



# **Estudio técnico del autoabastecimiento eléctrico para una torre autosoportada de control de tráfico y vigilancia marítima a partir de un sistema de energía solar fotovoltaico**

**Jehider Yair Alvarez Jimenez**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá D.C., Colombia  
2021



# **Estudio técnico del autoabastecimiento eléctrico para una torre autosoportada de control de tráfico y vigilancia marítima a partir de un sistema de energía solar fotovoltaico**

**Jehider Yair Alvarez Jimenez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electromecánico**

Director:

Ingeniero Carlos Alberto Avendaño Avendaño

Línea de Investigación:

Energías

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C., Colombia

2021



# Dedicatoria

*A todos los colombianos que, desde sus profesiones y el desarrollo de sus actividades laborales diarias, creen y aportan a nuestra sociedad para generar un cambio cultural y una nueva identidad en beneficio de todos.*



## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría necesaria para afrontar y culminar con éxito esta fase dentro de mi proyecto de vida, siempre vi su luz en el camino para guiarme y poder realizar los grandes proyectos que ha puesto en mi vida.

Agradezco a mi esposa Eliana Marcela Ortega González porque sin su apoyo durante todos estos años, no habría sido posible escalar cada uno de los peldaños de este proceso para llegar a la meta final y obtener el tan anhelado título como ingeniero, que finalmente servirá para continuar con los proyectos que tenemos juntos.

Agradezco a mi madre Maribel Jiménez Rodríguez y a mi padre Braulio Alvarez Osorio por ser grandes generadores de motivación e inspiración para seguir adelante a pesar de las dificultades, sin ellos tampoco habría sido posible mantener la fuerza para continuar.





## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal, realizar un estudio técnico sobre el autoabastecimiento eléctrico para una torre autosoportada del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima ubicada en Isla Soldado, en el departamento del Valle del Cauca. El presente estudio es a partir de un sistema de energía solar fotovoltaica, esto con el fin de brindar a la Armada Nacional y la Dirección General Marítima (DIMAR), una herramienta que les permita determinar la viabilidad de reemplazar o apoyar el modelo de generación eléctrica actual que funciona mediante plantas de combustión interna, con un sistema de energía renovable capaz de suministrar la energía requerida para abastecer la torre autosoportada.

**Palabras clave:** Potencia eléctrica, energía renovable, energía solar fotovoltaica, control de tráfico y vigilancia marítima

## **Abstract**

The main objective of this project is to carry out a technical study on the electrical self-supply for a tower of the traffic control and maritime surveillance system located on Soldado Island, in the department of Valle del Cauca from a photovoltaic solar energy system, This in order to provide the National Navy and the General Maritime Directorate (DIMAR) with a tool that allows them to determine the viability of replacing or supporting the current electricity generation model that works through internal combustion plants, with an energy system renewable capable of supplying the energy required to supply the self-supporting tower.

**Keywords: Electric power, renewable energy, photovoltaic solar energy, traffic control and maritime surveillance**

---

# Contenido

<b>1. Aspectos generales del proyecto.....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Justificación.....	4
1.3 Estado del arte .....	5
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo general .....	8
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
1.5 Alcance.....	8
1.6 Metodología.....	9
<b>2. Marco referencial.....</b>	<b>11</b>
2.1 Marco teórico.....	11
2.1.1 Energías renovables y no renovables.....	11
2.1.2 Energía solar .....	12
2.1.3 Sistema fotovoltaico .....	12
2.1.4 Radiación solar.....	13
2.1.5 Hora sol pico.....	13
2.1.6 Irradiancia .....	13
2.1.7 Radiación directa.....	14
2.1.8 Radiación difusa .....	15
2.1.9 Radiación de albedo o reflejada.....	15
2.1.10 Celda fotovoltaica .....	15
2.1.11 Módulo fotovoltaico.....	15
2.1.12 Posición del módulo fotovoltaico.....	16
2.1.13 Desempeño de un módulo fotovoltaico.....	18
2.1.14 Baterías.....	19
2.1.15 Controlador .....	20
2.1.16 Inversor.....	21
2.1.17 Configuración de los sistemas fotovoltaicos .....	21
<b>3. Potencial de energía solar en Isla Soldado.....</b>	<b>23</b>
3.1 Irradiación solar global en Isla Soldado.....	24
3.1.1 Datos de irradiación solar del IDEAM .....	24

---

3.1.2	Datos de radiación solar de la NASA.....	26
3.1.3	Análisis del valor de radiación para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	27
<b>4.</b>	<b>Levantamiento de cargas eléctricas .....</b>	<b>30</b>
4.1	Levantamiento de la potencia eléctrica consumida en la torre autoportada de Isla Soldado.....	30
<b>5.</b>	<b>Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....</b>	<b>32</b>
5.1	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de la torre autoportada de Isla Soldado .....	32
5.1.1	Cargas eléctricas de consumo .....	33
5.1.2	Dimensionamiento del banco de baterías.....	34
5.1.3	Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico .....	36
5.1.4	Especificación de un inversor.....	39
5.1.5	Diseño y dimensionamiento del cableado del sistema .....	40
5.2	Sistema de protección.....	47
5.2.1	Protección contra sobrecorriente .....	47
5.2.2	Puesta a tierra .....	48
<b>6.</b>	<b>Análisis comparativo del modelo actual y el modelo propuesto .....</b>	<b>50</b>
6.1.1	Costos de mantenimiento del sistema propuesto.....	50
6.1.2	Gastos de sostenimiento del modelo actual .....	51
6.1.3	Análisis comparativo.....	52
<b>7.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>55</b>
7.1	Recomendaciones .....	56

---

## Lista de figuras

Figura 1. Radiación solar sobre la Tierra y su interacción.....	14
Figura 2. Radiación solar sobre un receptor. ....	14
Figura 3. Ángulo azimut de un generador fotovoltaico. ....	17
Figura 4. Ángulo de inclinación de un generador fotovoltaico. ....	17
Figura 5. Curva I-V de un módulo fotovoltaico de 12VCC nominal bajo STC.....	18
Figura 6. Radiación solar del periodo jul-2014 a dic-2016. ....	25
Figura 7. Curva de brillo solar en Cali. ....	26
Figura 8. Radiación solar del periodo jul-2014 a dic-2016. ....	27
Figura 9. Comparación de los datos de radiación solar. ....	28
Figura 10. Diagrama de bloque de un sistema fotovoltaico.....	33

---

## Lista de tablas

Tabla 1. Valores promedios totales de radiación solar global anual. ....	24
Tabla 2. Valores promedios totales de radiación solar global anual. ....	27
Tabla 3. Consumo de energía eléctrica de los equipos de la torre autosoportada. ....	31
Tabla 4. Características técnicas del módulo SR-72M550HLPro. ....	37
Tabla 5. Área transversal del conductor y su calibre AWG THWN/THHN 600V. ....	42
Tabla 6. Calibre de los conductores del sistema fotovoltaico. ....	44
Tabla 7. Factor de corrección de los conductores eléctricos por la temperatura ambiente. .....	44
Tabla 8. Número máximo de conductores y alambres de aparatos en tubo Conduit. ....	45
Tabla 9. Fusibles del sistema fotovoltaico. ....	48
Tabla 10. Interruptores del sistema fotovoltaico. ....	48
Tabla 11. Estimación de costos de mantenimiento anual del sistema FV .....	50
Tabla 12. Costos de mantenimiento anual. ....	51
Tabla 13. Cotización de materiales y repuestos motor generador .....	52
Tabla 14. Costos de mantenimiento anual motor generador. ....	52
Tabla 15. Características de la tecnología actual y la propuesta .....	53

# Introducción

En los últimos años, se ha evidenciado un notable crecimiento de la energía solar debido a que es inagotable y libre de emisiones (Malinkiewicz, 2017). La acogida que ha tenido este tipo de tecnología también está relacionada con diversos factores, uno de ellos es la caída de los costos de los paneles solares inherentes a su fabricación en masa. Si bien en la actualidad los costos de producción de potencia eléctrica solar, en algunos casos es mayor que la generada por técnicas convencionales, lo cierto es que existe una tendencia en alza de los precios de la electricidad convencional (Martinez Duart, 2013).

Según la Unidad de Planeación Minero – Energética (UPME), en Colombia no existe un aprovechamiento óptimo de los recursos renovables que posee (Toledo Arias, 2013), predomina la generación de energía convencional basada principalmente en fuentes de agua, representando más del 65% del suministro de energía a nivel nacional, seguida de la energía térmica basada en gas, carbón, líquidos y finalmente energía renovable con menos del 0.2% de participación (Leon Vargas, 2018).

Con el ánimo de fomentar la aplicación de fuentes de energías renovables en el país, se presenta este estudio como propuesta para la modernización de un sistema de potencia eléctrica en Isla Soldado, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, contribuyendo a las necesidades existentes en materia de desarrollo y uso de fuentes de energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional; asimismo, coadyuvar a las políticas emitidas por el Ministerio de Minas y Energía que se alinea al plan de desarrollo 2030 del Gobierno Nacional para impulsar el mercado eléctrico en Colombia (Beltrán Gómez, 2016)

La disminución presupuestal y las políticas de austeridad del gasto emitidas por el Ministerio de Defensa Nacional, es otra de las razones que ha llevado a contemplar la aplicación de fuentes de energías no convencionales en las Fuerzas Militares. Es por ello que la Armada Nacional viene estudiando la posibilidad de implementar proyectos de energía renovable que suplan las necesidades energéticas en varias bases y unidades militares que se encuentran en lugares de difícil acceso como lo es Isla Soldado, ubicada en la zona centro del pacífico colombiano.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, mide la disponibilidad de energía solar promedio anual en Buenaventura de 4,0 a 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/día, magnitud que indica ser una región ideal para la producción de energía solar, generando la necesidad de realizar un estudio profundo que atienda a los requerimientos energéticos de la torre de control de tráfico y vigilancia marítima de Isla Soldado, siendo así un aporte muy importante para la Armada Nacional y la Dirección General Marítima (DIMAR), contar con herramientas suficientes para realizar un análisis de factibilidad y conveniencia económica para implementar e instalar nuevas tecnologías de generación eléctrica.

El transporte de pasajeros y mercancía es una actividad considerada estratégica en la economía mundial de los países desarrollados. En Colombia, esta actividad dista de ser tenida en cuenta en su máximo esplendor. Han sido muchos los años que se han vivido de espaldas a las oportunidades de desarrollo que brindan los mares y ríos del país.

Siendo el transporte marítimo de mercancías y personas una de las actividades que más están generando impacto económico en el mundo, a través de la DIMAR como autoridad marítima única en Colombia, se viene contribuyendo al desarrollo con la implementación de un nuevo modelo de gestión de tráfico marítimo para el desarrollo de la economía (Ospina Arias , 2015), parte de este nuevo modelo lo conforman las estaciones de control de tráfico y vigilancia marítima, que a su vez están conformados por un conjunto de equipos tales como: radares, repetidoras, equipos de comunicación, unidades de control remoto, etc., que al operar de manera sinérgica, permiten brindar ayudas para la navegación a embarcaciones en zonas portuarias, regular y hacer segura la actividad de transporte marítimo. A la fecha, se han implementado las estaciones de control de tráfico marítimo en Buenaventura, Barranquilla, Santa Marta, Cartagena, Tumaco, Coveñas y Turbo para impulsar la competitividad de los principales puertos del país (Ospina Arias, 2015).



# 1.Aspectos generales del proyecto

## 1.1 Descripción del problema

Una de las estaciones de control de tráfico y vigilancia marítima de la Armada Nacional y la Dirección General Marítima (DIMAR) para el servicio eficiente de apoyo a la navegación y lucha contra el narcotráfico, se encuentra ubicada en Buenaventura; sin embargo, los sistemas de sensores y de radar se encuentran en la torre de Isla Soldado debido a su ubicación estratégica para que el sistema tenga suficiente capacidad de detección y permita monitorear el alto tráfico marítimo para el transporte de mercancías y personas que se desarrolla en esta región del pacífico colombiano.

El corregimiento de Isla Soldado es una zona no interconectada y de difícil acceso que solo tiene entrada y salida por vía marítima, se encuentra ubicado en Isla Soldado a 14,9 kilómetros de Buenaventura en Latitud 03°48'31" N y Longitud 77°10'46" W. Teniendo en cuenta lo anterior, si bien Isla Soldado tiene una ubicación estratégica para la torre del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima de Buenaventura, no lo es así para el suministro de los materiales, repuestos, el mantenimiento y el personal idóneo para realizar el mantenimiento de las plantas generadoras que suministran la corriente eléctrica para alimentar el sistema.

Los sistemas y equipos de la torre de Isla Soldado son abastecidos eléctricamente por tres plantas eléctricas diésel, una que debe operar en condiciones normales y las otras dos quedan disponibles para ser usadas de respaldo; sin embargo, la realidad es que solo funciona una y opera con limitaciones las 24 horas del día con repuestos de las dos plantas que se encuentran fuera de servicio, para alimentar los equipos y sistemas vitales de la estación de control de tráfico y vigilancia marítima. Por ser una zona de difícil acceso, las plantas eléctricas generan costos excesivos que no compensan los kilovatios producidos ni las ventajas de un sistema de generación de energía alternativa. En la actualidad, según el último informe emitido por los encargados del mantenimiento del grupo electrógeno por parte de la Armada Nacional, el equipo superó las 12.000 horas de

operación y aun no se ha hecho efectivo el mantenimiento de las 10.000 horas que recomienda el fabricante para garantizar el buen funcionamiento, y de esta manera cumplir su ciclo de vida para el que fue diseñado.

Teniendo en cuenta las actuales políticas de austeridad en el gasto y las restricciones presupuestales adelantadas por el Ministerio de Defensa Nacional, la Armada Nacional viene estudiando las posibilidades de implementar un proyecto de energías renovables que supla las necesidades energéticas en el corregimiento de Isla Soldado. Por lo anterior, es necesario realizar un estudio técnico del autoabastecimiento eléctrico, el cual sirve de aporte a la Armada Nacional para que a un futuro puedan realizar un análisis de factibilidad y conveniencia económica para instalar estas nuevas tecnologías de generación.

## **1.2 Justificación**

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el desarrollo de las operaciones de control de tráfico y vigilancia marítima que realiza la Armada Nacional y la DIMAR en Buenaventura, el presente proyecto pretende disponer un estudio técnico sobre el autoabastecimiento eléctrico en Isla Soldado a través de un sistema de generación de energía fotovoltaica, el cual permitirá avanzar en los estudios para satisfacer la necesidad de disminuir, los costos logísticos mensuales producidos por el sistema de generación usado actualmente.

Los sistemas de energía solar fotovoltaica se han caracterizado por su simplicidad, escasa contaminación auditiva, su larga duración de vida útil, baja frecuencia de actividades de mantenimiento, altos niveles de confiabilidad y la inversión que se requiere, es recuperada en pocos años luego de su puesta en funcionamiento. El sistema, por su practicidad permite ser instalado prácticamente en los puntos de consumos donde sea requerido. Adicionalmente a lo anterior, las instalaciones fotovoltaicas constituyen un tipo de tecnología que permite aumentar la potencia instalada fácilmente al incorporar nuevos módulos. (Camaño Martin , 2015)

Alineados con el plan de desarrollo 2030 del Gobierno Nacional, en donde se ha hecho hincapié en las políticas de austeridad en el gasto, se pretende estudiar un modelo que permita reducir los costos logísticos de transporte a Isla Soldado, disminuir los costos relacionados con las visitas técnicas para el mantenimiento de la instalación y por último reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Este proyecto es de gran impacto para la Armada Nacional, puesto que abre camino a la implementación de energías alternativas para el desarrollo de las operaciones militares en los mares y ríos de Colombia, aportando al alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3,7 y 13 (salud y bienestar, energía asequible y no contaminante y la acción por el clima respectivamente).

### **1.3 Estado del arte**

- Ladino Peralta y Rafael Eduardo de la Pontificia Universidad Javeriana, en el 2011 investigaron la energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare; en esta investigación describen aspectos geográficos en el contexto de estudios relacionados con la energía solar fotovoltaica, siendo esta un proceso directo de conversión energética, donde existen una serie de elementos que transforman la energía solar en energía eléctrica, la dirigen y orientan hacia un sistema de acumulación, para ser aprovechada en viviendas rurales, centros de salud, escuelas en momentos distintos para: iluminación, sistemas de bombeo de agua en pozos profundos, refrigeración de medicinas y telecomunicaciones.
- Felipe Diaz Reyes estudiante de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria (España), en el 2013 planteó un modelo numérico para la generación de mapas de radiación solar y su aplicación al aprovechamiento de energía solar fotovoltaica y termoeléctrica; para esto se utilizó mallas adaptativas den 2-D construidas mediante un procedimiento de refinamiento / desrefinamiento acordes a las irregularidades del terreno y el albedo.

