3.3 Radiación solar del sitio de localización del proyecto

En el Tolima la instalación de los paneles fotovoltaicos es favorable, ya que por la posición geográfica en la que se encuentra, posee un gran recurso solar garantizando un excelente suministro de energía para la población que lo necesite

Ilustración 3 Mapa de radiación.



Fuente: Tomado de <http://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/tolima-potencia-energ-limpio>

El departamento del Tolima está en el centro del país, localizado entre los 02°52'59" y 05°19'59" latitud norte, y los 74°24'17" y 76°06'23" longitud oeste. Cuenta con una



superficie de 23.582 km² lo que representa el 2.1% del territorio nacional. Limita por el Norte con el departamento de Caldas, por el Este con el departamento de Cundinamarca, por el Sur con los departamentos de Huila y Cauca y por el Oeste con los departamentos de Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, y está conformado por 47 municipios.

El departamento del Tolima tiene un nivel alto de radiación ultravioleta, lo que indica que es viable que para los proyectos de energía solar fotovoltaica que se quieran realizar en el departamento, especialmente en las zonas rurales donde no hay suministro de electricidad y ésta es necesaria para la educación de los menores que habitan las zonas. Para tener certeza de lo anterior se muestra un mapa de radiación ultravioleta de Colombia. (Cortolima, 2017)

Ilustración 4 Mapa Tolima



Fuente: Tomada de <http://mibelotolima.blogspot.com/2011/09/ubicacion-geografica.html>

3.4 Tecnologías fotovoltaicas

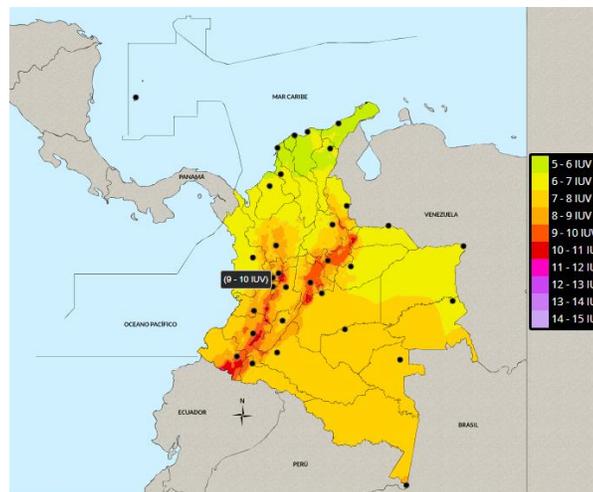
- Paneles fotovoltaicos monocristalinos:

Estos paneles solares son fabricados con bloques de silicio que van hacia una sola dirección obteniendo un alineamiento perfecto en el cristal, una forma de distinguirlo es la forma de cilindro en sus esquinas que son circulares.



- Paneles fotovoltaicos policristalinos:
Está compuesto de silicio y tiene una forma rectangular en sus esquinas.
- Placas solares de capa fina:
Estos paneles no solo están fabricados de silicio sino también pueden estar fabricado de telurio de cadmio, cobre, galio, selenio o celular fotovoltaicas orgánicas.
- Paneles fotovoltaicos híbridos:
Este panel emplea la energía solar y la energía térmica solar acumulando calor para producir electricidad cuando no hay suficiente luz solar.

Ilustración 5 Radiación ultravioleta Colombia



Fuente: Tomado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

3.4.1 Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica

La energía solar ha sido aplicada en distintos campos y áreas de trabajo sirviendo para plantas generadoras de electricidad, calculadoras, baterías de celulares y pequeñas viviendas o granjas que se encuentren en el campo.

Actualmente las instalaciones fotovoltaicas pueden ir conectadas a la red pública con el objetivo de generar mayor cantidad de electricidad, este sistema cuenta con inversores que reciben la corriente continua y la convierten en corriente alterna para poder ser utilizada.



Dentro de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica se puede encontrar las instalaciones aisladas o instalaciones que no están conectadas a la red pública como lo son, las lámparas de iluminación públicas que cuentan con un sistema fotovoltaico económico el cual funciona de noche para dar buena luz en carreteras y áreas de descanso. (Celsia, 2019) Igualmente se utiliza en carteles de señalización, semáforos, vallas publicitarias, indicadores de hora y temperatura en carretera, entre otros.

En el campo de las telecomunicaciones ha avanzado bastante, ya que existen antenas repetidoras, radares, puestos de vigilancia y postes de vigilancia (SOS) que ayudan a ahorrar miles de metros de cables para poder obtener electricidad.

En las zonas rurales se instalan paneles solares fotovoltaicos en viviendas para generar y ahorrar el consumo de energía, también se instalan en fincas que cuenten con sistema de riego para cultivos, sistemas de ordeño mecánico, cercas con electricidad, cuartos fríos para almacenamiento de alimentos entre otros.

3.4.2 Tipos de sistemas solares fotovoltaicos

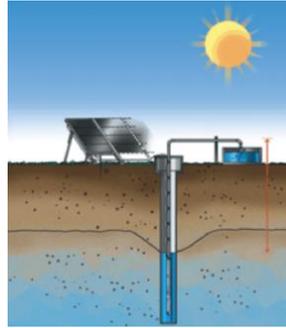
La energía solar ha sido aplicada en distintos campos y áreas de trabajo sirviendo para plantas generadoras de electricidad, calculadoras, baterías de celulares y pequeñas viviendas o granjas que se encuentren en el campo. (Sun Supply, 2017)

Teniendo en cuenta los distintos sistemas solares fotovoltaicos existen algunos que pueden ser usados para el requerimiento necesario como lo son los siguientes:

3.4.3 Sistema de energía solar directos o diurno

Este sistema funciona durante el día cuando la luz solar o el brillo del día está directamente sobre el panel, ya que este no cuenta con un sistema de almacenamiento de energía. Una de sus aplicaciones es en equipos de bombeo de agua o ventilación.

Ilustración 6 Equipo de bombeo de agua.



Fuente: Tomado de <https://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

3.4.4 Sistema de energía solar con almacenamiento de energía

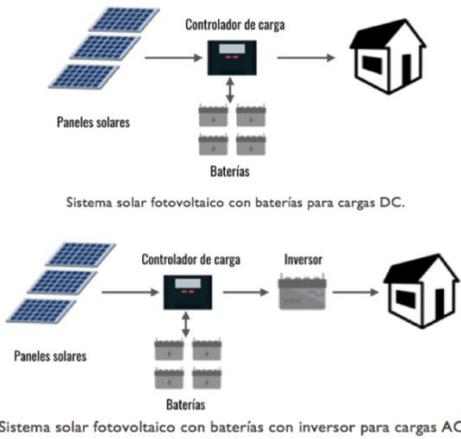
Este sistema funciona con paneles solares que almacenan la energía en baterías para ser usada en el transcurso del día o en la noche.

El sistema tiene como aplicaciones:

- Darle energía a equipos y electrodomésticos en áreas remotas
- Refrigeración de alimentos y medicamentos en áreas remotas
- Sistema de telecomunicaciones
- Sistema de iluminación
- Alumbrado publico



Ilustración 7 Sistema solar fotovoltaico con baterías.

