

Desarrollo de una aplicación para el cálculo de la energía generada por paneles solares de distintas tecnologías y determinación del mejor sistema de almacenamiento en los distintos tipos de baterías para el municipio de Málaga, Santander.

Fabian Augusto Rodríguez Rojas y Yenifer Katherine Rivera Cañón

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Metalúrgico

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniera Electrónica

Director

Oscar Andrés Vargas Ceballos

PhD en Química

Codirectora

Mónica Andrea Botero Londoño

PhD en Ciencias-Física

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2021

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	9
1. Objetivos .....	11
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
2. Marco Teórico.....	12
2.1 Sistema Fotovoltaico Autónomo.....	12
2.2 Tecnologías usadas en la Producción y Almacenamiento de Energía Solar Fotovoltaica. ....	13
2.2.1 Tecnologías Utilizadas en Paneles Solares.....	13
2.2.1.1 Celdas de silicio monocristalino.....	14
2.2.1.2 Celdas de silicio policristalino.....	14
2.2.1.3 Celdas de película delgada de silicio.....	14
2.2.2 Tecnologías Utilizadas en Reguladores de Carga.....	15
2.2.2.1 Regulador MPPT (Maximun Power Point Tracking).....	16
2.2.2.2 Regulador PWM.....	16
2.2.3 Tecnologías Utilizadas en Baterías para Almacenamiento de Energía.....	16
2.2.3.1 Batería de Ion-Litio.....	17
2.2.3.2 Batería de Plomo-Ácido.....	17
2.2.3.3 Batería de Sodio-Sulfuro.....	17
2.2.4 Tecnologías Utilizadas en los Inversores.....	18
3. Dimensionamiento de Instalación Solar Fotovoltaica Aislada .....	19

3.1 Localización.....	19
3.2 Irradiación.....	20
3.3 H.S.P. y H.S.P. Corregida.....	21
3.4 Determinación del Consumo.....	23
3.4.1 Consumo por Aparatos Electrodomésticos.....	23
3.4.2 Consumo por Recibo de Luz.....	23
3.6 Dimensionamiento de los Componentes.....	25
3.6.1 Paneles Solares.....	25
3.6.2 Regulador de Carga.....	26
3.6.3 Baterías.....	26
3.6.4 Inversor.....	27
4. Desarrollo de la Aplicación.....	27
4.1 Selección del método de Cálculo de Consumo y Parámetros de Consumo.....	28
4.2 Determinación del rendimiento global de la Instalación.....	29
4.3 Selección de Paneles Solares Adecuados.....	30
4.4 Selección de Reguladores de Carga.....	31
4.5 Selección de Baterías.....	32
4.6 Selección del Inversor.....	34
4.7 Resumen.....	34
4.8 Resultados de la ejecución del software Solaris TeCol.....	35
5. Conclusiones.....	41
Referencias Bibliográficas.....	43

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.	15
<b>Tabla 2.</b> Características principales de las baterías estudiadas.	18
<b>Tabla 3.</b> Irradiación global de Málaga periodo 2015 – 2019.	21
<b>Tabla 4.</b> Factor de corrección K	22
<b>Tabla 5.</b> Constantes de rendimiento global	24
<b>Tabla 6.</b> Datos de Electrodomésticos Ingresados en la aplicación.	36

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Esquema sistema fotovoltaico autónomo.	13
<b>Figura 2.</b> Vista satelital municipio de Málaga, Santander.	20
<b>Figura 3.</b> Selección de Cálculo de Consumo y Parámetros de Consumo.	29
<b>Figura 4.</b> Variables del Rendimiento Global de la Instalación.	30
<b>Figura 5.</b> Información de Paneles Seleccionados.	31
<b>Figura 6.</b> Información de Reguladores de Carga Seleccionados.	32
<b>Figura 7.</b> Información de Baterías Seleccionadas.	33
<b>Figura 8.</b> Información del Inversor Seleccionado.	34
<b>Figura 9.</b> Resumen de los Datos Generados por la Aplicación.	35
<b>Figura 10.</b> Datos de Cálculo de Rendimiento Global del Sistema.	36
<b>Figura 11.</b> Resultados Selección de Paneles Solares.	37
<b>Figura 12.</b> Resultados Selección de Reguladores de carga.	38
<b>Figura 13.</b> Resultados Selección de Baterías (1).	39
<b>Figura 14.</b> Resultados Selección de Baterías (2).	39
<b>Figura 15.</b> Resultados Selección del Inversor.	40
<b>Figura 16.</b> Resumen de Resultados Seleccionados.	41

**Lista de Apéndices**

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Software Solaris TeCol.

Apéndice B. H.S.P. Corregido.

## Resumen

**Título:** Desarrollo de una aplicación para el cálculo de la energía generada por paneles solares de distintas tecnologías y determinación del mejor sistema de almacenamiento en los distintos tipos de baterías para el municipio de Málaga, Santander. \*

**Autores:** Fabian Augusto Rodríguez Rojas, Yenifer Katherine Rivera Cañón. \*\*

**Palabras Clave:** Sistema fotovoltaico autónomo, software, paneles solares, baterías.

### Descripción:

En este trabajo de grado se realiza el diseño y desarrollo de una herramienta de software llamada “Solaris TeCol” que tiene como objetivo determinar la configuración adecuada para un sistema fotovoltaico autónomo ubicado en el municipio de Málaga (Santander). Para realizar el dimensionamiento se tienen en cuenta diversas tecnologías y costos de los elementos que requiere un sistema fotovoltaico autónomo; para esto se eligió el software Visual Studio 2019 utilizando el lenguaje de programación Visual Basic .NET 4.7.2 mediante Windows Form con el fin de obtener una interfaz gráfica cómoda y amigable con el usuario.

La herramienta presenta una descripción de los elementos y tecnologías requeridas por un sistema fotovoltaico autónomo, tales como paneles, reguladores de carga, baterías e inversores, a partir de estos datos y valores de consumo de energía, se definen los algoritmos de selección programados en la aplicación, además se definen valores importantes como la irradiancia solar de la zona, para este caso se tomaron datos de irradiancia entre los años 2015-2019 de la base de datos de la NASA (NASA, 2019).

Asimismo, para obtener los resultados de selección de los elementos requeridos se realizan diversas comparaciones según el elemento para que el programa determine las dos opciones más adecuadas y así el usuario pueda definir a conveniencia cual opción elegir. Finalmente, se obtiene como resultado una aplicación de interfaz sencilla y amigable con el usuario, que lo guiará presentándole datos importantes de cada elemento, costos, espacio ocupado aproximado y enlaces a los distribuidores nacionales de los productos que el sistema fotovoltaico autónomo requiere.

---

\* Trabajo de Investigación.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Óscar Andrés Vargas Ceballos. PhD. en química. Codirector: Mónica Andrea Botero Londoño. PhD. en Ciencias-Física.

### Abstract

**Title:** Development of an application for the calculation of the energy generated by solar panels of different technologies and determination of the best storage system in different types of batteries for the municipality of Málaga, Santander. \*

**Authors:** Fabian Augusto Rodriguez Rojas, Yenifer Katherine Rivera Cañon. \*\*

**Keywords:** stand-alone photovoltaic system, software, solar panels, batteries.

### Description:

In this degree work is performed the design and development of a software tool called "Solaris TeCol" which aims to determine the appropriate configuration for an autonomous photovoltaic system located in the municipality of Malaga (Santander). To perform the sizing, several technologies and costs of the elements required for an autonomous photovoltaic system are considered; for this, the Visual Studio 2019 software was chosen using the Visual Basic .NET 4.7.2 programming language through Windows Form to obtain a comfortable and user-friendly graphical interface.

The tool presents a description of the elements and technologies required by an autonomous photovoltaic system, such as panels, charge controllers, batteries, and inverters, from these data and energy consumption values, the selection algorithms programmed in the application are defined, also important values such as solar irradiance of the area are defined, for this case irradiance data were taken between the years 2015-2019 from the NASA database (NASA, 2019).

Also, to obtain the results of selection of the required elements, several comparisons are made according to the element so that the program determines the two most appropriate options and thus the user can conveniently define which option to choose. Finally, the result is an application with a simple and user-friendly interface, which will guide the user by presenting important data of each element, costs, approximate occupied space, and links to national distributors of the products that the autonomous photovoltaic system requires.

---

\* Research work

\*\* Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering, Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Óscar Andrés Vargas Ceballos. PhD in Chemistry. Codirector: Mónica Andrea Botero Londoño. PhD in Science-Physics.

## Introducción

El crecimiento poblacional a nivel mundial como el desarrollo tecnológico que presenta la sociedad actual trae consigo una alta demanda energética; que es suplida en su mayoría con energías no renovables o energías que contaminan en gran medida el planeta tierra. Es por esto que el uso de energías amigables con el medio como la energía generada mediante paneles solares surge como solución a esta problemática mundial (Congreso de Colombia, 2014).

Una dificultad que se presenta actualmente es el acceso a suministro de energía eléctrica en Colombia ya que es difícil en algunas regiones, debido a la falta de infraestructura o difícil ingreso a la zona. Una alternativa a este problema son los sistemas fotovoltaicos autónomos cuya característica principal es la generación y acumulación de energía. (Koschmieder Lagos, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo de grado procura desarrollar una aplicación amigable, sencilla y con una interfaz atractiva hacia el usuario para determinar el diseño adecuado de un sistema fotovoltaico en el municipio de Málaga (Santander) teniendo en cuenta los componentes tales como paneles solares, reguladores de carga, baterías e inversores de diversas tecnologías disponibles ofertados por empresas presentes en el país.