- En Ecuador, en el 2014 Neira González, Raúl Hernán, Velecela Zhindón y Marco Vinicio, hicieron un estudio de factibilidad de generación eléctrica mediante energía eólica y energía solar fotovoltaica para el sector de Garauzhí de la parroquia Quingeo perteneciente a la ciudad de Cuenca, con el fin de plantear una alternativa a la generación de energía mediante energías convencionales.
- En 2015 Ana Katherine Rodríguez Manrique, Ángela Inés Cadena Monroy y Andrés Julián Aristizábal Cardona de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, Promueven el diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca; con este diseño los estudiantes encontraron que gracias a varias políticas gubernamentales (Ley 1715 de 2014) para incentivar tecnologías de generación no convencionales, la recuperación de la inversión inicial del proyecto puede llevarse a cabo en alrededor de 7 años y medio para el 100% de la demanda residencial analizada.
- Carlos Adrián Correa Flórez, Geovanny Alberto Marulanda García y Andrés Felipe Panesso Hernández, en el 2016 publicaron en la revista Tecura de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas la investigación “Impacto de la penetración de la energía solar fotovoltaica en sistemas de distribución: estudio bajo supuestos del contexto colombiano”.
- En el 2017, Oscar Hoyos Gutiérrez y Carlos José Hernández Mejía de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, hicieron el Estudio de Viabilidad Técnica y Económica para la Implementación de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaica de 10 kW, Caso “Hospital Local de Tenerife, Magdalena”; el cual es una propuesta enfocada en medir la viabilidad de implementar un sistema de energía solar fotovoltaico para aprovechar la emisión solar irradiada en el municipio y mitigar el impacto que causa las continuas fallas que se están presentado en la prestación del servicio de electricidad.
- Juan José Milón Guzmán y Aixa Anel Peralta Vera de la Universidad Tecnológica del Perú, en el 2018 hicieron un estudio experimental de un sistema de bombeo solar fotovoltaico en corriente continua, para bombeo de agua, reduciendo las

---

emisiones de gases contaminantes producidos por la utilización de equipos a base de combustibles fósiles; para esto se utilizaron diferentes instrumentos de medición para la obtención de datos meteorológicos para determinar el potencial de energía de la zona y la eficiencia del sistema de bombeo.

- En el 2018 Raul Pereira Micena, Omar R. Llenera, Wendell de Queiróz Lamas y José Luz Silvera de la Universidad de São Paulo en conjunto con el Instituto de Pesquisa en Bioenergía de Brasil, realizaron un estudio técnico del uso de energía solar y biogás en vehículos eléctricos en Ilhabela; basándose inicialmente en el cálculo de la demanda de energía de los vehículos eléctricos de la isla Ilhabela y luego se determinaron la capacidad de producción de biogás en la isla.
- En 2019, Marcelo Gustavo Cárdenas Calle de la Universidad de Cuenca (Ecuador), llevó a cabo el estudio técnico económico de la energía solar fotovoltaica y mini eólica a pequeña escala, para este análisis consideró las tecnologías instaladas en los laboratorios de la Universidad de Cuenca las cuales eran paneles monocristalinos fijos, policristalinos móviles a uno y a dos ejes; en tanto que, para la energía eólica dispuso de dos aerogeneradores, uno de eje vertical y otro horizontal.
- Claudia Lucía Cortés, Gloria Gómez Gómez, Felipe Betancur Londoño, Sandra Ximena Carvajal Quintero y Neil Guerrero González de la Universidad Nacional, publicaron en la revista del ITM del 2020 el artículo análisis experimental del rendimiento de un sistema fotovoltaico con un inversor centralizado y microinversores: un caso de estudio en Manizales; en donde presentaron un análisis experimental, en términos de potencia generada, de un sistema fotovoltaico instalado en Manizales utilizando (a) un inversor centralizado y (b) microinversores.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar un estudio técnico del autoabastecimiento eléctrico para una torre autosoportada de control de tráfico y vigilancia marítima en Isla Soldado, a partir de un sistema de energía solar fotovoltaica.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Estudiar el potencial de energía solar en Isla Soldado.
- Realizar el levantamiento de cargas eléctricas y determinar las potencias de consumo de los equipos vitales para el funcionamiento del sistema.
- Dimensionar el sistema solar fotovoltaico autónomo de acuerdo con las potencias de consumo del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima de Isla Soldado.
- Determinar los sistemas de protección eléctrica del modelo propuesto.
- Elaborar el análisis comparativo de la logística del mantenimiento del sistema de generación eléctrica actual y la tecnología propuesta.

## **1.5 Alcance**

Este proyecto busca estudiar un sistema de energía solar fotovoltaica para la estación remota de Isla Soldado, que permita reducir los costos del proceso actual para el funcionamiento del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima. En caso de que la Armada Nacional y la DIMAR decidan implementarlo, servirá para estudiar la viabilidad de replicar el estudio en los demás puertos del territorio colombiano.

## 1.6 Metodología

El diseño de investigación que se propone es de carácter no experimental, se realiza sin manipular deliberadamente las variables, por lo que se basa principalmente en la observación de fenómenos tal cual como se dan en su contexto natural para posteriormente ser analizados.

El método de la investigación es analítico, por tratarse de un estudio de viabilidad técnica, existen diferentes componentes que se evalúan para determinar dicha viabilidad como es el caso del componente potencial de energía solar, levantamiento de cargas eléctricas, y dimensión del sistema solar fotovoltaico, el cual se resume en el diagnóstico. Asimismo, la investigación cuenta con un enfoque cuantitativo a partir del análisis numérico del cálculo de energía y la valoración numérica para analizar la información.

Con el ánimo de alcanzar cada uno de los objetivos específicos propuestos previamente, a continuación, se plasman de manera organizada y precisa, la forma y los pasos a seguir con su respectiva explicación detallada, así:

1. Como primera medida, mediante el análisis comparativo de las bases de datos de irradiación solar de la NASA y el IDEAM, se conoce el potencial energía solar en Isla Soldado, el cual se presenta en el proyecto de investigación mediante el uso de tablas y gráficas de fácil interpretación.
2. Levantamiento de datos y el cálculo de las cargas de consumo actual para el funcionamiento de la torre del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima del corregimiento de Isla Soldado. Los datos obtenidos del levantamiento de cargas son registrados en tablas que son incluidas dentro del presente trabajo.
3. Al momento de contar con la información requerida para continuar con el desarrollo del proyecto propuesto, se realiza el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico en el corregimiento de Isla Soldado; de igual manera, se determinan los elementos que deben ser incluidos dentro del sistema para aumentar la capacidad de suministro de energía eléctrica.

4. Con el ánimo de evitar el daño de los equipos y garantizar su operación y mantenimiento, se tendrán en cuenta lo establecido en la norma NTC 2050 artículo 690 y la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-20 de la protección contra sobrecorrientes para determinar los sistemas de protección eléctrica del modelo propuesto.
  
5. Finalmente, al contar con el dimensionamiento del sistema y con sus respectivos elementos de protección que permite mejorar las garantías del sistema de energía solar fotovoltaico, se realizará un análisis comparativo entre el sistema de generación eléctrico actual y la tecnología que se propone en este proyecto.



## **2.Marco referencial**

En el presente capítulo, se realiza un breve repaso de los principales conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del estudio técnico, especialmente en temas relevantes como la determinación del potencial de energía solar en una ubicación específica; teniendo claro el concepto de radiación solar, posición del módulo fotovoltaico, entre otros; se pretende realizar una verificación minuciosa de las características y funciones de los componentes que integran un sistema fotovoltaico, entre ellos el controlador, el inversor, las baterías y los módulos fotovoltaicos que a propósito son utilizados para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Adicionalmente, se incluye dentro de este capítulo, una revisión histórica tanto de los proyectos ya implementados en varias islas a nivel nacional como en la misma Isla Soldado, específicamente en el corregimiento de Punta Soldado. Así mismo, se realiza una revisión del estado actual de las leyes que rigen actualmente en el país en materia de energías renovables.

### **2.1 Marco teórico**

#### **2.1.1 Energías renovables y no renovables**

Actualmente la mayor parte de la energía producida es a partir de fuentes de combustibles fósiles finitas tales como el carbón mineral, el petróleo y el gas natural. Esta energía es aprovechada para energizar automóviles, aires acondicionados, refrigeradores, teléfonos celulares, computadores, etc. Dado que las fuentes de energía fósil son finitas, las fuentes de energía renovable, como su frase lo indica, puede ser renovada una y otra vez, es energía que se encuentra disponible en la luz solar, el viento, el agua y otros recursos naturales como los biocombustibles. De acuerdo con lo anterior, las fuentes de energía según su uso se pueden clasificar en:

- **Energías renovables.** Son aquella que su fuente primaria de energía es la producida por la naturaleza y no requiere de ninguna intervención previa por el hombre; algunas de ellas son: La energía geotérmica, solar, eólica, biomasa, hidráulica y mareomotriz (Esteve Gómez, 2011).
- **Energías no renovables.** Son aquellas que su fuente primaria de energía es agotable y requiere ser transformada en energía útil; siendo unas de ellas la energía basada en combustibles fósiles (Esteve Gómez, 2011).

### **2.1.2 Energía solar**

El sol gracias a su proceso de fusión nuclear espontaneo e ininterrumpido, es una fuente de energía renovable, constante, gratuita y limpia que se encuentra siempre a nuestra disposición. El calor, la luz y la fuerza gravitatoria del sol dan lugar a la formación de diversos fenómenos en la naturaleza que podemos aprovechar a través de su transformación, mediante la aplicación de diferentes tecnologías podemos obtener otras formas de energía como lo son la energía fotovoltaica, eólica, hidráulica, entre otras. (Almanza, 2019).

### **2.1.3 Sistema fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico es un sistema capaz de producir electricidad gracias a la luz solar. Son una fuente generadora de energía limpia y confiable que puede ser usada en una gran variedad de aplicaciones tales como el campo de las comunicaciones, riego de cultivos, iluminación, vigilancia, navegación marítima y aérea, redes de servicio público, entre otros. Las investigaciones realizadas en la tecnología fotovoltaica desde 1873 hasta la fecha, demuestran el gran interés que existe por las aplicaciones fotovoltaicas, lo cual representa una gran promesa de rápido desarrollo para esta tecnología.

### **2.1.4 Radiación solar**

La radiación solar es el término que se usa para referirse a la energía solar que incide sobre una superficie en un lugar y momento específico; dicho de otra forma, es un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el sol que comprende desde las radiaciones infrarrojas hasta las ultravioletas. Son muchos los factores que permiten determinar la cantidad de radiación solar en un sitio, las condiciones atmosféricas, el movimiento de rotación y traslación, al igual que la declinación de la tierra con respecto al plano de la eclíptica condicionan la radiación solar recibida en un punto específico de la superficie de la Tierra, es por eso por lo que el ángulo de incidencia de los rayos del sol varía a lo largo del año. (Mascarós Mateo, 2016)

### **2.1.5 Hora sol pico**

Se define como la cantidad de horas en las que la irradiación es de 1000 W/m<sup>2</sup> en un día. La hora sol pico permite definir la cantidad de energía solar disponible en un día por m<sup>2</sup>, por ejemplo, si los rayos del Sol inciden durante 6 horas a 1000 W/m<sup>2</sup>, se puede decir que equivalen a 6 horas sol pico, lo que sería igual a 6kWh/m<sup>2</sup>.

### **2.1.6 Irradiancia**

Es la magnitud utilizada para referirse a la potencia que incide por unidad de superficie o sobre un área en un momento determinado, se mide en W/m<sup>2</sup>. Se ha realizado mediciones que indican que la irradiancia en nuestro planeta alcanza un valor promedio de 1367 W/m<sup>2</sup> en la superficie más alejada, en el exterior de la atmósfera y se ha definido como la constante solar. Sin embargo, debido a la atmósfera y la corteza terrestre, la radiación solar no llega de forma directa y el valor de la irradiancia termina siendo menor (Almanza, 2019).

Figura 1. Radiación solar sobre la Tierra y su interacción



Fuente. (Almanza, 2019).

### 2.1.7 Radiación directa

Es la radiación solar directa del sol que incide sobre el módulo fotovoltaico sin cambiar de dirección. (Mascarós Mateo, 2016).

Figura 2. Radiación solar sobre un receptor.



Fuente. Elaboración propia.

### **2.1.8 Radiación difusa**

Es la radiación que procede del cielo visible como consecuencia del fenómeno de difracción y reflexión. (Mascarós Mateo , 2016)

### **2.1.9 Radiación de albedo o reflejada**

Es la radiación directa y difusa procedente de la reflexión sobre el entorno (suelo u otras superficies) que recibe el módulo fotovoltaico. (Mascarós Mateo, 2016)

### **2.1.10 Celda fotovoltaica**

Es la unidad elemental de un sistema fotovoltaico, un dispositivo eléctrico que gracias al efecto fotoeléctrico es capaz de convertir la radiación solar en corriente eléctrica DC. Las celdas fotovoltaicas están protegidas principalmente por vidrio y una estructura perimetral, para conformar el módulo fotovoltaico.

### **2.1.11 Módulo fotovoltaico**

Es el conjunto de celdas fotovoltaicas que conectadas en serie o en serie-paralelo, pueden producir tensión y corriente eléctrica confiable. Actualmente, la mayoría de las celdas fotovoltaicas producen 0.5 V, por lo que un módulo fotovoltaico de 36 celdas tiene un voltaje de salida de 18 VCC bajo condiciones estándar de prueba (STC), y un voltaje nominal de 12 V; por otro lado, la cantidad de corriente de salida siempre está determinada por el área y la eficiencia de cada una de las celdas en el módulo.

Para calcular la cantidad de módulos FV en serie, es necesario definir el voltaje nominal del sistema de CC. Teniendo en cuenta lo anterior, la cantidad de módulos FV en serie se obtiene así:

$$\text{Módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje nominal del módulo}}$$

En el caso de los módulos FV en paralelo, se requiere dividir la corriente pico requerida por el arreglo entre la corriente eléctrica de máxima potencia del módulo FV seleccionado.

$$\text{Módulos en paralelo} = \frac{I_{\text{pico}}}{I_{\text{mp}}}$$

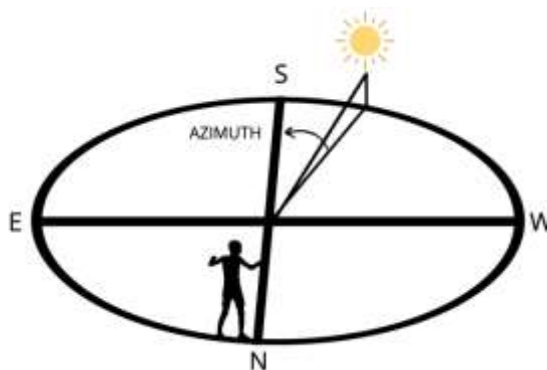
Donde  $I_{\text{mp}}$  es la corriente de máxima potencia del módulo FV seleccionado para el sistema.

### 2.1.12 Posición del módulo fotovoltaico

La mayor parte de la energía que proviene del sol llega en línea recta. Por ello, el módulo fotovoltaico podrá captar más energía solar si su orientación es perpendicular a la luz que procede del sol. En las instalaciones que no cuentan con seguimiento solar, es necesario contar con un criterio para determinar la orientación ideal para los módulos fotovoltaicos. (García Villas, 1999) Dicha orientación está determinada por los siguientes ángulos así:

- **Orientación o Ángulo azimut ( $\alpha$ ).** Es el ángulo que se forma por la proyección de la perpendicular de la superficie del módulo fotovoltaico y el meridiano del lugar en el plano horizontal. La orientación sur del módulo fotovoltaico corresponde con el valor  $0^\circ$ , la orientación oeste es de  $90^\circ$ , la orientación norte equivale a  $180^\circ$  y la orientación este es de  $270^\circ$ . (Mascarós Mateo, 2016)

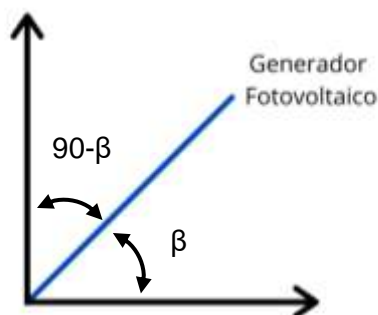
Figura 3. Ángulo azimut de un generador fotovoltaico.



Fuente. Elaboración propia

- **Inclinación o ángulo de elevación ( $\beta$ ).** Es el ángulo que se forma por la superficie del módulo fotovoltaico y el plano horizontal. Su valor es de  $0^\circ$  cuando el módulo se encuentra en posición horizontal, la inclinación es de  $90^\circ$  en posición vertical. (Mascarós Mateo , 2016)

Figura 4. Ángulo de inclinación de un generador fotovoltaico.



Fuente. Elaboración propia.

En los módulos fotovoltaicos fijos o estáticos durante todo el año, la posición óptima para maximizar la captación anual de energía debe ser, en el hemisferio norte la orientación de los módulos fotovoltaicos debe ser hacia el sur (acimut =  $0^\circ$ ), en el hemisferio sur la orientación de los módulos fotovoltaicos debe ser hacia el norte (acimut =  $180^\circ$ ).

Para determinar el ángulo de inclinación óptimo, se debe utilizar una expresión que resulta del análisis y cálculo de la irradiación solar global para diferentes inclinaciones en función la latitud del lugar:

$$\beta_{\text{ópt}} = 3.7^\circ + 0.69^\circ \cdot |\varphi|$$

Donde

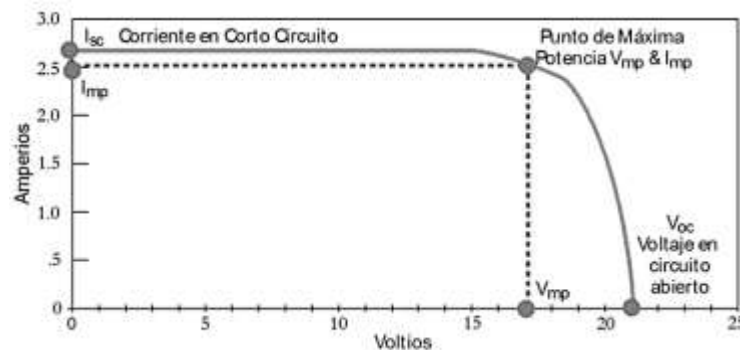
$\beta_{\text{ópt}}$  es la inclinación óptima para maximizar la captación de energía solar anual, en grados sexagesimales.

