



Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia

**Modalidad**  
Seminario

Wilmar Alexis Alarcon Vanegas  
CC 91537497  
Sebastián Sánchez Jaimes  
CC 1098803449

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
Facultad De Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología En Implementación De Sistemas Electrónicos Industriales  
**BUCARAMANGA 26-10-2021**



Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia

**Modalidad**  
Seminario

Wilmar Alexis Alarcon Vanegas  
CC 91537497  
Sebastián Sánchez Jaimes  
CC 1098803449

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Tecnólogo en implementación de sistemas electrónicos industriales

**DIRECTOR**  
Michael Arenas Flórez  
**CODIRECTOR**  
Lizeth Dayane Cortés Hernández

Grupo de Investigación en Energía-GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
Facultad De Ciencias Naturales e Ingenierías  
Tecnología En Implementación De Sistemas Electrónicos Industriales  
**BUCARAMANGA 26-10-2021**

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

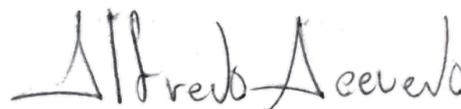
### Nota de Aceptación

---

---

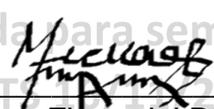
---

---



Firma del Evaluador

Válida para seminario  
UTS 2021



Firma del Director

## DEDICATORIA

A Dios primeramente por guiarme por darme la fuerza necesaria y la sabiduría para poder alcanzar tan anhelado logro.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

Wilmar Alexis Alarcon Vanegas

El presente proyecto está dedicado a todas aquellas personas que como nosotros le ponen empeño y dedicación a sus sueños.

Dedicado a nuestras familias por apoyarnos y quienes han puesto toda su confianza en nosotros.

Sebastián Sánchez Jaimes

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la universidad Unidades Tecnológicas de Santander y a sus Docentes que durante toda la carrera estuvieron presentes en el desarrollo de mi formación académica para lograr un título universitario tan importante para mi vida y mi futuro.

Wilmar Alexis Alarcon Vanegas

A Dios por guiarnos en este camino y por permitirnos concluir con nuestro objetivo.

A nuestra querida universidad la UTS (Unidades Tecnológicas de Santander) y a todas las autoridades, por permitirnos concluir con esta etapa de nuestras vidas, gracias por la paciencia, orientación y guiarnos en el desarrollo de este proyecto.

Sebastián Sánchez Jaimes

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.2. <b>JUSTIFICACIÓN.....</b>  | <b>14</b> |
| 1.3. <b>OBJETIVOS .....</b>   | <b>15</b> |
| 1.3.1. <b>OBJETIVO GENERAL.....</b>   | <b>15</b> |
| 1.3.2. <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>  | <b>15</b> |
| 1.4. <b>ESTADO DEL ARTE.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2. MARCO REFERENCIAL .....</b>   | <b>18</b> |
| 2.1. <b>MARCO TEORICO .....</b>   | <b>18</b> |
| 2.2. <b>BATERÍAS MONOBLOCK .....</b>  | <b>18</b> |
| 2.2.1. <b>BATERÍAS DE ARRANQUE DE PLOMO ACIDO ABIERTAS .....</b>  | <b>18</b> |
| 2.2.2. <b>BATERÍAS TIPO AGM O VRLA .....</b>  | <b>18</b> |
| 2.2.3. <b>BATERÍAS DE GEL.....</b>  | <b>19</b> |
| 2.3. <b>BATERÍAS ESTACIONARIAS .....</b>  | <b>20</b> |
| 2.3.1. <b>BATERÍA ESTACIONARIA OPZS .....</b>   | <b>20</b> |
| 2.3.2. <b>BATERÍA ESTACIONARIA OPZV .....</b>   | <b>21</b> |
| 2.4. <b>BATERÍAS DE ION LITIO .....</b>   | <b>22</b> |
| 2.5. <b>ENERGÍA SOLAR .....</b>   | <b>23</b> |
| 2.6. <b>RADIACIÓN SOLAR .....</b>   | <b>23</b> |
| 2.7. <b>ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>   | <b>25</b> |
| 2.8. <b>MARCO LEGAL.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</b>   | <b>28</b> |
| 3.1. <b>REVISIÓN DOCUMENTAL.....</b>  | <b>28</b> |
| 3.2. <b>REVISIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>   | <b>29</b> |
| 3.2.1. <b>FASE 1. BATERÍAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS.....</b>  | <b>29</b> |
| 3.2.2. <b>PARÁMETROS DE TRABAJO DE BATERÍAS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS</b>   | <b>29</b> |
| 3.2.3. <b>TECNOLOGÍAS DE ACUMULACIÓN PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS QUE SE INSTALAN EN LAS ZONAS RURALES DE SANTANDER, COLOMBIA.....</b> | <b>30</b> |
| <b>4. DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>   | <b>31</b> |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>4.1.</b> | <b>BATERÍAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>4.2.</b> | <b>PARÁMETROS DE TRABAJO DE BATERÍAS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS</b>   | <b>35</b> |
| <b>4.3.</b> | <b>TECNOLOGÍAS DE ACUMULACIÓN PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS QUE SE<br/>INSTALAN EN LAS ZONAS RURALES DE SANTANDER, COLOMBIA.....</b> | <b>38</b> |
| <b>5.</b>   | <b>RESULTADOS .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>6.</b>   | <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>7.</b>   | <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>8.</b>   | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>46</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Esquema Básico De Una Batería De (Pb-a) .....                | 18 |
| Figura 2 : Modelo de batería AGM.....                                  | 19 |
| Figura 3: Modelo de Batería Tipo Gel. ....                             | 20 |
| Figura 4 : Baterías OPzS de 2V y un banco de baterías. ....            | 21 |
| Figura 5: Batería de Gel a 2V.....                                     | 21 |
| Figura 6: Modelo batería de litio.....                                 | 22 |
| Figura 7.Composición del espectro de radiación solar. ....             | 24 |
| Figura 8. Mapa de radiación solar en Colombia .....                    | 25 |
| Figura 9. Mapa temperatura media anual Departamento de Santander ..... | 39 |

## LISTA DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1. Marco legal colombiano .....</i>   | <i>27</i> |
| <i>Tabla 2. Baterías incorporadas en sistemas fotovoltaicos, usos y características.....</i>       | <i>31</i> |
| <i>Tabla 3. Tecnologías de acumulación, especificaciones generales .....</i>                       | <i>33</i> |
| <i>Tabla 4. Parámetros que se deben tener en cuenta para la funcionalidad de las baterías.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabla 5. Tensiones para el voltaje de la batería .....</i>                                      | <i>37</i> |
| <i>Tabla 6. Evaluación de las baterías según sus características .....</i>                         | <i>40</i> |
| <i>Tabla 7: Baterías para zonas con altas temperaturas .....</i>                                   | <i>42</i> |

## RESUMEN EJECUTIVO

Las baterías son el elemento más importante en los sistemas fotovoltaicos off-grid o autónomos por eso conocer las diferentes tecnologías que más se han usado en los últimos años ayudaran a definir un esquema de evaluación para escoger la mejor opción para las zonas rurales del departamento de Santander, Colombia, e identificar las baterías recomendadas por los fabricantes en su desempeño que garanticen un funcionamiento adecuado para los sistemas autónomos.

Por otra parte, la metodología trabajada en este proyecto es una investigación descriptiva y explicativa donde se hace una comparación de las diferentes tecnologías de baterías para sistemas fotovoltaicos que se encuentran en el mercado y mediante una tabla de datos se expone los parámetros de trabajo a la cual están capacitadas para operar, generando el cuidado necesario para un buen rendimiento en su vida útil.

Se define 3 tipos de baterías, las de mayor desempeño para los sistemas off-grid que son las baterías monoblock, estacionarias y de ion litio; cada una con un sistema de trabajo particular y que varían el aspecto económico en función de tecnología.

En síntesis, en este trabajo se encontró un desarrollo tecnológico de las baterías fotovoltaicas que son útiles para almacenar energía eléctrica en zonas rurales de Santander. Con la investigación realizada se genera un conocimiento de las tecnologías de baterías disponibles actualmente para poder realizar una selección de acuerdo con la zona y a las temperaturas a las que van a estar expuestas, logrando así un adecuado rendimiento apropiado y durabilidad y así prevenir un desgaste de su vida útil generando un ahorro en el cambio de baterías.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

**PALABRAS CLAVE.** Sistemas off-grid, baterías solares, energías renovables, eficiencia energética.

## INTRODUCCIÓN

En un contexto actual y global, las tecnologías de almacenamiento de energía a través de la incorporación de baterías al sistema fotovoltaico están fortaleciéndose en el mercado energético ya que son dispositivos que almacenan y reintegra la energía eléctrica debido a reacciones químicas que ocurren en su interior (Cepeda & M, 2019). En Colombia, según la UPME para el año de 2017 se evidenciaba porcentajes del 88,3% para iniciativas de aprovechamiento de energía solar, en las cuales 9 de 10 se enmarcaban en sistemas fotovoltaicos (Celsia, 2019).