La aplicación le presenta al usuario diversas opciones de cada elemento necesario en un sistema fotovoltaico seleccionado basado en tres criterios de selección; cumplir con los requerimientos del sistema, para determinar esto el usuario debe proporcionar datos de consumo eléctrico ya sea mediante la cantidad de electrodomésticos y sus horas de uso aproximado o el consumo de referencia del recibo de la luz; el segundo criterio consiste en la menor cantidad de elementos y el tercer criterio obedece a los elementos de menor costo monetario para el usuario.

El documento está conformado por 5 secciones. La primera sección presenta los objetivos trazados para cumplir a cabalidad este trabajo de grado. Luego en la segunda sección se describen

los elementos de los que consta un sistema fotovoltaico autónomo. Después en la sección tres se presenta el procedimiento para el dimensionamiento de cada elemento del sistema. A continuación, en la cuarta sección se plantea la interfaz diseñada en este trabajo y un ejemplo del software en ejecución. Finalmente, se enuncian las conclusiones obtenidas cumpliendo a cabalidad con los objetivos trazados.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación que permita determinar la cantidad de paneles solares requeridos de diferentes tecnologías, la energía producida por los mismos dependiendo del consumo energético del usuario, y calcular el almacenamiento en baterías de la energía producida dependiendo del costo y espacio necesario.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de radiación solar en el municipio de Málaga, Santander.
- Establecer un procedimiento de cálculo para determinar la cantidad de energía producida por paneles solares de diferentes tecnologías y el espacio que ocuparían.
- Establecer un algoritmo para la selección del mejor sistema de almacenamiento de energía en baterías, dependiendo de la energía producida, el espacio y el capital disponible.

## **2. Marco Teórico.**

Inicialmente la aplicación estaba enfocada en el cálculo de paneles y baterías teniendo en cuenta las diferentes tecnologías que se encuentran en el mercado colombiano. Sin embargo, un aspecto que afecta los cálculos es el rendimiento global del sistema, un parámetro importante que no solo tiene en cuenta a los elementos inicialmente planteados sino también dos elementos que juegan un papel importante en una instalación fotovoltaica que son el regulador y el inversor. A partir de esta observación y pensando también en la comodidad de quienes emplearan la aplicación, se extendió la base de datos con estos dos nuevos elementos; permitiendo que el usuario obtenga un diseño completo del sistema fotovoltaico autónomo.

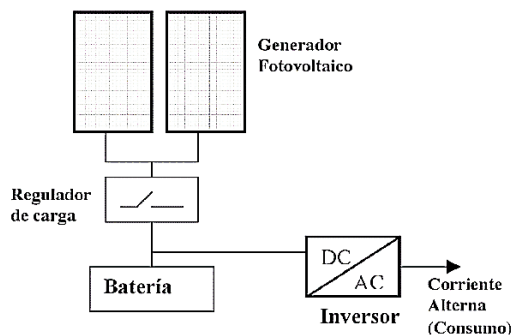
### **2.1 Sistema Fotovoltaico Autónomo**

La instalación fotovoltaica se puede dividir en cuatro elementos principales que se encargan de las funciones de: captación de energía, regulación, acumulación de energía e inversión de tensión.

Como se muestra en la Figura 1, está compuesto por: los módulos fotovoltaicos, el controlador o regulador de carga, las baterías y el inversor solar. El sistema fotovoltaico autónomo cuenta inicialmente con los paneles solares sobre los que incide luz solar para transformarla en electricidad, un regulador para evitar sobrecargas y la reducción de la vida útil de las baterías, estas a su vez, son las encargadas de acumular la energía generada para ser empleada en periodos de poca o nula radiación y de donde se alimenta la carga; teniendo finalmente el inversor que suministra la electricidad a los aparatos en corriente alterna AC (Alvarado-Fajardo,2014).

**Figura 1.**

*Esquema sistema fotovoltaico autónomo.*



## 2.2 Tecnologías usadas en la Producción y Almacenamiento de Energía Solar Fotovoltaica.

La tecnología fotovoltaica busca convertir directamente la radiación solar en electricidad. Basada en el efecto fotovoltaico, en el proceso se emplea dispositivos denominados celdas fotovoltaicas, los cuales se basan en semiconductores sensibles a la luz solar, de manera que cuando se exponen a esta, se produce en la celda una circulación de corriente eléctrica (Secretaría de Energía Argentina, 2008).

### 2.2.1 Tecnologías Utilizadas en Paneles Solares.

Las celdas solares de silicio son en realidad un término general que describe una amplia variedad de estructuras de dispositivos fotovoltaicos de silicio que utilizan diversas formas de silicio (monocristalino, policristalino, microcristalino amorfo y poroso), y realizadas con una selección diversa de procesos de deposición o crecimiento de cristales y técnicas de fabricación (Markvart & Castañer, 2005).


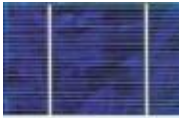

En la actualidad, la industria fotovoltaica se basa en celdas solares fabricadas con obleas de silicio cristalino, que proporcionan alrededor del 90% de la potencia fotovoltaica total instalada. Con la introducción de nuevas tecnologías, la brecha entre las celdas solares policristalinas y las monocristalinas se ha reducido. Los lingotes de Si se cortan en obleas finas con sierras de varios hilos, con rendimientos de 500 a 700 obleas por día y por máquina (Luque & Hegedus, 2003):

**2.2.1.1 Celdas de silicio monocristalino.** se fabrican inicialmente como cilindros largos, luego se cortan en discos delgados llamados obleas. Inicialmente redondas (~300µm de espesor), las obleas a menudo tienen sus bordes cortados para crear una oblea casi cuadrada con esquinas ligeramente redondeadas, esto aumenta su densidad de empaque en el módulo. Las celdas monocristalinas tienen un aspecto muy uniforme. Su color puede variar, pero normalmente es azul oscuro o negro. Estas celdas presentan eficiencias comerciales del orden de 15 a 18% (Luque & Hegedus, 2003).

**2.2.1.2 Celdas de silicio policristalino.** se fabrican con un proceso de menor coste que las obleas de silicio monocristalino. Se funden en largos lingotes cuadrados. Tras el corte, las obleas policristalinas ya tienen la forma cuadrada deseada. En comparación con las células monocristalinas, las policristalinas también suelen tener un color azulado y son del mismo tamaño, pero son ligeramente menos eficientes y de menor coste. Tanto las células monocristalinas como las policristalinas tienen rejillas metálicas en la parte delantera en forma rectangular para recoger la electricidad y para conectar con la siguiente celda. Estas celdas presentan eficiencias comerciales del orden de 12 a 14% (Luque & Hegedus, 2003).

**2.2.1.3 Celdas de película delgada de silicio.** están compuestas por átomos de silicio que carecen de propiedades cristalinas. Se denominan comúnmente tecnología fotovoltaica de Si de capa fina. Las celdas de silicio amorfo se depositan en sustratos como ventanas de cristal placas o rollos flexibles de acero inoxidable o plástico, lo que proporciona una amplia gama de resistencia mecánica, peso y flexibilidad. Las celdas tienen un aspecto uniforme típicamente negro, no tienen rejillas. Los sustratos flexibles son ideales para las superficies curvas y los módulos enrollables "fold-away" (Luque & Hegedus, 2003).

**Tabla 1***Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.*

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento comercial	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24%	15-18%	Son típicos los azules homogéneos. Sus cantos son redondeados, debido al proceso de fabricación.	Se obtiene de silicio puro fundido y se dopa una de las capas con boro.
	Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo, pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de ser semiflexible, y poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato, como vidrio o plástico.

*Nota:* Adaptado de: Diaz-Corcobado & Carmona-Rubio, 2018. Instalaciones solares fotovoltaicas.

### 2.2.2 Tecnologías Utilizadas en Reguladores de Carga

La intensidad y tensión producida por los módulos fotovoltaicos es transferida hacia las baterías, pero antes debe ser controlada para asegurar que es adecuada para las baterías, protegiendo así la vida de los acumuladores durante el proceso de carga y descarga. Los aparatos reguladores se encargan de las siguientes funciones (Ladrón de Guevara, 2018):

- Control de sobredescargas, desconectando las baterías cuando están al cien de su capacidad máxima.
- Evitar la descarga hacia las placas en horas con radiación baja o nula.
- Control de descarga, evitando sobrepasar la profundidad de descarga máxima, que es un valor que proporciona cada fabricante para sus baterías.

Los reguladores de carga comerciales a nivel nacional son los reguladores MPPT y los reguladores PWM.

**2.2.2.1 Regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking).** Permite ajustar el voltaje de entrada que recibe de los paneles para de esta manera extraer la máxima potencia posible. Es un convertidor DC/DC que transforma el voltaje de máxima potencia a voltaje constante que debe estar un poco por encima del voltaje nominal de la batería. Cuando la batería ha alcanzado la carga nominal, el regulador hace que se abra el circuito y cuando la carga se baja de un valor preestablecido hace cerrar el circuito (Acevedo-Garces,2016).

**2.2.2.2 Regulador PWM.** Tiene capacidad de controlar la corriente de carga de las baterías cuidando que no se superen los voltajes de carga máxima permitidos. Estos solo permiten reducir el voltaje de entrada y no pueden elevar el voltaje ni la corriente; esto significa que hay un desperdicio de la energía eléctrica recibida desde los paneles (Acevedo-Garces,2016).