$\varphi$  es la latitud del lugar, en grados sexagesimales.

### 2.1.13 Desempeño de un módulo fotovoltaico

Las características a la salida de un módulo FV, están representadas principalmente por la curva I-V (corriente-voltaje). La potencia eléctrica total a la salida de un módulo fotovoltaico es igual al producto entre el voltaje y la corriente, en la Figura 5 se puede observar que el voltaje (V) está representado horizontalmente a lo largo del eje de las abscisas, y la corriente (I) a lo largo del eje de las ordenadas, en condiciones estándar de potencia (STC) a 100 W/m<sup>2</sup> de radiación solar y 25°C de temperatura en la celda solar (Solar Energy International , 2015).

Figura 5. Curva I-V de un módulo fotovoltaico de 12VCC nominal bajo STC.



Fuente. (Solar Energy International , 2015)

- **Punto de máxima potencia.** En el punto de máxima potencia, la potencia se encuentra determinada mediante el producto entre el  $V_{mp}$  y la  $I_{mp}$ . En la Figura 5,



---

la potencia es la que se encuentra representada por el área del rectángulo que está delimitado por líneas punteadas de forma cuadrada (Solar Energy International , 2015).

- **Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).** Es la tensión máxima que se puede obtener cuando no hay circulación de corriente eléctrica en el circuito, en ese momento se puede decir que el voltaje tiene un valor máximo (Solar Energy International , 2015).
- **Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ).** Permite conocer la corriente máxima de salida que puede conceder un módulo fotovoltaico (Solar Energy International , 2015).

### 2.1.14 Baterías

La batería es un dispositivo que almacena energía eléctrica de CC. Debido a las características propias de los sistemas fotovoltaicos a causa las variaciones de la radiación solar, las baterías son la fuente de energía estable para satisfacer la demanda energética de las cargas, ya sea a lo largo del día o por la noche.

Debido al proceso de reacción química que experimentan las baterías, cierta cantidad de energía se pierde durante su carga y descarga, haciendo que no sean dispositivos 100% eficientes. Es por ello por lo que se deben considerar implementaciones de módulos fotovoltaicos para compensar dichas pérdidas presentadas. Una batería está cargando cuando se encuentra recibiendo energía, y se está descargando cuando la energía es extraída. Los tipos de baterías que se usan comúnmente en los sistemas fotovoltaicos son:

- **Batería de ácido-plomo.** A menudo, los sistemas fotovoltaicos necesitan baterías que sean capaces de entregar una cantidad pequeña de corriente eléctrica durante periodos de tiempos más extensos y en condiciones irregulares. Este tipo de baterías pueden durar entre los tres y diez años aproximadamente, son recargables, accesibles y de fácil mantenimiento. Las baterías de ácido-

plomo se clasifican en dos subtipos: electrolito líquido (abiertas) y selladas o VRLA.

- **Baterías alcalinas.** Este tipo de tipo baterías tienen placas positivas y negativas que se encuentran sumergidas en electrolito. Dichas placas están hechas de níquel y hierro o de níquel y cadmio, con el electrolito de hidróxido de potasio, las celdas tienen un voltaje nominal de 1.2 V cada una.

Para realizar el diseño de un sistema fotovoltaico, es importante el dimensionamiento del banco de baterías, las variables que se deben tener en cuenta son:

- Capacidad de las baterías
- Profundidad y velocidad de descarga
- Días de autonomía
- Esperanza de vida útil
- Plan de mantenimiento
- Precio y garantía
- Condiciones ambientales

### **2.1.15 Controlador**

El controlador tiene como función principal evitar que el sistema fotovoltaico sobrecargue las baterías, mediante el monitoreo constante de dichas baterías, regula el voltaje y en algunos casos proteger a las baterías de descargas profundas que pueden ser causadas por el consumo de algunas cargas de CC. Cuando las baterías se encuentran completamente cargadas, el controlador detiene o disminuye la cantidad de corriente eléctrica que viene desde los paneles solares hasta las baterías. Por otro lado, cuando las baterías se descargan hasta llegar al nivel bajo límite, muchos controladores abren el circuito y cortan el suministro de corriente eléctrica desde las baterías hacia las cargas. Actualmente, los tipos de controladores fotovoltaicos que existen son:

- Controlador por derivación
- Controlador de una etapa

- Controlador por desvío
- Controlador por modulación de amplitud del pulso (PWM)

### **2.1.16 Inversor**

Su función principal en un sistema fotovoltaico es convertir la corriente directa generada por los módulos, en corriente alterna para alimentar las cargas y la red eléctrica de CA si es el caso. En el caso de los inversores que son diseñados para alimentar a la red, son llamados inversores interactivos, estos son utilizados tanto en plantas de generación fotovoltaica de escala como en sistemas residenciales que alimentan energía a la red, los dueños normalmente son las empresas de servicios públicos.

Actualmente existen tres categorías de inversores que son: interactivos, interactivos con respaldo de baterías y autónomos. La primera y segunda categoría hacen referencia a los inversores que son síncronos, que son usados en los sistemas fotovoltaicos interactivos. La tercera categoría o inversores autónomos son los que están diseñados para sistemas independientes que no están conectados a la red, utilizadas especialmente en instalaciones fotovoltaicas ubicadas en sitios remotos. Los inversores también se clasifican según la forma de onda que produce la corriente alterna. Las formas de onda más comunes son:

- Onda cuadrada
- Onda cuadrada modificada
- Onda sinusoidal

### **2.1.17 Configuración de los sistemas fotovoltaicos**

Un sistema fotovoltaico puede estar dispuesto de diferentes formas, algunos pueden llevar baterías para almacenar energía y posteriormente alimentar las cargas, sobre todo en horas donde no es posible generar electricidad por ausencia de radiación solar, otros sistema pueden funcionar en el día y no requerir dichas baterías para el almacenamiento

de la energía, otros pueden requerir un inversor para suministrar corriente alterna y poner en funcionamiento ciertos equipos eléctricos y electrónicos, o tal vez no si se cuenta con dispositivos que funcionan con corriente directa.

También existen diferentes ambientes y condiciones meteorológicas a las que puede estar sometido un sistema fotovoltaico para su funcionamiento; casos en los que las cargas operan durante la noche, o condiciones climáticas en las que el cielo es muy nublado y llueve mucho, son algunos de los contextos que llevan a considerar sistemas con baterías para el almacenamiento de la energía eléctrica. Así, los equipos eléctricos y electrónicos pueden ser abastecidos en forma continua durante el día y durante la noche en los casos que se requiere.

Unas de las configuraciones de sistemas fotovoltaicos que se pueden encontrar comúnmente, son aquellas en las que la corriente directa abastece las cargas de corriente alterna. En este tipo de sistemas, los módulos fotovoltaicos producen corriente directa, sin embargo, sucede que muchos dispositivos necesitan de corriente alterna para su funcionamiento. Es por esta razón que podemos encontrar cargas de corriente alterna que necesitan de manera indispensable un dispositivo inversor que convierta la corriente directa en corriente alterna. En términos generales, los sistemas fotovoltaicos son capaces de generar energía limpia y confiable para una gran variedad aplicaciones, brindando buenas oportunidades a los sistemas remotos que se encuentran ubicados en zonas no interconectadas.

---

### 3. Potencial de energía solar en Isla Soldado

Para determinar la cantidad de radiación solar recibida en Isla Soldado, existen distintas bases de datos, sin embargo, es importante tener en cuenta que coexiste cierta incertidumbre en los datos de radiación solar en función de las fuentes consultadas, las cuales pueden diferir ligeramente entre ellas. Las bases de datos usadas para el presente proyecto son el Atlas de Radiación Solar del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)<sup>1</sup> y la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, NASA<sup>2</sup> (por sus siglas del inglés: National Aeronautics and Space Administration). Mediante estas aplicaciones se pueden consultar registros meteorológicos que brindan datos suficientes para el diseño de sistemas fotovoltaicos en muchos lugares del territorio colombiano. (Mascarós Mateo , 2016).

Las características climatológicas del lugar considerado para el estudio técnico deben ser evaluadas cuidadosamente; En el caso de Buenaventura, el porcentaje promedio de cielo cubierto con nubes tiene pocas variaciones a lo largo del año. El 74% del tiempo Buenaventura se encuentra nublado o mayormente nublado (Weather Spark, 2021). Las abundantes precipitaciones en esta zona se atribuyen frecuentemente a que las masas de nubes que se forman a poca altura sobre el nivel del mar, saturadas de humedad son movilizadas por los vientos del Occidente al interior y al chocar con la cordillera Occidental se detienen, enfriándose y condensándose sobre las estribaciones de ésta, precipitando frecuentes cargas eléctricas y abundantes lluvias (Collazos Santos, 2014).

Si bien las nubes pueden atenuar radiación en esta región, esto no necesariamente es un impedimento para que la luz solar llegue al panel, aun cuando los días se tornen mayormente nublados si hay luminosidad en el ambiente las placas solares generarán energía, aunque ésta será producida de forma más irregular y en menor cantidad que un día soleado (IDEAM, 2021).

---

<sup>1</sup> <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

<sup>2</sup> <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

### 3.1 Irradiación solar global en Isla Soldado

Para dimensionar un sistema de generación eléctrica a partir de energía solar FV, es de vital importancia conocer los valores de radiación solar en el lugar y estimar su potencial de energía solar, de ello depende poder continuar con el desarrollo del estudio y la posible implementación del sistema. Los datos de radiación solar generalmente son presentados como un valor promedio diario para cada mes, esto como valores promedios de diferentes periodos anuales.

Los datos utilizados como referencia para la identificación de los valores de radiación solar en Isla Soldado fueron tomados del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, mapa nacional multianual de radiación solar que se encuentra en la página web del IDEAM y a través del proyecto de predicción de recursos energéticos mundiales (POWER) en el portal de servicios de la página web de la NASA para la predicción de los recursos energéticos mundiales.

#### 3.1.1 Datos de irradiación solar del IDEAM

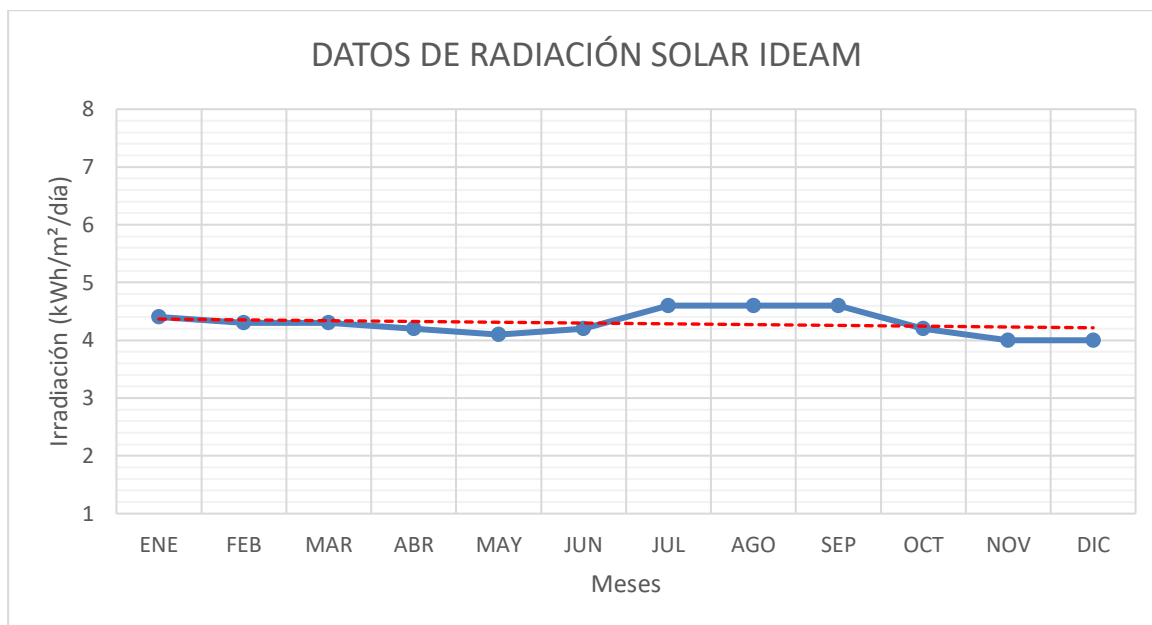
El Atlas de radiación solar entregado por el IDEAM, es una herramienta fundamental para la evaluación de la disponibilidad de radiación global y el desarrollo de las energías renovables en el territorio nacional. En vista que el Atlas de radiación solar emitido por el IDEAM no contiene datos específicos de la Isla Soldado, se tomaron los datos emitidos para el área general de la ciudad de Cali. En la Tabla 1 se observan los valores promedios totales de irradiación solar global horizontal en kWh/m<sup>2</sup>. El atlas de radiación solar utilizado es el comprendido entre el mes de julio de 2014 y diciembre de 2016.

Tabla 1. Valores promedios totales de radiación solar global anual.

PROMEDIO DE RRADIACIÓN SOLAR GLOBAL ANUAL (kWh/m <sup>2</sup> )													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
Promedio	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	4.2	4.6	4.6	4.6	4.2	4.0	4.0	4.3

Fuente. Elaboración propia.

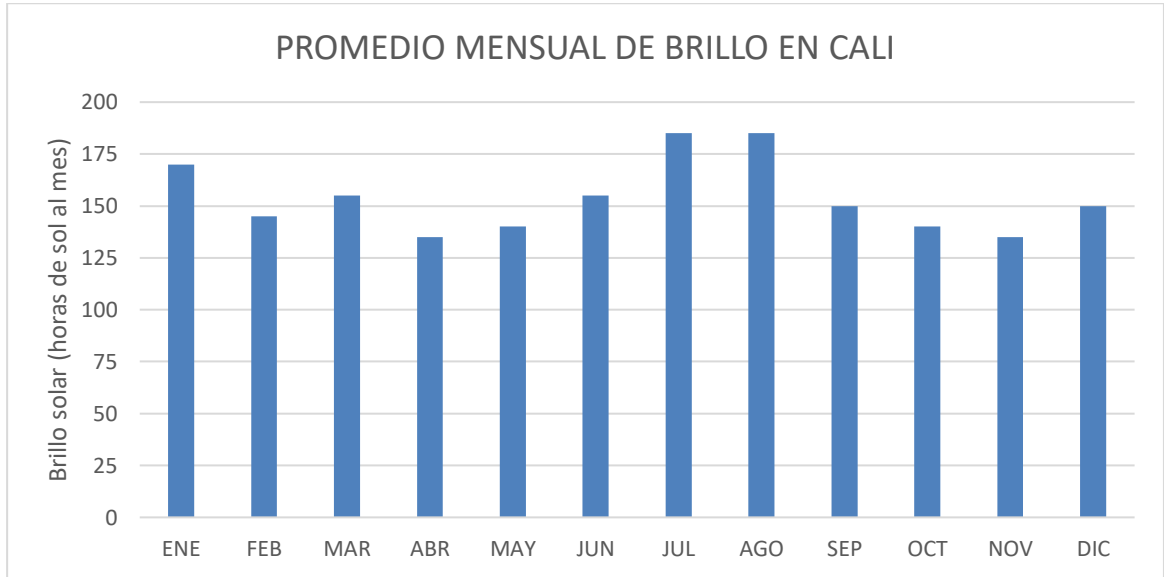
Figura 6. Radiación solar del periodo jul-2014 a dic-2016.



Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 6 se observa el cambio de radiación solar promedio durante los meses del año en el periodo de julio de 2014 a diciembre de 2016. Se puede evidenciar que el promedio de irradiación solar se encuentra entre 4,0 y 4,6 kWh/m<sup>2</sup>, el valor de irradiación solar más bajo se encuentra en los meses de noviembre y diciembre con 4,0 kWh/m<sup>2</sup>. Asimismo, se obtuvieron los datos de brillo solar, los cuales permiten contar con otro patrón de confiabilidad. En la Figura 7 se observa la curva de brillo solar en la ciudad de Cali, en donde se puede evidencia el promedio mensual de brillo solar.

Figura 7. Curva de brillo solar en Cali.



Fuente. (IDEAM , 2018)

### 3.1.2 Datos de radiación solar de la NASA

Otra de las herramientas utilizadas para obtener los valores de irradiación solar y la inclinación apropiada de módulos fotovoltaicos, es la base de datos de la NASA la cual proporciona un conjunto de datos meteorológicos de irradiación solar, basados en las investigaciones de la NASA para apoyar la energía renovable y la eficiencia energética a nivel mundial.

Teniendo en cuenta que la aplicación web que proporciona el conjunto de datos meteorológicos y la energía solar para diseñar sistemas de energía renovable, no tiene datos específicos para la Isla Soldado, se tomaron los datos emitidos para el área general de la ciudad de Buenaventura, ubicada en las coordenadas latitud 03°52'29"N y longitud 77°3'28"W a una distancia de 14.9 km de Isla Soldado, obteniendo los datos de radiación que se pueden evidenciar en la Tabla 2 con un valor de 3.63 kWh/m<sup>2</sup> promedio anual.