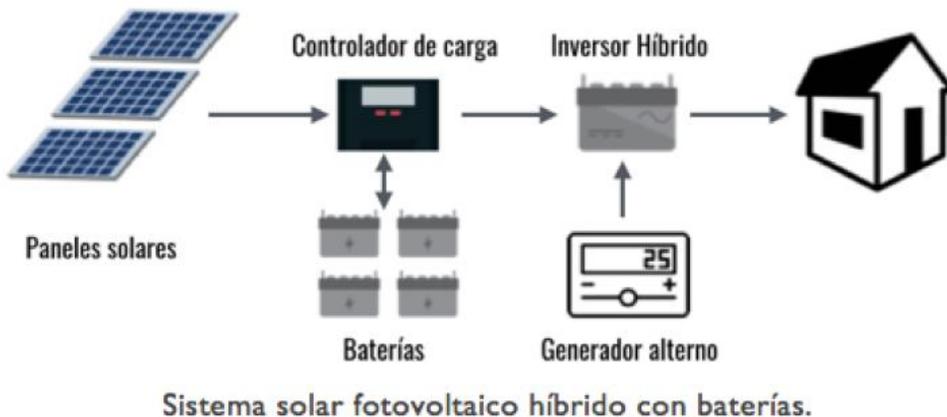


Fuente: Tomada de <https://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

3.4.5 Sistema de energía solar híbridos

Este sistema funciona con energía solar y con energía que sea emitida por una red eléctrica, motores Diesel o turbinas eólicas, generalmente es usado para bajar costos y reducir el número de equipos que se necesiten. Este sistema se aplica en plantas de respaldo que sean amigables con el medio ambiente.

Ilustración 8 Sistema solar híbrido



Fuente: tomado de <https://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

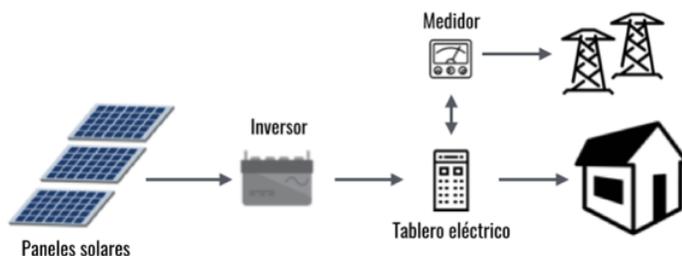


3.4.6 Sistema de energía solar conectado a la red eléctrica (on-grid)

Este sistema de energía se usa durante el día en las viviendas y tiene la ventaja de que cuando está produciendo más de lo necesario va a la red eléctrica y ésta la conduce a otra vivienda que la necesita. (Celsia, 2019) Si está produciendo muy poca energía la red eléctrica suministra la carga necesaria para el buen funcionamiento.

En algunos países como Estados Unidos, Canadá, México, Alemania, entre otros, los excesos de energía que producen los paneles solares tienen una remuneración por parte de la empresa de electricidad (Sun Supply, 2017). Actualmente en Colombia se pueden instalar los sistemas de energía solar conectados a la red en las ciudades, actualmente se están regulando las tarifas para generación del sistema a pequeña escala dentro de las ciudades.

Ilustración 9 Sistema fotovoltaico conectado a la red.



Fuente: Tomado de <https://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

3.4.7 Sistema On – Grid

Este sistema consiste en la producción de energía eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos, los cuales van conectados a una red pública de una compañía eléctrica local.

Con la instalación On – Grid el usuario consume la energía solar durante las horas de luz del día, mientras cuando no hay luz solar o ésta no es suficiente el sistema no produce electricidad ya que no hay un dispositivo que almacene energía (baterías).

Este tipo de instalación usualmente es utilizada en casas pequeñas o locales que necesiten electricidad durante el transcurso del día.



Para realizar esta instalación se requiere:

- Paneles solares
- Inversor de corriente
- Contador bidireccional
- Conexión de red eléctrica pública

Ventajas del Sistema On- Grid:

- Se ahorra energía durante el día

Desventajas del Sistema On – Grid:

- Solo se puede instalar donde exista energía de red pública
- Genera costos con la empresa electrificadora
- En tiempo de invierno la energía puede variar

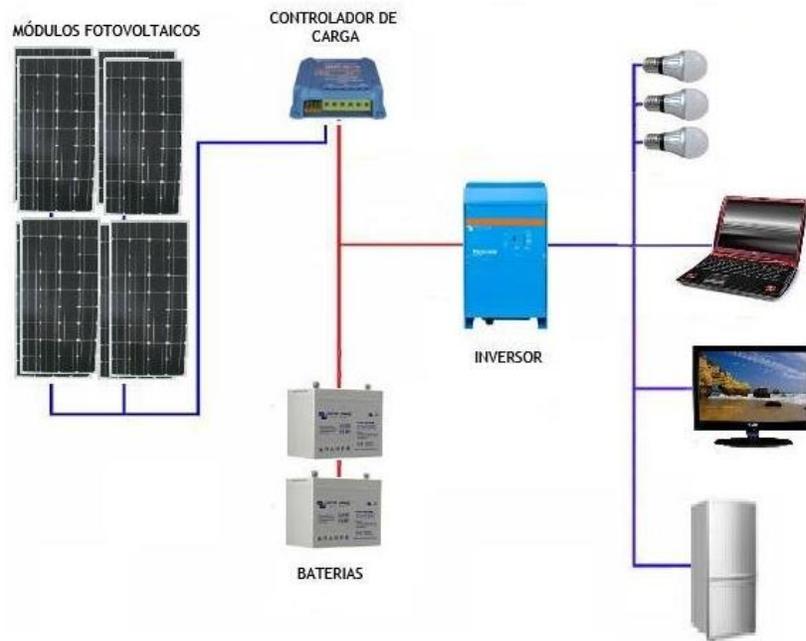
3.4.8 Sistema fotovoltaico autónomo Off – Grid

El sistema Off – Grid es independiente a la red eléctrica permitiendo captar toda la energía que pasa por los paneles solares para almacenarla en las baterías, llevándola a los inversores los cuales transforman la energía en corriente alterna. Este sistema es el también llamado autónomo.

Este es implementado en zonas rurales donde no llega la energía convencional como es en colegios, centros de salud, viviendas, hospitales, bibliotecas, entre otros.



Ilustración 10 Sistema Off - Grid



Fuente: Tomada de <https://www.riovalle.cl/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>

Ventajas del Sistema Off – Grid

- No produce emisiones de gases y es amigable con el medio ambiente
- No genera costos por una empresa de energía

Desventajas del Sistema Off- Grid

- Se necesita una inversión inicial
- En tiempo de invierno la energía producida varia
- Se necesita un banco de baterías grande

Nota: En la ilustración se muestra un cuadro comparativo entre el sistema de energía solar On –Grid y off – Grid, donde se observa que tiene mucho en común y los dos sistemas cumplen la misma función que es captar la radiación solar y convertirla en electricidad. Para nuestro proyecto es viable el sistema fotovoltaico Off – Grid, el cual es el adecuado para instalar en las zonas rurales del departamento del Tolima.