### ***2.2.3 Tecnologías Utilizadas en Baterías para Almacenamiento de Energía.***

Una batería es un sistema de almacenamiento de energía empleando procedimientos electroquímicos y que tiene la capacidad de devolver dicha energía posteriormente casi en su totalidad, ciclo que puede repetirse un determinado número de veces (Hernández Romero, 2016).

La batería está compuesta de tres elementos básicos, el ánodo, terminal de menor potencial eléctrico, el cátodo, el terminal de mayor potencial eléctrico y el electrolito, que es el elemento que permite el paso de los electrones de un terminal a otro, a medida que se extrae la corriente comienza a circular desde el ánodo hacia el cátodo a través del electrolito (Sánchez-Migallón, 2016).

Los ciclos de carga/descarga definirán la vida útil de las baterías. A medida que una batería es descargada y cargada, su capacidad sufre alteraciones, de manera que, tras un cierto número de

ciclos, la batería pierde calidad y no consigue completar con éxito las reacciones químicas. La carga en exceso puede también ser perjudicial para su vida útil (Hernández Romero, 2016).

Entre las tecnologías más frecuentes en baterías para el almacenamiento de energía eléctrica se encuentran las cinco siguientes: baterías de Ion-Litio, Plomo-Ácido, Sodio-Sulfuro, Redox de Vanadio y Redox de Zinc-Bromo. A continuación, se realiza una breve explicación de cada una de las tecnologías mencionadas.

**2.2.3.1 Batería de Ion-Litio.** Se trata de una de las tecnologías más avanzadas con una gran aceptación en el mercado, debido a que el litio es uno de los metales más ligeros con mayores densidades de energía (110-160 Wh/kg o 300-400 kWh/m<sup>3</sup>). Otra de sus principales ventajas en este tipo de baterías son los largos ciclos de vida que tienen, aproximadamente de 4500 ciclos (Castro-Martínez, Domínguez-Gómez & Villaseñor-Madero, 2019).

**2.2.3.2 Batería de Plomo-Ácido.** Las baterías de plomo-ácido se consideran una tecnología madura con una baja auto descarga y un coste de capital relativamente bajo, que son sus ventajas más destacadas en comparación con otras baterías. Sin embargo, las baterías de plomo-ácido sufren de una baja vida de ciclo, así como de una baja densidad de energía y potencia (Vega-Garita, Hanif, Narayan, Ramírez-Elizondo & Bauer, 2019). Hoy en día, las baterías más desarrolladas de Plomo-Ácido están resolviendo sus principales inconvenientes con el objetivo principal de aplicarlas en la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico; siendo ampliamente utilizadas actualmente en sistemas de autoconsumo con almacenamiento, con sistemas de 12, 24 y 48 V (Castro-Martínez, Domínguez-Gómez & Villaseñor-Madero, 2019).

**2.2.3.3 Batería de Sodio-Sulfuro.** Este tipo de baterías son una tecnología en fase de desarrollo, apenas existen instalaciones que utilicen dicha tecnología. Las baterías de Sodio-Sulfuro necesitan para mantenerse a temperaturas superiores de 300 °C un aporte de calor que se

considera parte íntegra de la batería (Castro-Martínez, Domínguez-Gómez & Villaseñor-Madero, 2019). Los materiales activos en este tipo de baterías son el azufre fundido como cátodo y el sodio fundido como ánodo. Dichos electrodos se encuentran separados por un material cerámico en estado sólido que sirve de electrolito, a través de éste pasan únicamente los iones de sodio con carga positiva (Hernández Romero, 2016).

**Tabla 2**

*Características principales de las baterías estudiadas.*

	<b>Ion-Litio</b>	<b>Plomo-Ácido</b>	<b>Sodio-Sulfuro</b>
<b>Densidad de Energía (<i>Wh/kg</i>)</b>	110 - 160	30 - 50	150 - 250
<b>Rendimiento (%)</b>	94	90	80
<b>Ciclos de Carga/Descarga</b>	4500	2500	4500
<b>Mínimo Estado de Carga (%)</b>	10	20	10

#### **2.2.4 Tecnologías Utilizadas en los Inversores.**

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna. Las características deseables para un inversor DC-AC se pueden resumir de la siguiente manera (Díaz-Corcobado, Carmona-Rubio, 2018):

- Alta eficiencia: debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío: es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra circuitos
- Seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida.

Para la selección de los inversores que se ingresarían a la base de datos de la aplicación se tuvieron en cuenta dos tipos de inversores; inversores de onda senoidal modificada e inversores de onda senoidal pura.

Los inversores de onda senoidal generan una tensión de salida prácticamente sinusoidal a la que se puede conectar casi cualquier dispositivo. Los inversores modernos de este tipo pueden soportar brevemente una alta sobrecarga y, por lo tanto, no presentan problemas de corriente de arranque (Häberlin, 2012).

El inversor de onda senoidal modificada presenta una onda similar a una onda cuadrada, pero tiene un aspecto “escalonado” que se asemeja más a una onda senoidal. Este inversor ofrece una solución económica y sencilla para alimentar los dispositivos que necesitan corriente alterna (Eggleston, Doucet & Shaw, 2007).

### **3. Dimensionamiento de Instalación Solar Fotovoltaica Aislada**

Para diseñar un sistema fotovoltaico es necesario conocer tanto la posición geográfica donde se montarán los módulos (su latitud) como el espacio requerido, como tipo de estructura, entre otros factores (Barbosa, J. et ál., 2010).

Nota: La base de datos para las tecnologías de los paneles solares, baterías, reguladores e inversores se tomó teniendo en cuenta los productos comerciales que se ofrecen en Colombia.

#### **3.1 Localización**

Málaga, es un municipio colombiano, capital de la provincia de García Rovira ubicada al sur oriente del departamento de Santander sobre la Troncal Central del Norte y a 153 km de distancia de la ciudad de Bucaramanga (Alcaldía Municipal de Málaga Santander, 2018). Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 6.7, Longitud: -72.733 6° 42' 0" Norte, 72° 43' 59" Oeste.

**Figura 2.**

*Vista satelital municipio de Málaga, Santander.*



*Nota.* Tomado de: Alcaldía Municipal de Málaga Santander, 2018

### 3.2 Irradiación

La irradiancia solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación incidente en una superficie (Lorente,2010). La radiación solar incidente, a veces llamada insolación, se mide como irradiancia, que es la energía por unidad de tiempo por unidad de área (o potencia por unidad de área) (Goswami, 2015).

Inicialmente es importante conocer la irradiación del lugar de interés. Utilizando la base de datos de la NASA (NASA, 2019) se obtienen los valores de irradiación global horizontal durante los últimos cinco años abarcando desde el 2015 al 2019. A partir de estos se procede a hallar el promedio de cada uno de los meses durante este periodo obteniendo la Tabla 3.

**Tabla 3***Irradiación global de Málaga periodo 2015 – 2019.*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
2015	4,76	4,72	4,46	3,65	4,22	3,77	4,15	4,15	4,79	4,46	3,9	4,49	4,29
2016	5,57	4,84	4,98	3,46	3,72	4,09	3,88	4,47	4,33	4,33	3,76	4,26	4,31
2017	4,1	4,58	3,43	3,95	3,52	3,61	3,67	4,24	4,07	3,85	3,98	4,47	3,95
2018	4,5	4,74	4,32	3,32	3,71	3,82	4,07	4,52	4,27	4,45	4,16	5,24	3,97
2019	4,59	5,02	3,72	3,82	3,92	4	4,23	4,29	4,38	4,47	4,39	4,35	3,97
PROM	4,704	4,78	4,182	3,64	3,818	3,858	4	4,334	4,368	4,312	4,038	4,562	4,098

*Nota.* POWER Data Access Viewer, (NASA. 2019)

Se observa que los valores de la radiación global oscilan entre 3.64 kWh/m<sup>2</sup> en el mes de menos irradiación (abril) y 4.78kWh/m<sup>2</sup> en el mes de más irradiación (febrero).

### 3.3 H.S.P. y H.S.P. Corregida

La Hora Solar Pico (H.S.P.) es una unidad que mide la irradiación solar, y se define como la energía por unidad de superficie que se recibirá con una relativa irradiancia solar constante de 1000W/m<sup>2</sup>. Una hora solar pico equivale por tanto a 1kWh/m<sup>2</sup> (Ladrón de Guevara, 2018).

Los datos de irradiación que se obtuvieron a través de la NASA están en las unidades kWh/m<sup>2</sup>, que equivalen a HSP (NASA, 2019).

Para determinar la inclinación que tendrán los paneles y el factor de corrección correspondiente, se recurre a las tablas existentes para todas las latitudes. Para la zona de interés, se utiliza la Tabla 4 con una latitud de 7°.

La mejor posición para los paneles en zonas ecuatoriales o muy próximas es la horizontal, ya que el sol describe una trayectoria tal que los rayos son casi perpendiculares a la superficie terrestre durante todo el año. No obstante, una posición totalmente horizontal no es práctica, ya que se acumularía mucha suciedad sobre los paneles y terminaría por disminuir el rendimiento. Es

conveniente tener una pequeña inclinación para permitir que la suciedad resbale sin perder mucha eficiencia por el factor de inclinación (Ladrón de Guevara, 2018).