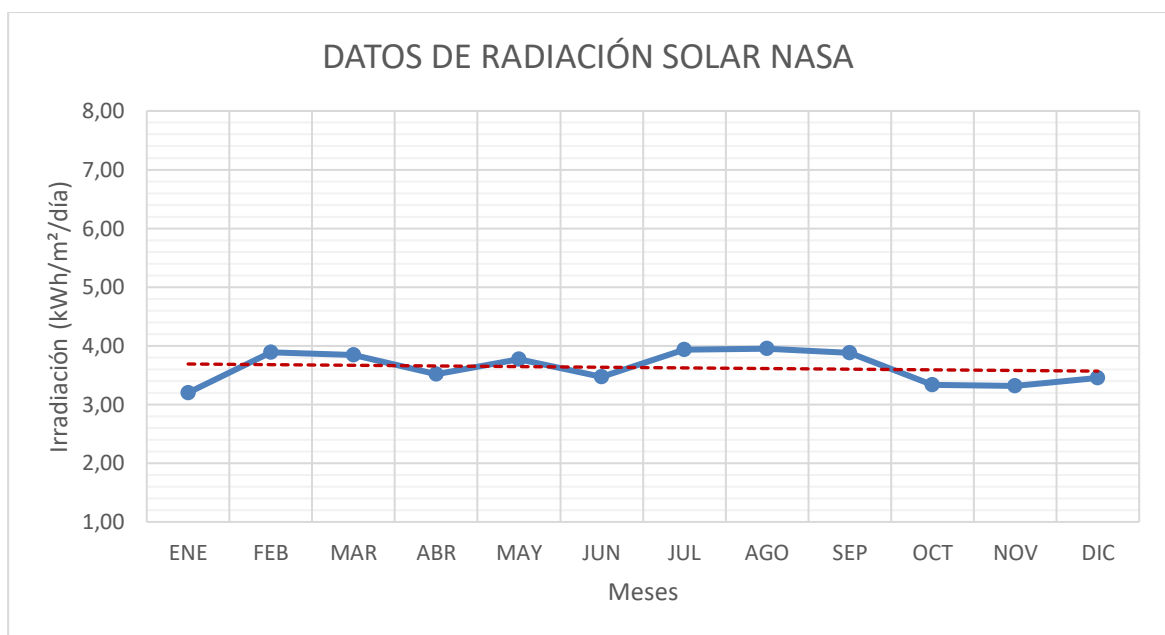
Tabla 2. Valores promedios totales de radiación solar global anual.

PROMEDIO DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ANUAL(kWh/m <sup>2</sup> )													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio anual
Promedio	3.20	3.89	3.84	3.52	3.77	3.47	3.93	3.95	3.88	3.33	3.32	3.45	3.63

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 8 se puede observar la variación de radiación solar en los meses del periodo publicado por la NASA entre julio de 2014 y diciembre de 2016.

Figura 8. Radiación solar del periodo jul-2014 a dic-2016.



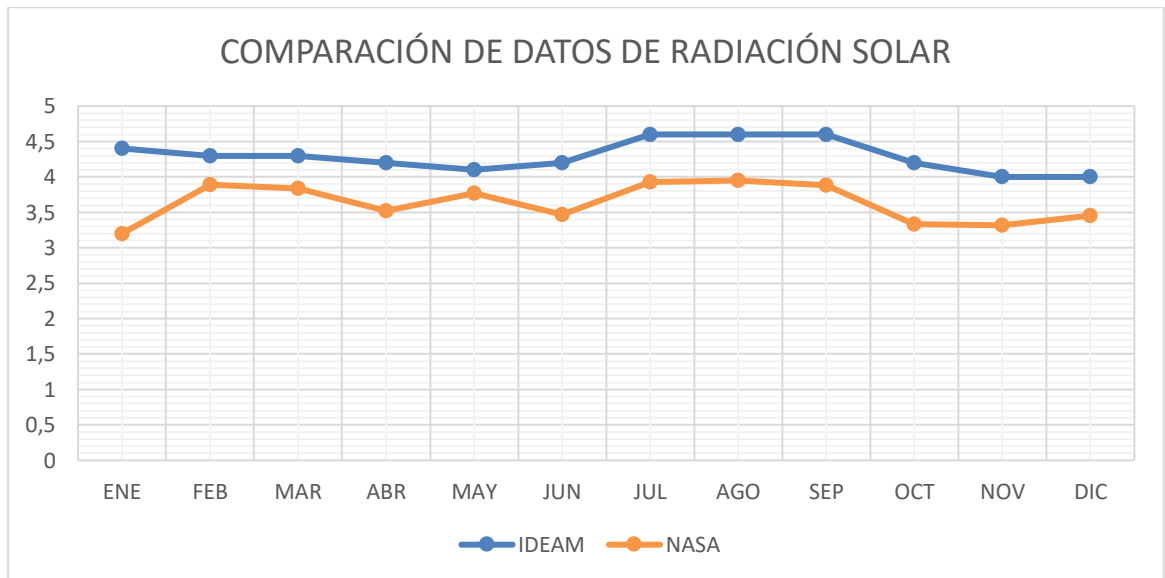
Fuente. Elaboración propia.

### 3.1.3 Análisis del valor de radiación para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Teniendo en cuenta que las fuentes de información de registros meteorológicos IDEAM y NASA no tienen datos históricos de radiación solar específicos para Isla Soldado, aunque las condiciones solares pueden variar de manera significativa de un lugar a otro, para definir la cantidad de radiación solar se aproximaron los datos de diseño a los datos meteorológicos promedio de lugares cercanos (Solar Energy International, 2015),

mediante la graficación de los datos de radiación solar, se realizó una comparación y análisis de los valores para fijar el potencial de energía solar que se utilizará para el diseño del sistema fotovoltaico. En la Figura 9 se puede observar que los valores de radiación solar obtenidos por la NASA se encuentran por debajo del IDEAM; sin embargo, se evidencia que para ambas bases de datos los registros más altos se encuentran entre el mes de julio y septiembre. A excepción del mes de enero donde evidentemente hay una caída del potencial de energía solar, se observa que el comportamiento de los datos obtenidos por el IDEAM, son muy parecidos a los datos obtenidos por la NASA.

Figura 9. Comparación de los datos de radiación solar.



Fuente. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos anteriormente mencionados, uno de los aspectos tenidos en cuenta dentro del análisis y la selección del valor de radiación solar para Isla Soldado, es el resultado de los datos obtenidos por el IDEAM, la radiación solar corresponde a la ciudad de Cali, por lo que se descartan debido a la gran distancia y diferencias climáticas que pueden llegar a existir entre estos dos lugares.

Debido a que el sistema de control de tráfico y vigilancia marítima de Buenaventura es una aplicación que no puede estar sometida a cortes de suministro y teniendo en cuenta que la metodología de datos y satélites de la NASA, son lo suficientemente precisos

como para proporcionar datos fiables de recursos meteorológicos en regiones donde las mediciones de superficie son escasas o inexistentes, se determina que el potencial de energía a usar para el dimensionamiento del sistema será de  $3.2 \text{ kWh/m}^2$ , dato registrado por la NASA en el mes de enero como se pudo observar en la Tabla 2. Los datos y parámetros basados de POWER Release-8, proporcionan una cuadrícula global o áreas en una resolución especial de  $0.5^\circ$  de latitud y  $0.5^\circ$  de longitud, datos solares y meteorológicos actualizados de baja latencia.

## **4. Levantamiento de cargas eléctricas**

Para dimensionar el sistema de generación eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica, es de vital importancia calcular la energía eléctrica consumida por las cargas de la torre autoportada de Isla Soldado. El presente capítulo tiene como objetivo principal definir el consumo diario de energía eléctrica del sistema.

Dado que la Dirección General Marítima (DIMAR) no tiene proyección de crecimiento en la región más que el funcionamiento del sistema de control de tráfico y vigilancia marítima, durante los próximos años no se contempla un aumento de cargas. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, debido a la importancia que tiene el sistema y las dificultades logísticas que se presentan en la actualidad, se realiza el cálculo de la energía para las 24 horas del día.

### **4.1 Levantamiento de la potencia eléctrica consumida en la torre autoportada de Isla Soldado**

La torre autoportada ubicada en la Isla Soldado es un sistema vital que, por su importancia para el ejercicio del control y vigilancia del transporte marítimo de personas y mercancías, no puede asumir cortes de suministro energético. Actualmente la energía eléctrica generada para atender esta necesidad es producida por un grupo electrógeno de 50 kW que opera las 24 horas al día.

Teniendo en cuenta que la cantidad de energía consumida por las cargas es lo que más influye en el tamaño y costo de un sistema fotovoltaico, para el presente diseño se realiza un análisis de las cargas eléctricas que intervienen en el funcionamiento normal de la torre autoportada. Considerando que, en la actualidad la responsabilidad de garantizar y mantener el suministro de energía eléctrica de los equipos de la torre corresponde a la DIMAR, en primera medida se realiza una revisión muy general de algunos factores, el uso eficiente de la energía que se pretende generar para el funcionamiento exclusivo de

los equipos de la torre como sistema autónomo, son algunos de ellos. En la Tabla 3 se observa la relación de los equipos eléctricos y electrónicos que conforman el sistema, y a su vez la torre autosoportada en Isla Soldado para el ejercicio del control de tráfico y vigilancia marítima en Buenaventura.

Los datos de consumo energético del sistema se obtuvieron a partir de la verificación y análisis de la información técnica, específicamente los datos evidenciados en los manuales de los equipos que permiten el funcionamiento de la torre autosoportada de Isla Soldado. El resultado del análisis de los datos obtenidos es una potencia total requerida de 20.4 kW para el funcionamiento del sistema, como se observa en la Tabla 3. Teniendo en cuenta lo anterior, se estima que para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico el consumo de energía eléctrica sería de 490 kWh/día.

Tabla 3. Consumo de energía eléctrica de los equipos de la torre autosoportada.

ITEM	EQUIPOS	POTENCIA (W)
1	AIS	80
2	Audio Server Computer	650
3	CCTV P/T	336
4	DSC Server Computer	650
5	DSC SSB	250
6	DSC VHD	200
7	Ethernet Switch	140
8	Equipment Shelter Lighting	200
9	Equipment Shelter 120 VAC Utility Outlet	1.800
10	HV AC	4.800
11	KVM	25
12	Microwave Link	50
14	Motorola Base Station	500
15	Radar	4.000
16	Radar	100
17	Radar Processor Computer	650
18	Radar Transceiver	1.050
19	Sensor Server Computer	650
20	SSB	250
21	Serial to TPC/IP Converter	60
22	Tower Obstruction Lighting	300
23	Tower Safety Lighting	800
24	Town Crown 120 VAC Utility Outlet	1.800
25	Unknown Navy Equipment	500
26	VHF Transceiver 1	200
27	Video Stabilizer	100
28	Video Encoder	20
29	VOIP	25
30	Weather Station	240
TOTAL		20.426

Fuente. Elaboración propia.

## **5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico**

Un sistema FV está compuesto por un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos capaces de producir energía eléctrica a partir de la radiación solar. En este capítulo se presenta un dimensionamiento que permite alimentar la torre autosoportada de control de tráfico y vigilancia marítima ubicada en la Isla Soldado. Igualmente, se especifican los elementos que conformarían el sistema FV para mejorar su capacidad energética.

En los sistemas FV autónomos, existen probabilidades no nulas de presentarse fallos en el suministro energético; así mismo, es posible que porcentajes de la energía demandada por la red de consumo no pueda ser correspondida. Por otra parte, teniendo en cuenta que el sistema de control de tráfico y vigilancia marítima es una aplicación que no puede estar sometida a cortes de suministro, se considera que, el grupo electrógeno que alimenta actualmente el sistema pueda coexistir con el sistema propuesto, de tal manera que la combinación de ambos permita reducir las horas de operación del grupo electrógeno, así como reducir los gastos de combustible y de mantenimiento.

Uno de los enfoques que tiene el dimensionado del sistema FV, es optimizar el modelo de generación actual. El control de arranques y paradas del grupo electrógeno está definido por el consumo de los equipos que se encuentran en funcionamiento, considerando una vez más que las cargas no pueden asumir un corte de suministro, el grupo electrógeno puede funcionar como un generador de emergencia, activándose de manera automática para alimentar la red de consumo a partir de un nivel de alerta.

### **5.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de la torre autosoportada de Isla Soldado**

El dimensionamiento del sistema FV consiste principalmente en decidir y determinar el tamaño del generador fotovoltaico y del acumulador, siendo estos capaces de proporcionar la energía eléctrica requerida por las cargas a partir de la radiación solar

disponible en la zona y su comportamiento aleatorio. En la Figura 10 se puede ver en una forma didáctica los principales componentes de un sistema fotovoltaico.

Figura 10. Diagrama de bloque de un sistema fotovoltaico.



Fuente. (Solar Energy International, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, para el desarrollo del presente proyecto, se tuvieron en cuenta seis pasos que permitieron calcular con precisión, el sistema fotovoltaico de la torre autosoportada de Isla Soldado basado en las necesidades existentes, así:

1. Cargas eléctricas de consumo
2. Dimensionamiento del banco de baterías
3. Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico
4. Especificación del inversor
5. Diseño y dimensionamiento del cableado del sistema

### 5.1.1 Cargas eléctricas de consumo

Para realizar un diseño eficiente de un sistema fotovoltaico, es necesario conocer las cargas, así como conocer su potencia y su consumo en horas. De acuerdo con el estudio de cargas presentado en el capítulo anterior, el consumo de las cargas en promedio equivale a 490 kWh/día para alimentar la torre autosoportada de Isla Soldado.

### 5.1.2 Dimensionamiento del banco de baterías

Teniendo en cuenta que se establece un margen del 90% para la eficiencia del inversor, se obtiene que la potencia consumida es equivalente a 441.2 kWh/día. Por lo anterior, para el dimensionamiento del banco de baterías del sistema FV de la torre autosoportada de CTVM de Isla Soldado, se calcula la corriente eléctrica equivalente del sistema así:

$$Carga\ total\ promedio\ diario\ CA = \frac{Carga\ promedio\ diaria\ CA}{Voltaje\ del\ sistema}$$

$$Carga\ total\ promedio\ diario\ CA = \frac{441201\ Wh/día}{48\ V}$$

$$Carga\ total\ promedio\ diario\ CA = 9192\ Ah$$

**Cantidad de baterías en serie.** La cantidad de baterías en serie se calcula de la siguiente manera:

$$N^{\circ}\ de\ baterías\ en\ serie = \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ de\ la\ batería}$$

$$N^{\circ}\ de\ baterías\ en\ serie = \frac{48\ V}{48\ V}$$

$$N^{\circ}\ de\ baterías\ en\ serie = 1$$

**Cantidad de baterías en paralelo.** Para obtener la corriente necesaria para el funcionamiento del sistema, la cantidad de baterías en paralelo se calcula teniendo en cuenta las siguientes variables:

- **Capacidad requerida del banco de baterías.** Considerando dos días de autonomía para el funcionamiento del sistema, la capacidad del banco de baterías se obtiene así:



---

*Capacidad requerida banco de baterías = Carga total promedio diaria \* días*

*Capacidad requerida banco de baterías = 9192 Ah \* 1*

*Capacidad requerida bando de baterías = 9192 Ah*

- **Capacidad total del banco de baterías.** Teniendo en cuenta que las baterías no se deben descargar totalmente para no afectar su vida útil, el límite de descarga permite obtener la capacidad que debe tener el diseño del banco de baterías. Para el presente proyecto, se establece que el límite de descarga será del 70%, en base a lo anterior se obtiene que:

$$Capacidad\ total\ banco\ baterías = \frac{Capacidad\ requerida\ del\ banco\ de\ baterías}{Límite\ de\ descarga\ de\ la\ batería}$$

$$Capacidad\ total\ del\ banco\ de\ baterías = \frac{9192\ Ah}{0.7}$$

*Capacidad total del banco de batería = 13131 Ah*

Finalmente, la cantidad de baterías en paralelo se obtiene al dividir la capacidad total requerida del banco de baterías entre la capacidad de corriente de la batería seleccionada.

$$Baterías\ en\ paralelo = \frac{Capacidad\ total\ requerida\ del\ banco\ de\ baterías}{Capacidad\ de\ corriente\ de\ la\ batería}$$

De acuerdo con las especificaciones técnicas de la batería seleccionada para el presente proyecto, la batería OPzS que ofrece la compañía HOPPECKE – POWER FROM INNOVATION y que se puede observar en el Anexo A, además de sus ventajas de vida útil debido a la aleación optimizada de selenio con bajo contenido de antimonio, tiene una capacidad de corriente de 200 Ah, por lo que se estima que la cantidad de baterías en paralelo debe ser como a continuación se indica, así:

$$Baterías\ en\ paralelo = \frac{13131\ Ah}{200\ Ah}$$

$$Baterías\ en\ paralelo = 65.66 \approx 66$$

El total de baterías necesarias para el sistema es el producto de la cantidad de baterías en serie por la cantidad de baterías en paralelo (Solar Energy International, 2015), siendo estos 1 y 32 respectivamente, obteniendo como resultado una cantidad de 32 baterías.