En zonas no interconectadas como lo son las zonas rurales y zonas apartadas de los cascos urbanos, los sistemas energéticos fotovoltaicos (FV), son una solución para la escasez energética ya que emplean los recursos naturales renovables para producir flujos eléctricos mediante paneles solares que captan la radiación solar. Para las zonas rurales de Santander, la implementación de Sistemas aislados de la red eléctrica (Off-Grid) brinda independencia en la red eléctrica y el uso de baterías permite el almacenamiento de la energía producida en casos donde las zonas presentan barreras e intermitencias que impiden la captación óptima de la radiación solar (Tituaña, 2016).

Finalmente, la metodología del seminario se abordó de forma teórica mediante un estudio documental referente a los tipos de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos (Off-Grid), con un enfoque cualitativo y un alcance descriptivo analizando la estructura, funcionamiento, características, ventajas y desventajas al integrar estos elementos con el fin de saber cuál se adapta al contexto de demanda energética del departamento según las normas técnicas de trabajo.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las zonas rurales de Santander, una de las grandes problemáticas para adquirir el servicio de energía es el alto costo de la infraestructura eléctrica que se necesita para hacer llegar el fluido eléctrico (Montaño, 2021). Arraigado a lo anterior, factores como el calentamiento global afectaran en la economía rural por alteraciones en las temporadas de luminosidad/luvia añadiendo costos en las zonas rurales para suplir las necesidades básicas y de agricultura al no implementar sistemas fotovoltaicos que incorporen baterías para brindar autonomía en el consumo energético (Peralta, 2011).

Paralelamente, un sistema energético convencional genera disminución en la calidad vida de la comunidad e incrementa el uso de gasolina para adquirir alimentos perecederos por perdidas de refrigeración (DNP, MINMINAS, & UPME, 2016). Es por eso que en la transición a un sistema fotovoltaico off-grid, se debe elegir la mejor opción sobre el tipo de baterías solares (Bernal, 2020), ya que si no se tiene en cuenta las características de trabajo de la batería, ocasiona daños en el funcionamiento del sistema provocando el deterioro de la batería a corto tiempo, una mala eficiencia en el suministro de energía y gastos por el mantenimiento de la tecnología de energía renovable (Domínguez, 2020).

En consecuencia, surge la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las características de baterías que brindarían mejoras en los sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalan en las zonas rurales del departamento de Santander?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En Santander, la variedad climática es determinante a la hora de elegir el sistema fotovoltaico y el tipo de batería que brindara soporte energético en los momentos de baja intensidad solar ya que es ahí donde la batería actúa a través de las horas de autonomía para suplir de energía a la zona donde se aplique (Nieva Granero, 2017). Por ende, las baterías son parte elemento fundamental y de las más costosas en los sistemas fotovoltaicos off-Grid que se usan para zonas rurales no interconectadas y donde se quiera reemplazar a la red eléctrica (Espinoza & Zanoni, 2021).

La investigación de los bancos de baterías permite conocer las diferentes causas que provocan el deterioro de la vida útil en las baterías como son la temperatura, los ciclos de carga-descarga y la profundidad de descarga máxima reduciendo los costos que se desprenden del mantenimiento del sistema energético (Roa, 2021). Paralelamente, la degradación interna, la sulfatación, la estratificación y la auto descarga son otras variables que permiten aterrizar el por qué ocurre el deterioro de una batería solar (López de Lacalle San Vicente, 2018), previniendo los desgastes, garantizando el correcto funcionamiento, una alta eficiencia y la optimización del almacenamiento de la batería (Anaya, 2019).

Finalmente, la ejecución de la investigación permite ampliar el campo investigativo sobre la incorporación de acumuladores en sistemas de energías renovables para estudiantes, docentes y grupos de investigación de las Unidades Tecnológicas de Santander como también ampliar las posibilidades de empleo para estudiantes del programa Tecnología en Implementación de Sistemas Electrónicos Industriales en áreas interdisciplinarios de sistemas y ambiental.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar las características de uso de diferentes tipos de baterías para recomendar las tecnologías que se ajustan a las condiciones de trabajo de los sistemas fotovoltaicos que se instalan en zonas rurales del departamento de Santander, Colombia.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las baterías que son utilizadas en los sistemas autónomos mediante fuentes de información secundaria, para la descripción del funcionamiento y aplicaciones de cada tipo de batería.
- Establecer los parámetros de trabajo de baterías mediante fuentes de información secundaria, para la determinación del impacto que causan en el desempeño de la tecnología de acumulación en los sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalan en las zonas rurales de Santander.
- Proponer tecnologías de acumulación para sistemas fotovoltaicos autónomos mediante criterios evaluativos, con el fin de brindar una mejora en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalan en las zonas rurales de Santander, Colombia.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE

Internacionalmente en países como España-Barcelona, (Tituaña, 2016), hace relevancia a características como el rendimiento, profundidad de descarga y ciclos de carga-descarga a la hora de escoger una batería, resaltando el sistema de gestión de baterías (SGB) encargado de controlar los parámetros de carga-descarga y temperatura considerados claves en la prolongación de la vida útil del acumulador. Por otro lado realiza un comparativo entre baterías de plomo-ácido avanzada, níquel cadmio, Ni-MH, NaS, Batería NaNiCl, Ion litio, Mg-Sb y Baterías de flujo a través del análisis de las aplicaciones, características arrojando mejoras en términos de descargas, temperatura, densidad energética, costos de adquisición y oportunidades en el mercado energético, entre otros.

En Zaragoza-España, (Lopez de Lacalle, 2018) analiza los diferentes causantes del deterioro de una batería solar como son la degradación interna de las placas del ánodo o electrodo positivo a causa de la carga y descarga frecuente de la batería; la sulfatación causada por los largos periodos con una carga mínima y al no ser cargada con la intensidad adecuada, la estratificación dada en las baterías que se mantienen inactivas o guardadas por mucho tiempo y la autodescarga cuando presenta una reducción de su capacidad almacenada en circuito abierto cuando no tiene carga.

Localmente en Bucaramanga, (Suárez, 2019) propone un sistema piloto para evaluar los sistemas fotovoltaicos aislados con una carga específica de trabajo de 11,28 [kWh/día], para 30 horas de autonomía y un sistema de baterías plomo ácido selladas tubulares de 12 V con una capacidad nominal de 100[Ah], con el fin de cubrir la demanda generada por las cargas más básicas derivadas de equipos electrónicos y eléctricos. En el caso de las baterías, el estudio analiza los ciclos de carga-descarga, capacidad, profundidad de descarga, controladores de carga,

radiación solar, eficiencia, horas de autonomía, como características que dotan de información y permiten evaluar el tiempo de vida útil de la batería implementada, reducir las pérdidas energéticas y disminuir costos por mantenimiento.

En términos de uso y adquisición de baterías respectivamente, en el municipio de Villavicencio-Meta, autores (Bonilla, Córdoba, & Peña, 2020) explican el uso de baterías de plomo ácido para vehículos, en caso de ser implementadas en sistemas fotovoltaicos no operarían eficientemente debido a que no soportan descargas profundas del 60% de su capacidad total, en ese sentido solo pueden soportar un descarga máxima del 20% y (Jiménez, 2019) pronostica que dentro de 10 años las baterías por su gran aporte de almacenamiento de energía al sistema de energías renovables tendrán un costo menor al 50% de su valor total al de hoy en día, mejorando las oportunidades de adquisición y potenciando los mercados energéticos.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. MARCO TEORICO

Los acumuladores o baterías es un elemento fundamental en la instalación de sistemas FV autónomos, se describe a continuación las características de las baterías con mayor rendimiento para los sistemas fotovoltaicos off-grid que son las baterías monoblock, estacionarias y de ion-litio.

### 2.2. Baterías monoblock

#### 2.2.1. *Baterías de arranque de plomo acido abiertas*

Utilizadas en el sector automovilístico proporciona elevadas corrientes en tiempos cortos especialmente para el arranque de motores, no están aptas para descargas por debajo del 90% de su carga total, de mantenimiento frecuente con agua destilada, lo que limita su uso en el sector fotovoltaico. Su composición química consta de dos electrodos de plomo, uno positivo (ánodo) y otro negativo (cátodo) y un electrolito líquido por donde conduce la corriente de negativo a positivo (Avendaño, 2020).