Tomando el mes con menor irradiación solar, en este caso abril, se multiplica el valor obtenido de este mes con el factor de corrección que corresponde a cada ángulo de inclinación para al mes de abril. Los datos con mayor valor son los tomados para paneles con ángulo de inclinación de 0° ya que se va a captar la mayor energía posible; sin embargo, en concordancia con Ladrón de Guevara (Ladrón de Guevara, 2018) se opta por tomar un ángulo de inclinación de 10° para obtener un mejor rendimiento pese a la disminución de H.S.P; obteniéndose un H.S.P corregido de 3,5308.

**Tabla 4**  
*Factor de corrección K*

Latitud 7°	Factor de corrección K											
Inclinación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,03	1,02	1	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03
10	1,05	1,03	1	0,97	0,95	0,94	0,97	0,97	1	1,04	1,06	1,06
15	1,06	1,03	0,99	0,95	0,91	0,89	0,95	0,95	0,99	1,04	1,07	1,08
20	1,07	1,03	0,98	0,92	0,87	0,85	0,91	0,91	0,98	1,04	1,08	1,09
25	1,07	1,02	0,96	0,88	0,82	0,79	0,88	0,88	0,96	1,04	1,09	1,1
30	1,06	1,01	0,93	0,84	0,77	0,73	0,83	0,83	0,93	1,02	1,08	1,1
35	1,05	0,99	0,9	0,79	0,71	0,67	0,78	0,78	0,89	1	1,07	1,09
40	1,03	0,96	0,86	0,74	0,64	0,6	0,73	0,73	0,85	0,97	1,06	1,07
45	1,01	0,93	0,81	0,68	0,57	0,53	0,67	0,67	0,81	0,94	1,03	1,05
50	0,98	0,89	0,76	0,62	0,5	0,45	0,6	0,6	0,75	0,9	1	1,02
55	0,94	0,84	0,71	0,55	0,43	0,38	0,54	0,54	0,7	0,85	0,96	0,99
60	0,9	0,79	0,65	0,48	0,35	0,3	0,46	0,46	0,63	0,8	0,92	0,95
65	0,85	0,74	0,58	0,41	0,27	0,21	0,39	0,39	0,57	0,75	0,87	0,9
70	0,8	0,68	0,52	0,34	0,19	0,13	0,31	0,31	0,5	0,68	0,81	0,85
75	0,74	0,62	0,45	0,26	0,12	0,11	0,23	0,23	0,42	0,62	0,75	0,79
80	0,68	0,55	0,38	0,18	0,11	0,1	0,15	0,15	0,35	0,55	0,69	0,73
85	0,61	0,48	0,3	0,12	0,1	0,09	0,09	0,09	0,27	0,47	0,62	0,66
90	0,54	0,41	0,23	0,11	0,09	0,09	0,08	0,08	0,19	0,4	0,55	0,59

*Nota:* Factor de corrección k para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. Recuperado de: CENSOLAR.

### **3.4 Determinación del Consumo**

#### ***3.4.1 Consumo por Aparatos Electrodomésticos***

Para esta sección se debe calcular la potencia total de la instalación teniendo en cuenta la potencia unitaria de cada carga que se conecta a la instalación y las horas estimadas de funcionamiento diario. Por tanto, es necesario recopilar la siguiente información:

La potencia unitaria de cada carga, es decir, hacer un listado con cada uno de los electrodomésticos, luces, entre otros, cualquier equipo eléctrico que se use y anotar la potencia unitaria de cada uno de ellos, esta información viene indicada en la etiqueta de cada equipo.

Las horas aproximadas de uso diario. Es decir, digitar el número de horas que se suele hacer uso de cada equipo diariamente. Eso va a dar el dato de la energía (kWh/mes) que consume cada equipo.

En el caso de que el usuario no conozca la potencia de sus electrodomésticos, podrá encontrar en la aplicación una lista de los más frecuentes con sus respectivas potencias de manera general.

#### ***3.4.2 Consumo por Recibo de Luz***

Si el usuario desea cambiar su manera de alimentar energéticamente su residencia, puede optar por un sistema fotovoltaico; aprovechando que posee un historial de su consumo eléctrico gracias a su recibo de luz puede dimensionar gracias a Solaris TeCol, herramienta diseñada en este trabajo, una nueva manera de suplir la energía de su vivienda utilizando energía renovable generada por un sistema fotovoltaico autónomo.

### **3.5 Rendimiento Global.**

Antes de empezar a calcular los componentes de la instalación, es importante saber que la generación de esta se ve afectada por el rendimiento de todo el conjunto de elementos que forman

parte de ella. Se tiene que hacer el dimensionamiento teniendo en cuenta las pérdidas que se va a tener. Para calcular el rendimiento global se usará la ecuación 1. (Ladrón de Guevara, 2018)

$$R = (1 - K_b - K_c - K_r - K_v) \left(1 - \frac{K_a}{P_d} N\right) \quad (1)$$

En la Tabla 5 se presentan los valores de los coeficientes.

**Tabla 5**

*Constantes de rendimiento global*

<b>Coefficientes</b>	<b>Valores estándar</b>
<b>Kb: Pérdidas en el proceso de acumulación</b>	0,05 Acumulados nuevos, sin descargas intensas
	0,1 Acumulados viejos, descargas intensas, temperaturas bajas
<b>Ka: Autodescarga de la batería</b>	0,002 Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento
	0,005 Baterías estacionarias de energía solar
	0,012 Baterías de alta autodescarga
<b>Kc: Pérdidas por el rendimiento del inversor</b>	0 No hay inversor en la instalación
	0,05 Rendimiento inversor 95%
	0,1 Rendimiento inversor 90%
	0,15 Rendimiento inversor 85%
<b>Kv: Otras pérdidas no consideradas</b>	0,2 Rendimiento inversor < 85%
	0,15 Si no se tiene en cuenta pérdidas en cableado y equipos
<b>Pd: Profundidad de descarga máxima admisible</b>	0,05 Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas en equipos
	0,9 Batería descargada hasta el 90%
	0,8 Batería descargada hasta el 80%
	0,7 Batería descargada hasta el 70%
	0,6 Batería descargada hasta el 60%
	0,5 Batería descargada hasta el 50%
	0,4 Batería descargada hasta el 40%
	0,3 Batería descargada hasta el 30%
<b>N: Número de días de autonomía</b>	3 Vivienda fines de semana
	5 Vivienda habitual
	15 Instalaciones especiales con servicio prioritario
	20 Instalaciones especiales alta fiabilidad
<b>Kv: Pérdidas en el controlador de carga</b>	0,1 Controlador de carga eficiente
	0,15 Controlador de carga antiguo, poco eficiente

### 3.6 Dimensionamiento de los Componentes

#### 3.6.1 Paneles Solares

Para determinar el número total de Paneles Solares, se debe tener en cuenta la energía total de los paneles ( $E_{panel}$ ), el factor global de funcionamiento ( $\eta_{panel}$ ), intensidad en máxima potencia del panel ( $I_{pm}$ ) y las H.S.P. Los dos primeros valores son proporcionados por los fabricantes y el diseñador lo selecciona al escoger el panel que desea utilizar y el tercer valor es la irradiación solar (Ecuación 2) (Serna-Ruiz, Marín & Alzate, 2016).

$$E_{panel} \left( \frac{Ah}{dia} \right) = \eta_{panel} * I_{pm} * HSP \quad (2)$$

Para el factor global de funcionamiento, los fabricantes por lo general indican entre 85% y 90%. Para esta aplicación se tomó el valor del 90% (0.9). En cuanto a la energía diaria que deben suministrar los paneles solares  $E_{producir}$  se puede encontrar a partir de la ecuación 3.

$$E_{producir} \left( \frac{Wh}{dia} \right) = \frac{Consumo\ diario}{R} \quad (3)$$

Así se procede a calcular la cantidad de paneles que van conectados en paralelo  $N_{pp}$  (Ecuación 4) y el número de paneles conectados en serie  $N_{ps}$  necesitando el valor del voltaje nominal del panel  $V_{nom}$  (Ecuación 5).  $V_{sistema}$  es la tensión que va a tener el sistema; según la potencia que se va a consumir se sugiere que para potencias menores a 1.5kWh/día,  $V_{sistema} = 12$ . Para rangos entre 1.5 a 5kWh/día,  $V_{sistema} = 24V$  y para mayores a 12kWh/día,  $V_{sistema} = 48V$ .

$$N_{pp} = \frac{E_{producir}/V_{sistema}}{E_{panel}} \quad (4)$$

$$N_{ps} = \frac{V_{sistema}}{V_{nom}} \quad (5)$$

Para la base de datos se utilizaron los paneles de tecnologías policristalino y monocristalino, ya que eran las únicas disponibles comercialmente en las empresas distribuidoras del país.

### 3.6.2 Regulador de Carga

Para calcular la corriente de entrada al regulador que es la intensidad de corriente máxima de los paneles ( $I_{max}$ ) se calcula el producto entre la corriente de cortocircuito del panel que la aplicación ha seleccionado y el número de los paneles en paralelo (Ecuación 6) (Roitman, Mestrallet, Aramburu & Rossi, 2015).

$$I_{max}(A) = I_{pm} * N_{pp} \quad (6)$$

El regulador de carga se coloca para que funcione al mismo voltaje del sistema y además que sea capaz de trabajar con una intensidad de corriente mínimo un 10% superior a la intensidad máxima de los paneles fotovoltaicos (Ecuación 7) (Roitman, Mestrallet, Aramburu & Rossi, 2015).

$$I_{minreg}(A) = 1.1 * I_{max} \quad (7)$$

Donde:

$I_{minreg}$ : Intensidad mínima del regulador.