### 5.1.3 Dimensionamiento del arreglo fotovoltaico

Contemplando que la radiación solar es un recurso variable disponible durante un tiempo determinado del día, se debe contar con la energía necesaria para alimentar las cargas según la potencia consumida y el tiempo de funcionamiento. Para iniciar con el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

**Corriente pico requerida por el arreglo.** Teniendo en cuenta la eficiencia de las baterías, inicialmente se corrige la carga promedio diaria calculada anteriormente así:

$$Carga\ promedio\ diaria\ corregida = \frac{Carga\ total\ promedio\ diario}{Eficiencia\ energética\ de\ las\ baterías}$$

$$Carga\ promedio\ diaria\ corregida = \frac{9192\ Ah}{0.8}$$

$$Carga\ promedio\ diaria\ corregida = 11490\ Ah$$

Posteriormente, mediante la relación de la carga promedio diaria corregida y las horas de sol pico disponible por día, se obtiene la corriente pico requerida para el arreglo fotovoltaico así:

$$\text{Corriente pico} = \frac{\text{Carga promedio diaria corregida}}{\text{Horas sol pico}}$$

$$\text{Corriente pico} = \frac{11490 \text{ Ah}}{4.15 \text{ h}}$$

$$\text{Corriente pico} = 2768.67 \text{ A}$$

Según los datos de predicción sobre los recursos energéticos mundiales de la NASA, las horas sol pico en Isla Soldado equivale a 4.15 h, valor que corresponde a las horas que brilla el sol con una intensidad de  $1\text{kW/m}^2$ , para generar la radiación solar total en un día.

- **Cantidad de módulos en paralelo.** Para el desarrollo del presente punto, es importante seleccionar previamente el módulo fotovoltaico a ser usado, para ello se tuvieron en cuenta aspectos tales como la potencia, resistencia a condiciones salinas, antipolvo, entre otros. El módulo fotovoltaico escogido fue un módulo monocristalino de alto rendimiento YS550M-96 de la empresa fabricante YANGTZE SOLAR, su ficha de datos técnicos puede ser consultada en el Anexo B, en la Tabla 4 se evidencian algunas de las principales características técnicas del módulo FV.

Tabla 4. Características técnicas del módulo YS550M-96.

SR-72M550HLPro	
Potencia en Watts	550 W
Voltaje $V_{oc}$ del circuito abierto	59.16 V
Corriente $I_{sc}$ corto circuito	11.46 A
Voltaje $V_{mp}$ de energía máxima	49.30 V
Corriente $I_{mp}$ de energía máxima	11.24 A
Temperatura de la celda (NOCT)	$45 \pm 2^\circ\text{C}$

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos técnicos anteriores, se obtiene la cantidad de módulos en paralelo así:

$$\text{Cantidad de módulos en paralelo} = \frac{\text{Corriente pico}}{\text{Corriente de máxima potencia}}$$

$$\text{Cantidad de módulos en paralelo} = \frac{2768.67 \text{ A}}{11.24 \text{ A}}$$

$$\text{Cantidad de módulos en paralelo} = 246.32 \approx 246$$

- Cantidad de módulos en serie.

$$\text{Cantidad de módulos en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje nominal de los módulos}}$$

$$\text{Cantidad de módulos en serie} = \frac{48 \text{ V}}{48 \text{ V}}$$

$$\text{Cantidad de módulos en serie} = 1$$

Según los datos obtenidos anteriormente es posible encontrar que la cantidad total de módulos necesarios para el dimensionamiento del sistema se obtiene mediante el producto de la cantidad de módulos en paralelo y la cantidad de módulos en serie así:

$$\text{Cantidad total de módulos} = \text{Cant. módulos en serie} * \text{Cant. módulos en paralelo}$$

$$\text{Cantidad total de módulos} = 1 * 246$$

$$\text{Cantidad total de módulos} = 246$$

Tomando como referencia los parámetros de operación del inversor híbrido seleccionado que se verá más adelante para el dimensionamiento del sistema FV, y las características técnicas del módulo fotovoltaico escogido, se requiere un arreglo por subsistemas de los 246 paneles solares calculados anteriormente, dando lugar a un arreglo FV conformado por 16 módulos en para paralelo.

**Orientación e inclinación del generador.** Los generadores FV deben tener una orientación e inclinación de acuerdo con su ubicación. Teniendo en cuenta que Isla

Soldado se encuentra en el hemisferio norte, la orientación del generador debe ser hacia el sur. Por otro lado, para determinar la inclinación de los módulos solares, no solo se debe tener en cuenta la latitud sino también el perfil de consumo para maximizar la radiación solar en los meses que hay menor insolación, es por ello por lo que la inclinación debe ser:

$$\beta_{opt} = 3.7^\circ + 0.69^\circ \cdot |\varphi|$$

Teniendo en cuenta que mediante el método de inclinación óptima anual es posible obtener valores más precisos, en el presente proyecto se aplica la ecuación descrita anteriormente con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar y captar la mayor cantidad de energía a lo largo del año. Dada la ubicación geográfica de Isla Soldado, la cual corresponde a una latitud de  $3,8^\circ$  para el ángulo de inclinación de los módulos solares según método de inclinación óptima debe ser de  $6^\circ$  como se describe a continuación así:

$$\beta_{opt} = 3.7^\circ + 0,69^\circ \cdot 3.8$$

$$\beta_{opt} = 6.3^\circ \approx 6^\circ$$

#### **5.1.4 Especificación de un inversor**

Para seleccionar el inversor adecuado se deben tener en cuenta algunas consideraciones previas tales como la potencia total conectada, y el voltaje del sistema para así obtener la corriente eléctrica máxima ininterrumpida. Teniendo en cuenta que el inversor solar híbrido PH30-12048-T de la marca Must Solar seleccionado para el presente proyecto, es un inversor multifunción que brinda posibilidades para combinar diferentes métodos de carga al mismo tiempo, además cuenta con características que brindan confiabilidad sobre el producto, sus especificaciones técnicas se pueden observar en el Anexo C.

### 5.1.5 Diseño y dimensionamiento del cableado del sistema

Para el dimensionamiento del cableado del sistema fotovoltaico propuesto, se realizan análisis y cálculos técnicos basados en la Norma Técnica Colombiana 2050 (NTC 2050), Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y el National Electrical Code de EUA (NEC), con el fin de garantizar seguridad y funcionalidad. Para definir la sección de los conductores que conforman el sistema, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot 1.25 \cdot I_{m\acute{a}x}}{\sigma \cdot (V_a - V_b)}$$

Donde:

- S indica la sección del conductor.
- L es la longitud del segmento.
- $I_{m\acute{a}x}$  la corriente máxima.
- $\sigma$  corresponde a la conductividad eléctrica del material

Teniendo en cuenta que el cobre es el material seleccionado para los conductores del presente proyecto, se define la resistividad del material considerando una temperatura de hasta 90° C así:

$$\rho = \frac{1 + 0.00393 \cdot (T - 20)}{58} \text{ } [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$$

$$\rho = \frac{1 + 0.00393 \cdot (90 - 20)}{58} \text{ } [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$$

$$\rho = 0.02198 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Con base en el valor de la resistividad del cobre obtenida, la conductividad eléctrica del material seleccionado se calcula de la siguiente manera:

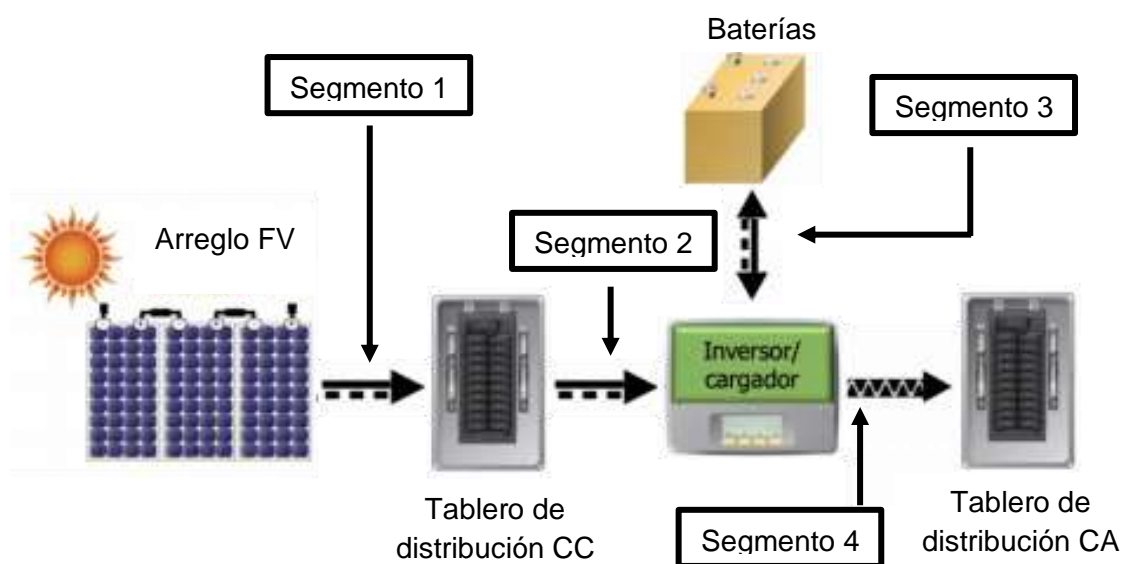
$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = \frac{1}{0.002198 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}}$$

$$\sigma = 45.4866 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$

Una vez conocida la conductividad eléctrica del cobre, se puede calcular la sección de los conductores del sistema FV, es este caso se realiza el cálculo por segmentos como se muestra en la Figura 11.

Figura 11 Segmentos para dimensionamiento del cableado del sistema FV



Fuente: Modificado por el autor

**Segmento 1. Del generador FV a la caja de combinación de CC.** En el caso de los conductores que van desde los módulos fotovoltaicos hasta la caja de combinación de corriente continua, según los cálculos realizados anteriormente la tensión es de 48 V. Teniendo en cuenta que se considera una distancia de 10 metros, se obtiene que la sección del conductor sería:

$$S = \frac{2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 1.25 \cdot 174.46 \text{ A}}{(45.4866 \frac{\text{m}}{\Omega} \cdot \text{mm}^2) \cdot (0.02 \cdot 48 \text{ V})}$$

$$S = 99.88 \text{ mm}^2$$

Se aplica un factor de seguridad según lo establecido en la NTC 2050 para el dimensionamiento y corriente de circuitos, el factor es de 125%, el cual tiene como objetivo, que el conductor no supere el 80% de su valor nominal en condiciones de operación continua. Con el ánimo de ser eficientes a la hora de minimizar las pérdidas de tensión en el sistema, teniendo en cuenta los parámetros de calibre, longitud y capacidad de corriente del conductor, se seleccionan los conductores para caídas de voltaje del 2%, valor que se encuentra también dentro del rango que se establece en la NTC 2050.

Tabla 5. Área transversal del conductor y su calibre AWG THWN/THHN 600V.

Calibre AWG/kcmil	Área nominal de la sección transversal mm <sup>2</sup>	Capacidad de conducción de corriente ( A )		
		60° C	75° C	90° C
14	2.082	20	20	25
12	3.307	25	25	30
10	5.026	30	35	40
8	8.367	40	50	55
6	13.30	55	65	75
4	21.15	70	85	95
2	33.62	95	115	130
1	42.41	110	130	150
1/0	53.48	125	150	170
2/0	67.43	145	175	195
3/0	85.01	165	200	225
4/0	107.2	195	230	260

Fuente: Modificado por el autor.

Teniendo en cuenta lo anterior y tomando como referencia la norma AWG (American Wire Gauge), el conductor del segmento 1 debe tener una capacidad mínima de corriente de 260 A. Usando un tipo de conductor THWN 90° C, con cubierta termoplástica resistente al calor y a la humedad, el calibre del conductor que se requiere es 4/0 AWG.



### Segmento 2. De la caja de combinación de CC al inversor.

Para poder realizar el dimensionamiento de los conductores que van desde la caja de combinación de CC al inversor, se debe conocer el voltaje máximo. En este caso, el voltaje máximo en los conductores será el de los módulos fotovoltaicos del sistema.

$$S = \frac{2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 1.25 \cdot 174.46 \text{ A}}{(45.4866 \frac{\text{m}}{\Omega} \cdot \text{mm}^2) \cdot (0.02 \cdot 48 \text{ V})}$$

$$S = 99.88 \text{ mm}^2$$

Teniendo en cuenta lo anterior y Tomando como referencia la norma AWG (American Wire Gauge), el conductor del segmento 2 debe tener una capacidad mínima de tensión de 48 V. Usando un tipo de conductor THWN 90° C, con cubierta termoplástica resistente al calor y a la humedad, el calibre del conductor que se requiere es de 4/0 AWG.

### Segmento 3. Del inversor a las baterías.

La corriente máxima del segmento 3 está determinada por la ficha técnica del inversor seleccionado, el cual tiene una corriente de carga máxima de 180 A, se aplica un factor de seguridad del 125%, como establece la NTC 2050 para el dimensionamiento y corriente de circuitos.

$$S = \frac{2 \cdot 5 \text{ m} \cdot 1.25 \cdot 60 \text{ A}}{(45.4866 \frac{\text{m}}{\Omega} \cdot \text{mm}^2) \cdot (0.02 \cdot 48 \text{ V})}$$

$$S = 17.18 \text{ mm}^2$$

Teniendo en cuenta lo anterior y tomando como referencia la norma AWG (American Wire Gauge), el conductor del segmento 3 debe tener una capacidad mínima de corriente de 95 A. Usando un tipo de conductor THWN 90° C, con cubierta termoplástica resistente al calor y a la humedad, el calibre del conductor que se requiere es 4 AWG.

#### Segmento 4. De la salida del inversor al tablero de conexión AC.

La corriente máxima del segmento 4, está determinada de acuerdo con la ficha técnica del inversor seleccionado, con una corriente máxima de salida de 52 A, al cual se aplica un factor de seguridad del 125%, como establece la NTC 2050 para el dimensionamiento y corriente de circuitos.

$$S = \frac{2 \cdot 11 \text{ m} \cdot 1.25 \cdot 39 \text{ A}}{(45.4866 \frac{\text{m}}{\Omega} \cdot \text{mm}^2) \cdot (0.02 \cdot 120 \text{ V})}$$

$$S = 5.13 \text{ mm}^2$$

Teniendo en cuenta lo anterior y tomando como referencia la norma AWG (American Wire Gauge), el conductor del segmento 4 debe tener una capacidad mínima de corriente de 39 A. Usando un tipo de conductor THWN 90° C, con cubierta termoplástica resistente al calor y a la humedad, el calibre del conductor que se requiere es 2 AWG. En la Tabla 6 se relacionan los calibres de los conductores seleccionados por segmentos.

Tabla 6. Calibre de los conductores del sistema fotovoltaico.

Descripción	Calibre Seleccionado	Longitud	I <sub>máx</sub> Conductor Seleccionado
Segmento 1	4/0 AWG	10 m	260 A
Segmento 2	4/0 AWG	10 m	260 A
Segmento 3	4 AWG	5 m	95 A
Segmento 4	2 AWG	11 m	130 A

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, otro de los parámetros que deben ser tenidos en cuenta de acuerdo con la NTC 2050 en la sección 690, es el factor de corrección de las corrientes máximas que soportan el calibre de los conductores seleccionados, a causa de la temperatura ambiente como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Factor de corrección de los conductores eléctricos por la temperatura ambiente.

Temperatura ambiente	Temperatura nominal de los conductores			
	60°C	75°C	90°C	105°C
°C				
30	1.00	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96	0.97
36-40	0.82	0.88	0.91	0.93

41-45	0.71	0.82	0.87	0.89
46-50	0.58	0.75	0.82	0.86
51-55	0.41	0.67	0.76	0.82
56-60	-	0.58	0.71	0.77
61-70	-	0.33	0.58	0.68
71-80	-	-	0.41	0.58

Fuente: Modificado por el autor.

Debido a que la temperatura ambiente promedio anual de Isla Soldado es de 26.1 °C, de acuerdo con la Tabla 7, se debe aplicar el factor de corrección 1, por lo que no es necesario aplicar dicho factor para calcular el nuevo valor de corriente para definir la capacidad de los conductores eléctricos seleccionados.

Una de las características especiales de Isla Soldado, así como varios de los lugares aledaños a la región, es tener unas condiciones ambientales altamente corrosivas debido a su exposición a entornos salinos, es por esta razón que se hace indispensable proteger y enrutar el cableado eléctrico del sistema fotovoltaico con tubería tipo conduit PVC, siendo este conducto uno de los más utilizados en aplicaciones de instalaciones eléctricas por las garantías que brinda para conducir cables de potencia. Siguiendo lo señalado en los apéndices de la NTC 2050 tabla C11, en donde se especifica la sección transversal del conductor y el tamaño comercial en milímetros y pulgadas de las tuberías, se determina el diámetro apropiado de los conductos para el cableado del sistema.

**Segmento 1.** Para el segmento que va desde el generador FV hasta la caja de combinación CC, se transportaran dos cables calibre 4/0 AWG THWN por el conducto, con base la norma NTC2050 tabla C11, como se observa en la Tabla 8, el calibre de la tubería recomendada en este tramo del sistema es tubería Conduit PVC de 1 ½ de pulgada, este tiene una capacidad para transportar hasta 3 conductores.

Tabla 8. Número máximo de conductores y alambres de aparatos en tubo Conduit.