En el cuadro comparativo se relacionan las características, ventajas y desventajas que se deben considerar a la hora de implementar cualquiera de los dos sistemas.

Ilustración 11 Cuadro comparativo sistemas fotovoltaicos.

Sistema Fotovoltaico On - Grid		Sistema Fotovoltaico Off - Grid	
Elementos que lo componen	Paneles Solares	Elementos que lo componen	Paneles Solares
	Inversor		Inversor
	Controlador de carga Bidireccional		Controlador de carga
	Conexión a la red pública		Batería
Beneficios	contribuye al medio ambiente	Beneficios	contribuye al medio ambiente
	disponibilidad global		disponibilidad global
	puede generar electricidad en lugares remotos		puede generar electricidad en lugares remotos
	ahorro 60% de energía pública		almacena energía en las baterías para ser utilizada en la noche
Desventajas	la inversión es alta	Desventajas	la inversión es alta
	Tiene costo con la empresa de energía pública		
	No tiene sistema de almacenamiento de energía		

Fuente: Elaboración propia

3.5 Marco legal

El marco legal para la realización y desempeño de las energías renovables no convencionales se presenta a continuación:

En años pasados el Gobierno Nacional aprobó distintas normas como son:

- Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Esta ley define avanzar hacia la utilización de energías renovables y apoyar la investigación para en un futuro reducir costos y se amplíe la capacidad de energías eólicas, solares, geotérmicas y biomasa.
- Ley 788 del 27 de diciembre de 2002 por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones. Esta ley exime del impuesto a la renta, a las ventas de energía con fuentes renovables.
- Decreto 0570 de 2018 por lo cual se adoptan medidas en materia de generación de energía eléctrica. Esta ley permite que las personas que quieran ser parte de la oferta de generación de energía lo sean siempre y cuando tengan la capacidad de hacerlo.
- Ley 1715 de 2014 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Esta ley promueve las energías no convencionales para incentivar su uso en Colombia,



donde actualmente gran parte de la energía producida es por hidroeléctricas (Portafolio, 2016). Sin embargo, el uso de estas energías en Colombia no se ha logrado implementar bien debido a que el Ministerio de Minas y Energía no tiene la reglamentación lista a la fecha y los recursos se encuentran detenidos.

Igualmente, la UPME la ley de Energías Renovables ha llevado que las hidroeléctricas implementen sistemas para sostenerse en el mercado y evitar que la energía renovable se posicione como primera opción en Colombia.

3.6 Estado del arte

3.6.1 Aplicaciones de energías fotovoltaicas en Colombia

En el mundo existen - instalaciones fotovoltaicas que hoy día pueden llegar a producir 1000MW como lo es la que está situada en la India (Kurnool ultra mega solar park) que cuenta con más de 4 millones de paneles solares ocupando un área de 2400 hectáreas (Roca, 2019). En China se encuentra la planta solar de Longyangxia Hydro – Solar PV Station y ocupa un total de 9,16 km². En estados Unidos está la planta Solar Star Farm I y II, ocupando un área de 13 km² con 1.7 millones de paneles solares.

La energía solar en Colombia inicio desde el siglo pasado, cuando en Santa Marta se instalaron los primeros calentadores solares en las casas de los empleados de las bananeras. Tiempo después en los años de los 60's la Universidad Industrial de Santander instaló calentadores solares domésticos de origen israelí para estudiar el comportamiento. (Murcia, 2009) A finales de los 60's algunas universidades como, la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional en Bogotá y la Universidad del Valle, sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de calentamiento de agua para usos comunitarios. A comienzos de los años 80's, con la supervisión técnica de la Universidad Nacional se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp para la instalación de radioteléfonos rurales y ya en 1983 habían instalados 2950.



Los sistemas solares fotovoltaicos tuvieron su fuerte hacia finales de los años 80's con el programa de telecomunicaciones rurales de Teleco.

En los últimos años se ha instalado muchos sistemas en los programas de electrificación rural, con financiación del Estado para hacer uso actualmente de los recursos como el instituto para la promoción de soluciones energéticas que es la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano.

En Colombia el sistema fotovoltaico ha sido aceptado ya que este sistema no es contaminante, es un sistema que al implementarlo es necesario hacer una inversión, pero ya implementado el servicio es gratuito, ayuda a reducir y resolver problemáticas de la energía tradicional y se puede observar que en distintos lugares ya ha sido instalado como:

- Sistema solar de 2.8 kWp (Kilovatio pico) instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, hoy IPSE) en la Venturosa, Vichada, en 1996. Suministra energía a 120 V CA a una comunidad de 12 familias y centro escolar.



Ilustración 12 Sistema Solar



Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Sistema-solar-de-28-kWp-instalado-por-el-antiguo-ICEL-Instituto-Colombiano-de_fig4_262763558

- Colectores solares del hospital Pablo Tobon Uribe, Medellín, en operación desde mediados de los ochenta (240 m² de colectores, tanque de 20 m³, no visible).

Ilustración 13 Colector solar.



Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Colectores-solares-del-Hospital-Pablo-Tobon-Uribe-Medellin-en-operacion-desde_fig3_262763558

- Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp (Kilovatio pico) del oleoducto Caño Limón Coveñas. En operación desde hace más de 20 años.

Ilustración 14 Sistema fotovoltaico.



Fuente: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Sistema-fotovoltaico-de-34-kWp-del-Oleoducto-Cano-LimonCovenas-En-operacion_fig5_262763558

- En septiembre de 2017 se inician labores en Yumbo – Valle del Cauca, con la construcción de la primera planta de generación solar a gran escala para entregar energía al sistema nacional la cual tiene una capacidad de entrega de 9.8 MW y generara alrededor de 16.5 GWh al año equivalente al consumo de 8000 familias. En la construcción de la planta solar se



necesitaron 35000 paneles fotovoltaicos y 9 inversores para convertir la energía continua en energía alterna.

3.6.2 Aplicaciones de energías fotovoltaicas en el Tolima.

Actualmente se construyó un sistema fotovoltaico Off – Grid para una caseta de bombeo de los vertimientos de aguas residuales en el municipio de Venadillo – Tolima, con el fin de evitar la contaminación de la quebrada Galapo y éste estará alimentado por un equipo de energía solar para evitar el consumo de energía eléctrica y no generar ninguna clase de contaminación al municipio y la sociedad.

El costo del equipo de la energía solar es de \$ 84'635.280 y tiene la capacidad para trabajar una bomba de 3 hp con una autonomía de 12 horas continuas.

Ilustración 15 Caseta de Bombeo en construcción.



Fuente: Tomada por la autora



Ilustración 16 Sistema Off - Grid Instalado



Fuente: Tomada por la autora

Ilustración 17 Paneles Solares ya Instalados.