La base de datos de reguladores se realizó teniendo en cuenta el mercado disponible en Colombia seleccionando así los reguladores tipo MPPT y PWM.

### 3.6.3 Baterías

Para calcular la cantidad de baterías se necesita partir de los siguientes datos de la instalación: energía diaria consumida y la tensión de la instalación. La ecuación (8) permite el cálculo de la capacidad necesaria de baterías.

$$Capacidad(Ah) = \frac{Consumo\ diario * N}{Pd * V_{instalación}} \quad (8)$$

La ecuación 9 permite obtener el número de baterías en serie ( $N_{bs}$ ) mediante la relación entre la tensión del sistema y la tensión nominal de la batería.

$$N_{bs} = \frac{V_{instalacion}}{V_{bateria}} \quad (9)$$

Para el número de baterías en paralelo ( $N_{bp}$ ) se calcula mediante la relación (Ecuación 10) de la capacidad de la batería entre la capacidad nominal de la batería ( $I_{nomb}$ ), dato que se encuentra en las hojas de datos.

$$N_{bp} = \frac{Capacidad}{I_{nomb}} \quad (10)$$

Debido a la oferta de baterías que se tiene en las empresas distribuidoras seleccionadas en Colombia se eligen baterías de tipo plomo-ácido tales como baterías AGM y de Gel; y baterías de Ion de Litio.

#### **3.6.4 Inversor**

A la hora de dimensionar el inversor solar, se tiene en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas AC en un instante, de este modo se elige un inversor cuya potencia sea un 20% superior a la demandada por las cargas, suponiendo su funcionamiento al mismo tiempo.

### **4. Desarrollo de la Aplicación**

La herramienta de software “Solaris TeCol” se realiza en el software Visual Studio Community 2019 que es un entorno de desarrollo integrado -IDE, por sus siglas en inglés-compatible con diversos lenguajes de programación tales como, Visual Basic .NET, C++, C#, Python, Java entre otros; se elige este IDE por la diversidad de lenguajes soportados, fácil manejo del entorno, interfaz sencilla y licencia de libre distribución.

El lenguaje de programación que se selecciona es Visual Basic .NET Framework 4.7.2 orientado a Aplicación de Windows Form, lenguaje que permite generar una interfaz gráfica sin

necesidad de intérpretes externos ni librerías adicionales, facilitando una interfaz estética e intuitiva para el usuario.

Para el desarrollo de la aplicación es necesaria la generación de diversas ventanas por las que el usuario será guiado permitiéndole: ingresar, modificar y eliminar datos, seleccionar opciones de listas desplegables y navegar por tablas de resultados de selección; todo esto mientras la aplicación va calculando y seleccionando progresivamente los mejores resultados para obtener un sistema fotovoltaico adecuado teniendo en cuenta las necesidades del usuario.

A continuación, se mostrarán las secciones que contiene la aplicación; solo se mostrarán las ventanas en las que el usuario tiene interacción directa con el programa y no las ventanas que introducen a cada sección y guían al usuario por la aplicación; para generar cada ventana se utilizaran los valores del recibo de la luz de una vivienda para obtener una visión real de la aplicación.

#### **4.1 Selección del método de Cálculo de Consumo y Parámetros de Consumo**

El inicio del software consta de la selección del método de cálculo de consumo; la aplicación le ofrece al usuario la posibilidad de seleccionar si desea hacer el cálculo mediante el consumo del recibo de la luz o mediante los electrodomésticos que posee (Figura 3a).

Cuando el usuario selecciona la opción de cálculo mediante el consumo del recibo se despliega una ventana (Figura 3b) en la cual puede ingresar dos valores de consumo que el recibo posee, mayor consumo o consumo promedio; el usuario puede ingresar los dos valores o si desea únicamente uno de ellos; sin embargo cuando el usuario elige el cálculo mediante electrodomésticos la ventana desplegada (Figura 3c) presenta una tabla en la cual el usuario debe digitar la cantidad y las horas de uso diario de cada uno de ellos (la tabla posee electrodomésticos

usuales en una vivienda); además se añade la opción de ingresar tres electrodomésticos más si el usuario conoce su potencia.

**Figura 3.**  
*Selección de Cálculo de Consumo y Parámetros de Consumo.*

**a**

El cálculo se puede realizar de dos maneras, si el usuario conoce el valor de su consumo de energía eléctrica en Kwh que se encuentra en el recibo de la luz o si conoce los electrodomésticos que su residencia posee.

A continuación, seleccione una de las dos opciones:

Cálculo por Kwh del recibo  Cálculo por electrodomésticos

\*Los cálculos son realizados utilizando los datos de irradiación solar del año 2019 de la base de datos de la [NASA](#)

**b**

En su recibo de la luz encontrará una gráfica de este tipo, por favor ingrese el valor numérico del mes con mayor consumo y del consumo promedio (PROM)

**Histórico de consumo**

ME3-6	5,7
ME3-5	6,0
ME3-4	5,9
ME3-3	5,9
ME3-2	6,5
ME3-1	7,9
ME3	6,6
PR201	6,5

Mayor consumo [ Kwh ]:

Consumo promedio (PROM) [ Kwh ]:

**c**

ELECTRODOMÉSTICOS	CONSUMO [W]	NÚMERO DE ELEMENTOS	HORAS DE USO AL DÍA	CONSUMO MENSUAL [kWh]
Bombillo 100 W	<input type="text" value="100"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bombillo 60 W	<input type="text" value="60"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bombillo ahorrador 25 W	<input type="text" value="25"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bombillo ahorrador 15 W	<input type="text" value="15"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Bombillo LED	<input type="text" value="7"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ducha eléctrica	<input type="text" value="1500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Horno estufa	<input type="text" value="3300"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tv LCD 20"	<input type="text" value="150"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

TOTAL  [ Kwh ]

*Nota.* La figura 3 muestra el menú de selección de cálculo de consumo (3a), consumo por recibo de luz (3b) y consumo por electrodomésticos (3c).

#### 4.2 Determinación del rendimiento global de la Instalación

Las siguientes ventanas que requieren interacción directa con el usuario son las ventanas de determinación del rendimiento global de la instalación en las cuales se presenta información de la manera en la que será calculado y los nombres de las variables (Figura 4a); en la ventana

consecutiva (Figura 4b) se encuentran 7 listas desplegables, las cuales el usuario podrá modificar a conveniencia para determinar que variables afectan su instalación. Las que no desee modificar podrá mantenerlas en su valor por defecto para continuar con el cálculo; adicional a esto si el usuario no quiere modificar nada del rendimiento global de la instalación o no posee conocimientos al respecto podrá omitir esta selección antes de las ventanas presentadas en la Figura 3.

**Figura 4.**  
*Variables del Rendimiento Global de la Instalación.*

**a**

El rendimiento global de la instalación se calculará mediante la siguiente ecuación

$$R = (1 - Kb - Kc - Kr - Kv) * \left(1 - Ka \frac{N}{Pd}\right)$$

Donde:

- R: Rendimiento global de la instalación
- Kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.
- Kc: Pérdidas por el rendimiento del inversor.
- Kr: Pérdidas en el controlador de carga
- Kv: Otras pérdidas no consideradas anteriormente.
- Ka: Fracción de energía que se pierde por autodescarga.
- N: Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga.
- Pd: Profundidad máxima de descarga admisible.

**b**

Por favor seleccione las opciones en cada lista desplegable

Por defecto	Kb =	0.05
Por defecto	Ka =	0.005
Por defecto	Kc =	0.1
Por defecto	Kr =	0.15
Por defecto	Pd =	0.8
Por defecto	N =	5
Por defecto	Kv =	0.1

RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN = 0.5813

*Nota.* La figura 4 muestra las variables de rendimiento global de la instalación (5a) y la ventana de selección de estas (5b).

### 4.3 Selección de Paneles Solares Adecuados

El software se programó con un algoritmo que se encarga de seleccionar entre una amplia base de datos las dos mejores opciones para suplir los requerimientos de consumo que el sistema fotovoltaico presenta; las dos opciones de panel seleccionado que se presentan son: un arreglo de paneles que utilice la menor cantidad de paneles y un arreglo de paneles basado en el menor costo.

La aplicación presenta datos importantes como: referencia del panel, potencia del panel, tensión el sistema, número total de paneles, número de paneles conectados en serie y en paralelo, costo total de los paneles, área aproximada que ocupa el arreglo de paneles, tecnología del panel,

ángulo de inclinación del panel y un enlace que abre la página web de venta e información del panel solar (Figura 5).