LETRAS DE TIPO	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial									
			mm pulgadas									
	mm <sup>2</sup>	AWG/ kcmil	16 1/2	21 3/4	27 1	35 1 1/4	41 1 1/2	53 2	63 2 1/2	78 3	91 3 1/2	103 4
THHN,	2.08	14	16	27	44	73	96	150	225	338	441	566
THWN,	3.30	12	11	19	32	53	70	109	164	246	321	381
THWN-2	5.25	10	7	12	20	33	44	69	103	155	202	260
	8.36	8	4	7	12	19	25	40	59	89	117	150

	13.29	6	3	5	8	14	18	28	43	64	84	108
	21.14	4	1	3	5	8	11	17	26	39	52	66
	26.66	3	1	2	4	7	9	15	22	33	44	56
	33.62	2	1	1	3	6	8	12	19	28	37	47
	42.20	1	0	1	2	4	6	9	14	21	27	35
	53.50	1/0	0	1	2	4	5	7	10	16	23	29
	67.44	2/0	0	1	1	3	4	6	10	14	19	24
	85.02	3/0	0	1	1	2	3	5	8	11	16	20
	107.21	4/0	0	1	1	1	3	4	6	10	13	17
	126.67	250	0	1	1	1	2	3	5	8	10	14
	152.01	300	0	0	1	1	1	3	4	6	9	12
	177.34	350	0	0	1	1	1	2	4	5	8	10
	202.68	400	0	0	1	1	1	2	3	4	7	9
	253.35	500	0	0	0	1	1	1	3	4	6	7
	304.02	600	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6
	354.69	700	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5
	380.02	750	0	0	0	1	1	1	1	2	4	5
	405.36	800	0	0	0	1	1	1	1	1	4	4
	456.03	900	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4
	506.70	1000	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4
FEP,	2.08	14	15	26	43	70	93	146	218	327	427	549
FEPB,	3.30	12	11	19	31	51	68	106	159	239	312	400
PFA,	5.25	10	8	13	22	37	48	76	114	171	224	287
PFAH,	8.36	8	4	8	13	21	28	44	65	98	128	165
TFE	13.29	6	3	5	9	15	20	31	46	70	91	117
	21.14	4	1	4	6	10	14	21	32	49	64	82
	26.66	3	1	3	5	8	11	18	27	40	53	68
	33.62	2	1	2	4	7	9	15	22	33	44	56

Fuente: Modificado por el autor.

**Segmento 2.** El cual va desde la caja de combinación CC hasta el inversor, debe llevar cableado calibre 4/0 AWG THWN por el conducto, con base en la norma NTC 2050 tabla C11, como se observa en la Tabla 8, el calibre de la tubería recomendada para este segmento del sistema es, tubería Conduit PVC de 1 ½ de pulgada, este tiene una capacidad para transportar hasta 3 conductores.

**Segmento 3.** Este segmento que va desde el inversor hasta las baterías tiene una distancia de 5 m, debe llevar un cableado de 4 AWG THWN por el conducto, con base en la norma NTC 2050 tabla C11, como se muestra en la Tabla 8, el calibre de la tubería recomendada para este segmento del sistema es, tubería Conduit PVC de 3/4 de pulgada.

**Segmento 4.** Para el segmento que va desde la salida del inversor hasta el tablero de distribución AC, se transportaran cables calibre 4 AWG THWN por el conducto, con base la norma NTC 2050 tabla C11, como se observa en la Tabla 8, el calibre de la tubería

recomendada para este segmento del sistema es tubería Conduit PVC de 1 pulgada, este tiene una capacidad para transportar hasta 3 conductores.

## **5.2 Sistema de protección**

La protección de un sistema de potencia se utiliza para evitar daños en los equipos, mantener la continuidad de los procesos, evitar accidentes que pongan en peligro la vida de las personas y pérdidas económicas irreversibles. Se toma como referencia la norma NTC 2050 y la National Electric Code (NEC).

### **5.2.1 Protección contra sobrecorriente**

Todos los circuitos deben estar protegidos eléctricamente ante un exceso de circulación de corriente que pueda llegar a superar la capacidad de los conductores. Teniendo en cuenta que la primera tarea de los elementos de protección contra sobrecorriente es proteger el cableado para evitar una situación de peligro que pueda generar un incendio, para la selección de los elementos de protección del presente sistema, se tiene en cuenta lo establecido en la norma NTC 2050, específicamente en el artículo 690.

Para el dimensionamiento de la protección de sobrecorriente, en primera instancia se pretende proteger el cableado, es por ello por lo que la corriente nominal de los Dispositivos de Protección Contra Sobrecorrientes (DPCS), deben ser menor o igual que la capacidad de corriente del conductor usado en el segmento del sistema. Puesto que para el presente proyecto se incluye los dos tipos de DPCS, tanto interruptores de circuito como fusibles que se pueden evidencia en el Anexo E y Anexo D respectivamente. A continuación, se procede a relacionar cada uno de los elementos de protección utilizados por segmento del sistema. En la Tabla 9 se lista los fusibles a ser usados en el sistema fotovoltaico.

Tabla 9. Fusibles del sistema fotovoltaico.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIBRE DEL CONDUCTOR	AMPERAJE FUSIBLE	REFERENCIA DEL DPCS
Segmento 1	Salida ramal FV a caja de conexión	4/0 AWG	200 A	PV-200ANH1
Segmento 2	Caja de conexión a inversor	4/0 AWG	200 A	PV-200ANH1
Segmento 3	inversor a baterías	4 AWG	80 A	PV-80ANH1
Segmento 4	Inversor a caja de conexión CA	2 AWG	100 A	PV-100ANH1

Fuente: Elaboración propia.

Según la NTC 2050, cada dispositivo como los inversores y las baterías, etc., que hacen parte de un sistema fotovoltaico deben tener la capacidad desconectarse y volver a conectarse de la fuente, en la Tabla 10 se relaciona los interruptores seleccionados para la instalación.

Tabla 10. Interruptores del sistema fotovoltaico.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CALIBRE DEL CONDUCTOR	AMPERAJE INTERRUPTOR	REFERENCIA DEL DPCS
Segmento 1	Salida ramal FV a caja de conexión	4/0 AWG	200 A - 250 A	DPX <sup>3</sup> 250
Segmento 2	Caja de conexión a inversor	4/0AWG	200 A - 250 A	DPX <sup>3</sup> 250
Segmento 3	Inversor a baterías	4 AWG	80 A - 100 A	DPX <sup>3</sup> 160
Segmento 4	Inversor a caja de conexión CA	2 AWG	80 A - 100 A	DPX <sup>3</sup> 200

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2.2 Puesta a tierra

Dado que el motivo de la puesta a tierra es limitar los voltajes en gran medida a las sobretensiones, descargas atmosféricas, posibles contactos que puedan ocurrir de manera intencional en las líneas de voltajes, es posible observar también que se utiliza para estabilizar los voltajes, colocando de esta manera a la tierra como un punto de referencia común. Con el ánimo de generar una ruta eléctrica que sirva para facilitar la operación de los equipos de protección contra sobrecorriente, se pretende proteger tanto los equipos como el sistema en general.

Para el presente proyecto, el sistema de puesta a tierra se realiza con base en lo establecido por la NTC 2050, el Código Eléctrico Nacional (NEC), así como el informe SAND96-2797 (Sistema de Energía Fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional: Prácticas recomendadas), donde se especifica que un sistema fotovoltaico superiores a los 50 V

---

(tensión de salida o tensión del campo fotovoltaico a circuito abierto), deben colocar a tierra un conductor de continuidad. (The Photovoltaic Systems Assistance Center Sandia National Laboratories, 1996).

Para el dimensionamiento del sistema de puesta a tierra y considerando que, durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico no circula corriente eléctrica por el conductor puesto a tierra, se establece que la función de dicho conductor no es otra que conectar las estructuras metálicas de equipos al electrodo de tierra principalmente.

- **Conductor del electrodo de la puesta a tierra.** Puesto que para la especificación del conductor en CC, debe corresponder a un calibre de por lo menos 8 AWG o al conductor de mayor calibre del sistema. Se considera que para el sistema fotovoltaico propuesto se debe utilizar el conductor de mayor calibre en el sistema, un conductor de calibre 4/0 AWG.
- **Conexión del conductor de la puesta a tierra.** Para el caso de los conductores en los tramos de corriente continua del sistema, se establece que deben ser conectados en los circuitos de salida de los módulos fotovoltaicos, asimismo se define que el conductor de la puesta a tierra debe ser conectado al conductor negativo del circuito DC, justamente a la entrada del inversor para atender los riesgos de sobretensión a causa de rayos. Para el presente proyecto, se establece que el conductor de puesta a tierra de los equipos debe transportar al menos 125% de la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico, equivalentes a 250 A.
- **Electrodo de puesta a tierra.** Independientemente del voltaje de operación del sistema FV, siempre debe existir una puesta a tierra que va conectada a un electrodo de puesta a tierra. Se conecta el conductor de puesta a tierra seleccionado para los equipos con el electrodo de puesta a tierra por medio del conductor del electrodo de puesta a tierra.

Con la puesta a tierra de los equipos propuestos tales como cajas eléctricas, marco de módulos FV, etc., se busca brindar una protección en contra de las posibles descargas eléctricas que puedan ser causadas por una falla a tierra, las carcasas metálicas de los

dispositivos eléctricos y electrónicos deben estar conectados al electrodo de puesta a tierra. Para la puesta a tierra del sistema en general, se busca conectar el conductor negativo con la tierra en un solo punto del sistema de tal manera que se pueda proteger al sistema de sobretensiones por descarga atmosférica.

## 6. Análisis comparativo del modelo actual y el modelo propuesto

En el presente capítulo se pretende realizar un análisis comparativo que permita identificar, las ventajas y desventajas que tiene tanto el modelo de generación actual, como la tecnología propuesta para la generación de energía eléctrica en Isla Soldado, todo a partir de un sistema de energías renovables que permita abastecer la torre autosoportada del SCTVM de Buenaventura.

### 6.1.1 Costos de mantenimiento del sistema propuesto

Pese a que los sistemas fotovoltaicos requieren de un mínimo mantenimiento en comparación con otros sistemas de generación eléctrica, igual se les tienen que realizar unas actividades sencillas de mantenimiento en forma periódica a cada uno de los componentes que lo integran, entre ellos el arreglo fotovoltaico y las baterías. Cabe mencionar que, un mantenimiento regular es esencial para conservar la seguridad y la confiabilidad del sistema, así como minimizar accidentes o situaciones de peligro que pongan en riesgo la vida de las personas. En la Tabla 11 se muestra la estimación de los costos de mantenimiento en un periodo anual.

Tabla 11. Estimación de costos de mantenimiento anual del sistema FV

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	Mantenimiento	\$13.200.000	1	\$13.200.000
2	Materiales y repuestos	\$2.100.000	1	\$2.100.000
TOTAL				\$15.300.000

Fuente: Elaboración propia.



En el caso del banco de baterías, se proyecta su sustitución cada 6 años, considerando un incremento de precios del 4% anual, tomando como referencia el índice de Precios del Consumidor (IPC) reportado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadístico (DANE) en 2019, en donde la inflación o costo de vida de los colombianos aumentó a un 3.80% (Sebastian Amaya , 2020), siendo aproximada a un 4% para el presente proyecto. En la Tabla 12 se relaciona la proyección económica hasta el año 18, para el año 6 y 12 se contempla un aumento del 20% por todos los años transcurridos.

Tabla 12. Costos de mantenimiento anual.

AÑO	% DE INCREMENTO	VALOR DE INCREMENTO	COSTO DE MANTENIMIENTO
1	-		\$15.300.000,00
2	4%	\$ 612.000,00	\$ 15.912.000,00
3	4%	\$ 636.480,00	\$ 16.548.480,00
4	4%	\$ 661.939,20	\$ 17.210.419,20
5	4%	\$ 688.416,77	\$ 17.898.835,97
6	4%	\$ 715.953,44	\$ 97.073.045,41
7	4%	\$ 744.591,58	\$ 19.359.380,98
8	4%	\$ 774.375,24	\$ 20.133.756,22
9	4%	\$ 805.350,25	\$ 20.939.106,47
10	4%	\$ 837.564,26	\$ 21.776.670,73
11	4%	\$ 871.066,83	\$ 22.647.737,56
12	4%	\$ 905.909,50	\$183.069.264,00
13	4%	\$ 942.145,88	\$ 24.495.792,94
14	4%	\$ 979.831,72	\$ 25.475.624,66
15	4%	\$ 1.019.024,99	\$ 26.494.649,65
16	4%	\$ 1.059.785,99	\$ 27.554.435,63
17	4%	\$ 1.102.177,43	\$ 28.656.613,06
18	4%	\$ 1.146.264,52	\$ 29.802.877,58

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2 Gastos de sostenimiento del modelo actual

Tomando como referencia la cotización N° 20Q227290 realizada por la empresa GECOLSA a la DIMAR, en la Tabla 13 se puede observar que el costo actual de los elementos necesarios para el mantenimiento del motor generador para la vigencia del año 2021 es de \$811.120 mensuales.

Tabla 13. Cotización de materiales y repuestos motor generador

ITEM	NÚMERO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
1	7W2327	FILTER A	1	\$76.256
2	1985314	FILTER-AIRE-PRIMAR	1	\$139.126
3	2107684	FILTRO AIRE SECUND	1	\$106.767
4	2761806	ELEMENT-FUEL	1	\$51.371
5	4671181	ELEMENT-FUEL	1	\$116.623
6	5153973	CAT DEO ULS 15W40	1	\$62.778
7	1285250	BELT SET-VEE	1	\$138.716
<b>SUBTOTLA</b>				<b>\$691.637</b>
<b>IMPOVENTAS 19%</b>				<b>\$119.483</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$811.120</b>

Fuente: Gecolsa.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 14 se puede evidenciar que el costo de los materiales y repuestos para el mantenimiento del motor generador que suministra la energía eléctrica en Isla Soldado tiene un precio de \$37.757.460 para el año 2021, esto sin incluir la mano de obra del personal calificado para realizar las actividades de mantenimiento.

Tabla 14. Costos de mantenimiento anual motor generador.

DESCRIPCIÓN	CANT.	REF.	HORAS	CONSUMO MENSUAL	CONSUMO ANUAL	VALOR UNIDAD	VALOR ANUAL
Filtro de aceite	1	7W2327	250	3	36	\$76.256	\$2.745.216
Filtro de aire primario	1	1985314	250	3	36	\$139.126	\$5.008.536
Filtro de aire secundario	1	2107684	250	3	36	\$106.767	\$3.843.612
Filtro de combustible trampa	1	2761806	250	3	36	\$51.371	\$1.849.356
Filtro de combustible	1	4671181	250	3	36	\$116.623	\$4.198.428
Aceite 15w40 CAT DEO	2 (gal)	5153973	250	6 (gal)	72 (gal)	\$376.668	\$19.280.016
Correas	1	1285250	1500	-	6	\$138.859	\$832.296
<b>TOTAL</b>						<b>\$1.005.670</b>	<b>\$37.757.460</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3 Análisis comparativo

Uno de los propósitos del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible para el 2030 es reducir en un 51% las emisiones de gases efecto invernadero en el país, y una de las estrategias para lograrlo es promover la transición energética. En aras de una alineación

con dicho propósito, es imperativo reducir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La implementación del sistema de energía renovable permite que se deje de emitir alrededor de 260 toneladas de CO<sub>2</sub> durante 20 años.

En la Tabla 15 se muestran algunas de las principales características que identifican al sistema de generación de energía actual, básicamente compuesto por una planta eléctrica de combustión interna y el sistema de generación propuesto que consiste en la implementación de un sistema de fotovoltaico, ambos para el abastecimiento eléctrico de la torre autosoportada del SCTVM de Buenaventura ubicado en Isla Soldado. Considerando que para la DIMAR y la ARC la logística y el mantenimiento son el principal problema para mantener el abastecimiento eléctrico de la torre, también se puede observar que los costos económicos del modelo actual son superiores en comparación de los sistemas fotovoltaicos que necesita de poco mantenimiento al demandar tareas muy sencillas.

Tabla 15. Características de la tecnología actual y la propuesta

DESCRIPCIÓN	DIESEL	SOLAR FV
		
Demanda (kW)	20	20
Operación en horas (día)	24	24
Consumo combustible día (Gal)	3,66	0
Valor galón de combustible	\$8.525	0
Logística de transporte	\$1,532.932	0
Vida útil (años)	8	20
Costo de mantenimiento mensual	\$3.146.455	\$1,275.000
Toneladas de CO2 reducidas en 20 años	0	260

Fuente: Elaboración propia.

Según la cotización generada por la empresa GECOLSA como se describió anteriormente, se nota que el mantenimiento anual de la planta eléctrica de combustión interna gira alrededor de los \$37.757.460, que aunado con el problema de la logística y el mantenimiento que tienen la DIMAR y la ARC resulta muy factible la implementación del sistema de generación a base de energías renovables. Dado que la Armada Nacional a través de la Jefatura de Planeación, cuenta con procedimientos establecidos para la

gestión de proyectos que son presentados ante el Ministerio del Interior y entes territoriales, para ser cofinanciados con recursos del Fondo Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana (FONSECON) y los Fondos de Seguridad de las Entidades Territoriales (FONSET). En esta sección se mencionan algunos puntos a tener en cuenta del procedimiento para la gestión de proyectos con recursos de la ley 418/97 de la Armada Nacional, mencionado procedimiento se inicia con la identificación de las necesidades operativas, de transformación y de crecimiento de la Armada Nacional para el cumplimiento de la misión, que pueden ser financiados con recursos de la nación como ya se mencionó anteriormente, o fuentes externas tales como convenio u acuerdos, ya sean de carácter nacional o extranjero.