**Figura 1.** Esquema Básico De Una Batería De (Pb-a)



Fuente: Adaptado de (Homecenter, 2021).

#### 2.2.2. *Baterías tipo AGM o VRLA*

También conocidas como Absorción Glass Mat-AGM, estas baterías tienen el electrolítico absorbido en unos separadores de fibra de vidrio no necesitan

ventilación ni mantenimiento trabaja con altas corrientes de descarga. Son baterías selladas no contiene líquido y se pueden instalar horizontal o verticalmente su capacidad de trabajo es mucho más amplia lo que la hace ideal para este tipo de sistemas FV. También llamadas baterías secas existen dos modelos la tipo Gel y AGM que tiene como objetivo minimizar la pérdida de electrolitos que es uno de los aspectos que afectan el funcionamiento de las baterías. (Ramón & Pineda, 2015).

**Figura 2.** Modelo de batería AGM 250Ah-12V



Fuente: Adaptada de (AutoSolar, 2021).

### **2.2.3. Baterías de Gel**

Es una versión mejorada de la AGM su composición química es un electrolito gelificado, selladas totalmente, no desprenden ningún tipo de líquido en caso de volcamiento, se pueden colocar verticalmente sin ningún problema. Sus tensiones están de 6V, 12V, 24V y 48V. Son de plomo ácido, su tamaño varío con la capacidad de Ah. Su precio es más elevado en comparación a las AGM y las de plomo acido abiertas pero se recompensa con su eficiencia y garantía siempre y cuando se opere en las condiciones recomendadas por el fabricante, no requiere mantenimiento y tolera los espacios con poca ventilación (Gomez, Cagüeñas, & Forero, 2017).

**Figura 3.** Modelo de Batería Tipo Gel 250Ah-12V.



Fuente: Adaptada de (AutoSolar, 2021).

## 2.3. Baterías Estacionarias

Se conocen como acumuladores solares, baterías de ciclo profundo y/o baterías de plomo. La característica particular de este tipo de baterías es que su sistema está formado por una celda o vaso de 2 voltios cada batería. Si se requiere un voltaje nominal de 12V o más se conectan en serie con el fin de que se sume el voltaje individual en cada una de ellas y así para 12 V se necesitan 6 baterías tipo estacionarias lo que le da más autonomía, densidad y potencia.

Estas baterías tienen una mayor duración y los procesos de descarga son superiores a las demás porque tienen más plomo y como está formada su estructura física lo hace aún más costosas, pero se justifica por tener un ciclo de vida mucho más superior si se compara con las demás. Muy usados para sistemas de vivienda, empresas donde su consumo sea muy elevado y para sistemas de bombeo (Ladrón de Guevara, 2018).

### 2.3.1. Batería estacionaria OPzS

Es una batería de ácido plomo abierta de dos voltios de una placa de plomo tubular que cubre toda la batería. Al tener mayor plomo la hace más costosa y por ende de mayor durabilidad en los procesos de descarga. Con una larga vida útil con un excelente rendimiento en las cargas y descargas con un aspecto físico

transparente que permite controlar su nivel de ácido añadiendo agua destilada según sea necesario en sus mantenimientos periódicos.

**Figura 4.** Baterías OPzS de 2V y un banco de baterías.



Fuente: Adaptada de (AutoSolar, 2021).

### 2.3.2. **Batería estacionaria OPzV**

La batería está formada por una placa de electrodo tubular cubierta por un electrolito en forma de Gel, no necesita de mantenimiento. Con algunas características similares de operación de las OPzS, con un precio mayor debido a su tecnología tipo gel (Chunga, 2020).

**Figura 5.** Batería de Gel a 2V



Fuente: Adaptada de (AutoSolar, 2021).

## 2.4. Baterías de Ion litio

Las baterías están compuestas por un electrodo negativo o cátodo de óxido metálico de litio, y por un electrodo positivo o ánodo de carbono y el electrolito que ayuda a la conducción de electrones está formado por sustancias de litio. Las baterías de litio tienen una demanda muy grande debido a su gran almacenamiento de energía en el uso de aparatos electrónicos y en vehículos eléctricos y ahora están para competir en el mundo de las energías renovables con unas propiedades de trabajo muy favorables para este tipo de sistemas fotovoltaicos (Pérez, 2019).

Figura 6. Modelo batería de litio



Fuente: Adaptada de (Areatecnologia, 2021).

## 2.5. Energía solar

La energía solar es el término utilizado para referirse a la energía proveniente de la luz y el calor solar. Se estima que esta es una de las principales fuentes de energía disponibles en el planeta, además de ser una de las más utilizadas por todos los seres vivos para suplir sus necesidades energéticas. Para que una determinada fuente de energía se considerada renovable, es necesario que esta sea inagotable para los patrones de consumo humano y la energía solar cuenta con esta característica. Anualmente la cantidad de energía solar que recibe el planeta en forma de luz y calor puede suplir miles de veces las necesidades mundiales durante un mismo periodo de tiempo (Villa e Gozali, 2012).

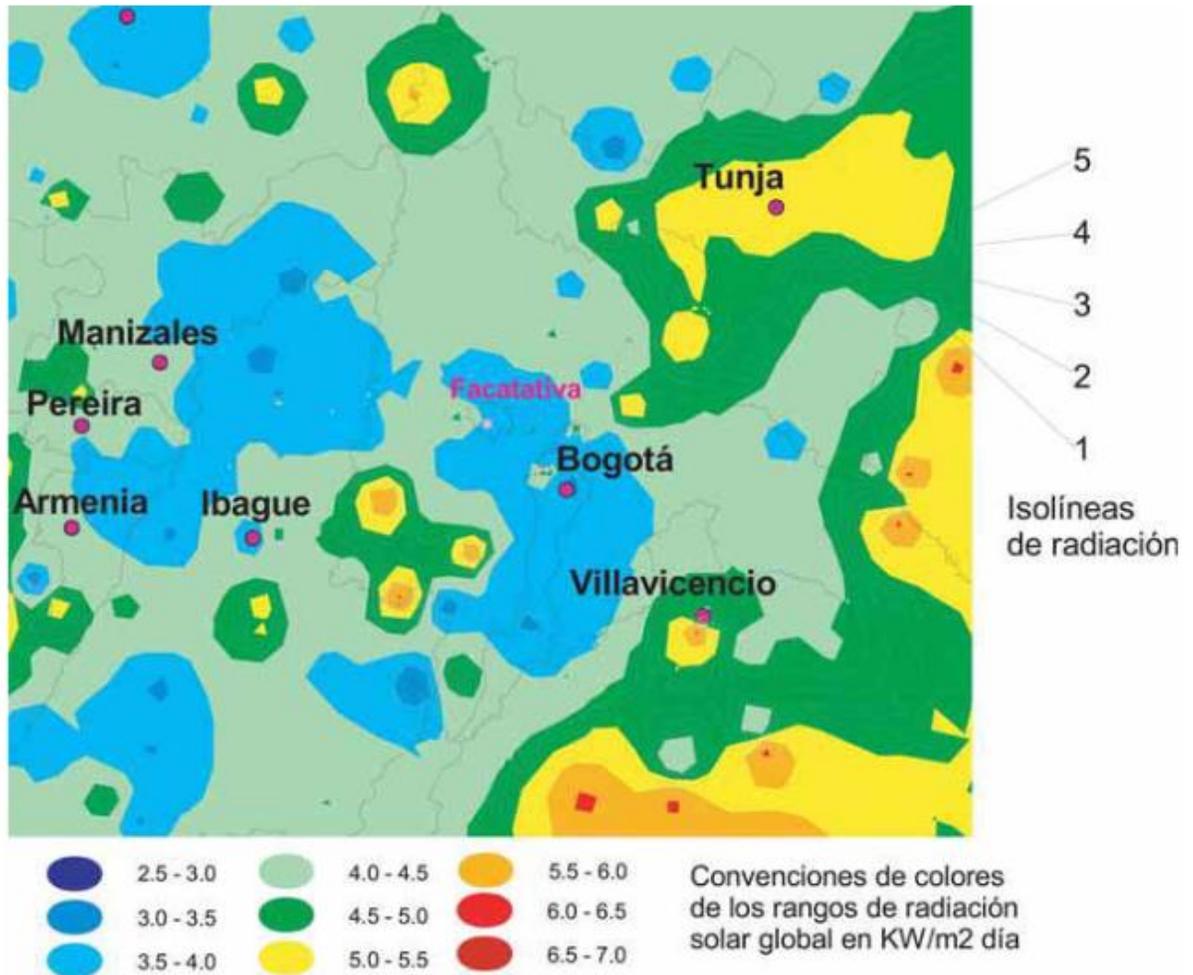
Además, la energía solar puede considerarse como limpia, ya que aunque en la fabricación de los paneles solares se provoca contaminación en comparación con los combustibles fósiles y otros tipos de energía, su impacto es mucho menor.