**Figura 5.**  
*Información de Paneles Seleccionados.*

The screenshot shows the Solaris TeCol software interface with two main sections for panel selection:

#### Menor Número de paneles

Referencia del panel	Potencia del panel [W]	Tensión del sistema [V]	Número total de paneles	Paneles en serie	Paneles en paralelo	Costo paneles
Panel Solar-GCL-GCL M6/72H-MONO CRYSTALLINE MODULE 385W	385	24	6	1	6	\$ 3.213.978,00
	Área ocupada [m <sup>2</sup> ]	Tecnología del panel	Ángulo de inclinación del panel	<a href="#">Mas información</a>		
	12,80	Monocristalino	10°			

#### Menor Costo de paneles

Referencia del panel	Potencia del panel [W]	Tensión del sistema [V]	Número total de paneles	Paneles en serie	Paneles en paralelo	Costo paneles
Panel Solar-JINKO-JKM280PP-60 280 Vatios MÓDULO POLICRISTALINO	280	24	7	1	7	\$ 2.450.000,00
	Área ocupada [m <sup>2</sup> ]	Tecnología del panel	Ángulo de inclinación del panel	<a href="#">Mas información</a>		
	12,60	Policristalino	10°			

At the bottom of the interface, there are several elements: a 'REGRESAR' button, the Solaris TeCol logo, a 'REGULADOR' button, and a stylized 'ET' logo with yellow rays.

#### 4.4 Selección de Reguladores de Carga

La selección del regulador de carga depende completamente de la anterior selección debido a que el algoritmo que se encarga de esto genera dos opciones, una para cada panel elegido.

Es posible que el mismo regulador cumpla para los paneles designados, el usuario podrá ver la diferencia entre las intensidades requeridas ya que el algoritmo genera una pestaña con la intensidad mínima que debe cumplir el regulador (Figura 6); además de esto también suministra datos importantes acerca del regulador de carga como: la referencia, la tensión de trabajo, la intensidad de trabajo, el tipo de regulador, el costo y el enlace de la página web que lo oferta.

**Figura 6.**  
*Información de Reguladores de Carga Seleccionados.*

Referencia del Regulador	Tensión de trabajo [V]	Intensidad del Regulador [A]	Tipo de Regulador	Costo del Regulador	
Controlador-VICTRON ENERGY-SmartSolar MPPT 150/70-Tr	24	70	MPPT	\$ 1.846.688,00	<a href="#">Mas información</a>
	Intensidad mínima [A]	63,56			

Referencia del Regulador	Tensión de trabajo [V]	Intensidad del Regulador [A]	Tipo de Regulador	Costo del Regulador	
Controlador-VICTRON ENERGY-SmartSolar MPPT 150/70-Tr	24	70	MPPT	\$ 1.846.688,00	<a href="#">Mas información</a>
	Intensidad mínima [A]	66,91			

REGRESAR      Solaris TeCol      BATERÍAS

#### 4.5 Selección de Baterías

Para seleccionar las baterías adecuadas para el sistema, la aplicación compara diferentes tecnologías disponibles comercialmente en Colombia y determina dos opciones de baterías idóneas para la instalación fotovoltaica, la primera opción se elige teniendo en cuenta la menor cantidad de baterías necesarias para suplir la instalación; la segunda opción se basa en las baterías que establecen un menor costo monetario.

Los datos acerca de las baterías seleccionadas se presentan en dos ventanas distribuidas así: la primera ventana (Figura 7a) mostrará datos de la batería como, referencia, capacidad, tensión, número total de baterías, baterías conectadas en serie, baterías conectadas en paralelo, costo total, tecnología y el enlace a la página web del distribuidor; la segunda ventana (Figura 7b) presenta un esquema de distribución del banco de baterías con el fin de ocupar el menor espacio

horizontal posible, asimismo presenta las referencias, área aproximada superficial ocupada, el número de baterías que debería llevar la base (baterías en paralelo) y el número de filas (baterías en serie).

**Figura 7.**  
*Información de Baterías Seleccionadas.*

The image shows two screenshots of the Solaris TeCol software interface. Screenshot (a) displays the 'Menor número de baterías' and 'Menor costo de baterías' sections. Both sections show the same configuration: a battery reference of 'Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER', a capacity of 287.5 Ah, a voltage of 12V, a total of 8 batteries, 2 in series, and 4 in parallel, with a total cost of \$12,713,640.00. The technology is identified as 'Batería de Gel'. Screenshot (b) shows the same configuration with a 3D diagram of the battery distribution. The diagram shows a stack of 4 parallel rows, each containing 2 batteries in series. The area occupied is 1.12 m². The interface includes navigation buttons like 'REGRESAR', 'CONTINUAR', and 'INVERSOR', along with the Solaris TeCol logo and a stylized 'ET' logo.

**a**

**Menor número de baterías**

Referencia de la batería	Capacidad de la batería [ Ah ]	Tensión de la batería [ V ]	Número total de baterías	Baterías en serie	Baterías en paralelo	Costo baterías
Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER	287,5	12	8	2	4	\$ 12.713.640,00

Tecnología de la batería: Batería de Gel

[Mas información](#)

**Menor costo de baterías**

Referencia de la batería	Capacidad de la batería [ Ah ]	Tensión de la batería [ V ]	Número total de baterías	Baterías en serie	Baterías en paralelo	Costo baterías
Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER	287,5	12	8	2	4	\$ 12.713.640,00

Tecnología de la batería: Batería de Gel

[Mas información](#)

REGRESAR CONTINUAR

**b**

**Menor número de baterías**

Referencia de la batería	Área ocupada [ m <sup>2</sup> ]	Número de filas (en serie)
Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER	1,12	2

Baterías por fila (en paralelo): 4

**Menor costo de baterías**

Referencia de la batería	Área ocupada [ m <sup>2</sup> ]	Número de filas (en serie)
Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER	1,12	2

Baterías por fila (en paralelo): 4

Baterías en serie

Baterías en paralelo

REGRESAR INVERSOR

*Nota.* La figura 7 muestra la información detallada de las baterías seleccionadas (7a) y su distribución (7b).

#### 4.6 Selección del Inversor

La ventana que se aprecia en la Figura 8 muestra los datos que el algoritmo de selección de inversores presenta; este algoritmo se encarga de elegir únicamente un inversor capaz de suplir por completo las necesidades del sistema; presentando así el inversor más económico, a su vez indica la referencia, la tensión a la que el sistema entra al inversor, la tensión de salida de este, la potencia, el tipo y el enlace a la dirección web del distribuidor.

**Figura 8.**  
*Información del Inversor Seleccionado.*

The screenshot shows a window titled "Solaris TeCol" with the following content:

**Inversor seleccionado para el sistema**

Referencia del inversor	Tensión al ingreso [ V ]	Tensión de salida [ V ]	Potencia del inversor [ W ]	Tipo de inversor	Costo del inversor	
Inversor Onda Modificada 1000 Watts 24V 110V Belitt	24	110/120	1000	Onda Modificada	\$ 256.000,00	<a href="#">Mas información</a>

At the bottom of the window, there are several elements: a logo on the left, a "REGRESAR" button, the "Solaris TeCol" logo in the center, a "SIGUIENTE" button, and a stylized yellow and black logo on the right.

#### 4.7 Resumen

Finalmente para comodidad del usuario se presenta una ventana (Figura 9) en la que se muestra el resumen de los elementos seleccionados a lo largo de la ejecución de la aplicación con datos básicos como el elemento del sistema, su criterio de selección, las referencias de cada uno, la cantidad y el costo total; además de esto el usuario tiene la posibilidad de navegar por todas las

ventanas de resultados anteriormente presentadas utilizando los botones “DETALLES” para cada elemento y permitiéndole regresar a la ventana de resumen mediante un botón generado en cada ventana de detalles llamado “RESUMEN”.

### Figura 9.

*Resumen de los Datos Generados por la Aplicación.*

ELEMENTOS	CRITERIO	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO
PANELES	Menor número de elementos	Panel Solar-GCL-GCL M6/60H-MONO CRYSTALLINE MODULE 310W	6	\$ 2.576.400,00
	Menor costo de elementos	Panel Solar 285 Watts Poli Trina Solar	6	\$ 2.214.000,00
REGULADORES	Menor número de paneles	Controlador-VICTRON ENERGY-BlueSolar MPPT 75/15 Retail	1	\$ 286.768,00
	Menor costo de paneles	Controladora PWM 60 A 12V y 24V SRNE	1	\$ 199.000,00
BATERÍAS	Menor número de elementos	Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES – SOLAR POWER	8	\$ 12.713.640,00
	Menor costo de elementos	Bateria-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES – SOLAR POWER	8	\$ 12.713.640,00
INVERSOR	Menor costo de elemento	Inversor Onda Modificada 1000 Watts 24V 110V Belttt	1	\$ 256.000,00

#### 4.8 Resultados de la ejecución del software Solaris TeCol

Para mostrar los resultados que el software Solaris TeCol se va a tomar el camino de selección de cálculo de consumo por electrodomésticos debido a que en la anterior sección se mostró un ejemplo para el camino de cálculo por consumo del recibo de luz; a modo de ejemplo se ingresaran los electrodomésticos hallados usualmente en una cafetería (Tabla 6), obteniendo como resultado un consumo mensual de 213,435 kWh.

**Tabla 6***Datos de Electrodomésticos Ingresados en la aplicación.*

Electrodomésticos	Consumo [w]	Número de elementos	Horas de uso al día	Consumo mensual [kWh]
Bombillo LED	7	5	3	3,255
Tv LCD 20"	150	1	2	9,3
Horno microondas	1000	1	1	31
Equipo de sonido	150	1	6	27,9
Computador de mesa	140	1	8	34,72
Nevera	115	1	24	85,56
Otros	350	1	2	21,7
<b>Total</b>				213,435

*Nota.* Los datos de esta tabla fueron ingresados manualmente en la aplicación, pero son tabulados para una mayor comodidad del lector; el elemento “Otros” hace referencia a la potencia de una sandwichera promedio.