Tomando como referencia el Formato de Acta de Constitución de Proyectos de la Armada Nacional, que es el documento utilizado para autorizar de manera formal la existencia de un proyecto y conferir al director de proyectos la autoridad necesaria para asignar los recursos de la institución, en este se debe definir correctamente unos límites bien definidos, y los fundamentos para que se autorice formalmente el proyecto (Project Management Institute, Inc., 2013). Teniendo en cuenta lo anterior, y como lo indica la relación de colaboración que establece el Acta de Constitución del Proyecto entre la organización ejecutora, en este caso la Dirección de Proyectos y la Organización Solicitante, el Comando de Guardacostas del Pacífico, debe exponer algunos criterios acordados que se puedan representar como dificultad a la que se ve sometida la institución al sostener el modelo de generación eléctrica actual de la torre autosoportada de Isla Soldado.

## 7. Conclusiones

Los sistemas de energía solar son una fuente de energía que no emiten gases efecto invernadero para la generación de energía eléctrica, por tal motivo contribuyen para prevenir el calentamiento global, mostrándose como una de las tecnologías renovables más eficientes en la lucha mundial contra el cambio climático. Es de considerar que la energía solar se caracteriza por ser una fuente de energía que no emite sustancias tóxicas y mucho menos contaminantes al aire libre, el agua y el medio ambiente en general.

La torre autosoportada de Isla Soldado, actualmente cuenta con un grupo electrógeno para satisfacer las necesidades de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos, esta planta funciona las 24 horas del día. Según el manual del fabricante, las actividades de mantenimiento necesarias para garantizar el buen funcionamiento del equipo deben ser realizadas de acuerdo con las horas de funcionamiento de la planta eléctrica. Con la implementación de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energías renovables sostenibles, son una alternativa reconocida e incluida por el Gobierno Nacional dentro de su Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022) y la Ley 1715 de 2014 – UPME, que tiene por objetivo promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, en especial en las zonas rurales y de difícil acceso al interior del territorio nacional, en donde los costos logísticos son muy elevados para el transporte de los insumos.

Las actividades de control de tráfico marítimo en Buenaventura básicamente consisten en monitorear y asistir a las todas embarcaciones en su zarpe, tránsito y arribo. Teniendo en cuenta que estas acciones se realizan las 24 horas del día, el sistema propuesto cuenta con un banco de baterías necesario para el funcionamiento de la instalación, el cual se considera una desventaja para los sistemas fotovoltaicos autónomos, debido a que representan los elementos más costosos del sistema si consideramos que se requiere recambio al cumplir su ciclo de vida.

Teniendo en cuenta el estudio técnico del autoabastecimiento eléctrico, desarrollado para una torre autosoportada de control de tráfico y vigilancia marítima a partir de un sistema

fotovoltaico, se puede afirmar que el proyecto resulta factible para la Dirección General Marítima (DIMAR) y la Armada Nacional. Su implementación como proyecto piloto resulta de gran importancia puesto que puede ser replicado en las demás estaciones remotas del Sistema Integrado de Control de Tráfico y Vigilancia Marítima, así como en aquellas zonas no interconectadas, inhóspitas y de difícil acceso a nivel nacional donde se encuentran puestos de control de las Fuerzas Militares de Colombia.

## **7.1 Recomendaciones**

Dentro del posible estudio de factibilidad operativa y económica a futuro por parte de la Dirección General Marítima (DIMAR) y la Armada Nacional, donde se analiza la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto propuesto, se recomienda sea contemplado los equipos presentados que conforman el sistema fotovoltaico para la torre de control de tráfico y vigilancia marítima de Isla Soldado.

Se recomienda el modelo metodológico propuesto en el presente estudio técnico, para ser replicado en las demás estaciones remotas, así como en aquellas zonas interconectadas, inhóspitas y de difícil acceso a nivel nacional donde se encuentran puestos de control de las Fuerzas Militares de Colombia que tienen un consumo energético muy parecido al de Isla Soldado.

Teniendo en cuenta que el Gobierno Nacional a través de la UPME, vela por el buen uso de los recursos del Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), el cual creado a partir de la Ley 1715 de 2017, se recomienda examinar la posibilidad de contar con estos recursos para financiar sistemas autónomos de generación de energía eléctrica, con fuentes no convencionales de energías renovables, así como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no Interconectadas (FAZNI) hasta el 31 de diciembre de 2030.

Teniendo muy en cuenta el entorno salino al que se encuentra expuesto el lugar donde se considera la implementación del proyecto de energías renovables, específicamente en

Isla Soldado, se considera y recomienda que el proyecto deba tener una vida útil no superior a 20 años.





# ANEXOS

## A. Baterías

### OPzS

Vented lead-acid battery



Motive Power Systems

**Reserve Power Systems**

Special Power Systems

Service

#### Your benefits with HOPPECKE OPzS

- **Very high expected service life** - due to optimized low-antimony selenium alloy
- **Excellent cycle stability** - due to tubular plate design
- **Maximum compatibility** - design according to DIN 40736-1
- **Higher short-circuit safety even during the installation** - based on HOPPECKE system connectors
- **Extremely extended water refill intervals up to maintenance-free** - optional use of AquaGen® recombination system minimizes emission of gas and aerosols!



#### Typical applications of HOPPECKE OPzS

- **Telecommunications**
  - Mobile phone stations
  - BTS-stations
  - Off-grid/on-grid solutions
- **Power Supply**
- **Security lighting**

 **HOPPECKE**  
POWER FROM INNOVATION

## Type Overview

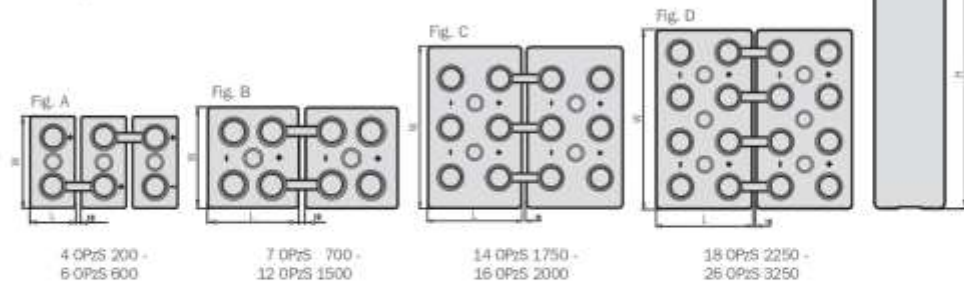
Capacities, dimensions and weights

Type	$C_{nom}/1.80\text{ V}$ Ah	$C_5/1.80\text{ V}$ Ah	$C_3/1.77\text{ V}$ Ah	$C_1/1.75\text{ V}$ Ah	$C_1/1.67\text{ V}$ Ah	max.* Weight kg	Weight electrolyte kg (1.28 kg/l)	max.* length L mm	max.* Width W mm	max.* Height H mm	Fig.
4 OPzS 200	200	213	182	161	138	17.3	4.5	105	208	420	A
5 OPzS 250	250	266	227	201	147	21.0	5.6	126	208	420	A
6 OPzS 300	300	320	273	241	177	24.9	6.7	147	208	420	A
5 OPzS 350	350	390	345	303	217	29.3	8.5	126	208	535	A
6 OPzS 420	420	468	414	363	281	34.4	10.1	147	208	535	A
7 OPzS 490	490	546	483	426	304	39.5	11.7	168	208	535	A
6 OPzS 600	600	686	590	510	353	46.1	13.3	147	208	710	A
7 OPzS 700	700	801	691	596	411	59.1	16.7	215	193	710	B
8 OPzS 800	800	915	790	681	470	63.1	17.3	215	193	710	B
9 OPzS 900	900	1026	887	767	529	72.4	20.5	215	235	710	B
10 OPzS 1000	1000	1140	985	852	588	76.4	21.1	215	235	710	B
11 OPzS 1100	1100	1256	1096	938	647	86.6	25.2	215	277	710	B
13 OPzS 1200	1200	1370	1186	1023	706	90.6	25.8	215	277	710	B
12 OPzS 1500	1500	1610	1400	1197	784	110.4	32.7	215	277	855	B
14 OPzS 1750	1750	1881	1632	1397	914	142.3	46.2	215	400	815	C
15 OPzS 1875	1875	2016	1746	1496	980	146.6	46.7	215	400	815	C
16 OPzS 2000	2000	2150	1866	1596	1045	150.9	45.9	215	400	815	C
18 OPzS 2250	2250	2412	2097	1796	1176	179.1	56.4	215	490	815	D
19 OPzS 2375	2375	2546	2213	1895	1242	182.9	55.6	215	490	815	D
20 OPzS 2500	2500	2680	2330	1995	1307	187.3	55.7	215	490	915	D
22 OPzS 2750	2750	2952	2562	2195	1437	212.5	67.0	215	580	815	D
23 OPzS 2875	2875	3086	2678	2294	1503	216.8	65.9	215	580	815	D
24 OPzS 3000	3000	3220	2795	2394	1568	221.2	66.4	215	580	815	D
26 OPzS 3250	3250	3488	3028	2594	1699	229.6	65.4	215	580	815	D

$C_{nom}$  = nominal capacity at 10 h discharge according to DIN 40736-1

$C_{10}$ ,  $C_5$ ,  $C_3$  and  $C_1$  = Capacity at 10 h, 5 h, 3 h and 1 h discharge

\* according to DIN 40736-1 data to be understood as maximum values



Design life: up to 20 years

Optimal environmental compatibility - closed loop for recovery of materials in an accredited recycling system

<sup>1</sup> Similar to sealed lead-acid batteries

# B. Módulo FV

www.yangtze-solar.com  
info@yangtze-solar.com

## PRODUCTS DESCRIPTION



**YANGTZE SOLAR**

### Yangtze Solar

## 96 Cells

## 500-550 Watt







MONO CRYSTALLINE MODULE

ISO9001:2008 · ISO14001:2004 · OHSAS18001 certified factory.  
IEC61215 · IEC61730 certified products.



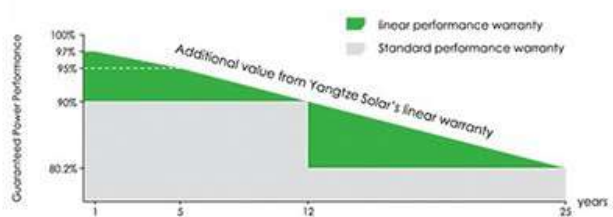


### KEY FEATURES

- 
**Positive tolerance:**  
Positive tolerance of up to 5W delivers higher output reliability.
- 
**High Efficiency:**  
Higher module conversion efficiency (up to 21.46%) benefit from Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology.
- 
**PID RESISTANT:**  
Eagle modules pass PID test, limited power degradation by PID test is guaranteed for mass production.
- 
**Low-light Performance:**  
Advanced glass and solar cell surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- 
**Severe Weather Resilience:**  
Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- 
**Durability against extreme environmental conditions:**  
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

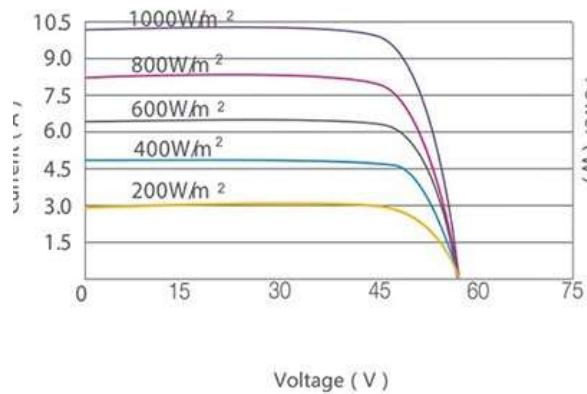
### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

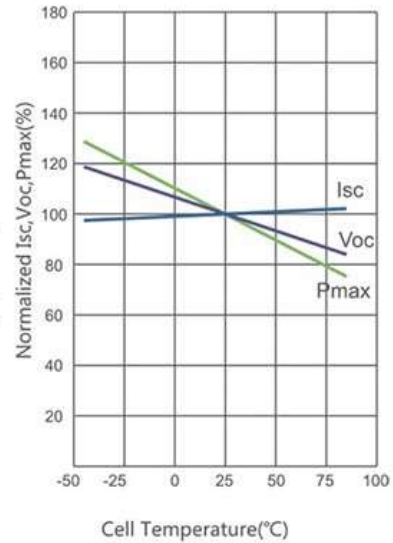


## Electrical Performance & Temperature Dependence

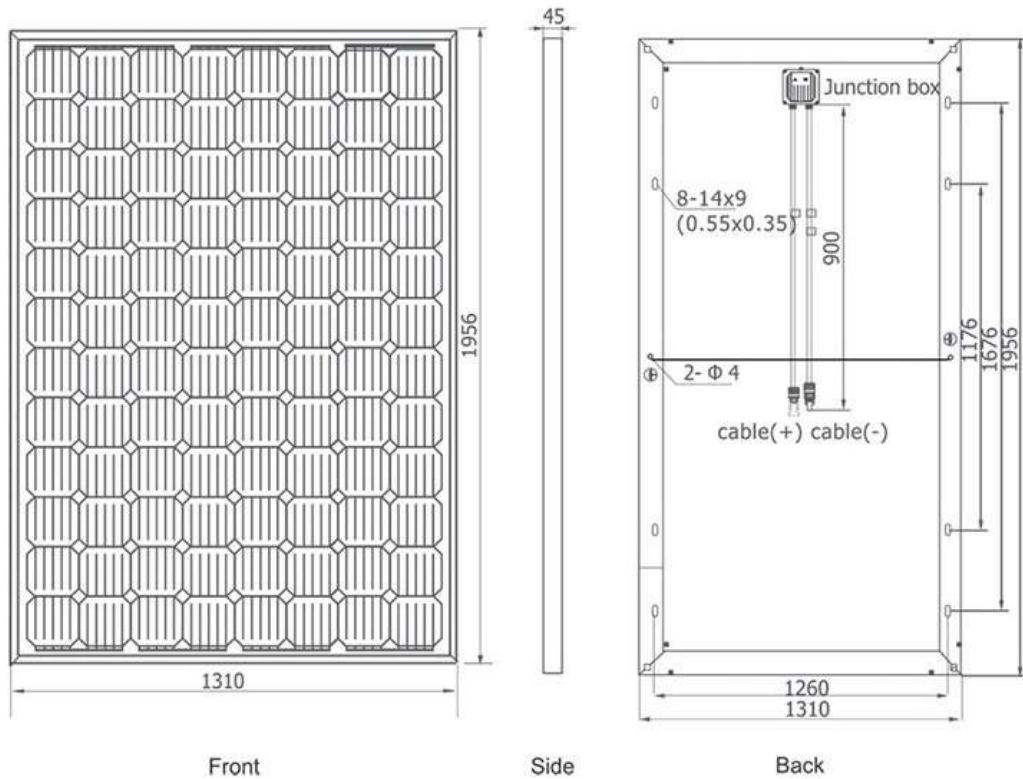
Current-Voltage & Power-Voltage Curves (500W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



## Engineering Drawings



## SPECIFICATION

Module Type	YS500M-96	YS510M-96	YS520M-96	YS530M-96	YS540M-96	YS550M-96
Maximum Power (Pmax)	500W	510W	520W	530W	540W	550W
Maximum Power Voltage (Vmp)	48.40V	48.58V	48.76V	48.94V	49.12V	49.30V
Maximum Power Current (Imp)	10.33A	10.51A	10.69A	10.88A	11.06A	11.24A
Open-circuit Voltage (Voc)	58.08V	58.30V	58.52V	58.73V	58.95V	59.16V
Short-circuit Current (Isc)	10.54A	10.72A	10.90A	11.09A	11.28A	11.46A
Module Efficiency STC (%)	19.51%	19.90%	20.35%	20.68%	21.07%	21.46%
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C					
Maximum system voltage	1000VDC or 1500VDC					
Maximum series fuse rating	20A					
Power tolerance	0~+3%					
Temperature coefficients of Pmax	-0.39%/°C					
Temperature coefficients of Voc	-0.29%/°C					
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C					
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C					

**STC:** Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, AM=1.5

**NOCT:** Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%





**PH3000 Series Three-phase Low Frequency On/Off Grid Hybrid Solar Inverter**

**Features**

- Rated power 10KW to 12KW
- Smart LCD setting/working modes, Charge Current, Charge Voltage, etc.)
- Built-in MPPT (18SA solar charge controller
- MPPT Efficiency max 98%
- Combining solar system, AC utility, and battery power source to supply continuous power
- Multiple operations: basic On/Off, Off-Grid, Grid-tie/active
- Support CAN, RS-485 monitoring function with base CD
- WIFI GPRS remote monitoring (optional)
- Compatible to generator

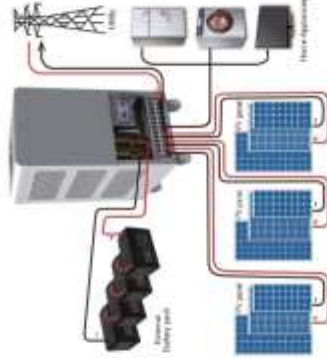
**Introduction:**

This is a flexible and intelligent energy storage inverter which utilizes solar power, utility power, and battery power source to supply continuous power. This is a multi-functional hybrid inverter which can power all kinds of appliances in home or office environment, including motor-type appliances such as fans, refrigerator and air conditioner. The system generates electricity when it has sufficient sunlight, supplying power to your house and feeding any surplus power back to the Grid.