Fuente Tomado por la autora

En la ilustración 15 y 16 se puede observar la conexión y la instalación del sistema a los paneles solares que permiten el bombeo de agua servidas las cuales son llevadas a la PTAR.



Este proyecto es un ejemplo de que la energía solar en Colombia es necesaria y se puede llevar a todos los lugares donde no existe la energía eléctrica.

Entre otros proyectos se encuentra la primera planta solar que ha sido construida en el Municipio de Honda – Tolima, con un sistema On – Grid, para prestar el servicio a la empresa Puerto Vallarta Herbs SAS.

En una publicación realizada por la Enertolima el 06 de septiembre de 2018 indica “Esta planta solar, cuenta con 74 paneles solares de 340Watts y se espera una generación media de 36 MWh/año, con la que el usuario podrá alimentar el 60% de su consumo a través de un sistema limpio, que convierte la energía solar en energía eléctrica, lo que le permite contar con un ahorro significativo en los costos del consumo de este recurso.”

Observando el proyecto realizado en Venadillo – Tolima, y analizando los antecedentes de la energía solar y radiación en Colombia se puede concluir que la energía fotovoltaica es favorable ya que no produce emisiones de gases y tiene varias aplicaciones. En la zona rural del departamento del Tolima donde se encuentran instituciones educativas que no cuentan con el suministro de energía se puede instalar el sistema Off – Grid, el cual no necesita una conexión a la red eléctrica y es amigable con el medio ambiente. (Cortolima, 2017) También se puede recomendar este sistema porque es confiable y en el departamento se tiene un nivel de radiación que permite el funcionamiento continuo de los sistemas fotovoltaicos.



4. Metodología de trabajo

4.1 Requerimientos energéticos del proyecto

Actualmente hay una problemática relevante respecto a las instituciones educativas rurales del Tolima puesto que están ubicadas en zonas dispersas y de difícil acceso, lo que dificulta la extensión de la red eléctrica hacia ellas. No obstante, la inversión es bastante alta y recuperar esta inversión en estos casos es inviable, ya que no hay altos consumos de energía y los costos en instalación y el mantenimiento son altos; por estas razones no es económicamente rentable prestar el servicio para las entidades privadas, por lo tanto, los costos los debe asumir el estado para garantizar el servicio en estas zonas aisladas.

A continuación, se observa una selección de municipios del Tolima que fueron seleccionados debido a que presentan problemas energéticos y pueden servir de modelo para la implementación del sistema de generación fotovoltaica que se pretende, ya que además cuentan con un nivel de radiación y de brillo solar superior a 4 kWh/m² día, que se considera bueno para instalaciones de este tipo.

La información de las instituciones educativas (Escuelas) con problemas de energía fue tomada del estudio realizado dentro del programa de energización rural de Tolima financiado por la UPME y llevado a cabo por la Universidad del Tolima en el periodo 2013-2015. En ese programa se realizó censo directo de las escuelas con vista y elaboración de encuesta que arrojó como resultado la siguiente información consignada en la tabla 1

Tabla 1 Veredas de municipios del Tolima sin energía eléctrica. Tomado De Energización de escuelas rural por Daniel Berneir

Municipio	Nombre vereda	Estudiantes
		Matriculados
	Las Moras	43



Ataco	Potrerito	15
	Beltran	5
	Canoas La Vaga	18
	La Holanda	17
	Pueblo Nuevo	15
	Canoas San Roque	92
	Cupilicua	10
	Pastalitos	6
	Totumal	3
	San Pablo	6
	La Florida	20
	Santa Rita La Mina	24
	La Ceiba	8
Ataco	El Roble	21
	El Sinai	23
	Carrusel	16
	La Rivera	14
	El Eden	13
	El Quindio	18
	Madroñal	20
	Subtotal	407
	La Florida	13
	La Ceiba	7
	El Queso	12
	San Alfonso	8
	Santa Rosa	20
Chaparral	Patalo	11
	Copete Delicias	11
	Copete Oriente	10
	Brisas Carbonal	6
	Mulicu Las Palmas	14
	Tapias	10
	Alto Ambeima	7
	Altamira	14



	Santo Domingo	7
	Subtotal	150
Chaparral	Escobales	37
	La Estrella	9
	La Popa	15
	Guineal Las Palmas	6
	Santa Elena	12
	Bellavista	5
	El Tigre	19
	Mundo Nuevo	10
Ortega	Sinai	8
	Guayabito	8
	San Pedro El Diviso	14
	Anaba	7
	Subtotal	150
	El Vergel	10
	San Francisco	14
	La Marmajita	16
	Bocas De Anamichu El Canelo	13
Rioblanco	Chele	12
	El Castillo	18
	El Darien	18
	La Floresta	32
	Los Fundadores	16
	La Laguna	4
	Mesa De Palmichal	12
	La Cristalina	10
	La Esmeralda	28
	El Danubio	28
	Belalcazar	10
	La Primavera	5
	La Argentina	8
	El Moral	11
	Rionegro	49
	Campo Alegre	52
	El Espejo	23
	La Aurora	4



Rioblanco	La Porfia	14
	San Mateo	13
	El Bosque	17
	La Legia	20
	Los Lirios	20
	La Libertad	14
	Rio Verde	28
	Alfonso Carrillo	25
	Maria Inmaculada	13
	Yarumales	13
	La Catalina	6
	La Palmera	19
	Subtotal	598
TOTAL	1307	

Fuente: creación de la autora

En el anterior cuadro se logran observar 70 veredas que no cuentan con el suministro de energía, en las cuales estaban matriculados al 2015 en total 1307 alumnos.

Para la implementación de este proyecto se consideró que las condiciones de las veredas en cuanto al nivel socioeconómico, tecnológico y de infraestructura era similar, tomando como decisión seleccionar una escuela modelo para implementar la propuesta técnica del sistema de generación., con esto se busca que queden las bases para que se puedan extrapolar los resultados para las demás instituciones educativas del departamento.

4.2 Metodología para el Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Dentro de las instituciones educativas ubicadas en el departamento del Tolima que no cuentan con suministro de energía, se seleccionó una institución educativa ubicada en la vereda La Estrella ubicada en Ortega- Tolima, la Institución Educativa