## 2.6. Radiación solar

La radiación solar es la energía del sol transmitida por radiación electromagnética. “La energía del sol es transmitida a nuestro planeta por medio de la radiación electromagnética. Esta radiación es constituida por ondas electromagnéticas que poseen una frecuencia y longitud de varias ondas” (Villalva and Gazoli, 2012). La radiación solar está compuesta por ondas electromagnéticas con una amplia variedad de frecuencia, una pequeña parte de esta radiación solar puede ser captada por el ojo humano y es denominada luz visible, la otra parte no puede ser vista pero su presencia se puede percibir de diferentes formas.



**Figura 8.** Mapa de radiación solar en Colombia



Fuente: Adaptada de (UPME, 2021).

## 2.7. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es obtenida por el efecto fotovoltaico, descubierto en 1839 por Edmond Becquerel, la cual implica el apareamiento de una diferencia de potencial en los terminales de una célula electroquímica causada por la absorción de luz, donde ocurre la conversión directa de luz en energía. Para que ocurra este proceso de conversión, la célula fotovoltaica debe ser fabricada a partir de materiales semiconductores (Tavares, 2014). Cuando los fotones inciden

sobre una célula fotovoltaica, una fracción de la energía que llevan excita a los electrones que contribuyen a establecer una corriente eléctrica. La célula es el menor elemento del sistema fotovoltaico, un sistema de células forma un módulo fotovoltaico y estos pueden ser clasificados en sistemas aislados o autónomos (off-grid), híbridos o conectados a la red (on-grid) (Silva, 2014).

## 2.8. MARCO LEGAL

Para abordar este ítem, se utilizará la Tabla 1, la cual describe la normatividad en materia de sistemas fotovoltaicos y energías renovables.

**Tabla 1**

*Marco legal colombiano*

| Normatividad   | Descripción  |
|--|--|
| <b>NTC 4405 DE 1998</b>  | Norma técnica enmarcada en la eficiencia energética, en ese sentido evalúa la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes   |
| <b>Ley 697 de 2001</b>   | 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   |
| <b>Política Nacional de producción y consumo sostenible 2011</b> | Se presenta e integra la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes  |
| <b>Ley 09 de 2012</b>  | La presente ley tiene por objeto, promover e incentivar el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos; y así obtener la reducción de consumos energéticos y la generación de energías no contaminantes.<br><b>Artículo 4°.</b> Promuévase e incentive la instalación de paneles solares y paneles fotovoltaicos en zonas no interconectadas y en zonas rurales del país, que carecen del servicio de energía o que no tienen un servicio confiable, especialmente, en viviendas de interés social, colegios, hospitales, clínicas, centros de salud que les permitan acceder a dicho servicio con calidad. |
| <b>RETIE 2013</b>  | Describe los parámetros en términos de seguridad, funcionamiento y especificaciones para las instalaciones eléctricas  |
| <b>Ley 1715 de 2014</b>  | La finalidad de esta ley es la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, haciendo énfasis en aquellas que son de carácter renovable en el marco de la política energética nacional. Establece la implementación de esquemas de incentivos para fomentar la inversión en fuentes no convencionales de energía renovable y eficiencia energética  |
| <b>Ley 1753 del 2015</b>   | Establece el estímulo e incentivo al desarrollo de las actividades de producción y utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable  |
| <b>Decreto 2143 del 2015</b>                                     |  |
| <b>Resolución 41286 de 2016</b>                                  | Se definen las acciones estratégicas y sectoriales que permitan alcanzar las metas en materia de eficiencia energética   |

Fuente: Tomada de (Aldana & Fino, 2018).

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Es una investigación descriptiva y explicativa donde se hace una comparación de las diferentes tecnologías de baterías o acumuladores para sistemas fotovoltaicos que se encuentran en el mercado y hacer una comparación de sus características particulares y poder elegir las más adecuada para un sistema FV.

#### 3.1. Revisión Documental

Se realizó la revisión sistemática, siguiendo un protocolo de búsqueda (Reyes, et al., 2018), empleando como palabras claves “Remote Monitoring”, “Photovoltaic Generation” y “Energy Efficiency”. Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales, bases de datos (Science Direct®, nature®, Springer®, Scopus, CIELO y fuentes adicionales como trabajos de grado realizados por los diferentes grupos de investigación adscritos a Colciencias.

#### Filtro de documentos y criterios de selección

Con el fin de identificar la documentación más relevante para la investigación, se realizó un proceso de filtrado de los artículos obtenidos, donde se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- **Título:** Descarte de artículos cuyo título no presentaba relación con los acumuladores para sistemas de generación fotovoltaica.

Adicionalmente los artículos que contienen información, pero son de una fecha inferior al 2015, fueron excluidos.

- **Citaciones:** De los artículos seleccionados por el primer filtro, se realizó una revisión de donde habían sido citados y se incluyeron los estudios que contuvieron los temas abordados en esta investigación.

- **Resumen:** Lectura del resumen de cada artículo con el fin de seleccionar estudios que se enfocaran en los acumuladores para sistemas de generación fotovoltaica.
- **Contenido:** Lectura del contenido total del artículo en donde se identificaron las condiciones de trabajo típicas de las baterías, la tensión, corriente, ciclos de carga y descarga y la temperatura del sistema de batería.

### 3.2. Revisión y análisis de datos

De los artículos seleccionados se realizó una revisión respecto a las características de trabajo de las baterías para los sistemas fotovoltaicos. Para la realización de esta monografía el desarrollo se dividió en tres fases:

#### 3.2.1. Fase 1. Baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos autónomos

Se realizó una búsqueda acerca las baterías o acumuladores para los sistemas fotovoltaicos empleando el buscador de Google académico ®. Se recopiló información como como el tipo de tecnologías y el funcionamiento de cada batería. Esto con el fin de obtener información acerca del panorama actual en materia de las baterías que mejor se adaptan a las condiciones que se quieren aplicar dentro del sistema fotovoltaico autónomo y de esta manera profundizar más en la revisión bibliográfica.

#### 3.2.2. Parámetros de trabajo de baterías en sistemas fotovoltaicos autónomos

La información recolectada de fuentes secundarias arrojó el análisis de proyectos de investigación e informes por parte de Instituciones de Educación Superior. Se utilizó como herramienta los buscadores de Google académico, Dialnet y Scielo con el fin de obtener información sobre las especificaciones y parámetros que se requieren para que el funcionamiento de las baterías sea

óptimo dentro del sistema solar fotovoltaico, ya que el mantenimiento y reparación de estas tecnologías representan altos costos.

### **3.2.3. Tecnologías de acumulación para sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalan en las zonas rurales de Santander, Colombia**

La última fase presenta el análisis de tres baterías de uso para los sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalen en las zonas rurales del departamento de Santander, Colombia. Para ello, se utilizaron dos criterios: el brillo solar que se presenta en el área y los costos en adquisición.

No obstante, se hace la premisa en la autonomía para la comunidad del sector rural en la adquisición de la tecnología según sus condiciones y dinámicas financieras.

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 4.1. Baterías utilizadas en los sistemas fotovoltaicos autónomos

Para la instalación de un sistema fotovoltaico se hace necesario seleccionar una tecnología madura ya que la compensación de la relación costo-beneficio de la inversión está sujeta al correcto funcionamiento del sistema (Tituaña, 2016). En concordancia a lo anterior se hace imperativo estudiar el desarrollo de las tecnologías de acumulación al momento de adquirir la batería, la Tabla 2 presenta las baterías más representativas que se incorporan en los sistemas fotovoltaicos.