**LCD Display Information**



**Solar System Connection**



- 1. LCD display
- 2. AC output
- 3. Charge current
- 4. Solar voltage
- 5. Grid voltage

- 6. Grid inverter
- 7. AC input
- 8. PV input
- 9. Battery bank
- 10. AC load
- 11. Inverter on/off control
- 12. CAN
- 13. Charge/discharge communication CAN
- 14. CAN

**Specification**

Model	Power (kW)	Phase	Frequency (Hz)	Rated Voltage (V)
PH3000	10	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	12	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	15	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	20	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	25	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	30	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	40	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	50	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	60	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	80	3-Phase	50/60	208/240
PH3000	100	3-Phase	50/60	208/240

**Approximate Back-up Time Table**

Model	100% Depth of Discharge (DoD)	50% DoD	25% DoD	10% DoD
PH3000	100	200	400	1000
PH3000	120	240	480	1200
PH3000	150	300	600	1500
PH3000	200	400	800	2000
PH3000	250	500	1000	2500
PH3000	300	600	1200	3000
PH3000	400	800	1600	4000
PH3000	500	1000	2000	5000
PH3000	600	1200	2400	6000
PH3000	800	1600	3200	8000
PH3000	1000	2000	4000	10000

# Technical Specifications

XW Pro for North America | 2

XW Pro 6848-NA	
<b>Inverter AC Output (Standalone)</b>	
Output power (continuous) at 25°C	6800 W
Overload 30 min/60 sec at 25°C	8500 W/12000 W
Output power (continuous) at 40°C	6000 W
Maximum output current 60 seconds (rms)	52 A (240 V)
Output frequency	50/60 Hz
Output voltage	Split phase 120/240 V +/- 3%
Total harmonic distortion at rated power	< 5%
Idle consumption search mode	< 8 W
Input DC voltage range	40 to 64 V (48 V nominal)
Maximum input DC current	160 A
<b>Charger DC Output</b>	
Maximum output charge current	140 A
Output charge voltage range	40 - 64 V (48 V nominal)
Charge control	Three stage, two stage, boost, external BMS, custom
Charge temperature compensation	Battery temperature sensor included
Power factor corrected charging	0.98
Compatible battery types	Flooded (default), Gel, AGM, Lithium ion, custom
Battery bank range	440 - 10000 Ah
<b>AC Input</b>	
AC 1 (grid) input current (selectable limit)	3 - 60 A (60 A default)
AC 2 (generator) input current (selectable limit)	3 - 60 A (60 A default)
Automatic transfer relay rating/typical transfer time	60 A / 8 ms
AC input voltage limits (bypass/charge mode)	L-L: 158 - 280 V (240 V nominal)
AC input frequency range (bypass/charge mode)	52 - 68 Hz (allowable)
<b>AC Grid-Tie Output</b>	
Grid sell power	6000 W
Grid sell current (selectable limit)	0 to 27 A (240 V)
<b>Efficiency</b>	
Peak	96.1%
CEC weighted efficiency	93.0%
<b>General Specifications</b>	
Part number	865-6848-21
Product/shipping weight	55.2 kg (121.7 lb)/76.7 kg (169.0 lb)
Product dimensions (H x W x D)	58 x 41 x 23 cm (23 x 16 x 9 in)
Shipping dimensions (H x W x D)	71.1 x 57.2 x 39.4 cm (28.0 x 22.5 x 15.5 in)
IP degree of protection	NEMA Type 1 Indoor
Operating air temperature range	-25°C to 70°C (-13°F to 158°F) (power derated above 25°C (77°F))
<b>Features</b>	
System monitoring and network communications	Available (through Conext™ Gateway)
Intelligent features	Grid sell, peak load shave, generator support, solar self-supply
Auxiliary port	0 to 12 V, maximum 250 mA DC output, selectable triggers
Off-grid AC coupling	Frequency shifting
<b>Regulatory Approval</b>	
Safety	UL1741, CSA 107.1
EMC directive	FCC and Industry Canada Class B
Interconnect	IEEE 1547, UL 1741-SA, Rule 21, Rule 14H, PREPA, and CSA 107.1
<b>Compatible Products Part Numbers</b>	
Power Distribution Panels	XW Mini PDP (865-1013-01), XW PDP (865-1015-01)
MPPT Charge Controllers	MPPT 100 600 (865-1034), MPPT 80 600 (865-1032), MPPT 80 150 (865-1030-1)
Monitoring	Gateway (865-0329), Insight 2
Accessories	System Control Panel (865-1050), Automatic Generator Start (865-1060), Battery Monitor (865-1080-01), Configuration Tool (865-1155-01)

## D. Fusibles

### Cartuchos fusible fotovoltaicos NH, de 32 a 400 A, 1000 V CC, serie PV-ANH

#### Descripción

Una serie de cartuchos fusibles de tamaño NH diseñada específicamente para proteger y aislar desconexiones y combinadores de matrices fotovoltaicas. Estos cartuchos fusibles pueden interrumpir las sobrecorrientes bajas asociadas con sistemas fotovoltaicos en fallo (corriente inversa, fallo de multimatriz).

#### Símbolo del catálogo

PV-(régimen de amperios)  
ANH(tamaño)

#### Clase de funcionamiento

gPV

#### Tamaño del fusible

Tamaño 1, 2 y 3 NH

#### Microinterruptores opcionales

170H0235, 170H0238

#### Normas / Aprobaciones

IEC 60269-6, UL 2579

(Número de referencia E335324)

En la lista de CSA

Compatible con RoHS, CCC pendiente

#### Envasado

CMP-3

Embalaje 100% reciclable.

#### Datos técnicos

Tensión	1000 V CC
Corriente	32-400 A
Capacidad de corte nominal	50 kA
Constante de tiempo	1-3 ms



Número de referencia	Tamaño de fusible	Corriente (A)	Tensión (V CC)	Integrales de energía I <sup>2</sup> t (A <sup>2</sup> s)		Pérdida de vatios (W)	
				Presión	Total a 1000 V CC	8,8 I <sub>B</sub>	I <sub>B</sub>
PV-32ANH1		32	1000 (IEC/UL)	60	730	4,3	6,5
PV-40ANH1		40		105	1670	4,6	9
PV-50ANH1		50		400	3630	5,4	10,5
PV-63ANH1	NH1	63		470	4300	6,1	12
PV-80ANH1		80		640	5760	7,9	15,5
PV-100ANH1		100		1300	11 700	8,4	16,5
PV-125ANH1		125		2600	23 400	9,9	12,5
PV-160ANH1		160		5200	46 800	12,2	24
PV-200ANH1		200		10 200	82 000	13	25
PV-250ANH2	NH2	250		26 000	129 000	23	35
PV-300ANH3		300		32 500	260 000	27	44
PV-315ANH3		315		32 500	260 000	27	44
PV-350ANH3	NH3	350		51 600	412 800	29	48
PV-365ANH3		365		51 600	412 800	29	48
PV-400ANH3		400		76 000	608 000	30	50



## E. Interruptores

DPX<sup>3</sup>

# DPX<sup>3</sup>

PROTECCIÓN FIABLE  
Y MEDICIÓN EXACTA  
HASTA 1600 A

La nueva gama de interruptores DPX<sup>3</sup> hasta 1600 A cubre las necesidades de todas las instalaciones porque amplía la selección de características y versiones para sus tableros de baja tensión.

La gama DPX<sup>3</sup> propone 4 tamaños de interruptores de caja moldeada con una potencia de corte de 16 a 100 kA a 415 V.




In	16	25	40	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1600	
16 kA																			
25 kA																			
36 kA																			
50 kA																			
70 kA																			
100 kA																			



## DPX<sup>3</sup> interruptores en caja moldeada



420045

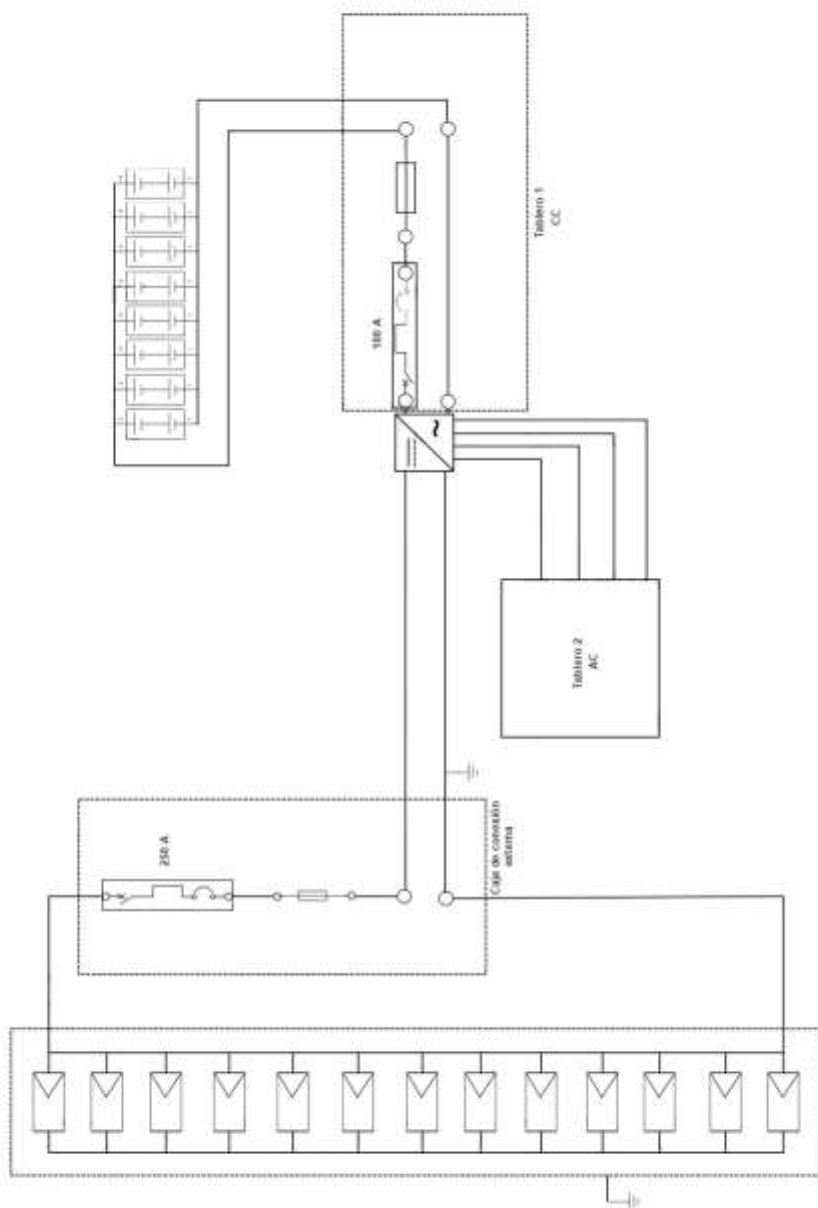


420070

Empaque	Referencia	DPX <sup>3</sup> 160 Interruptores en caja moldeada
		<b>Interruptor termomagnético DPX<sup>3</sup> 160, Icu 25 kA a 400 V, 35 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético fijo</b>
1	420040	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 16 A, regulable de 12,8 a 16 A.
1	420041	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 25 A, regulable de 20 a 25 A.
1	420042	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 40 A, regulable de 32 a 40 A.
1	420043	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 63 A, regulable de 50,4 a 63 A.
1	420044	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 80 A, regulable de 64 a 80 A.
1	420045	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 100 A, regulable de 80 a 100 A.
1	420046	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 125 A, regulable de 100 a 125 A.
1	420047	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 160 A, regulable de 128 a 160 A.
		<b>Interruptor termomagnético DPX<sup>3</sup> 160, Icu 50 kA a 400 V, 65 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético fijo</b>
1	420120	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 16 A, regulable de 12,8 a 16 A.
1	420121	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 25 A, regulable de 20 a 25 A.
1	420122	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 40 A, regulable de 32 a 40 A.
1	420123	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 63 A, regulable de 50,4 a 63 A.
1	420124	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 80 A, regulable de 64 a 80 A.
1	420125	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 100 A, regulable de 80 a 100 A.
1	420126	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 125 A, regulable de 100 a 125 A.
1	420127	Interruptor DPX <sup>3</sup>   Nominal 160 A, regulable de 128 a 160 A.

Empaque	Referencia	Interruptor termomagnético diferencial DPX <sup>3</sup> 160, Icu 25 kA a 400 V, 35 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético fijo
1	420070	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 16 A, regulable de 12,8 a 16 A.
1	420071	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 25 A, regulable de 20 a 25 A.
1	420072	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 40 A, regulable de 32 a 40 A.
1	420073	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 63 A, regulable de 50,4 a 63 A.
1	420074	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 80 A, regulable de 64 a 80 A.
1	420075	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 100 A, regulable de 80 a 100 A.
1	420076	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 125 A, regulable de 100 a 125 A.
1	420077	Interruptor DPX <sup>3</sup> 4P 160 A, regulable de 128 a 160 A.
		<b>DPX<sup>3</sup> 250 Interruptores en caja moldeada</b>
		<b>Interruptor termomagnético DPX<sup>3</sup> 250, Icu 25 kA a 400 V, 40 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético regulable de 5 a 10 In</b>
1	420208	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 200 A, regulable de 160 a 200 A.
1	420209	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 250 A, regulable de 200 a 250 A.
		<b>Interruptor termomagnético DPX<sup>3</sup> 250, Icu 36 kA a 400 V, 60 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético regulable de 5 a 10 In</b>
1	420238	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 200 A, regulable de 160 a 200 A.
1	420239	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 250 A, regulable de 200 a 250 A.
		<b>Interruptor magnético DPX<sup>3</sup> 250, Icu 36 kA a 400 V, 60 kA a 220/240 V, Protección motor, Magnético regulable de 2 a 10 In</b>
1	420718	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 100 A, regulación magnética de 800 a 1600 A.
1	420719	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 160 A, regulación magnética de 1000 a 2000 A.
1	420720	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 200 A, regulación magnética de 1250 a 2500 A.
1	420721	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 250 A, regulación magnética de 1250 a 2500 A.
1	420726	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 320 A, regulación magnética de 640 a 5120 A.
1	420727	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 400 A, regulación magnética de 1000 a 6400 A.
		<b>Interruptor termomagnético DPX<sup>3</sup> 250, Icu 70 kA a 400 V, 100 kA a 220/240 V Térmico regulable 0,8 a 1 In. Magnético regulable de 5 a 10 In</b>
1	420605	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 100 A, regulable de 80 a 100 A.
1	420607	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 160 A, regulable de 128 a 160 A.
1	420608	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 200 A, regulable de 160 a 200 A.
1	420609	Interruptor DPX <sup>3</sup> 3P 250 A, regulable de 200 a 250 A.

## F. Diagrama unifilar



## Bibliografía

- Almanza, R. (2019). *Reflexiones sobre la energía solar*. Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Beltrán Gómez, L. A. (2016). *Análisis de los diferentes tipos de energías alternativas y su implementación en Colombia*. Bogotá , Colombia.
- Camaño Martin , E. (2015). *Diseño de un sistema de suministro energético eficiente para centros de datos (data centers) con tecnología solar fotovoltaica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Collazos Santos, M. (2014). *Definición de objetivos de calidad de vertimientos en la Bahía de Buenaventura desarrollo de la fase I*. Santiago de Cali.
- Esteve Gómez, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Esteve Gómez, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. Bogotá D.C., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- García Villas, M. (1999). *Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo*. Madrid, España: IEPALA.
- IDEAM . (Retrieved November 4 de 2018). Obtenido de Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de colombia:  
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IDEAM. (05 de 04 de 2021). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM:  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera>
- Leon Vargas, F. (2018). *Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in Law 1715*. Bogotá , Colombia: Universidad EAN.
- Malinkiewicz, O. (2017). *Low cost, efficient, hybrid solar cells*. España: Universidad de Valencia.
- Martinez Duart, J. M. (2013). *Situación actual y evolución (2012-2050) de la electricidad solar fotovoltaica y termoeléctrica: costes y ahorro de emisiones (Vol. 27(2))*. España: Revista Española de Física.

- 
- Mascarós Mateo , V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Mascarós Mateo , V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Mascarós Mateo , V. (2016). *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Mascarós Mateo, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Mascarós Mateo, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Mascarós Mateo, V. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Mascarós Mateo, V. (2016). *Instalaciones generadoras fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Ospina Arias , J. C. (2015). *Gestión del sistema de control de tráfico marítimo en Colombia*. Barranquilla , Colombia : Educosta.
- Ospina Arias, J. C. (2015). *Gestión del sistema de control de tráfico marítimo en Colombia*. Barranquilla , Colombia: Educosta.
- Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos*. Pensilvania , Newtown Square, Estados Unidos : Project Management Institute.
- Sebastian Amaya , J. (4 de Enero de 2020). *La república*. Recuperado el 11 de 02 de 2021, de <https://www.larepublica.co/economia/dato-de-inflacion-en-colombia-durante-2019-aumento-a-380-segun-dane-2948404#:~:text=El%20Departamento%20Administrativo%20Nacional%20de,18%25%20que%20registr%C3%B3%20en%202019>.
- Solar Energy International . (2015). *Fotovoltaica Manual de Diseño e Instalación*. Paonia .
- Solar Energy International. (2015). *Fotovoltaica manual de diseño e instalación*. Ponina, Estados Unidos: Solar Energy International.
- The Photovoltaic Systems Assistance Center Sandia National Laboratories. (1996). *Sistema de Energía Fotovoltaica y Código Eléctrico Nacional: Prácticas Recomendadas*. Nuevo México .

Toledo Arias, C. A. (2013). *Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia*. Cartagena , Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.

Weather Spark. (11 de 04 de 2021). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/20689/Clima-promedio-en-Buenaventura-Colombia-durante-todo-el-año>