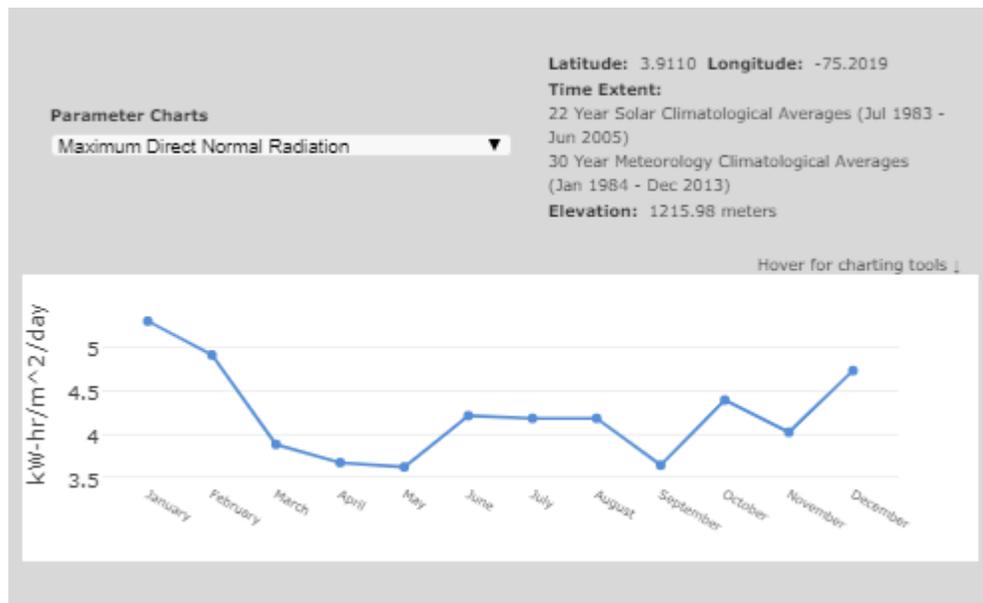


Altozano identificada con el número 273504000148 cuenta con los niveles Preescolar, Básica Primaria.

Actualmente según cifras del DANE en el municipio de Ortega hay 150 estudiantes matriculados en las instituciones educativas que no cuentan con sistemas de energía, la institución educativa La Estrella tiene 9 estudiantes matriculados los cuales se verían beneficiados del proyecto. Inicialmente el número de estudiantes es bajo, pero se espera que con el suministro de energía se aumente este número. El dimensionamiento del sistema es básico pero alcanzaría para una proyección de hasta 30 alumnos.

En condiciones de radiación aceptables, la potencia equivale aproximadamente a 1000 Watt/m² (cantidad de energía calórica por unidad de área) en la superficie terrestre. A continuación, se relaciona la radiación de la vereda, la cual cumple con el requisito mínimo para la implementación del sistema.

Ilustración 18 Radiación máxima mensual directa en la vereda La estrella



Fuente: Tomada de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Los datos de radiación fueron tomados de la base de datos de la NASA y corresponden a promedios mensuales. Se observa que la radiación está entre 3.6 a 5.5 kwh/m².dia manteniendo un promedio sobre 4.0 kwh/m².dia, el cual es considerado aceptable para la implementación del sistema.



En la tabla 2, se encuentra la demanda energética que tiene la escuela seleccionada para realizar el proyecto, teniendo en cuenta el número de estudiantes matriculados y equipos básicos que la componen.

Se realizaron los siguientes cálculos para obtener la información:

1. Carga total día: se multiplico la carga (W) por el tiempo de uso de cada equipo obteniéndose una carga aproximada diaria de $11.620 \frac{W.h}{día}$.
2. Tiempo de uso: se multiplico el tiempo de uso de cada uno por la cantidad de cada equipo, calculando el total de horas al día de funcionamiento del total de cada uno de los equipos, posteriormente se multiplico por $31 \frac{día}{mes}$, obteniendo el total de tiempo de uso de $3.100 \frac{hora}{mes}$.
3. Carga total al mes: se multiplico la carga (W) por el tiempo de uso al mes de cada equipo obteniéndose una carga aproximada mensual de $360.220 \frac{W.h}{mes}$.

Tabla 2 Requerimiento energético sede la estrella

Institución Educativa Altozano Sede La Estrella						
Estudiantes	30					
Equipos	Cantidad	Carga (W)	Tiempo de uso c/u (h/día)	Carga total día (W.h/día)	Tiempo de uso al mes (h/mes)	Carga total al mes (W/mes)
Computador	5	150	6	4500	930	139500
Internet (Router +decodificador)	1	10	6	60	186	1860
Nevera	1	150	8	1200	248	37200
Luminarias	6	50	4	1200	744	37200
Radio	1	80	2	160	62	4960
Tomas eléctricas	5	150	6	4500	930	139500
Total				11620	3100	360220

Fuente: creación de la autora

El consumo promedio mensual se calcula en $360.22 \frac{W.h}{mes}$, los equipos que tienen mayor consumo tienen son los cinco computadores, los cuales tendrían un uso de 6



horas diarias y la nevera que debe estar constantemente encendida. Se podría discutir no considerar la nevera en el proyecto debido a que el objetivo es introducir las TIC en la institución.

Tomando como referencia que la institución no cuenta con suministro de energía eléctrica y está ubicada en la zona rural del departamento en donde es difícil el acceso, implementar un sistema de energía solar es lo más factible en este caso.

Se implementará un sistema Off Grid el cual es la mejor alternativa para el abastecimiento de energía en establecimientos aislados a la red eléctrica. Este sistema puede alimentar desde cargas muy pequeñas hasta grandes cargas. Para la implementación de este sistema se tuvo en cuenta el consumo energético diario, se selecciona el panel solar con potencia de 330w, posterior se multiplica esta potencia por el número de horas de sol en el municipio, las cuales según el atlas de radiación solar del IDEAM serían 6 horas al día en promedio:

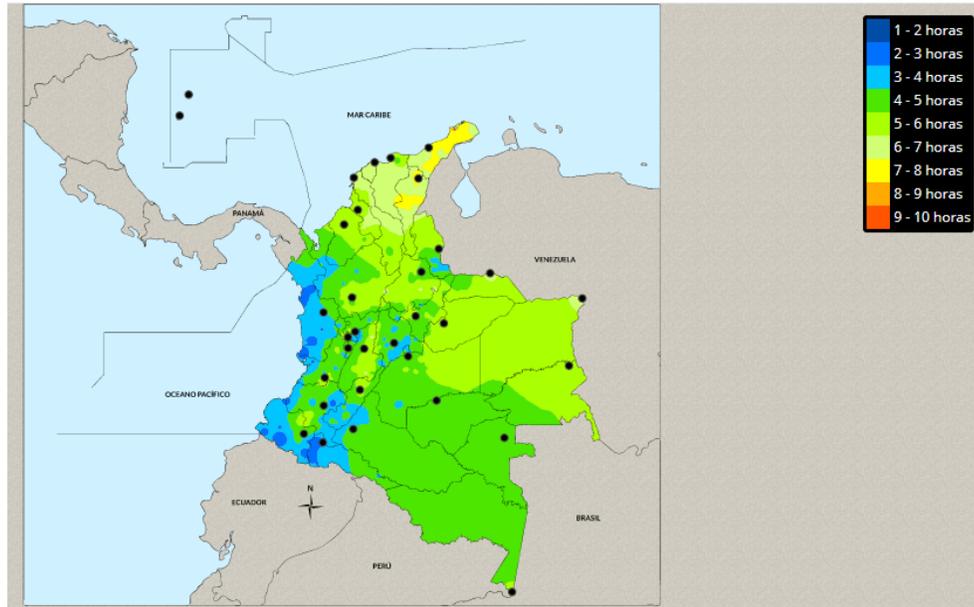
$$330w \times 6 \frac{h}{día} = 1980 \frac{w.h}{día}$$

Posteriormente se divide por el consumo energético diario que para este caso sería de $11.620 \frac{w.h}{día}$

$$\text{Numero de paneles} = \frac{1980 \frac{w.h}{día}}{11.620 \frac{w.h}{día}} = 5,86$$

El número de paneles calculado para la implementación corresponde a 5,86 por lo que aproxima 6 paneles como factor de seguridad.