**Tabla 2**

*Baterías incorporadas en sistemas fotovoltaicos, usos y características*

| BATERÍAS                    | APLICACIONES   | CARACTERÍSTICAS   | DIFICULTADES  |
|-----------------------------|--|---|---|
| <b>PLOMO-ÁCIDO</b>          | Regulación de la carga. Estabilización de la red, red aislada                          | Tecnología madura, presenta bajos costos. En términos de duración se encuentra óptima y de buena duración. Presenta elevado contenido que se puede reciclar | Baja densidad energética, aporta contaminación al medio ambiente. Genera costos por mantenimiento (corrosión). La vida útil es baja |
| <b>NIQUEL CADMIO</b>        | Sistema aislado  | Tecnología madura   | Presenta químicos tóxicos para el medio ambiente. Costos altos, densidad de energía baja  |
| <b>Ni-MH</b>                | Sistema aislado  | Tecnología madura   | Auto-descarga alta, densidad de energía baja  |
| <b>SULFURO DE SODIO NaS</b> | Calidad de la energía óptima, soporte en la transición de fuentes de energía renovable | Ciclos de descarga largos, larga duración con buen potencial de escala  | Requiere una T° de operación en un rango de 250°-300°C. Presenta desgastes ocasionados por la corrosión y sellos de vidrios         |
| <b>BATERIA NaNiCl</b>       | Capacidad de almacenamiento alta   | Tecnología madura   | Requiere una T° de operación en un rango de 250°-300°C.   |

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

|                                  |  |             |  |  |
|----------------------------------|--|-------------|--|--|
| <b>ION LITIO</b>                 | Capacidad de almacenamiento alta, frecuencia de regulación.  | de alta, de | Eficiencia en los ciclos de carga-descarga, presenta aplicaciones versátiles y contiene ciclos de vida largos                        | Elevados precios de producción. Es sensible a sobrecalentamientos y a descargas profundas de duración extensa.           |
| <b>METAL LÍQUIDO Mg-Sb</b>       | Grandes almacenamientos  |             | Disponibles en prototipos, desarrollo.   | en T° de operación alta, en tecnología no probada requiere de un voltaje de 0,4v en la celda                             |
| <b>BATERIAS DE FLUJO VFR</b>     | Regulable en frecuencia, reducción de picos. Presenta gran almacenamiento.   | en          | Extensa vida útil, baja eficiencia en los ciclos de carga-descarga   | Tecnología en desarrollo, baja densidad de energía   |
| <b>BATERIAS DE GEL</b>           | Baterías selladas. Instalaciones solares de mediano y pequeño tamaño. Utilizada en lugares donde existen cambios bruscos de T°. Sistemas aislados. |             | Alta durabilidad, extensa vida útil y sobresaliente desempeño. Ciclos de descarga profundos  | Costos altos en la adquisición, presenta gastos por mantenimiento por corrosión  |
| <b>BATERIAS AGM</b>              | Alta intensidad de descarga. Instalaciones solares de mediano y pequeño tamaño   | de          | Batería sellada, compuesta de plomo ácido, altas corrientes en los ciclos de carga-descarga.   | Es sensible a sobrecalentamientos y a altas temperaturas y condiciones climáticas extremas.                              |
| <b>BATERIA ESTACIONARIA PSzS</b> | Almacenamiento prolongado. Instalaciones de mediano y pequeño tamaño. Sistemas aislados  |             | Funcionalidad de regímenes de ciclos de carga-descarga lenta, toleran altas temperaturas   | Requiere comprobar la concentración de ácido sulfúrico ya que puede generar sulfatación en la batería. Gasificación alta |
| <b>BATERIA ESTACIONARIA PSzV</b> | Baterías selladas, almacenamiento fuera de la red. Sistemas aislados   |             | Tiempo de vida útil de 15 años, alta versatilidad. Gasificación mínima, aplicabilidad para tecnologías que se encuentran en stand by | Alta densidad energética, pérdidas de agua y gasificación si el sistema se colmata de agua.                              |

Fuente: Tomada de (AutoSolar, 2021) y (Tituaña, 2016).

Si bien la presentación de distintas tecnologías de acumulación para los sistemas fotovoltaicos permite aterrizar la oferta en el mercado, el trabajo investigativo se enfocara en las baterías tipo Monoblock, estacionaria e Ion-litio ya que son las más representativas en el mercado energético, presentan especificaciones propias según el fabricante y no generan grandes concentraciones de gases o metales vertidos al medio ambiente, sin embargo generan costos por mantenimiento sino se les proporciona un adecuado funcionamiento. En la Tabla 3 se presenta un resumen de las baterías sus características generales y el rango de operación según el tipo de potencia.

**Tabla 3**

Tecnologías de acumulación, especificaciones generales

| Batería                           | Monoblock |        | Estacionaria |   | Ion-litio   |
|-----------------------------------|-----------|--------|--------------|---|---|
|                                   | AGM       | Gel    | acido plomo  | PSzS  | PSzV  |
| Ciclos de vida                    | 500       | 1200   | 300          | 2500-3000   | 3000-3500   |
| Intensidad nominal                |           | 250 Ah |              | 245Ah   | 200 Ah  |
| % de descarga máx.                |           | 60%    |              | 60%   | 90%   |
| Sis. Baja potencia 12Vdc a 1500 W | Media     | bueno  | mala         | Muy útil para los sistemas de media-alta potencia y solo conexiones en serie. Resulta muy costoso. Se suplen con baterías tipo gel. | Muy útil para todo los sistemas de potencia y se pueden conectar en serie o paralelo sin afectar su garantía. Desventaja muy costo se suplen con las baterías de gel. |

|  |   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
|--|---|---|--|-----------|--|-----------|-------------|--|-----------|-------------|--|-----------|-------------|--|-----------|-------------|--|-----------|-------------|--|--|
| <p>Sis. Media potencia 24-48Vdc 1500 a 5000 W</p>      | <p>Son muy eficientes para trabajos de 300 A. Ya con cargas mayores son la mejor opción las baterías estacionarias o de Ion-Litio.</p>  | <p>Muy eficientes costo alto gran eficiencia y mayores ciclos de vida.</p>  | <p>Muy eficientes costo alto gran eficiencia y mayores ciclos de vida.</p>   |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| <p>Sis. Alta potencia 120 Vdc a 5000 W en adelante</p> | <p>Por los precios que resultan al hacer el balance económico y por lo ciclos de vida que ofrece, las baterías estacionarias y de Ion-Litio son la mejor opción.</p>  | <p>Los más recomendados para sistemas con motores por que soportan arranques de corriente altas en los primeros segundos de funcionamiento para el arranque del motor.</p>  | <p>Su desventaja es que para suplir los arranques de motores se necesita conectar más baterías en paralelo solo para suplir el arranque alto de corriente generando un costo elevado por más baterías.</p> |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| <p>Precio</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batería plomo acido abierta:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Batería tipo gel:</li> <li>• Batería tipo AGM:</li> </ul> </li> <li>• Batería estacionaria:             <ul style="list-style-type: none"> <li>OPzS</li> <li>OPzV</li> </ul> </li> <li>• Batería Ion-Litio:</li> </ul> | <table border="0"> <tr> <td>250 A 12V</td> <td>\$235.900</td> <td></td> </tr> <tr> <td>250 A 12V</td> <td>\$1.661,735</td> <td></td> </tr> <tr> <td>250 A 12V</td> <td>\$1.461,416</td> <td></td> </tr> <tr> <td>245 A 12V</td> <td>\$4.429,484</td> <td></td> </tr> <tr> <td>294 A 12V</td> <td>\$4.933,877</td> <td></td> </tr> <tr> <td>200 A 12V</td> <td>\$7.506,279</td> <td></td> </tr> </table> | 250 A 12V  | \$235.900 |  | 250 A 12V | \$1.661,735 |  | 250 A 12V | \$1.461,416 |  | 245 A 12V | \$4.429,484 |  | 294 A 12V | \$4.933,877 |  | 200 A 12V | \$7.506,279 |  | <p>mil pesos COP<br/>mil pesos COP<br/>mil pesos COP<br/>mil pesos COP<br/>mil pesos COP<br/>mil pesos COP</p> |
| 250 A 12V  | \$235.900   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| 250 A 12V  | \$1.661,735   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| 250 A 12V  | \$1.461,416   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| 245 A 12V  | \$4.429,484   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| 294 A 12V  | \$4.933,877   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |
| 200 A 12V  | \$7.506,279   |   |  |           |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |           |             |  |  |

Fuente: Adaptada de (AutoSolar, 2021).

Según (Ladrón de Guevara, 2018) las baterías monoblock son una estrategia donde el consumo energético se ha reducido, las baterías AGM al contar con ciclos bajos al igual que las tecnologías monoblock no son las más adecuadas a implementar en un sistema fotovoltaico autónomo si se requiere de periodos de vida útil prolongados, las baterías de litio y las baterías estacionarias son utilizadas en instalaciones que requieren un consumo diario en tiempos largos, sin embargo, necesitan mantenimiento mínimo si no se regulan factores como la temperatura y la adición de agua respectivamente. Finalmente, la batería de litio presenta problemas enmarcados en el costo elevado para su adquisición.