Una vez calculada la potencia consumida se seleccionan los valores para el cálculo del rendimiento global modificando las listas desplegables a conveniencia obteniendo un rendimiento de 0,5813 como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10.***Datos de Cálculo de Rendimiento Global del Sistema.*

Solaris TeCol

Por favor seleccione las opciones en cada lista desplegable

Acumulados nuevos, sin descargas intensas	Kb =	0,05
Baterías estacionarias de energía solar	Ka =	0,005
Rendimiento inversor 90%	Kc =	0,1
Si no se tiene en cuenta pérdidas en cableado y equipos	Kv =	0,15
Batería descargada hasta el 80%	Pd =	0,8
Autonomía de 5 días	N =	5
Controlador de carga eficiente	Kr =	0,1

RENDIMIENTO GLOBAL DE LA INSTALACIÓN = 0,5813

REGRESAR      Solaris TeCol      SIGUIENTE

Teniendo calculados los datos de consumo y rendimiento global la aplicación selecciona dos opciones de paneles que cumplen con los requerimientos del sistema como la Figura 11 muestra.

**Figura 11.**  
*Resultados Selección de Paneles Solares.*

The screenshot displays the Solaris TeCol application window with two main sections for panel selection:

**Menor Número de paneles**

Referencia del panel	Potencia del panel [ W ]	Tensión del sistema [ V ]	Número total de paneles	Paneles en serie	Paneles en paralelo	Costo paneles
Panel Solar 405 Watts Talesun Mono TP6F72M-9BB	405	48	16	2	8	\$ 9.040.000,00
	Área ocupada [ m <sup>2</sup> ]	Tecnología del panel	Ángulo de inclinación del panel	<a href="#">Mas información</a>		
	35,41	Monocristalino	10°			

**Menor Costo de paneles**

Referencia del panel	Potencia del panel [ W ]	Tensión del sistema [ V ]	Número total de paneles	Paneles en serie	Paneles en paralelo	Costo paneles
Panel Solar-JINKO-JKM280PP-60 280 Vatios MÓDULO POLICRISTALINO	280	48	18	2	9	\$ 6.300.000,00
	Área ocupada [ m <sup>2</sup> ]	Tecnología del panel	Ángulo de inclinación del panel	<a href="#">Mas información</a>		
	32,41	Policristalino	10°			

At the bottom of the interface, there are navigation buttons: "REGRESAR" (Return), "REGULADOR" (Controller), and a logo for Solaris TeCol. There are also decorative icons: a gear with "60" and a stylized "E" with rays.

Para el caso particular en estudio se aprecia una diferencia notable entre el número de paneles para cada opción, esto se debe a que el algoritmo está programado para que compare cada posible arreglo de paneles y disponga las opciones en la que se requiera menor cantidad de paneles y en la que el costo monetario sea más bajo.

Después se realiza el cálculo y selección de los reguladores de carga idóneos para el sistema fotovoltaico en estudio, brindando dos posibles opciones: una opción es para los requerimientos del panel seleccionado en el menor número de paneles y la otra opción pertenece al panel seleccionado para el menor costo. En la Figura 12 se observa que la aplicación selecciona el mismo

regulador para las dos opciones, esto debido a que la intensidad mínima que requiere el sistema para funcionar correctamente es suplida por completo por esta referencia.

**Figura 12.**  
*Resultados Selección de Reguladores de carga.*

Referencia del Regulador	Tensión de trabajo [ V ]	Intensidad del Regulador [ A ]	Tipo de Regulador	Costo del Regulador	
Controlador BlueSolar MPPT 150/100 MC4 c/LCD	48	100	MPPT	\$ 3.199.000,00	<a href="#">Mas información</a>
	Intensidad mínima [ A ]				
	86,77				

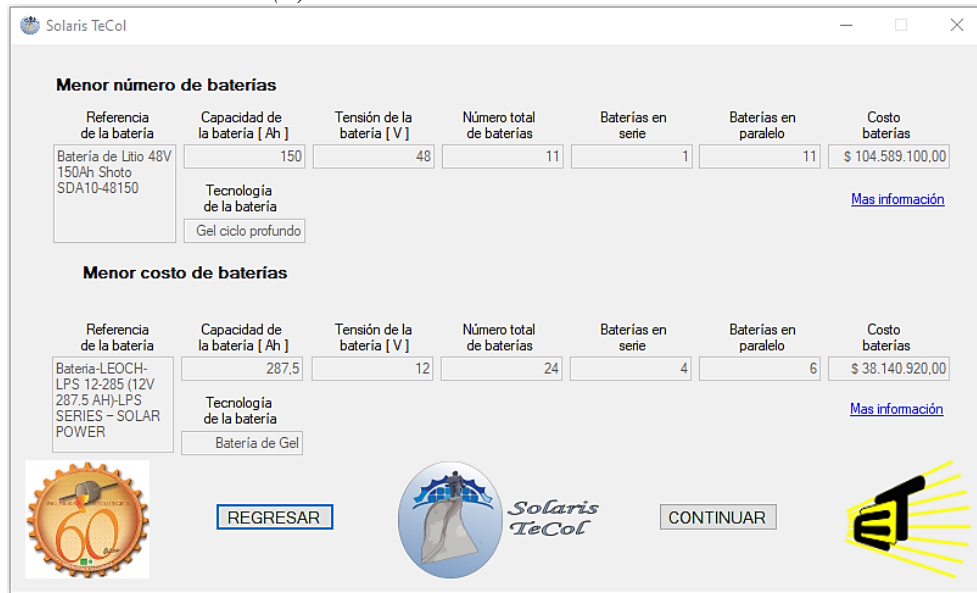
  

Referencia del Regulador	Tensión de trabajo [ V ]	Intensidad del Regulador [ A ]	Tipo de Regulador	Costo del Regulador	
Controlador BlueSolar MPPT 150/100 MC4 c/LCD	48	100	MPPT	\$ 3.199.000,00	<a href="#">Mas información</a>
	Intensidad mínima [ A ]				
	86,03				

REGRESAR      Solaris TeCol      BATERÍAS

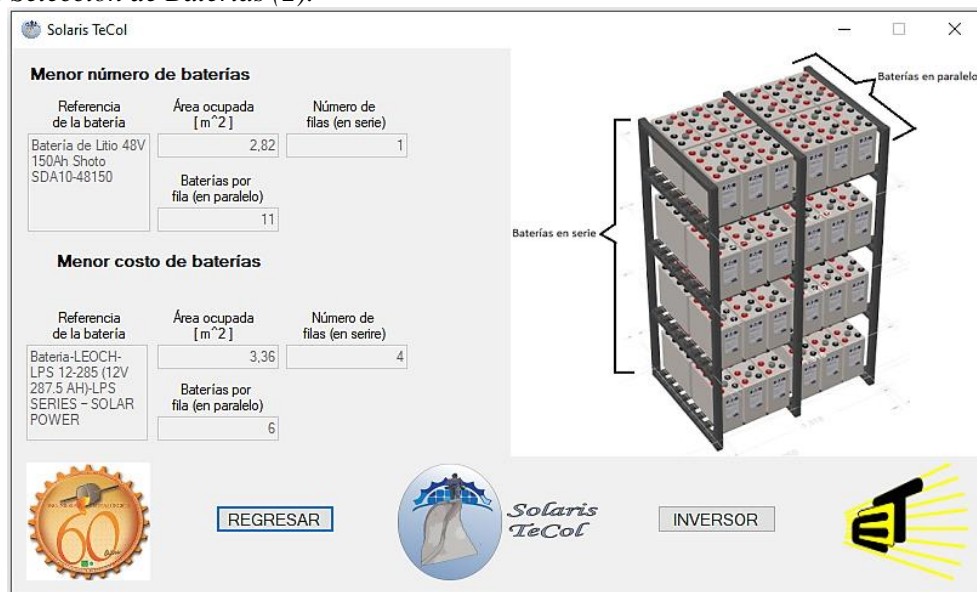
Posteriormente se realiza la selección de baterías que almacenarán y suplirán por completo el sistema fotovoltaico, en la ventana de resultados (Figura 13) se presentan dos opciones de bancos de baterías con diferente criterio de selección como lo son, menor número de baterías necesarias y menor costo; obteniendo un resultado con una gran diferencia en la cantidad de baterías para el sistema seleccionado, esto se puede deber al voltaje nominal que posee cada batería puesto que el algoritmo está diseñado para elegir si conectar baterías en serie para alcanzar el voltaje necesario y así reducir costos o seleccionar las baterías con mayor voltaje nominal si esto disminuye la cantidad de elementos necesarios.

**Figura 13.**  
Resultados Selección de Baterías (1).



El software presenta a continuación de la ventana de resultados de selección de baterías otra ventana (Figura 14) en la que se encuentra la distribución recomendada para el banco de baterías, contando con el área aproximada que ocuparán las baterías conectadas en paralelo y la cantidad de filas (altura) que obedece al número de conexiones en serie que requiere el banco.

**Figura 14.**  
Resultados Selección de Baterías (2).



A continuación, se selecciona el último elemento que la aplicación dispondrá para el sistema fotovoltaico, como se muestra en la Figura 15 se selecciona únicamente un inversor adecuado para el sistema completo, pues depende del voltaje y de la potencia simultánea necesaria de este.