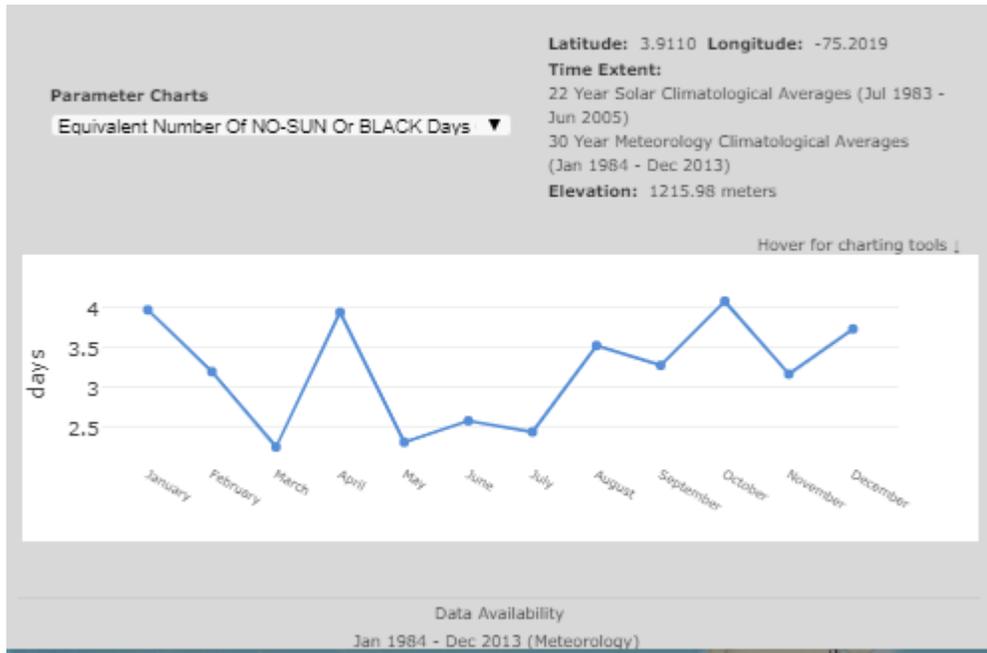
Ilustración 19 Distribución del Brillo Solar Medio Diario (Horas de Sol al día)



Fuente: Tomada de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Para la selección del inversor el cual solo tiene referencias de 3000W, 6000W y más grandes se selecciona el más cercano al consumo energético de la institución, en esta caso el de 3000W el cual convertirá la corriente DC generada por el panel a corriente AC que va ser consumida por otros equipos, en otras palabras se encargara de transformar la electricidad producida por los módulos en corriente directa en corriente alterna apta para ser inyectada a la red, adicional para garantizar el funcionamiento del sistema se requieren 4 baterías de 12v y 200A, para el cálculo de las baterías se tuvo en cuenta el promedio mensual de días sin sol que en promedio al año es de 2.81 según las cifras de la NASA, se toma la decisión de darle a nuestro sistema dos días de autonomía y una potencia de descarga de 70% y unas pérdidas de 15%. Para potencias entre 2500W y 5000W se requieren 48v, cómo cada batería tiene 12v, se requieren 4 baterías para alcanzar los 48v.

Ilustración 20 Días sin son sol en la vereda La estrella



Tomada de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

5. Resultados y análisis de resultados



5.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

La propuesta del sistema fotovoltaico nace como una alternativa a mediano plazo dada la imposibilidad de acceder a la red eléctrica por parte de los habitantes de la vereda La Estrella. Se propone un sistema de energía fotovoltaica estandarizado que pueda suplir la necesidad energética de la sede La Estrella de la instrucción educativa Altozano, que por su ubicación no cuenta con servicio energético. El uso de la energía solar puede suplir a necesidad energética de la institución ubicada en la zona rural de Ortega

Cifras del año 2015 publicadas por la secretaria de educación muestran que las estadísticas de deserción escolar para el municipio de Ortega correspondían a un 0,86% para transición, mientras que las de primaria representaban un 3.73%, siendo bastante altas teniendo en cuenta que la población es pequeña, se estima que la implementación del sistema aumente significativamente el número de estudiantes matriculados y disminuya tasa de deserción estudiantil en la institución, debido a la oportunidad de poder acceder a equipos de cómputo, teniendo en cuenta que la población no tiene acceso a este tipo de equipos debido a su bajo poder adquisitivo.

Para la instalación del sistema de energía solar fotovoltaico se tiene los siguientes requerimientos:

- 6 paneles solares de 330W
- 1 multifuncional de 3000W (Inversor DC/AC – Regulador)
- 4 baterías 12v 200 mAh
- Estructura metálica en aluminio y bases de los paneles solares

5.2 Costos del sistema fotovoltaico

Teniendo en cuenta que la escuela mencionada no cuenta con suministro de energía eléctrica y está ubicada en la zona rural como se había mencionado anteriormente y la necesidad energética es alta, se realizaron tres cotizaciones con sistemas off gris para elaborar el proyecto fotovoltaico propuesto, seleccionando a



Technoherramientas ACJ empresa dedicada al diseño, suministro y asesoría e instalación de sistemas solares a través de paneles.

Ilustración 21 Cotización instalación Sistema de energía

		MANZANA 9 CASA 35 JORDAN 1 ETAPA TEL: 2754325 CEL: 3215461156 - 3163799455		COTIZACIÓN PRELIMINAR	
NIT: 900.881.617-8		IBAGUE-TOLIMA		N. <u>A148</u>	
SEÑORES:		FECHA			
Email:					
Cargo:		DÍA		MES	
Dirección:		AÑO			
Teléfono:		19		2	
Ciudad: Ibague				2019	
A continuación nos permitimos presentar nuestra propuesta comercial:					
PRESUPUESTO PARA LA INSTALACION DE SISTEMA SOLAR PARA ESCUELA RURAL					
ITEM	APARATO	CANTIDAD	POTENCIA	TIEMPO	
1	lampara	3	50	8	
2	Pc	5	150	6	
3	radio	1	80	2	
4	nevera	1	150	8	
5	Internet	1	10	24	
DESCRIPCION DE LA OBRA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	V/UNIDAD	V/TOTAL	
1	Sistema solar para Escuela Rural (6 paneles solares de 330w, 1 Multifuncional 3000 W, 4 baterías 12v 200A, tablero de control y protecciones, estructura de paneles solares en techo, Conectores de panel MC4)	1	\$ 15.015.600	\$ 15.015.600	
2	Material de consumo, tornillo, Tubería, cable, polo a tierra, cajas de conexión, interruptores, tomacorrientes, luminarias, chasos.	1	\$ 1.032.100	\$ 1.032.100	
3	mano de obra instalación, transporte equipos , logística, puesta en marcha .	1	\$ 2.041.560	\$ 2.041.560	
	Costos directos			\$ 18.089.260	
	Administración	10%	17%	\$ 1.808.926	
	Imprevistos	2%		\$ 361.785	
	Utilidad	5%		\$ 904.463	
	Iva 19% sobre utilidad del 5%	19%		\$ 171.848	
OBSERVACIONES: Garantía de 12 años en paneles solares, Garantía de 1 año en baterías, Garantía de 1 años Multifuncional.			Total a Pagar		\$ 21.336.282