## 4.2. Parámetros de trabajo de baterías en sistemas fotovoltaicos autónomos

Luego de establecer las características de las principales baterías para uso de los sistemas fotovoltaicos off-grid, se hace necesaria la identificación de los parámetros que se requieren para el funcionamiento óptimo y eficiente del sistema tal como se nombra de forma generalizada en las dificultades presentadas en la Tabla 2. En ese sentido, la Tabla 4 especifica los parámetros que mayor inciden en la vida útil de las baterías y en el funcionamiento dentro del sistema fotovoltaico.

### Tabla 4

*Parámetros que se deben tener en cuenta para la funcionalidad de las baterías*

| PARÁMETRO                                       | DESCRIPCIÓN   |
|---|---|
| <b>PROFUNDIDAD DE DESCARGA Y CICLO DE CARGA</b> | Es el porcentaje máximo de energía que puede llegar a descargar una batería recomendada por el fabricante sin que llegue a perjudicar sus ciclos de vida. Cuando cumple ese porcentaje comienza su recarga para recuperar su capacidad total al 100%, en ese proceso se inicia un ciclo de carga que equivale a un ciclo de vida que dependiendo del tipo de batería ofrecen de 500 a 3000 o más ciclos de vida; las descargas al 80% ofrecen más ciclos de vida y las del 60 % menos ciclos de vida. |

Es la capacidad de intensidad o corriente que puede suministrar cuando está cargada al 100% en un determinado tiempo con una tensión o voltaje constante. La capacidad de una batería está definido como amperios hora (Ah) que representa la cantidad de corriente que circula en una hora. La intensidad de descarga del acumulador por el tiempo de descarga. Para la determinación de la capacidad de la batería se utiliza la ecuación 1, la cual se presenta a continuación:

**Ecuación 1.** Determinación de la capacidad de la batería

$$C = X \cdot t$$

X= son los amperios que necesita la tecnología

T= el tiempo en horas del funcionamiento

Fuente: Tomada de (Autosolar, 19 de abril de 2015).

### **Cálculo de la capacidad de la batería según los días de autonomía**

Para calcular la capacidad de la baterías de un sistema autónomo se tiene la siguiente formula donde se puede realizar el cálculo aproximado.

**Ecuación 2.** *Cálculo de la capacidad de la batería según los días de autonomía*

**CAPACIDAD DE LA BATERÍA**

$$Cbaterias = \frac{Dmax * Da}{Pd * Vsistema}$$

Dmax= demanda máx.  
Da= Días de autonomía  
Pd= Profundidad descarga batería  
Vsis= Voltaje sistema

**RENDIMIENTO**

Fuente: Gómez, Cagüañas & Forero (2017). Herramienta para establecer paneles fotovoltaicos en Colombia.

Relación entre la energía que se extrae de la batería y la energía que ingresa en la misma. Se fundamenta en las pérdidas que ocurren en la batería durante la carga y descarga por efectos caloríficos.

**TEMPERATURA**

La temperatura ambiente debe ser optima ya que si se someten a altas temperaturas a partir de 35°C se disminuye su vida útil generando cambios a corto plazo y gastos en nuevas baterías y al estar a bajas temperaturas a partir de los 10°C, su vida útil es más prolongada pero su eficiencia disminuye porque su estructura química tiende a congelarse. La temperatura promedio para que trabajen en las mejores condiciones está en el rango de 25°C recomendada por el fabricante

---

Fuente: Gómez, Cagüañas & Forero (2017).

**Afectación de las características en el desempeño de las baterías**

Con base en la información recolectada en la tabla anterior se procede a analizar cómo afectan los parámetros descritos en el uso de trabajo de las baterías dentro de los sistemas fotovoltaicos autónomos:

Uno de los factores donde más inciden es la vida de una batería, siendo calculada a partir de los ciclos de vida que genera la carga y descarga en su proceso de trabajo. Un ciclo de carga significa cuando se produce un porcentaje de la descarga asignada, por ejemplo, que del 60% de su capacidad total y empieza el proceso de carga total. Adicionalmente, los factores que influyen en el degradación de la batería son varios por eso es importante mantener los parámetros que exige el fabricante para garantizar un mayor tiempo de vida. Los ciclos de descarga entre más profundo sean menores serán sus ciclos de vida, por que degradan más rápido sus componentes químicos. Si las descargas están por encima del 80% mantendrá una batería más sana prolongando su vida útil, por

ejemplo, una batería puede entregar a una carga 20 A en 10 h o 2 A en 100 h lo que significa que una descarga más rápida o más lenta produce mayores o menores ciclos de vida y por durabilidad es más recomendable las descargas lentas.

Otro factor es el proceso de recarga al no recibir el flujo de corriente necesario no estará cargado en su tope máximo produciendo sulfatación en sus componentes internos, la intensidad de recarga ideal debe ser el 10% de la capacidad nominal, ejemplo si la capacidad nominal es de 250 Ah se multiplica por el 10% sería igual a 25 A de intensidad de recarga que necesita la batería; durante las recargas se producen recalentamientos considerados por eso el exceso de carga provoca daños en las placas del electrolito provocando corrosión y una menor durabilidad de la batería.

La temperatura ideal de trabajo está en 25°C, a mayor temperatura disminuye el tiempo de vida porque sufren evaporaciones internas que envejecen la batería y a temperaturas muy inferiores el electrolito tiende a congelarse lo que disminuye su eficiencia, pero aumenta su vida útil. Finalmente, la Tabla 5 recomienda las tensiones para la selección de las baterías según la potencia.

**Tabla 5**

Tensiones para el voltaje de la batería

| Potencia Demandada por el sistema (W) | Tensión de trabajo de la batería(V) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Menos de 1500                         | 12                                  |
| Entre de 1500 y 5000                  | 24-48                               |
| Mayor de 5000                         | 120-300                             |

Fuente: Tomada de (Montaño, 2021)

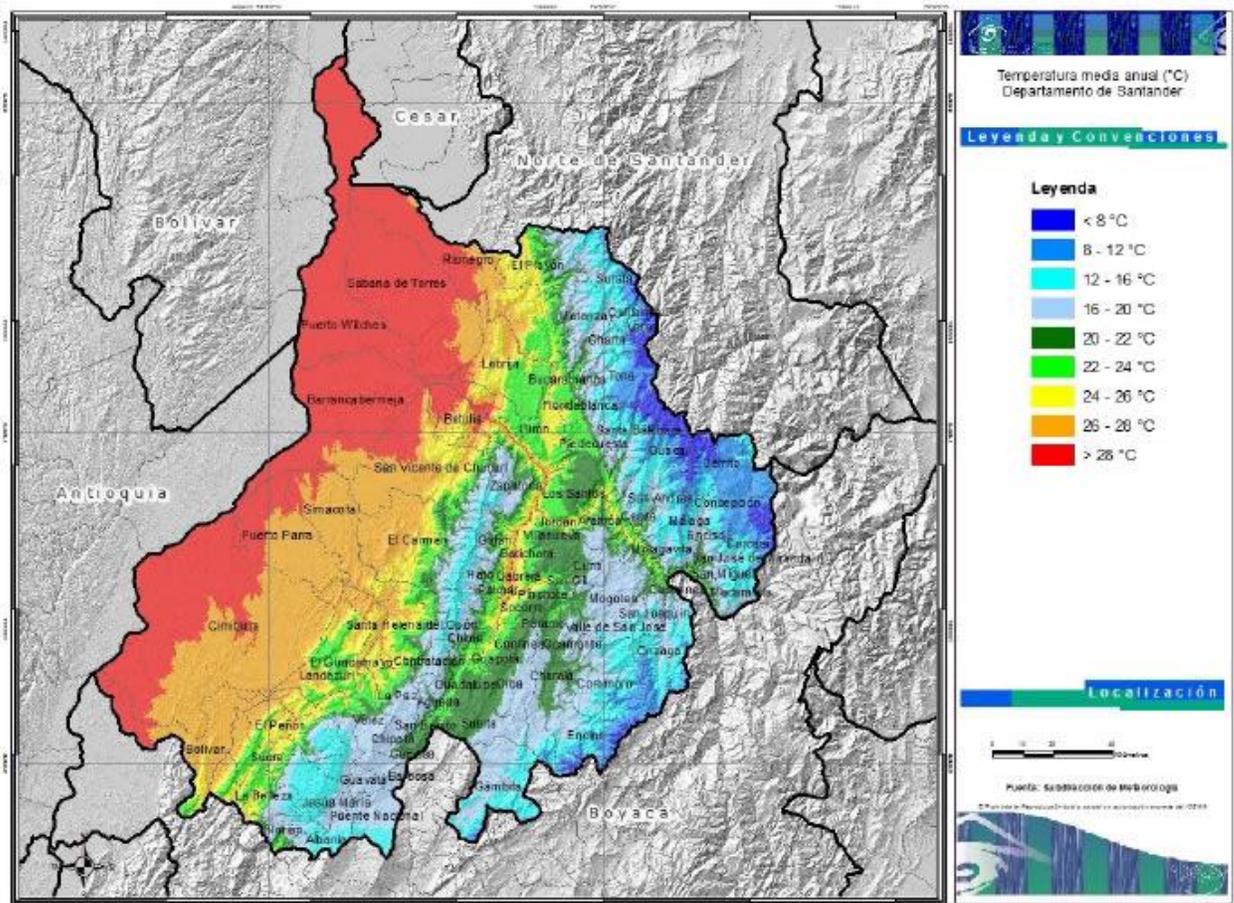
### **4.3. Tecnologías de acumulación para sistemas fotovoltaicos autónomos que se instalan en las zonas rurales de Santander, Colombia**