### Figura 15.

*Resultados Selección del Inversor.*

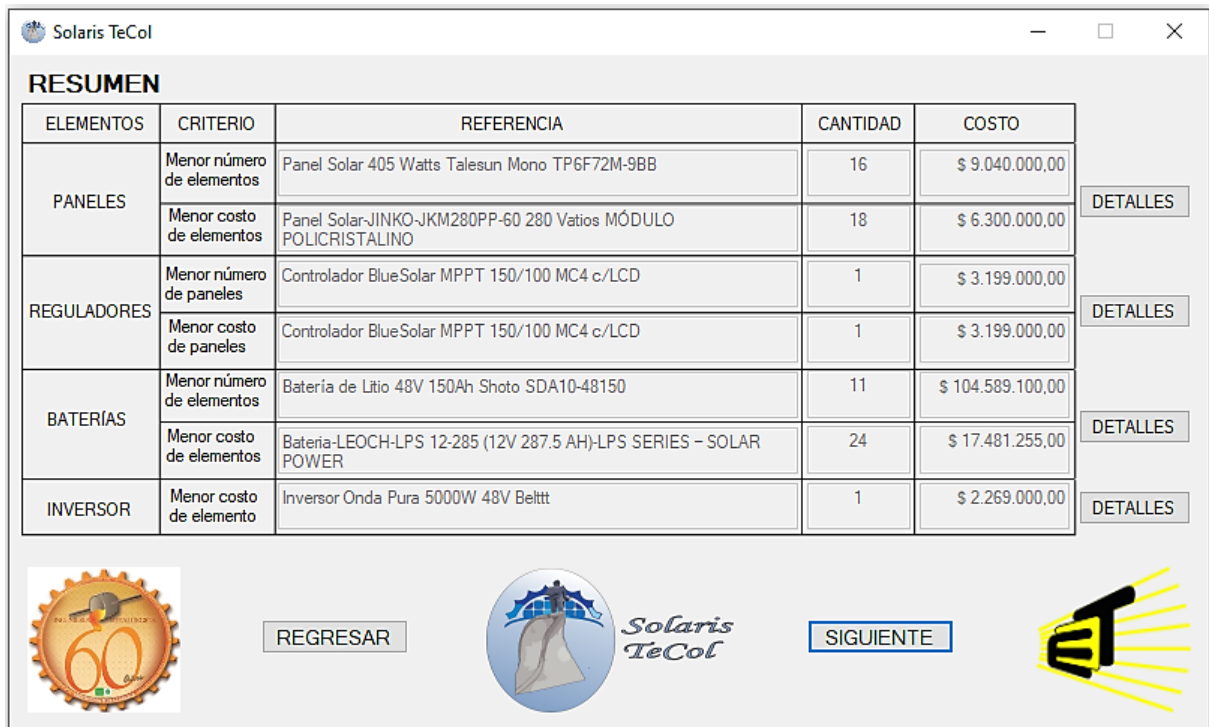


The screenshot displays the 'Solaris TeCol' application window. The main heading is 'Inversor seleccionado para el sistema'. Below this, a table lists the selected inverter's specifications:

Referencia del inversor	Tensión al ingreso [ V ]	Tensión de salida [ V ]	Potencia del inversor [ W ]	Tipo de inversor	Costo del inversor	
Inversor Onda Pura 5000W 48V Belttt	48	110/120	5000	Onda Pura	\$ 2.269.000,00	<a href="#">Mas información</a>

At the bottom of the window, there are several graphical elements: a circular logo on the left, a 'REGRESAR' button, the 'Solaris TeCol' logo in the center, a 'SIGUIENTE' button, and a stylized yellow and black logo on the right.

Finalmente, y para comodidad del usuario el software Solaris TeCol dispone de una ventana en la que resume los resultados más relevantes de las selecciones realizadas anteriormente (Figura 16), con el fin de poder acceder a cada ventana sin necesidad de retroceder a través de toda la aplicación.

**Figura 16.***Resumen de Resultados Seleccionados.*


ELEMENTOS	CRITERIO	REFERENCIA	CANTIDAD	COSTO
PANELES	Menor número de elementos	Panel Solar 405 Watts Talesun Mono TP6F72M-9BB	16	\$ 9.040.000,00
	Menor costo de elementos	Panel Solar-JINKO-JKM280PP-60 280 Vatios MÓDULO POLICRISTALINO	18	\$ 6.300.000,00
REGULADORES	Menor número de paneles	Controlador BlueSolar MPPT 150/100 MC4 c/LCD	1	\$ 3.199.000,00
	Menor costo de paneles	Controlador BlueSolar MPPT 150/100 MC4 c/LCD	1	\$ 3.199.000,00
BATERÍAS	Menor número de elementos	Batería de Litio 48V 150Ah Shoto SDA10-48150	11	\$ 104.589.100,00
	Menor costo de elementos	Batería-LEOCH-LPS 12-285 (12V 287.5 AH)-LPS SERIES - SOLAR POWER	24	\$ 17.481.255,00
INVERSOR	Menor costo de elemento	Inversor Onda Pura 5000W 48V Belitt	1	\$ 2.269.000,00

## 5. Conclusiones

Se desarrolló una herramienta de software con una interfaz amigable con el usuario, que cumple con la selección del diseño más adecuado para un sistema fotovoltaico autónomo presentando varias opciones al usuario teniendo en cuenta el costo de los componentes y el espacio ocupado por el arreglo.

Con los datos obtenidos de la radiación en la zona seleccionada, que en este caso es Málaga (Santander), se dimensionó un sistema fotovoltaico autónomo; debido a que se programó la aplicación basada en el peor dato de radiación solar se obtuvieron sistemas un poco robustos, pero confiables ya que suplen la energía requerida por el usuario.

Debido a la escasa oferta de elementos en el país necesarios para un sistema fotovoltaico autónomo, no fue posible realizar diseños con tecnologías más eficientes, resultando así en el diseño de un arreglo más voluminoso y costoso.

### Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Málaga Santander (2018). Nuestro municipio [en línea]. Recuperado de <http://www.malaga-santander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Acevedo-Garcés, F. J. (2016). Diseño de una instalación fotovoltaica con capacidad para 3 Kilovatios. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Alvarado-Fajardo, A. C. (2014) ANÁLISIS, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO EN APOYO A PROGRAMA NUTRICIONAL EN LA ESCUELA RURAL EL CARDONAL, TIBANÁ (BOYACÁ) – COLOMBIA. Bogota: Universidad Libre
- Barbosa, J. et ál. (2010), “Estudio para el uso de la tecnología solar fotovoltaica”, en Revista Ingeniería Solidaria, vol. 6, núm. 10, pp. 69-81.
- Congreso de Colombia (2014). Ley 1715 de 2014. Diario Oficial, 104.
- Castro-Martínez, J., Domínguez-Gómez, M., & Villaseñor-Madero, R. (2019). Sistemas de almacenamiento mediante baterías electroquímicas. Contribución a la integración de energías renovables. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Díaz-Corcobado, T., Carmona-Rubio, G. (2018). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. McGraw-Hill (Ed.). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (pp. 7-27). Recuperado de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448614488.pdf>
- Eggleston, D. P., Doucet M. J., & Shaw J. S. (2007). PWM Pure Sine Wave Power Inverter. Worcester: Worcester Polytechnic Institute.
- Goswami, D. Y. (2015). Principles of solar Engineering.

- Häberlin, H., (Ed.) (2012). PHOTOVOLTAICS SYSTEM DESIGN AND PRACTICE. Editorial John Wiley & Sons, Ltd.
- Hernández Romero, A. (2016). Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico (Trabajo fin de Máster). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Koschmieder Lagos, M. C. (2015). Diseño básico de generación para un sistema de potabilización de ZNI [Trabajo de grado, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Colombia]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17430/u713585.pdf?sequence=>
- Ladrón de Guevara, J. A. (2018) Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lorente, J. (2010) Curso de fotoprotección, capítulo 1. La radiación solar. Departamento de Astronomía y Meteorología Universidad de Barcelona.
- Luque, A., & Hegedus, S. (Ed.). (2003) Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Editorial John Wiley & Sons, Ltd.
- Markvart, T., & Castañer, Luis. (Ed.). (2005). Solar Cell: Materials, Manufacture and Operation. Editorial Elsevier.
- Masters, G (2004) Renewable and Efficient Electric Power Systems. ISBN 0-471-28060-7
- NASA, (2019) POWER Data Access Viewer. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Ramalingam, K.; Indulkar, C. (2017) Distributed Generation Systems-Design, Operation and Grid Integration, Chapter 3-Solar Energy and Photovoltaic Technology; Butterworth Heinemann: Oxford, UK, 2017; pp. 69–147

- Roitman, M., Mestrallet, A., Aramburu, M. D., & Rossi, R. (2015) Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar de la Ciudad de Córdoba. Córdoba, Argentina: Instituto Universitario Aeronáutico.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(June 2016), 590–601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Sánchez-Migallón, Á. C. (2016). Sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías y supercondensadores (Tesis de pregrado). Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Secretaria de Energía de Argentina, (2008). Energías Renovables 2008 – Energía Solar. [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf)
- A. Serna-Ruiz, E. Marín, S. Alzate, “Herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados”, *Lámpsakos*, no. 16, pp 61-74, 2016 DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1936>
- Vega-Garita, V., Hanif, A., Narayan, N., Ramírez-Elizondo, L., & Bauer, P. (2019). Selecting a suitable battery technology for the photovoltaic battery integrated module. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.