Fuente: creación propia



5.3 Análisis económico

Tabla 3 Flujo de caja sistema de energía fotovoltaica

Año	Inversión inicial		\$ Mantenimiento sistema	21.336.282 Total
	Costo de energía anual \$	Costo energía solar		
2019	\$ 979.224	-\$ 21.336.282	0	-\$ 20.357.058
2020	\$ 1.342.516	\$ -	\$ 150.156	\$ 1.192.360
2021	\$ 1.391.477	\$ -	\$ 153.159	\$ 1.238.318
2022	\$ 1.440.439	\$ -	\$ 156.222	\$ 1.284.216
2023	\$ 1.489.400	\$ -	\$ 5.359.347	-\$ 3.869.947
2024	\$ 1.538.361	\$ -	\$ 266.534	\$ 1.271.827
2025	\$ 1.587.322	\$ -	\$ 271.864	\$ 1.315.458
2026	\$ 1.636.283	\$ -	\$ 277.302	\$ 1.358.982
2027	\$ 1.685.245	\$ -	\$ 5.482.848	-\$ 3.797.603
2028	\$ 1.734.206	\$ -	\$ 392.505	\$ 1.341.701
2029	\$ 1.783.167	\$ -	\$ 400.355	\$ 1.382.812
2030	\$ 1.832.128	\$ -	\$ 408.362	\$ 1.423.766
2031	\$ 1.881.089	\$ -	\$ 5.616.529	-\$ 3.735.440
2032	\$ 1.930.051	\$ -	\$ 528.860	\$ 1.401.191
2033	\$ 1.979.012	\$ -	\$ 539.437	\$ 1.439.575
2034	\$ 2.027.973	\$ -	\$ 550.226	\$ 1.477.747
2035	\$ 2.076.934	\$ -	\$ 5.761.230	-\$ 3.684.296
2036	\$ 2.125.895	\$ -	\$ 676.455	\$ 1.449.441
2037	\$ 2.174.857	\$ -	\$ 689.984	\$ 1.484.873



2038	\$ 2.223.818	\$ -	\$ 703.783	\$ 1.520.034
2039	\$ 2.272.779	\$ -	\$ 5.917.859	-\$ 3.645.080
2040	\$ 2.321.740	\$ -	\$ 836.216	\$ 1.485.524
2041	\$ 2.370.701	\$ -	\$ 852.941	\$ 1.517.761
2042	\$ 2.419.663	\$ -	\$ 869.999	\$ 1.549.663
2043	\$ 2.468.624	\$ -	\$ 6.087.399	-\$ 3.618.776
2044	\$ 2.517.585	\$ -	\$ 1.009.147	\$ 1.508.437
2045	\$ 2.566.546	\$ -	\$ 1.029.330	\$ 1.537.216
2046	\$ 2.615.507	\$ -	\$ 1.049.917	\$ 1.565.590
2047	\$ 2.664.469	\$ -	\$ 6.270.915	-\$ 3.606.447
2048	\$ 2.713.430	\$ -	\$ 1.196.334	\$ 1.517.096
2049	\$ 2.762.391	\$ -	\$ 1.220.260	\$ 1.542.131
Total recaudado con el sistema				\$ 6.848.131
Total Ahorro				-\$ 13.508.927
TIR				-5,4%

Fuente creacion de la autora

Para el calculo del costo anual de la energia electrica en el flujo de caja se realizo una proyeccion del IPC anual tomando como referencia el aumento del IPC de los ultimos 10 años calculando de en promedio según la tendencia dada, estimando que el aumento del IPC respecto al año anterior seria del 0,05, posteriormente se realizo el calculo del costo de la energia anual con el IPC multiplicando el valor de kWh en Ortega el cual tiene un costo \$566.3382 pesos por los kWh consumidos durante el año.

Como se evidencia en el flujo de caja el costo de mantenimiento del sistema es bastante representativo debido a que en calculo del mantenimiento del sistema se tomaron en cuenta los siguientes costos :

- Cambio de las baterias cada 3 años por recomendación del fabricante, analizando el costo de las baterias en el mercado se caculo que le valor promedio de las baterias oscila en \$1.300.000 c/u.



- Costo de mantenimiento el cual equivale al 1% del valor de la inversión en el ITEM 1 de la cotización el cual corresponde a los costos de el sistema solar en la institución (Paneles, multifuncional, baterías, tablero de control, estructura de paneles y conectores de paneles)
- Aumento del 2% anual en el costo de mantenimiento, teniendo en cuenta que los precios pueden variar con el paso del tiempo.

Es importante señalar que en esta zona no es viable para las entidades de energía eléctrica hacer la instalación del servicio por la demanda eléctrica reducida, lejanía y la poca accesibilidad de esta zona del departamento del Tolima, la instalación de energía eléctrica implicaría altos costos de instalación y mantenimiento, en el municipio de Ortega el kWh tiene un costo \$566.3382 pesos, adicional se recibe un auxilio del gobierno del 50 % del valor del recibo de energía, siendo menos atractivo para los inversionistas privados, invertir en estas zonas.

Con la implementación del sistema suponiendo que en la institución se cuenta con energía eléctrica y teniendo en cuenta el aumento del IPC anualmente, se recuperarían \$ 6.848.131, lo cual representa el 32,09% de la inversión, la tasa interna de retorno la cual evidentemente también es negativa indica que el proyecto no es viable a simple vista, teniendo en cuenta de que partimos de un supuesto de costo de energía sin tener en cuenta los costos de instalación del sistema eléctrico con el cual no cuenta la institución el proyecto es más viable de lo que refleja, partiendo del supuesto del valor pagado a la empresa de energía en los 30 años de proyección del proyecto el cual se proyecta sobre los \$ 62.522.829, sin embargo no se están teniendo en cuenta los costos de instalación y mantenimiento en la zona que son bastante altos por su ubicación geográfica, partiendo de esto la inversión del sistema de energía solar solo representa una diferencia de solo \$ 13.528.928 respecto al valor pagado con la implementación y mantenimiento del mismo (\$ 76.051.757), añadiendo que no se están teniendo en cuenta los costos de oportunidad del proyecto y los beneficios no lucrativos de la implementación del sistema como:



- Desarrollo economico sostenible
- Atencion a al demanda
- Impacto social
- Proteccion ambiental
- Mejores oportunidades de educación
- Reduccion de gases de efecto invernadero

El uso de energias no renovables proboca que los gases contaminantes expulsados por la quemas de combustibles, es uno de los factores principal de la generación del efecto invernadero y el calentamiento global.