La tecnología de acumulación debe ser capaz de sostener corrientes moderadas, durante varias horas según el requerimiento de la zona rural del departamento de Santander. Las baterías consumen aproximadamente el 50 % de la inversión total de un sistema fotovoltaico autónomo por eso si se sobredimensiona la capacidad se estaría generando un gasto innecesario y si al contrario no cumple con la capacidad de carga se genera un daño que reduce la eficiencia del sistema y la vida útil de la batería. Las baterías que mejor funcionan en Colombia se basan en varios factores a tener en cuenta, entre los cuales la temperatura y el valor adquisitivo del usuario.

- **Factor temperatura:** Los niveles de temperatura adecuados para trabajar las baterías solares son 25°C recomendados por el fabricante. Las baterías en el momento de la carga y descarga su nivel de temperatura aumenta por eso es primordial que se instalen en zonas con buena ventilación. El incremento de la temperatura en un 10% disminuye la vida útil en un 50% y a temperaturas muy bajas su electrolito tiende a congelarse provocando daños graves.
- **El factor económico:** Depende del tipo de consumo que generara el sistema fotovoltaico, la cantidad de equipos electrónicos y/o electrodomésticos, autonomía del sistema y brillo solar, siendo los requerimientos que moldean y determinan el tipo de batería. No obstante, la situación económica de la comunidad rural inciden en la adquisición de la tecnología optando en la mayoría de los casos por tecnologías que se encuentren en rangos asequibles dejando a un lado las características de operatividad y eficiencia de la tecnología de acumulación.

Para determinar el tipo de batería es necesario conocer la temperatura de la zona donde el sistema va a operar por eso se evalúa por medio de un mapa meteorológico donde nos especifica los diferentes tipos de temperatura de cada región de Santander cómo se logra observar en la figura 9.

**Figura 9.** Mapa temperatura media anual Departamento de Santander



Fuente: Adaptada de (IDEAM, 2020).

Para el año 2020, Santander presentó un incremento en los niveles de radiación solar alcanzando niveles de 11 y 12 en los ecosistemas de montaña del departamento (Vanguardia, 2020). No obstante, el departamento se caracteriza por presentar una temperatura máxima promedio diaria de 30°C, la temporada seca comprende los meses de diciembre, enero, y febrero y otra, menos

significativa, en junio, julio y agosto., las temporadas lluviosas ocurren en abril y mayo, la primera, y en septiembre y octubre, la segunda (TodaColombia, 2019).

Con base en lo anterior, se realiza la evaluación de los cuatro tipos de tecnologías de baterías para sistemas fotovoltaicos autónomos descritos en los apartados anteriores (ver Tabla 6).

**Tabla 6**

Evaluación de las baterías según sus características

| Tipos de baterías   | Características principales  | Calificación        |       |      |
|---------------------|--|---------------------|-------|------|
| Monoblock           |  | Sistema de potencia |       |      |
| Plomo acido abierta | Muy economicas<br>Sis. De potencia baja<br>Mantenimiento frecuente<br>60% de descarga aprox 300 ciclos de vida<br>No tolera las altas temperaturas   | Baja                | media | alta |
| AGM                 | Mas costosa<br>No necesita mantenimiento<br>Sis. De potencia baja-media<br>60% de descarga aprox 500 ciclos de vida, al 80% duplica su ciclo de vida.<br>Tolera las altas temperaturas pero afecta su eficiencia y ciclo de vida.                    | xx                  | xx    | x    |
| Gel                 | costo un poco mayor a la AGM<br>No necesita mantenimiento<br>Sis. De potencia baja-media<br>60% de descarga aprox 1500 ciclos de vida, al 80% duplica su ciclo de vida.<br>Tolera las altas temperaturas pero afecta su eficiencia y ciclo de vida.  | xxx                 | xxx   | x    |
| POzS                | Costo elevado<br>Sis. De potencia media-alta<br>60% de descarga aprox 2500-3000 ciclos de vida, al 80% duplica su ciclo de vida.<br>Mantenimieno frecuente<br>Las altas tempraturas evaporan rapidament su liquido interno y a bajas las solidifica. | x                   | xxx   | xxx  |

| Tipos de baterías | Características principales  | Calificación |     |     |
|-------------------|--|--------------|-----|-----|
| POzV              | Costo más elevado que la anterior por ser tipo gel.<br>No necesita mantenimiento<br>Ciclos de vida al 80% de 10 a 15 años.<br>Tolera las altas y bajas temperaturas pero disminuye la vida útil de la batería. | x            | xxx | xxx |
| Ion-Litio         | Las más caras del mercado<br>Sis. De potencia baja-media-alta<br>90% de descarga aprox 15 años de vida tolera altas y bajas tempraturas.   | xxx          | xxx | xxx |

Nota: xxx de alta aplicabilidad, xx de posible aplicabilidad, x poca aplicabilidad.

Fuente: La tabla fue realizada por el autor bajo el análisis de la información recolectada en los apartados anteriores.

## 5. RESULTADOS

Al analizar los tipos de tecnologías de las baterías para trabajar en las diferentes zonas rurales o urbanas de Santander bajo las condiciones climatológicas que beneficien sus características de trabajo debido a las diferentes temperaturas que existen en cada Región o Municipio no se puede definir una batería en especial debido a que los costos de cada batería influyen a la hora de su elección y se maneja un rango de costo beneficio. Cada batería tiene su ventaja y desventaja una con respecto a la otra, pero cada una cumple una excelente labor si se trabaja en las condiciones que especifica el fabricante. Se mostrará en una tabla que baterías son la más propicias para trabajar dependiendo de las temperaturas que hay en cada zona la elección ya radica en lo económico y al tipo de potencia de la carga.

- **Para las zonas más calurosas**

Las temperaturas medias están con valores superiores a 28°C que son los municipios de Puerto Wilches, Sabana, Barrancabermeja y a lo largo de las riberas del río Magdalena. Para estas zonas las baterías más adecuadas son la tipo gel y de ion-litio debido a que soportan más las altas y bajas temperaturas la tipo estacionaria OPzS líquida tiende a evaporar su líquido con más frecuencia necesitando de un mantenimiento muy frecuente.

**Tabla 7**

Baterías para zonas con altas temperaturas

| Tipo de batería<br>Voltaje nominal | Potencia W            | Ciclos de vida<br>% descarga | Capacidad | Precio pesos COP |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------|------------------|
| Monoblock Gel<br>12V               | 1500-5000             | 60% - 1200                   | 250 [Ah]  | \$1.661,735      |
| Estacionaria OPzV<br>12V           | 1500 a más de<br>5000 | 60% - 2500-3000              | 294 [Ah]  | \$4.890,517      |
| Ion-Litio<br>12V                   | 1500 a más de<br>5000 | 90% - 3000-3500              | 200 [Ah]  | \$3.686,068      |

Fuente: Tomada de (AutoSolar, 2021).

- **Los climas templados**

Se concentran al nororiente del departamento sectores de menores lluvias y también al sur, en municipios como Charalá, Oiba y Suaita generando climas templados húmedos. Para estos lugares se especifican todas las baterías las monoblock, estacionarias y de Ion-Litio, ya que su temperatura que no es ni muy fría ni caliente trabaja muy bien de acuerdo a las características del fabricante.

- **Los climas fríos**

En las estribaciones con la cordillera Oriental los climas son de tipo frío y para estas zonas las baterías que presentan mayor eficacia para trabajar son las tipo Gel y de Ion-Litio, la tipo estacionaria OPzS líquida tiende a congelarse su electrolito.

## 6. CONCLUSIONES

Las instalaciones fotovoltaicas off-grid permiten abastecer de energía las zonas rurales y urbanas de fluido eléctrico para el funcionamiento de sus sistemas eléctricos y electrónicos, permitiendo una calidad de vida a las comunidades más afectadas por la falta del fluido eléctrico, representan una alternativa con gran potencial ya que no utiliza las fuentes de energía convencionales para su operación, sino que aprovecha fuentes renovables brindando autonomía al usuario. No obstante, presenta dificultades en su implementación debido a que los beneficios por la adquisición del sistema se dan a largo plazo, por lo cual genera controversia en las zonas apartadas, arraigado a esto la baja educación ambiental es una barrera en el cambio cultura y en la transición energética.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada es complicado definir una sola batería para el uso de sistemas fotovoltaicos, debido a que las baterías tienen características muy particulares que las hacen útiles para los diferentes sistemas de potencia. En términos económicos, el costo de las diferentes tecnologías en las baterías es un factor determinante en la elección de la tecnología ya que se puede elegir la batería de acuerdo con el presupuesto que se evalúe y mejor se adapte al sistema y para el que lo financia, por lo cual representa una limitación al momento implementarlo en los paneles solares ya que la rentabilidad se da a largo plazo.

Cabe mencionar que las baterías monoblock son las más económicas en el mercado energético, no obstante, las baterías monoblock y las baterías AGM requieren un consumo energético en cantidades reducidas, por lo cual no se encuentra apta para un uso masivo y/o uso diario. Las baterías de litio y las baterías estacionarias son utilizadas en instalaciones que requieren un consumo diario en tiempos largos.

## 7. RECOMENDACIONES

- Es importante acudir a las charlas y foros que se están presentando a nivel virtual en las diferentes universidades como las Unidades Tecnológicas de Santander que mediante su plataforma invita a asistir a estos eventos virtuales debido al gran auge de los sistemas fotovoltaicos, para ampliar los conocimientos adquiridos durante el seminario y reforzar dudas acerca de las nuevas tecnologías que se están desarrollando.
- Incentivar la educación ambiental enmarcada en la eficiencia energética y la rentabilidad que brinda el uso de baterías en sistemas fotovoltaicos autónomos en las zonas rurales del departamento de Santander, Colombia.
- Al momento de adquirir el sistema fotovoltaico incorporando tecnologías de acumulación y realizado el mantenimiento, cambios o ajustes, se recomienda entregar el material a empresas dedicadas a la disposición final de residuos peligrosos.

## 8. Referencias Bibliográficas

Alvarez, A. (2012). Normativa sobre energía solar termica y fotovoltaica. Colombia: Icontec.

Anaya, M. (2019). Diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos autonomos para electrificación rural de los tipos 1, 2 y 3 en áreas no conectadas a la red electrica en el Perú. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Arencibia, G. (09 de 09 de 2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. REDVET, Revista Electrónica de Veterinaria, 1-4.

Avendaño, M. (13 de 03 de 2020). Metodología para determinar la condición de carga de la baterías de ciclo profundo en aplicaciones fotovoltaicas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Bernal, J. P. (16 de 08 de 2020). Apoyo en los procesos y desarrollos de las labores de emplazamiento preventivo, correctivo y puesta a punto de un sistema fotovoltaico on grid, off grid, e hibrido en la Compañía Energysoft S.A.S Ibagué-Tolima. Ibagué, Tolima: Universidad Antonio Nariño.

Bonilla, H., Córdoba, D., & Peña, C. (2020). Estudio de pre-factibilidad del diseño de un sistema fotovoltaico para suplir la energía eléctrica de la vereda las Delicias del municipio de Vista Hermosa Meta. Villavicencio, Meta: Universidad Cooperativa De Colombia.

Bustamante, A., & Chávez, M. (2018). Implementación de sistema de abastecimiento de agua mediante bombas solares. Hualpén, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepcion "Rey Balduino Belgica.

- Chunga, I. (06 de 03 de 2020). Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP. Piura: Universidad de Piura.
- DNP, MINMINAS, & UPME. (2016). Instalación de sistemas solares fotovoltaicos individuales en zonas no interconectadas. Bogotá DC: Departamento Nacional de Planeación.
- Domínguez, A. (02 de 04 de 2020). Instalación fotovoltaica aislada para casa de veraneo en Halmstad. País Vasco: Universidad del país Vasco.
- Espinoza, J., & Zanoni, F. (05 de 03 de 2021). Google Diseño de sistemas fotovoltaicos off-Grid, red secundaria y conexiones domiciliarias para para suministro eléctrico. Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán.
- Gomez, S., Cagüeñas, G., & Forero, E. (30 de 04 de 2017). Herramientas para Establecer Paneles Fotovoltaicos en Colombia. 1-10.
- Jiménez, J. (2019). Evaluación económica de un sistema fotovoltaico con baterías bajo diferentes escenarios y modelos tarifariosE. Bogotá DC: Universidad de los Andes.
- Labandeira, X., Linares, P., & Würzburg, K. (17 de 08 de 2017). Energía Renovable y Cambio Climático. Cuadernos económicos de ICE, 37-60.
- Ladrón de Guevara, J. (12 de 09 de 2018). Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lopez de Lacalle, A. (31 de 01 de 2018). Estimación de la vida útil de baterías en sistemas fotovoltaicos. Influencia de la gestión energética del sistema. Zaragoza: Universidad Zaragoza.

Marín Ospina, A. F., & Vélez Quintero, L. F. (10 de 06 de 2019). Diseño de un sistema de potencia fotovoltaico para alimentar un proceso de enfriamiento Peltier utilizado en la conservación de vacunas en zonas no interconectadas. Medellín: Institución Universitaria Pascual Bravo.

Montaño, J. (31 de 01 de 2021). Sistemas Fotovoltaicos off Grid y la Electrificación Rural Sostenible de las Zonas Aisladas. Un Caso de Estudio. Bellavista, Perú: Universidad Nacional del Callao.

Narayan, N., Papakosta, T., Vega, V., Qin, Z., Popovic-Gerber, J., Bauer, P., & Zeman, M. (15 de 10 de 2018). Estimating battery lifetimes in solar home system desing using a practical modelling methodology. *Energía aplicada*, 1629-1639.

Nieva Granero, L. (13 de 09 de 2017). Diseño de una instalación fotovoltaica aislada para un área de servicio. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia-UPV.

Orjuela, K., & Vanegas, J. (11 de 10 de 2019). Evaluación técnico financiera del uso de paneles solares en un sistema de bombeo mecánico, como estrategia para la optimización de la eficiencia y de los costos operativos. Bogotá DC: Fundación Universidad América.

Peñuelas, J., Sardanas, J., Walsh, B. J., Ciais, P., Janssens, I. A., Riahi, K., . . . Obersteiner, M. (11 de 11 de 2017). Los Posibles escenarios energéticos con vistas al cumplimiento del Acuerdo de París. *Ecosistemas* , 103-105.

Peralta, E. (2011). La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Bogotá DC: Pontificia Universidad Javeriana.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO  
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,  
EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

- Perez, D. (2015). Influencia del vehículo eléctrico sobre la fiabilidad de los sistemas eléctricos. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Pérez, E. (25 de 06 de 2019). Análisis económico de almacenamiento de energía en la red eléctrica mediante baterías de litio. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Petrel, C. (2021). Diseño de sistema solar fotovoltaico aislado he individual en el corregimiento Bocas del Atrato-Turbo. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ramón, A., & Pineda, R. (28 de 03 de 2015). Análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema Fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana sede de Cuenca. Cuenca: Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca.
- Roa, J. (29 de 01 de 2021). Instalación y documentación legal de proyectos fotovoltaicos on grig y off grid. Tunja: Universidad Santo Tomás seccional Tunja.
- Suárez, C. (2019). Desarrollo de un sistema fotovoltaico piloto para evaluar el desempeño de sistemas aislados en el laboratorio de energías renovables de la UNAB. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- Tituaña, A. (20 de 09 de 2016). Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- TodaColombia. (21 de Febrero de 2019). Clima Departamento de Santander. Obtenido de <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/santander/clima.html>
- Torrealba, C. (23 de 09 de 2020). Estudio comparativo de baterías de ion de litio y celdas de combustible regenerativas como sistemas de almacenamiento de

energía eléctrica en una planta fotovoltaica del Norte de Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Universidad de los Andes. (S.f). 7. Energía asequible y no contaminante. Obtenido de <https://datosods.uniandes.edu.co/indicadores-para-los-ods/7-energia-asequible-y-no-contaminante>

Vanguardia . (12 de Febrero de 2020). Alerta por altos niveles de radiación solar en Santander. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/alerta-por-altos-niveles-de-radiacion-solar-en-santander-EX2000006>

Vera, L. H., Martelote, B. J., Cáceres, M., & Firman, A. D. (13 de 07 de 2018). Determinación de la capacidad de baterías solares VRLA utilizados en el Permer Argentina. Gramado: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.