Las energías renovables son recursos limpios que proporciona la naturaleza adiconal evitan la degradación ambiental, estas energías a diferencia de los combustibles fósiles, no producen gases de efecto invernadero, emisiones o vertidos, no afectando asi al cambio climático.

Según la asociacion de productores de energias renovables las energias renovables (APPA) tienen un impacto mucho menor respecto a las no renovables el autor señala que:

- El impacto medioambiental de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables. (AUMA, s.f.)
- Se estima que reducir un kilovatio hora (kWh) de electricidad un sistema renovable tiene un impacto medioambiental, 300 veces inferior al que tiene producirlo con lignito, 250 veces menor respecto al que supone generarlo con carbón o petróleo, 125 veces inferior al que implica producirlo con uranio, 50 veces menor que generarlo con gas natural. (AUMA, s.f.)

En la realidad del país se espera que el proyecto genere una utilidad para los inversionistas, sin embargo teniendo en cuenta que este proyecto es de tipo social y que impactaría a una población vulnerable de la zona rural del Tolima el valor negativo se puede ver como un costo de oportunidad para fomentar el desarrollo de la zona, es preciso tener una perspectiva más allá de la financiera para lograr dimensionar la gran cantidad de ventajas sociales, tecnológicas y económicas.



6. Conclusiones y recomendaciones



- La inversión en el proyecto representaría un cambio trascendental para la población rural permitiéndole obtener habilidades tecnológicas que ayudaran a desarrollar y optimizar actividades de tipo económico, cultural, y social, reduciendo la brecha tecnológica que se presenta actualmente en los estudiantes de las zonas rurales.
- El auge que ahora tiene la energía solar fotovoltaica en cuanto a energías renovables y beneficios económicos es bastante significativo, sin embargo, es importante generar mayor conocimiento y más proyectos que permitan desarrollar mucho más esta tecnología y potencializarla, consiguiendo así mejores beneficios para el ser humano y medio ambiente.
- El alto costo de las baterías del sistema incrementa significativamente el costo total, pudiéndose considerar la posibilidad de trabajar solamente en el día, sin embargo, teniendo en cuenta que se proyectó un refrigerador, se puede considerar disminuir el número de baterías y dejarlas solo para el consumo del refrigerador y días sin sol, reduciéndose notablemente el costo de la inversión y mantenimiento, puesto que no se requerirían sino de 2 baterías.
- Se consideró capacitar a una persona de la región para realizar el mantenimiento del sistema, pero teniendo en cuenta que la mayoría de estas instituciones tiene entre uno o dos docentes, el costo de capacitación y mano de obra superaría los costos de mantenimiento del proveedor.
- Realizar el proyecto es viable ya que, frente a los altos costos de implementar energía eléctrica en la zona rural, la alternativa de energía limpia sigue siendo la más viable, este modelo se podría replicar a las 80 instituciones que actualmente no cuentan con energía y tienen características similares.
- Los estudiantes cuentan con dos periodos de vacaciones durante el año en los cuales no estarían utilizando los paneles en su 100%. Se plantea utilizar durante esos periodos la institución como centro de capacitación en sistemas utilizando los computadores de la institución para las personas de la zona.



Referencias

- AUMA. (s.f.). Impactos ambientales de la producción de electricidad: Estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica. Recuperado de http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf
- Bester. (2016). Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos aislados. Recuperado de <https://bester.energy/blog/aplicaciones-sistemas-energia-fotovoltaica-aislados/>
- Energía Solar. (2017). Teoría y construcción de un panel solar fotovoltaico. Recuperado de <https://solar-energia.net/definiciones/panel-solar.html>
- Energía Solar. (2018). Principales instalaciones fotovoltaicas en el mundo. Recuperado de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/principales-instalaciones-mundo>
- Celsia. (2019). Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia. Recuperado de <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia>
- Controladores de carga*. (s.f.). Obtenido de <https://webosolar.com/store/es/5-controladores-de-carga>
- Cortez, G. L., Camino, N., Lacolla, L., Melchiorre, M. L., Huaranca, M. E., & Curell, M. (2014). *Radiaciones: una mirada multidimensional*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación Nacional.
- Cortolima. (2017). El Tolima, potencia en energía limpia. Ibagué, Tolima, Colombia. Obtenido de <http://www.cortolima.gov.co/boletines-prensa/tolima-potencia-energia-limpia>



- Energiza. (2016). Efecto fotoeléctrico e instalaciones fotovoltaicas. Recuperado de <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/625-efectofotoelectrico-e-instalaciones-fotovoltaicas>
- Finanzas carbono. (2017). 10 países que más aprovechan y usan energía solar | Finanzas Carbono. Finanzascarbono.org. Recuperado el 04 de agosto de 2017, a partir de http://finanzascarbono.org/noticias_externas/estos-son-los-10-paises-que-mas-aprovechan-y-usan-energia-solar/
- Decreto 0518 de 2018 [Ministerio de Minas y Energía]. Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones. Marzo 23 de 2018.
- IDEAM. (s.f.). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Evaluacion-de-la-Irradiacion-Global-Horizontal-en-Colombia.pdf>
- IDEAM. (s.f.). *Radiación solar*. Recueperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- Ley 697 de 2001. Por la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Octubre 05 de 2001. DO: 44573
- Ley 788 de 2002. Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones. Diciembre 27 de 2002. DO: 45046
- Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Mayo 13 de 2014. DO: 49150
- Lorente, J. (s.f.). Recuperado de <https://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>



- Murcia, H. R. (15 de 01 de 2009). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y*. Bogotá: Scielo.
- Ortega, A. d. (s.f.). Obtenido de Alcaldía de Ortega Tolima : <http://www.ortega-tolima.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Perez Carrasco, D. (2010). Procedimiento de mantenimiento calibración de estación radiométrica. En D. P. Carrasco.
- Portafolio. (2016). Energías renovables en Colombia. Recuperado de <https://www.portafolio.co/innovacion/energias-renovables-en-colombia-502061>
- Roca, J. A. (18 de 04 de 2019). El periódico de la energía. *Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: China, India y EEUU arrasan*.
- Salazar-Peralta, A., Alfredo, P. S., Pichardo, U., Melo-Morín, J., Santana-Esparza, G., Colorado-Garrido, D., ... & Ramírez-De Alba, H. (2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(5), 11-20.
- Salgado-Garciglia, R. (s.f.). Paneles solares: generadores de energía eléctrica. *SaberMás*. Recuperado de <https://sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/133-numero-1755/268-paneles-solares-generadores-de-energia-electrica.html>
- Sun Supply. (s.f.). Tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Recuperado de <https://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/sgic/.pdf>
- Valderrama – Hernández, J. (2016) *Ortega: su verdadera fecha de fundación histórica*. Ortega, Colombia: Editorial sin identificar.